

BOTANIKA, MYKOLOGIA I ZOOLOGIA

Skrypt do zajęć laboratoryjnych

Redakcja: prof. Rafał Milanowski, dr Piotr Bernatowicz

Uwaga dotycząca realizacji ćwiczeń laboratoryjnych

Niniejszy skrypt ma charakter pomocniczy i stanowi ogólny przewodnik po zagadnieniach omawianych w ramach zajęć laboratoryjnych. Należy jednak pamiętać, że rzeczywisty przebieg ćwiczeń może różnić się od przedstawionych tu opisów i poleceń — w zależności od dostępnego materiału czy decyzji prowadzącego. W trakcie zajęć należy zawsze kierować się bieżącymi wskazówkami prowadzących.

Spis treści:

ZOOLOGIA

Laboratorium I Charakterystyka ogólna i zwierzęta o prostej budowie	-	3
Laboratorium II Mięczaki i pierścienice	-	9
Laboratorium III Stawonogi	-	17
Laboratorium IV Płazińce, nicienie, szkarłupnie i pozostałe grupy bezkręgowców	-	33
Laboratorium V Charakterystyka strunowców, ryby	-	43
Laboratorium VI Płazy i gady	-	51
Laboratorium VII Ptaki i ssaki	-	59

MYKOLOGIA

Laboratorium VIII Różnorodność i rola grzybów (FUNGI) w środowisku	-	76
--	---	----

BOTANIKA

Laboratorium IX Glony	-	82
Laboratorium X Ewolucja przystosowań do środowiska lądowego	-	90
Laboratorium XI Ewolucja procesu rozmnażania	-	97
Laboratorium XII Filogeneza okrytonasiennych i różnorodność kwiatów	-	107
Laboratorium XIII Rozmnażanie okrytonasiennych	-	115
Laboratorium XIV Ogrody botaniczne	-	120

Laboratorium I – ZOOLOGIA

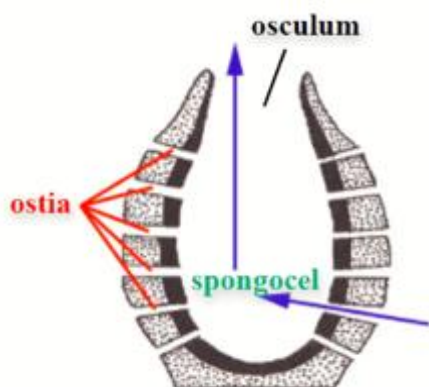
Charakterystyka ogólna i zwierzęta o prostej budowie

dr Aleksandra Skawina, dr Piotr Bernatowicz

1. Wprowadzenie do omawianych grup zwierząt.

Typ SPONGIAE (GĄBKI)

Uważa się, że gąbki są najpierwotniejszymi spośród obecnie żyjących zwierząt. Ich ciało buduje wiele wyspecjalizowanych komórek, ale nie mają budowy tkankowej. Najbardziej charakterystyczne komórki gąbek to choanocyty. To one umożliwiają zarówno chwytanie cząstek pokarmowych z wody jak i napędzają jej przepływ przez ciało tych zwierząt. Gąbki odfiltrują zawiesinę z wody, która wpływa przez „komórki z dziurką” – porocyty, przepływa przez ciało i jest wyrzucana otworem wylotowym – osculum (**Rys. 1.1**). Ciało większości gąbek jest wzmocnione przez szkielet z mineralnych igieł połączonych kolagenem lub jego nieuporządkowaną formą – sponginą.



Rys. 1.1. Schemat przepływu wody przez gąbkę. Strzałki oznaczają kierunek przepływu wody. (Rysunek własny).

Wszystkie gąbki prowadzą osiadły tryb życia, nie poruszają się, jedynie ich larwy potrafią pływać przy pomocy wici. Prawie wszystkie są filtratorami, ale istnieją też drobne głębinowe gąbki drapieżnie. Wewnątrz komórek gąbek, lub w przestrzeniach pomiędzy nimi, żyje wiele organizmów symbiotycznych (bakterie, np. sinice oraz bruzdnice i inne „glony”).

Wiele gąbek rozrastając się tworzy ogromne kolonie złożone ze ściśle ze sobą zrośniętych osobników (**Rys. 1.2.**). Niski stopień integracji ciała zapewnia gąbkom duże zdolności do regeneracji. Zróżnicowanie gąbek wyraża się głównie w ich fizjologii i mechanizmach odstraszania drapieżników – prócz igieł mineralnych wytwarzają także toksyny. Z tego powodu są obiektem zainteresowania przemysłu farmaceutycznego.

Większość gatunków gąbek żyje w morzach pełnostonowych, gdzie najwięcej gatunków występuje na rafach koralowych, ale spotkać je można od samego wybrzeża morskiego po największe oceaniczne głębiny. Tylko nieliczne gatunki gąbek występują w wodach

słodkich (w Polsce 7 gatunków). Gąbki słodkowodne preferują stojące lub płynące czyste wody (są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia)



Rys. 1.2. Przykłady gąbek morskich i słodkowodnych (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Typ CNIDARIA (PARZYDEŁKOWCE)

Wyłącznie u parzydełkowców występują komórki parzydełkowe (knidocyty), zawierające wewnątrz zwiniętą rurkę, która hydraulicznie wystrzeliwana jest na zewnątrz po mechanicznym podrażnieniu zmodyfikowanej wici na jej powierzchni.

Ciało parzydełkowców ma symetrię promienistą, a zbudowane jest z dwóch tkanek, wewnętrznej endodermy i zewnętrznej ektodermy. Pomiedzy nimi znajduje się warstwa mezoglei – „galaretowatej” substancji wypełniającej niebędącej tkanką. Wewnątrz znajduje się jama chłono-co-trawiąca, która ma tylko jedno ujście do środowiska zewnętrznego – otwór gębowo-odbytowy. Występuje układ nerwowy rozproszony, siateczkowaty, o zmiennym zagęszczeniu w różnych miejscach ciała. Najwięcej komórek jest w okolicach otworu gębowego, a u meduz również wzdłuż zewnętrznej krawędzi parasola, u których występują również narządy zmysłów tzw. ropalia, będące połączeniem narządów wzroku i równowagi.

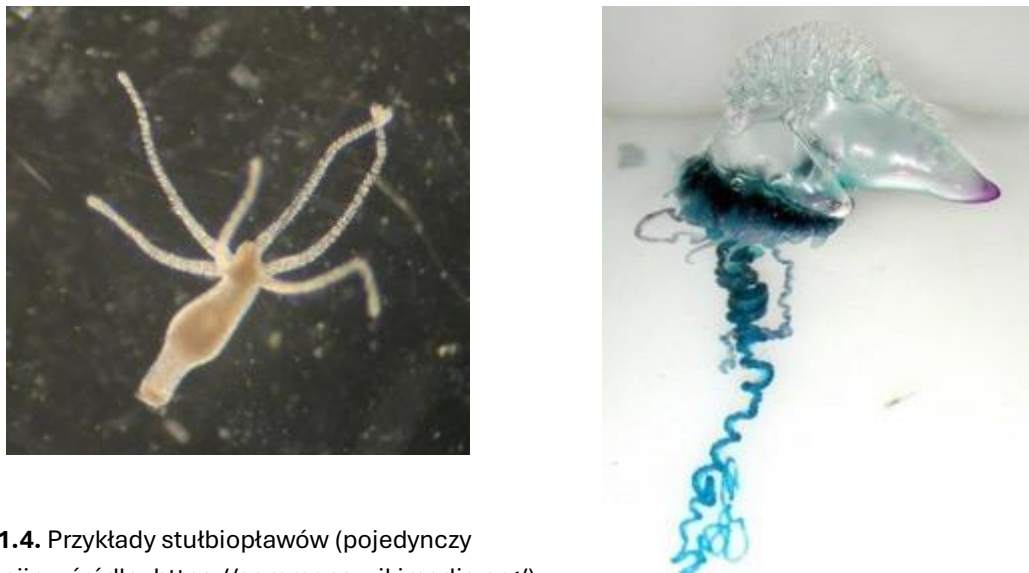
Parzydełkowce są dzielone zwykle na trzy gromady:

ANTHOZOA (koralowce) – polipy osiadłe, często tworzące kolonie, ale też mogą żyć pojedynczo (ukwiały). Duża część gatunków żyjących na rafach ma twarde szkielet wapienny i żyje w symbiozie z bruzdnicami (grupą „glonów”), które dostarczają koralowcom produkty fotosyntezy w zamian za ochronę oraz związki mineralne (**Rys. 1.3.**).



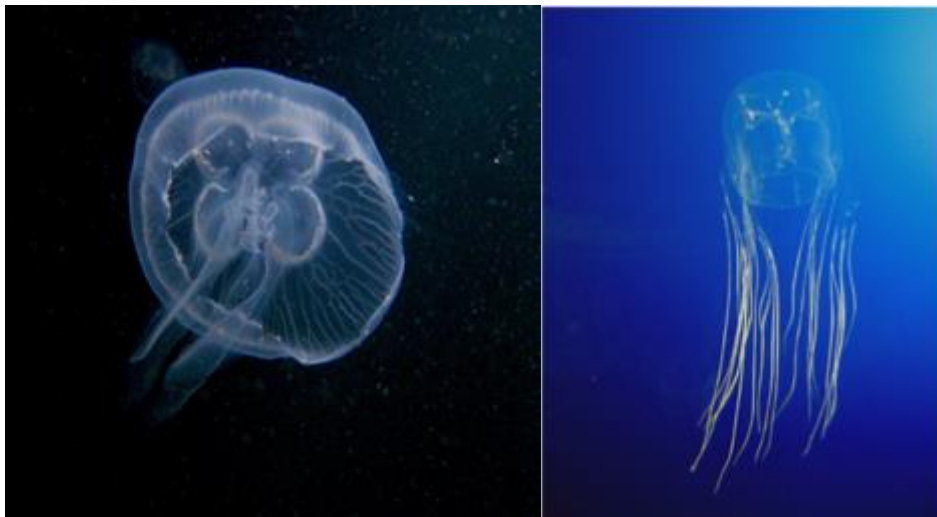
Rys. 1.3. Przykłady koralowców (kolonijny i pojedynczy ukwiąt; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

HYDROZOA (stulbiopławy) – dominuje osiadłe stadium polipa o prosto zbudowanej jamie gastralnej. Zwykle istnieje też (jednym z nielicznych wyjątków są słodkowodne stulbie) stadium planktonowej meduzy. Niektóre gatunki tworzą kolonie z wyraźnym polimorfizmem tworzących je polipów (**Rys. 1.4.**).



Rys. 1.4. Przykłady stulbiopławów (pojedynczy i kolonijny; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

SCYPHOZOA (krążkopławy) – dominuje stadium meduzy z grubą warstwą mezoglei, z narządami zmysłowymi (ropaliami) i licznymi czułkami na brzegu parasola. U większości gatunków występuje polip osiadły, który rozmnaża się bezpłciowo (**Rys. 1.5.**).



Rys. 1.5. Przykłady krążkopławów (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Większość parzydełkowców żyje w morzach o pełnym zasoleniu. Są osiadłymi lub planktonowymi drapieżnikami, ale niektóre gatunki koralowców i meduz żyją w symbiozie z bruzdnicami, dzięki czemu mogą zasiedlać środowiska skrajnie ubogie w pożywienie. Osobniki żyjące pojedynczo mają wielkość od kilku milimetrów do dwóch metrów średnicy parasola niektórych meduz (ich czułki mogą osiągać długość nawet 30 m); także planktonowe kolonijne stułbiopławawy osiągają długość wielu metrów.

Nieliczne tylko meduzy i stułbiopławawy mogą żyć w wodach o obniżonym zasoleniu (w Bałtyku chętnie *Aurelia aurita*). Do wód słodkich wniknęły tylko Nieliczne gatunki stułbiopławawów. Najpospolitsze w Polsce stułbie z rodziny Hydridae w wyniku upraszczania budowy i rozwoju wtórnie utraciły zdolność do tworzenia kolonii i stadium meduzy. Stułbiopławawy te mają wybitną zdolność regeneracji.

TYP CTENOPHORA (ŻEBROPLAWY)

Jest to grupa o ciągle nieustalonym pochodzeniu i pokrewieństwie z innymi typami królestwa zwierząt. Mają ciało o symetrii dwupromienistej (biradialnej) zbudowane z dwóch tkanek (jak u parzydełkowców), choć niektórzy badacze doszukują się u nich śladów zredukowanej trzeciej warstwy komórek. Mają kształt workowaty lub walcowaty, rzadziej poprzecznie spłaszczony. Występuje u nich prosty przewód pokarmowy rozpoczynający się otworem gębowym i kończący odbytem. Dzisiejsze gatunki żyją niemal wyłącznie w otwartej wodzie i pływają w niej przy pomocy szeregów komórek zaopatrzonych w rzęski – tzw. narządów grzebykowych.

Żebroplawawy są w większości planktonowymi morskimi drapieżnikami lub filtratorami, tylko Nieliczne gatunki prowadzą denny tryb życia (Rys. 6.).



Rys. 1.6. Przykłady żebroptawów (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

2. Przebieg zajęć

I: Wprowadzenie merytoryczne: definicja zwierzęcia; pokrewieństwa zwierząt z najbliższymi niezwierzęcymi krewnymi oraz generalne pokrewieństwa w obrębie zwierząt; rozszerzona charakterystyka gąbek, parzydełkowców i żebroptawów; wprowadzenie definicji rafy koralowej oraz omówienie funkcji rafotwórczych charakteryzowanych na zajęciach zwierząt.

II: Praca w zespołach z preparatami krajowych gąbek i parzydełkowców; praca z żywymi osobnikami lub z ich nagraniami (np. nadechnik, stultbia, chetłbia). Cel: poznanie, gdzie, kiedy i w jakich środowiskach można znaleźć parzydełkowce w Polsce; zapoznanie się z krajowymi parzydełkowcami i gąbkami; zaznajomienie się z gatunkami używanymi przez człowieka.

III: Praca w zespołach z preparatami krajowych gąbek i parzydełkowców c.d. Cel: odszukiwanie informacji o gatunkach chronionych w Polsce oraz na świecie (np. CITES) oraz ich rozpoznawanie i do czego są wykorzystywane (np. transport, potencjalne wykorzystanie przez człowieka, ryzyko dla ekosystemów).

IV: Mini projekt – temat: bielenie koralowców - coral bleaching – samodzielne (lub w niewielkich zespołach) opisanie przyczyn, przebiegu i skutków tego zjawiska dla koralowców oraz dla ekosystemów raf koralowych, propozycje możliwych rozwiązań wspierania koralowców; dyskusja.

V: Wprowadzenie merytoryczne do systematyki organizmów oraz metod poszukiwania informacji naukowej.

3. Literatura

- I. Czesław Błaszak (Red.), 2013. Zoologia Bezkręgowce, Tom 1. Wydawnictwo PWN
- II. Richard Brusca, 2022. Invertebrates. Oxford University Press.
- III. <https://pl.wikipedia.org/wiki/G%C4%85bki>
- IV. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Parzyde%C5%82kowce>
- V. <https://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%BBebrop%C5%82awy>
- VI. https://pl.wikipedia.org/wiki/Rafa_koralowa
- VII. https://pl.wikipedia.org/wiki/Blakni%C4%99cie_raf_koralowych

Laboratorium II – ZOOLOGIA

Mięczaki i pierścienice

dr Piotr Bernatowicz, dr Aleksandra Skawina, dr Andrzej Kołodziejczyk

1. Wprowadzenie do omawianych grup zwierząt.

Typ MOLLUSCA (MIĘCZAKI)

Mięczaki to liczny w gatunki (ponad 80 tys.) typ zwierząt, obejmujący formy głównie morskie, a także słodkowodne i lądowe. Są to zwierzęta o bardzo zróżnicowanej budowie i rozmiarach, dwubocznie symetryczne (z wyjątkiem części ślimaków). Ich ciało dzieli się na głowę, worek trzewiowy i nogę (ale głowa może u niektórych grup zanikać, a noga ulegać przekształceniom). Większość gatunków ma muszlę chroniącą worek trzewiowy oraz będącą przyczepem dla mięśni. Mięczaki dzisiaj dzielimy na dziewięć gromad z czego najistotniejsze to:

GASTROPODA ślimaki



BIVALVIA małże



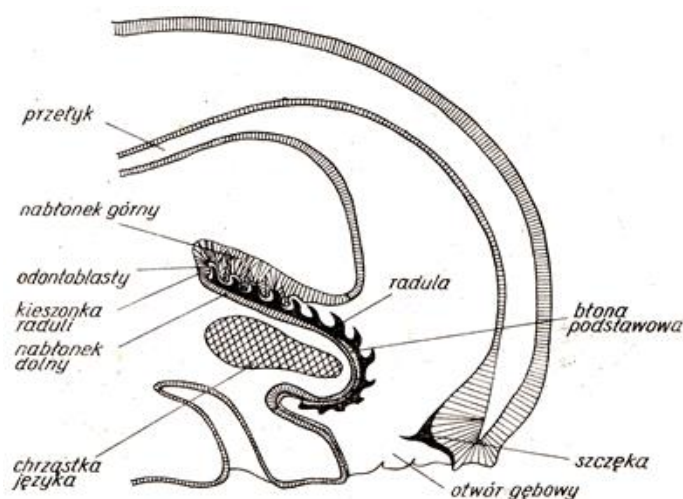
CEPHALOPODA głowonogi



Muszla, **noga**, **skrzel**, **układ rozrodczy** (źródło: Pokryszko i Bulman, 1994).

Ciało mięczaków jest miękkie, niesegmentowane. W głowie znajdują się narządy zmysłów i otwór gębowy. Worek trzewiowy okrywa i mieści w sobie narządy wewnętrzne, a zewnętrzna jego ściana to płaszcz. Przestrzeń pomiędzy luźnym fałdem płaszcza a resztą ciała nazywa się jamą płaszczową. W niej znajdują się skrzel, ujścia układów pokarmowego, wydalniczego i płciowego. Narzędziem służącym do poruszania się jest silnie umięśniona noga, niekiedy mocno przekształcona. Narzędziem występującym tylko u mięczaków jest tarka (radula). Znajduje się ona na języku, służy do pobierania i

rozdrabniania pokarmu, zbudowana jest pierwotnie z licznych chitynowych ząbków (**Rys. 2.1.**).



Rys. 2.1. Przekrój głowy ślimaka (źródło: Piechocki, 1979).

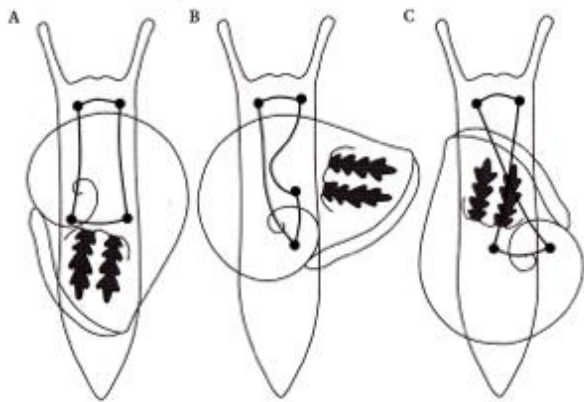
Na brzegach płaszcza mięczaków mających muszlę, budowany jest ten szkielet zewnętrzny z węglanu wapnia i konchioliny (substancji organicznej charakterystycznej dla mięczaków). Przeważnie muszla znajduje się na zewnątrz ciała, ma bardzo zróżnicowane kształty i osłania grzbietową stronę zwierzęcia. Pomimo rozwoju badań anatomicznych i molekularnych budowa muszli nadal jest wykorzystywana przy oznaczaniu tych zwierząt, zwłaszcza ślimaków i małżów. U wielu ślimaków, niektórych małżów i u większości głowonogów muszla uległa daleko posuniętej lub nawet całkowitej redukcji. U głowonogów noga uległa przekształceniu w lejek, u większości osiadłych małżów uległa ona znacznej redukcji.

Omówienie najistotniejszych gromad:

Gromada: Gastropoda, ślimaki

Jest to najliczniejsza gromada (ok. 60-70 tysięcy gatunków) w skład której wchodzić formy morskie, słodkowodne i lądowe. Szczególną cechą współczesnych przedstawicieli tej gromady jest asymetria ciała (inaczej tzw. symetria dwuboczna zmodyfikowana). Według jednej z teorii powstała ona na skutek wydłużenia się pierwotnie czapeczkowatej muszli u ich dalekich przodków. Spiralne zwinienie muszli zmniejszyło jej długość i ułatwiało zwierzęciu poruszanie się. Pierwotnie muszla ta pochylała się do przodu, w kierunku głowy zwierzęcia. Wraz z postępującym wzrostem rozmiarów ślimaków poruszanie się po dnie z muszlą nachyloną w kierunku ruchu stało się coraz trudniejsze. Muszla niesiona na cienkiej tzw. łożdżce worka trzewiowego uległa wraz z nią (i znajdującym się w niej workiem trzewiowym) skręceniu do tyłu o 180°. Spowodowało to przesunięcie jamy płaszczowej z tyłu na przód ciała zwierzęcia, obrócenie się niektórych narządów wewnętrznych i redukcję niektórych z nich. Prawie wszystkie ślimaki powtarzają ten

proces w momencie przejścia larwy do bentosowego trybu życia. Większość gatunków ślimaków ma muszlę i worek trzewiowy skręcone w prawo (**Rys. 2.2.**).



Rys. 2.2. Torsja u Gastropoda.

A – forma przedtorsyjna,

B – obrót worka trzewiowego wraz z muszlą o 90°

C – forma postorsyjna

Należy zwrócić uwagę na położenie spoidła i zwojów nerwowych oraz pozycję jamy płaszczowej ze skrzelami.

(źródło: Pokryszko, 2009).

Zdecydowana większość ślimaków żywi się żywymi lub martwymi roślinami (lub glonami), ale są w tej gromadzie również wyspecjalizowane drapieżniki (**Rys. 2.3.**).



Rys. 2.3. Przedstawiciele Gastropoda (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gromada: Bivalvia, małże

Jest to druga (po ślimakach) pod względem liczby gatunków gromada mięczaków. Są to zwierzęta wyłącznie wodne – większość gatunków zamieszkuje wody morskie, znacznie

mniej, ok. 1/5 gatunków jest słodkowodna. Ciało małży jest dwubocznie symetryczne, ścieśnione z boków, okryte dwoma cienkimi fałdami płaszczu, wytwarzającymi dwukłapową muszlę. Połówki muszli połączone są więzadłem (ligamentum). U większości gatunków występuje również zamek (zawias) znajdujący się w grzbietowej części obu połówek muszli. Więzadło dzięki swej sprężystości powoduje stałe rozchylenie połówek muszli, które zamykane są na skutek działania zwykle dwóch mięśni zwieraczy. Głowy, a co za tym idzie i tarki – u małży brak. Układ nerwowy jest uwsteczniiony, a narządy zmysłów są słabo wykształcone. Worek trzewiowy przechodzi bez wyraźnej granicy w silnie zazwyczaj umięśnioną nogę, która jednak u gatunków osiadłych może ulec daleko posuniętej redukcji. U wielu gatunków w nodze znajduje się gruczoł bisiorowy, produkuje on białkową wydzielinę krzepnącą w wodzie w postaci długich nici, zwanych bisiosem (byssus). Bisior służy do przytwierdzania się małża do podłoża. Zdecydowana większość małży to filtratory; nieliczne gatunki są drapieżne (głównie głębinowe); niektóre mogą wchodzić w symbiozę z jednokomórkowymi „glonami” (**Rys. 2.4.**).



Rys. 2.4. Przedstawiciele Bivalvia (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gromada: Cephalopoda, głowonogi

Głowonogi to wyłącznie morskie, zwykle aktywne, drapieżniki. Ich ciało jest przeważnie duże lub bardzo duże (od 1,5 cm do 20, może nawet do 30 m), zwykle swobodnie pływają, rzadziej pełzają po dnie. Mają symetrię dwuboczną, a głowa ma zaopatrzoną jest w liczne ramiona z przyssawkami lub hakami. Przemieszczają się przy pomocy ramion, płetw lub na zasadzie odrzutu – wypuszczając strumień wody przez lejek (przekształconą nogę). Muszlę mają (u większości współczesnych gatunków) zredukowaną i wtórny chrzęstno-podobny szkielet wewnętrzny, który ochrania także mózg.

Przedstawiciele tej gromady mają silnie rozwinięty układ nerwowy oraz skomplikowane narządy zmysłów, m.in. oczy. Charakteryzują się skomplikowanymi zrachowaniami, dużą inteligencją i zdolnością do uczenia się (**Rys. 2.5.**).



Rys. 2.5. Przedstawiciele Cephalopoda (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Typ ANNELIDA (PIERŚCIENICE)

Ciało pierścienic jest najczęściej bardzo wydłużone i podzielone na liczne segmenty, po bokach których pierwotnie występują parzyste, dwugałęziste przydatki (parapodia) z chitynowymi szczecinkami. Podział ciała przegrodami na segmenty skutkuje bardzo wydajnym mechanizmem poruszania się, albo poprzez wyginanie ciała na boki/grzbieto-brzusznie albo przez generowanie fali perystaltycznej przy jednoczesnych zmianach kształtu zwierzęcia podczas drążenia podłoża.

Wieloszczety (**Rys. 2.6.**) to grupa pierścienic, która jest najbardziej zróżnicowana anatomicznie i najliczniejsza w gatunki. Można je spotkać głównie w środowisku morskim, ale spotyka się też formy słodkowodne. U wolnożyjących wieloszczetów każdy segment (poza pierwszym i ostatnim) ma z każdej strony po dwie bocznie rozmieszczone wiązki zwykle długich szczecinek, które najczęściej wyrastają z dwugałęzistych parapodiów.



Rys. 2.6. Przedstawiciele wieloszczetów (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Wiele wieloszczetów to szybko poruszające się drapieżniki, z dobrze rozwiniętymi oczami i szczękami w gardzieli. Liczne gatunki wieloszczetów ryją w osadzie formując U-kształtne norki. Niektóre zamieszkują kanaliki wywiercone w wapiennym podłożu. Niektóre ruchliwe wieloszczety są w istocie zwierzętami mało aktywnymi, budują bowiem rurkowate domki ze zbieranych na dnie, specjalnie dobranych obiektów. Część gatunków jest całkowicie osiadła, a ich narządem filtracyjnym są pierzaste wyrostki dwu płatów po

grzbietowej stronie otworu gębowego. Skrajne przystosowanie do osiadłego trybu życia wykazują Pogonophora, zwierzęta nie mające jelita a wchłaniające rozpuszczone w wodzie substancje pokarmowe powierzchnią długich czułek. Żyją w głębokowodnych wysokoproduktywnych środowiskach dna oceanicznego, m. in. w pobliżu gorących źródeł, gdzie opierają swoją egzystencję na symbiozie z chemosyntezującymi bakteriami.

Grupa skąposzczetów (kiedyś uznawana za odmienną gromadę, dziś jako część wieloszczetów) obejmuje pierścienice o parapodiach zredukowanych do czterech grup (zwykle po dwie) krótkich szczecinek na każdym segmencie. Szczecinki są dłuższe u gatunków wodnych, a bardzo krótkie i zagięte na końcu u lądowych. Większość żyje w środowisku glebowym (np. dżdżownice).

Bardzo wyspecjalizowaną grupą pierścienic są pijawki. Mają one stałą liczbę segmentów i silnie rozwinięte umięśnienie ciała. Wywodzą się one od słodkowodnych skąposzczetów i większość z nich pozostała w tym środowisku, ale nieliczne gatunki przystosowały się do życia w morzach lub w wilgotnym środowisku lądowym. Pijawki (w przeciwieństwie do innych pierścienic) w ogóle nie regenerują utraconych części ciała. Duża grupa gatunków to drapieżniki, inne – są pasożytami zewnętrznymi innych zwierząt. Najbardziej znana, Pijawka lekarska *Hirudo medicinalis*, należy do grupy pijawek wyposażonych w 3 szczęki do nacinania skóry. W ślinie ma związek znieczulający i antykoagulant – hirudynę (Rys. 7.).



Rys. 2.7. Przedstawiciele skąposzczetów (dżdżownica) i pijawek (pijawka lekarska; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

2. Przebieg zajęć

I: Wprowadzenie merytoryczne: pokrewieństwa mięczaków i pierścienic w obrębie drzewa rodowego zwierząt; cechy morfologii (tj. jak je rozpoznać), ekologii i środowiska życia tych zwierząt; ich rola w ekosystemach lądowych, glebowych, słodkowodnych i morskich z szczególnym naciskiem na rafy; budowa, różnorodność i funkcje muszli.

II: Praca w grupach z preparatami i żywymi (niechronionymi) okazami krajowych mięczaków i pierścienic (lądowe: ślimak szary, ślimak wstężyk; słodkowodne np.

zatozeczek; małże słodkowodne (Unionida, Sphaeriidae i Dreissenidae); dżdżownice i pijawki, preparat morskiej *Nereis*. Cel: zapoznanie się z miejscami bytowania mięczaków i pierścienic w Polsce, w jakich środowiskach występują i kiedy w trakcie roku są aktywne; poznanie mięczaków i pierścienic wykorzystywanych przez człowieka (oraz powodów ich wykorzystywania).

III: Praca z krajowymi mięczakami i pierścienicami cd., środowiskowe funkcje małżów słodkowodnych (Unionida – zarządzanie i modelowanie własnego środowiska, rozprzestrzenianie jako pasożyt, „oczyszczanie” wody, możliwa rola w pozbywaniu się mikroplastiku z wody, propozycje sposobów aktywnej ochrony omawianych zwierząt.

IV: Wyszukiwanie kluczowych informacji w odpowiednich źródłach, m.in. o gatunkach chronionych mięczaków i pierścienic w Polsce.

V: Praca z preparatami mięczaków i pierścienic ze świata oraz z muszlami; odszukiwanie informacji o gatunkach chronionych na świecie (np. CITES).

