matura

ZGODNE Z WYTYCZNYMI CKE

Teoria do matury

do powtórek zamiast z podręczników

biologia

VADEMECUM



OPERON

MATURA

VADEMECUM

biologia

zakres rozszerzony

Beata Jakubik
Renata Szymańska

OPERON
Edukacja jest podróżą
2022

Projekt okładki: **Paweł Kwacz**
Redaktor prowadzący: **Izabela Kulaszewicz**
Redakcja językowa: **Monika Turała**
Redakcja graficzna i skład: **Zespół**
Korekta: **Marlena Dobrowolska**
Rysunki: **Zespół**

Zdjęcia: Shutterstock, All2014/Shutterstock, Wikimedia Commons, Wikimedia Commons/ DenGer/CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons/ Dias/CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons/Dr. Christopher L. Mah/CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons/Jean-Lou Justine/CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons/ Guido Gautsch/CC BY-SA 2.0, Wikimedia Commons/Nicoletta.unio/CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons/Panek/CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons/ Daniel J Jackson, Gert Wörheide and Bernard M Degnan/CC BY-SA 2.0

© Copyright by Wydawnictwo Pedagogiczne OPERON Sp. z o.o. & Beata Jakubik, Renta Szymańska
Gdynia 2022

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie w całości lub we fragmentach bez zgody wydawcy zabronione.
N7734

Wydawca:
Wydawnictwo Pedagogiczne OPERON Sp. z o.o.
81-212 Gdynia, ul. Hutnicza 3
tel. centrali 58 679 00 00
e-mail: info@operon.pl
www.operon.pl

ISBN 978-83-8197-193-5

Spis treści

METODOLOGIA BADAŃ BIOLOGICZNYCH

Obserwacje mikroskopowe . . . 12
Statystyka w biologii . . . 13

1. BUDOWA CHEMICZNA ORGANIZMU

1.1. Chemiczne podstawy życia . . . 18
1.2. Węglowodany . . . 25
1.3. Lipidy . . . 27
1.4. Białka . . . 28
1.5. Budowa i funkcje kwasów nukleinowych . . . 31
1.6. Woda – budowa, właściwości fizyko-chemiczne i znaczenie biologiczne . . . 36

2. BUDOWA I FUNKCJONOWANIE KOMÓRKI

2.1. Budowa komórki prokariotycznej i eukariotycznej . . . 40
2.2. Błony biologiczne i transport przez błony . . . 42
2.3. Organelle komórkowe . . . 47
2.4. Cykl komórkowy . . . 60

3. METABOLIZM

3.1. Metabolizm – zagadnienia ogólne . . . 72
3.2. Enzymy . . . 75
3.3. Oddychanie komórkowe . . . 81
3.4. Fotosynteza . . . 87

4. KLASYFIKACJA I PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW

4.1. Zasady klasyfikacji organizmów . . . 96
4.2. Wirusy . . . 99
4.3. Bakterie . . . 110
4.4. Protisty . . . 123
4.5. Grzyby . . . 138
4.6. Porosty . . . 148

5. RÓŻNORODNOŚĆ ROŚLIN

5.1. Ewolucja i przystosowania roślin do życia na lądzie . . . 152
5.2. Tkanki roślinne . . . 156
5.3. Budowa i funkcje organów roślinnych . . . 163
5.4. Mszaki i rośliny zarodnikowe . . . 174
5.5. Rośliny nagonasienne (nagozalążkowe) . . . 180
5.6. Rośliny okrytozalążkowe (okrytonasienne) . . . 184

6. FUNKCJONOWANIE ROŚLIN

6.1. Gospodarka wodna roślin . . . 194
6.2. Odżywianie się roślin . . . 198
6.3. Wzrost i rozwój roślin . . . 200
6.4. Reakcje roślin na bodźce . . . 206

7. RÓŻNORODNOŚĆ ZWIERZĄT

7.1. Kryteria klasyfikacji zwierząt . . . 210
7.2. Różnorodność i przegląd systematyczny zwierząt bezkręgowych . . . 212
7.3. Różnorodność i przegląd systematyczny kręgowców . . . 264

8. FUNKCJONOWANIE ZWIERZĄT I ORGANIZMU CZŁOWIEKA

8.1. Organizacja budowy ciała zwierząt . . . 292
8.2. Odżywianie się zwierząt . . . 310
8.3. Rola składników organicznych i nieorganicznych w funkcjonowaniu organizmu . . . 313
8.4. Budowa i funkcje układu pokarmowego człowieka . . . 320
8.5. Budowa i funkcjonowanie układu odpornościowego człowieka . . . 330
8.6. Wymiana gazowa u zwierząt . . . 339
8.7. Budowa i funkcje układu oddechowego człowieka . . . 342
8.8. Transport wewnętrzny u zwierząt . . . 354
8.9. Budowa i funkcje układu krwionośnego u człowieka . . . 358
8.10. Rodzaje narządów wydalniczych u zwierząt . . . 372
8.11. Budowa i funkcje układu moczowego człowieka . . . 376
8.12. Regulacja dokrewna u zwierząt . . . 387
8.13. Budowa i funkcje układu hormonalnego u człowieka . . . 387
8.14. Regulacja nerwowa u zwierząt . . . 395
8.15. Budowa i funkcjonowanie układu nerwowego u człowieka . . . 399
8.16. Percepcja zmysłowa u zwierząt . . . 419
8.17. Budowa i funkcje receptorów człowieka . . . 423
8.18. Sposoby poruszania się u zwierząt . . . 432
8.19. Budowa i działanie układu ruchu człowieka . . . 436
8.20. Pokrycie ciała i funkcje skóry u zwierząt . . . 454
8.21. Rozmnażanie się zwierząt . . . 458
8.22. Budowa i funkcje układu rozrodczego człowieka . . . 462
8.23. Ontogeneza człowieka . . . 474

9. GENETYKA

9.1. Ekspresja informacji genetycznej . . . 476
9.2. Genetyka klasyczna . . . 494
9.3. Zmienność organizmów . . . 510

10. BIOTECHNOLOGIA

10.1. Biotechnologia tradycyjna i nowoczesna . . . 532
10.2. Techniki inżynierii genetycznej . . . 534
10.3. Organizmy genetycznie zmodyfikowane . . . 542
10.4. Klonowanie organizmów . . . 545
10.5. Terapia genowa . . . 547

11. EWOLUCJONIZM

11.1. Historia rozwoju myśli ewolucyjnej . . . 550
11.2. Dowody i mechanizmy ewolucji . . . 554
11.3. Powstawanie gatunków . . . 557
11.4. Historia życia na Ziemi . . . 559
11.5. Antropogeneza . . . 562

12. EKOLOGIA

12.1. Tolerancja ekologiczna organizmów . . . 566
12.2. Cechy populacji . . . 574
12.3. Zależności międzygatunkowe . . . 581
12.4. Struktura i funkcjonowanie ekosystemu . . . 589
12.5. Przepływ energii i krążenie materii w przyrodzie . . . 593
12.6. Sukcesja ekologiczna . . . 598

13. RÓŻNORODNOŚĆ BIOLOGICZNA

13.1. Różnorodność biologiczna . . . 602
13.2. Wpływ człowieka na różnorodność biologiczną . . . 609
13.3. Wzrost różnorodności biologicznej . . . 615
13.4. Ochrona gatunków i ekosystemów . . . 618

Wybrane wzory i stałe fizykochemiczne na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki . . . 631
Indeks . . . 648

Rok maturzysty

Zdasz, tylko pamiętaj o...

optymalizacji nauki pod kątem wybranej dla siebie drogi rozwoju; ucz się tych przedmiotów, które będą Ci potrzebne podczas rekrutacji na studia





systematyczności w nauce; zacznij od planu na początku roku szkolnego i go realizuj

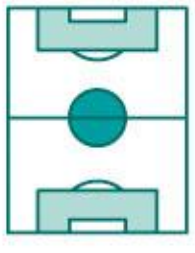
stopniowym **zwiększaniu intensywności nauki;** nie tylko Ty przyśpieszasz po studniówce





higienie czasu; wysypiaj się

higienie psychiki; nie rezygnuj ze wszystkich swoich przyjemności i zajęć dodatkowych



Wybierz przedmioty na maturę, a zacznij od...

1. **WYTYPOWANIA**
tych kierunków studiów, które są dla Ciebie wymarzonymi

2. **SPRAWDZENIA**
na poszczególnych uczelniach, jakie są kryteria przyjęć na te kierunki

3. **UPEWNIENIA SIĘ,**
że dobrze rozumiesz zawód, który Cię interesuje; porozmawiaj z kimś, kto go wykonuje

4. **DOWIEDZENIA SIĘ,**
jako kto i gdzie możesz pracować po rozpatrywanym kierunku studiów

5. **WYTYPOWANIA**
alternatywnych kierunków studiów

6. **ROZWAŻENIA**
stacjonarnego i niestacjonarnego trybu nauki oraz możliwych po nim tytułów zawodowych

7. **ZAPOZNANIA SIĘ**
z listami uczelni publicznych i niepublicznych

W nauce pomoże Ci...



wyłączenie aplikacji
z mediami społecznościowymi



stosowanie tych technik pamięciowych, które masz już sprawdzone



wypróbowanie słuchania
webinarów/wykładów oraz videolekcji i podkastów podczas innych czynności, np. sprzątania czy uprawiania sportu

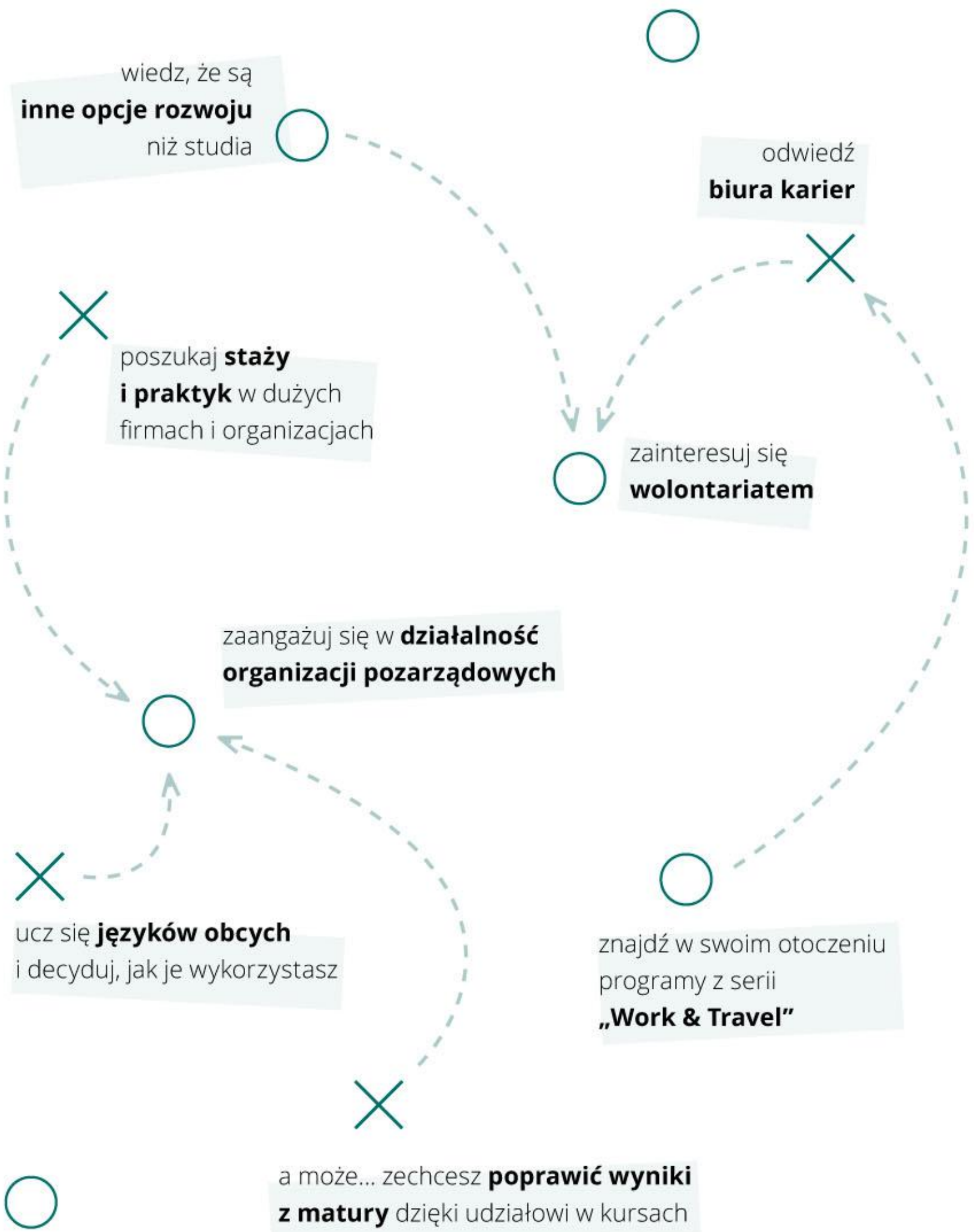


autogratyfikacja, wręczanie sobie małych i większych nagród za przebycie kolejnych etapów nauki



znalezienie dla siebie **najlepszej pory dnia** lub nocy na naukę

Miej plan B na przyszłość, czyli...



Metodologia badań biologicznych

Biologia to jedna z nauk przyrodniczych. W jej badaniu i rozumieniu nieodzowne są obserwacje i eksperymenty. Przeprowadzamy je z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi i często w laboratoriach. Do badania wykorzystujemy właściwie dobrany **materiał badawczy** (preparaty, próbki, roztwory, fragmenty tkanek i organów czy całe organizmy). W badaniach biologicznych nieocenione jest wykorzystanie **modeli naukowych** (statycznych, interaktywnych, żywych, a także linii komórkowych).

Główne organizmy modelowe wykorzystywane w biologii

Organizm modelowy	Charakterystyka
Mysz domowa (ssak)	• genom myszy różni się od ludzkiego o ok. 3000 genów • model w badaniach nad chorobami człowieka (nowotwory, cukrzyca, choroby genetyczne) – wykorzystywany do badania ich patogenezy oraz testowania terapii i leków
Muszka owocowa (owad)	• bardzo krótki cykl rozwojowy, duża liczba potomstwa, łatwość hodowli • znany genom • model w badaniach nad chorobami człowieka (nowotworowymi, neurodegeneracyjnymi), zaburzeniami odporności i starzeniem organizmu
Caenorhabditis elegans (nicień)	• 40% genów wspólnych z genami człowieka • mała liczba komórek, przezroczyste ciało, łatwość hodowli • model w badaniach różnicowania komórkowego, podziałów komórkowych, zachowań rozrodczych
Pałeczka okrężnicy (bakteria)	• najczęściej wykorzystywany organizm w badaniach genetycznych i biotechnologicznych • niska cena i łatwość hodowli • model do badań mechanizmu replikacji, translacji
Rzodkiewnik pospolity (roślina)	• znany genom • genom mały, umożliwiający manipulacje genetyczne • model stosowany w badaniu roślin: mechanizmy wzrostu, rozwoju, kwitnienia, odporności na niekorzystne warunki, biosyntezy witamin

Metody badań biologicznych

Podstawą badań naukowych, w tym biologicznych, jest logiczne myślenie oraz formułowanie problemów badawczych. Nauki biologiczne opierają się na dwóch metodach badawczych: **obserwacyjnej** oraz **eksperymentalnej**.

Metody badań biologicznych

Obserwacja	Eksperyment (doświadczenie)
• zamierzone i zaplanowane prowadzenie badań naukowych • pozyskanie informacji o organizmach, procesach, zależnościach, zjawiskach • metoda nieinwazyjna (nie pociąga za sobą żadnych zmian w obserwowanym obiekcie czy procesie) • polega na opisie badanych elementów przyrody, często w warunkach naturalnych • stanowi wstęp do kolejnych badań naukowych lub jeden z etapów doświadczenia	• zamierzona zmiana warunków lub czynników wpływających na badany organizm • ma na celu poznanie przyczyn leżących u podstaw badanych procesów • często prowadzony w laboratoriach wyposażonych w aparaturę (np. wirówki, wagi, spektrofotometry czy mikroskopy) • umożliwia kontrolę warunków przebiegu doświadczenia oraz na wielokrotne jego powtórzenia

Rodzaje prób w eksperymencie

Próba kontrolna	Próba badawcza
Próbę kontrolną stanowią organizmy lub procesy niepoddawane manipulacjom doświadczalnym – pozostawiamy je w stanie naturalnym.	Próba kontrolna jest odniesieniem dla próby badawczej, która obejmuje organizmy lub procesy poddane manipulacjom doświadczalnym.

Etapy badania biologicznego

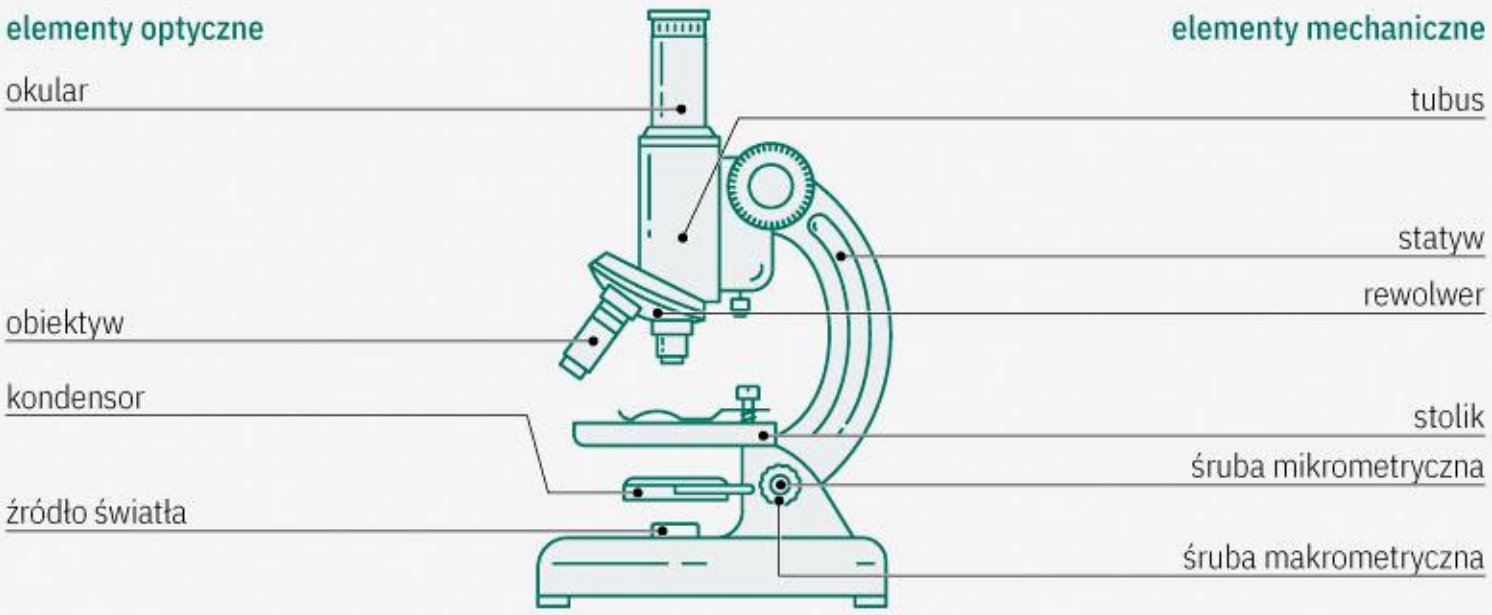
Badania biologiczne prowadzi się według określonego schematu oraz z zachowaniem wszystkich zasad bezpieczeństwa i etyki.

Etapy badania biologicznego
sformułowanie problemu badawczego • określa cel badania; • ma postać zdania pytającego.
postawienie hipotezy badawczej • jest przewidywaną odpowiedzią na pytanie postawione w problemie badawczym; • ma postać zdania oznajmującego.
weryfikacja hipotezy badawczej • sprawdzenie poprawności hipotezy za pomocą obserwacji lub eksperymentu; zakłada wybranie odpowiedniego obiektu badań oraz sposobu wykonania eksperymentu; • eksperyment jest prowadzony według procedury (instrukcji); badania są powtarzane kilkukrotnie, a uzyskane wyniki powinny być powtarzalne; • przebieg badania i wyniki powinny być zapisane w sposób umożliwiający jego powtórzenie.
sformułowanie wniosków • wnioski są potwierdzeniem lub zaprzeczeniem hipotezy; mogą być wyciągane tylko na podstawie otrzymanych wyników.

Obserwacje mikroskopowe

Schemat budowy mikroskopu optycznego z podziałem na elementy układu optycznego i układu mechanicznego

- **Elementy układu optycznego** – służą do otrzymania obrazu preparatu.
- **Elementy układu mechanicznego** – służą do sterowania części optycznych w celu uzyskania obrazu preparatu.



Porównanie mikroskopu optycznego i mikroskopów elektronowych

Typ mikroskopu	Źródło światła	Soczewki	Preparat	Rodzaj obrazu	Zdolność rozdzielcza	Maksymalne powiększenie
optyczny	wiązka światła widzialnego	szklane	żywe lub martwe komórki	dwuwymiarowy	0,2 µm	do 1000 razy
transmisyjny mikroskop elektronowy (TEM)	wiązka elektronów	elektromagnetyczne	martwe komórki utwardzane i impregnowane substancjami chemicznymi	dwuwymiarowy	0,2 nm	do 1 000 000 razy
skaningowy mikroskop elektronowy (SEM)	wiązka elektronów	elektromagnetyczne	martwe komórki pokryte warstwą złota lub grafitu	trójwymiarowy	1 nm	do 500 000 razy

Zdolność rozdzielcza mikroskopu – zdolność do rozróżnienia szczegółów obrazów optycznych, najmniejsza odległość między dwoma punktami, przy której są one widoczne jako oddzielne punkty.