VI: Mini projekt (praca samodzielna lub w niewielkich zespołach), sporządzenie krótkiego opisu jednego gatunku mięczaka i jednego gatunku pierścienicy wykorzystując wiedzę i umiejętności zdobyte na bieżących i poprzednich zajęciach, projekt będzie zakończony krótką dyskusją i podsumowaniem zajęć.

3. Literatura

- I. Czesław Błaszak (Red.), 2013. Zoologia Bezkręgowce, Tom 1. Wydawnictwo PWN
- II. Richard Brusca, 2022. Invertebrates. Oxford University Press.
- III. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Mięczaki>
- IV. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Pierścienice>
- V. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Muszla>

Laboratorium III – ZOOLOGIA

Stawonogi

dr Piotr Bernatowicz, dr hab. Andrzej Mikulski

1. Wprowadzenie do omawianych grup zwierząt.

Typ ARTHROPODA (STAWONOGI)

Stawonogi mają szkielet zewnętrzny zbudowany z połączonych ze sobą na sztywno lub za pomocą ruchomych struktur (stawów) płytek stwardniałej kutikuli. Szkielet ten pełni funkcje ochronne i stanowi miejsce przyczepu pogrupowanych w zespoły mięśni poprzecznie prążkowanych, umożliwiając szybki ruch. Parzyste, segmentowane odnóża stawonogów są często wysoce wyspecjalizowane funkcjonalnie, czemu towarzyszy ich znaczące zróżnicowanie morfologiczne. Występowanie sztywnego, nie rosnącego wraz ze zwierzęciem szkieletu zewnętrznego, narzuca konieczność jego cyklicznego, sterowanego hormonalnie zrzućcia (linienia) umożliwiającego wzrost. Wspólna dla stawonogów jest też segmentacja ciała (segmenty są często zrosnięte w tzw. tagmy).

Tradycyjnie stawonogi dzieli się na cztery gromady: szczękoczułkowce (Chelicerata), wije (Myriapoda), skorupiaki (Crustacea) i owady (Insecta). Obecnie wiadomo, że owady są wyspecjalizowaną grupą lądowych skorupiaków, a wzajemne powiązania pomiędzy pozostałymi grupami stawonogów nadal są niejasne i obecnie intensywnie badane.

Podtyp CHELICERATA (SZCZĘKOCZUŁKOWCE)

Cechy wyróżniające

Pierwsza para odnóży szczękoczułkowców, czyli szczękoczułki (chelicery) jest przekształcona w narząd chwytny lub jadowy i nie pełni funkcji czuciowych. Druga para odnóży, czyli nogogłaszczki (pedipalpi), uczestniczy w pobieraniu pokarmu lub służy za narządy czuciowe. Część szczękoczułkowców nie ma odnóży przystosowanych do rozdrabniania pokarmu. Trawienie u większości form lądowych jest częściowo zewnętrzne.

Ciało szczękoczułkowców dzieli się na dwie tagmy: przednią, z sześcioma parami odnóży (w tym zwykle czterema parami odnóży krocnych) oraz tylną, pierwotnie złożoną z 12 segmentów. W toku ewolucji segmenty zlewały się ze sobą lub tylne z nich, beznogie, stawały się znacznie węższe od przednich. Pierwotną cechą Chelicerata jest występowanie jednej pary oczu złożonych oraz pary oczu prostych.

Wybrani przedstawiciele

Xiphosura (morskie limulidy)

Choć są uważane za „żyjące skamieniałości” ze względu na nadzwyczaj powolną ewolucję od mezozoiku do dziś, dzisiejsze limulidy (zwane też skrzyptoczymi, mieczogonami lub starorakami) po najpierwotniejszych szczękoczułkowcach odziedziczyły niewiele więcej ponad morskie środowisko życia. Ich anatomia uległa daleko posuniętym modyfikacjom już we wczesnym paleozoiku. Wszystkie pięć par odnóży kroczych (pedipalpi nie różnią się wyraźnie od pozostałych) jest zaopatrzone w szczypce. Odnóża odwłokowe uległy przemianom w blaszkowate skrzela, a ich segmenty zlane są w jedną tarczę (poza pierwszym, który uległ redukcji) (**Rys 3.1.**).

Skorpiones (skorpiony)

Ciało skorpionów składa się z głowotułowia i segmentowanego odwłoka podzielonego na szeroki przedodwłok i cieńszy zaodwłok. Na środku jednolitej tarczy głowotułowia wystaje para oczu złożonych, a na jego przedniej krawędzi znajdują się oczy proste. Nogogłaszczki skorpionów są znacznie większe od szczękoczułków i są wyposażone w znacznie większe szczypce. Wąski zaodwłok zakończony jest telsonem przekształconym w kolec jadowy, a odnóża drugiego segmentu odwłoka tworzą charakterystyczne grzebyki, tzw. pectines. Odnóża te pełnią istotną rolę narządów czuciowych wykorzystywanych podczas polowania oraz tańców godowych poprzedzających zapłodnienie (**Rys. 3.2.**).



Rys. 3.1. Przedstawiciel limulidów (skrzyptocz)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.2. Skorpion
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Opiliones (kosarze)

Opatrzony jedną parą oczu głowotułów kosarzy ściśle przylega do odwłoka. Szczękoczułki są wyposażone w szczypce, a nogogłaszczki mogą być odnóżami czuciowymi lub chwytowymi. W odróżnieniu od pajaków kosarze nie wysysają swoich ofiar, lecz zjadają

również twarde części ciała i mogą odżywiać się pokarmem roślinnym. Większość z nich ma bardzo długie odnóży. Szczególnie wydłużona jest zwykle druga para odnóży krocnych, pełniących funkcje czuciowe (**Rys. 3.3.**).

Acari (roztocza)

Pierwotne roztocza Acarida mają szczypce na pedipalpach, a ich odwłok ma komplet segmentów, choć nie są one zauważalne z zewnątrz. Dominującą tendencją w ewolucji roztoczy było zmniejszanie rozmiarów ciała i postępujące za tym uproszczenie budowy anatomicznej. Pierwotna segmentacja ciała i podział na oddziały uległ zatarcu w anatomii większości tych organizmów. Stosunkowo bardziej pierwotne i zwykle o większych rozmiarach są formy pokrewne kleszczom. Prowadzą pasożytniczy tryb życia, odżywiając się krwią, skórą bądź włosami żywicieli. Wodne roztocza włączamy do polifiletycznej grupy Hydracarina. Większość gatunków żywi się martwą materią organiczną i ma miniaturowe rozmiary ciała (**Rys 3.4.**).



Rys. 3.3. Kosarz
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rys. 3.4. Przykłady roztoczy
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Araneae (pająki)

Właściwe pająki (Araneida) obdarzone są zdolnością do wytwarzania nici jedwabnej (pajęczej) i gruczołami jadowymi w szczękoczułkach. U większości pajaków segmentacja odwłoka jest trudna do rozpoznania. Są drapieżne. Pająki trawią częściowo pokarm na zewnątrz własnego jelita, wstrzykując do wnętrza ofiar enzymy proteolityczne wydzielane przez gruczoły jadowe, po czym wysysają upłynnioną zawartość.

Nić pajęczą służy wszystkim pająkom przede wszystkim do budowania kokonów. Wiele pajaków łowi pokarm przy pomocy sieci, a inne polują z zasadzki (np. skakuny). Biegające pająki wyściełają nicią swoje kryjówki, choć nie budują sieci. Wiele pajaków opiekuje się potomstwem (**Rys. 3.5.**).



Rys. 3.5. Przykłady pajaków (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Podtyp MYRIAPODA (WIJE)

Cechy wyróżniające

Wije charakteryzują się znaczną liczbą odnóży krocnych (ponad 6 par). Mają też unikatowy narząd zmysłu, zwany organem Tömösvary’ego, który pełni funkcję higroreceptora, umożliwiając zwierzęciu percepcję poziomu wilgotności w otoczeniu. U wijów występują oczy złożone, ale niektóre gatunki są pozbawione oczu.

Zróżnicowanie w obrębie podtypu

Gromadę DIPLOPODA (krocionogi), prócz zlania parami segmentów odwłoka (zwykle poczynając od czwartego), charakteryzuje zlanie obydwu par szczęk w jedną strukturę (gnathochilarium). Krocionogi, to najbogatsza w gatunki grupa wijów. Ich kutikula przesycona jest węglanem wapnia. Krocionogi żywią się głównie roślinami lub gnijącymi szczątkami organicznymi.

Gromadę CHILOPODA (pareczniki) wyróżnia pierwsza para odnóży tułowiowych zmieniona w narząd chwytny z kolcami jadowymi (szczękonoża - maxillipedes). Pareczniki są drapieżne. Poprzez kolce jadowe do ciała ofiary wstrzykiwany jest jad i soki trawienne, umożliwiające trawienie zewnętrzne (**Rys. 3.6.**).

W obrębie wijów wyróżnia się jeszcze dwie gromady: Skąponogi (Pauropoda) i Drobnonogi (Symphyla). Są to bardzo drobne zwierzęta żyjące najczęściej w glebie lub ściółce. Ze względu na miniaturyzację i uproszczenie budowy ciała ich pozycja systematyczna jest jeszcze niejasna.



Rys. 3.6. Przykłady wijów (Diplopoda i Chilopoda; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Podtyp CRUSTACEA (SKORUPIAKI)

Cechy wyróżniające

Skorupiaki są najbardziej zróżnicowaną morfologicznie grupą stawonogów. Ich ciało tworzą segmenty. Poza pierwszym, nazywanym akronem (acron) a ostatnim, czyli telsonem, pierwotnie były one najprawdopodobniej podobne do siebie zaopatrzone w identyczne odnóża. W trakcie ewolucji segmenty skorupiaków łączyły się tagmy i specjalizowały się, podobnie jak odnóża, do pełnienia określonej funkcji. Dwie pierwsze pary odnóży to: czułki I pary (antennulae) zaopatrzone najczęściej w chemoreceptory zaś czułki II pary (antennae) pokryte są mechanoreceptorami. Kolejne trzy pary to odnóża gębowe: żuwaczki (mandibulae), szczęki I pary (maxillulae) oraz szczęki II pary (maxillae). Kolejne segmenty tworzą tułów (thorax), a ich odnóża przekształcają się w odnóża tułowiowe. Ostatnie segmenty ciała skorupiaków, wraz z telsonem, tworzą odwłok (abdomen) zaopatrzone w odnóża odwłokowe.

U niektórych skorupiaków tułów może łączyć się z segmentami głowy tworząc głowotułów (cephalotorax), który jest często pokryty jednolitym płatem pancerza (carapax). Czasami pierwsze odnóża tułowiowe są przekształcone w szczękonoża służące przechwytywaniu pokarmu i kierowaniu go do pozostałych odnóży gębowych. Zarówno segmenty ciała skorupiaków, jak i ich odnóża, mogą być silnie zmodyfikowane, bądź zredukowane. W niektórych grupach skorupiaków wymienione wyżej segmenty i odnóża występują jedynie we wczesnych stadiach ontogenezy. Maksymalnym uproszczeniem budowy charakteryzują się niektóre formy pasożytnicze, np. przypominające grzyba worecznice (Sacculina).

Kutikula skorupiaków jest zwykle nasycona węglanem wapnia. Pierwotne i wyłączne dla skorupiaków jest planktonowe stadium larwalne typu nauplius z trzema pierwszymi parami odnóży z pierwotnego planu budowy (czułki I, II i żuwaczki) i pojedynczym okiem prostym. Nauplius przekształca się w kolejne formy larwalne, z których część jest unikalna dla poszczególnych grup skorupiaków.

Wybrani przedstawiciele

Copepoda (widłonogi)

Są to skorupiaki milimetrowych rozmiarów poruszające się w toni wodnej głównie dzięki wydłużonym czułkom I pary. Przy tak małych rozmiarach ciała siły lepkości wody dominują nad bezwładnością. Dzięki temu gwałtowny ruch czułków I pary i opatrzonych włoskami odnóży tułowia pozwala widłonogom na charakterystyczny ruch polegający na krótkich i szybkich skokach. Swoją nazwę widłonogi zawdzięczają wydatnym widetkom znajdującym się na końcu odwłoka (**Rys. 3.7.**).

Cladocera (wioślarki)

Wioślarki prowadzą zazwyczaj planktonowy tryb życia i posługują się przy pływaniu dużymi czułkami II pary. Dwuskorupkowy pancerz obejmuje całe ich ciało z wyjątkiem głowy. Na grzbiecie wewnątrz pancerza znajduje się komora lęgowa, do której składane są najczęściej partenogenetyczne (niewymagające zapłodnienia) jaja i w której rozwijają się embriony. W okresach niekorzystnych wioślarki wytwarzają specjalne struktury pancerza (siodetka, ehippia), gdzie deponują wymagające zapłodnienia jaja spoczynkowe, mogące po zapłodnieniu czekać wiele lat na warunki sprzyjające do rozwoju (**Rys. 3.8.**).



Rys. 3.7. Widłonóg

(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.8. Wioślarka (*Daphnia*)

(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Isopoda (równonogi)

Równonogi to grzbieto-brzusnie spłaszczone skorupiaki. Występują przede wszystkim na dnie mórz i oceanów, ale znane są też z planktonu. Drobne formy Isopoda przeniknęły do wód słodkich (ośliczka *Asellus aquaticus*), a nawet przystosowały się do życia lądowego (liczne i bardzo różnorodne „stonogi”, wśród nich *Oniscus* sp.) (**Rys. 3.9.**).

Amphipoda (obunogi)

Obunogi są zazwyczaj wyraźnie bocznie spłaszczone. Spłaszczenie ciała umożliwia niektórym obunogom zwijanie się w kulkę z odnóżami ukrytymi pod nasuniętymi na siebie bocznymi płytkami pancerza. Żyją w zarówno w wodach słonych jak i słodkich. U nas w rzekach najczęściej spotykamy kietże (**Rys. 3.10.**).



Rys. 3.9. Równonóg (stonoga)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.10. Obunóg (kietż)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Decapoda (dziesięcionogi)

Jest to grupa skorupiaków o najbardziej skomplikowanej budowie. Oprócz dwóch par czutek, żuwaczek i dwóch par szczęk, Decapoda posiadają trzy pary szczękonoży i pięć par odnóży krocnych (pierwotnie trzy pierwsze pary mogą być zakończone szczypcami, pierwsza para bardzo wydatnymi).

Ewolucja w obrębie dziesięcionogów zaowocowała ogromną różnorodnością strategii życiowych u poszczególnych gatunków, a w konsekwencji zróżnicowaniem morfologicznym. U wielu nastąpiła całkowita lub częściowa redukcja szczypiec na odnóżach krocnych (np. u langusty). U niektórych zamiast nich rozwinęły się inne narządy, na przykład filtracyjne (krewetki z rodzaju *Atyopsis*). U Brachyura (krabów) nastąpiło wzmocnienie pancerza i podwinięcie odwłoka pod spód ciała, czemu towarzyszyło silne przekształcenie (u samic), bądź częściowa redukcja (u samców) odnóży odwłokowych. Niektóre gatunki dziesięcionogów zamieszkują muszle ślimaków – Anomura (miękkoodwłokowce, miernoodwłokowe). Ewolucja premiowała te z nich, których ciało lepiej dopasowane było do wnętrza muszli. W konsekwencji ich odwłok przybrał stopniowo asymetryczny helikoidalny pokrój (**Rys. 3.11.**).



Rys. 3.11. Przedstawiciele dziesięcionogów (rak, krewetka, krab, pustelnik; (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gromada INSECTA (OWADY)

Cechy wyróżniające

Owady są sześcionogie i mają stabilną liczbę segmentów. Ciało owada podzielone jest na trzy tagmy: głowę (z jedną parą czułków), tułów (tagma lokomotoryczna: 3 pary odnóży, 2 pary skrzydeł) oraz odwłok (zawierający większość narządów wegetatywnych i narządy płciowe). To największa pod względem liczby gatunków grupa żyjących obecnie zwierząt. Zasadniają prawie wszystkie środowiska, poza typowo morskimi.

Zarys morfologii funkcjonalnej owadów

Owady pokrywa niezwapniata kutikula (zbudowana przede wszystkim z chityny), która jest wytworem nabłonka i musi być w trakcie wzrostu okresowo zrzucana (linienie). Ze względów mechanicznych niekorzystne jest przechodzenie linień w stadium uskrzydłonym. Doszło więc do wyraźnego oddzielenia od siebie anatomii i fizjologii stadiów larwalnych i dojrzałych.

W czasie metamorfozy poczwarkowej zachodzi histoliza tkanek larwalnych, reorganizacja budowy większości układów i tworzenie narządów charakterystycznych dla form

dojrzałych. W tym czasie wiele struktur powstaje z grup komórek o charakterze embrionalnym (zgrupowanych w tzw. dyski imaginalne), które pozostają w spoczynku i nie podlegają różnicowaniu w czasie życia larwalnego.

U niektórych owadów jeszcze w stadiach larwalnych pojawiają się zaczątki skrzydeł. W stadium dorosłym skrzydła są w pełni wykształcone i w większej części martwe po wyschnięciu, a tchawki w nich występujące pełnią w nich rolę rurek szkieletowych o czysto konstrukcyjnym znaczeniu.

Główną funkcją czułków jest odbieranie bodźców zapachowych i feromonów. Ich opatrzone komórkami chemosensorycznymi człony, tworzą więc często pierzasty organ do „przecieczania” powietrza, o takiej samej strukturze, jak organy filtracyjne zwierząt osiadłych. Odnóża kroczone mogą przyjmować kształty umożliwiające pełnienie innych funkcji (np. pływne, skoczne, grzebne, chwytne)

Systematyka

Do pierwszych, jeszcze bezskrzydłych owadów, które dotrwały do naszych czasów zaliczamy **Zygentoma (rybiki)** (Rys. 3.12.). Najpierwotniejsze owady latające z rzędu **Ephemeroptera (jętki)** (Rys. 3.13.) wciąż przechodzą ostatnie linienie w stadium latającym (subimago). Ich skrzydła w spoczynku ustawione są pionowo. Mają wodne larwy, roślinożerne jak i drapieżne. Dojrzały płciowo owad (imago) nie odżywia się, żyje od 30 min do jednego dnia, jedyną jego rolą jest zapłodnienie i złożenie jaj.



Rys. 3.12. Rybik
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.13. Jętka
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rząd **Odonata (ważki)** (**Rys. 3.14.**) obejmuje owady drapieżne. Larwy niezależnie od jętek przystosowały się do środowiska wodnego. Mają wysuwany do przodu aparat gębowy – maskę. Skrzydła w spoczynku ustawione mają poprzecznie bądź pionowo. Ważki paleozoiczne miały skrzydła do 70 cm rozpiętości.

Pozostałe owady skrzydlate cechuje zdolność do ustawiania skrzydeł płasko na grzbiecie, przy czym skrzydła tylne zginają się u nasady. Zapewne związane to było z przystosowaniem do życia w ściółce. Do dziś zachowały ten tryb życia owady z rzędu **Blattodea (karaczany)** (**Rys. 3.15.**), które nieomal nie latają. Wszystkożerne karaczany składają jaja w złożonych sztywnych paczuszkach (ooteka). Liczne tropikalne karaczany, a szczególnie należące to tego rzędu termyty (Isoptera), przystosowały się do wykorzystywania celulozy z drewna, jako źródła pokarmu, przy pomocy symbiontów jelitowych. Są to owady społeczne, koloniję zakładają wspólnie samiec z samicą, a zapładnianie ma miejsce wielokrotnie, w miarę rozwoju kolonii. Dominacja pary królewskiej nad innymi członkami kolonii oparta jest głównie na działaniu feromonów.



Rys. 3.14. Ważka
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.15. Karaczan
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Pokrewne karaczanom drapieżne **Mantodea (modliszki)** (**Rys. 3.16.**) zachowały bardziej prymitywny sposób ochrony jaj, wytwarzając rodzaj kokonu z pianistej, zasychającej masy, który pozostawiają przyklejony do podłoża. Modliszki polują z zasadzki, przy pomocy dobrze do tego przystosowanych przednich odnóży. Ofiarą samicy pada często samiec po kopulacji, którą jest w stanie odbyć nawet po odgryzieniu głowy przez samicę, zwoje mózgowie nie kontrolują bowiem odruchów rozrodczych.

W jednej z paleozoicznych linii ewolucyjnych owadów uformowały się skrócone skórzaste skrzydła przednie i wielokrotnie składane skrzydła tylne, których ewolucja doprowadziła do stanu właściwego dla rzędu **Dermaptera (skorki)** (**Rys. 3.17.**). Skorki prawie nie latają, a ich przydatki na odwłoku przekształcone są w chwytne cęgi.



Rys. 3.16. Modliszka
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.17. Skorek
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rząd **Orthoptera (prostoskrzydłe)** (**Rys. 3.18.**) obejmuje owady o skórzastych przednich skrzydłach i skocznych tylnych odnóżach. Ucieczka (skoki) to skuteczna obrona przed drapieżnikami (wykorzystywana w ewolucji owadów wielokrotnie) stała się podstawą wielkiego różnicowania tego rzędu. Pierwotne prostoskrzydłe mają długie czułki (jak karaczany) np. pasikoniki *Tettigonia* i świerszcze *Gryllus*. Polne koniki i szarańcza mają krótkie czułki. Prostoskrzydłe są zazwyczaj roślinożercami. Często przypominają swoim kształtem roślinne podłoże, na którym żyją i żerują. Prostoskrzydłe mogą porozumiewać się dźwiękami generowanymi przez pocieranie skrzydeł i odbieranymi przez „uszy” na odnóżach.

Przekształcenie przydatków gębowych w aparat zdolny do penetracji tkanek roślinnych i wysysania soku dokonywało się wielokrotnie w ewolucji owadów, ale największy sukces ewolucyjny osiągnęły **pluskwiaki – rząd Hemiptera** (**Rys. 3.19**). Stosunkowo duże i najmniej anatomicznie zmienione w stosunku do przodków są cykady. Ich rozwój bywa bardzo długi (np. 13 czy 17 lat) i nieprawdopodobnie zsynchronizowany, co uniemożliwia dostosowanie się doń jakiegokolwiek drapieżnika. Mszyce (*Aphidea*) maksymalnie wykorzystują niestabilne środowiska dzięki następującym po sobie licznym partenogenetycznym pokoleniom bezskrzydłych larw i przedwcześnie dojrzałych samic. Niewielka zawartość białka w spijanym soku roślin zmusza mszyce do przepuszczania przez jelito ogromnych ilości płynu floemowego, a w nim nadmiaru nie trawionego już cukru. Bogata w cukry wydzielina, czyli spadź, stanowi pokarm mrówek i pszczoł. Część rzędu - pluskwiaki różnoskrzydłe (*Heteroptera*) - cechuje skórzasta połowa przednich skrzydeł, dając po złożeniu bardzo charakterystyczny i trwały ewolucyjnie pokrój ciała. Większość z nich wydziela intensywny zapach. Są wśród nich zarówno formy roślinożerne, jak i drapieżne, wysysające kłujką tkanki ofiary.



Rys. 3.18. Przedstawiciel prostoskrzydłych (szarańcza)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.19. Przedstawiciel pluskwiaków (cykada)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rząd **Phthiraptera (m. in. wszoły i wszy)** (**Rys. 3.20**) obejmuje pasożyty zewnętrzne stałocieplnych kręgowców. Odżywiają się tkankami, krwią lub wytworami naskórka (włosami i piórami).

Larwy omówionych powyżej rzędów owadów różnią się od imagines jedynie mniejszymi i niefunkcjonalnymi skrzydłami. Mają też nierozwinięte w pełni narządy rozrodcze, które można jednak zaobserwować na wczesnych etapach życia. Poniżej opisane owady mają wyróżnione stadium poczwarki, w którym zachodzi całkowita przemiana zarówno anatomii jak i morfologii owada. Często larwy różnią się wyglądem, dietą, zachowaniem i środowiskiem bytowania od postaci dorosłych.

Przedstawiciele rzędu **Coleoptera (chrząszcze)** (**Rys. 3.21.**) cechują przednie skrzydła zamienione w sztywne pokrywy. Tylne, znacznie dłuższe od przednich, składane są nie tylko przez podłużne sfałdowanie, co występuje u wielu owadów, ale i przez zagięcie wierzchołkowej części. Niektóre, np. biedronki Coccinellidae, składają skrzydła dwukrotnie w poprzek ich długości. Chrząszcze to najliczniejsza grupa owadów.



Rys. 3.20. Wesz
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.21. Przedstawiciele chrząszczy
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Krótkie nogi i cienki oskórek larw przedstawicieli rzędu **Mecoptera (wojsitki)** (Rys. 3.22.) nadają im postać przypominającą gąsienicę. Żywią się one głównie martwą materią organiczną, w przeciwieństwie do form dorosłych, które mają dużo bardziej urozmaiconą dietę. Imagines najliczniejszej grupy wojsitek – pcheł – są pasożytami zewnętrznymi zwierząt stałocieplnych.

Owady z rzędu **Hymenoptera (błonkówki)** (Rys. 3.23.) bardzo sprawnie latają. Ich skrzydła są szczepione podczas lotu haczykami i poruszają się razem (tylne jest mniejsze). Pierwotne błonkówki mają odwłok szeroko połączony z tułowiem, tak jak większość pierwotnych owadów, a ich gąsienicowate larwy swobodnie żerują na roślinach. Błonkówki te składają jaja do wnętrza tkanek roślinnych przy pomocy ostrego pokładetka (ovipositor). Czynią tak też galasówki Cynipidae, mające zwężoną nasadę odwłoka w charakterystyczny dla większości błonkówek sposób. Wyżej uorganizowane błonkówki mają pokładetko przekształcone w żądło z gruczołem jadowym. Nie składają jednak jaj do wnętrza porażonych jadem ofiar, lecz przenoszą ofiary do schronisk, w których przechowują larwy. Poza termitami, błonkówki te są jedynymi owadami, wśród których wyewoluowały zachowania społeczne, a mrówki są dziś dominującą grupą owadów w niemal wszystkich ekosystemach lądowych.



Rys. 3.22. Przedstawiciele wojsitek (pcheł)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.23. Przedstawiciele błonkówek (trzmieć i mrówka)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rząd **Diptera (muchówki)** (Rys. 3.24.) charakteryzuje się redukcją tylnej pary skrzydeł do postaci buławkowatych przezmianek, funkcjonujących jako żyroskop do orientacji w przestrzeni. Larwy pierwotnych muchówek mają normalnie wykształconą głowę z czułkami, u tych bardziej zaawansowanych głowa jest bardzo mała. Larwy wszystkich muchówek nie mają odnóży na tułowie i odwłoku („robakowate” ciało) i rozwijają się z jaj złożonych w bezpośredniej bliskości pokarmu. Dzisiejsze muchówki odżywiają się wyłącznie płynnym pokarmem, zlizywanym z różnych powierzchni bądź wysysanym z nakłutego wnętrza roślin, zwierząt bądź grzybów. U niektórych muchówek dojrzałość płciową osiągają beznogie larwy, partenogenetycznie składające jaja.

Rząd **Trichoptera (chruściki)** (Rys. 3.25.) charakteryzują skrzydła pokryte włoskami. Larwy dzisiejszych chruścików, z miękkim odwłokiem, ale dobrze rozwiniętymi pięcioczęłkowymi odnóżami krocznymi, są wodne i budują domki z rozmaitych obiektów zlepianych wytwarzaną przez siebie nicią.

Rząd **Lepidoptera (motyle, łuskoskrzydłe)** (Rys. 3.26.) oddzielił się od chruścików, zanim ich larwy przeszły do wodnego życia. Charakterystyczne dla motyli są skrzydła pokryte łuskami. Aparat gębowy większości dzisiejszych motyli ma postać zwijanej ssawki umożliwiającej spijanie nektaru, a niektóre gatunki w stadium imago w ogóle się nie odżywiają. Larwy (gąsienice) są dziś zazwyczaj roślinożerne. Ewolucja motyli związana była ściśle z równoległym różnicowaniem się roślin kwiatowych.



Rys. 3.24. Przedstawiciele muchówek (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.25. Chruścik
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 3.26. Motyl
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

2. Przebieg zajęć

I: Wprowadzenie merytoryczne: charakterystyka zwierząt w obrębie typu stawonogów; wzajemne pokrewieństwa pomiędzy gałęziami tej grupy oraz wprowadzenie do ich ewolucji; budowa, funkcja i ewolucja odnóży; różnorodność gatunków i przykłady ich przystosowań do różnych środowisk; omówienie cech morfologicznych stawonogów umożliwiających ich identyfikację; budowa aparatów gębowych owadów; rola skorupiaków w ekosystemach raf koralowych.

II: Praca w grupach z świeżo utrwalonym okazem skorupiaką z grupy Decapoda (krewetka). Cel: poznanie budowy ciała tej grupy skorupiaków; analiza liczby, rozmieszczenia oraz funkcji odnóży.

III: Praca w grupach z preparatami Decapoda (kraby, raki, pustelniki). Cel: poznanie cech charakterystycznych poszczególnych grup oraz ich identyfikowanie; zaznajomienie się z zmianami, jakie zaszły w budowie ich ciała, które umożliwiły przystosowanie się do konkretnego środowiska/sposobu życia.

IV: Pokaz: przedstawienie żywych skorupiaków z różnych grup systematycznych i pochodzących z różnych środowisk oraz omówienie charakterystycznych cech ich budowy.

V: Praca w grupach z modelami aparatów gębowych owadów oraz ich preparatami mikroskopowymi. Cel: nauka rozpoznawania poszczególnych elementów aparatów gębowych i ich funkcji oraz identyfikacja diety owada na podstawie budowy aparatu gębowego.

VI: Praca w grupach z zakonserwowanymi okazami owadów dorosłych i ich stadiów młodocianych. Cel: poznanie różnych sposobów rozwoju owadów oraz rozróżnianie stadiów larwalnych od dorosłych.

VII: Pokaz: przedstawienie żywych oraz utrwalonych owadów z różnych rzędów; zespołowa próba identyfikacji okazów do rzędów.

3. Literatura

- I. Czesław Błaszak (Red.), 2013. Zoologia Stawonogi i Mięczaki, Tom 2. Wydawnictwo PWN
- II. Richard Brusca, 2022. Invertebrates. Oxford University Press.
- III. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Stawonogi>
- IV. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Skorupiaki>
- V. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Szcz%C4%99koczu%C5%82kowce>
- VI. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Wije>

- VII. https://pl.wikipedia.org/wiki/G%C5%82owa_owad%C3%B3w
- VIII. https://pl.wikipedia.org/wiki/Przeobra%C5%BCenie_niezupe%C5%82ne_owad%C3%B3w
- IX. https://pl.wikipedia.org/wiki/Przeobra%C5%BCenie_zupe%C5%82ne_owad%C3%B3w

Laboratorium IV – ZOOLOGIA

Płazińce, nicienie, szkarłupnie i pozostałe grupy bezkręgowców

dr Piotr Bernatowicz

1. Wprowadzenie do omawianych grup zwierząt.

Typ PLATHELMINTHES (PŁAZIŃCE)

Cechy wyróżniające

Płazińce jako jedyne spośród zwierząt dwubocznie symetrycznych nie mają odbytu (choć prawdopodobnie jest to cecha ewolucyjnie wtórna). Mają zwykle grzbietobrzusnie spłaszczone ciało. W obrębie szeroko rozumianego typu jest wielka różnorodność anatomii, ale wspólną ich cechą jest uproszczenie planu budowy przy często złożonej biologii.

Płazińce pasożytnicze

Większość dzisiejszych płazińców to pasożyty, najczęściej wewnętrzne. Przywry (Trematoda) mają jelito z rozgałęzieniami, ale powierzchnię ich ciała pokrywa tegument — syncytialny (czyli zbudowany ze zlanych ze sobą komórek) nabłonek bogaty w mitochondria i pęcherzyki pinocytotyczne. Błona zewnętrzna tegumentu ma wypustki, poprzez nią odbywa się pobieranie i transport substancji odżywczych. Stanowi ona także ochronę przed reakcjami układu odpornościowego żywiciela. Jest to powierzchnia bezustannie regenerowana. Niewielka grupa przywr (Monogenea) są przywiązane do jednego jedynie żywiciela, a większość z nich jest pasożytami zewnętrznymi (ektopasożytami) skrzeli i skóry ryb. Cykl życiowy pasożyta jest ściśle zsynchronizowany z rozwojem żywiciela.

Przedstawiciele grup przywr wewnętrznych (Digenea) (**Rys. 4.1.**) mają co najmniej dwóch żywicieli. Cykl życiowy rozpoczyna się złożeniem jaj, z których w środowisku wodnym wykluwa się urzęsiona larwa (miracidium). Po opuszczeniu jaja i pływa ona do czasu napotkania żywiciela pośredniego (mięczaka, najczęściej ślimaka). Jej gruczoły penetracyjne wydzielają enzymy proteolityczne umożliwiające wniknięcie do żywiciela. Zrzuca wtedy nabłonek urzęsiony, pokrywa się tegumentem z microvilli, poprzez który absorbuje substancje odżywcze żywiciela. Przekształca się w stadium larwalne pozbawione organów wewnętrznych (sporocystę). U niektórych gatunków w tym momencie dochodzi do rozmnażania bezpłciowego i pojawienia się kolejnego pokolenia larw. U innych bezpośrednio dochodzi do uformowania prostego jelita, co umożliwia kolejnemu stadium larwalnemu (redia) odżywianie się tkankami mięczaka. To stadium w gruczole trzustko-wątrobowym lub w gonadach mięczaka przekształca się w kolejne stadium larwalne, tym razem opatrzone umięśnionym ogonkiem umożliwiającym pływanie w wodzie (cerkaria). U niektórych gatunków larwa ta otorbia się tworząc cystę przytwierdzoną do roślin oczekując na przedostanie się bierne do kolejnego żywiciela

wraz z wodą lub roślinami (np. motylca *Fasciola*). U innych aktywnie wnika przez powłoki ciała żywiciela ostatecznego przekształcając się w dojrzałe stadium zdolne do rozmnażania płciowego (np. u *Schistosoma*). W przypadku np. *Dicrocoelium*, cercaria po dostaniu się do drugiego żywiciela pośredniego się otorbia i jako larwa – metacerkaria – oczekuje na przeniesienie się do żywiciela ostatecznego – przeżuwacza. W żywicielu ostatecznym przywry z grupy Digenea pasożytują w świetle jelita lub przewodów żółciowych, w układzie oddechowym, a także w świetle naczyń krwionośnych. Aparat czepny form dorosłych złożony zazwyczaj z dwóch przyssawek położonych na brzusznej stronie ciała (przednia otacza otwór gębowy). Niektóre gatunki mają tylko jedną przyssawkę lub nie mają żadnej.



Rys. 4.1. Przykłady form dorosłych przywr (z lewej pasożyt przewodu pokarmowego, z prawej naczyń krwionośnych; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Tasiemce (Cestoda) (**Rys. 4.2.**) są w dojrzałych stadiach rozwojowych pasożytami wyłącznie wewnętrznymi kręgowców. Większość tasiemców dorosłych zasiedla układ pokarmowy żywiciela. Stadia larwalne mają osobnego (pośredniego) żywiciela, nie są jednak inwazyjne, lecz muszą być zjedzone przez żywiciela ostatecznego. Larwy penetrują niekiedy tkanki żywiciela przy udziale wydzielanych przez nie proteinaz. Prawie wszystkie tasiemce mają narząd czepny tzw. „główkę” (scolex). Właściwe tasiemce wytwarzają wyodrębnione jednostki (segmenty/człony) zawierające kompletne zestawy narządów płciowych. Szyjka za główką jest strefą intensywnych podziałów komórek. Proces powstawania nowych członów to strobilizacja, a ich szereg to strobilus (strobila). Wraz z oddalaniem się członów od szyjki postępuje rozwój układów rozrodczych. Jaja wyprowadzane są przez otwór macicy w każdym segmencie lub wydostają się do środowiska zewnętrznego wraz z oderwanymi członami. Wśród tych tasiemców są pasożyty ssaków i człowieka (np. tasiemiec uzbrojony *Taenia solium* i nieuzbrojony *Taenia saginata*).

Tasiemce nie mają przewodu pokarmowego, a substancje pokarmowe wchłaniają powierzchnią tegumentu, dodatkowo zwiększoną poprzez mikrokosmki (mikrotrichy).

W uproszczonym cyklu życiowym zaawansowanych ewolucyjnie tasiemców, jaja składane są z już ukształtowanym embrionem. Do żywiciela pośredniego dostają się drogą pokarmową. Po strawieniu osłonki jajowej, larwa – onkosfera – przechodzi przez ścianę jelita. U tasiemców rozwijających się w bezkręgowcach w jamie ciała powstaje larwa wyposażona w ogonek (cysticerkoid; np. tasiemiec psi w pchle), a jeśli w kręgowcu — powstaje cysticercus (daw. wągier) np. u tasiemiec nieuzbrojonego *Taenia saginata* w mięśniach bydła lub uzbrojonego (*Taenia solium* w mięśniach świni). Zjadane przez żywiciela ostatecznego, osiedlają się w jelicie, gdzie rozpoczyna się wzrost. Jeśli żywicielem pośrednim stanie się człowiek, rozrastające się larwy tasiemców stanowią bezpośrednie zagrożenie życia ze względu na ich lokalizację.



Rys. 4.2. Tasiemce (po lewej – postać dorosła, po prawej na górze – główka z widocznymi hakami i przyssawkami, po prawej na dole – cysty z larwami bąblowca w wątrobie; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Płazińce wolnożyjące

Do płazińców wolnożyjących zaliczamy żyjące w czystych jeziorach i rzekach wirki (**Rys. 4.3.**). Są to niewielkie (1-2cm) płaskie zwierzęta pokryte urzęsionym nabłonkiem. Rzęski te umożliwiają im poruszanie się po podłożu i poszukiwanie pokarmu, którym są inne drobne bezkręgowce. Mimo swoich niewielkich rozmiarów wirki są aktywnymi drapieżnikami.



Rys. 4.3. Wirki (po lewej – gatunek słodkowodny, po prawej – inwazyjny gatunek lądowy; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Typ NEMATODA (NICIENIE)

Nicienie to zwierzęta o robakowatym, wydłużonym ciele i dobrze rozwiniętej jamie ciała wypełnionej płynem. Ich rozmiary sięgają od 150 μm do 8 m, generalnie są to jednak drobne organizmy, których organizacja ciała jest równocześnie wyrazem uproszczenia i daleko posuniętej specjalizacji do życia w glebie, osadach dennych, rozkładającej się materii organicznej lub jako pasożyty zwierząt i roślin (**Rys. 4.4.**). Podobnie jak stawonogi muszą zrzucić zewnętrzną okrywą ciała by rosnąć. Mają ustaloną liczbę wylinek: 4. Rozwój nicieni jest mniej lub bardziej zdeterminowany, a ciało najbardziej zaawansowanych ewolucyjnie (np. *Caenorhabditis*) buduje stała liczba komórek (eutelia).

Wielowarstwowa kutikula pasożytniczych nicieni zwiększa odporność na odpowiedź immunologiczną żywiciela, a także sprawia, że zwierzęta te są bardziej odporne na stres osmotyczny i wysychanie. Dotyczy to zwłaszcza pasożytów roślin i bezkręgowców, które mogą przetrwać lata w stanie niemal kompletnego odwodnienia. Ważną cechą kutikuli jest jej nierozciągłość, co powodowane jest obecnością włókien chityny. Warstwy kutikuli, których włókna ułożone są pod różnym kątem mogą się w nieznacznym stopniu przesuwają względem siebie, co decyduje o jej sprężystości. Dzięki tej właściwości zmniejszone są straty energii podczas skurczu mięśni, jednakże nie jest możliwy wzrost i kutikula musi być okresowo zrzucana. Powiększanie rozmiarów następuje pomiędzy linieniami, zanim nowa kutikula zeszywnieje.

U nicieni nie występują mięśnie okrężne, są natomiast cztery pasma mięśni podłużnych. Kurczą się naprzemiennie w parach, a rozciągają pod wpływem ciśnienia wywieranego przez płyn jamy ciała. Ciało wyginane jest w płaszczyźnie grzbietowo-brzuszej, gdyż nicienie leżą na jednym z boków. Wprawiają one organizm w ruch sinusoidalny, co pozwala na sprawne poruszanie się, zwłaszcza w gęstym, kleistym środowisku.

Cykle rozwojowe Nematoda są zróżnicowane. W przypadku wolno żyjących nicieni takich jak *Caenorhabditis*, z jaja wykuwa się larwa L1, która po serii linień przekształca się w

osobnika dorosłego. U pasożytów roślin z jaja uwalniana jest larwa L2. Stadium inwazyjne nicieni pasożytniczych stanowią larwy L3, które w sposób czynny lub bierny dostają się do organizmu żywiciela. Trzecie i czwarte linienie odbywa się w żywicielu ostatecznym. Wśród wolno żyjących, jak i pasożytniczych nicieni może występować zjawisko partenogenezy, gdy samica składa diploidalne jaja bez udziału samców.

Nicienie pasożytujące na zwierzętach mają niekiedy skomplikowane cykle życiowe. Mogą być to cykle jednożywicielskie (np. *Trichinella spiralis* – włosień kręty), bądź dwużywicielskie z udziałem żywiciela pośredniego i ostatecznego jak w przypadku *Dracunculus* – robaka z Medyny, czy filarii. Jeden z żywicieli może pełnić również rolę czynnika rozsiewającego tzw. wektora. Wektory to zazwyczaj krwio pijne stawonogi, np. komar w przypadku *Wuchereria* wywołującej stoniowaciznę. W przypadku pasożytów z cyklem życiowym jednożywicielskim, jak w przypadku włosogłówki *Trichuris*, czy glisty *Ascaris*, po połyknięciu jaja w jelicie żywiciela wykluwa się larwa L1, przechodzi kolejne linienia i przekształca się w osobnika dorosłego. Kolejne larwy zmieniają miejsce lokalizacji w żywicielu i migrują przez narządy. Po zapłodnieniu samica składa jaja, które są uwalniane do środowiska wraz z kałem żywiciela. Złożone (z wieloma żywicielami) cykle życiowe cechują pasożyty zwierząt wodnych (jak w przypadku *Anisakis*, którym człowiek może zarazić się spożywając ryby morskie).



Rys. 4.4. Przykłady nicieni (z lewej – *Caenorhabditis elegans*, ok. 1 mm długości; z prawej glista ludzka, która może osiągnąć nawet 50 cm długości; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Typ: SZKARŁUPNIE (ECHINODERMATA)

Szkarłupnie wyróżnia bardzo szczególny układ wodny (ambulakralny) składający się z licznych kanałów wewnątrz ciała wypełnionych wodą morską, która dostaje się do środka poprzez specjalną płytkę szkieletu – madreporyt. Do tego układu zaliczane są również tzw. nóżki ambulakralne, które umożliwiają ruch zwierzęcia oraz zdobywanie pokarmu. Szkarłupnie nie są zdolne do regulacji osmotycznej, dlatego zwykle nie występują w

wodach o istotnie obniżonym zasoleniu (np. w Bałtyku czy Morzu Czarnym). Ciało większości szkarłupni ma symetrię pięciopromienistą, co jest cechą odziedziczoną po osiadłym wspólnym przodku dzisiejszych szkarłupni. Niektóre grupy, np. strzykwy i jeżowce nieregularne, na powrót uzyskały symetrię dwuboczną. Szkarłupnie dzielimy na pięć gromad.

Liliowce (CRINOIDEA) (**Rys. 4.5.**) są zwierzętami typowo osiadłymi, mają filtracyjne „nóżki” ambulakralne rozmieszczone na ramionach, których szkielet składa się z licznych członów. Ich ciało ma postać kielicha z długą łodygą i pięcioma pierzasto rozgałęzionymi ramionami. U większości dzisiaj żyjących liliowców łodyga uległa zanikowi, a niektóre gatunki zdolne są nawet do krótkotrwałego aktywnego pływania.



Rys. 4.5. Przedstawiciele liliowców (po lewej – bezłodygowy, po prawej łodygowy; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rozgwiazdy (ASTEROIDEA) (**Rys. 4.6.**) mają ciało o budowie promienistej z pięcioma lub więcej, ramionami, w których znajdują się narządy wewnętrzne, np. gonady. Są one w stanie się aktywnie przemieszczać i polować na osiadłe zwierzęta, takie jak małże czy koralowce. Niektóre gatunki przystosowały się do życia na martwym drewnie. Podczas odżywiania wynicowują żołądek i trawią pokarm poza ciałem.



Rys. 4.6. Rozgwiazda (po lewej – cały okaz, po prawej koniec ramienia z widocznymi nóżkami ambulakralnymi; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

U wężowideł (OPHIUROIDEA) (**Rys. 4.7.**) narządy wewnętrzne są skupione w centralnej części ciała, a pięć umięśnionych długich i giętkich ramion pełni funkcje lokomotoryczne. Nóżki ambulakralne umożliwiają zbieranie pokarmu i przekazywanie go do otworu gębowego. Większość dziś żyjących gatunków to padlinożercy lub detrytusofagi. Istnieją też osiadłe formy o wielokrotnie dychotomicznie rozgałęzionych ramionach funkcjonujących jako aparat filtracyjny.



Rys. 4.7. Wężowidła (po lewej – gatunek detrytusofagiczny, po prawej gatunek filtrujący wodę; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Wyłącznie cechą jeżowców (ECHINOIDEA) (**Rys. 4.8.**) jest złożony aparat gębowy (latarnia Arystotelesa), służący do zeskrobywania pokarmu. Mają ciało zwykle kuliste lub lekko bochenkowato spłaszczone o symetrii promienistej, ale niektóre gatunki, które żyją zagrzebane w osadach dennych lub piasku, na powrót stały się dwuboczne (tzw. jeżowce nieregularne). Ciało jeżowców jest zazwyczaj opancerzone płytkami wapiennymi i pokryte kolcami, a nóżki ambulakralne służą najczęściej utrzymaniu powierzchni oskórka w

czystości. Większość jeżowców jest roślinożerna – ich pokarmem są mniejsze lub większe „glony” porastające różne powierzchnie na dnie morskim.



Rys. 4.8. Jeżowce (po lewej – dwa gatunki gatunek o promienistej symetrii z kolcami o różnej budowie, po prawej gatunek o symetrii dwubocznej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

W odróżnieniu od większości innych swobodnie żyjących szkarłupni, strzykw (HOLOTHURIOIDEA) (Rys. 9.) mają zwykle ciało wydłużone i dwubocznie symetryczne. Pęłzają po dnie morskim lub ryją nory wystawiając czułki na zewnątrz. Do śluzu wydzielanego przez czułki przylepiają się drobiny pokarmu przekazywane do otworu gębowego przez wnicowywanie czułków do wnętrza ciała. Są wśród nich też mutojady, a formy ryjące mają uchylki jelita funkcjonujące jako organy oddechowe (płuca wodne). Są dziś grupą bardzo zróżnicowaną, obejmującą również pływające aktywnie zwierzęta głębin oceanicznych i osiadłe filtratory z raf koralowych.



Rys. 4.9. Strzykwki (po lewej – gatunek głębinowy, po prawej – gatunek żyjący na rafie koralowej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

2. Przebieg zajęć

I: Wprowadzenie merytoryczne: omówienie zwierząt w obrębie typów: płazińców, nicieni i szkarłupni; charakterystyka mniej licznych w gatunki typów zwierząt (ale istotnych ze względu na badania nad ewolucją oraz ekologię środowisk morskich, w tym rafowych); wzajemne pokrewieństwa pomiędzy głównymi gałęziami ewolucyjnymi zwierząt (kontynuacja tematu rozpoczętego podczas pierwszego laboratorium).

II: Praca w grupach z preparatami płazińców i nicieni. Cel: poznanie budowy anatomicznej omawianych zwierząt i cech umożliwiających identyfikację ich w próbkach biologicznych.

III: Praca w grupach z preparatami szkarłupni. Cel: pozyskanie umiejętności rozpoznawania gatunków i klasyfikowanie ich do wyższych jednostek systematycznych.

IV: Pokaz: prezentacja żywych nicieni i płazińców; zaprezentowanie sposobów przemieszczania się i środowiska życia.

V: Mini projekt: opracowanie w grupach cyklu życiowego nicienia lub płazińca pasożytniczego i jego wpływ na interakcje ekologiczne w wybranym ekosystemie. Prezentacja opracowań poszczególnych zespołów w postaci krótkich prezentacji.

VI: Praca w grupach: Wykrywanie nicieni glebowych w próbach piasku (metoda flotacji i sedymentacji zgodnie z normami polskimi + regulacje prawne). Cel: poznanie metody, którą można wykorzystać także do innych rodzajów prób (z osadów ściekowych, gleby).

VII: Prezentacja: podsumowanie wiadomości dotyczących raf koralowych, omówienie ekosystemów rafowych funkcjonujących w różnych miejscach na Ziemi, utrwalenie wiadomości o zwierzętach budujących rafa.

3. Literatura

- I. Czesław Błaszak (Red.), 2013. Zoologia Bezkręgowce, Tom 1. Wydawnictwo PWN
- II. Czesław Błaszak (Red.), 2015. Szkarłupnie - płazy. Tom 3 Wydawnictwo PWN
- III. Richard Brusca, 2022. Invertebrates. Oxford University Press.
- IV. <https://pl.wikipedia.org/wiki/P%C5%82azi%C5%84ce>
- V. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Nicienie>
- VI. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Szkar%C5%82upnie>

Laboratorium V – ZOOLOGIA

Charakterystyka strunowców, ryby

dr Piotr Bernatowicz

1. Wprowadzenie do omawianych grup zwierząt.

Typ CHORDATA (STRUNOWCE)

Strunowce to zwierzęta wtórouste, które mają pięć charakterystycznych cech:

- Struna grzbietowa (elastyczny pręt biegnący wzdłuż ciała, który usprawnia pracę mięśni i ułatwia pływanie, a u zaawansowanych form obecny jest tylko na początku rozwoju zarodkowego).
- Układ nerwowy po grzbietowej stronie ciała (na początku rozwoju i u prostych form ma kształt cewki z rozrośniętymi pęcherzykami mózgowymi na początku ciała)
- Umięśniony ogon za odbytem (ogon najczęściej służy do lokomocji, ale u niektórych gatunków ulega redukcji)
- Endostyl (pierwotnie służy jako narząd do produkcji bogatego w jod śluzu, który ułatwia odfiltrowywanie pokarmu z wody, u kręgowców w trakcie rozwoju zarodkowego przekształca się w tarczycę)
- Szpary skrzelowe w gardzieli (połączenie układów wymiany gazowej z układem pokarmowym, u kręgowców lądowych ulegają one znacznym modyfikacjom)

Podtyp BEZCZASZKOWCE (ACRANIATA)

Są to zwierzęta przypominające trybem życia i budową strunowce na początku ich ewolucji. Są morskimi filtratorami często zagrzebującymi się w osadzie, ale w razie zagrożenia potrafią aktywnie pływać. Najbardziej znanym gatunkiem z tej grupy jest lancetnik (*Branchiostoma lanceolatum*) (**Rys. 5.1.**).



Rys. 5.1. Lancetniki zakopane w piasku (po lewej) i pojedynczy osobnik (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Podtyp OSŁONICE (TUNICATA)

To osiadłe lub planktonowe strunowce morskie przystosowane do pozyskiwania pokarmu poprzez filtrację wody. Dorosłe zwierzęta mają zazwyczaj bardzo rozwinięty endostyl i kosz skrzelowy będący organem filtrującym wodę. Mogą rozmnażać się zarówno płciowo jak i bezpłciowo (poprzez odpączkowanie kolejnych osobników). Część cech charakterystycznych dla strunowców można zaobserwować jedynie w stadium larwalnym (**Rys. 5.2.**).



Rys. 5.2. Kolonia osłonice z grupy żachw (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Podtyp VERTEBRATA (KRĘGOWCE)

To zwierzęta, które mają czaszkę (chroniącą mózg) i kręgosłup (którego kręgi ochraniają rdzeń kręgowy). Większość gatunków ma parzyste płetwy/kończyny, a w ciele obecna jest tkanka kostna i chrzęstna.

Infratyp: MYXINIDA (ŚLUZICE)

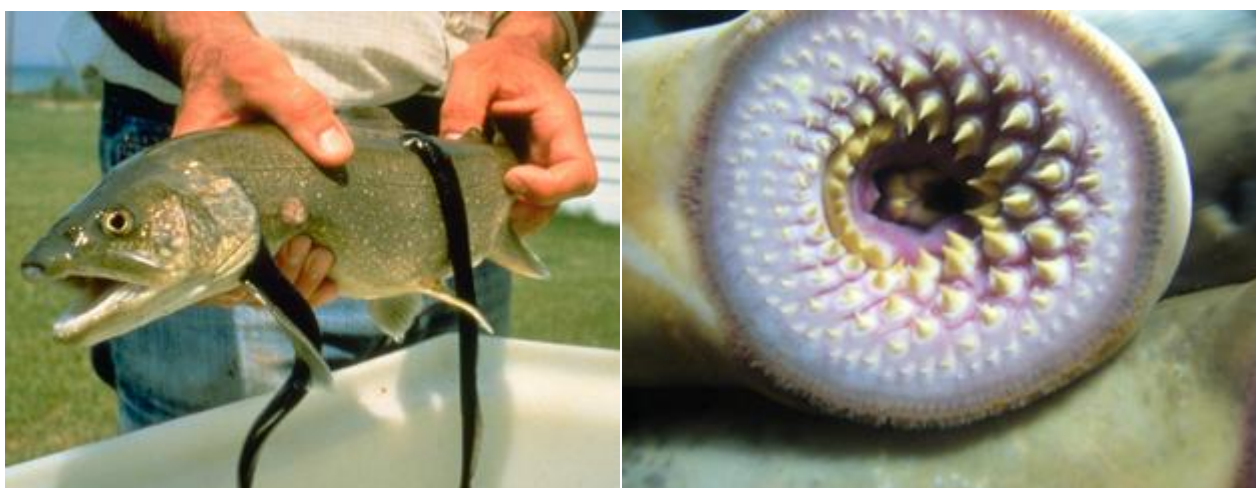
Zaliczamy tu wyłącznie morskie i często głębinowe zwierzęta o robakowatym kształcie bez płetw parzystych. Mają keratynowe szczęki poruszające się na boki. Są wyspecjalizowanymi padlinożercami (**Rys. 5.3.**).



Rys. 5.3. Śluzice żerujące na martwej rybie (po lewej) oraz pojedynczy osobnik (po prawej); źródło: <https://commons.wikimedia.org/>.

Infratyp: AGNATHA (BEZSZCZĘKOWCE)

W okresie dewońskim była to bardzo zróżnicowana grupa kręgowców, a obecnie reprezentowana przez tylko jeden rząd Petromyzyniformes (minogi) (**Rys. 5.4.**). Szkielet minogów jest chrzęstny, brak szczęk i płetw parzystych. Ich otwór gębowy jest otoczony setkami keratynowych ząbków. Są to pasożyty i drapieżniki, morskie, słodkowodne, często wędrowne. Zmiany środowiska ułatwia im wydajna osmoregulacja prowadzone przez wydłużone kanaliki nerkowe.



Rys. 5.4. Minogi pasożytujące na rybie (po lewej) oraz otwór gębowy minoga w formie przyssawki z licznymi keratynowymi ząbkami (po prawej); źródło: <https://commons.wikimedia.org/>.

Infratyp: GNATHOSTOMATA (SZCZĘKOWCE)

W obrębie szczękowców wyróżnia się tradycyjnie 4 gromady, razem łączone w parafiletyczną grupę ryby (Pisces). Dwie z nich: Placodermi (pancerne) i Acanthodi (fałdopłetwe), są całkowicie wymarłe, dwie zaś: kostnoszkieletowe i chrzęstnoszkieletowe stanowią znaczącą część dzisiejszej różnorodności kręgowców. Formalnie do kostnoszkieletowych zaliczamy obecnie również wszystkie kręgowce lądowe.

Gromada: CHONDRICHTHYES (CHRZĘSTNOSZKIELETOWE)

U dzisiejszych gatunków szkielet zbudowany jest głównie z tkanki chrzęstnej. Zęby na szczękach są ułożone w rzędach zwanych rodzinami zębowymi co umożliwia ich szybką wymianę. Zazwyczaj jeden ząb w rodzinie znajduje się w pozycji aktywnej umożliwiającej udział w pobieraniu pokarmu. Pozostałe są w tym czasie zatopione w dziąśle. Ciało jest pokryte drobnymi łuskami typu plakoidalnego. Łuski te przypominają kształtem grzybki albo ząbki z podstawą zatopioną w skórze i odstającą koroną.

Chrzęstnoszkieletowe są jajorodne, jajożyworodne lub żyworodne. Osmoregulację zapewnia utrzymywanie dużego stężenia mocznika w płynach ustrojowych, a nadmiar soli usuwany jest z organizmu przy pomocy gruczołu solnego znajdującego się w przewodzie pokarmowym niedaleko odbytu. W jelicie występuje zastawka spiralna (zwiększa powierzchnię jelita i ułatwia wchłanianie substancji pokarmowych).

Do chrzęstnoszkieletowych zaliczamy HOLOCEPHALI (zrostogłowe) (**Rys. 5.5.**) oraz ELASMOBRANCHII (rekiny i płaszczyki) (**Rys. 5.6.**).



Rys. 5.5. Przedstawiciel zrostogłowych – głębinowa chimera (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).



Rys. 5.6. Przedstawiciele chrzęstnoszkieletowych (po lewej płaszczki, po prawej rekin; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gromada OSTEICHTHYES (KOSTNOSZKIELETOWE)

Zwierzęta z tej grupy obejmują wszystkie pozostałe kręgowce. Mają szkielet zbudowany głównie z tkanki kostnej oraz organ powietrzny pełniący funkcję oddechową i/lub hydrostatyczną (płuco/płuca lub pęcherz pławny).

Podgromada ACTINOPTERYGII (PROMIENIOPŁETWE)

W tej grupie kręgowców płetwy parzyste mają skróconą podstawę i wydłużone promienie. Do najbardziej zaawansowanych zaliczamy TELEOSTEI (ryby doskonałokostne) obejmujące dzisiaj ponad 30 tys. gatunków. Ich cechy charakterystyczne to:

1. cienkie łuski (elastyczne) zbudowane głównie z białek. Mogą być cykloidalne (o gładkich brzegach) lub ktenoidalne (o brzegach z mikroskopijnymi kolcami, oddzielonymi od właściwej łuski).
2. Kostnienia międzymięśniowe (potocznie ości).
3. Niezwykle mobilny aparat gębowy. Kości szczęk o skomplikowanych ruchomych połączeniach z czaszką, zdolne wysuwać się do przodu i na boki.

Teleostei (**Rys. 5.7.**) dzielone są na około 40 rzędów. Najliczniej reprezentowane z nich to:

- a. Węgorzokształtne (Anguilliformes), charakteryzujące się wydłużonym ciałem, larwą liściastą (leptocephalus). Pływają za pomocą sinusoidalnego wyginania ciała prostopadle do kierunku ruchu, np. *Anguilla anguilla*, węgorz europejski.
- b. Śledziokształtne (Clupeiformes), charakteryzuje je twardy kil z łusek na brzusznej stronie bocznie spłaszczonego ciała.
- c. Łososiokształtne (Salmoniformes), mają pęcherz pławny otwarty do gardzieli, szkielet częściowo chrzęstny, płetwę tłuszczową (z reguły), wysuwane szczęki, zęby i drobną cykloidalną łuskę.
- d. Karpiokształtne (Cypriniformes). Przedstawiciele tego rzędu mają aparat Webera, pęcherz pławny otwarty, są wszystkożerne, często mają zęby gardłowe. Karpiokształtne są dominującą grupą w wodach słodkich.