Obliczanie powiększenia obrazu w mikroskopie

powiększenie obserwowanego obiektu = powiększenie obiektywu × powiększenie okularu

Uzyskany obraz w mikroskopie

Obiektyw wytwarza obraz rzeczywisty, powiększony i odwrócony przedmiotu, obraz oglądany przez okular jest jeszcze raz powiększony.

Ostatecznie obraz w mikroskopie jest pozorny, powiększony i odwrócony.

Statystyka w biologii

Badania przyrodnicze w dużej mierze opierają się na obserwacjach i metodach doświadczalnych. Cechy, które próbujemy zmierzyć (np. długość i szerokość blaszek liściowych, ciężar owoców) lub policzyć (np. liczba nasion wydanych przez osobnika danego gatunku), cechują się **zmiennością**. Przyrodnik, badając określoną cechę, próbuje określić **zakres** jej zmienności (np. informuje, że liczba składanych przez dany gatunek ptaka jaj waha się od 3 do 8). Zakres stanowi pewną informację, ale nawet jeśli go znamy, nie wiemy, który pomiar występuje najczęściej. Ponadto zakres wzrasta wraz z liczbą pomiarów. Jednym ze sposobów określenia zmienności danej cechy jest podanie jej **wartości średniej**. Im więcej pomiarów wykonamy, tym mniejsze będą wahania średniej. Pozyskiwaniem danych i metodami ich analizy zajmuje się **statystyka**.

Średnia arytmetyczna i ważona

Średnia arytmetyczna to suma wartości pomiarów podzielona przez ich liczbę. Średnią arytmetyczną (zwaną w skrócie średnią) oznaczamy symbolem $\overline{x}$ i zapisujemy za pomocą wzoru:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_n}{N}$$

Gdzie: x_1, x_2 , x_n są wartościami kolejnych pomiarów, a N – liczbą wykonanych pomiarów.

Przykład: Dokonano pomiaru długości dziobów pięciu dorosłych samców bocianów i uzyskano następujące wyniki: 16 cm, 18 cm, 21 cm, 15 cm i 20 cm. Aby obliczyć średnią, zapisujemy kolejne pomiary:

$x_1 = 16$, $x_2 = 18$, $x_3 = 21$, $x_4 = 15$, $x_5 = 20$

Wyznaczamy liczbę pomiarów:

$N = 5$

Zatem średnią arytmetyczną obliczymy, sumując uzyskane wyniki i dzieląc je przez liczbę wszystkich pomiarów (w tym wypadku 5).

$$\frac{16+18+21+15+20}{5} = \frac{90}{5} = 18$$

Średnia arytmetyczna dla podanego przykładu wynosi 18. Podsumowując, możemy powiedzieć, że średnia długość dziobów bocianów w badanym eksperymencie wynosiła 18 cm.

Średnia ważona odnosi się do obliczenia średniej ogólnej z już obliczonych średnich. Ważenie średniej polega na tym, że każdej wartości średniej przypisywane są różne wagi (tzn. znaczenia, rangi) w taki sposób, że dane o większej wadze mają większy wpływ na wartość średniej. Średnią ważoną obliczamy z następującego wzoru:

$$\overline{x}_w = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \ldots + w_nx_n}{w_1 + w_2 + \ldots + w_n}$$

Gdzie w oznacza wagę wartości średniej x (w_1 waga średniej x_1, w_2 – waga średniej x_2 itd.).

Przykład: Trzech pracowników parku dokonało pomiarów długości dziobów dorosłych samców bocianów. Pierwszy z nich zmierzył dzioby 5 osobnikom i otrzymał średnią 18 cm, drugi – 20 osobnikom i wyliczył średnią 19 cm, a trzeci zmierzył aż 50 dziobów bocianów i uzyskał średnią 21 cm. W tym wypadku średnią obliczymy, uwzględniając nie tylko wartości średnich, lecz także sumę wszystkich pomiarów:

$$X_w = \frac{5 \cdot 18\ \text{cm} + 20 \cdot 19\ \text{cm} + 50 \cdot 21\ \text{cm}}{5+20+50} = \frac{1520}{75} = 20{,}3$$

Zauważ, że gdybyśmy z podanych pomiarów wyliczyli średnią długość dziobów bocianów, uzyskalibyśmy wynik 19,3 cm, co byłoby błędem dlatego, że nadalibyśmy nadmierne znacznie (wagę) pomiarom pracownika pierwszego (5), których było mało, a zbyt małą wagę przyłożylibyśmy do pomiarów pracownika trzeciego, których było 10 razy więcej (50).

Mediana i dominanta

Mediana to wartość środkowa danego zbioru danych pomiarowych. W celu obliczenia mediany należy uporządkować wartości pomiarów od najmniejszej do największej i wybrać wartość środkową. W przypadku nieparzystej liczby elementów danego szeregu medianą jest wartość w środku szeregu, a jeżeli liczba elementów jest parzysta, to medianę otrzymujemy jako średnią arytmetyczną między dwoma środkowymi wartościami.

Przykład:

A. Dla szeregu liczb: **2, 5, 7, 12, 28**, medianą będzie pomiar trzeci, czyli liczba **7**.
B. Dla szeregu liczb: **2, 5, 7, 12**, medianę uzyskamy, obliczając średnią z dwóch środkowych pomiarów, czyli **5 + 7/2 = 6.**

Mediana nie uwzględnia wartości skrajnych, dlatego jej wyznaczanie jest przydatne do badań, w których część uzyskanych wyników znacznie odbiega od pozostałych i ich uwzględnienie w liczeniu średniej bardzo zaburzyłoby końcowy wynik. Na przykład: czas wystąpienia reakcji uczuleniowych po szczepieniu u jednej lub kilku osób jest znacznie dłuższy niż u pozostałych, dlatego w tym przypadku lepszy obraz sytuacji daje mediana.

Dominanta, w przeciwieństwie do mediany, wskazuje na wartość najczęściej występującą w próbie (albo o największym prawdopodobieństwie wystąpienia). W danym zbiorze **dominantą** może jedna lub kilka wartości.

Przykład: w zbiorze: 2, 3, 5, 5, 5, 6, 8, 9 dominantą jest cyfra **5**, a w zbiorze 2, 3, 5, 5, 5, 6, 8, 8, 8, 9 – dominantami są cyfry **5 i 8**.

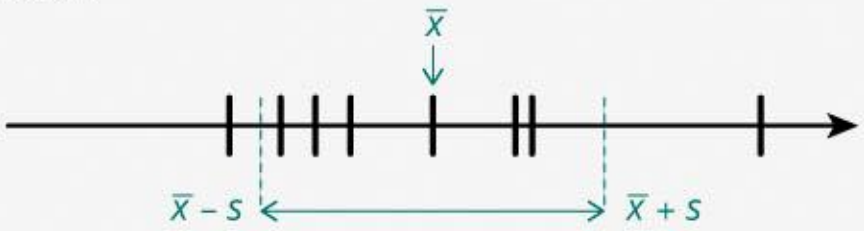
Dominanta jest użyteczna w tych badaniach przyrodniczych, których efektem są wartości opisowe (a nie liczbowe), np. kiedy podajemy, że badanej populacji gryzoni leśnych było 20 osobników jasnych, 60 ciemnych i 14 pasiastych. Dominantę w tym przypadku stanowią osobniki ciemne (jest ich najwięcej).

Niepewność pomiaru i odchylenie standardowe

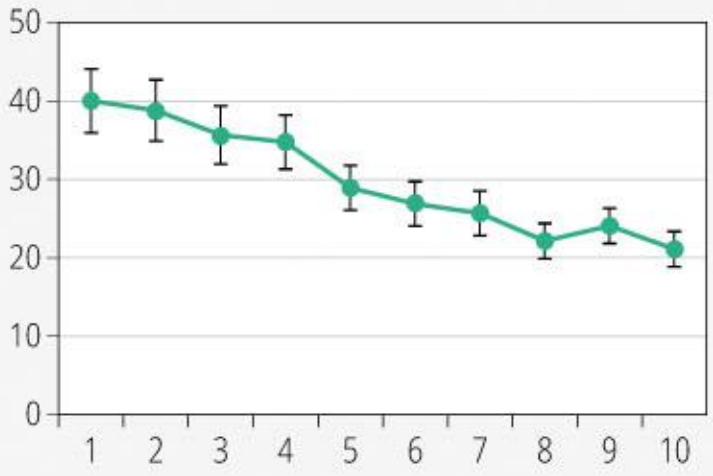
W badaniach biologicznych pomiar jakiegoś parametru (np. zawartości substancji, długości liści, wydzielania tlenu, aktywności enzymatycznej) dokonujemy z określoną, skończoną dokładnością. Powodem tego jest nieprecyzyjność naszych zmysłów (w czasie odmierzania, włączania/wyłączania, dodawania, mieszania itd.) oraz niedoskonałość przyrządów pomiarowych. Wykonując kilkukrotnie ten sam pomiar, za każdym razem otrzymamy trochę inny wynik. Podanie samego wyniku pomiaru (np. jako średniej arytmetycznej) nie jest wystraczające. Każdy wynik powinien zawierać także informację o tym, jaki był rozrzut uzyskanych wyników, czyli o tzw. **niepewności pomiaru**. Najprościej mówiąc, niepewność pomiaru mówi o tym, jak szeroko zmierzone wartości są rozrzucone wokół jej średniej. Miarą niepewności pomiaru jest **odchylenie standardowe** (*s*; SD). Im mniejsza wartość odchylenia standardowego, tym uzyskane wyniki są bardziej skupione wokół średniej. Odchylenie standardowe wyliczamy ze wzoru:

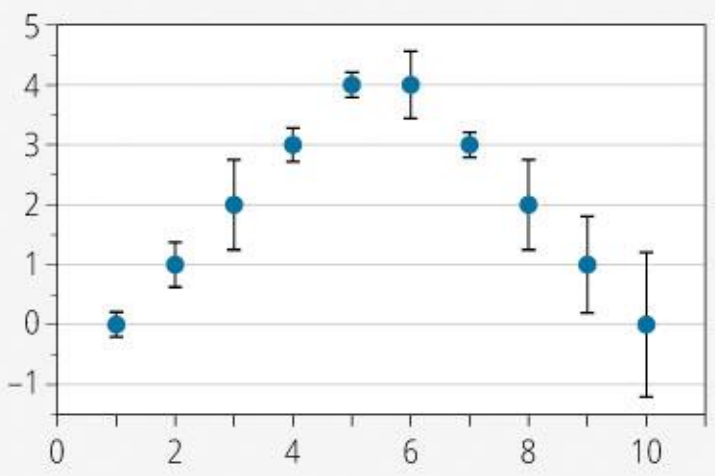
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \overline{x}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{n}{n-1}\left(\overline{x^2} - (\overline{x})^2\right)}$$

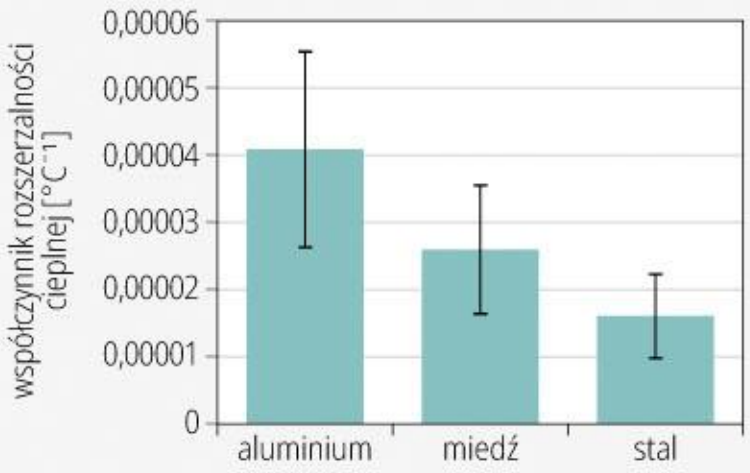
Gdzie: x_i – kolejne wartości pomiarów
$\overline{x}$ – średnia arytmetyczna z pomiarów
n – liczba pomiarów



W publikacjach naukowych do oznaczenia odchylenia standardowego używa się skrótu SD (od ang. *standard deviation*), które widnieje po wartości średniej ze znakiem ± (np. 30 ± 2). Dane pomiarowe prezentujemy w postaci tabel (podajemy wtedy wartości liczbowe), ale także w postaci graficznej, gdzie wartość średniej może mieć postać słupków, linii czy punktów. Do tej wartości „przyporządkowujemy" wartość odchylenia standardowego. Na wykresach odchylenie standardowe ma postać „wąsów" (jak na przykładach poniżej), które informują o rozrzucie wyników. Im wąsy są krótsze, tym wynik przez nas otrzymany ma mniejszą niepewność, tzn. otrzymane wyniki skupiają się bliżej średniej.





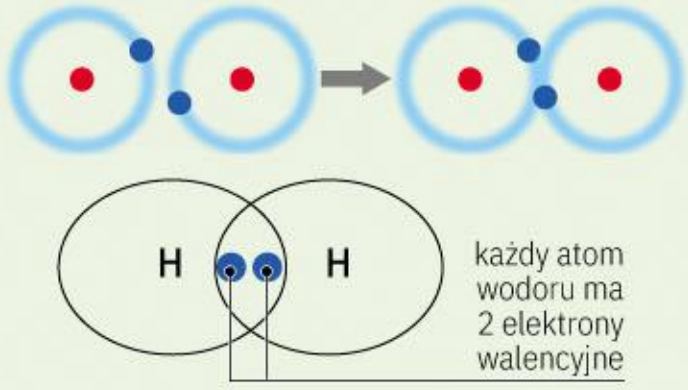
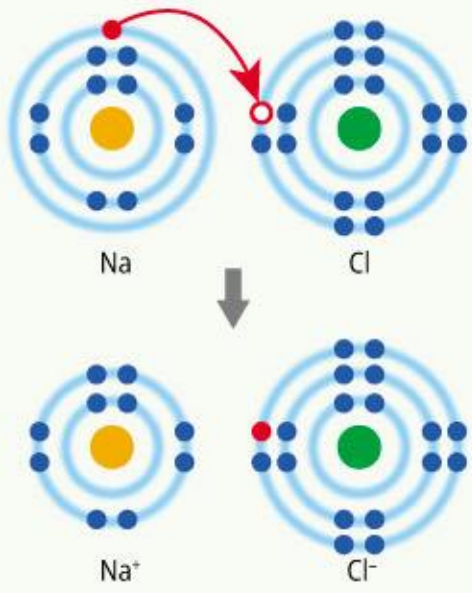
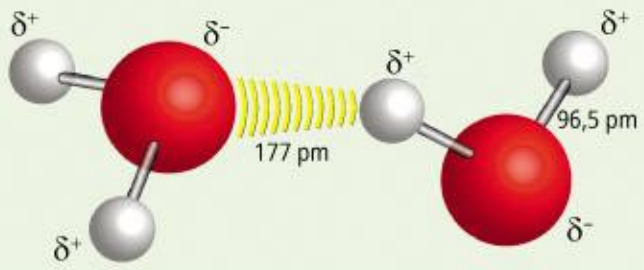


Przykłady graficznego przedstawienia wyników badań. Linie, punkty czy słupki obrazują wartości średniej z wykonanych pomiarów, a „wąsy" – wartości odchylania standardowego.



Budowa chemiczna organizmu

Rodzaje wiązań i oddziaływań chemicznych występujących w cząsteczkach biologicznych

Wiązanie	Rodzaje wiązań i oddziaływań chemicznych w cząsteczkach biologicznych	Funkcja
Wiązania kowalencyjne		Odpowiadają za strukturę przestrzenną cząsteczek biologicznych. Należą do wiązań silnych (ulegają rozerwaniu pod wpływem wysokiej energii). Obecność tego wiązania zabezpiecza cząsteczki przed ich rozpadem.
Wiązania jonowe		Związki z wiązaniem jonowym są dobrze rozpuszczalne w wodzie, dysocjują na poszczególne jony, z których każdy ma otoczkę hydratacyjną (wodną). Są to wiązania silne.
Wiązania wodorowe		Odpowiadają za utrzymanie struktury przestrzennej cząsteczek (np. białek, kwasów nukleinowych). Należą do wiązań słabych.

Oddziaływania van der Waalsa

Stabilizują strukturę cząsteczek i struktur komórkowych. Pojedyncze oddziaływania tego typu są bardzo słabe i występują lokalnie.

Oddziaływania hydrofobowe

Oddziaływania hydrofobowe mają niebywale duże znaczenie w procesie formowania błon biologicznych.

Wiązanie kowalencyjne – tworzy się w wyniku uwspólniania jednej lub kilku par elektronów należących do różnych atomów.

Podział wiązań kowalencyjnych ze względu na liczbę wspólnych par elektronowych, które atom danego pierwiastka może utworzyć, gdy wiąże się z atomem innego pierwiastka:
- pojedyncze (tworzy się jedna wspólna para elektronowa, np. C–C);
- podwójne (tworzą się dwie wspólne pary elektronowe, np. C=C);
- potrójne (tworzą się trzy wspólne pary elektronowe, np. N≡N).

Podział wiązań kowalencyjnych ze względu na charakter wiązania:
- niespolaryzowane (uwspólniona para elektronowa pochodzi od atomów o podobnej lub takiej samej elektroujemności);
- spolaryzowane (uwspólnione pary elektronowe są przesunięte w kierunku atomu o większej elektroujemności);

– koordynacyjne (uwspólniona para elektronowa pochodzi wyłącznie od jednego z atomów tworzących wiązanie, np. SO_2).

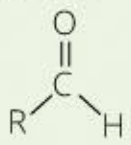
Wiązanie jonowe – powstaje pomiędzy naładowanymi różnoimiennie jonami (anionami i kationami) lub grupami funkcyjnymi. Elektrony atomu mniej elektroujemnego przemieszczają się do atomu bardziej elektroujemnego. Wiązania te mają charakter polarny, a pierwiastki je tworzące uzyskują na powłoce walencyjnej oktet elektronowy (w przypadku atomu wodoru – dublet).

Wiązania wodorowe – powstają pomiędzy obdarzonym ładunkiem dodatnim atomem wodoru jednej cząsteczki a wolną parą elektronową atomu pierwiastka o dużej elektroujemności (np. tlenu, azotu).

Oddziaływania van der Waalsa – w pozbawionych ładunku cząsteczkach na skutek ciągłego przemieszczania się elektronów mogą pojawić się lokalne obszary z dodatnimi i ujemnymi ładunkami. Taka chwilowa polarność sąsiadujących różnoimiennych ładunków może doprowadzić do ich przyciągania. Pojedyncze oddziaływania tego typu są bardzo słabe i występują lokalnie. W dużych cząsteczkach komórkowych mają duże znaczenie, bowiem łączna ich siła przyciągania jest znaczna.

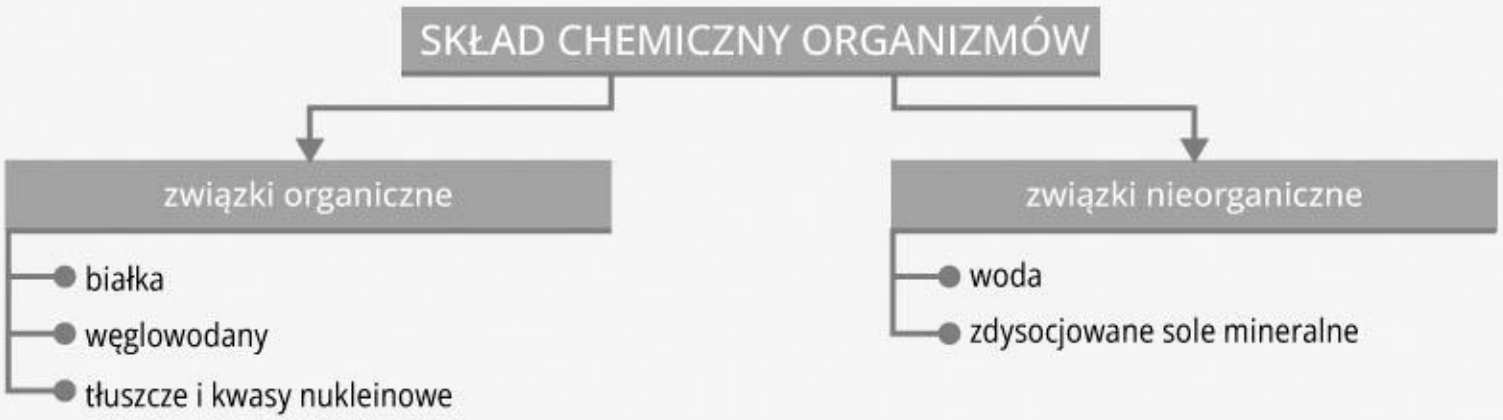
Oddziaływania hydrofobowe – należą do słabych oddziaływań między cząsteczkami. Powstają wtedy, gdy w środowisku wodnym znajdą się związki niebędące dipolami. Takimi zawiązkami są tłuszcze, które w roztworze wodnym ustawiają się w taki sposób, aby jak najbardziej ograniczyć z kontakt w wodą.