- e. Sumokształtne (Siluriformes). Są pospolite w wodach słodkich, z otworem gębowym skierowanym do dołu i otoczonym wąsami czuciowymi lub przekształconym w przyssawkę. Często mają ciało spłaszczone grzbieto-brzusznie i żyją przy dnie.
- f. Okoniokształtne (Perciformes) „nowoczesny” rząd obejmujący wiele gatunków w większości morskich. Ich płetwy brzuszne zbliżone są do piersiowych. Mają ktenoidalne łuski, ostre promienie z przodu płetwy grzbietowej lub w pierwszej płetwie grzbietowej. Ich pęcherz pławny jest zamknięty lub go brak.



Rys. 5.7. Przedstawiciele sześciu rzędów promieniopłetwych (od lewej: węgorzokształtnych, śledziokształtnych, łosośiokształtnych, karpiokształtnych, sumokształtnych i okoniokształtnych; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Podgromada SARCOPTERYGII (MIĘŚNIOPIŁETWE)

To druga grupa kostnoszkieletowych o płetwach parzystych z wydłużoną podstawą i skróconymi promieniami. W jelicie występuje zastawka spiralna. Obecnie reprezentowane są przez dwie reliktowe grupy. Od mięśniopłetwych wywodzą się kręgowce lądowe.

Rząd COELACANTHIFORMES (CELAKANTOKSZTAŁTNE)

Grupa reprezentowana przez jeden rodzaj *Latimeria* (**Rys. 5.8.**). Jest to drapieżna ryba morska preferującą duże głębokości (poniżej 200 m p.p.m.), żyje w Oceanie Indyjskim. Pęcherz pławny wypełniony tłuszczem.



Rys. 5.8. Latimeria (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rząd DIPNOI (DWUDYSZNE)

Grupa reprezentowana jest przez tylko trzy słodkowodne rodzaje (**Rys. 5.9.**). Zęby mają zrosnięte w płyty, będące specjalizacją do kruszenia pancerzy mniejszych organizmów. Mają pojedyncze lub parzyste płuco aktywnie wykorzystywane do oddychania tlenem atmosferycznym. W rozwoju występuje stadium kijanki ze skrzelami zewnętrznymi. Większość gatunków jest zdolna zapadania w letarg w norach, umożliwiającą przetrwanie pory suchej.



Rys. 5.9. Przedstawiciele ryb dwudysznych (po lewej prapłaziec, po prawej rogozáb; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

2. Przebieg zajęć

I: Wprowadzenie merytoryczne: Ogólna charakterystyka strunowców; omówienie pięć unikatowych cech tych zwierząt; charakterystyka osiadłych i planktonowych ostonic i ich znaczenie w ekosystemach morskich; zarys ewolucji ryb z szczególnym naciskiem na cechy, które najprawdopodobniej umożliwiły tej grupie dominację zarówno w wodach morskich jak i słodkowodnych; krótka charakterystyka najważniejszych rzędów ryb promieniopłetwych; rola ryb w środowisku raf koralowych.

II: Praca w grupach z okazami świeżymi ryb. Cel: poznanie elementów morfologii ryb oraz cech umożliwiających identyfikację poszczególnych grup systematycznych i gatunków.

III: Praca w grupach z zakonserwowanymi okazami ryb. Cel: rozpoznawanie charakterystycznych kształtów ciała ryb i przyporządkowywanie ich do środowiska w jakim żyją lub do sposobu ich życia

IV: Mini projekt: rola ryb w ekosystemach słodkowodnych. Cel: poznanie w jaki sposób zwiększenie lub zmniejszenie liczebności poszczególnych gatunków ryb w rzekach/jeziorach Polski może wpływać na inne gatunki w analizowanych ekosystemach. Prezentacja rozważań studentów.

V: Prezentacja: gatunki inwazyjne ryb w Polsce: przegląd gatunków, drogi inwazji, wpływ na inne gatunki, środki zaradcze.

3. Literatura

- I. Czesław Błaszak (Red.), 2015. Szwamowce - gąbki. Tom 3 Wydawnictwo PWN.
- II. James S. Diana, Tomas O. Höök, 2023. Biology and Ecology of Fishes. Wiley.
- III. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Strunowce>
- IV. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Kr%C4%99gowce>
- V. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Os%C5%82onice>
- VI. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Ryby>
- VII. https://pl.wikipedia.org/wiki/Ryby_chrz%C4%99stnoszkieletowe
- VIII. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniop%C5%82etwe>

Laboratorium VI – ZOOLOGIA

Płazy i gady

dr Piotr Bernatowicz, dr hab. Paweł Koperski, prof. ucz.

1. Wprowadzenie do omawianych grup zwierząt.

Gromada AMPHIBIA (PŁAZY)

Płazy wyewoluowały z ryb mięśniopłetwych niecałe 400 milionów lat temu. Od ryb różnią się posiadaniem szyi (powstałej przez oddzielenie pasa barkowego od kości czaszki) i palców. Początkowo kończyny służyły do poruszania się po płycznach i równiach pływowych. Z czasem umożliwiły kroczenie po lądzie. Dzisiejsze płazy odziedziczyły po przodkach wiele cech związanych ze środowiskiem wodnym. Składają jaja w wodzie, przez co zapłodnienie może być wewnętrzne albo zewnętrzne.

Larwy płazów przystosowane są do tego środowiska, co jest wyraźnie zaznaczone w ich budowie. Występuje u nich serce typu rybiego (zatoka żylna, jeden przedsionek tzw. skrzelowy, jedna komora i stożek tętniczy). Ponadto cechą charakterystyczną larw jest obecność skrzeli zewnętrznych lub wewnętrznych umożliwiających oddychanie tlenem rozpuszczonym w wodzie, a także linia naboczna. (**Rys. 6.1.**). Podobnie jak ryby, płazy są zwierzętami ektotermicznymi, co oznacza, że temperatura ich ciała zależna jest od temperatury otoczenia. Produkty przemiany materii płazów, przekształcane są w mocznik, a nie w toksyczny amoniak i w ten sposób wydalone do środowiska zewnętrznego.



Rys. 6.1. Kijanki (larwy) płazów bezogonowych (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Płazy należą do bezowodniowców – ich jaja nie mają skorupy ani błon płodowych charakterystycznych dla bardziej zaawansowanych grup kręgowców. Właściwa komórka jajowa osłonięta jest miękkimi, galaretowatymi osłonkami zewnętrznymi chroniącymi jajo bądź zarodek przed wyschnięciem i uszkodzeniami mechanicznymi. Podsumowując,

płazy jako zwierzęta amfibiotyczne pozostały związane z oboma środowiskami – wodnym i lądowym.

Płazy odziedziczyły po rybach oddychających płucami dwa krwioobiegi. Ich obecność umożliwiła rozdzielenie krwi natlenionej i odtlenionej. Duży obieg rozprowadza z komory przez pień tętniczy natlenioną krew po całym ciele, a następnie odprowadza do serca przez zatokę żylną i prawy przedsionek, skąd kierowana jest małym (płucnym) obiegiem do płuc i skóry, gdzie jest ponownie natleniana. Po natlenieniu krew wraca do serca żyłą jelitową przez lewy przedsionek i wchodzi do krwioobiegu dużego. Serce płazów ma jedną komorę (która może być częściowo podzielona) i dwa przedsionki. Mieszanie się w sercu krwi natlenowanej z odtlenowaną (żylną) jedynie częściowo ogranicza gąbczasta struktura komory oraz zastawka spiralna w pniu tętniczym.

Po wkroczeniu kręgowców na ląd zanikły rybnie łuski i wykształciła się skóra z wielokomórkowymi gruczołami. Skóra płazów jest bardzo cienka, przepuszczalna dla wody i powietrza, a także zaopatrzona w znaczną ilość gruczołów śluzowych i jadowych. Jest ona drugim ważnym narządem wymiany gazowej dorosłych płazów. Z reguły pozbawiona jest rogowych wytworów naskórka (łusek, piór czy włosów), charakterystycznych dla innych gromad lądowych kręgowców. Aby możliwa była wymiana gazowa, skóra płazów musi pozostać wilgotna. Z tego względu są one ograniczone do życia w środowiskach wilgotnych, w pobliżu wody.

Prawdopodobnie na przetłomie karbonu i permu powstały trzy występujące dziś grupy płazów: płazy ogoniaste (Caudata), płazy bezogonowe (Anura) oraz płazy beznogie (Gymnophiona). Caudata i Anura są ze sobą bliżej spokrewnione niż z Gymnophiona.

Zależność od wilgotności powietrza i temperatury ogranicza ich występowanie głównie do obszarów stref tropikalnych i subtropikalnych. W strefie klimatu umiarkowanego żyje niewiele gatunków, ale niektóre dostosowały się nawet do warunków wiecznej zmarzliny. Barwa ciała płazów często pełni funkcję maskującą, a jaskrawe kolory zniechęcają drapieżniki. Kijanki płazów są roślinożerne lub drapieżne, natomiast dorosłe osobniki drapieżne – zjadają bezkręgowce i drobne kręgowce. Płazy prowadzą w większości nocny tryb życia.

Rząd Płazy beznogie (Gymnophiona; dawniej Apoda) (**Rys. 6.2.**)

Grupa ta przystosowała się do życia w glebie i ściółce (rycie i pełzanie), chociaż niektóre gatunki żyją też w wodzie. Płazy beznogie występują w strefie podzwrotnikowej i zwrotnikowej (tropikalne rejony obu Ameryk, Afryki i Azji). Liczą ok. 190 gatunków.



Rys. 6.2. Przedstawiciele płazów beznogich (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Rząd Płazy bezogonowe (Anura, Salientia) (Rys. 6.3.)

Ta grupa Liczy ok. 5370 gatunków, w Polsce 14 gatunków: 2 kumaki, 1 grzebiuszka, 3 ropuchy, 2 rzekotki, 6 żab. Płazy bezogonowe mają szeroki, silnie skrócony tułów oraz w pełni wykształcone kończyny. Kończyny tylne są silniejsze i dłuższe niż przednie, gdyż przystosowane są do pływania i skakania. Formy dorosłe nie mają ogona.



Rys. 6.3. Przedstawiciele polskich płazów bezogonowych (od lewej: żaba śmieszka, huczek ziemny, rzekotka zielona, kumak nizinny, ropuch szara; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Żyją na wszystkich kontynentach świata z wyjątkiem Antarktydy. W Europie występowanie niektórych gatunków sięga do koła podbiegunowego. Większość płazów bezogonowych jest jajorodna i obserwujemy u nich zapłodnienie zewnętrzne. Niektóre są żyworodne, wtedy występuje zapłodnienie wewnętrzne. Jaja najczęściej składane są do wody, tam też następuje ich rozwój i przeobrażenie. Larwy płazów bezogonowych są zazwyczaj roślinożerne lub wszystkożerne. Kończyny tylne rozwijają się u nich jako pierwsze.

Rząd Płazy ogoniaste (Caudata, Urodela) (**Rys. 6.4.**)

Rząd ten liczy ok. 550 gatunków, w Polsce 5 gatunków: salamandrę plamistą oraz 4 traszki. Płazy ogoniaste mają wydłużone ciało, cztery kończyny zbliżonej długości i dobrze rozwinięty ogon (aczkolwiek i w tej grupie możemy znaleźć gatunki o silnie zredukowanych kończynach). Zamieszkują głównie półkulę północną. Duże ich zróżnicowanie obserwowane jest w Ameryce Północnej. Zapłodnienie jest u nich zewnętrzne lub wewnętrzne. W zapłodnieniu wewnętrznym samice pobierają złożone przez samce spermatofory. Kijanki gatunków rodzimych są drapieżne – jako pierwsze rozwijają się u nich kończyny przednie. U niektórych płazów ogoniastych (np. odmieńców z rodzaju *Necturus*) obserwowana jest neotenia – uzyskiwanie dojrzałości płciowej przez zwierzę o postaci larwalnej.



Rys. 6.4. Przedstawiciele polskich płazów ogoniastych (od lewej: salamandra plamista i traszka grzebieniasta; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gromada: REPTILIA (GADY)

Okolo 315 milionów lat temu wyewoluowały owodniowce. Kluczową cechą było powstanie oskorupionego jaja z trzema błonami płodowymi (kosmówką, owodnią i omoczną). Pierwsze dwie otaczają i chronią zarodek, uczestnicząc w wymianie gazów z otoczeniem. Ostatnia jest zaangażowana w oddychanie i gromadzenie produktów przemiany materii. Występuje też błona pęcherzyka żółtkowego, która otacza kulę żółtkową i magazynuje pokarm.

Składanie oskorupionych jaj (wapiennych lub skórzastych) miało ogromne konsekwencje dla całego organizmu i wpłynęło znacząco na dalsze losy ewolucyjne tej grupy kręgowców. Zapłodnienie musi się odbywać wewnątrz ciała samicy, zanim jajo zostanie otoczone skorupką. Niezbędne do rozmnażania środowisko wodne zostało zastąpione płynem owodniowym wewnątrz owodni. Nie ma etapu larwy i jej przeobrażenia, rozwój zwierzęcia jest prostszy.

Uniezależnienie rozmnażania od wody sprawia, że owodniowce mogą całe życie spędzać na suchym lądzie. Wiąże się to jednak z szeregiem trudności. Na powietrzu skóra wysycha. By nie tracić wody i chronić ciało, skóra uległa pewnym modyfikacjom. Komórki w zewnętrznych warstwach nabłonka rozbudowują swój cytoszkielet, bogaty we włókna keratynowe. Następnie obumierają tworząc warstwę rogową naskórka. Skóra tworzy

różne tarcze rogowe, łuski i płytki kostne (osteoderm). Czyni to skórę suchą, ubogą w gruczoły i prawie nieprzepuszczalną dla gazów. W ten sposób owodniowce chronią swoje ciało, ale jednocześnie tracą ogromną powierzchnię wymiany gazowej.

Konsekwencją tego jest rozwój płuc, których wewnętrzne ściany uległy sfałdowaniu, rekompensując nieprzepuszczalność skóry. Te zmiany mają ogromne znaczenie dla układu krwionośnego. Krew natlenowana dociera do serca tylko z płuc, reszta ciała oddaje krew odtlenowaną. Trzeba je rozdzielić, by utrzymać odpowiednie proporcje gazów. Dlatego serce owodniowców ma nie tylko dwa oddzielne przedsionki, ale i przegrodę w komorze. U gadów nie jest kompletna, ale krew w komorze prawie się nie miesza, ponieważ w czasie skurczu przegroda styka się z przeciwległą ścianą serca.

Podobnie jak u płazów, czaszka miała początkowo litą budowę. Szybko jednak u niektórych form zaczęły się pojawiać okna w okolicy skroniowej. Było to związane ze zmniejszeniem ciężaru czaszki i rozwojem przyczepów mięśniowych. Formy z jednym, dolnym otworem skroniowym dały początek linii, która dzisiaj reprezentowana jest przez ssaki. Te z dwoma oknami skroniowymi nazywamy diapsydami, z których do dzisiaj żyją ptaki, krokodyle, jaszczurki i sfenodonty. Nie wszystkie owodniowce uległy temu trendowi i część zachowała pierwotną budowę okolicy skroniowej, pozbawioną okien. Nazywamy je anapsydami. Do niedawna zaliczano do nich żółwie, ale badania filogenetyki molekularnej wskazują, że żółwie mogą być diapsydami, które wtórnie utraciły okna skroniowe.

Na lądzie zdarzają się okresy niedoboru wody. Dlatego gady wydalają jej niewiele. Wymaga to lepiej rozbudowanych nerek, które wydzielają wysoko stężony kwas moczowy. Stąd w rozwoju embrionalnym prądnica przekształca się w nerkę ostateczną. Daje to ogromną przewagę gadom w suchych środowiskach. Innym problemem na lądzie są dużo większe wahania temperatur w porównaniu do wody. Gady są zmiennocieplne (dokładniej ektotermiczne). Regulacja ciepłoty ciała zachodzi za pomocą behawioru (m.in. wygrzewanie się w promieniach słonecznych). Poza tym gady mogą funkcjonować w znacznie większym zakresie temperatur ciała niż np. ssaki. Dzięki oszczędności energetycznej gady mogą jeść rzadziej niż zwierzęta stałocieplne.

Ponad 250 milionów lat temu diapsydy podzieliły się na dwie linie prowadzące do jaszczurek i gadów naczelnych. Gdzieś w tym miejscu na drzewie rodowym oddzieliły się od pozostałych gadów również **żółwie (Testudines)** (**Rys. 6.5.**). Wykształciły charakterystyczny, podzielony na płyty pancerz wokół tułowia służący do pasywnej obrony przed drapieżnikami. Najpierw z obojczyków i żeber brzusznych powstała w ewolucji dolna część – plastron. Potem z żeber i wyrostków kolczystych kręgow górna część – karapaks. Obie pokryte są warstwą keratynową, zastąpioną u niektórych gatunków przez zwykłą skórę. Dzisiejsze formy mają bezzębny rogowy dziób. Wśród żółwi występują zarówno mięsożercy jak i roślinożercy. Obecnie żyje ponad 300 gatunków, zamieszkujących lądy, morza i wody słodkie.



Rys. 6.5. Przedstawiciele żółwi (po lewej – żółw lądowy, po prawej – morski; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gady naczelne (Archosauria) charakteryzują się dodatkowym oknem przed oczodołem w czaszce i sprawniejszymi kończynami, podciągniętymi bardziej pod tułów. Podczas wymiany gazowej powietrze u archozaurów przechodzi przez kanaliki płucne w jednym kierunku, u bardziej zaawansowanych form wykształcone zostały worki powietrzne, a serce stało się w pełni czterodzielne. Spośród ogromnego bogactwa form (np. dinozaurów, pterozaurów, rauizuchów, aetozaurów) do dziś dotrwały ptaki i nieliczne **krokodyle (Crocodylia) (Rys. 6.6.)**. Te ostatnie powstały z lądowych, szybko biegających drapieżników i przystosowały się do wodno-lądowego trybu życia. Z tego względu kończyny uległy skróceniu. Okna czaszkowe u nich zarosły, a ciało pokryły osteodermy, zwiększając masywność szkieletu i ułatwiając zanurzanie w wodzie. Choć krokodyle są zmiennocieplne, zachowały czterodzielne serce i jednostronny przepływ powietrza w kanalikach płucnych. Obecnie żyje zaledwie 25 gatunków krokodyli. Za wyjątkiem krokodyla różańcowego wszystkie pozostałe są słodkowodne.



Rys. 6.6. Przedstawiciele krokodyli (po lewej – krokodyl, po prawej – gawial (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gady łuskonośne (Squamata) i ich krewni mają dwie pary okien skroniowych i funkcjonalne oko ciemieniowe, które związane jest z reagowaniem na światło i regulacją produkcji niektórych hormonów. Do gadów łuskonośnych zaliczanych jest około 10 000 gatunków. Dzielone są na jaszczurki i węże. U bardziej zaawansowanych łuskonośnych dobrze rozwinięty jest węch i narząd Jacobsona. Do tak zwanych jaszczurek zaliczamy m.in.: gekony, scynki, padalce, helodermy, warany, iguany, kameleony, amfisbeny

(Rys. 6.7.). Obecnie wiemy, że węże (Rys. 6.8.) są również grupą jaszczurek, które skrajnie zmodyfikowały swoją czaszkę w celu chwytania i połykania dużej zdobyczy. Kość kwadratowa jest u nich bardzo ruchoma, a szczęki są luźno połączone z czaszką. Pozwala to zaawansowanym ewolucyjnie węzom chwycić ofiary przekraczające ich własną średnicę. Węże wyewoluowały prawdopodobnie od podziemnych form, dlatego ich narządy zmysłów są mocno zmodyfikowane. Nie słyszą, z powodu utraty błony bębenkowej i ucha środkowego. Ich zdolność widzenia bywa różna, ale nadziemne potrafią przynajmniej śledzić ruchy. Rozwinęły za to skrajnie receptory chemiczne. Grzechotniki, pytony i niektóre boa wyposażone są w receptory reagujące na podczerwień (narząd termolokacyjny), by tropić emitujące dużo ciepła ssaki.



Rys. 6.7. Przedstawiciele jaszczurek (od lewej: gekon, scynk, amfisbena, waran, kameleon, padalec; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

W Polsce naturalnie występuje 10 do 12 gatunków gadów: 1 żółw, 5-6 jaszczurek w tym 1-2 padalce, 4-5 węży w tym 1 żmija. Wszystkie są pod ochroną. Zdarzają się też gatunki zawleczone np. żółw czerwonolicy.



Rys. 6.8. Czaszka węża (po lewej) i zdjęcie żmii zygzakowatej (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

2. Przebieg zajęć

I: Wprowadzenie merytoryczne: wprowadzenie do ewolucji płazów i owodniowców; środowisko życia a rozmnażanie się czworonogów; omówienie poszczególnych grup płazów i gadów ze szczególnym naciskiem na te, których przedstawiciele występujące w Polsce; omówienie przyczyn wrażliwości płazów na zmiany w środowisku naturalnym; przystosowania gadów do życia w suchym klimacie.

II: Praca w grupach z artykułami naukowymi oraz tekstami prawnymi. Cel: poznanie metod ochrony płazów i gadów w Polsce, Europie i na świecie, w tym metod monitoringu płazów w sieci Natura 2000 (Habitat Suitability Index dla płazów) oraz metod monitoringu gadów w sieci Natura 2000.

III: Praca w grupach z utrwalonymi osobnikami płazów i gadów oraz zdjęciami żywych okazów. Cel: poznanie charakterystyki i nauka oznaczania gatunków płazów i gadów w Polsce z uwzględnieniem wszystkich stadiów rozwojowych.

IV: Gra dydaktyczna o metodach czynnej ochrony płazów (i gadów) z testem (bez ocen).

3. Literatura

- I. Czesław Błaszak (Red.), 2015. Szkarłupnie - płazy. Tom 3 Wydawnictwo PWN.
- II. <https://pl.wikipedia.org/wiki/P%C5%82azy>
- III. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Gady>

Laboratorium VII – ZOOLOGIA

Ptaki i ssaki

dr Piotr Bernatowicz

1. Wprowadzenie do omawianych grup zwierząt.

Gromada AVES (PTAKI)

Cechy wyróżniające

Skóra dzisiejszych ptaków pokryta jest keratynowymi piórami. Część szkieletu jest spneumatyzowana (tzn. wewnątrz znajdują się przestrzenie wypełnione powietrzem). Na szczękach nie ma zębów tylko rogowy dziób. Przednia para kończyn przekształcona jest w skrzydła. U ptaków latających na mostku występuje listwa kostna – grzebień. Ptaki są kręgowcami jajorodnymi, stałocieplnymi, o temperaturze ciała 39–45°C. Serce złożone jest z dwóch przedsionków i dwóch komór, układ oddechowy tworzą płuca i system worków powietrznych. Brak jest pęcherza moczowego, u samic występuje tylko jeden jajnik i jajowód (lewy).

Przystosowania do lotu

Szereg cech budowy ciała ptaków wykazuje cechy przystosowania do lotu. Pióra (**Rys. 7.1.**) zewnętrznej warstwy mają długie i sztywne stosiny. Należą do nich lotki w skrzydłach, sterówki w ogonie oraz pióra pokrywowe na powierzchni ciała. Pióra puchowe leżące pod nimi i stanowiące warstwę termoizolacyjną mają miękkie stosiny i chorągiewki.



Rys. 7.1. Budowa typowego pióra okrywowego (1 – chorągiewka, 2 – stosina, 3 – promienie, 4 – przypiórko, 5 – dutka; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Szkielet ptaków jest mocny a przy tym lekki. Czaszka ptaków ma silnie rozwiniętą mózgową część, kości szczęk i podniebienia są elastycznie połączone. Kręgi odcinka piersiowego, lędźwiowo-krzyżowego i ogonowego kręgosłupa zrastają się ze sobą, co jest

jedną z cech przystosowawczych do lotu, gdyż zapewnia odpowiednią sztywność ciała. Ostatnie zrośnięte kręgi odcinka ogonowego (pygostyl) są wsparciem dla sterówek ogona.

Mostek ptaków jest u większości z nich dużą kością zamykającą klatkę piersiową od dołu. Kostny grzebień na mostku jest miejscem przyczepu dla dużych mięśni piersiowych poruszających skrzydłami. Mięsień piersiowy pociąga skrzydło w dół zaś mięsień kruczo-ramienny (antagonistyczny do poprzedniego) unosi je do góry. Zrośnięte obojczyki (furcula) stabilizują pas barkowy przy skurczach mięśni piersiowych.

Kości łonowe są szeroko rozstawione na boki, co wiąże się ze składaniem dużych jaj. U ptaków nielotnych mięśnie pasa biodrowego i kończyn tylnych przejmują główną rolę lokomotoryczną. U niektórych ptaków (np. kuraki i gołębie) przetyk rozszerza się w wole, które może być parzyste lub pojedyncze. Jego wielkość i budowa zależy od rodzaju pokarmu a także od funkcji, jakie spełnia. Żołądek dzieli się na część gruczołową, w której produkowane i wydzielane są soki trawienne oraz żołądek mięśniowy, który rozciera pokarm. Niestrawione resztki pokarmu mogą być przez niektóre ptaki (sowy, drapieżne, kozodoje, dzierzby, jerzyki) usuwane w postaci wypluwek przez otwór gębowy.

Płuca ptaków są zwarte i pozbawione opłucnej. Od głównego oskrzela odchodzą oskrzela grzbietowe (wdechowe) i oskrzela brzuszne (wydechowe). Oskrzela nie dzielą się, lecz przechodzą przez płuca i otwierają się do worków powietrznych – charakterystycznych dla ptaków struktur o cienkich, błoniastych ścianach. Oprócz funkcji oddechowych worki pełnią również funkcje termoregulacyjne.

Serce ptaków jest czterodziałowe, składa się z dwóch przedsionków i dwóch komórki oddzielonych od siebie komór. Do prawego przedsionka uchodzi krew żylna, która po przejściu przez prawą komorę serca trafia do płuc, skąd wraca do lewego przedsionka a następnie lewej komory i aorty, skąd tłoczona jest naczyniami tętniczymi na obwód.

Parzyste, umieszczone pod kręgosłupem trójpłątowe nerki wydalają do kloaki kwas moczowy. Brak pęcherza moczowego u ptaków z wyjątkiem strusi jest kolejnym wyrazem przystosowania do lotu poprzez zmniejszenie masy ciała. Jądra są parzyste. Układ rozrodczy żeński jest zredukowany do lewej części.

Układ nerwowy jest bardzo dobrze rozwinięty w związku z intensywną przemianą materii i umiejętnością latania. Silnie rozwiniętą częścią mózgu jest mózdzek odpowiedzialny za koordynację ruchów. Najlepiej rozwiniętymi narządami zmysłów są oczy i uszy, a wzrok u ptaków jest lepszy niż u ssaków. Ptaki mają dobrze rozwinięty narząd zmysłu magnetycznego. Umożliwia to dobrze latającym ich przedstawicielom wędrówki na znaczne odległości.

Systematyka dzisiejszych ptaków

Ze względu na gwałtowną radiację adaptacyjną ptaków na początku ich ewolucji, wzajemne pokrewieństwa pomiędzy grupami dziś żyjących gatunków są często trudne do

ustalenia, a podobieństwa w budowie zewnętrznej lub sposobie zdobywania pokarmu mogą być mylące i są przejawem konwergencji ewolucyjnej.

Dzisiejsze ptaki dzieli się na dwie duże grupy: PALEOGNATYCZNE i NEOGNATYCZNE biorąc pod uwagę przede wszystkim budowę czaszki, a szczególnie podniebienia. Do pierwszej grupy zaliczamy duże nietotne i sprawnie biegające ptaki takie jak: strusie, nandu, emu i kazuary, a także nowozelandzkie kiwi (**Rys 7.2.**).



Rys. 7.2. Przedstawiciele ptaków paleognatycznych: nandu (po lewej) oraz kiwi (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Ptaki neognatyczne, które się dziś dominującą (pod względem liczby gatunków) grupą, dzielimy na szereg rzędów:

- KURAKI i BLASZKODZIOBE, najprytywniejsze spośród ptaków neognatycznych, latające słabo lub na krótkie dystanse, typowe zagniazdowniki (**Rys. 7.3.**).



Rys. 7.3. Przedstawiciele kuraków (perlice, po lewej) oraz blaszkodziobych (kaczka czernica, po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- FLAMINGI i PERKOZY, związane ze środowiskiem wodnym, flamingi mają dziób umożliwiający odfiltrowywanie z wody drobnych skorupiaków, zagniazdowniki (**Rys. 7.4.**).



Rys. 7.4. Flaming (po lewej) perkoz (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- GOŁĘBIE, odżywiają się głównie pokarmem roślinnym (nasiona i owoce), w swoim wolu produkują pokarm dla młodych o składzie zbliżonym do ssaczego mleka, prymitywne gniazdowniki (**Rys. 7.5.**).

- KUKUŁKI, dobrze latające lub biegające ptaki, część gatunków podrzuca swoje jaja do gniazd innych ptaków (**Rys. 7.5.**).



Rys. 7.5. Przedstawiciel gołębi - sierpówka (po lewej) i kukułka (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- KRÓTKONOGIE, skrajnie przystosowane do lotu, należą do tego rzędu jerzyki (które mogą przez wiele miesięcy non stop unosić się w powietrzu) lub kolibry (zminiaturyzowani „nektarożercy”, potrafiący zawisnąć w powietrzu w jednym miejscu), na czas gorszej

pogody lub niedostatku pokarmu mogą znacznie spowolnić tempo swojego metabolizmu (**Rys. 7.6.**).



Rys. 7.6. Jerzyk (po lewej) i koliber (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- HOACYNY, typowi roślinożercy (mają komory w przewodzie pokarmowym, gdzie dochodzi do fermentacji zjedzonych liści, jak u przeżuwaczy) (**Rys. 7.7.**).

- SIEWKI, ptaki związane z wybrzeżami wód słodkich i morskich, drobne lub większe drapieżniki/padlinożercy (**Rys. 7.7.**).



Rys. 7.7. Hoacyn (po lewej) i mew (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- PINGWINY, ptaki skrajnie przystosowane do życia w morzu, przez wiele miesięcy mogą nie wychodzić na ląd (i robią to tylko by się rozmnożyć i są poza wodą bardzo niezdarne), ich skrzydła są przekształcone w płetwy i umożliwiają bardzo sprawne pływanie (**Rys. 7.8.**).



Rys. 7.8. Pingwiny pływające (po lewej) i kroczące po lądzie (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- Bociany, ptaki o masywnym dziobie brodzące w wodzie, ale też wśród traw, skuteczni drapieżnicy (polują na ryby i drobne kręgowce lądowe oraz duże bezkręgowce) (**Rys. 7.9.**).



Rys. 9. Przedstawiciele bocianów: dławigad (po lewej) i czapla (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- SZPONIASTE, aktywne drapieżniki lub padlinożercy, mają zakrzywiony dziób oraz silnie rozwinięte szpony na palcach stóp (**Rys. 7.10.**).

- SOWY, drapieżniki nocne o bardzo dobrze wykształconym wzroku oraz słuchu, charakteryzują się oczami skierowanymi do przodu oraz bezszelestnym lotem (**Rys. 7.10.**).



Rys. 7.10. Przedstawicie szponiastych: ryboń (po lewej) oraz sów: uszatka (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- PAPUGI, kolejne ptaki z zakrzywionym dziobem, ale najczęściej używanym do rozrywania twardych owoców oraz orzechów, o najczęściej bardzo barwnym upierzeniu (**Rys. 7.11.**).

- SOKOŁY, przypominające szponiaste, ale powstały niezależnie, aktywnie polują, często starając się dogonić ofiarę w locie (**Rys. 7.11.**).



Rys. 7.11. Przedstawicie papug: aleksandretta (po lewej) oraz sokołów (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- WRÓBLE/ZIARNOJADY, to najliczniejszy w gatunki rząd ptaków (około połowa gatunków), charakteryzują się złożonymi zachowaniem, budowaniem często skomplikowanych gniazd i skrajnym gniazdownictwem (**Rys. 7.12.**).



Rys. 7.12. Przedstawicie wróblowych (od lewej: kruk, jaskółka, sikora, remiz przy gnieździe, mysikrólik, szpak; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Gromada MAMMALIA (SSAKI)

Cechy wyróżniające:

- Ssaki mają włosy (pochodzenia naskórkowego) oraz gruczoły mleczne (mlekowe), które wyewoluowały z gruczołów potowych — to dwie najważniejsze cechy wyróżniające.
- U wszystkich ssaków młode wymagają dalszego karmienia mlekiem po urodzeniu.
- W uchu środkowym występują trzy kosteczki słuchowe (młoteczek, kowadełko, strzemiączko), a w czaszce — dwa kłykcie potyliczne (połączenie z kręgosłupem).
- Kora nowa (neocortex) jest silnie rozwinięta — odpowiada m.in. za uczenie się, pamięć i zachowania złożone.
- Serce jest czterojamowe (2 przedsionki, 2 komory), mają zupełnie oddzielne dwa obiegi krwi. Głównym produktem przemian azotowych jest mocznik (ssaki są ureoteliczne).
- Krwinki czerwone (erytrocyty) u większości ssaków są bezjądrzaste, mniejszych rozmiarów niż u płazów i w kształcie dwuwklęsłych dysków. Układ krążenia jest wysoko wydolny, co wspiera szybki metabolizm.

Zarys anatomii funkcjonalnej:

- Uzębienie ssaków jest zróżnicowane (heterodontia): zwykle wyróżnia się siekacze (tną, odrywają), kły (przebijają/chwytają) oraz zęby policzkowe — przedtrzonowe i trzonowe (rozdrabniają, np. żują pokarm roślinny lub odcinają kawałki zdobyczy u drapieżników). U większości gatunków zęby wymieniane są tylko raz w życiu (diplofia). U niektórych ssaków zęby są wtórnie ujednolicone (np. u delfinów).
- Ruchy żuchwy są złożone (nie tylko góra–dół, ale też do przodu i na boki), co pozwala szczególnie skutecznie rozcierać pokarm u roślinożerców. Umożliwia to szczególna budowa stawu skroniowo-żuchwowego i mięśni poruszających żuchwę.
- Przepona to charakterystyczny mięsień ssaków. Oddziela klatkę piersiową od jamy brzusznej i umożliwia wydajny, „tłokowy” oddech bez konieczności stałego unoszenia żeber.
- Termoregulacja: ssaki wytwarzają ciepło metabolicznie (endotermia) i utrzymują w przybliżeniu stałą temperaturę ciała. Nadmiar ciepła tracą m.in. przez parowanie potu ze skóry (gruczoły potowe) oraz zianie (parowanie ze śluzówki jamy ustnej i nosowej).
- Gruczoły skórne (potowe, łojowe, mlekowe, woszczynowe) powstają jako wpuklenia nabłonka ektodermalnego w głąb skóry i mają wspólny plan budowy, choć różnią się funkcją.

Stekowce i torbacze

Dzisiejsze stekowce (MONOTREMATA) (**Rys. 7.13.**) składają jaja, ale zarodek częściowo rozwija się w macicy dzięki odżywianiu z wydzieliny macicy, a dopiero potem jajo otrzymuje skórzastą osłonkę i jest składane. Młode piją mleko — u stekowców nie ma sutków, mleko wydzielane jest przez pole gruczołowe skóry.



Rys. 7.13. Przedstawicie stekowców: kolczatka (po lewej) i dziobak (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Żyworodność torbaczy (MARSUPIALIA) (**Rys. 7.14.**) nie jest w pełni rozwinięta w porównaniu z ssakami łożyskowymi, ich ciąża trwa krótko. Noworodek rodzi się bardzo niedojrzały, samodzielnie pełźnie do torby (jeśli ta występuje) i przytwierdza się do sutka. Odżywianie w macicy opiera się zwykle na zmodyfikowanym woreczku żółtkowym (łożysko woreczkowe), a „prawdziwe” łożysko kosmówkowo-omoczniove jest ograniczone lub nieobecne.



Rys. 7.14. Torbacze: młode na wczesnym etapie rozwoju w torbie (po lewej), młody osobnik bliski usamodzielnienia (w środku), samica dydelfa północnoamerykańskiego z potomstwem na grzbiecie (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Systematyka ssaków łożyskowych

Współczesne badania molekularne i dane kopalne wskazują, że główne linie ssaków łożyskowych (Eutheria) różnicowały się pod koniec kredy i na początku paleogenu, często

na odizolowanych masach lądowych. Najczęściej wyróżnia się cztery duże kłady: Xenarthra, Afrotheria, Laurasiatheria oraz Euarchontoglires.

- Gałąź XENARTHRA

To prymitywne ssaki łożyskowe (mrówkojady, pancerniki, leniwce). Obecnie zamieszkują głównie Amerykę Południową (część gatunków sięga Ameryki Północnej). Dziś żyje tylko kilka gatunków. Zajmują skrajne nisze ekologiczne (**Rys. 7.15.**).



Rys. 7.15. Przedstawiciele szczerebaków: mrówkojad (po lewej), pancernik (w środku), leniwiec (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- Gałąź AFROTHERIA

To zróżnicowana grupa afrykańskiego pochodzenia; należą tu m.in. mrównik (Tubulidentata), góraliki (Hyracoidea), słonie (Proboscidea) i brzegowce, czyli manatowate i diugonie (Sirenia) — jedyne całkowicie wodne roślinożerne ssaki. (**Rys. 7.16.**).



Rys. 7.16. Przedstawiciele Afrotheria (od lewej: mrównik, słoń, góralik, manat) (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

- Gałąź LAURASIATHERIA

Grupa obejmuje zaawansowane ssaki łożyskowe, m.in. drapieżne, parzysto- i nieparzystokopytne oraz nietoperze.

Drapieżne (Carnivora): pochodzą od form owadożernych, które przeszły na dietę mięsną. Cechą charakterystyczną są łamacze — przekształcone ostatnie przedtrzonowce górne (P4) i pierwsze trzonowce dolne (M1), działające jak nożyce. Do rzędu należą m.in. łasicowate, niedźwiedziowate, psowate, hienowate, kotowate (**Rys. 7.17.**).



Rys. 7.17. Przedstawiciele Drapieżnych (od lewej: wilk, niedźwiedź, wydra (łasicowate), ryś)
(źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Płetwonogie (Pinnipedia) stanowią część rzędu drapieżnych i wywodzą się z linii spokrewnionych z niedźwiedziami i łasicowatymi. Kończyny tylne i przednie przekształciły się w płetwy; ciało jest opływowe, a ogon krótki — napęd zapewniają głównie kończyny tylne (u fok) lub przednie (u uchatek) (**Rys. 7.18.**).



Rys. 7.18. Przedstawiciele płetwonogich: mors (po lewej) i mirunga (po prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Nieparzystokopytne (Perissodactyla) mają ewolucyjną tendencję do redukcji palców i palcochodności; u koniowatych pozostał tylko palec środkowy. Fermentacja zachodzi głównie w jelicie grubym. Do tego rzędu należą koniowate, tapiry, nosorożce. (**Rys. 7.19.**).



Rys. 7.19. Przedstawiciele nieparzystokopytnych (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Cetartiodactyla = Parzystokopytne (Artiodactyla) + walenie (Cetacea): kończyna zwykle oparta jest na dwóch środkowych palcach (III i IV). W obrębie tego rzędu znajdują się m.in. świniowate, wielbłądowate, przeżuwacze (Ruminantia) oraz walenie (Cetacea), które, jeśli chodzi o dzisiaj żyjące zwierzęta, są najbliższymi spokrewnionymi z hipopotamami. Natomiast przeżuwacze (Ruminantia) są ssakami skrajnie przystosowanymi do roślinożerności. Zdolność do przeżuwania i fermentowania pokarmu w żołądku dała im ogromną ekologiczną przewagę nad innymi roślinożercami, zarówno jeśli chodzi o maksymalizację ilości energii pozyskaną z pokarmu jak i zmniejszenia czasu żerowania (i wystawiania się na atak drapieżnika) (**Rys. 7.20.**).



Rys. 7.20. Przedstawiciele parzystokopytnych: dzik i hipopotam (u góry) i w tym przeżuwacze: jelen i antylopa (na dole; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Do waleni zaliczamy dwie grupy:

- Zębowce (Odontoceti) polują aktywnie i używają echolokacji (bardzo wysokie częstotliwości).
- Fiszbinowce (Mysticeti) filtrują drobny pokarm fiszbinami i komunikują się dźwiękami o niskich częstotliwościach (**Rys. 7.21.**).



Rys. 7.21. Przedstawiciele waleni w obrębie parzystokopytnych (źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Nietoperze (Chiroptera) to jedyne ssaki zdolne do czynnego lotu. Mają błonę lotną rozpiętą jest między wydłużonymi palcami dłoni i tułowiem/kończynami tylnymi/ogonem.

Wiele gatunków wykorzystuje echolokację podczas nawigowania w ciemności oraz namierzania pokarmu (**Rys. 7.22.**).



Rys. 7.22. Przedstawiciele nietoperzy (owocożernych i owadożernych; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

— Gałąź Euarchontoglires: należą tu gryzonie, zające oraz naczelné (a także inne mniej liczne w gatunki rzędy).

Gryzonie (Rodentia) i zające (Lagomorpha) mają stale rosnące siekacze oraz przerwę bezzębną (diastema) przed zębami policzkowymi. U wielu gatunków występuje koprofagia, czyli zjadanie miękkich odchodów z jelita ślepego w celu ponownego ich trawienia i lepszego wykorzystania składników pokarmowych (**Rys. 7.23.**).



Rys. 7.23. Przedstawiciel zajączaków (z lewej) i gryzoni (z prawej; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

Naczelne (Primates): rozwinęły chwytne kończyny (kciuk przeciwstawny), duże oczy osłonięte skostniałym oczodołem. Mają najczęściej widzenie wielobarwne oraz rozbudowaną korę mózgu, co sprzyja złożonym zachowaniom społecznym i uczeniu się (Rys. 7.24.).



Rys. 7.24. Przedstawiciele naczelnych (od lewej: wyrak, pigmejka, pawian, szympansz; źródło: <https://commons.wikimedia.org/>).

2. Przebieg zajęć

I: Wprowadzenie merytoryczne: wprowadzenie do ewolucji ptaków i ssaków ze szczególnym uwzględnieniem rozbieżnego pochodzenia obu grup; omówienie morfologii ptaków i przystosowań do lotu; zapoznanie z różnorodnością gatunków tych zwierząt zarówno w Polsce jak i na świecie; zachowania ptasie (w tym śpiew) i sposoby budowy gniazd; przyczyny i przebieg ptasich migracji; różnorodność morfologii ssaków jako przystosowania do różnorodnego środowiska życia oraz omówienie przystosowań do lotu, życia podziemnego, wodnego, nadrzewnego, na otwartych terenach trawiastych; skrajni roślinożercy oraz mięsożercy wśród ssaków; rola ssaków w ekosystemach, również antropogenicznych.

II: Praca w grupach nad preparatami czaszek ptaków i ssaków. Cel: dopasowywanie kształtu dzioba oraz typu uzębienia do diety zwierzęcia, nauka identyfikacji rzędów ptaków i ssaków.

III: Praca w grupach nad preparatami piór i fragmentów futra. Cel: poznanie funkcji upierzenia/owłosienia, nauka charakterystycznych elementów okrywy ciała niektórych gatunków lub grup ptaków i ssaków.

IV: Praca w grupach nad preparatami wypluwek sowych. Cel: nauka identyfikacji gatunku/grupy na podstawie niepełnego zestawu danych.

V: Podsumowanie części zoologicznej laboratoriów i wprowadzenie do kolokwium.

3. Literatura

- I. Czesław Błaszak (Red.), 2020. Zoologia Ssaki, Tom 3. Wydawnictwo PWN
- II. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Ptaki>
- III. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Ssaki>

Laboratorium VIII – MYKOLOGIA

Różnorodność i rola grzybów (FUNGI) w środowisku

Dr Mateusz Wilk

1. Wprowadzenie

Grzyby (Fungi) to ogromna grupa organizmów eukariotycznych w randze Królestwa. Choć dotąd opisano około 160 000 gatunków, całkowita istniejąca różnorodność grzybów jest oceniana na 1.5-5 mln gatunków. Niektóre grupy grzybów rozmnażają się płciowo i bezpłciowo, inne najprawdopodobniej jedynie bezpłciowo. U większości grzybów formy rozmnażające się płciowo (tzw. teleomorfy) i bezpłciowo (tzw. anamorfy) znacznie różnią się morfologią oraz ekologią, co powodowało, że dawniej opisywane były jako odrębne gatunki. Wśród grzybów znajdziemy zarówno organizmy o prostej, jednokomórkowej budowie ciała (plechy), jak i wielokomórkowe organizmy tworzące bardzo skomplikowane struktury (grzybnię i owocniki). Mamy tutaj organizmy zarówno mikroskopijne, jak i tworzące struktury widoczne gołym okiem. Są to organizmy wszechstronne pod kątem ekologii, znajdziemy wśród nich zarówno saprotrofy, jak i pasożyty czy symbionty. Wiele z nich potrafi przyjmować różne strategie życiowe w zależności od stadium rozwojowego czy warunków środowiskowych. Ich niezwykle zdolności adaptacyjne sprawiają, że jest to grupa o fundamentalnym znaczeniu dla funkcjonowania całej biosfery, mająca ogromny wpływ tak na obieg materii organicznej i różnych pierwiastków, jak i na całe zbiorowiska roślin i zwierząt. Celem niniejszych zajęć jest zapoznanie z ogólną różnorodnością taksonów i form życiowych grzybów, oraz przedstawienie najważniejszych aspektów ich biologii i ekologii.

2. Przebieg ćwiczeń

Temat 1: Różnorodność taksonomiczna, morfologiczna i różnorodność struktur służących do rozmnażania grzybów.

Zadanie 1: Morfologia struktur rozmnażania przedstawiciela skoczkwców (Chytridiomycota) – *Rhizophydium pollinis-pini*

Pobierz od prowadzącego kroplę zawiesiny zawierającej pyłek sosny zebrany z powierzchni zbiornika wodnego na torfowisku przejściowym, umieść na szkiełku podstawowym, dodaj do niej kroplę wody i przykryj szkiełkiem nakrywkowym. Obejrzyj preparat pod mikroskopem zwiększając powiększenie. Znajdź ziarna pyłku zainfekowane zarodnikami i zoosporangiami *Rhizophydium* i **narysuj oraz opisz zaobserwowane struktury oraz zanotuj powiększenie.**

Zadanie 2: Morfologia struktur rozmnażania bezpłciowego i płciowego u przedstawiciela pleśniakowców (Mucoromycota).

Przygotuj szkiełko podstawowe z kroplą wody. Następnie pobierz za pomocą igły preparacyjnej z szalki dostarczonej przez prowadzącego niewielką ilość materiału (fragmentu grzybni z kolonii grzyba). Delikatnie umieść materiał w kropli wody i nakryj szkiełkiem nakrywkowym, dbając o to, żeby w preparacie nie było zbyt wiele pęcherzyków powietrza. Obejrzyj preparat pod mikroskopem stopniowo zwiększając powiększenie.

Narysuj i opisz obraz spod mikroskopu, pamiętając o zanotowaniu taksonu/taksonów oraz powiększenia. Pamiętaj, że najprawdopodobniej konieczne będzie wykonanie kilku rysunków spod różnych powiększeń, aby dobrze zidentyfikować i opisać wszystkie struktury.

Zadanie 3: Morfologia struktur rozmnażania płciowego u różnych przedstawicieli workowców (Ascomycota)

a) Struktury w których tworzą się zarodniki płciowe – worki

Przygotuj szkiełko podstawowe z kroplą wody, a następnie umieść w niej materiał otrzymany od prowadzącego – może to być skrawek owocnika lub cały mikroskopijny owocnik, w zależności od dostępności materiału. Nakryj preparat szkiełkiem nakrywkowym, a następnie obejrzyj pod mikroskopem stopniowo zwiększając powiększenie. **Narysuj i opisz obraz spod mikroskopu**, skupiając się na workach i zarodnikach, koniecznie podpisz również takson, z którego materiał oglądasz i powiększenie.

b) Różne rodzaje owocników płciowych i struktur na których tworzą się owocniki płciowe u workowców

Obejrzyj przygotowane zestawy owocników różnych taksonów workowców. Postępując według wskazówek prowadzącego, niektóre owocniki obejrzyj pod binokulem, z innych wykonaj standardowe preparaty mikroskopowe. **Narysuj każdy owocnik i opisz go**, notując takson, typ owocnika (klejstotecjum, perytecjum, apotecjum, stroma z perytecjami) oraz zaznaczając warstwę rodzajną (hymenium), gdzie znajdują się worki z zarodnikami i powiększenie (jeśli korzystasz z mikroskopu/binokularu).

Zadanie 4: Morfologia struktur rozmnażania bezpłciowego u przedstawicieli workowców (Ascomycota)

Przygotuj cztery szkiełka nakrywkowe z kroplami wody i do każdego pobierz niewielką ilość materiału z kolonii czterech różnych taksonów grzybów dostarczonych przez prowadzącego (*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp.). Nakryj preparaty szkiełkami nakrywkowymi i obejrzyj pod mikroskopem stopniowo zwiększając powiększenie. **Narysuj i opisz obraz spod mikroskopu**, pamiętając, żeby zanotować takson i powiększenie.

Zadanie 5: Morfologia wybranych struktur wegetatywnych oraz struktur rozmnażania płciowego u przedstawicieli podstawczaków (Basidiomycota)

a) Grzybnia i jej modyfikacje - ryzomorfy

Obejrzyj najpierw pod binokulem szalkę z kolonią podstawczaka, a następnie obejrzyj materiał zielnikowy (ryzomorfy *Armillaria* sp.). **Narysuj oba obiekty** – postaraj się wykonać oba rysunki w skali (względem siebie), tak żeby uchwycić różnice w wielkości. Posiłkując się informacjami z prelekcji, **zanotuj** możliwe konsekwencje różnic w budowie i wielkości oglądanych struktur dla ich funkcji w środowisku (np. zwróć uwagę na wielkość i trwałość).

b) Struktury na których tworzą się zarodniki płciowe – podstawki

Przygotuj szkiełko podstawowe z kroplą wody, a następnie umieść w niej materiał otrzymany od prowadzącego – skrawek blaszek owocnika. Nakryj preparat szkiełkiem nakrywkowym, a następnie obejrzyj pod mikroskopem stopniowo zwiększając powiększenie. **Narysuj i opisz obraz spod mikroskopu**, skupiając się na podstawkach i zarodnikach, koniecznie podpisz również takson, z którego materiał oglądasz oraz powiększenie.

c) Różne rodzaje owocników płciowych u podstawczaków

Obejrzyj przygotowane zestawy owocników różnych taksonów podstawczaków. Postępując według wskazówek prowadzącego, niektóre owocniki obejrzyj pod binokulem, inne obejrzyj gołym okiem, wreszcie z niektórych wykonaj standardowe preparaty mikroskopowe. **Narysuj każdy owocnik i opisz go**, notując takson, typ owocnika oraz zaznaczając warstwę rodzajną (hymenium), gdzie znajdują się podstawki z zarodnikami oraz powiększenie (jeśli korzystasz z binokularu).

Temat 2: Strategie życiowe grzybów – od pasożytów do symbiontów

Zadanie 1: Grzyby pasożytnicze/patogeniczne

a) Pasożyty roślin – rdza żdźbłowa jako przykład wyspecjalizowanego grzyba fitopatogenicznego

Przygotuj szkiełko podstawowe z kroplą wody. Następnie, posługując się igłą preparacyjną, wydłub trochę materiału z czarnych i pomarańczowych plamek na żdźbłach trawy dostarczonych przez prowadzącego. Nakryj preparat szkiełkiem nakrywkowym i obejrzyj pod różnym powiększeniem. **Narysuj obraz spod mikroskopu i opisz oglądane struktury**, notując takson grzyba oraz skupiając się na różnych typach zarodników, zanotuj też powiększenie.

b) Pasożyty/patogeny zwierząt.

Obejrzyj pod binokulem przygotowane obiekty różnych taksonów grzybów infekujących owady. **Narysuj każdy obiekt i opisz go**, notując m.in. takson grzyba i owadziego gospodarza, powiększenie (jeśli korzystasz z binokularu) oraz szczegóły morfologii.

Zadanie 2: Saprofityczne grzyby niszczące drewno i podstawowe typy rozkładu drewna

Obejrzyj i zbadaj (dotknij, spróbuj rozkruszyć) dokładnie próbki drewna dostarczone przez prowadzącego. Następnie, posiłkując się informacjami z prelekcji, **wypełnij poniższą tabelę**.

Typ rozkładu	Biały	Brunatny
Schematyczny rysunek		
Struktura		
Konsystencja		
Kolor		
Preferencyjnie rozkładany substrat		
Przykładowe taksony grzybów		
Najczęstsze taksony drzew		

Zadanie 3: Grzyby tworzące symbiozy – grzyby zlichenizowane

a) Różnorodność morfologiczna porostów.

Obejrzyj przygotowane zestawy plech różnych taksonów porostów. Postępując według wskazówek prowadzącego, niektóre plechy obejrzyj pod binokulem, inne obejrzyj gołym okiem. **Narysuj plechę każdego taksonu i opisz ją**, notując takson, typ plechy, grupę (fykoporost czy cyjanoporost) oraz zaznaczając, tam gdzie to widoczne, struktury rozmnażania płciowego i wegetatywnego. Zanotuj też powiększenie, jeśli korzystasz z binokularu.

b) Metabolity wtórne porostów – prosty test barwny.

Postępując według wskazówek prowadzącego, umieść kroplę stężonego KOH (uwaga! Konieczne rękawiczki i ostrożność – substancja żrąca!) na kawałkach plech otrzymanych gatunków porostów i **zanotuj reakcję barwną (lub jej brak)**.

Takson	Reakcja brawna	Metabolit

Napisz do czego w praktyce może przydać się taki test barwny?

Zadanie 5: Grzyby tworzące symbiozy – ukryty świat grzybów mykoryzowych

a) Grzyby tworzące endomycorkozy

Obejrzyj przygotowany przez prowadzącego preparat pod różnymi powiększeniami. **Narysuj i opisz oglądane struktury**, zanotuj powiększenie.

b) Grzyby tworzące ektomycorkozy

Obejrzyj pod binokulem przygotowane przez prowadzącego materiały w szalce – fragmenty korzeni różnych gatunków drzew zainfekowanych przez grzyby tworzące ektomycorkozy. **Narysuj i opisz oglądane struktury**, zanotuj też takson drzewa i powiększenie.

Zadanie 6: Skomplikowany świat ekologii grzybów

Przygotuj listę wszystkich rodzajów grzybów, które zostały przedstawione na ćwiczeniach w postaci materiałów do obejrzenia. Następnie użyj smartfonu i wejdź na stronę bazy danych FunGuild (<https://www.funguild.org/>), gdzie zgromadzone są syntetyczne informacje na temat ekologii taksonów grzybów na poziomie rodzaju. Kliknij w „DB Queries” i w polu „Query term” wpisz łacińską nazwę rodzajową. Następnie kliknij „Submit Query” i **zanotuj** jakie informacje podano w polach „Trophic mode” i „Guild”.

Takson	Trophic mode	Guild

Napisz jakie wnioski można wysnuć z tych informacji?

3. Literatura

- I. Podbielkowski, Z., Rejment-Grochowska, I., Skirgiełło, A. Rośliny zarodnikowe. PWN Warszawa (wydanie najnowsze, raczej pomijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne ponieważ są przestarzałe).
- II. Szweykowscy A. i J. Botanika, tom I i II. PWN, Warszawa (wydanie najnowsze, raczej pomijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne, ponieważ są przestarzałe).
- III. Moore D., Robson GD, Trinci APJ. 2011. 21st Century Guidebook to Fungi. Cambridge University Press (oraz nowsze wydanie; bardzo dobry podręcznik angielski)
- IV. <https://www.davidmoore.org.uk/> - wersja internetowa podręcznika Moore i in.
- V. <https://www.adelaide.edu.au/mycology/> - Mycology Online, internetowe źródło informacji o grzybach (głównie o znaczeniu medycznym) przygotowane przez pracowników Uniwersytetu w Adelaide, Australia
- VI. Atlas Grzybów - <https://grzyby.pl/> - internetowy atlas grzybów wielkoowocnikowych, pełna wersja jest płatna, ale bezpłatnie dostępne są podstawowe informacje.
- VII. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1754504815000847> - publikacja Nguyen i in. (2016) FUNGuild: An open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild, opisująca bazę FunGuild

Laboratorium IX – BOTANIKA

Głony

Dr Maja Łukomska-Kowalczyk

1. Wprowadzenie

Głony to nie jednostka systematyczna, ale grupa ekologiczna obejmująca organizmy o zbliżonym trybie życia i zajmowanych niszach ekologicznych. Obejmują organizmy należące do różnych gałęzi drzewa życia eukariontów (**Rys. 9.1.**), a także niektóre bakterie (sinice). Większość z nich zasiedla środowiska wodne lub bardzo wilgotne środowiska lądowe. Są autotrofami – przeprowadzają fotosyntezę tlenową – oraz brak im typowej budowy tkankowej.

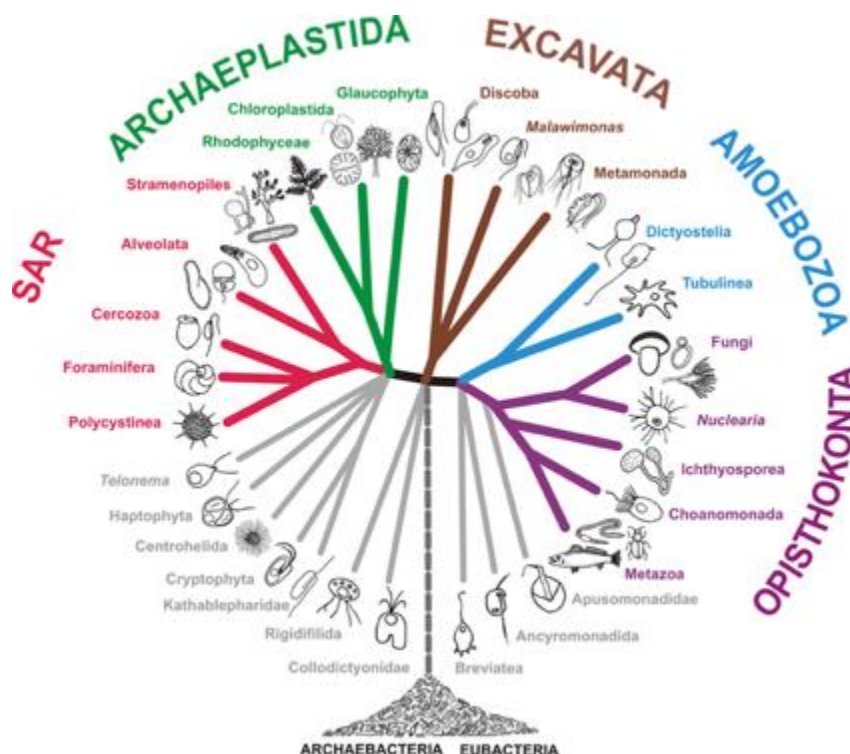
Pod względem organizacji ciała mogą być:

- jednokomórkowe – o budowie kokalnej (nieruchliwe) lub monadalnej (ruchliwe, z wiciami);
- kolonijne – np. formy nitkowate lub cenobia;
- wielokomórkowe plechowe – o różnym stopniu złożoności, w tym plechy parenchymatyczne.

Chloroplasty wszystkich grup glonów (i roślin lądowych także) powstały w wyniku endosymbiozy.