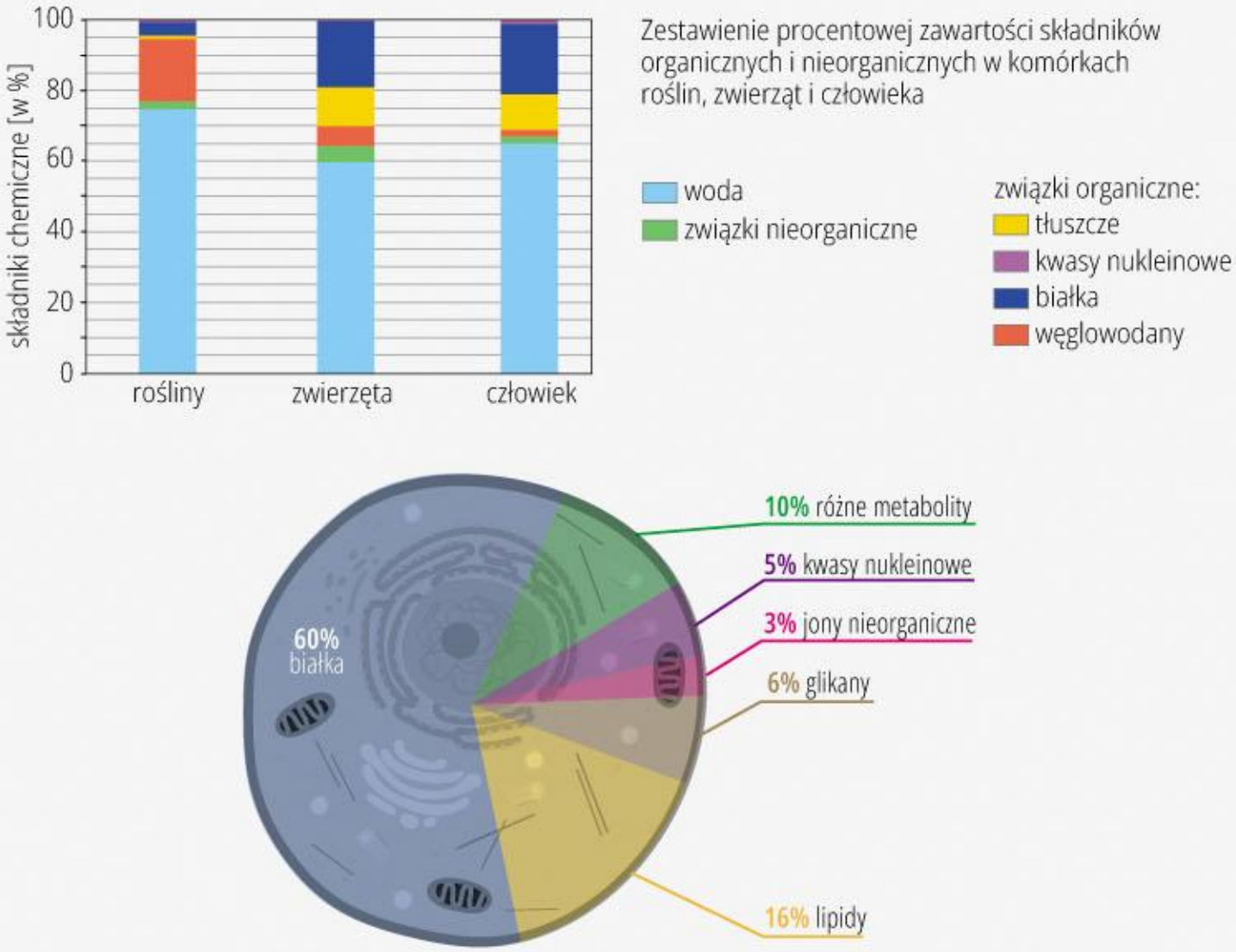
Najważniejsze grupy funkcyjne organicznych związków węgla

Grupa funkcyjna	Wzór	Właściwości	Przykładowy związek
hydroksylowa	R–OH	polarna	etanol
karbonylowa • aldehydowa • ketonowa	R–CHO 	polarna	formaldehyd aceton
karboksylowa	R–COOH	słabo kwaśna, może odłączyć się jon H^+	kwas octowy
aminowa	R–NH_2	słabo zasadowa, może przyłączyć się jon H^+	aminokwas alanina
fosforanowa	R–PO_4^{3-}	słabo kwaśna, może odłączyć się jeden jon H^+ lub dwa jony H^+	glicerofosforan
sulfhydrylowa	R–SH	stabilizuje strukturę białek	cysteina

Skład chemiczny organizmów

Wszystkie organizmy są zbudowane z pierwiastków chemicznych, które tworzą związki chemiczne lub występują w postaci jonów. Związki chemiczne dzielimy na **organiczne i nieorganiczne**.





Składniki nieorganiczne. Makroelementy i mikroelementy

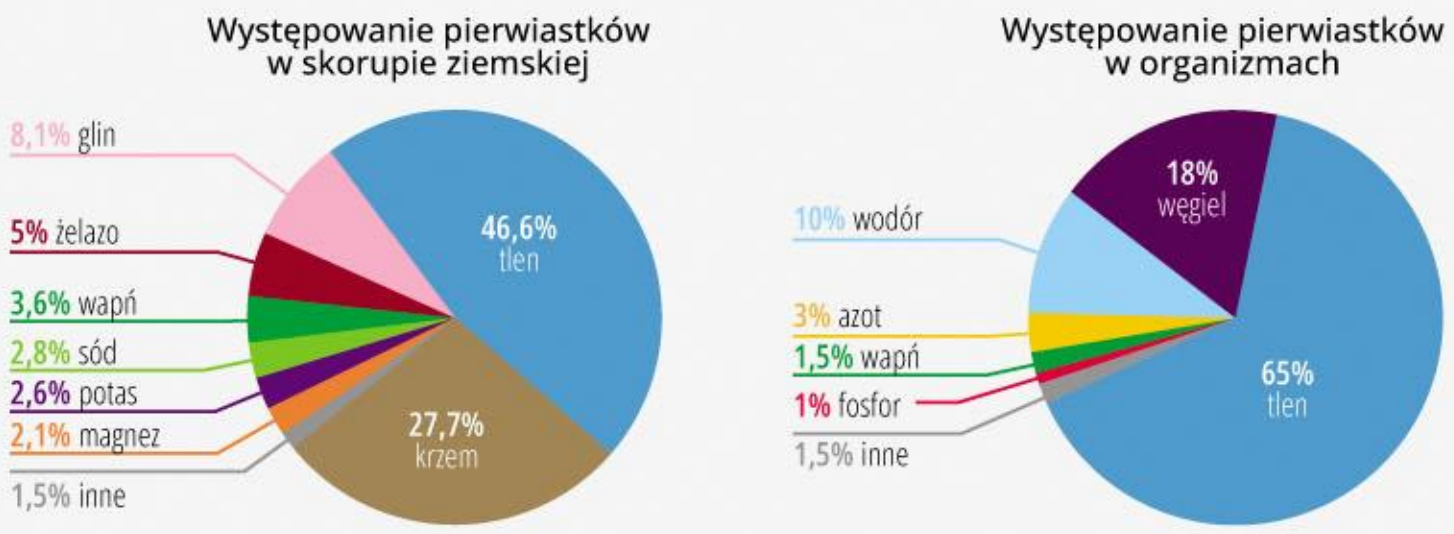
Makroelementy – pierwiastki niezbędne do prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmów. Ich zawartość procentowa w suchej masie* wynosi ponad 0,01%. Spośród makroelementów C, O, H, N, S, P to tzw. **pierwiastki biogenne** (**budulcowe**), są one bowiem podstawowym składnikiem budującym biocząsteczki: białka, tłuszcze, węglowodany, kwasy nukleinowe.

Mikroelementy – występują w organizmie w małych ilościach, poniżej 0,01% suchej masy, ale ich obecność jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania procesów życiowych.

* Sucha masa – masa organizmów lub ich części, która pozostaje po usunięciu z nich wody; wyrażona w jednostkach masy, np. w gramach.

Świeża masa – całkowita masa organizmów lub ich części; wyrażona w jednostkach masy, np. w gramach.

Porównanie występowania niektórych pierwiastków w skorupie ziemskiej i w organizmach



Pierwiastki biogenne

Pierwiastek	Najważniejsza rola w organizmie	Główne źródło	Niektóre skutki niedoboru	
			u człowieka i zwierząt	u roślin
węgiel (C) tlen (O) wodór (H)	podstawowe pierwiastki budulcowe wszystkich związków organicznych, tlen bierze udział w oddychaniu komórkowym i z wodorem tworzy wodę	wszystkie produkty pokarmowe	• zahamowanie procesów życiowych i śmierć organizmu	• zahamowanie procesów życiowych i śmierć organizmu
azot (N)	składnik aminokwasów, białek, nukleotydów, kwasów nukleinowych, nośników energii (ATP, ADP), barwników fotosyntetycznych i fitohormonów, główny składnik zbędnych metabolitów wydalanych przez zwierzęta	produkty białkowe zwierzęce (mięso, nabiał, ryby, owoce morza) i roślinne (nasiona strączkowe, orzechy i pestki, pełne nasiona zbóż)	• zahamowanie procesów życiowych (wychudzenie, osłabiony wzrost u dzieci, ogólne osłabienie, choroby wątroby)	• zahamowanie wzrostu rośliny, żółknięcie liści (chloroza – brak chlorofilu) zwłaszcza starszych, drewnienie tkanek • wzrost syntezy antocyjanów (fioletowe i czerwone zabarwienie liści)
siarka (S)	składnik niektórych aminokwasów i białek (budujących włosy, paznokcie i skórę), enzymów i hormonów; składnik koenzymu A (uczestniczy w oddychaniu komórkowym)	jaja, mleko i jego przetwory, mięso, rośliny strączkowe, czosnek, cebula, kapusta, papryka, niektóre owoce (truskawki, awokado, morele)	• pogorszenie stanu włosów, paznokci i skóry • pogorszenie wchłaniania innych pierwiastków (magnez, żelazo, potas, wapń) • zaburzenia pracy wątroby	• zahamowanie wzrostu liści i żółknięcie nerwów liściowych, czerwone plamy na liściach • zahamowanie kwitnienia i wzrostu całej rośliny
fosfor (P)	składnik nukleotydów, kwasów nukleinowych, związków wysokoenergetycznych (ATP, ADP) i niektórych białek, składnik kości, zębów	otręby pszenne, sery, mleko, orzechy, pełne nasiona zbóż, wątroba wieprzowa	• zaburzenia wzrostu • osłabienia i bóle mięśni, kości • zaburzenia oddychania i zaburzenia neurologiczne	• podobne objawy jak w przypadku niedoboru azotu, ponadto słabe kwitnienie i wykształcenie nasion, obumieranie młodych liści, zrzucanie liści

Makroelementy

Pierwiastek	Najważniejsza rola w organizmie	Główne źródło	Niektóre skutki niedoboru	
			u człowieka i zwierząt	u roślin
chlor (Cl)	reguluję gospodarkę wodno-elektrolitową i równowagę kwasowo-zasadową (aktywuje enzymy trawienne w układzie pokarmowym), niezbędny do rozkładu wody w czasie fotosyntezy	sól kuchenna, owoce morza, ryby, wędliny, wszystkie produkty, do których dodawana jest sól	• osłabienie pracy mięśni • zaburzenia procesu trawienia	• w warunkach naturalnych brak objawów niedoboru (stężenie w roztworze glebowym jest dużo większe niż w komórce roślinnej)

Pierwiastek	Najważniejsza rola w organizmie	Główne źródło	Niektóre skutki niedoboru	
			u człowieka i zwierząt	u roślin
wapń (Ca)	składnik budulcowy kości, zębów, bierze udział w skurczu mięśni, w procesie krzepnięcia krwi, odpowiada za prawidłowe przewodnictwo impulsów nerwowych	mleko i produkty mleczne, ryby, natka pietruszki, szpinak, orzechy	• u dzieci i młodzieży: zmniejszenie masy kostnej, krzywica • u dorosłych: osteoporoza • stany lękowe drgawki i silne skurcze mięśni szkieletowych (tężyczka) • zaburzenia procesu krzepnięcia krwi	• martwica organów roślinnych • zahamowanie wzrostu roślin • śluzowacenie korzeni • żółto-brązowe plamy na liściach • rozkład błon plazmatycznych
magnez (Mg)	stabilizuje strukturę rybosomów, składnik kości, zębów i mięśni, składnik chlorofilu; aktywator wielu enzymów fotosyntetycznych i oddechowych, odgrywa istotną rolę w przemianach węglowodanów i gospodarce fosforanowej	szpinak, kasza gryczana, ciemne pieczywo, warzywa strączkowe, owoce morza, kakao, gorzka czekolada	• osłabienie i skurcze komórek nerwowych i mięśniowych • zaburzenia rytmu serca, ogólne osłabienie organizmu • bóle i zawroty głowy • rozdrażnienie	• żółknięcie liści (chloroza – brak chlorofilu) • zahamowanie procesu fotosyntezy • zahamowanie wzrostu rośliny
sód (Na)	uczestniczy w przewodzeniu impulsów nerwowych; reguluje ciśnienie osmotyczne płynów ustrojowych	sól kuchenna; ryby, owoce morza	• mniejsza pobudliwość komórek nerwowych • skurcze mięśni • obniżone ciśnienie • odwodnienie (suchość skóry i błon śluzowych) Uwaga! Nadmiar sodu grozi nadciśnieniem.	• zanik różnicy potencjałów (napięcia elektrycznego) • utrata pobudliwości komórek
potas (K)	uczestniczy w przewodzeniu impulsów nerwowych, reguluje gospodarkę wodno-elektrolitową i pracę nerek; bierze udział w skurczu mięśni	nasiona roślin strączkowych, kakao, orzechy (zwłaszcza arachidowe i włoskie); suszone owoce (morele, rodzynki, jabłka, figi), niektóre warzywa (np. pomidory, ziemniaki, brokuły, buraki, seler) i owoce (np. banany, brzoskwinie, morele, owoce cytrusowe)	• osłabienie pracy mięśni • choroby serca i nerek • nadciśnienie • ogólne osłabienie organizmu • apatia	• zahamowanie wzrostu korzenia i pędu • na wierzchołkach i brzegach starszych liści chloroza, a następnie martwica (nekroza)

Pierwiastek	Najważniejsza rola w organizmie	Główne źródło	Niektóre skutki niedoboru	
			u człowieka i zwierząt	u roślin
żelazo (Fe)	składnik białek złożonych magazynujących (mioglobina) lu transportujących (hemoglobina) tlen; składnik enzymów enzymy przenoszące elektrony w procesach oddychania i fotosyntezy	podroby (wątroba, nerki), mięso, jaja, nasiona roślin strączkowych (soja, fasola), korzeń pietruszki, niektóre suszone owoce (morele, śliwki, figi), prażone nasiona sezamu, dyni i słonecznika	• anemia i osłabienie organizmu, apatia • zaburzenia procesu oddychania komórkowego i pracy serca	• chloroza (żółknięcie młodych liści) • zaburzenie oddychania komórkowego i fotosyntezy

Mikroelementy

Pierwiastek	Najważniejsza rola w organizmie	Główne źródło	Niektóre skutki niedoboru	
			u człowieka i zwierząt	u roślin
miedź (Cu)	składnik wielu enzymów, uczestniczy w syntezie hemoglobiny i transporcie żelaza we krwi, bierze udział w syntezie chlorofilu	wątroba, otręby pszenne, płatki owsiane, orzechy, kakao, nasiona słonecznika, warzywa liściaste, ostrygi, nasiona roślin strączkowych	• niedobory występują bardzo rzadko • anemia, obniżona odporność	• więdnięcie młodych liści • zamieranie wierzchołków pędu • obniżenie turgoru
cynk (Zn)	składnik insuliny (hormon obniżający poziom cukru we krwi), składnik ok. 300 enzymów, niezbędny do syntezy związków pobudzających wytwarzanie hormonów wzrostu roślin, uczestniczy w przemianie białek, lipidów i węglowodanów	mięso, ostrygi, ryby, orzechy, produkty zbożowe, nasiona słonecznika pestki dyni, otręby, rośliny strączkowe, zioła: pokrzywa, szałwia, rumianek, mniszek lekarski	• spowolnione gojenie ran • łamliwość włosów i paznokci • choroby skóry • zaburzenia rozwoju i czynności gonad	• chloroza starszych liści • karłowacenie roślin • zahamowanie syntezy hormonów wzrostu
kobalt (Co)	składnik witaminy B_{12} (odpowiada za wytwarzanie czerwonych krwinek), niezbędny dla roślin motylkowych żyjących w symbiozie z bakteriami brodawkowymi	wątroba, nerki, mięso, niektóre owoce morza, np. ostrygi, mleko, szpinak, sałata, ziarna zbóż	• anemia • zaburzenia krzepnięcia krwi	• zaburzenia wiązania azotu atmosferycznego przez rośliny motylkowe
fluor (F)	składnik kości i szkliwa zębów	woda wodociągowa, herbata, ryby, produkty pełnoziarniste, sery żółte, pleśniowe	• próchnica zębów • łamliwość kości u dzieci • osteoporoza	• nie stwierdzono

Pierwiastek	Najważniejsza rola w organizmie	Główne źródło	Niektóre skutki niedoboru	
			u człowieka i zwierząt	u roślin
jod (I)	składnik hormonów tarczycy (odpowiadają za pracę serca, układu nerwowego i przemianę materii)	sól jodowana, owoce morza, glony; niektóre ryby, np. dorsz, fasola, borówki, ziemniak, truskawki	• opóźnienie umysłowe • powiększenie tarczycy (wole)	• nie stwierdzono

Główne związki organiczne

Związek organiczny	Budowa i charakterystyka	Funkcje biologiczne
Węglowodany	Zbudowane z węgla, tlenu i wodoru. Najprostszymi węglowodanami są monosacharydy. W ich cząsteczce występuje grupa aldehydowa (np. glukoza, ryboza) lub ketonowa (np. fruktoza) oraz dwie grupy hydroksylowe lub więcej.	• stanowią podstawowe źródło energii • są substratami szlaków metabolicznych • stanowią elementy strukturalne ważnych cząsteczek (np. deoksyryboza w DNA, ryboza w RNA, reszty w glikolipidach) • są materiałem zapasowym roślin (skrobia) i zwierząt (glikogen) • stanowią element budulcowy komórek (np. celuloza w ścianach komórek roślinnych)
Białka	Zbudowane z 20 rodzajów aminokwasów połączonych wiązaniem peptydowym w wielkocząsteczkowe polimery zróżnicowane pod względem budowy i funkcji. Wodne roztwory białek wykazują cechy koloidów; mają zdolność wiązania jonów; są obdarzone ładunkiem elektrycznym; ulegają denaturacji pod wpływem czynników fizycznych (np. temperatura) i chemicznych (np. mocne kwasy).	• pełnią funkcje enzymatyczne (specyficznie przyspieszają reakcje chemiczne w komórkach) • stanowią składnik błon komórkowych • stanowią składniki budulcowe i strukturalne komórek i tkanek • pełnią funkcje zapasowe • są hormonami • biorą udział w reakcjach odpornościowych • są receptorami • pełnią funkcje transportujące (np. tlen) • warunkują skurcz mięśni
Lipidy	Estry glicerolu (alkoholu trójwodorotlenowego) i reszt wyższych kwasów tłuszczowych (nasyconych lub nienasyconych) połączonych wiązaniem estrowym (tłuszcze właściwe) lub reszt glicerolu, kwasów tłuszczowych, reszty fosforanowej i alkoholi (fosfolipidy); związki lipidopodobne, np. steroidy, mają formę pierścieniową (m.in. cholesterol) lub należą do izpoprenoidów (m.in. karotenoidy, witamina E).	• stanowią źródło energii • są składnikami błon biologicznych (fosfolipidy, glikolipidy, cholesterol) • są źródłem i rozpuszczalnikiem witamin (A, D, E, K) oraz niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) • pełnią funkcje hormonów • są substratami do syntezy kwasów żółciowych i witaminy D • pełnią funkcję ochronną i termoizolacyjną jako składnik tkanki tłuszczowej • pełnią funkcje antyoksydacyjne (np. witamina A, E, karotenoidy) • u roślin biorą udział w fotosyntezie (np. karotenoidy)

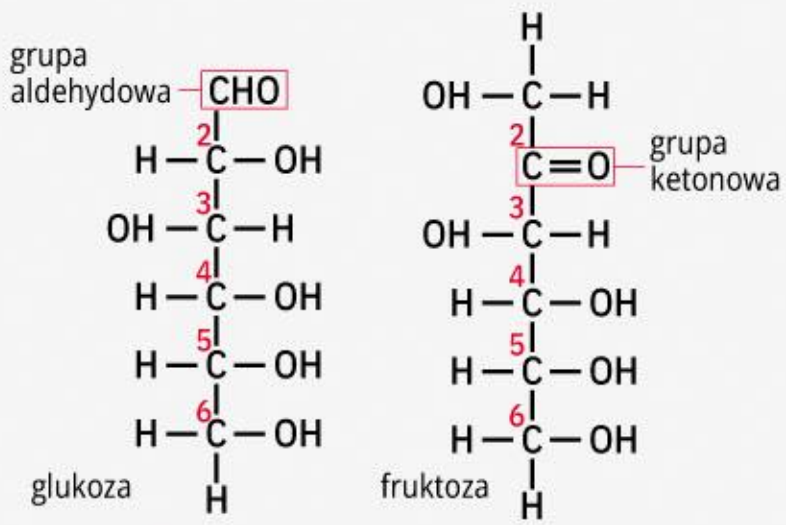
Związek organiczny	Budowa i charakterystyka	Funkcje biologiczne
Kwasy nukleinowe	Polimery zbudowane z nukleotydów. Każdy nukleotyd składa się z cukru (deoksyrybozy w DNA i rybozy w RNA), zasady azotowej (puryny lub pirymidyny) oraz reszty fosforanowej). DNA występuje w postaci podwójnej helisy, skręconej wokół wspólnej osi. Zasady w helisie są sparowane i komplementarne, a cała struktura jest stabilizowana wiązaniami wodorowymi. RNA jest na ogół jednodniowe, a jego struktura jest uzależniona od funkcji, jaką pełni.	• DNA przenosi informację genetyczną, w której zapisana jest „instrukcja" do syntezy wszystkich białek • RNA bierze udział w biosyntezie białek

1.2. Węglowodany

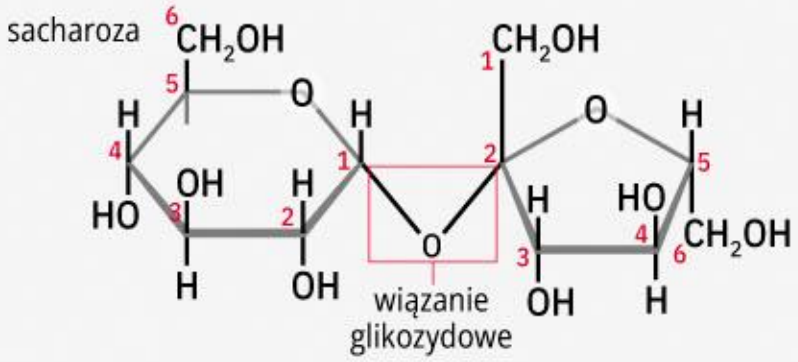
Węglowodany (cukrowce, sacharydy) zbudowane są z atomów węgla, wodoru i tlenu. Są syntetyzowane przez rośliny w czasie fotosyntezy.

Podział węglowodanów

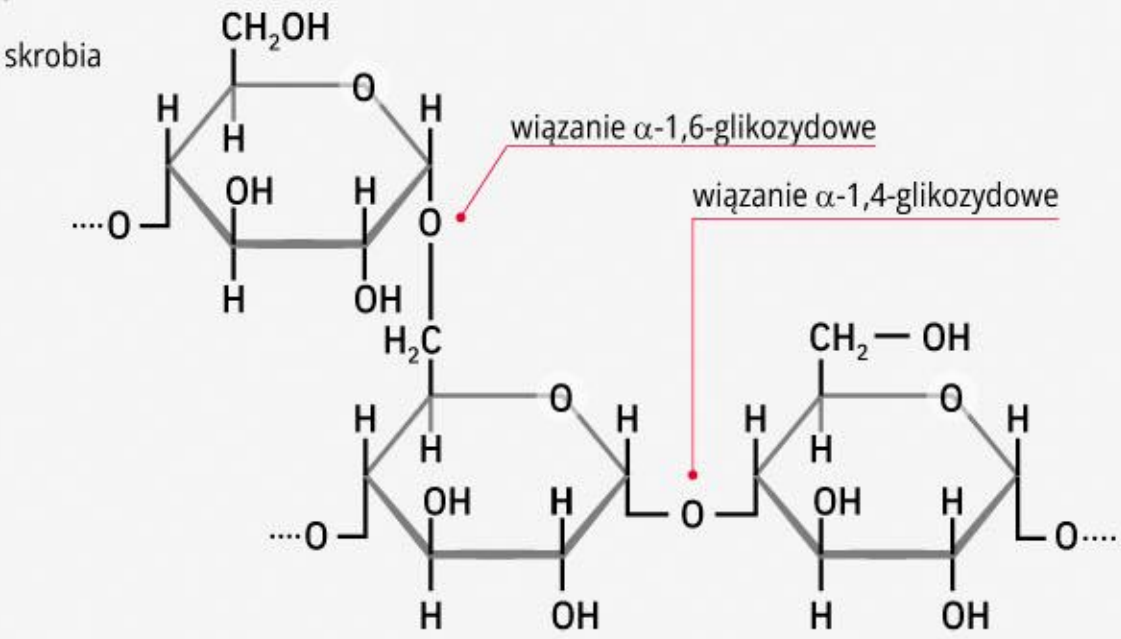
– Monosacharydy



– Disacharydy



– Polisacharydy



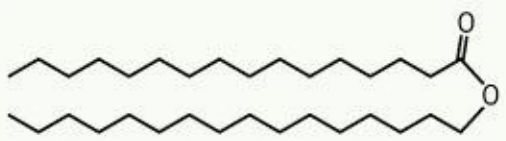
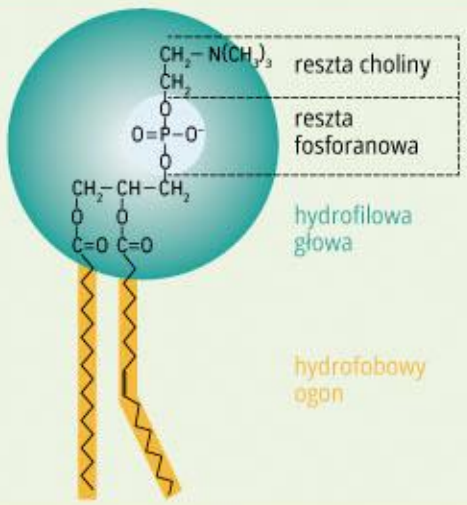
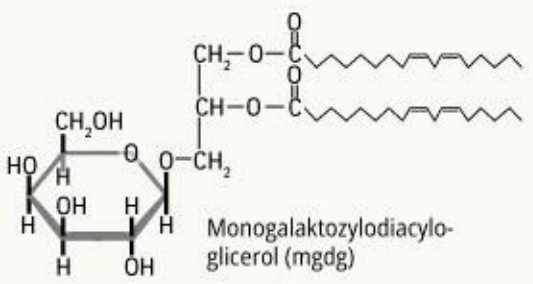
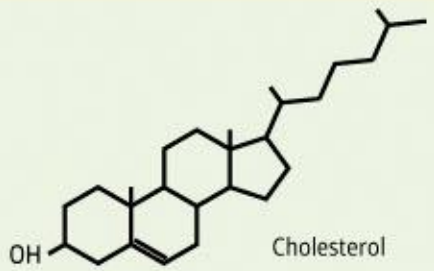
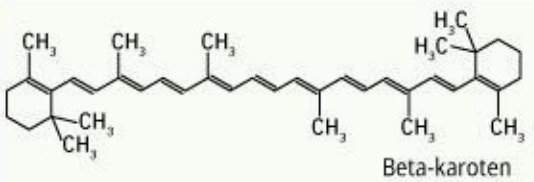
Podział i znacznie fizjologiczne wybranych węglowodanów

Grupa	Charakterystyka	Przykłady	Znaczenie fizjologiczne i występowanie
Monosacharydy (cukry proste)	ogólny wzór: $[(CH_2)_n]$ • zbudowane z 3–7 atomów węgla połączonych ze sobą • zawierają co najmniej dwie grupy hydroksylowe oraz grupę aldehydową (aldozy) lub ketonową (ketozy) • mogą występować w formie łańcuchowej lub pierścieniowej • tworzą izomery optyczne, są słodkie, dobrze rozpuszczają się w wodzie i łatwo krystalizują	triozy (n=3) • aldehyd glicerynowy (aldoza) • dihydroksyaceton (ketoza)	• są produktami pośrednimi szlaków metabolicznych (np. glikolizy)
		pentozy (n=5) • deoksyryboza • ryboza	• wchodzą w skład nukleotydów DNA i RNA • wchodzą w skład ATP
		heksozy (n=6) • glukoza (aldoza; cukier gronowy)	• podstawowe źródło energii • podstawowy monomer budujący disacharydy i polisacharydy • występuje w owocach i miodzie
		• fruktoza (ketoza; cukier owocowy)	• składnik sacharozy • izomer strukturalny glukozy • obecna w miodzie, owocach
		• galaktoza	• składnik laktozy, rafinozy i wielu glikolipidów • składnik agaru i karagenu
Disacharydy (dwucukry)	• produkty kondensacji dwóch reszt pierścieniowych form cukrów prostych połączonych wiązaniem glikozydowym • są dobrze rozpuszczalne w wodzie	• **sacharoza** (glukoza i fruktoza; cukier spożywczy; cukier inwertowany)	• forma transportowa cukrów • występuje w każdym organie roślinnym • na skalę przemysłową pozyskiwana z trzciny cukrowej i buraków cukrowych
		• **maltoza** (glukoza i glukoza; cukier słodowy)	• produkt hydrolizy polisacharydów (skrobia, glikogen) • występuje w kiełkujących ziarnach zbóż • składnik syropu kukurydzianego i słodu jęczmiennego
		• **laktoza** (glukoza i galaktoza)	• źródło cukrów prostych i materiał odżywczy • występuje w mleku ssaków
Polisacharydy (wielocukry)	• polimery stanowiące połączenie wielu reszt cukrów prostych • mogą mieć formę liniową lub rozgałęzioną; nierozpuszczalne w wodzie • homopolisacharydy – polimery jednego rodzaju monosacharydu • heteropolisacharydy – polimery kilku rodzajów monosacharydów lub ich pochodnych (np. aminocukrów)	• **skrobia** (homopolisacharyd zbudowany z reszt glukozy; występuje jako połączenie dwóch form: liniowej amylozy i rozgałęzionej amylopektyny)	• stanowi materiał zapasowy roślin • gromadzi się w postaci ziaren w nasionach (np. zbóż), bulwach (np. ziemniaków)
		• **glikogen** (mocno rozgałęziony homopolisacharyd zbudowany z reszt glukozy)	• materiał zapasowy zwierząt • w dużej ilości gromadzi się w wątrobie i w mięśniach szkieletowych
		• **celuloza** (liniowy polimer zbudowany z reszt glukozy)	• buduje ściany komórkowe komórek roślinnych • stanowi składnik błonnika pokarmowego
		• **chityna** (heteropolisacharyd zbudowany z reszt aminocukru – glukozoaminy)	• wschodzi w skład pancerzy owadów i innych stawonogów oraz ścian komórkowych grzybów

1.3. Lipidy

Lipidy stanowią zróżnicowaną grupę związków organicznych. Wspólnymi cechami związków należących do tej grupy jest ich niepolarność (hydrofobowość), dlatego nie rozpuszczają się w wodzie, ale tylko w rozpuszczalnikach organicznych (np. aceton, chloroform, benzen). Lipidy utrzymują się na powierzchni wody, ponieważ mają mniejszą gęstość.

Podział lipidów

	Rodzaj	Funkcje	Wzór strukturalny
Lipidy proste	**Tłuszcze właściwe** (triacyloglicerole; estry glicerolu i wyższych kwasów tłuszczowych połączonych wiązaniem estrowym)	• zapasowa – stanowią magazyn energii • termoizolacyjna – zabezpieczenie przed nadmierną utratą ciepła • ochronna – chronią przed urazami mechanicznymi	
	Woski (estry jednowodorotlenowych alkoholi i wyższych kwasów tłuszczowych)	• ochronna – chronią przed nadmierną utratą wody i drobnoustrojami oraz wpływem czynników zewnętrznych	
Lipidy złożone	**Fosfolipidy** (zbudowane z reszty glicerolu, dwóch reszt kwasów tłuszczowych, reszty kwasu fosforowego (V) oraz reszt innych związków, np. choliny, seryny, inozytolu); są cząsteczkami amfifilowymi – w obrębie cząsteczki istnieje część hydrofilowa (polarna „głowa") oraz hydrofobowa („ogon")	• budują błony biologiczne • są składnikiem tkanki nerwowej	
	Glikolipidy (zbudowane z reszty glicerolu, reszt kwasów tłuszczowych i przynajmniej jednej reszty cukrowej)	• wchodzą w skład błon komórek roślinnych • są składnikiem glikokaliksu, który zwiększa wytrzymałość komórek i bierze udział w komunikacji komórkowej	
Związki lipidopodobne	**Steroidy** (mają budowę pierścieniową i są pochodnymi steranu; np. cholesterol, fitosterole, kwasy żółciowe, testosteron)	• cholesterol jest składnikiem błon komórkowych u zwierząt i osłonek włókien nerwowych; stanowi prekursor hormonów steroidowych, kwasów tłuszczowych i witaminy D	
	Lipidy izoprenoidowe (pochodne izoprenu – układu pięciowęglowego); np. karotenoidy, witamina E	• biorą udział w fotosyntezie • nadają barwę kwiatom i owocom • są prekursorami witamin (np. witaminy A, E) • są antyoksydantami	

1.4. Białka

Aminokwasy

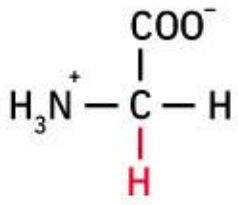
Aminokwasy to związki organiczne, które składają się z centralnie umieszczonego atomu węgla (węgiel alfa) oraz dołączonych do niego podstawników: reszty aminowej (–NH_2), reszty karboksylowej (–COOH) oraz zmiennej reszty (–R) będącej łańcuchem bocznym.



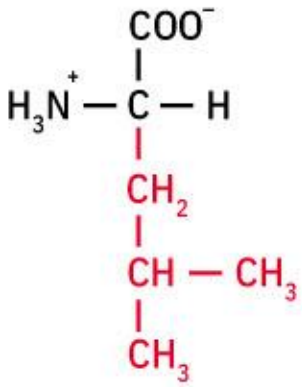
Podział aminokwasów

Aminokwasy niepolarne

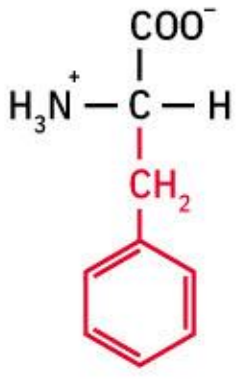
Glicyna
Gly



Leucyna
Leu



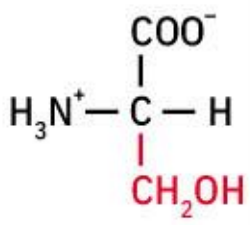
Fenyloalanina
Phe



Aminokwasy polarne

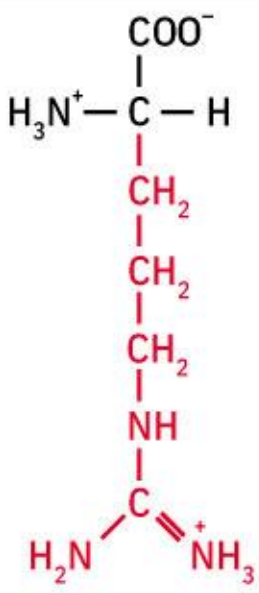
Obojętne (bez ładunku)

Seryna
Ser



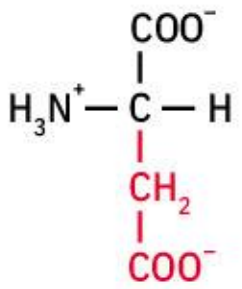
Naładowane dodatnio

Arginina
Arg



Naładowane ujemnie

Kwas asparaginowy
Asp



* Czerwonym kolorem oznaczono łańcuch boczny aminokwasów (R).

Aminokwasy egzo- i endogenne

Z 20 aminokwasów białkowych człowiek potrafi syntetyzować tylko część – są to aminokwasy endogenne. Pozostałe musi dostarczać wraz z pożywieniem – nazywamy je aminokwasami egzogennymi.

Aminokwasy białkowe:

– endogenne

alanina, arginina*, asparagina, kwas asparaginowy, cysteina, kwas glutaminowy, glutamina, glicyna, prolina, seryna, tyrozyna

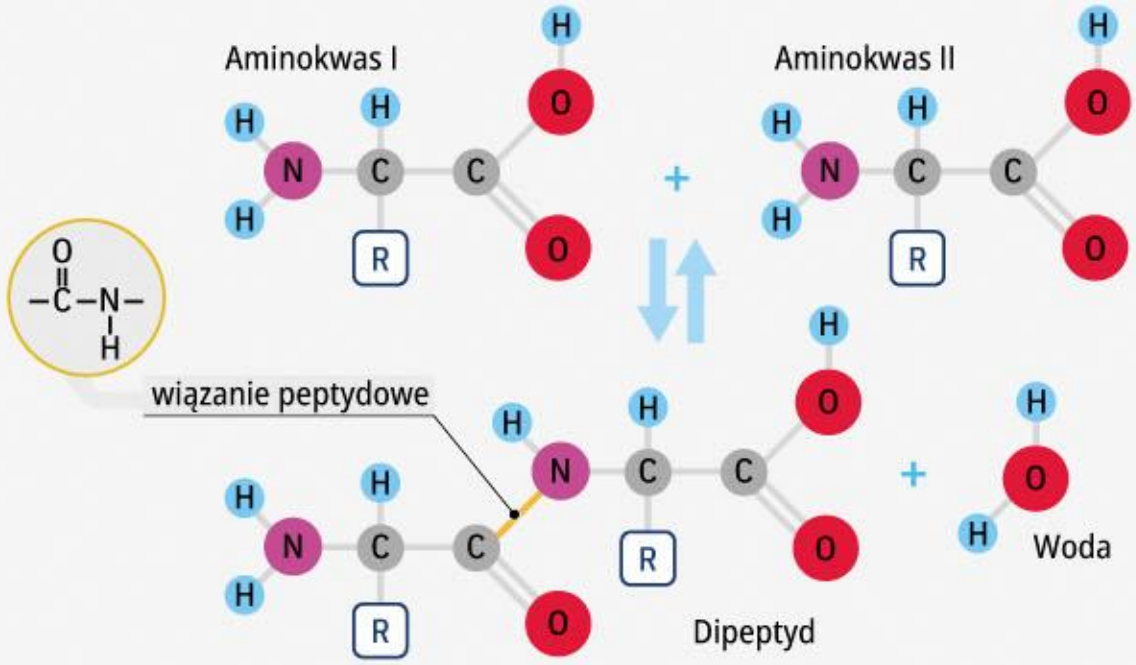
– egzogenne

histydyna, izoleucyna, leucyna, lizyna, metionina, fenyloalanina, treonina, tryptofan, walina

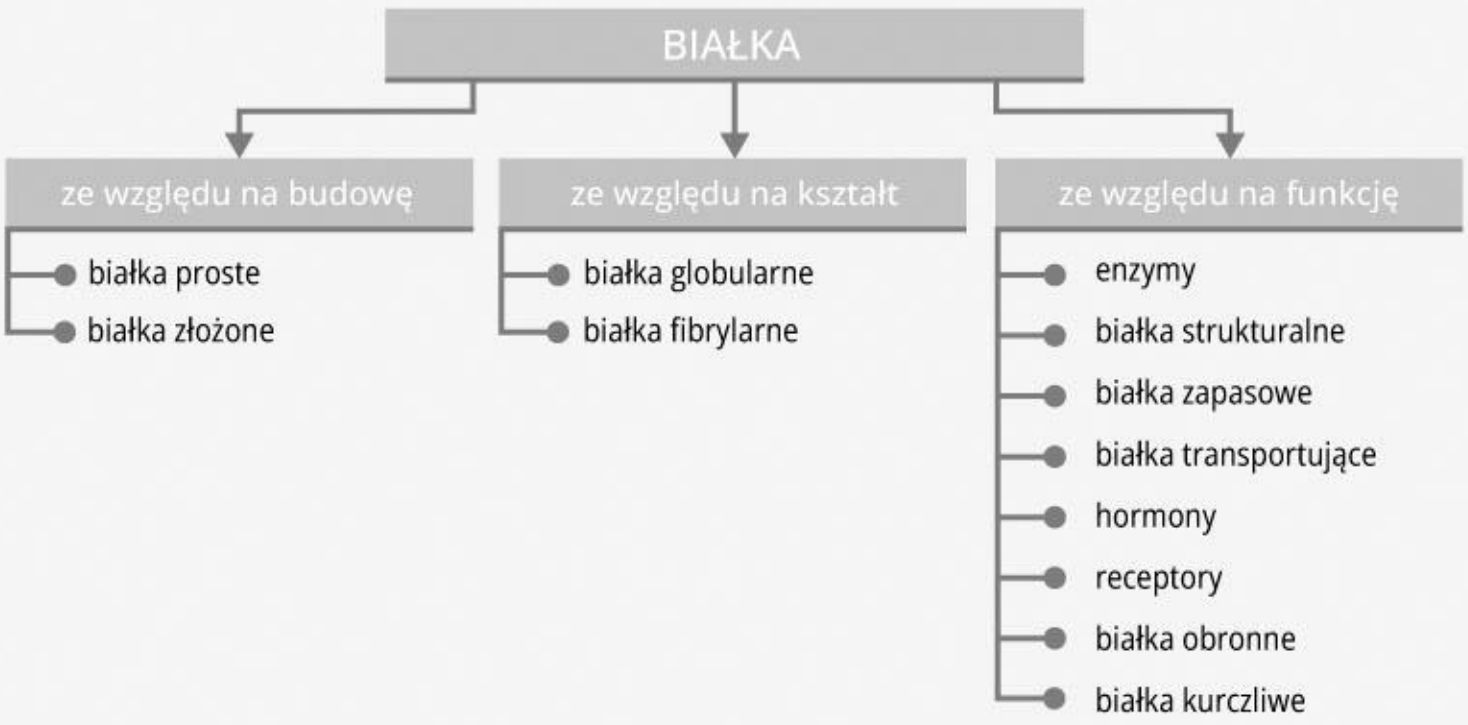
* Organizm człowieka syntetyzuje argininą w niewystarczających ilościach, zwłaszcza w wieku dziecięcym. Jej niedobory trzeba uzupełniać w diecie.

Powstawanie wiązania peptydowego

Łańcuch polipeptydowy białka powstaje w wyniku połączenia cząsteczek dwóch sąsiadujących aminokwasów za pomocą **wiązania peptydowego**. Wiązanie to powstaje w wyniku połączenia atomu węgla grupy karboksylowej jednego aminokwasu z atomem azotu grupy aminowej drugiego aminokwasu. W trakcie reakcji wydziela się także cząsteczka wody. Liczba reszt aminokwasowych w łańcuchu polipetydowym może być różna i wynosić od kliku (np. glutation, wazopresyna), kilkudziesięciu (insulina, polipeptyd trzustkowy), kilkuset (hemoglobina) do nawet kilkudziesięciu tysięcy (tytyna).