Endosymbioza pierwotna zaszła, kiedy pierwotna eukariotyczna komórka pochloneła sinicę, która nie uległa strawieniu, tylko powstał z niej **chloroplast otoczony dwiema błonami**. **Chloroplasty krasnorostów, zielenic i ramienic pochodzą z endosymbiozy pierwotnej.**

W wielu grupach glonów dodatkowo dochodziło do **wtórnych endosymbioz**, gdy jedna komórka eukariotyczna wchłaniała drugą – już z chloroplastem i przekształcała ją we własny chloroplast (otoczony trzema lub czterema błonami plazmatycznymi). Chloroplasty pochodzące z różnych endosymbioz wtórnych posiadają wszystkie glony spoza grupy Archaeplastida - między innymi: brunatnice, okrzemki, złotowiciowce, kryptomonady, haptofity, eugleniny, brunatnice.



Rys. 9.1. Drzewo filogenetyczne eukariontów. Źródło: Adl SM, Simpson AG, Lane CE, Lukeš J, Bass D, Bowser SS, Brown MW, Burki F, Dunthorn M, Hampl V, Heiss A, Hoppenrath M, Lara E, Le Gall L, Lynn DH, McManus H, Mitchell EA, Mozley-Stanridge SE, Parfrey LW, Pawłowski J, Rueckert S, Shadwick L, Schoch CL, Smirnov A, Spiegel FW. The revised classification of eukaryotes. *J Eukaryot Microbiol.* 2012 Sep;59(5):429-93. doi: 10.1111/j.1550-7408.2012.00644.

Przegląd grup glonów omawianych na zajęciach:

Domena: BACTERIA

Królestwo: Bacteria

Typ: CYANOBACTERIA (Sinice)

Komórki sinic mają typową budowę komórek prokariotycznych, pozbawionych organelli ruchu (komórki kokkalne). Ich ściana komórkowa zbudowana jest z mureiny i przypominają budowę bakterii Gram-ujemnych. Komórki są często otoczone śluzową pochewką. Zawierają wyłącznie chlorofil a oraz barwniki fikobilinowe – niebieską fikocyjaninę i czerwoną fikoerytrynę. Barwniki te znajdują się w tylakoidach (wpukleniach błony komórkowej). Dzięki zjawisku adaptacji chromatycznej sinice potrafią dostosować skład barwników do głębokości wody, co umożliwia im efektywne wykorzystanie światła o różnej długości fali.

Sinice rozmnażają się wyłącznie bezpłciowo, przez podział komórki. Po podziałach mogą tworzyć różne typy kolonii. Niektóre sinice wytwarzają wyspecjalizowane komórki – heterocyty, zdolne do wiązania azotu oraz spory, pełniące funkcję przetrwalną.

Występowanie: na całym świecie, zarówno w wodzie słodkiej jak i słonej, a także w środowiskach lądowych.

Znaczenie: z nich wywodzą się chloroplasty, prowadzenie przez nie fotosyntezy przyczyniło się do zgromadzenia tlenu w atmosferze Ziemi, są składnikiem porostów, mogą powodować toksyczne zakwity wód.

Domena: EUKARYA

Supergrupa: SAR (Stramenopila, Alveolata, Rhizaria)

Do tej supergrupy należy bardzo wiele linii filogenetycznych glonów o chloroplastach z pochodzących z wtórnej endosymbiozy (m. in. złotowiciowce, okrzemki, bruzdnice, brunatnice)

Klasa: BACILLARIOPHYCEAE (Okrzemki)

Okrzemki to organizmy jednokomórkowe, pozbawione organelli ruchu (komórki kokkalne). Ich chloroplasty pochodzą z wtórnej endosymbiozy, otoczone są czterema błonami, zawierają chlorofil a i c oraz karotenoidy. Komórki są diploidalne i otoczone charakterystycznym krzemionkowym pancerzykiem (**Rys. 9.2**). Rozmnażają się głównie przez podziały komórkowe, które skutkują stopniowym zmniejszaniem rozmiarów komórek; odzyskanie pierwotnych rozmiarów możliwe jest dzięki przejściu procesu płciowego i tworzeniu auksospor.



Rysunek 9.2. Pancerzyk okrzemki. Źródło: Esser K., 2000. Kryptogamen 1. Cyanobakterien, Algen, Pilze, Flechten. Prakticum und Lehrbuch. Wyd. 3. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokyo.

Występowanie: przede wszystkim w wodach morskich, ale również w wodach słodkich.

Znaczenie: wykorzystywane w biomonitoringu czystości wód, a ich pancerzyki po obumarciu budują złoża ziemi okrzemkowej, używanej m.in. w filtracji i przemyśle. Są ogromną grupą, zawierającą wielką liczbę gatunków zasiedlających bardzo różnorodne nisze ekologiczne.

Klasa: PHAEOPHYCEAE (Brunatnice)

Wielokomórkowe glony, często duże i o skomplikowanej budowie wewnętrznej. Plecha parenchymatyczna często podzielona na nibyorgany: fylloid, kauloid i ryzoid. Zawierają chlorofil a i c oraz fukoksantynę, nadającą im brunatne zabarwienie. W obrębie brunatnic wyróżnia się m.in.:

- Rząd Fucales, dla którego charakterystyczne jest rozmnażanie przez oogamię,
- Rząd Laminariales, u którego występuje przemiana pokoleń z dominacją sporofitu.

Występowanie: wyłącznie morskie. Najliczniej występują w chłodnych morzach o dużym zasoleniu, głównie w strefie litoralnej.

Znaczenie: gatunki takie jak *Macrocystis* tworzą rozległe „podwodne lasy”, które są ostoją dla wielu gatunków. Plechy brunatnic mogą być spożywane przez ludzi.

Supergrupa: DISCOBA

Mikroorganizmy eukariotyczne, w większości heterotroficzne, ale jedna linia posiada chloroplasty pochodzące z wtórnej endosymbiozy z zielenicą.

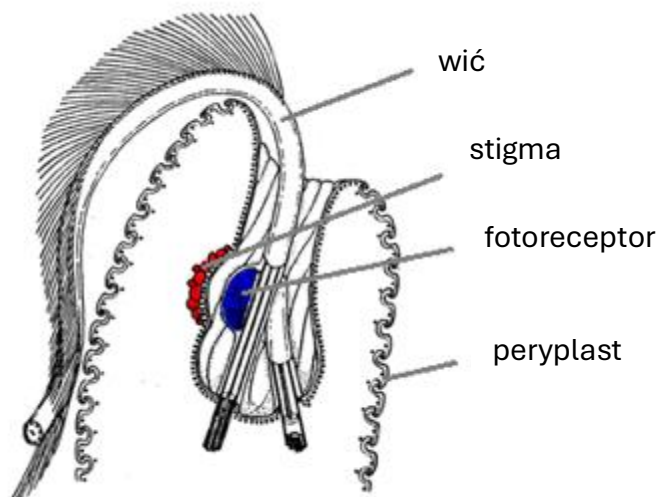
Grupa: EUGLENOZOA

Klasa: EUGLENOPHYCEAE (Eugleniny zielone)

Jednokomórkowe glony o komórkach uwicionych (monady). Wici zlokalizowane z przodu komórki (wici ciągnące). Charakterystyczna budowa gardzieli (**Rys. 9.3**), stigmy oraz elastyczna pokrywa komórki (peryplast). Zawierają chlorofil a i b, a materiałem zapasowym jest paramylon, magazynowany jako ziarna w cytoplazmie lub na chloroplaście (pirenoidy).

Występowanie: głównie słodkowodne, przede wszystkim w niewielkich zbiornikach hipertroficznym, ale są też nieliczne gatunki morskie.

Znaczenie: mogą tworzyć zakwity w wodach słodkich



Rys. 9.3. Schemat budowy gardzieli autotroficznej eugleniny. źródło: Mignot, J-P. (1966). Structure et ultrastructure de quelques Euglénomonadines. Protistologica 2:51–117 (zmienione).

Supergrupa: Archaeplastida (Rośliny)

Organizmy posiadające chloroplasty z pierwotnej endosymbiozy, otoczone dwiema błonami. W tej supergrupie znajdują się też rośliny lądowe.

Typ: RHODOPHYTA (Krasnorosty)

Organizmy wielokomórkowe i jednokomórkowe. Posiadają chlorofil a i barwniki fikobilinowe, magazynują skrobię sinicową. Często mają skomplikowane cykle życiowe, w przypadku krasnorostów morskich często z więcej niż jednym pokoleniem sporofitu ($2n$), natomiast w przypadku słodkowodnego rodzaju *Batrachospermum* z dominacją $1n$ gametofitu.

Występowanie: głównie w ciepłych morzach, głębiej niż brunatnice, a także w wodach słodkich

Znaczenie: udział w tworzeniu raf koralowych (bo odkładają węglan wapnia)

Typ: CHLOROPHYTA (Zielenice)

Mają bardzo różne formy życiowe – od jednokomórkowych, przez kolonijne (często nitkowate), aż po plechowe. Zawierają chlorofil a i b, a materiałem zapasowym jest skrobia.

Występowanie: morskie i słodkowodne

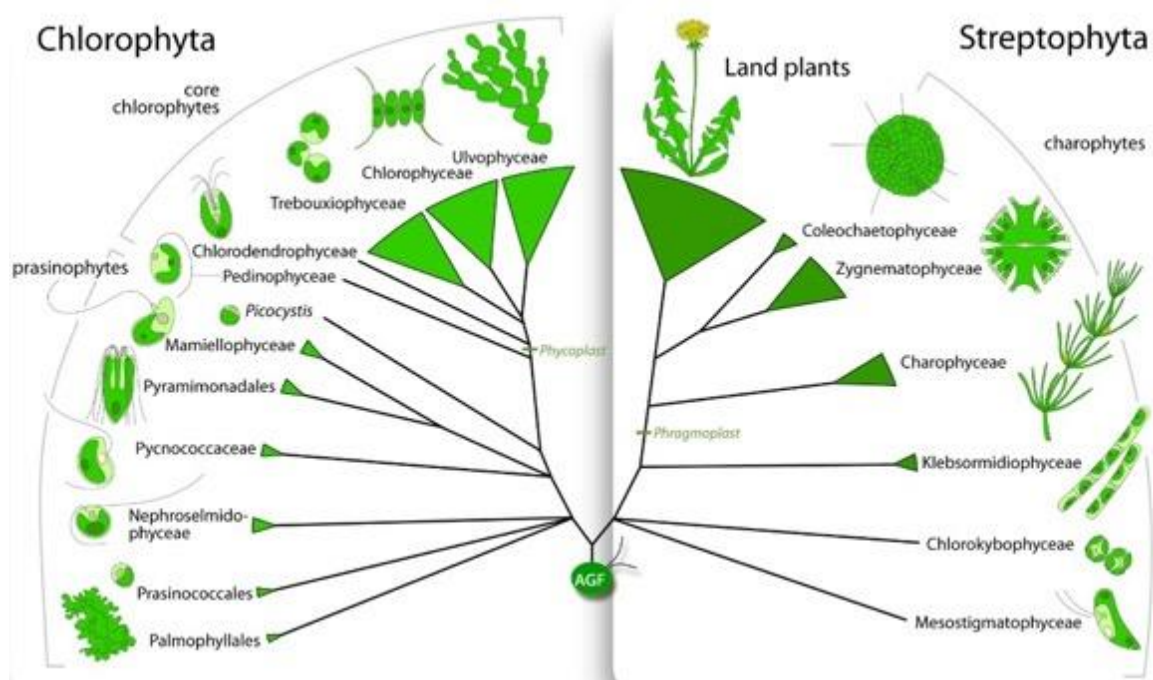
Znaczenie: Są ważnym składnikiem fitoplanktonu

Typ: CHAROPHYTA (=STREPTOPHYTA) – Ramienice

Ramienice obejmują formy jednokomórkowe, kolonijne i plechowe. Zawierają chlorofil a i b, a materiałem zapasowym jest skrobia.

Występowanie: wyłącznie w wodach słodkich.

Znaczenie: z tej grupy wywodzą się rośliny lądowe, tu są ich najbliżsi krewni (**Rys. 9.4**)



Rys. 9.4. Drzewo filogenetyczne Chlorophyta i Streptophyta. Źródło: Leliaert F, Smith DR, Moreau H, Herron MD, Verbruggen H, Delwiche CF & De Clerck O (2012) Phylogeny and molecular evolution of the green algae. Critical Reviews in Plant Sciences 31: 1-46.

2. Przebieg ćwiczeń

Zadanie 1: sinice

Wykonaj preparaty mikroskopowe, obejrzyj, **narysuj przedstawicieli wymienionych rodzajów sinic**, zaznacz wymienione elementy.

- *Chroococcus* sp. (otoczka śluzowa, pojedyncza komórka wegetatywna)
- *Anabaena* sp. (spora, heterocyt, komórka wegetatywna)
- *Nostoc* sp. (komórka wegetatywna, heterocyt, kolonia)

Zadanie 2: okrzemki

Wykonaj preparat mikroskopowy materiału z peryfitonu (powierzchni łądygi rośliny szuwarowej), obejrzyj, **narysuj dwie okrzemki należące do różnych rodzajów**, zaznacz ornamentację pancerzyków.

* Rodzaje, które mogą pojawić się w preparacie: *Cymbella*, *Gomphonema*, *Pinnularia*

Zadanie 3: eugleniny

Wykonaj preparat z hodowli euglenin, **narysuj komórkę przedstawiciela rodzaju *Phacus* lub *Euglena***. Zaznacz stigmę, wici, jądro komórkowe, ziarna paramylonu.

Zadanie 4: brunatnice

- Obejrzyj okazy zielnikowe i **wypisz nazwy pięciu rodzajów przedstawicieli brunatnic**.
- Narysuj przedstawicieli wymienionych rodzajów brunatnic** i podpisz wymienione elementy:
 - *Laminaria* sp. (fylloid, kauloid, ryzoid)
 - *Fucus* sp. (konceptakle – miejsce zachodzenia oogamii)

Zadanie 5: krasnorosty

Znajdź przedstawicieli następujących rodzajów krasnorostów i **narysuj (lub opisz)** ich pokrój ogólny.

- *Hindenbrandtia*
- *Delesseria*
- *Batrachospermum*

Zadanie 6: zielenice

Wykonaj preparat mikroskopowy, obejrzyj, **narysuj przedstawiciela jednego z dwóch wymienionych rodzajów** i zaznacz wymienione elementy.

- *Pediastrum* sp.
- *Desmodesmus* sp. (pojedyncza komórka, kolonia typu cenobium)

Zadanie 7: ramienice

Wykonaj preparaty mikroskopowe, obejrzyj, **narysuj przedstawicieli wymienionych rodzajów** i zaznacz wymienione elementy.

- *Microsterias* sp. lub *Closterium* sp. (jądro komórkowe, chloroplast)
- *Spirogyra* sp. (chloroplast, kanał koniugacyjny, zygospora)
- *Chara* sp. (makroskopowo, węzły i międzywęzła)

3. Literatura

- I. Podbielkowski, Z., Rejment-Grochowska, I., Skirgiełło, A. Rośliny zarodnikowe. PWN Warszawa (wydanie najnowsze, pomijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne ponieważ są przestarzałe).
- II. Szweykowscy A. i J. Botanika, tom I i II. PWN, Warszawa (wydanie najnowsze, pomijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne, ponieważ są przestarzałe).
- III. Robin A. Matthews. Freshwater Algae in Northwest Washington, I, Cyanobacteria. Western Washington University. <https://cedar.wvu.edu/cedarbooks/6/>
- IV. Robin A. Matthews. Freshwater Algae in Northwest Washington, Volume III. Desmids, Part A. Western Washington University. <https://cedar.wvu.edu/cedarbooks/14/>
- V. Robin A. Matthews. Freshwater Algae in Northwest Washington, Volume II, Chlorophyta and Rhodophyta. Western Washington University. <https://cedar.wvu.edu/cedarbooks/1/>
- VI. Freshwater Algae Key. <http://snoringcat.net/algaekey/index.php>

Laboratorium X – BOTANIKA

Ewolucja przystosowań do środowiska lądowego (mszaki-paprotniki-nagonasienne)

Prof. Rafał Milanowski, Dr hab. Monika Mętrak

1. Wprowadzenie

Wyjście roślin na ląd

Wyjście roślin na ląd było jednym z najważniejszych wydarzeń w dziejach życia na Ziemi. Choć wiązało się z ogromnymi trudnościami, dawało też wiele korzyści. Na lądzie rośliny zyskały dostęp do światła słonecznego, które nie było tłumione przez wodę, oraz do dużych ilości dwutlenku węgla, niezbędnego w procesie fotosyntezy. Ponadto mogły rozprzestrzeniać się na ogromnych, niezamieszkanym dotąd obszarach, unikając w początkowym okresie konkurencji ze strony innych organizmów. Jednak życie poza wodą niosło także liczne wyzwania, do których rośliny musiały się stopniowo przystosować:

- Unikanie wysychania – w suchym powietrzu konieczne było ograniczenie utraty wody
- Pobieranie i transport wody oraz soli mineralnych
- Utrzymanie ciała w pionie – w świecie lądowym nie było już siły wyporu wody
- Ochrona gamet i zarodków w suchym i najczęściej niestabilnym środowisku
- Rozmnażanie uniezależnione od wody
- Ochrona przed promieniowaniem UV i zmiennymi warunkami

Jak nie wyschnąć?

Najważniejszym wyzwaniem dla pierwszych roślinnych zdobywców lądów było wysychanie. Komórki roślin wodnych łatwo traciły wodę w suchym powietrzu, dlatego u pierwszych roślin lądowych pojawiła się kutykula – cienka warstwa wosku, która działała jak naturalna bariera chroniąca przed parowaniem. Jednak całkowite „zamknięcie się” nie było możliwe, bo roślina musiała wymieniać gazy potrzebne do fotosyntezy. Rozwiązaniem były aparaty szparkowe – mikroskopijne zawory regulujące dostęp powietrza i jednocześnie kontrolujące utratę wody.

Skąd brać wodę i sole mineralne?

Na lądzie nie wystarczało już bierne wchłanianie substancji przez całą powierzchnię ciała. Wobec tego, pierwsze rośliny lądowe zaczęły wykształcać przystosowania, umożliwiające magazynowanie i przewodzenie wody na zewnątrz organizmu, np. kubeczkowate zagłębienia plechy, pierzaste liście czy włosowate chwytniki, których podstawową funkcją jest przytwierdzanie roślin do podłoża. Stopniowo zaczęły pojawiać się pierwsze proste tkanki przewodzące, które umożliwiały transport wody na niewielką odległość wewnątrz rośliny.

Problem pionu

W wodzie organizm był unoszony dzięki sile wyporu. Na lądzie pierwsze rośliny musiały samodzielnie przeciwstawiać się grawitacji. Najprostszym rozwiązaniem był turgor, czyli ciśnienie wody w komórkach, które napinało ich ściany i utrzymywało roślinę w pozycji wyprostowanej. To dlatego mszaki – potomkowie wczesnych roślin lądowych – do dziś są niewielkie i blisko przylegają do podłoża.

Ochrona delikatnych gamet i zarodków

W wodzie plemniki mogły swobodnie przepływać do komórek jajowych. Na lądzie taki sposób rozmnażania byłby skrajnie niepewny. Dlatego u pierwszych roślin wykształciły się gametangia – wielokomórkowe osłonki chroniące gamety przed wysychaniem. Jeszcze ważniejszym przełomem było to, że zarodek zaczynał rozwijać się na gametoficie i był przez niego odżywiany.

Przemiana pokoleń

U pierwszych roślin lądowych dominował gametofit – haploidalna forma życia, która fotosyntetyzowała i była samodzielna. Sporofit natomiast był niewielką, krótkotrwałą strukturą wyrastającą na gametoficie. W ten sposób rośliny zaczęły stopniowo rozwijać cykl życiowy z przemianą pokoleń, gdzie obok gametofitu pojawiał się sporofit, produkujący zarodniki (spory) odporne na trudne warunki środowiska. To właśnie zarodniki były strukturami, dzięki którym mogły przetrwać suszę i rozprzestrzeniać się po lądzie. Pierwsze rośliny lądowe były więc niewielkie, miękkie i wciąż silnie uzależnione od wody – ale ich innowacje: kutykula, aparaty szparkowe, chwytники, gametangia i rozwój zarodników – otworzyły drogę do dalszej ewolucji. To właśnie te skromne pionierskie formy przygotowały grunt dla paproci, drzew iglastych, a w końcu dla wielkiej eksplozji roślin kwiatowych, które dziś dominują na naszej planecie.

Jak rozwijały się innowacje?

Z czasem te pierwsze zdobycze ewolucyjne zaczęły być udoskonalane przez kolejne grupy roślin: paprotniki (widłaki, skrzypy, paprocie) rozwinęły prawdziwe korzenie oraz znacznie bardziej zaawansowane tkanki przewodzące – ksylem i floem – co pozwoliło im rosnąć na większe rozmiary. Ich sporofit stał się dominującą fazą cyklu życiowego, a gametofit uległ redukcji, choć wciąż był widoczny i zdolny do samodzielnego życia. Paprotniki nadal potrzebowały wody do zapłodnienia, bo plemniki były ruchliwe. Rośliny nasienne poszły o krok dalej: ich gametofity zostały zredukowane do maleńkich struktur rozwijających się wewnątrz organów sporofitu (np. ziarna pyłku i woreczka zalążkowego). Dzięki temu gamety były dobrze chronione przed wysychaniem. Pojawienie się pyłku uniezależniło zapłodnienie od obecności wody, a nasiona stały się bezpiecznym „opakowaniem” dla zarodka z zapasem pokarmu. To właśnie rośliny nasienne ostatecznie podbiły ląd, zasiedlając nawet najbardziej suche i wymagające środowiska.

Rośliny zarodnikowe

Najstarsze rośliny lądowe musiały znaleźć sposób, by przekazywać życie dalej. Jednym z najstarszych i najprostszych sposobów rozmnażania było wytwarzanie zarodników – maleńkich, zwykle jednokomórkowych struktur, które mogły przetrwać trudne warunki i kiełkować w nowe organizmy. To właśnie od nich swoją nazwę wzięła cała grupa – rośliny zarodnikowe. Zarodek jest otoczony twardą ścianą, odporną na wysychanie. Może być przenoszony przez wiatr na duże odległości. W sprzyjających warunkach kiełkuje i daje początek kolejnemu pokoleniu. W ten sposób rośliny zarodnikowe rozmnażają się i rozprzestrzeniają. Do tej grupy zaliczamy:

- Mszaki (mchy, wątrobowce, glewiki) – u nich dominującym pokoleniem jest zielony, haploidalny gametofit, a sporofit jest niewielki i zależny od gametofitu.
- Paprotniki (widłaki, skrzypy, paprocie) – tutaj dominuje już sporofit, samodzielna i duża roślina, gametofit jest natomiast silnie zredukowany.

Choć dziś na Ziemi dominują rośliny nasienne, to właśnie rośliny zarodnikowe były tymi, które przez miliony lat kształtowały lądowe ekosystemy. Dzięki nim powstały lasy w dewonie i karbonie, które dały początek złożom węgla kamiennego. Co więcej, wciąż są istotną częścią przyrody – mchy magazynują wodę w torfowiskach, a paprocie i skrzypy budują runo leśne.

Od zarodników do nasion – kolejny krok w ewolucji

Rośliny zarodnikowe przez setki milionów lat dominowały na Ziemi, ale w pewnym momencie pojawiło się rozwiązanie, które całkowicie zmieniło grę – nasiono. Było ono niczym kapsuła ratunkowa: wewnątrz znajdował się zarodek, czyli młoda roślina, wraz z zapasem pokarmu i twardą osłoną chroniącą przed wyschnięciem i uszkodzeniami. Dzięki temu potomstwo mogło przetrwać długie okresy niekorzystnych warunków i rozpocząć rozwój wtedy, gdy środowisko znów stawało się sprzyjające. Kolejną rewolucją był pyłek. To on sprawił, że zapłodnienie nie wymagało już obecności wody – plemniki zamknięte w pyłku mogły być przenoszone przez wiatr, a później także przez owady. Dzięki temu rośliny nasienne mogły zasiedlać miejsca, gdzie paprotniki czy mszaki nie miałyby szans: suche stepy, piaszczyste gleby czy wysokie góry. Rośliny nasienne – najpierw nagonasienne, a później okrytonasienne, czyli rośliny kwiatowe – przejęły władzę nad światem roślinnym. To one zbudowały wielkie tajgi, tropikalne lasy deszczowe a później łąki i sady. Można powiedzieć, że w dziejach roślin nasiono było wynalazkiem, który otworzył zupełnie nowy rozdział w historii życia na lądzie.

Systematyka: Mszaki

Typ: Marchantiophyta

Klasa: Marchantiopsida

Klasa: Jungermanniopsida

Typ: Bryophyta

Klasa: Sphagnopsida

Klasa: Bryopsida

Klasa: Polytrichopsida

Systematyka: Paprotniki

Typ: Lycopodiophyta

Klasa: Lycopodiopsida

Klasa: Selaginellopsida

Klasa: Isoëtopsida

Typ: Pteridophyta

Klasa: Psilotopsida

Rząd: Ophioglossales

Rząd: Psilotales

Klasa: Equisetopsida

Klasa: Polypodiopsida

Rząd: Polypodiales

Rząd: Salviniaceae

Systematyka: Nagozalążkowe

Typ: Pinophyta – nagozalążkowe

Klasa: Cycadopsida – sagowce

Klasa: Gnetopsida – gniotowe

Klasa: Ginkgopsida – miłorzębowe

Klasa: Pinopsida – iglaste

Rodzina: Pinaceae

Rodzina: Cupressaceae

Rodzina: Taxaceae

2. Przebieg ćwiczeń

Temat 1: Budowa morfologiczna mszaków, paprotników i nagozalążkowych

Zadanie 1: Budowa morfologiczna gametofitów mszaków

Obejrzyj (możesz skorzystać z binokularu) wskazane przez prowadzących obiekty.

Narysuj pokrój ogólny gametofitów poszczególnych gatunków i podpisz zaobserwowane struktury.

- *Marchantia polymorpha* (Marchantiophyta, Marchantiopsida)
- *Bazzania trilobata* (Marchantiophyta, Jungermanniopsida)
- *Sphagnum* sp. (Sphagnopsida)

- *Hylocomium splendens* (Bryopsida)
- *Polytrichum commune* (Polytrichopsida)

Zadanie 2: Budowa morfologiczna sporofitów paprotników

Obejrzyj (możesz skorzystać z binokularu) wskazane przez prowadzących obiekty.

Narysuj pokrój ogólny sporofitów poszczególnych gatunków i podpisz zaobserwowane struktury.

- *Lycopodium annotinum* (Lycopodiopsida)
- *Isoetes lacustris* (Isoëtopsida)
- *Selaginella kraussiana* (Selaginellopsida)
- *Ophioglossum vulgatum* lub *Botrychium lunaria* (Psilotopsida, Ophioglossales)
- *Equisetum arvense* (Equisetopsida)
- *Polypodium vulgare* (Polypodiopsida, Polypodiales)
- *Salvinia natans* (Polypodiopsida, Salviniaceae)

Zadanie 3: Budowa morfologiczna sporofitów nagozalążkowych

Obejrzyj (możesz skorzystać z binokularu) wskazane przez prowadzących obiekty.

Przeanalizuj budowę pędów a następnie przyporządkuj je do poszczególnych gatunków. Skorzystaj z informacji w Tabeli 10.1.

Temat 2: Budowa anatomiczna mszaków, paprotników i nagozalążkowych

Zadanie 1: Budowa anatomiczna gametofitu *Marchantia polymorpha*

Przygotuj przekrój poprzeczny przez plechę *Marchantia polymorpha* i obejrzyj pod mikroskopem. **Narysuj i podpisz** zaobserwowane struktury.

Zadanie 2: Budowa anatomiczna gametofitu *Sphagnum* sp.

Przygotuj dwa preparaty z: (1) fragmentem pędu oraz (2) pojedynczym listkiem *Sphagnum* sp. wypreparowanym za pomocą igły. Obejrzyj je pod mikroskopem, **narysuj i podpisz zaobserwowane struktury.**

Zadanie 3: Budowa anatomiczna gametofitu *Polytrichum commune*

Obejrzyj pod mikroskopem gotowy preparat przedstawiający przekrój poprzeczny przez pęd *Polytrichum commune*. **Narysuj i podpisz** zaobserwowane struktury.

Zadanie 4: Budowa anatomiczna drewna sosny

Przygotuj trzy przekroje przez pęd sosny *Pinus sylvestris* – przekrój poprzeczny, podłużny styczny i podłużny sieczny. Obejrzyj je pod mikroskopem, **narysuj i podpisz** zaobserwowane struktury.

Tabela 10.1.