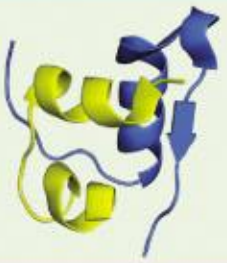
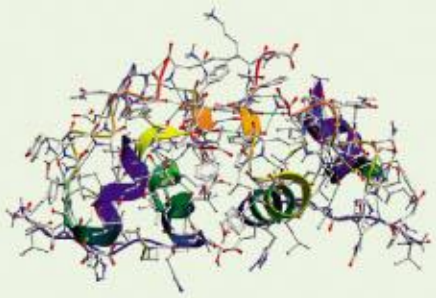
Podział białek



Funkcjonalny podział białek

Rodzaj białka	Opis	Przykłady
białka enzymatyczne	specyficzne przyspieszanie reakcji chemicznych (w przeważającej części są to białka globularne)	enzymy trawienne (np. pepsyna), oksydoreduktazy (np. katalaza)
białka strukturalne	składniki budulcowe i strukturalne komórek i tkanek (na ogół są to białka fibrylarne); składniki struktur komórkowych (np. chromatyny)	kolagen, elastyna, keratyna, histony
białka zapasowe	forma zapasowa aminokwasów	kazeina, owoalbumina
białka transportujące	transport innych substancji	hemoglobina, mioglobina lipoproteiny osocza
białka hormonalne	regulacja aktywności na poziomie całego organizmu	insulina
białka receptorowe	reakcje na bodźce chemiczne	receptor insuliny
białka kurczliwe	udział w reakcjach ruchowych	aktyna, miozyna
białka obronne	ochrona przed patogenami	przeciwciała

Struktura białek

Struktura białka	Charakterystyka	Własności	Rzędowość na przykładzie insuliny
pierwszorzędowa	sekwencja aminokwasów w białku	Decyduje o strukturach wyższego rzędu. Wpływa na funkcje i metabolizm białka. Jest zakodowana w genie.	
drugorzędowa	przestrzenne ułożenie fragmentów łańcucha polipeptydowego	Może mieć kształt helisy lub harmonijki.	
trzeciorzędowa	przestrzenne ułożenie całego łańcucha polipeptydowego wraz z łańcuchami bocznymi	Decyduje o aktywności białka. Zniszczenie tej struktury (denaturacja) oznacza utratę aktywności białka.	
czwartorzędowa	dotyczy białek zbudowanych z podjednostek (z kilku łańcuchów polipeptydowych)	Warunkuje oddziaływania pomiędzy podjednostkami oraz aktywność białka.	

Wybrane schorzenia wywołane nieprawidłową strukturą białek

Choroba	Przyczyna
choroba Alzheimera	odkładanie włókien amyloidowych w korze mózgowej
choroba Parkinsona	odkładanie włókien amyloidowych w jądrach podkorowych
cukrzyca typu II	odkładanie włókien amyloidowych w trzustce
choroba Creutzfeldta–Jakoba	odkładanie złogów białka prionowego w mózgu

Właściwości fizykochemiczne białek

Białka:

- dobrze rozpuszczają się w wodzie;
- ulegają denaturacji, czyli utracie struktury trzecio- lub czwartorzędowej pod wpływem czynników fizycznych (np. wysoka temperatura, promieniowanie UV, promieniowanie jonizujące) lub chemicznych (np. mocznik, detergenty, mocne kwasy i zasady, jony metali ciężkich, skrajne wartości pH); w wyniku denaturacji białka tracą aktywność biologiczną;
- mają wypadkowy ładunek elektryczny (właściwość ta jest wykorzystywana w procesie elektroforezy);
- ulegają koagulacji, czyli przekształceniu wodnego roztworu białka – zolu – w żel, np. pod wpływem NaCl, białko wytrąca się z roztworu; po dodaniu wody żel przechodzi w zol (ta właściwość jest stosowana przy oczyszczaniu białek metodą wysalania);
- absorbują promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu widzialnego i UV (wykorzystywane przy analizie białek metodami spektrofotometrycznymi);
- można je oczyszczać i badać wieloma metodami (np. chromatografia, elektroforeza, krystalizacja, dyfrakcja rentgenowska, magnetyczny rezonans jądrowy).

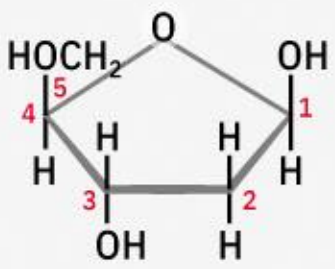
1.5. Budowa i funkcje kwasów nukleinowych

Kwasy nukleinowe przenoszą informację genetyczną. **Kwas deoksyrybonukleinowy** (DNA) zawiera geny, czyli materiał dziedziczny, w którym zapisana jest informacja niezbędna do syntezy wszystkich białek oraz wszystkich rodzajów RNA. **Kwas rybonukleinowy** (RNA) bierze udział w biosyntezie białek i pełni tam różne funkcje: a) matrycowy RNA (mRNA) przenosi informacje o sekwencji aminokwasowej łańcucha polipeptydowego; b) transferowy RNA (tRNA) bierze udział w syntezie białek; c) rybosomowy RNA (rRNA) wchodzi w skład rybosomów. Kwasy nukleinowe są polimerami zbudowanymi z **nukleotydów**.

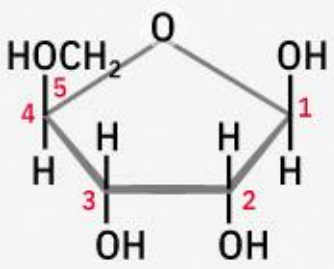
Składniki nukleotydów kwasów nukleinowych

W skład nukleotydów wchodzi:

- pięciowęglowy cukier (pentoza)



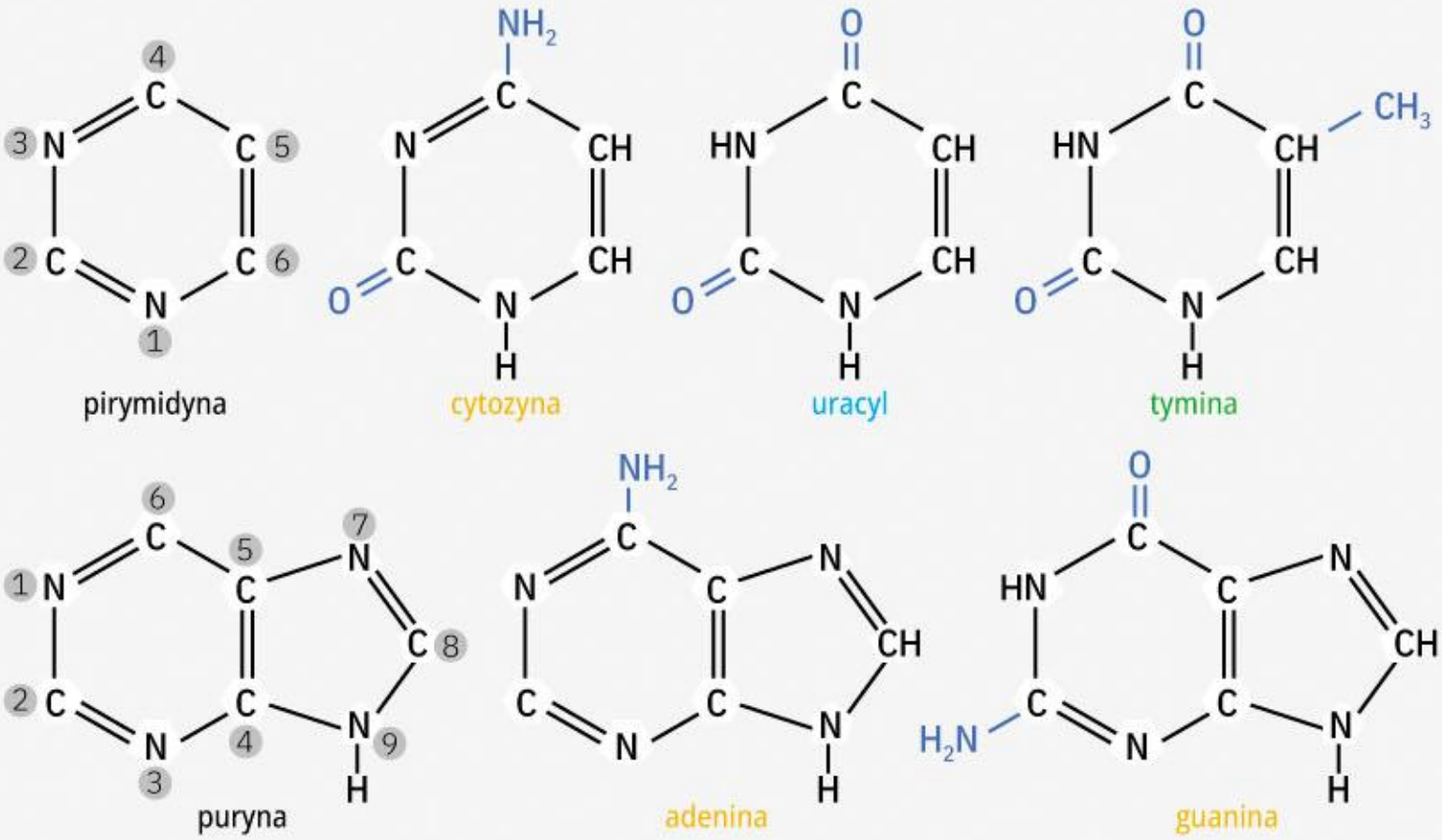
2-deoksy-D-ryboza



ryboza

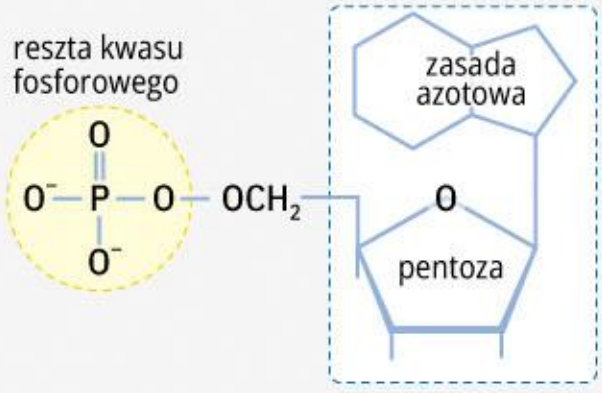
– jedna z zasad azotowych

adenina, **guanina**, **cytozyna** – wspólne w DNA i RNA, **tymina** – tylko w DNA, **uracyl** – tylko w RNA



– reszta fosforanowa

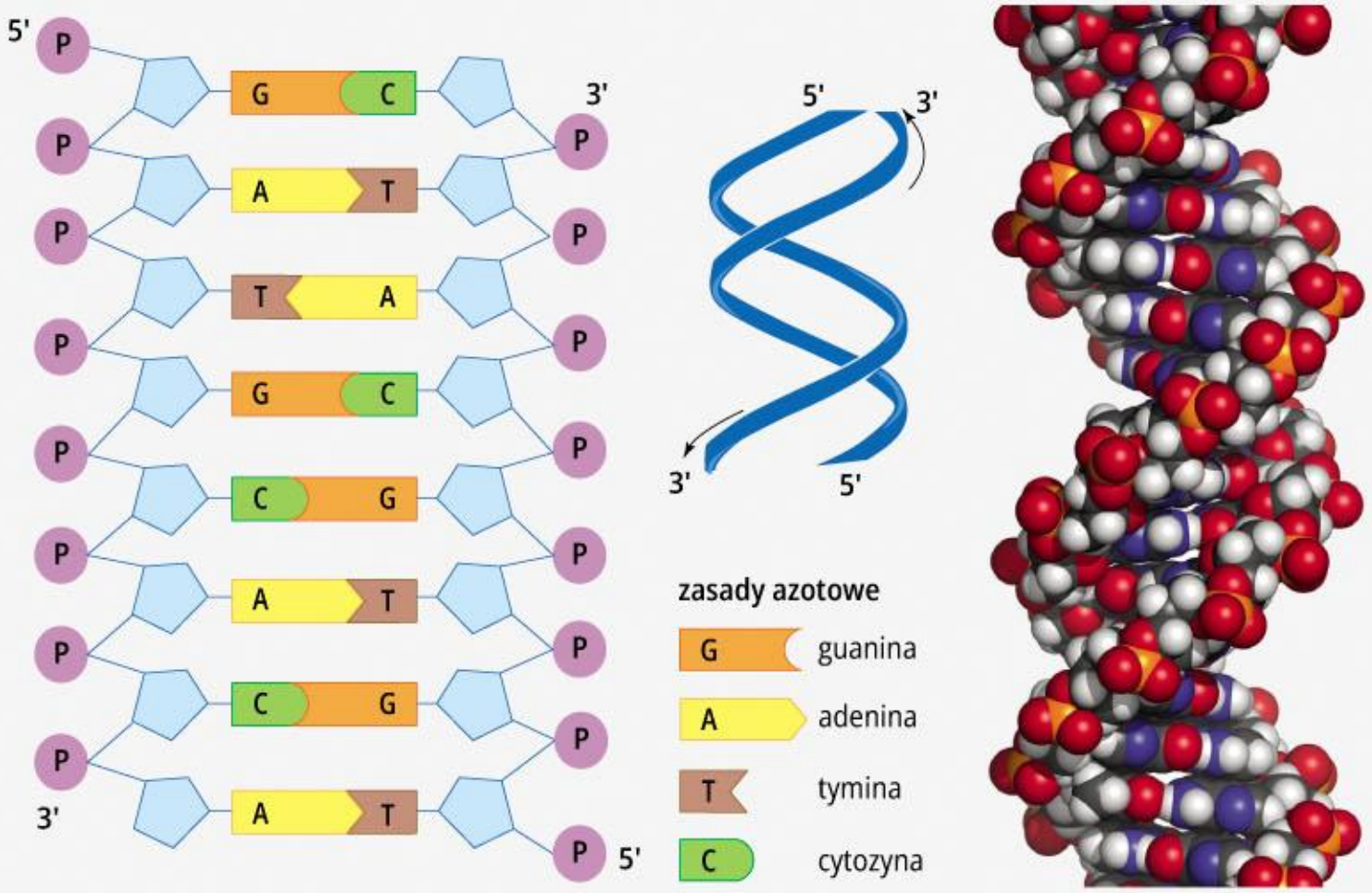
Budowa nukleotydu wchodzącego w skład kwasów nukleinowych



Budowa DNA

DNA został odkryty w 1869 r., a w 1953 r. Francis Crick i James Watson rozszyfrowali strukturę DNA. Ich badania oraz późniejsze odkrycia pozwoliły stwierdzić, że komórkowy DNA jest:

- **dwuniciowy** – w skład cząsteczki DNA wchodzą dwie leżące naprzeciw siebie nici połączone wiązaniami wodorowymi tworzącymi się pomiędzy zasadami azotowymi (wyjątek stanowią niektóre wirusy, u których DNA może być jednoniciowy); szkielet cukrowo-fosforanowy obu nici jest skierowany na zewnątrz, a sparowane zasady azotowe znajdują się wewnątrz;
- **komplementarny** – znając sekwencję nukleotydów jednej nici DNA, możemy w sposób jednoznaczny wyznaczyć sekwencję drugiej nici, ponieważ zasady azotowe obu nici są sparowane, czyli komplementarne; komplementarność zasad oznacza, że zawsze adenina (A) jednej nici łączy się z tyminą (T) drugiej nici, tworząc parę **A–T**, a guanina (G) łączy się z cytozyną (C), tworząc parę **G–C**;
- **helikalny** – dwie nici polinukleotydowe DNA są skręcone wokół wspólnej osi, tworząc najczęściej prawoskrętną helisę. Średnica helisy wynosi 2 nm, na jeden jej skręt o długości 3,4 nm przypada 10 nukleotydów;
- **dwubiegunowy** – w każdej z dwóch nici DNA występują dwa końce – 5′ z wolną grupą fosforanową przy węglu C5 deoksyrybozy i 3′ z wolną grupą hydroksylową przy węglu C3 deoksyrybozy;
- **antyrównoległy** – każda z nici biegnie w przeciwnym kierunku – jedna ułożona jest w kierunku 5′–3′, a druga – w kierunku 3′–5′.

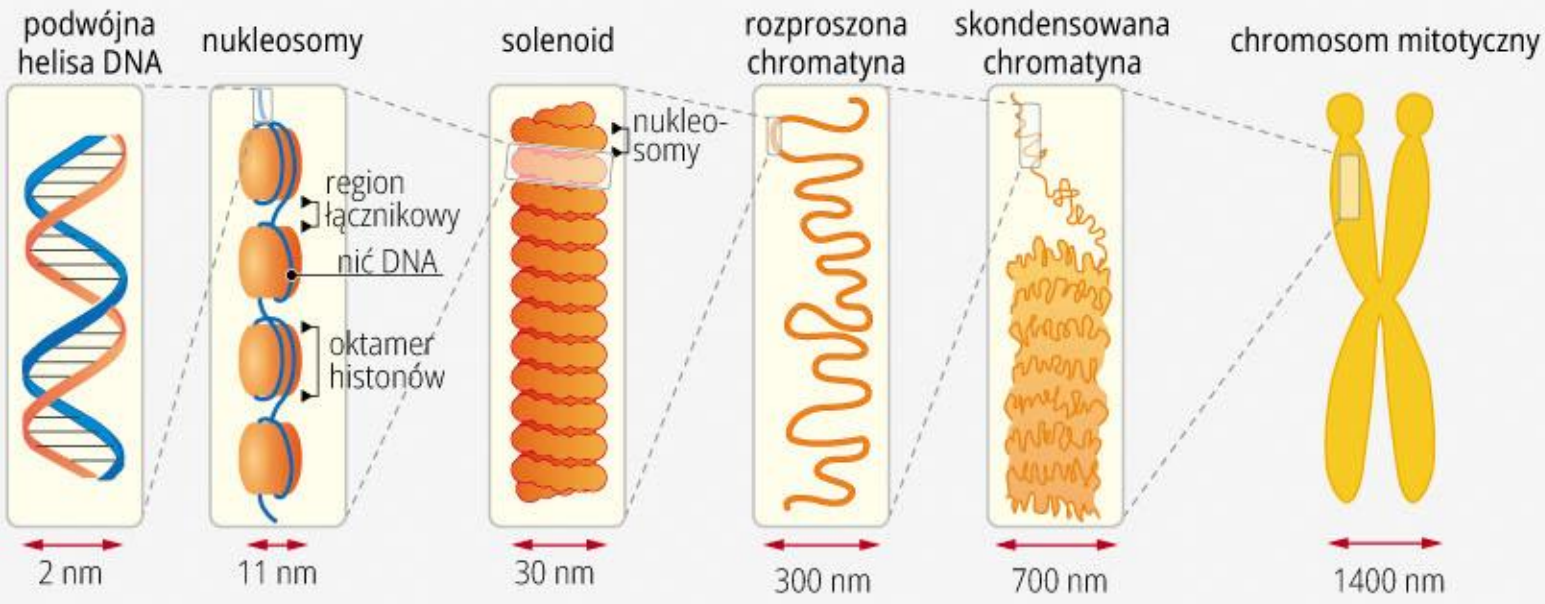


Wybrane rodzaje DNA

Nazwa	Charakterystyka
dsDNA (dwuniciowy DNA, z ang. *double-stranded DNA*)	Standardowy, dwuniciowy nośnik informacji genetycznej u organizmów i DNA-wirusów.
B-DNA (dsDNA)	Prawoskrętny DNA o najmniejszej liczbie par zasad przypadających na jeden skręt ze wszystkich dsDNA.
A-DNA (dsDNA)	Prawoskrętny DNA o największej średnicy ze wszystkich dsDNA.
Z-DNA (dsDNA)	Lewoskrętny DNA o największej liczbie par zasad przypadających na jeden skręt oraz o najmniejszej średnicy ze wszystkich dsDNA.
rDNA (rybosomowy)	Występuje w przewężeniu wtórnym (tzw. NOR) chromosomów jąderkotwórczych i służy jako matryca dla rRNA.
satDNA (satelitarny)	Silnie skondensowany, nieulegający transkrypcji. Występuje m.in. w centromerze i satelicie chromosomu.
cDNA (komplementarny)	Powstały podczas odwrotnej transkrypcji na matrycy RNA. Wykorzystywany w inżynierii genetycznej m.in. jako element sond molekularnych, w RT-PCR lub tzw. biblioteka cDNA.
mtDNA, (mitochondrialny)	Kolisty DNA występujący w matrix mitochondrialnym.
chlDNA, **cpDNA** (chloroplastowy)	Kolisty DNA znajdujący się w stromie plastydów.
ssDNA (jednoniciowy DNA, z ang. *single-stranded*)	Jednoniciowy DNA powstały w wyniku dysocjacji DNA dwuniciowego. Spotykany np. w telomerach.

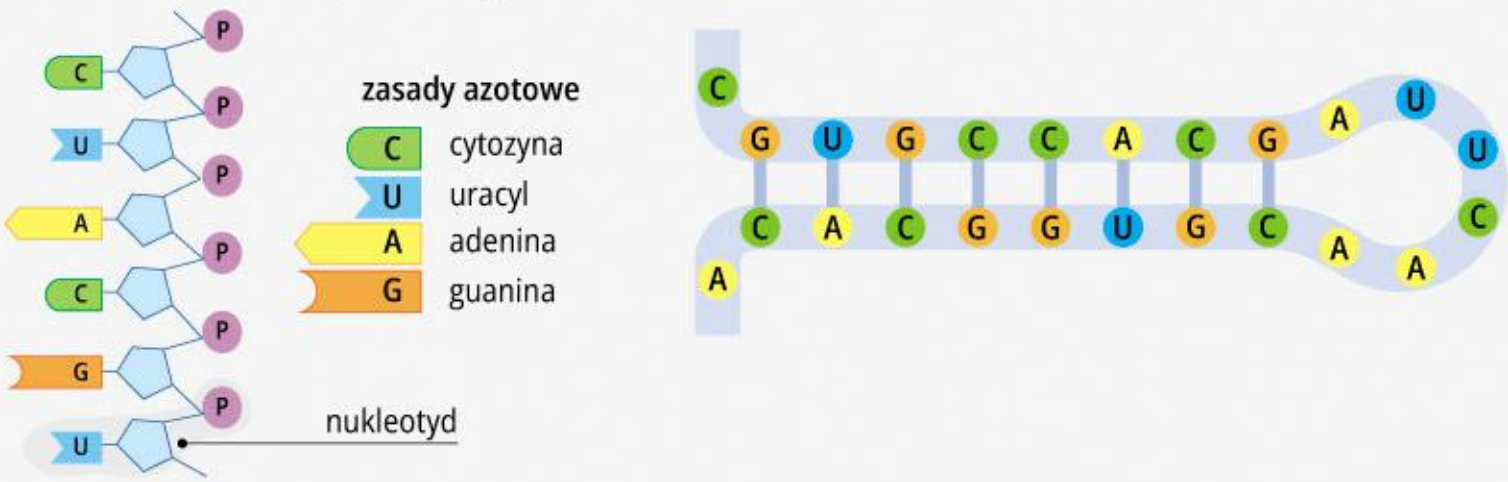
Poziomy upakowania DNA w komórce

W komórce DNA jest połączony z białkami (histonami) i nazwany **chromatyną**. Chromatyna jest silnie skręcona i tworzy kolejne, uporządkowane poziomy kondensacji: od nukleosomu poprzez solenoid aż do chromosomu.

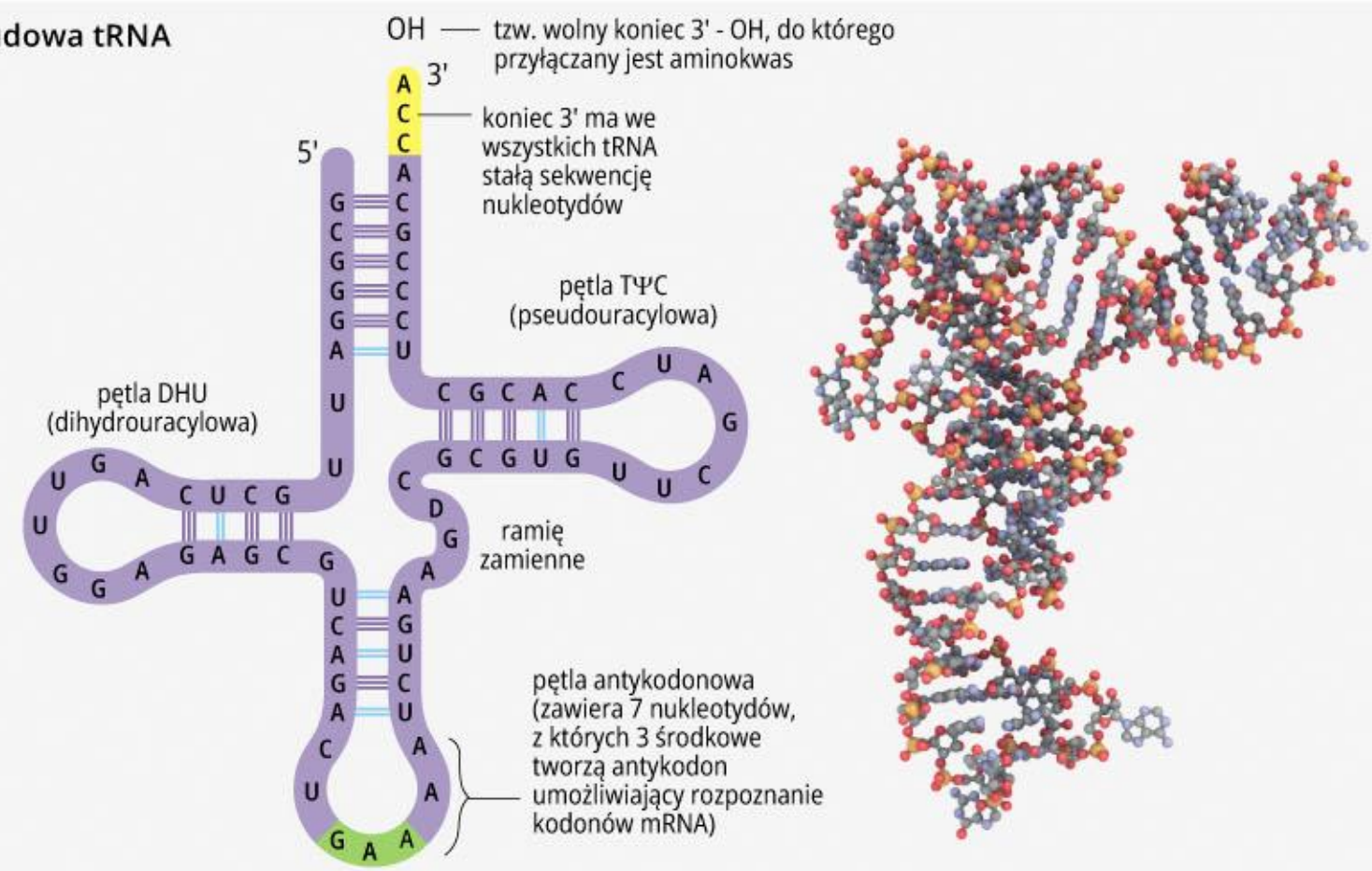


Budowa kwasu rybonukleinowego RNA

RNA jest najczęściej jednoniciowe i bezładnie pofałdowane o zróżnicowanych strukturach, na pewnych obszarach może tworzyć struktury dwuniciowe.



Budowa tRNA



Rodzaje RNA

Nazwa	Charakterystyka
amino-acylo-tRNA	Postać tRNA związana z odpowiednim aminokwasem w celu dostarczenia go do docelowego miejsca w rybosomie podczas translacji.
mRNA (matrycowy, informacyjny)	Stanowi matrycę, na której syntetyzowane są łańcuchy polipeptydowe w procesie translacji.
pre-mRNA (hnRNA, pierwotny transkrypt)	U Eukaryota stanowi pierwotną postać mRNA przed obróbką potranskrypcyjną.
rRNA (rybosomowy)	Wchodzi w skład rybosomów.
siRNA, **miRNA** (interferencyjny, antysensowny)	Dwuniciowy RNA (dsRNA) uczestniczący w potranskrypcyjnym wyciszaniu (interferencji) genów, głównie u roślin.
snRNA (mały jądrowy RNA)	Krótki odcinek RNA pełniący w jądrze funkcję enzymu (rybozym) sterującego splicingiem. Wyróżnia się dwie klasy snRNA: • SmRNA transkrybowany przez polimerazę RNA II, • LsmRNA transkrybowany przez polimerazę RNA III.
snoRNA (mały jąderkowy RNA)	RNA biorący udział w obróbce pre-mRNA.
scRNA	Mały cytoplazmatyczny RNA.
tRNA (transportujący)	Służy do transportu odpowiednich aminokwasów, niezbędnych do procesu translacji.

Porównanie budowy DNA i RNA

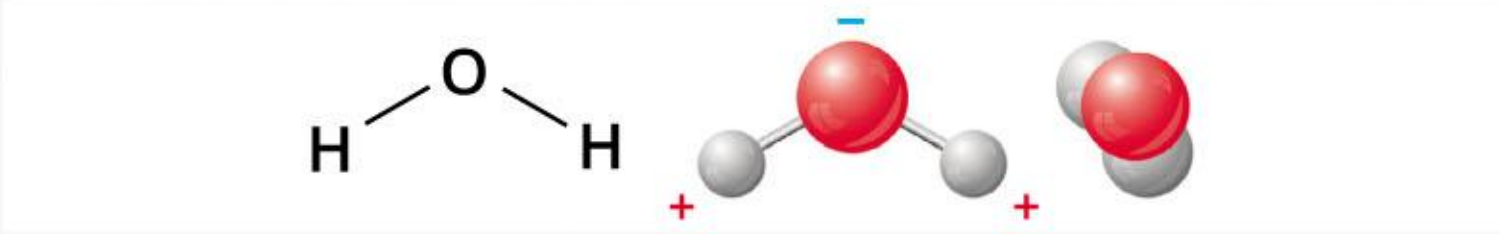
Cecha	DNA	RNA
liczba nici	2	1
podjednostka, z której jest zbudowany kwas	nukleotyd adeninowy, guanidynowy, cytozynowy oraz tymidynowy	nukleotyd adeninowy, guanidynowy, cytozynowy oraz uracylowy
reszta cukrowa w nukleotydzie	deoksyryboza	ryboza
zasady azotowe nukleotydu	puryny: adenina (A), guanina (G) pirymidyny: cytozyna (C), tymina (T)	puryny: adenina (A), guanina (G) pirymidyny: cytozyna (C), uracyl (U)
reszta kwasu nieorganicznego	reszta kwasu fosforowego (V)	
występowanie	jądro komórkowe, jąderko, mitochondrium, chloroplasty	jądro komórkowe, jąderko, cytoplazma, rybosomy
zawartość w komórce	1% świeżej masy	5–10% świeżej masy
funkcja	zawiera geny, w których zapisana jest informacja o budowie białek	uczestniczy w biosyntezie białek
rodzaje	wiele rodzajów	kilka rodzajów: • mRNA przenosi informację • tRNA transportuje aminokwasy • rRNA wchodzi w skład rybosomów

1.6. Woda – budowa, właściwości fizyko-chemiczne i znaczenie biologiczne

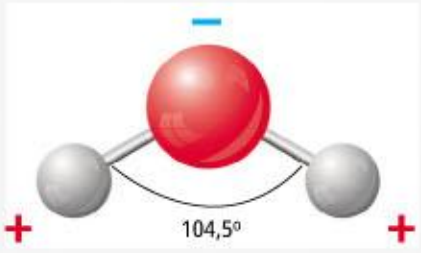
Woda to główny związek nieorganiczny wchodzący w skład organizmów. Decyduje o prawidłowym funkcjonowaniu organizmów oraz stanowi ponad połowę masy ich komórek i tkanek.

Budowa cząsteczki wody

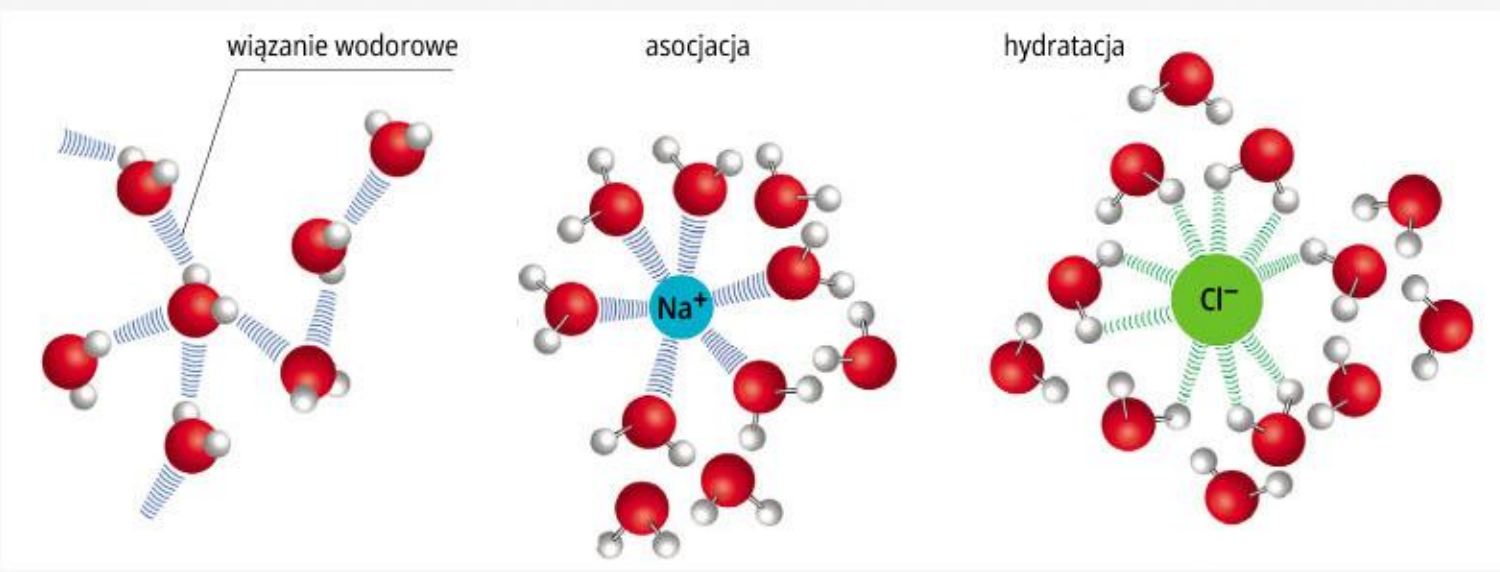
- dwa atomy wodoru związane kowalencyjnie z jednym atomem tlenu;
- cząsteczka polarna (dipol): cząstkowy ładunek dodatni, związany z atomami wodoru i cząstkowy ładunek ujemny przy atomie tlenu;



- kąt między wiązaniami H–O–H wynosi ok. 104,5°;



- dzięki budowie polarnej tworzy wiązania wodorowe między sobą i cząsteczkami innych związków;
- może ulegać **asocjacji** (wiązanie pojedynczych cząsteczek w większe zespoły) oraz **hydratacji** (gromadzenie cząsteczek wody wokół cząsteczek innych substancji rozpuszczonych w roztworze wodnym).



Właściwości fizyczno-chemiczne wody

- ciecz bezbarwna, bez zapachu i smaku;
- temperatura topnienia i zamarzania 0°C;
- temperatura wrzenia 100°C;
- w przedziale temperatur od +100°C do +4°C objętość wody maleje, a gęstość zwiększa się;
- w temperaturze 4°C gęstość wody jest największa, a objętość jest najmniejsza;
- przy obniżaniu temperatury od 4°C do 0°C jej objętość się zwiększa;
- występuje w stanie gazowym, ciekłym i stałym (lód w temp. 0°C);
- ma wysokie ciepło topnienia i parowania;
- ma duże napięcie powierzchniowe;
- ma wysoką pojemność cieplną i odznacza się dobrym przewodnictwem cieplnym;
- ma zdolność do przylegania do różnych substancji (adhezja) oraz wzajemnego przyciągania się (kohezja).

Procentowa zawartość wody w różnych organizmach, narządach, tkankach

Średnia zawartość od 65–75%:
- meduza, glony – 90–98%
- tkanki roślinne świeżej masy 85–90% (najwięcej wakuole i cytoplazma)
- soczyste owoce – 85–90%
- miękkie liście – 80–90%
- pień świeżo ściętego drzewa – ok. 50%
- dojrzałe nasiona – 5–15%
- człowiek:
  - noworodek ok. 75%
  - dziecko ok. 70%
  - dorosły ok. 60%
    - limfa – ok. 95%
    - mózg – 80–90%
    - osocze krwi – ok. 90%
    - nerki – ok. 83%
    - mięśnie – ok. 75%
    - kości – ok. 25%
    - szkliwo zębów, tkanka tłuszczowa – ok. 10%

Znaczenie biologiczne wody na podstawie jej właściwości fizyczno-chemicznych

Właściwości fizyko-chemiczne wody	Znaczenie biologiczne wody
Jest uniwersalnym rozpuszczalnikiem.	• jest środowiskiem reakcji biochemicznych w komórce • jest dobrym rozpuszczalnikiem dla wielu substancji polarnych • jest podstawową substancją transportującą związki odżywcze, produkty przemiany materii, hormony, enzymy, witaminy
W temperaturze pokojowej jest cieczą.	• jest środowiskiem życia dla organizmów wodnych • jest podstawowym składnikiem cytozolu komórki, odpowiada za wymiary i kształt komórek, warunkuje turgor – jędrność komórki
Jest bezbarwna i przezroczysta.	• umożliwia swobodne przenikanie światła słonecznego w głąb zbiorników i zachodzenie fotosyntezy
Ma duże napięcie powierzchniowe.	• umożliwia utrzymanie się na powierzchni wody lekkim i małym organizmom, np. nartnikom
Ma zdolność do kohezji.	• umożliwia nieprzerwany transport wody i soli mineralnych w naczyniach roślin wbrew działaniu sił grawitacji
Ma zdolność do adhezji.	• umożliwia przyleganie wody do różnych substancji (np. grudek gleby) • umożliwia podnoszenie wody i soli mineralnych w naczyniach roślin na duże wysokości
Ma zdolność do asocjacji.	• umożliwia uwodnienie większości cząsteczek związków organicznych komórki
W stanie stałym ma mniejszą gęstość niż w stanie ciekłym.	• warstwa lodu izoluje głębsze warstwy wody od zamarzania, co umożliwia przeżycie organizmom wodnym podczas zimy
Ma wysokie ciepło parowania.	• uczestniczy w mechanizmie termoregulacji, chroniąc organizm przed przegrzaniem (usuwanie nadmiaru ciepła u niektórych ssaków w procesie pocenia się, u roślin podczas transpiracji) • przenosi ciepło w organizmie

Właściwości fizyko-chemiczne wody	Znaczenie biologiczne wody
Ma duże ciepło właściwe.	• wpływa na klimat Ziemi, zmniejszając wahania temperatury w dużych zbiornikach wodnych • modyfikując termicznie środowisko, zapewnia stabilne warunki do życia organizmom
Tworzy środowisko o większej gęstości niż powietrze.	• zapobiega opadaniu planktonu na dno zbiornika • pozwala organizmom wodnym, pomimo działania siły grawitacji, na osiąganie olbrzymich rozmiarów, np. płetwal błękitny • dobrze przewodzi dźwięki, dlatego ryby nie mają kosteczek słuchowych ani ucha zewnętrznego
Bierze udział w reakcjach chemicznych.	• jest substratem (np. rozkład wody podczas fotosyntezy, hydroliza związków pokarmowych) i produktem (np. oddychanie wewnątrzkomórkowe tlenowe) biologicznie ważnych reakcji chemicznych
Bierze udział w procesach rozmnażania i rozwoju organizmów.	• przenosi gamety u mszaków, paprotników i niektórych protistów • stwarza środowisko życia dla rozwoju zarodkowego zwierząt

2

Budowa i funkcjonowanie komórki

2.1. Budowa komórki prokariotycznej i eukariotycznej

Wielkość komórek

Komórka to najmniejsza jednostka budulcowa i funkcjonalna organizmu, zdolna do wykonywania podstawowych czynności życiowych. Komórka może stanowić odrębny organizm, tworzyć kolonie lub budować organizmy wielokomórkowe.

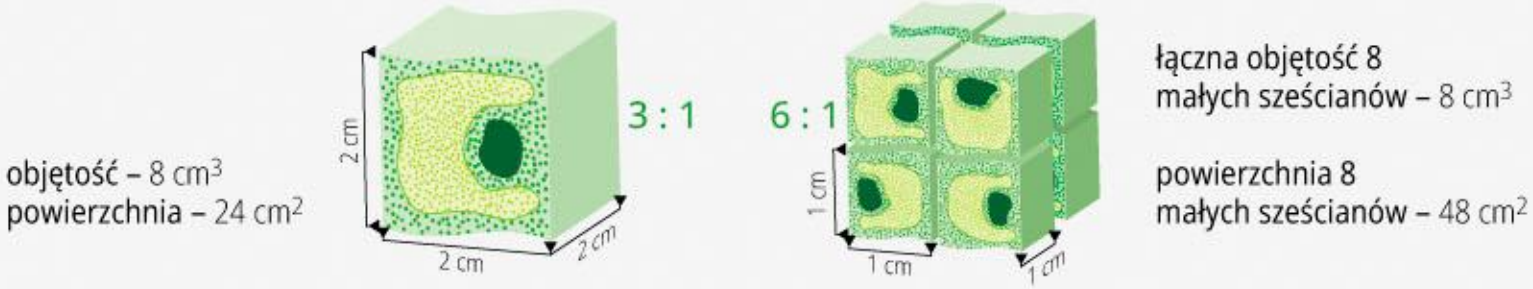
Większość komórek roślin i zwierząt ma wymiary mikroskopowe, które mieszczą się w przedziale od 10 µm do 100 µm. Komórki są one widoczne w mikroskopie świetlnym lub elektronowym. Do największych widocznych gołym okiem komórek roślinnych należą włókna ramii indyjskiej (długość 50 cm) oraz komórki zielenic z rodzaju *Acetabularia* (długość 10 cm), a do największych komórek zwierzęcych – komórki jajowe ptaków (strusia – 16 cm wysokości) i ssaków (wieloryba – ponad 20 cm wysokości). Najmniejsze komórki widoczne tylko pod mikroskopem elektronowym to komórki bakterii o średnicy 0,2 µm.

Nauka zajmująca się budową i funkcjonowaniem komórek to **cytologia**.

Głównym czynnikiem ograniczającym wielkość komórek jest **stosunek ich powierzchni do objętości**.

W dużych komórkach szybciej rośnie ich objętość niż powierzchnia. Niekorzystny stosunek powierzchni do objętości zmniejsza możliwości transportu substancji między komórką a otoczeniem i we wnętrzu komórki. Dlatego większość komórek ma niewielkie rozmiary i kształt zbliżony do kuli lub sześcianu.