	Pokrój (drzewo, krzew)	Obecność krótkopędów	Liczba liści na krótkopędzie	Obecność nasiona w osnówce	Obecność szyszki i jej charakter	Ułożenie liści na pędzie	Sposób umocowanie liścia	Typ liścia	Pienność rośliny	Takson
1	Krzew	0	0	1	0	Naprzeciwległe, Okótkowo	Przyrastający szeroką podstawą	Cienki, łuskowaty, uwsteczniiony, odpadający	Dwupienna	<i>Ephedra sp.</i>
2	Drzewo	1	Kilka	1	0	Szczytowo	Ogonek liściowy umocowany w krótkopędzie	Szeroko- blaszkowy, na długim ogonku	Dwupienna	<i>Ginkgo biloba</i>
3	Drzewo	1	2	0	1, Owalna	Szczytowo	Wyrasta z tusek krótkopędu	Igłowaty	Jednopienna	<i>Pinus sylvestris</i>
4	Drzewo	0	0	0	1, Wydłużona rozpadająca się	Naprzeciwległe	Na stopce z pędu	Igłowaty	Jednopienna	<i>Abies alba</i>
5	Drzewo	0	0	0	1, Wydłużona, Nierozpadając a się	Skrętoległe	Na trzoneczku z pędu	Igłowaty	Jednopienna	<i>Picea abies</i>
6	Drzewo	1	Wiele	0	1, Owalna, drobna	Szczytowo	Bezpośrednio z krótkopędu	Igłowaty	Jednopienna	<i>Larix sp.</i>
7	Krzew	0	0	0	Szyszkogagoda, z 3 tusek	W okótkach po 3	Bezpośrednio, szeroką podstawą z pędu	Igłowaty	Jednopienna	<i>Juniperus communis</i>
8	Drzewo lub krzew	0	0	0	Okrągła, drobna	Nakrzyżległe,	Płasko rozpostarty na spłaszczonym pędzie	Igłowaty, łuskowaty	Jednopienna	<i>Chamaecyparis sp.</i>
9	Drzewo lub krzew	0	0	1	0	Naprzeciwległe	Bezpośrednio z pędu, na krótkim ogonku	Igłowaty	Dwupienna	<i>Taxus baccata</i>
10	Drzewo lub krzew	0	0	0	Wydłużona, drobna	Nakrzyżległe	Płasko rozpostarty na spłaszczonym pędzie	Igłowaty/ łuskowaty	Jednopienna	<i>Thuja sp.</i>

3. DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ I SPRAWDŹ SWOJĄ WIEDZĘ:

Zintegrowana platforma edukacyjna – Adaptacje roślin do życia na lądzie:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/DFmJL48l1>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Ogólna charakterystyka mszaków:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/DFb1zuQdB>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Cechy adaptacyjne mszaków do życia na lądzie:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/D1HUUG7UP>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Przegląd systematyczny i znaczenie mszaków:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/D16BfGPkc>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Wirtualny mikroskop. Mszaki:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/DYmp89fHB>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Paprotniki – pierwsze organowce lądowe:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/DSQffNNKp>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Przegląd systematyczny paprotników:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/D1Ci4Agps>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Paprotniki wymarłe i współczesne – znaczenie dla człowieka: <https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/DeCxcJrLv>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Cechy aromorfotyczne paprotników:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/DEvsW6nBV>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Ogólna charakterystyka roślin nagonasiennych:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/D1G0xxYpc>

Zintegrowana platforma edukacyjna – Przegląd systematyczny nagonasiennych:
<https://zpe.gov.pl/a/wprowadzenie/DS1DDqtDe>

4. Literatura

- I. Podbielkowski, Z., Rejment-Grochowska, I., Skirgiełło, A. Rośliny zarodnikowe. PWN Warszawa (wydanie najnowsze, z tej pozycji omijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne).
- II. Szwejkowscy A. i J. Botanika, tom I i II. PWN, Warszawa (wydanie najnowsze, z tej pozycji omijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne).
- III. Seneta W., Dolatowski J. Dendrologia (wyd. 3 i nowsze). PWN, Warszawa.

Laboratorium XI – BOTANIKA

Ewolucja procesu rozmnażania (mszaki-paprotniki-nagonasienne)

Prof. Rafał Milanowski, Dr hab. Monika Mętrak

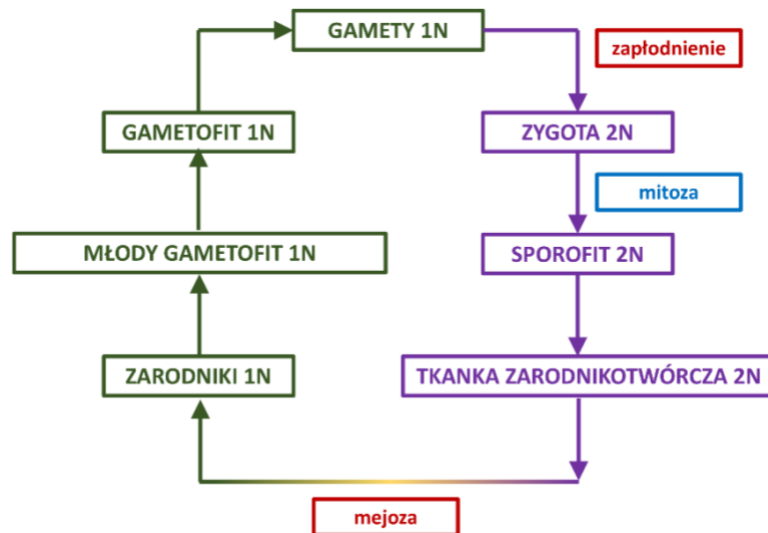
1. Wprowadzenie

W rozmnażaniu płciowym protistów, glonów, grzybów i zwierząt obserwuje się dwa typy cykli życiowych – haplontyczny i diplontyczny. W cyklu haplontycznym, charakterystycznym dla protistów oraz dla części glonów i grzybów, diploidalna jest wyłącznie zygota, a pozostałe struktury są haploidalne. W cyklu diplontycznym, charakterystycznym dla zwierząt oraz dla części glonów i grzybów, haploidalne są wyłącznie gamety, z pozostałe struktury są diploidalne. Porównanie cykli haplontycznego i diplontycznego przedstawia **Tabela 11.1**.

Tabela 11.1. Porównanie cyklu haplontycznego i diplontycznego (rysunki własne).

CYKL HAPLONTYCZNY	CYKL DIPLONTYCZNY
Zalety: - Szybki wzrost organizmu i liczebności populacji - Efektywne pobieranie i gospodarka nutrientami - Szybka eliminacja szkodliwych mutacji	Zalety: - Maskowanie szkodliwych mutacji - Swobodne mutacje alleli recesywnych - Możliwa poliploidyzacja (mejoza!) - Przewaga heterozygot
Występowanie: Haplonty przeważają w homogennych środowiskach limitowanych przez nutrieny lub energię, np. pierwotne środowiska wodne (sprzed kolonizacji lądu, czyli w warunkach ograniczonego wietrzenia biologicznego).	Występowanie: Diplonty dominują w środowiskach heterogennych, bogatych w nutrieny i z dużym dopływem energii np. środowiska lądowe (silnie zmienne i mutagenne, uwzględniające sieć interakcji między różnymi organizmami).

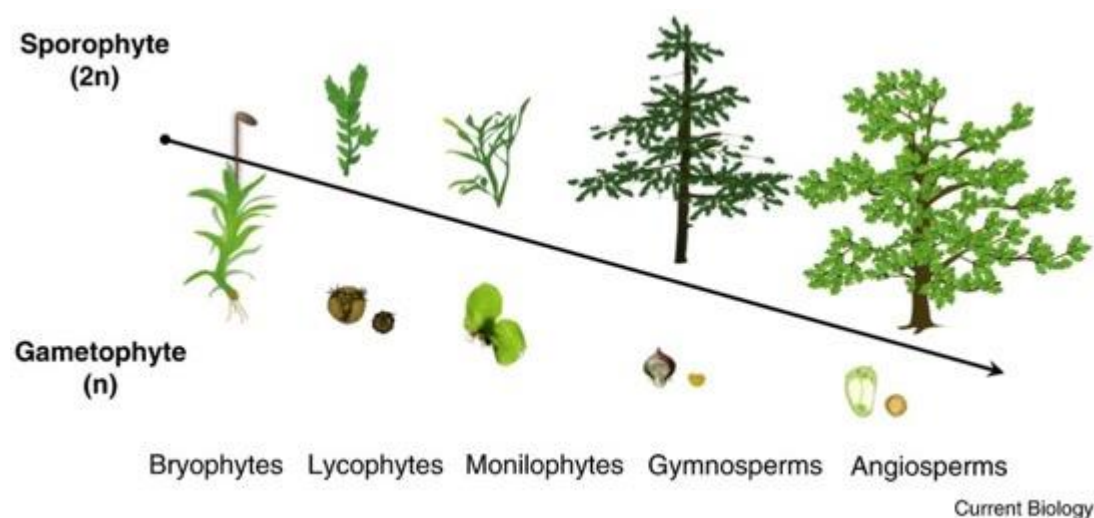
Natomiast u wspólnego przodka roślin lądowych doszło do przesunięcia w czasie mejozy (podział redukcyjny). Doprowadziło to do wykształcenia się przemiany pokoleń, czyli cyklu życiowego, w którym mamy do czynienia naprzemiennie z pokoleniem haploidalnym, czyli gametofitem, oraz pokoleniem diploidalnym, czyli sporofitem (**Rysunek 11.1**).



Rysunek 11.1. Schemat przebiegu przemiany pokoleń (rysunek własny).

Przemianę pokoleń obserwujemy u większości roślin oraz u części grzybów. Podczas przemiany pokoleń, rozmnażanie płciowe zachodzi w fazie haploidalnej, a bezpłciowe w fazie diploidalnej.

Oprócz przemiany pokoleń, u wspólnego przodka roślin lądowych wykształciły się również wielokomórkowe gametangia, czyli rodnie i plemniki, zapewniające gametom lepszą ochronę przed wpływem środowiska (np. UV, susza).



Rys. 11.2. Ewolucja gametofitu i sporofitu u roślin lądowych. Źródło: Langdale J.A. 2014. Evolution and Development: Pinpointing the Origins of Auxin Transport Mechanisms. Current Biology 24(23),1129-1131, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.10.047>.

W toku ewolucji roślin lądowych wyraźnie zaznacza się trend redukcji gametofitu (pokolenie haploidalne) oraz rozwoju sporofitu (pokolenie diploidalne), prowadzące finalnie do wykształcenia u roślin nasiennych niewielkich i całkowicie niesamodzielnych gametofitów oraz trwałych sporofitów o złożonej strukturze (**Rys. 11.2**).

W **Tabeli 11.2** przedstawiono podstawową charakterystykę cykli życiowych u mszaków, paprotników i nagonasiennych.

Tabela 11.2. Cykle życiowe u mszaków, paprotników i nagonasiennych.

MSZAKI	PAPROTNIKI	NAGONASIEENNE
1. Dominacja gametofitu (1N, wyjątek Buxbaumiaceae). 2. Wielokomórkowe rodnie i plemniki umieszczone na trzonkach na powierzchni gametofitu. 3. Uwicone plemniki, woda niezbędna do zapłodnienia. 4. Sporofit (2N) uproszczony, niesamodzielny.	1. Gametofit (1N) uproszczony, najczęściej wolnożyjący i samożywny. 2. Wielokomórkowe rodnie zagłębione w tkankach gametofitu. 3. Uwicone plemniki, woda niezbędna do zapłodnienia. 4. Sporofit (2N) samodzielny, duży, złożony, fotosyntetyzujący i trwały. 5. Zarodnie na sporofilach lub kłosach zarodnionośnych. Zarodniki kielkują od razu po wysianiu. 6. U części paprotników – różn zarodnikowość.	1. Dalszy rozwój sporofitu i redukcja gametofitu. 2. Z przekształconego makrosporangium powstają zalążki, które zawierają zredukowany gametofit. 3. W mikrosporangiach powstają ziarna pyłku zawierające zredukowane gametofity męskie, bez plemni. 4. Ziarna pyłku przenoszone z wiatrem na zalążki wytwarzają łagiewkę pyłkową, która dostarcza pozbawione wici komórki plemnikowe do komórki jajowej w rodni gametofitu żeńskiego. 5. Nasiona mają właściwości przetrwalne.
Obejrzyj schemat cyklu rozwojowego u mszaków: Ogólny (po polsku): https://matura100procent.pl/cykl-rozwojowy-mszakow/ Szczegółowy (po angielsku): https://www.carlsonstockart.com/photo/moss-bryophyte-life-cycle-illustration/?search=moss	Obejrzyj schemat cyklu rozwojowego u paprotników: Ogólny (po polsku): https://matura100procent.pl/cykl-rozwojowy-paprotnikow/ Szczegółowy (po angielsku): https://www.carlsonstockart.com/photo/fern-structure-life-cycle-illustration/?search=fern	Obejrzyj schemat cyklu rozwojowego u nagonasiennych: Ogólny (po polsku): https://sciaga.pl/slowniki-tematyczne/1682/rosliny-nagonasienne/ Szczegółowy (po angielsku): https://www.carlsonstockart.com/photo/conifer-structure-life-cycle-illustration/?search=pine

2. Przebieg ćwiczeń

Temat 1: Rozsiewanie zarodników u mszaków i paprotników

Zadanie 1: Porównanie zarodni przedstawicieli mchów torfowców, prątników i płonników.

Obejrzyj pod binokulem wskazane przez prowadzących obiekty. Przy pomocy igły preparacyjnej usuń wieczko zarodni. Przyjrzyj się rozwiązaniom modyfikującym wysiewanie zarodników. **Narysuj obiekty i podpisz** zaobserwowane struktury.

1. **Bryophyta: Sphagnopsida**

Zarodnia *Sphagnum* sp.

2. **Bryophyta: Bryopsida**

Zarodnia *Dicranum scoparium*

3. **Bryophyta: Polytrichopsida**

Zarodnia *Polytrichum commune*

Zadanie 2: Mechanizmy wspomagające rozsiewanie zarodników u *Marchantia polymorpha*

Delikatnie chuchnij na czyste szkiełko podstawowe, a następnie wysyp na nie proszek z wysuszonych rodniostanów *M. polymorpha*. **NIE ZALEWAJ WODĄ!** Obejrzyj preparat pod mikroskopem, stopniowo zwiększając powiększenie. Kiedy obraz będzie wyraźny, delikatnie chuchnij na szkiełko i obserwuj ruch elater. **Narysuj i opisz** obraz spod mikroskopu.

1. **Marchantiophyta**

Zarodniki i elatery *Marchantia polymorpha*

Zadanie 3: Porównanie kłosów zarodnionośnych i zarodni u przedstawicieli widłaków i skrzypów

Obejrzyj pod binokulem zakonserwowane kłosa zarodnionośne *Lycopodium annotinum* i *Equisetum arvense*. Przy pomocy pęsety i igły preparacyjnej wyjmij z kłosa jeden liść zarodnionośny. Obejrzyj go pod binokulem a następnie postaraj się igłą preparacyjną rozerwać zarodnię. Obejrzyj wysypujące się zarodniki. **Czy wszystkie są tej samej wielkości?**

1. **Lycopodiophyta: Lycopodiopsida**

Kłos zarodnionośny i sporofil z zarodnią

2. **Pteridophyta: Equisetopsida**

Kłos zarodnionośny i sporofil z zarodniami

Zadanie 4: Mechanizmy wspomagające rozsiewanie zarodników u *Equisetum* spp.

Delikatnie chuchnij na czyste szkiełko podstawowe, a następnie wysyp na nie proszek z wysuszonych kłosów zarodnionośnych *Equisetum* spp. **NIE ZALEWAJ WODĄ!** Obejrzyj preparat pod mikroskopem, stopniowo zwiększając powiększenie. Kiedy obraz będzie wyraźny, delikatnie chuchnij na szkiełko i obserwuj ruch elater. **Narysuj i opisz** obraz spod mikroskopu.

1. Pteridophyta: Equisetopsida

Zarodniki i elatery *Marchantia polymorpha*

Zadanie 5: Rozsiewanie zarodników u paproci u *Dryopteris filix-mas*

Obejrzyj pod mikroskopem gotowy preparat kupek zarodni u *Dryopteris filix-mas*. **Narysuj i opisz** obraz spod mikroskopu.

Zadanie 6: Rozsiewanie zarodników u paproci różn zarodnikowej *Salvinia natans*

Obejrzyj pod binokulem zakonserwowane pędy *Salvinia natans*. Przy pomocy pęsety i igły preparacyjnej postaraj się rozerwać kilka sporokarpiów. Obejrzyj wysypujące się zarodnie. Czy wszystkie są tej samej wielkości? Spróbuj rozerwać igłą preparacyjną uwolnione zarodnie. Jeśli Ci się uda, zwróć uwagę, czy wszystkie zarodniki są tej samej wielkości. **Narysuj i opisz** fragment pędu *Salvinia natans* ze sporokarpami.

1. Pteridophyta: Salviniiales

Pęd i sporokarpia *Salvinia natans*

Temat 2: Ewolucja procesu rozmnażania płciowego u nagonasiennych

Zadanie 1: Porównanie sporofili i sposobu ich organizacji na pędzie u przedstawicieli rodzaju *Cycas* i *Stangeria*

Obejrzyj wskazane przez prowadzących obiekty. Porównaj zróżnicowanie makro- i mikrosporofili oraz sposobu ich organizacji na pędzie u przedstawicieli rodzajów *Cycas* i *Stangeria*. **Narysuj obiekty i podpisz** zaobserwowane struktury.

1. Cycadopsida: Cycas sp.

Makrosporofil *Cycas* sp.

2. Cycadopsida: Cycas sp.

Mikrosporofil *Cycas* sp.

3. Cycadopsida: Stangeria sp.

Makrosporofil *Stangeria* sp.

4. Cycadopsida: Stangeria sp.

Mikrosporofil *Stangeria* sp.

Zadanie 2: Budowa kwiatostanów żeńskich i męskich oraz nasion u *Ginkgo biloba*

Obejrzyj wskazane przez prowadzących obiekty. **Narysuj i podpisz** zaobserwowane struktury.

1. Ginkgopsida: Ginkgo biloba

Kwiatostan żeński *Ginkgo biloba*

2. Ginkgopsida: Ginkgo biloba

Kwiatostan męski *Ginkgo biloba*

3. Ginkgopsida: Ginkgo biloba

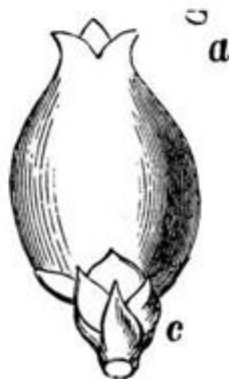
Nasienie w osnówce *Ginkgo biloba*

Zadanie 3: Porównanie struktur związanych z procesem rozmnażania płciowego u przedstawicieli klas Pinaceae, Cupressaceae i Taxaceae. **Obejrzyj** wskazane przez prowadzących obiekty. **Podpisz** widoczne na **Rys. 11.4** struktury.

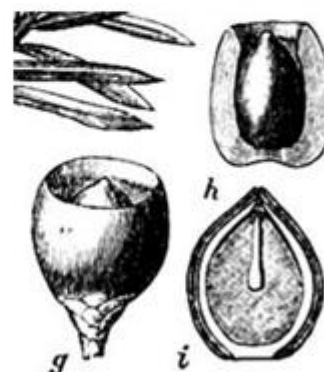
Pinaceae: *Pinus sylvestris*



Cupressaceae: *Juniperus communis*



Taxaceae: *Taxus baccata*



Rys. 11.4. Organy rozmnażania u nagonasiennych. Źródła: <https://lizzieharper.co.uk/2024/02/trees-scots-pine-pinus-sylvestris/>, <https://www.alamy.com/stock-photo/juniper-plant.html?blackwhite=1&sortBy=relevant>, <http://www.biolib.de/>

Zadanie 4: Przegląd struktur związanych z procesem rozmnażania płciowego u przedstawicieli wybranych gatunków nagonasiennych

Obejrzyj zgromadzone na wystawce szyszki, nasiona i szyszko-jagody. Na podstawie własnych obserwacji i polecanej literatury wypełnij poniższą tabelę.

Takson	Obecność nasiona w osnówce (jest/brak)	Obecność szyszki i jej charakter (kształt, czy się rozpada, czy szyszkojagoda)	Pienność rośliny (jednopienna/dwupienna)
<i>Ephedra</i> sp.			
<i>Ginkgo biloba</i>			
<i>Pinus sylvestris</i>			
<i>Abies alba</i>			
<i>Picea abies</i>			
<i>Larix</i> sp.			
<i>Juniperus communis</i>			
<i>Chamaecyparis</i> sp.			
<i>Taxus baccata</i>			
<i>Thuja</i> sp.			

3. Literatura

Po polsku:

- I. Podbielkowski, Z., Rejment-Grochowska, I., Skirgiełło, A. Rośliny zarodnikowe. PWN Warszawa (wydanie najnowsze, z tej pozycji omijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne).
- II. Szwejkowscy A. i J. Botanika, tom I i II. PWN, Warszawa (wydanie najnowsze, z tej pozycji omijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne).
- III. Seneta W., Dolatowski J. Dendrologia (wyd. 3 i nowsze). PWN, Warszawa.

Po angielsku:

- I. Khan Academy, NCERT Biology Class 11, Unit 3, Lesson 2: Bryophytes and Pteridophytes
- II. <https://www.khanacademy.org/science/in-in-class-11-biology-india/x9d1157914247c627:plant-kingdom/x9d1157914247c627:bryophytes-and-pteridophytes/v/bryophytes>
- III. Khan Academy, NCERT Biology Class 11, Unit 3, Lesson 3: Gymnosperms and Angiosperms
- IV. <https://www.khanacademy.org/science/in-in-class-11-biology-india/x9d1157914247c627:plant-kingdom/x9d1157914247c627:gymnosperms-and-angiosperms/v/gymnosperms-the-male-cone>
- V. Mszaki: <https://www.anbg.gov.au/bryophyte/index.html>
- VI. Paprotniki: <https://www.aakash.ac.in/important-concepts/biology/pteridophytes-alternation-of-generations>
- VII. Nagonasienne: [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/General_Biology_\(Boundless\)/32%3A_Plant_Reproductive_Development_and_Structure](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/General_Biology_(Boundless)/32%3A_Plant_Reproductive_Development_and_Structure)

Laboratorium XII – BOTANIKA

Filogeneza okrytonasiennych i różnorodność kwiatów

Dr Jakub Baczyński

1. Wprowadzenie

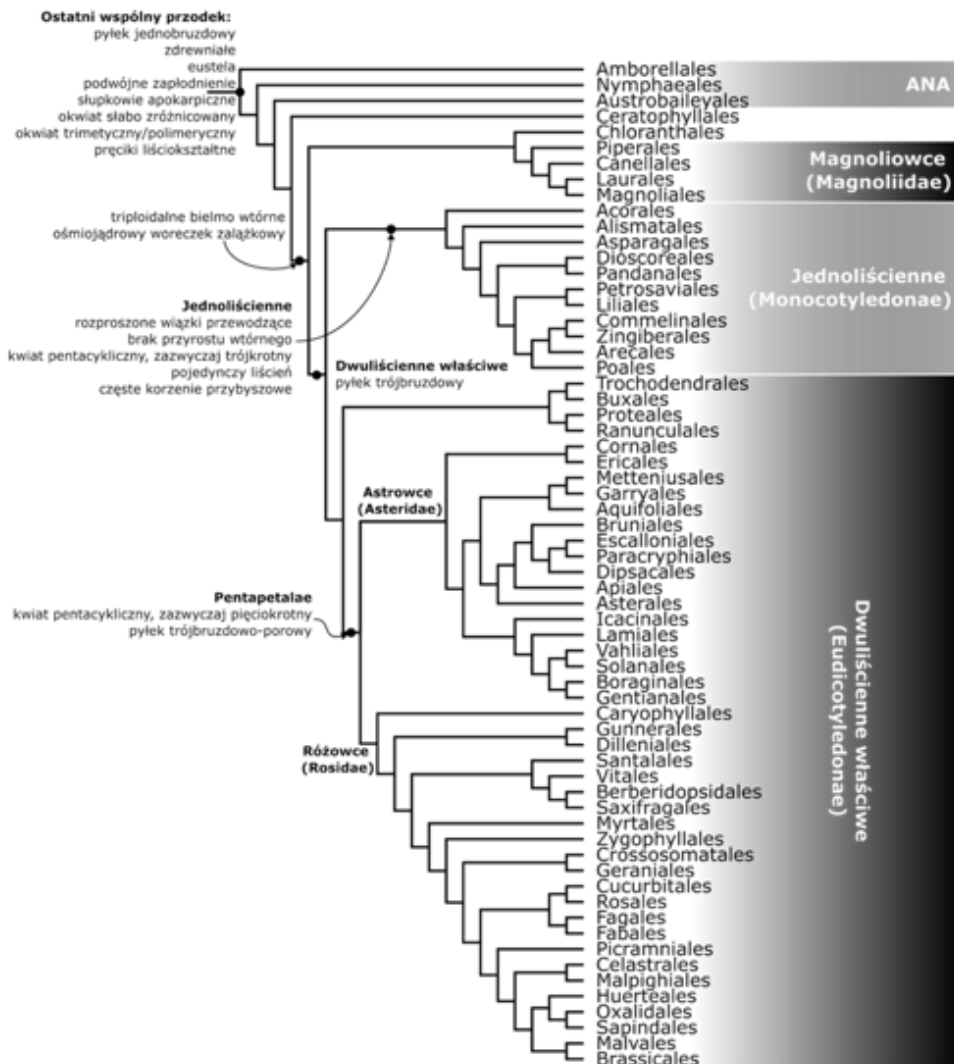
Liczące ponad 300 tys. gatunków okrytonasienne (Angiospermae) pod względem biomasy dominują większość lądowych ekosystemów. Przedstawiciele tej grupy wykazują ogromną różnorodność form życiowych (rośliny zielne i zdrewniałe, jednoroczne i wieloletnie, o długości ciała od milimetra do prawie 100 metrów) i przystosowań ekologicznych (od gatunków wtórnie wodnych po występujące na pustyniach; od organizmów fotosyntetyzujących, po pasożyty, półpasożyty i mykoheterotrofy).

Tradycyjne systemy klasyfikacji roślin okrytonasiennych, takie jak system Benthama albo Cronquista, wyróżniały ich dwie główne grupy; jednoliścienne (Monocotyledonae/Liliopsida) i dwuliścienne (Dicotyledonae/Magnoliopsida). W oparciu o dowody dostarczone przez dane genetyczne (a coraz częściej sekwencje całych genomów) wiadomo jednak, że rodowód okrytonasiennych jest bardziej skomplikowany. Przyjęty współcześnie system zaproponowany przez Angiosperm Phylogeny Group (APG, patrz **Rys. 12.1**) zakłada podział na cztery grupy: **ANA, magnoliowce (Magnoliidae), jednoliścienne (Monocotyledonae) oraz dwuliścienne właściwe (Eudicotyledonae)**.

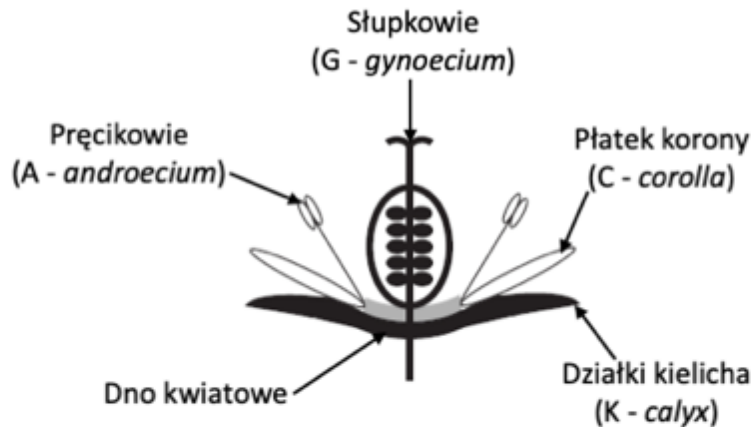
Kwiaty są jedną z najważniejszych innowacji ewolucyjnych okrytonasiennych, a ich morfologia od zawsze dostarczała kluczowych cech niezbędnych w taksonomii. Choć na pierwszy rzut oka kwiaty wydają się niezwykle zróżnicowane, ich ogólny plan budowy jest dość konserwatywny. Najczęściej można w nich wyróżnić okółki (rzadziej spirale) organów pełniących różne funkcje: działki kielicha, płatki korony, pręciki i słupki. Pręciki produkują pyłek w pylnikach, a słupek powstaje z owocolistków otaczających zalążnię. Okwiat pełni funkcję ochronną oraz powabniową, przyciągając zapylacze. Kwiaty mogą być obupłciowe, zawierające zarówno pręciki, jak i słupki, lub jednopłciowe. U roślin jednopiennych oba typy kwiatów występują na jednym osobniku, natomiast u dwupiennych – na różnych. Wzory kwiatowe stanowią formalny zapis budowy kwiatu. Choć obecnie stosuje się je rzadziej, pozostają bardzo użytecznym narzędziem dydaktycznym (**Rys. 12.2**).

Najstarsze okrytonasienne miały proste kwiaty z niezróżnicowanym okwiatem. W toku ewolucji doszło do redukcji liczby organów, wyraźnego rozdzielenia kielicha i korony oraz wielokrotnych zmian symetrii. Podczas gdy nagonasienne są głównie wiatropylne, większość okrytonasiennych zapylana jest przez zwierzęta. Rośliny oferują pyłek lub nektar jako nagrodę, a zapylacze przenoszą pyłek między kwiatami. Koewolucja z owadami, ptakami czy nietoperzami doprowadziła do ogromnej różnorodności form kwiatów i powstania typowych syndromów zapylania (np. kwiaty zapylane przez ptaki są zwykle czerwone i bezwonne, a te zapylane przez pszczoły – pachnące i z barwnymi

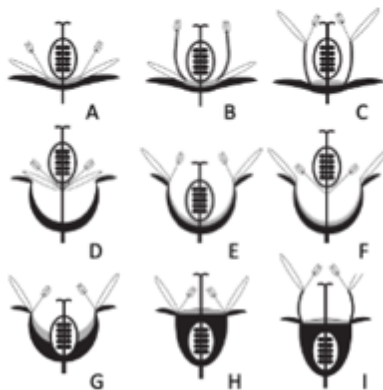
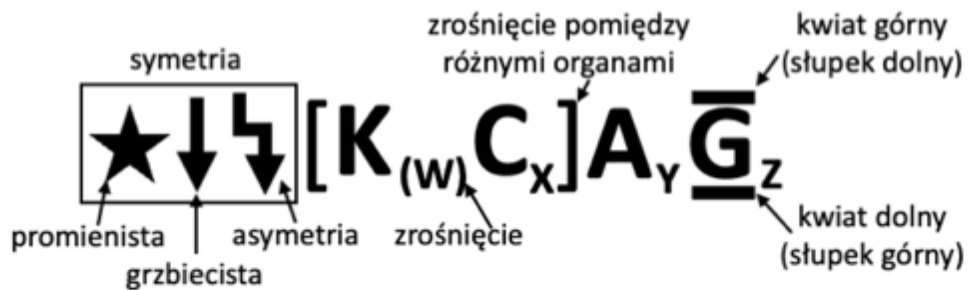
„przewodnikami” widocznymi w UV). Inną istotną tendencją w ewolucji kwiatów jest ich synorganizacja w kwiatostany (pędy generatywne, często o bardzo skomplikowanej architekturze; **Rys. 12.3**). W niektórych przypadkach skondensowane kwiatostany mogą wtórnie upodabniać się do pojedynczych kwiatów, tworząc pseudancja.