Stosunek powierzchni do objętości



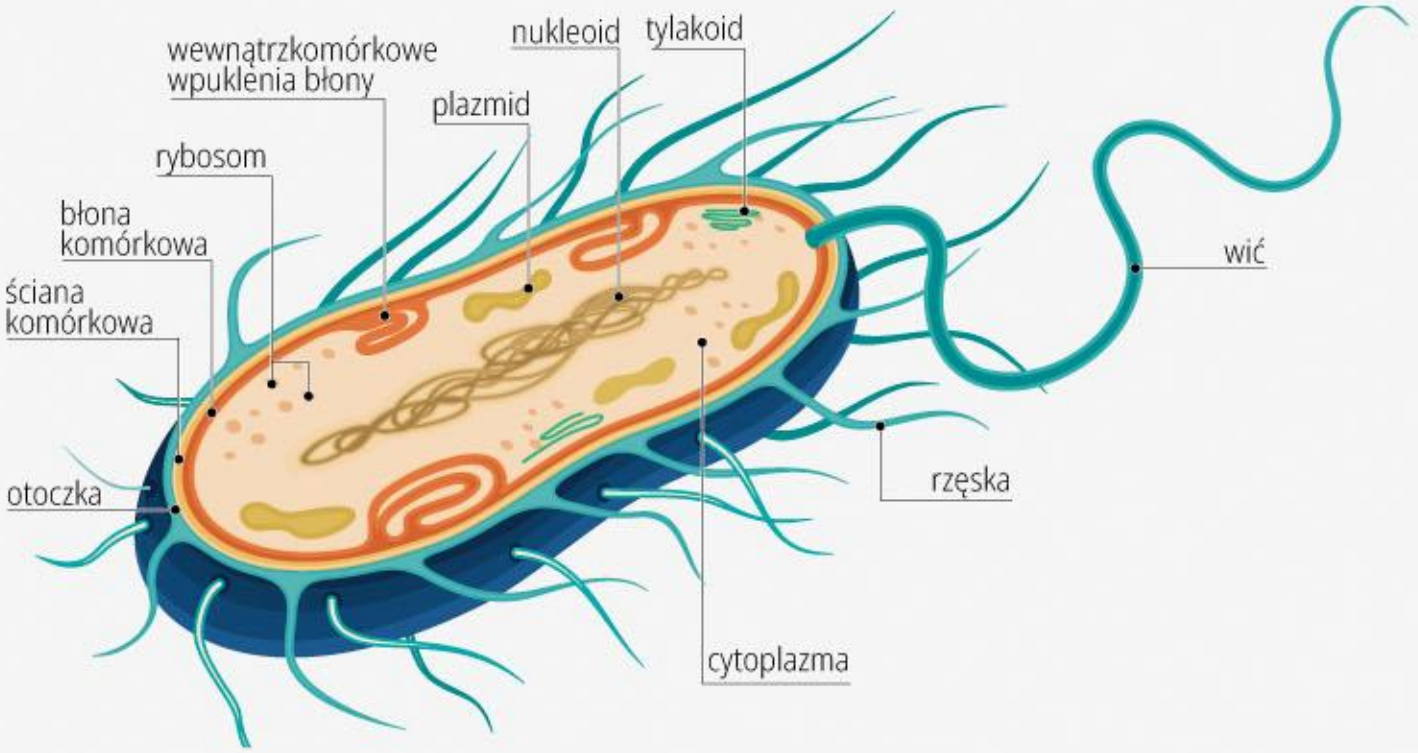
Porównanie komórki prokariotycznej z eukariotyczną (roślin, grzybów i zwierząt)

Struktura komórkowa	Komórka prokariotyczna	Komórka eukariotyczna		
		zwierzęta	rośliny	grzyby
jądro komórkowe	brak (jego funkcję pełni nukleoid)	obecne		
błona komórkowa	obecna			
ściana komórkowa	obecna (zbudowana z mureiny)	brak	obecna (zbudowana z celulozy)	obecna (zbudowana z chityny)
cytozol	obecny			
cytoszkielet	brak	obecny		
siateczka śródplazmatyczna	brak	obecna		
aparat Golgiego	brak	obecny		
lizosomy	brak	obecne*		
peroksysomy	brak	obecne		
rybosomy	obecne			
mitochondria	brak (w niektórych komórkach ich funkcję pełnią wewnątrzkomórkowe wpuklenia błony)	obecne		
chloroplasty	brak (w komórkach sinic ich funkcję pełnią tylakoidy)	brak	obecne	brak
wakuola (wodniczka)	brak	tylko w niektórych komórkach	obecna	

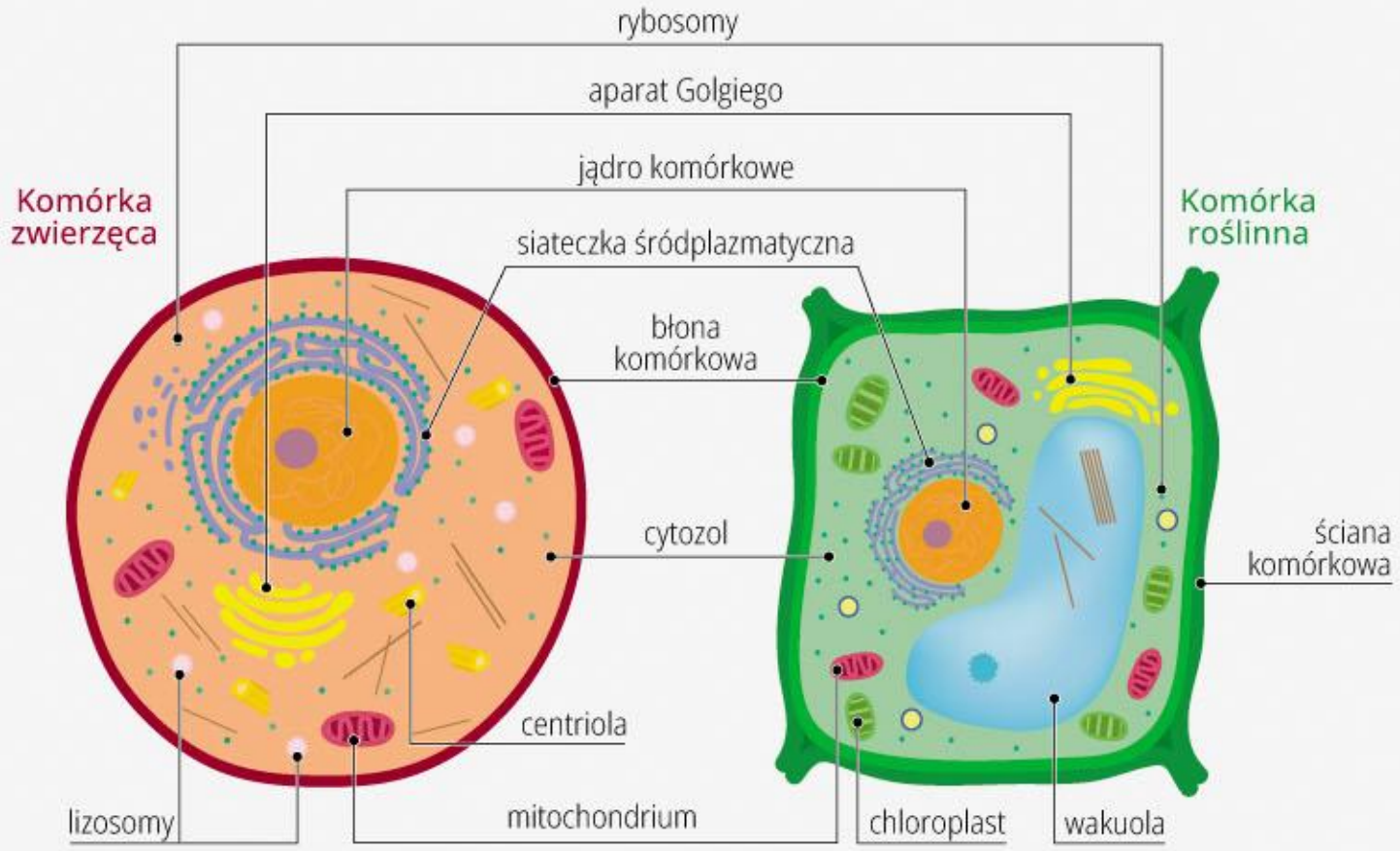
*Ich funkcję pełnią wakuole lityczne.

Porównanie budowy komórek

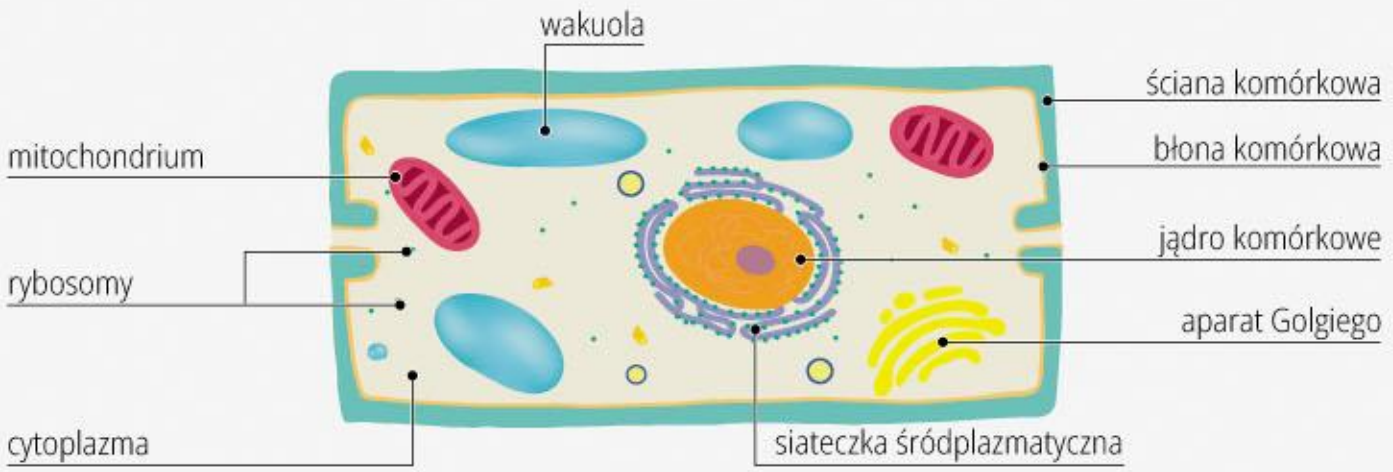
Komórka bakteryjna (prokariotyczna)



Komórka eukariotyczna



Komórka grzybowa (eukariotyczna)



2.2. Błony biologiczne i transport przez błony

Budowa błony biologicznej

Dwuwarstwa (podwójna warstwa lipidowo-białkowa)

Lipidy występujące w błonach to: fosfolipidy, glikolipidy, steroidy (głownie cholesterol w komórkach zwierząt; brak go u roślin i grzybów, u których występują inne lipidy):

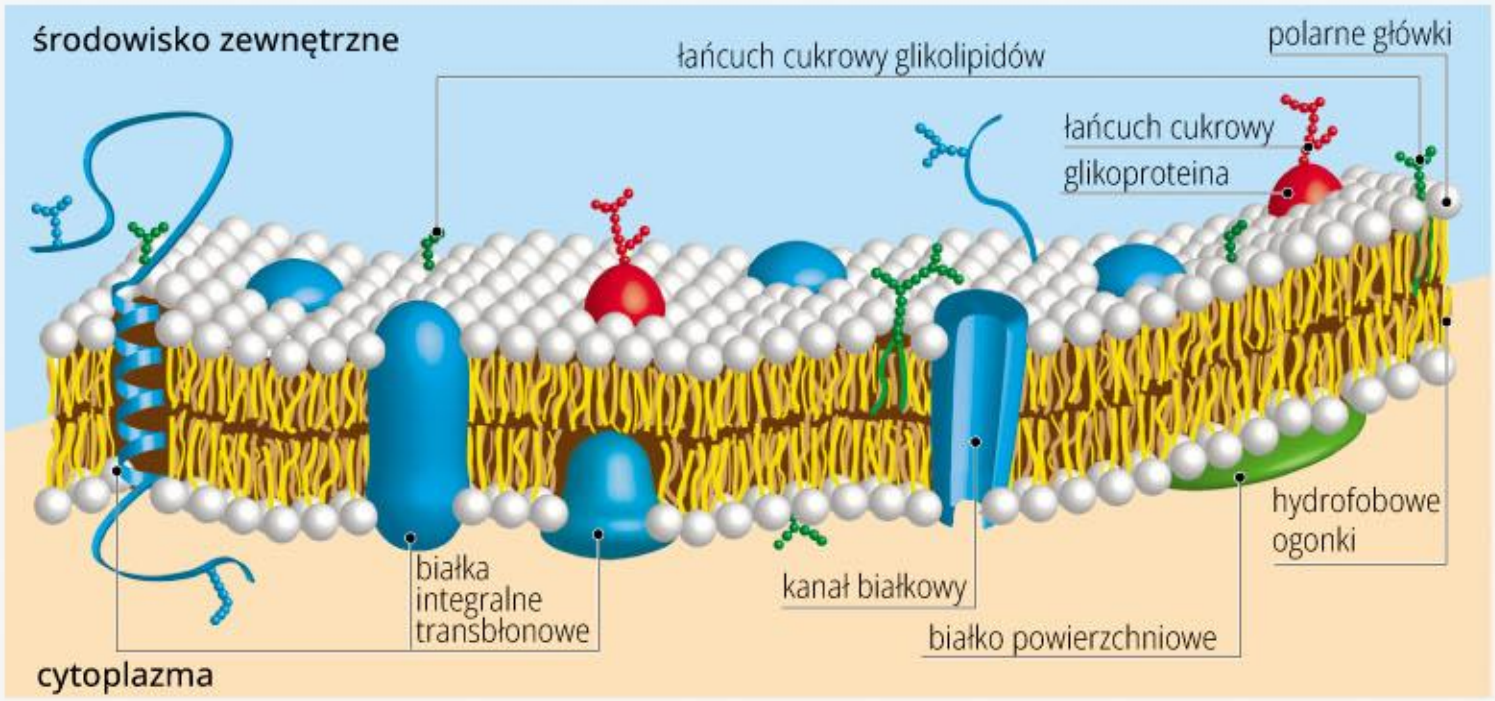
- **fosfolipidy** stanowią podstawę struktury błony, mają dwa bieguny: **hydrofobowy** (ogony kwasów tłuszczowych) unikający kontaktu z wodą i **hydrofilowy** (główki) swobodnie oddziaływający z wodą; tworzą dwuwarstwę (ogony są zwrócone do siebie, a główki na zewnątrz);
- **glikolipidy** – ich cukrowe łańcuchy tworzą na zewnątrz **glikokaliks**, warstwę ochronną przed uszkodzeniami mechanicznymi i chemicznymi, oraz uczestniczą w rozpoznawaniu się komórek;
- **cholesterol** – usztywnia błonę komórkową, zmniejszając jej płynność i przepuszczalność (im jego więcej, tym mniejsza płynność błony).

Białka budujące błony ze względu na sposób związania z błoną dzielimy na:

- **integralne transbłonowe** – trwale związane z błoną, wystające po obu jej stronach;
- **integralne transbłonowe** – trwale związane z błoną, zakotwiczone tylko w jednej warstwie lipidowej;
- **powierzchniowe** (peryferyczne) – nietrwale związane z błoną, leżą na jej zewnętrznej lub wewnętrznej powierzchni.

Białka ze względu na pełnione funkcje dzielimy na:

- **transportujące** – odpowiedzialne za transport jonów i cząsteczek;
- **receptorowe** – odpowiedzialne za odbieranie i przekazywanie sygnałów między komórkami;
- **enzymatyczne** – pełniące funkcje enzymów katalizujących reakcje zachodzące w komórce;
- **strukturalne** – wzmacniające odporność mechaniczną.



Właściwości błony biologicznej

- **płynność** – nieustanny ruch fosfolipidów w obrębie dwuwarstwy lipidowej (odchylanie cząsteczek, rotacja, koziołkowanie) powoduje przemieszczanie się białek błonowych (model płynnej mozaiki);
- **asymetryczność** wynikająca z własnego zestawu lipidów i białek każdej z warstw, np. w komórkach zwierzęcych obecność glikokaliksu na zewnątrz błony;
- **półprzepuszczalność** (selektywna przepuszczalność) – reguluje przepływ cząsteczek pod względem rodzaju i ilości, nie przepuszcza m.in. substancji wielkocząsteczkowych np. białek.

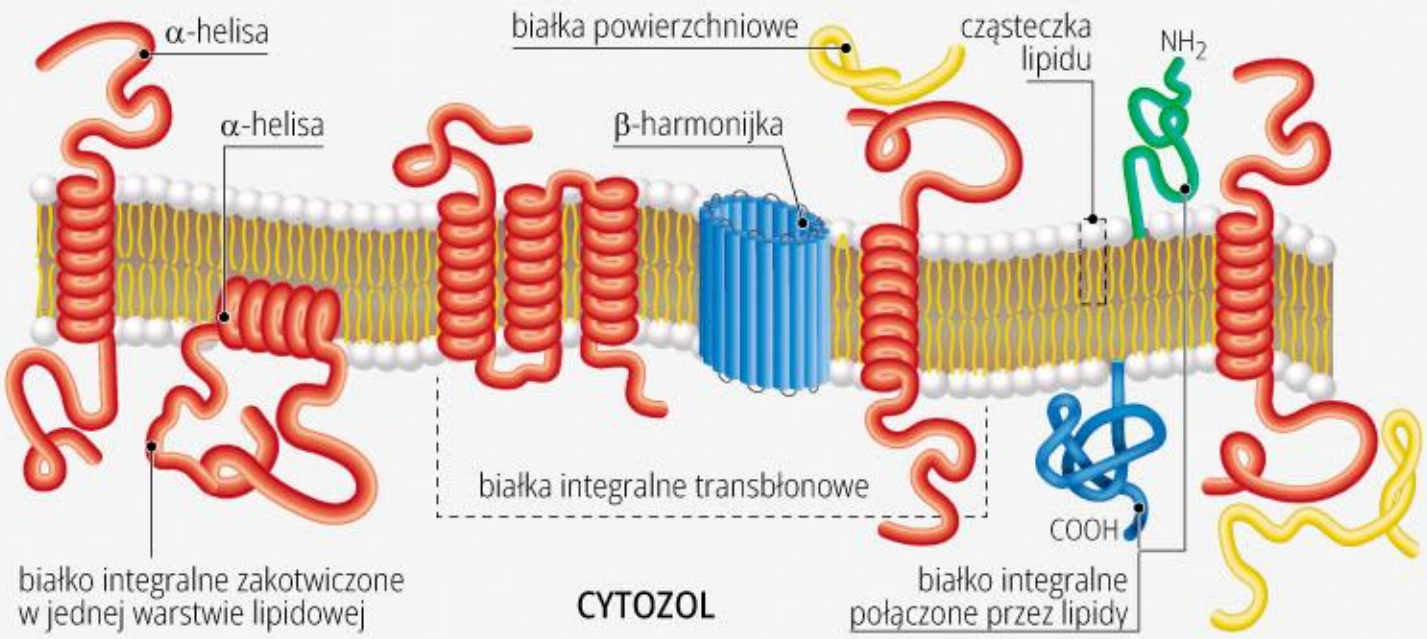
Funkcje błony biologicznej

- **Oddziela wnętrze komórki od środowiska zewnętrznego (błona komórkowa), a w komórkach tworzy przedziały o odmiennych właściwościach (błony śródplazmatyczne).**
- Odbiera informacje ze środowiska i przekazuje je do wnętrza komórki lub organelli komórkowych.
- Dzięki płynności umożliwia zmianę kształtu komórek, endocytozę i egzocytozę.
- Selektywność pozwala na transport jonów i substancji między komórką a jej środowiskiem.

– Obecność glikokaliksu pozwala na wzajemne rozpoznawanie się komórek (np. w układzie odpornościowym, przy zapłodnieniu).

Kompartmenty – zamknięte przedziały wewnątrzkomórkowe, w których znajdują się organelle komórkowe otoczone błonami; zachodzą w nich inne procesy metaboliczne, często o przeciwstawnym charakterze (np. w mitochondriach rozkład związków organicznych, a w chloroplastach – ich synteza).