Rys. 12.1. Kladogram przedstawiający relacje pokrewieństwa pomiędzy rzędami okrytonasiennych. Kropkami zaznaczono kluczowe cechy, które sukcesywnie pojawiały się w trakcie ewolucji tej grupy. Nazwa ANA wywodzi się od trzech tworzących ją rzędów: **A**mborellales, **N**ymphaeales i **A**ustrobaileyales. Nie jest to grupa monofiletyczna (klad).

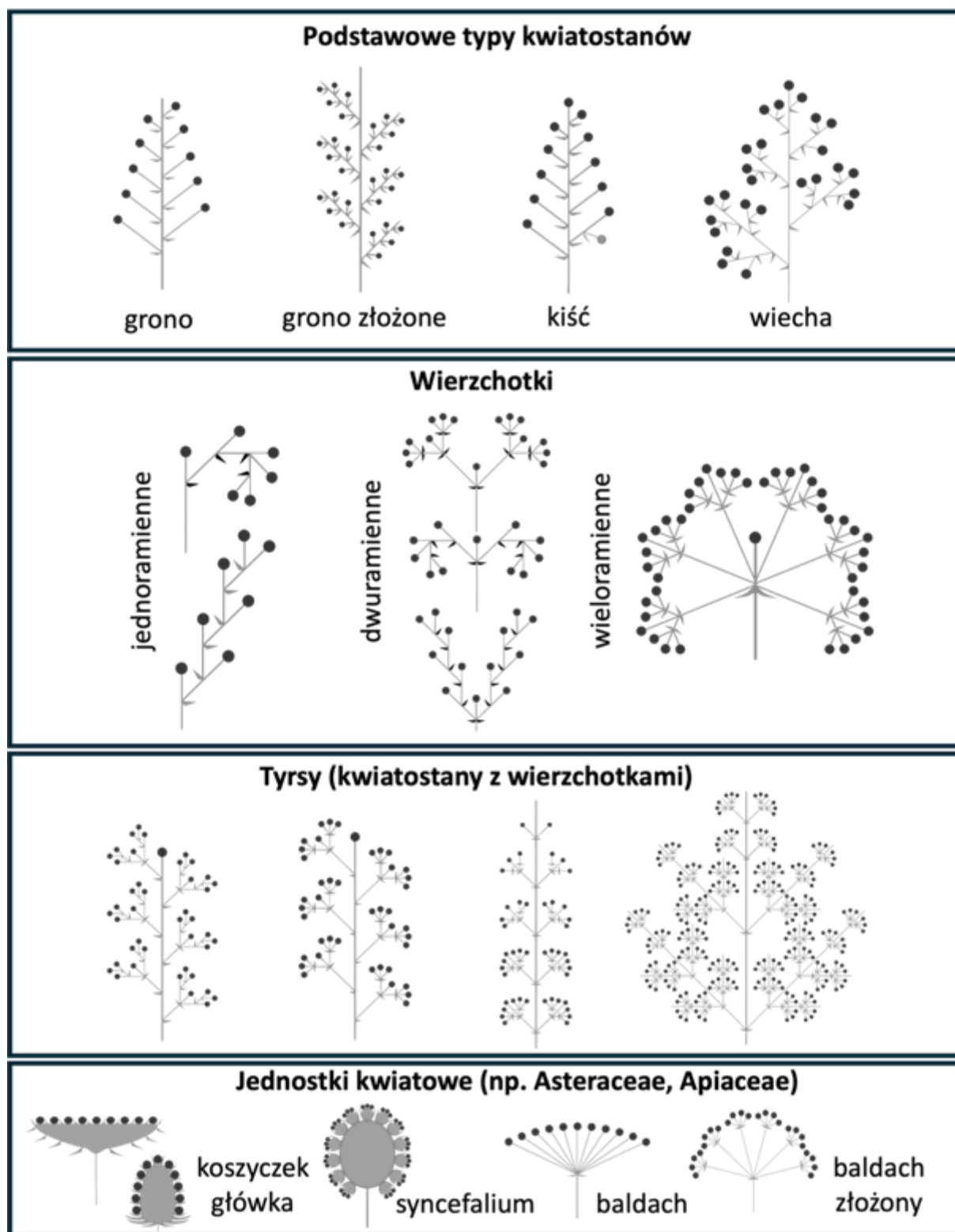


W przypadku okwiatu niezróżnicowanego na kielich i koronę elementy oznaczamy jako **P** (*perigonium*), np. P_{3+3} oznacza niezróżnicowany okwiat złożony z dwóch okółków, po trzy elementy (działki) każdy.



- A. Słupek górny, kwiat bez hypancjum
- B. Słupek górny, kwiat z rurką pręcikową
- C. Słupek górny, kwiat z rurką płatkowo-pręcikową
- D. Słupek górny, kwiat z rurką kielichową i antoforem
- E. Słupek górny, kwiat z hypancjum
- F. Słupek górny, kwiat z hypancjum i androgynoforem
- G. Słupek półgórny/półdolny, kwiat z hypancjum
- H. Słupek dolny
- I. Słupek dolny, kwiat z rurką płatkowo-pręcikową

Rys. 12.2. Budowa kwiatu oraz zasady sporządzania wzorów kwiatowych. Źródło: materiały własne.



Rys. 12.3. Różnorodność kwiatostanów. Źródło: materiały własne.

2. Przebieg ćwiczeń

Zadanie 1: Budowa kwiatu u przedstawicieli gradu ANA

Obejrzyj wskazane przez prowadzących kwiaty.

1. Nymphaeales: Nymphaeaceae

Kwiat *Nymphaea alba*

2. Austrobaileyales: Schisandraceae

Kwiat *Schisandra* sp.

A następnie **zanotuj**, które plezjomorficzne (pierwotne ewolucyjnie) cechy budowy zaobserwowałeś.

Zadanie 2: Kwiaty i kwiatostany magnoliowców

Obejrzyj wskazane przez prowadzących obiekty. Przeanalizuj ich budowę, skupiając się na cechach takich jak symetria, kolor i zapach. **Zastanów się** wyrazem jakich przystosowań ekologicznych mogą być obserwowane cechy morfologiczne.

1. Piperales: Aristolochiaceae

Kwiat *Aristolochia macrophylla*/*Asarum europaeum*

2. Magnoliales: Magnoliaceae

Kwiat *Magnolia* sp.

Następnie uzupełnij poniższą tabelę:

Takson	Wzór kwiatowy	Syndrom zapylania
<i>Aristolochia macrophylla</i> / <i>Asarum europaeum</i>		
<i>Magnolia</i> sp.		

Zadanie 3: Kwiaty jednoliściennych

Obejrzyj wskazane przez prowadzących obiekty.

1. Alismatales: Araceae

Kwiatostan *Anthurium* sp.

2. Alismatales: Alismataceae

Kwiat *Butomus umbellatus*/*Alisma-plantago-aquatica*/*Hydrocharis morsus-ranae*

3. Liliales: Liliaceae

Kwiat *Tulipa* sp.

4. Zingiberales: Zingiberaceae

Kwiat *Canna* sp.

Kwiat *Strelitiza* sp.

Następnie **sporządź wzory kwiatowe** dla poniższych gatunków:

Takson	Wzór kwiatowy
<i>Anthurium</i> sp.	
<i>Butomus umbellatus</i> / <i>Alisma-plantago-aquatica</i> / <i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	
<i>Tulipa</i> sp.	
<i>Canna</i> sp.	

Zadanie 4: Kwiaty dwuliściennych właściwych

Obejrzyj wskazane przez prowadzących obiekty. **Zastanów się** nad zmianami ewolucyjnymi w morfologii kwiatów, które zaszły w trakcie ewolucji dwuliściennych właściwych.

1. Wcześnie odgałęziające się linie dwuliściennych właściwych

a. Ranunculales: Ranunculaceae

Kwiat *Anemone* sp. i *Ranunculus* sp.

b. Ranunculales: Berberidaceae

Kwiat *Berberis* sp.

c. Ranunculales: Papveraceae

Kwiat *Corydalis* sp.

2. Pentapetalae: Różowce

a. Fabales: Fabaceae

Kwiat *Lathyrus* sp.

b. Rosales: Rosaceae

Kwiat *Spiraea* sp.

c. Brassicales: Brassicaceae

Kwiat *Arabidopsis* sp.

3. Pentapetalae: Astrowce

a. Asterales: Asteraceae

Kwiatostan i kwiaty *Helianthus annuus*

b. Apiales: Apiaceae

Kwiatostan i kwiaty *Daucus carota*

c. Lamiales: Lamiaceae

Kwiat *Lamium album*

Następnie **sporządź wzory kwiatowe** dla poniższych gatunków:

Takson	Wzór kwiatowy
<i>Anemone</i> sp./ <i>Ranunculus</i> sp.	
<i>Lathyrus</i> sp.	
<i>Spiraea</i> sp.	
<i>Helianthus annuus</i>	
<i>Lamium album</i>	

Zadanie 5: Kwiatostany

Obejrzyj wskazane przez prowadzących kwiatostany.

1. Piperales: Saururaceae

Kwiatostan *Houttuynia cordata*

2. Lamiales: Lamiaceae

Kwiatostan *Antirrhinum majus*

3. Caryophyllales: Caryophyllaceae

Kwiatostan *Dianthus caryophyllus*

Następnie **wykonaj schematyczny rysunek każdego z nich**, uwzględniając pozycję kwiatów, sekwencję ich otwierania (antezy) oraz obecność dodatkowych struktur takich jak podsadki, przylistki czy podkwiatki.

3. Literatura

- I. De Craene, L. P. R. 2022. Floral diagrams: an aid to understanding flower morphology and evolution. Cambridge University Press.
- II. Weberling, F. (1992). Morphology of flowers and inflorescences. CUP Archive.
- III. Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg E.A., Stevens P.F., Donoghue M.J. 2015. Plant systematics, a phylogenetic approach. Sinauer, Sunderland (MA). Fourth edition.
- IV. Angiosperm Phylogeny Group, et al. "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV." Botanical journal of the Linnean Society 181.1 (2016): 1-20.
- V. https://www.researchgate.net/publication/317522258_FILOGENEZA_ROSLIN_O_KRYTOZALAZKOWYCH_-_Systematyka_Roslin_Kwiatowych_APP_Polskie (Filogeneza)

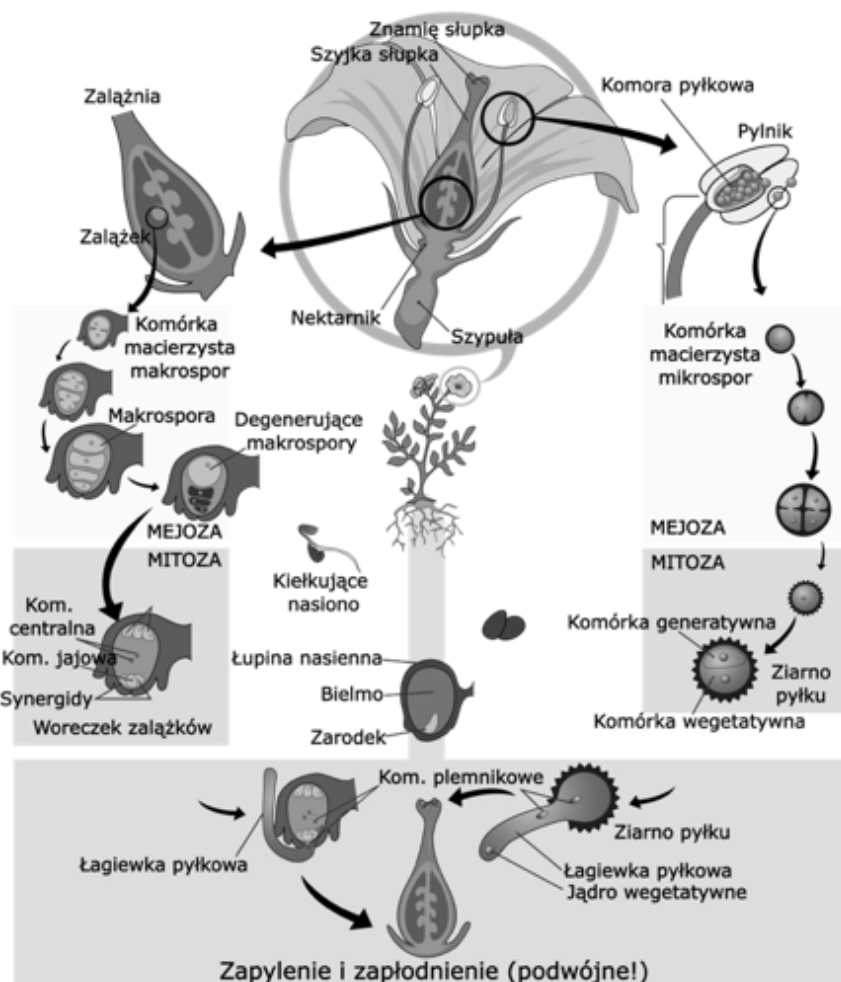
Laboratorium XIII – BOTANIKA

Rozmnażanie okrytonasiennych

Dr Jakub Baczyński

1. Wprowadzenie

Inna nazwa zwyczajowa okrytonasiennych, czyli okrytozalążkowe, pochodzi od owocolistków, które otaczają zalążki i później uczestniczą w tworzeniu owocu. Owocolistki chronią zalążki i nasiona, a także ograniczają samozapyleenie, sprzyjając powstawaniu zróżnicowanego potomstwa. U okrytonasiennych gametofity żeńskie są silnie zredukowane – zwykle składają się tylko z kilku komórek i są całkowicie zależne od sporofitu (**Rys. 13.1**).



Rys. 13.1. Cykl życiowy okrytonasiennych. Źródło: zmodyfikowane na podstawie https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Angiosperm_life_cycle_diagram-en.svg#file.

W wyniku podwójnego zapłodnienia zalążek przekształca się w nasiono, które zawiera diploidalny zarodek i triploidalne bielmo wtórne, otoczone łupiną nasienną powstałą z osłonek. Bielmo gromadzi substancje zapasowe – cukry, tłuszcze i białka – niezbędne do rozwoju zarodka. U niektórych roślin jest ono zredukowane, a jego rolę przejmuje obielmo (tkanka ośrodka) lub przekształcone liścienie, co prowadzi do powstania nasion obielmowych albo bezbielmowych (**Rys. 13.2**).



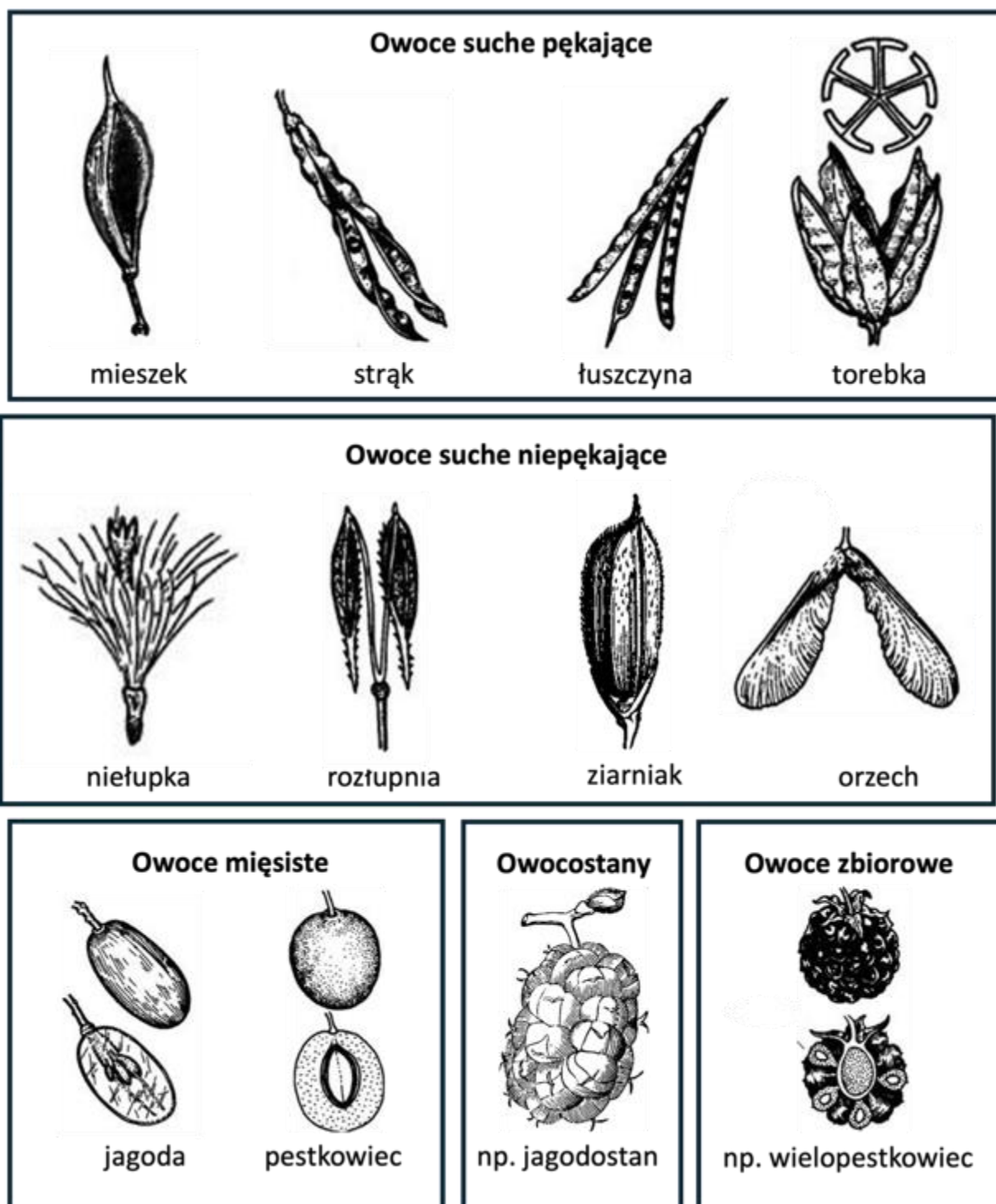
Rys. 13.2. Typy nasion u okrytonasiennych. Zmodyfikowany na podstawie A. Szweykowska, J. Szweykowski. *Botanika. Morfologia. I.* Warszawa, 2008.

Owoce stanowią kluczową adaptację w reprodukcji okrytonasiennych. Owoc może tworzyć się wyłącznie ze ściany zalążni i nasion, ale często obejmuje także inne części kwiatu czy elementy pozakwiatowe. Wyróżniamy kilka podstawowych typów (**Rys. 13.3**):

- owoce pojedyncze – powstają z jednej zalążni, np. pestkowiec śliwy lub czereśni,
- owoce złożone – rozwijają się z wielu zalążni w jednym wielosłupkowym kwiecie, np. wielopestkowiec maliny
- owocostany – powstają z całych kwiatostanów, jak u fig czy ananasów.

Jeśli w tworzeniu owocu uczestniczą dodatkowe struktury, mówimy o owocach pozornych/rzekomych. Przykładami są: wielonietupki truskawki i owoce jabłkowate, w których powstawaniu udział bierze dno kwiatowe, czy żółędzie dębu, których miseczka to przekształcone przysadki.

Owoce odgrywają istotną rolę w rozsiewaniu nasion. Mogą być roznoszone przez zwierzęta – połykane i wydalane wraz z odchodami (endozoochoria) albo przenoszone na powierzchni ciała (epizoochoria) – ale także przez wiatr (anemochoria) czy wodę (hydrochoria). Nie zawsze są mięsiste: u wielu gatunków występują owoce suche, zdrewniałe lub zaopatrzone w struktury ułatwiające unoszenie i transport.



Rys. 13.3. Różnorodność owoców. Zmodyfikowany na podstawie F. Swink, G. Wilhelm. Plants of the Chicago region. Indianapolis, 1994.

2. Przebieg ćwiczeń

Zadanie 1: Pyłek okrytonasiennych

Przygotuj preparaty mikroskopowe z czterech próbek pyłku wskazanych przez prowadzących:

1. Magnoliowce: *Magnolia* sp.
2. Jednoliścienne: *Lilium* sp.
3. Jednoliścienne: wiechlinowate (Poaceae)
4. Dwuliścienne właściwe: *Taraxacum* sp.

Sporządź schematyczne rysunki pyłków, zwracając uwagę na liczbę apertur i ich kształt. Zastanów się wyrazami jakich przystosowań ekologicznych mogą być widoczne różnice w morfologii.

Zadanie 2: Struktury reprodukcyjne roślin okrytonasiennych

Przygotuj preparaty mikroskopowe z przekrojów poprzecznych przez pylnik i załącznik kwiatu lilii (*Lilium* sp., jednoliścienne) wykonując barwienie safraniną z błękitem alcjańskim zgodnie z poniższym protokołem:

1. **Umieść skrawki na szkiełku zegarkowym.**
2. **Dodaj safraninę, inkubuj 2–5 min.**
3. **Splucz wodą destylowaną** (krótco).
4. **Dodaj błękit alcjański, inkubuj 1–2 min.**
5. **Splucz wodą destylowaną.**
6. Krótco przepłucz etanolem 50% dla osłabienia barwienia.
7. **Dodaj kroplę gliceryny**, nałóż szkiełko nakrywkowe.
8. **Osusz brzegi**
9. **Obserwuj pod mikroskopem (100–400x):**
 - Lignina (np. drewno, twardzica) – **czerwona**
 - Ściany pierwotne/miękisz – **niebiesko-zielona**

Następnie, **wykonaj schematyczne rysunki** zaznaczając następujące tkanki/struktury: komora załączni, załączek, owocolistek, łóżysko, endoteczum, tapetum, ziarna pyłku, epiderma.

Zadanie 3: Owoce

Obejrzyj wskazane przez prowadzących obiekty, a następnie **uzupełnij poniższą tabelę**.

Takson	Typ owocu	Sposób rozsiewania
<i>Cocos nucifera</i>		
<i>Citrus</i> sp.		
<i>Arachis hypogea</i>		
<i>Ficus carica</i>		
<i>Ibicella lutea</i>		
<i>Ananas comosus</i>		
<i>Papaver rhoeas</i>		
<i>Rosa</i> sp.		
<i>Castanea sativa</i>		
<i>Impatiens</i> sp.		

3. Literatura

- I. Szweykowscy A. i J. Botanika, tom I i II. PWN, Warszawa (wydanie najnowsze, z tej pozycji omijać zagadnienia ewolucyjne i filogenetyczne).

Laboratorium XIV – BOTANIKA

Ogrody botaniczne - ich historia, rola i znaczenie w ochronie różnorodności gatunkowej

Dr inż. Katarzyna Roguz

1. Wprowadzenie

Życie na Ziemi w dużym stopniu zależy od obecności roślin. Stanowią one podstawę funkcjonowania ekosystemów lądowych – poprzez fotosyntezę produkują materię organiczną i tlen, są podstawą sieci troficznych. Rośliny kształtują także obieg wody, stabilizują klimat oraz warunki siedliskowe, od których zależy różnorodność innych organizmów. Również nasz, ludzki dobrostan jest wprost zależny od roślin: oddychamy tlenem wydzielanym przez rośliny, rośliny są podstawowym źródłem naszego pokarmu czy kosmetyków, dzięki nim mamy substancje lecznicze czy włókna, z których produkujemy odzież. A jednak coraz liczniejsze gatunki roślin są zagrożone przez destrukcyjną działalność człowieka. Jedną z najważniejszych ról ogrodów botanicznych na całym świecie jest odkrywanie, chronienie bioróżnorodności roślin oraz uczenie o roślinach, a także podejmowanie działań, które pozwolą odwrócić negatywne trendy i zachować bogactwo i różnorodność roślin.

Historia ogrodów botanicznych

Ogrody botaniczne to instytucje naukowe z bardzo długą historią, sięgającą starożytności. Za ich pierwowzór można uznać kolekcje, zakładane w starożytności między innymi w Egipcie, Babilonii i Asyrii – ogrody, gromadzące rodzime i egzotyczne gatunki roślin, były miejscem ich uprawy, ale także symbolem prestiżu. Bardziej współczesna historia ogrodów botanicznych, rozpoczęła się w renesansowej Italii, w której znalazły one instytucjonalne oparcie w uniwersytetach, stając się miejscem nauczania botaniki i farmakognozji oraz badania użytkowych właściwości roślin. Z czasem, wagi nabiera także ich rola dydaktyczna — ogrody botaniczne, obok czysto użytkowej funkcji polegającej na dostarczaniu materiału roślinnego, zyskały nową rolę polegającą na przedstawianiu różnorodności świata roślin. Dziś instytucje te przechowują w żywych kolekcjach około 1/3 wszystkich żyjących gatunków roślin naczyniowych.

Rola ogrodów botanicznych w ochronie różnorodności roślin

Współcześnie ogrody botaniczne są nowoczesnymi instytucjami wypełniającymi wiele różnorodnych funkcji — ich aktywność nie ogranicza się wyłącznie do dydaktyki akademickiej i klasycznych, opisowych badań botanicznych, ale rozciąga się na wiele dyscyplin nauk przyrodniczych, w tym tak ważną w obliczu kryzysu różnorodności biologicznej, biologię konserwatorską. Ich priorytetem są gatunki ginące i zagrożone — w skali świata to ogromne zadanie, ponieważ stanowią one już 40% globalnej flory.

Naukowe poznawanie roślin, ich relacji z innymi organizmami, opowiadanie o ich biologii i ekologii ogrody realizują poprzez:

- tworzenie i utrzymywanie odpowiednio udokumentowanych kolekcji roślin żywych oraz przyrodniczych zbiorów o charakterze muzealnym (np. zielników);
- prowadzenie i udział w interdyscyplinarnych badaniach naukowych, naukową współpracę oraz poprzez udostępnianie instytucjom naukowym materiału roślinnego oraz terenu do badań naukowych;
- działania o charakterze konserwatorskim, mające na celu ochronę in situ i ex situ różnorodności biologicznej roślin, w szczególności gatunków ginących i zagrożonych;
- dydaktykę akademicką, w szczególności skupioną na biologii i ekologii roślin, ich różnorodności, relacjach roślin z innymi organizmami;
- edukację społeczną opartą na wiedzy naukowej promującą metodę naukową do poznawania świata;
- działania o charakterze społecznym, artystycznym i promocyjnym, których głównym celem jest zwrócenie uwagi na rolę roślin w świecie oraz więź człowieka z przyrodą;
- działania mające na celu spowolnienie zmian klimatycznych.

Różnorodność gatunkowa roślin w kryzysie

Obecnie obserwujemy globalny kryzys różnorodności gatunkowej roślin, a skala tego kryzysu jest bezprecedensowa. Szacuje się, że nawet około 40% gatunków roślin naczyniowych jest zagrożonych wyginięciem w perspektywie najbliższych dekad. Gatunki o wąskim zasięgu geograficznym, specjalistycznych wymaganiach siedliskowych lub niskiej liczebności populacji wykazują szczególnie wysoką podatność na wymieranie. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest niska zmienność genetyczna, ograniczająca zdolność adaptacyjną populacji do dynamicznych zmian środowiskowych. Antropogeniczne przekształcenia krajobrazu, fragmentacja siedlisk i izolacja populacji skutkują utratą przepływu genów oraz obniżeniem sukcesu reprodukcyjnego, zwłaszcza u gatunków zapylanych przez wyspecjalizowane zapylacze. W przypadku wielu roślin zagrożonych stwierdza się także obniżoną produkcję nasion, zmniejszoną żywotność pyłku lub podatność na konkurencję ze strony gatunków inwazyjnych. Zmiany klimatu nasilają te procesy, powodując zanik odpowiednich warunków siedliskowych, przesunięcia fenologiczne i destabilizację interakcji międzygatunkowych.

Kluczowe procesy i cechy biologiczne wpływające na zagrożenie gatunków roślin

1. **Strategie reprodukcyjne** – rośliny o wąsko wyspecjalizowanym systemie zapylania (np. zależne od jednego gatunku zapylacza) są szczególnie wrażliwe na zaburzenia interakcji międzygatunkowych.
2. **Płodność i sukces reprodukcyjny** – ograniczona produkcja nasion, niska żywotność pyłku czy słaba kiełkowalność nasion zmniejszają zdolność utrzymania stabilnych populacji.
3. **Zmienność genetyczna** – małe i izolowane populacje cechuje ograniczona pula genowa, co zmniejsza zdolności adaptacyjne i zwiększa ryzyko chowu wsobnego.
4. **Sposób rozmnażania** – przewaga rozmnażania wegetatywnego nad generatywnym ogranicza różnorodność genetyczną, co utrudnia adaptację do zmian środowiska.
5. **Fenologia** – przesunięcia w czasie kwitnienia i owocowania mogą prowadzić do rozbieżności z aktywnością zapylaczy czy wektorami nasion.
6. **Zdolność do kolonizacji nowych siedlisk** – gatunki o słabym potencjale rozprzestrzeniania się (np. nasiona wymagające rozsiewania przez konkretne grupy zwierząt niska produkcja nasion) są szczególnie wrażliwe na fragmentację siedlisk.
7. **Zdolność do konkurencji** – wrażliwość na presję ze strony gatunków inwazyjnych lub ruderalnych może prowadzić do wypierania mniej plastycznych ekologicznie gatunków.
8. **Plastyczność fenotypowa** – gatunki o niskiej zdolności do zmiany cech morfologicznych i fizjologicznych w odpowiedzi na stres środowiskowy są mniej odporne na zmiany klimatu i degradację siedlisk.

2. Przebieg ćwiczeń

Temat: Edukacyjna rola ogrodów

Zadanie 1: Przejdź terenową grę detektywistyczną stworzoną przez Pracownię Edukacji zespołu OB.

Zanotuj walory edukacyjne, wskaż możliwe ograniczenia. Czy uważasz, że gra terenowa to skuteczna metoda przekazywania wiedzy o roślinach? Jak można by ulepszyć grę, aby lepiej spełniała funkcję edukacyjną?