Rodzaje białek błonowych ze względu na sposób powiązania z dwuwarstwą lipidową



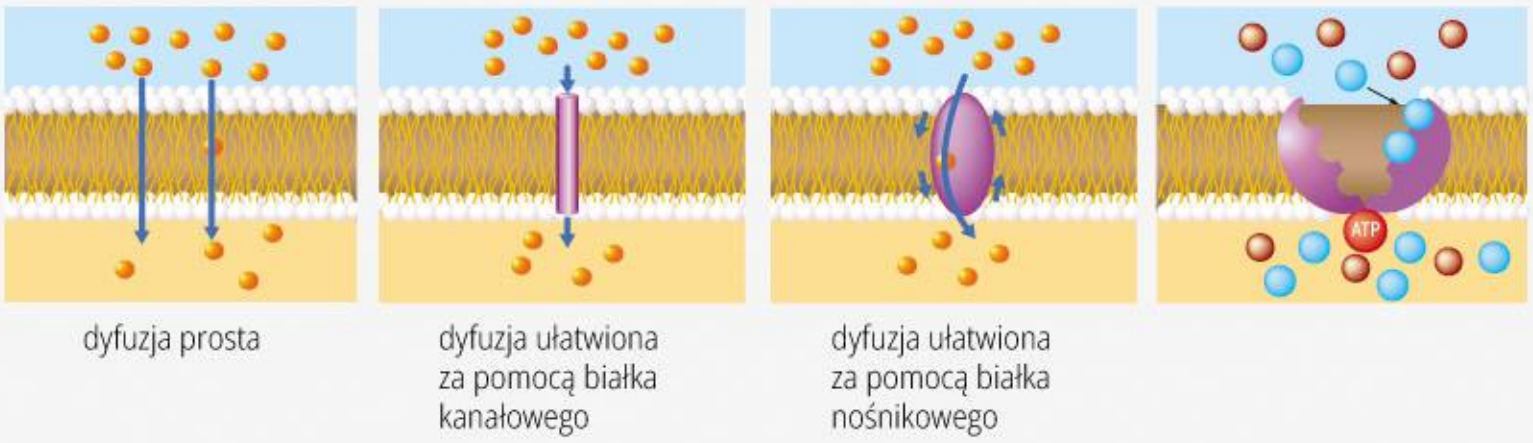
Transport przez błony biologiczne

Rodzaj transportu		Charakterystyka	Substancje transportowane
bierny (bez nakładu energii)	dyfuzja prosta	• zachodzi zgodnie z różnicą (gradientem) stężeń • nie wymaga białek transportujących • zachodzi bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową • ruch cząstek zachodzi dzięki ciepłu (energii kinetycznej) • szczególnym przykładem jest osmoza	• małe cząsteczki niepolarne, np. O_2, CO_2, i polarne bez ładunku elektrycznego, np. H_2O, NH_3
	dyfuzja ułatwiona (wspomagana)	• zachodzi zgodnie z różnicą stężeń • wymaga uczestnictwa białek transportujących: przenośnikowych (zmieniają strukturę przestrzenną, łącząc się z cząsteczką transportowaną) i kanałowych	• większe cząsteczki polarne bez ładunku (cukry proste, np. glukoza przez białka nośnikowe) lub mające ładunek elektryczny cząsteczki i jony (np. jony sodu i potasu przez białka kanałowe w błonie komórek nerwowych, cząsteczki wody przez kanały wodne – akwaporyny) • **uniport** – transport przez białko nośnikowe tylko jednej cząsteczki zgodnie z różnicą stężeń

Rodzaj transportu	Charakterystyka	Substancje transportowane
aktywny (z nakładem energii)	• zachodzi wbrew różnicy stężeń • wymaga nośników białkowych symportowych lub antyportowych (wykorzystują do transportu różnicę stężeń jonów po obu stronach błony) lub pomp błonowych (wymagają do pracy energii ATP) • **symport** – transport w tym samym kierunku jednej cząsteczki lub jonu sprzężonego z transportem drugiej cząsteczki lub jonu • **antyport** – transport w przeciwnym kierunku jednej cząsteczki lub jonu sprzężonego z transportem drugiej cząsteczki lub jonu • **pompa** – układ, w którym energia jest uwalniana w reakcji hydrolizy ATP	• transport symportowy sacharozy i jonów H^+ do wnętrza komórek roślinnych • pompa sodowo-potasowa na drodze antyportu transportuje jony potasu (K^+) do wnętrza komórki, a jony sodu (Na^+) – na zewnątrz

Niektóre substancje mogą być transportowane zarówno aktywnie, jak i biernie, np. glukoza, która w erytrocytach i mięśniach człowieka jest transportowana za pomocą dyfuzji ułatwionej a przez komórki nabłonka jelit przechodzi transportem aktywnym.

Rodzaje transportu



Transport makrocząsteczek lub cząsteczek pokarmowych (transport pęcherzykowy)

Endocytoza (transport do wnętrza komórki)

– rodzaje endocytozy: fagocytoza, pinocytoza, endocytoza z udziałem receptorów:

- **fagocytoza** – pobieranie dużych cząsteczek, np. bakterii czy szczątków komórek; kończy się egzocytozą (sposób odżywiania się przez protisty heterotroficzne, niszczenie patogenów przez komórki układu odpornościowego);
- **pinocytoza** – pobieranie cząsteczek rozpuszczonych w płynach; nie kończy się egzocytozą, występuje ubytek błony komórkowej zużytej do wytworzenia pęcherzyka endocytarnego (np. pobieranie pokarmu przez protisty heterotroficzne);
- **endocytoza z udziałem receptorów** – np. pobieranie z krwi cholesterolu do syntezy błony komórkowej i hormonów steroidowych;

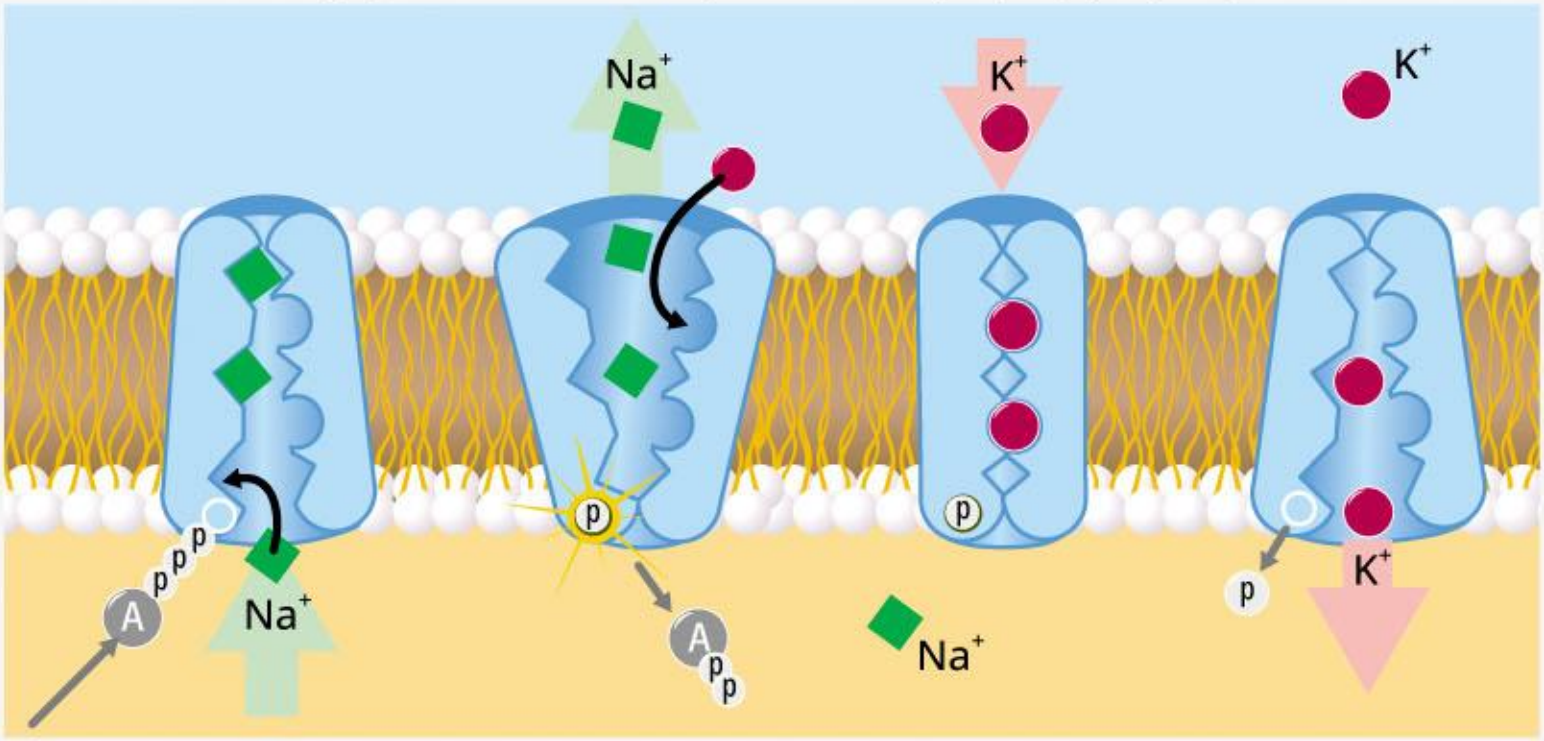
– wpuklenie fragmentu błony komórkowej, wytworzenie **pęcherzyka endocytarnego** z fragmentu błony i transport pobranej cząsteczki w głąb cytoplazmy, w cytoplazmie komórki dołączają się do pęche-

rzyka lizosomy, następnie trawiona jest tylko jego zawartość, a niestrawione resztki są usuwane na zewnątrz (fagocytoza) lub pęcherzyk wraz z pokarmem ulega całkowitemu strawieniu (pinocytoza);
- endocytoza z udziałem receptorów – wybiórcze pobieranie substancji chemicznych rozpoznawanych przez odpowiednie białkowe receptory w błonie komórkowej; po rozpoznaniu tworzy się **pęcherzyk opłaszczony** przemieszczający się do cytoplazmy.

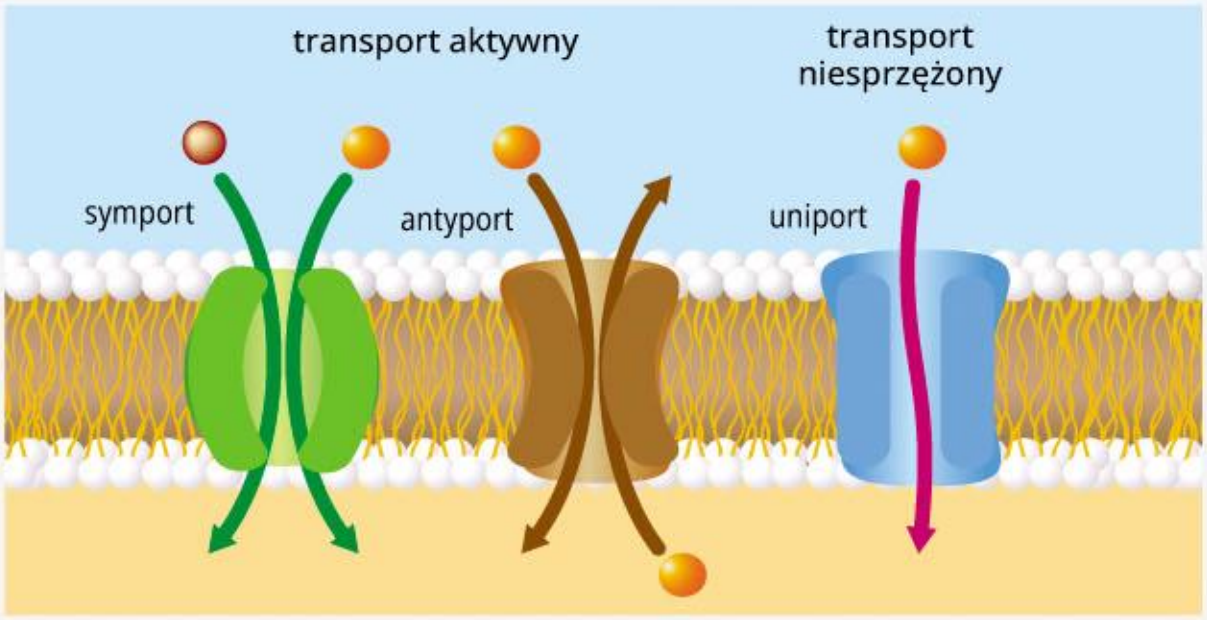
Egzocytoza (transport na zewnątrz komórki)
- proces przeciwstawny do endocytozy;
- uwolnienie substancji przez fuzję pęcherzyka z błoną komórkową;
- może zachodzić w komórkach nieprzerwalnie (**egzocytoza konstytutywna**) lub może być regulowana przez sygnały z zewnątrz, np. neuroprzekaźniki czy stężenie określonych metabolitów (**egzocytoza regulowana**);
- usuwanie niestrawionych resztek pokarmowych;
- uwalnianie białek i lipidów przeznaczonych na eksport do innych komórek, a w komórkach roślin – wielocukrów.

Mechanizm działania pompy sodowo-potasowej odgrywającej główną rolę w transporcie przez błony w komórkach zwierząt

W komórkach roślin, grzybów (również drożdży) i bakterii taką rolę odgrywa pompa H^+.



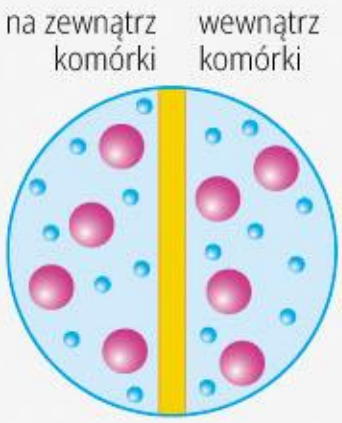
Transport sprzężony (symport, antyport – transport aktywny) i niesprzężony (uniport)



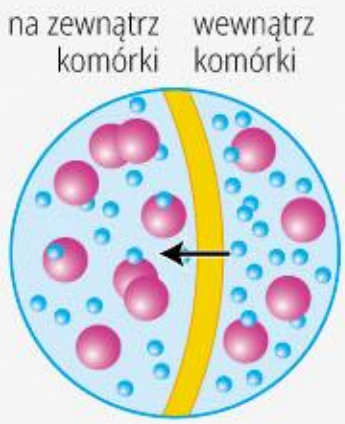
Osmoza i zjawisko plazmolizy

Odmianą dyfuzji prostej jest **osmoza**, czyli przenikanie wody (rozpuszczalnika) przez selektywnie przepuszczalną błonę biologiczną z roztworu o niższym stężeniu substancji do roztworu, w którym stężenie jest wyższe. Prowadzi do wyrównania stężeń po obu stronach błony. Różnica stężeń związków chemicznych po obu stronach błony jest przyczyną powstania **ciśnienia osmotycznego**, czyli siły przepływających cząsteczek wody przez błonę.

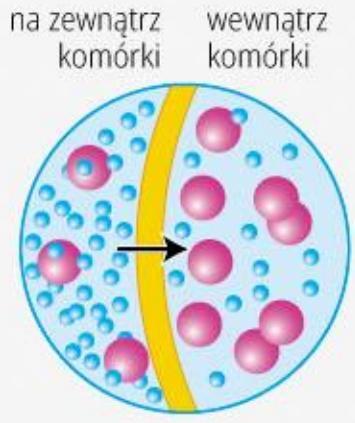
Osmoza jest podstawą **toniczności roztworów**, czyli zdolności do pobierania lub utraty wody przez komórkę.



Roztwór izotoniczny – roztwór o stężeniu substancji (i ciśnieniu osmotycznym) w równowadze z komórką.



Roztwór hipertoniczny – roztwór o większym stężeniu substancji (o większym ciśnieniu osmotycznym) w porównaniu z komórką.

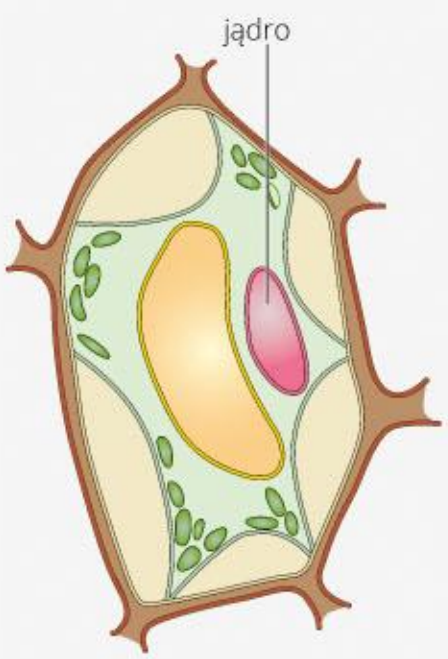


Roztwór hipotoniczny – roztwór o mniejszym stężeniu substancji (o mniejszym ciśnieniu osmotycznym) w porównaniu z komórką.

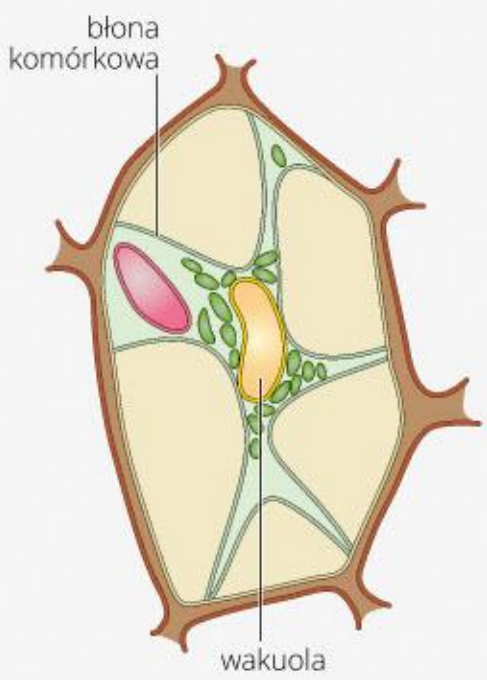
W komórkach roślin, bakterii, grzybów i niektórych protistów sposób reakcji na zmiany stężenia substancji rozpuszczonych w środowisku reguluje ściana komórkowa.

W **roztworze hipotonicznym** woda dostaje się do komórki, wypełniając wakuolę. Komórka zwiększa swoją objętość i wywiera większe ciśnienie turgorowe na ścianę komórkową. Opór ściany komórkowej chroni komórkę przed pęknięciem. W **roztworze hipertonicznym** komórka roślinna traci wodę i turgor. Cytoplazma komórki kurczy się, a wraz z nią błona komórkowa oddziela się od ściany komórkowej. Zachodzi wówczas w komórce zjawisko **plazmolizy**. Umieszczenie **splazmolizowanej** komórki w roztworze hipotonicznym wywołuje **deplazmolizę** – protoplast wypełnia przestrzeń ograniczoną ścianą komórkową.

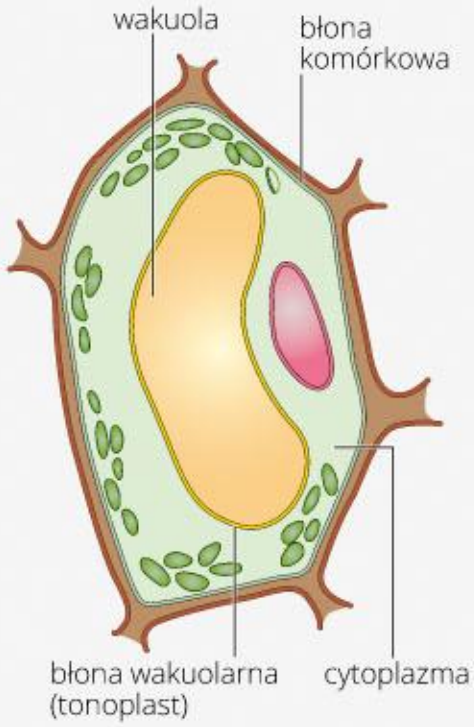
Równowaga wodna w komórkach roślinnych



roztwór izotoniczny

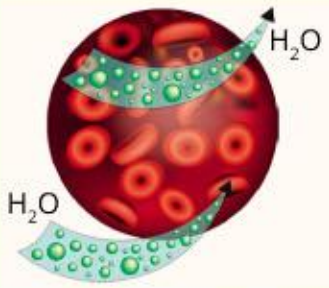
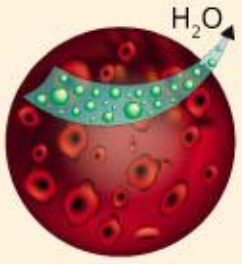
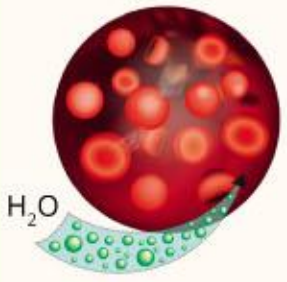


roztwór hipertoniczny



roztwór hipotoniczny

Różnice w przebiegu osmozy w komórkach roślinnych i zwierzęcych

Roztwór	Charakterystyka	Kierunek przepływu wody	Zmiany w komórce	
			zwierzęcej	roślinnej
izotoniczny	stężenie substancji rozpuszczonej na zewnątrz jest takie jak to we wnętrzu komórki		komórki nie zmieniają swojego kształtu	komórki nie tracą jędrności (turgoru)
hipertoniczny	stężenie substancji rozpuszczonej na zewnątrz jest większe niż to we wnętrzu komórki		komórki zmieniają kształt na skutek utraty wody kurczą się i rozpadają się	komórki bardzo szybko tracą turgor na skutek utraty wody, cytoplazma i błona komórkowa zaczyna odstawać od ściany komórkowej (zjawisko plazmolizy)
hipotoniczny	stężenie substancji rozpuszczonej na zewnątrz jest mniejsze niż to we wnętrzu komórki		komórki pobierają wodę, pęcznieją i pękają	komórki pobierając wodę, zwiększają turgor, ale ściana komórkowa chroni je przez pękaniem

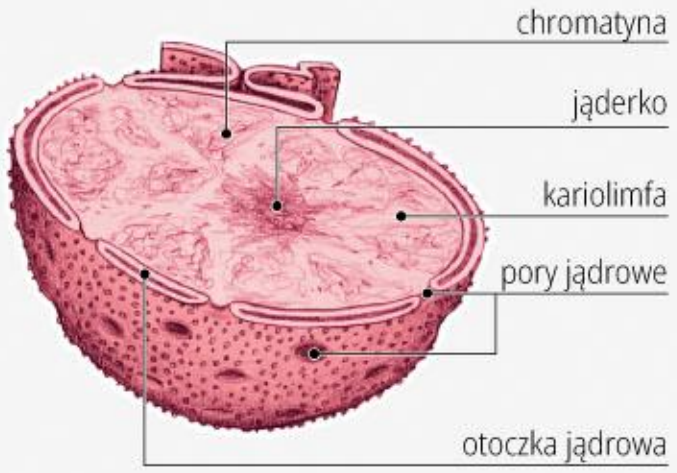
2.3. Organelle komórkowe

Jądro komórkowe

Jest podstawową strukturą komórki eukariotycznej. Przeważnie jest jedno, położone centralnie. Spotykane są komórki z **dwoma jądrami** (protisty zwierzęce, grzyby – workowce i podstawczaki) lub więcej (tzw. **komórczaki**, np. włókna mięśniowe poprzecznie prążkowane, powłoki ciała tasiemców). Jądro jest najczęściej kształtu kulistego lub owalnego (w niektórych krwinkach białych może być płatowate lub nerkowate).

Jądro tworzy:

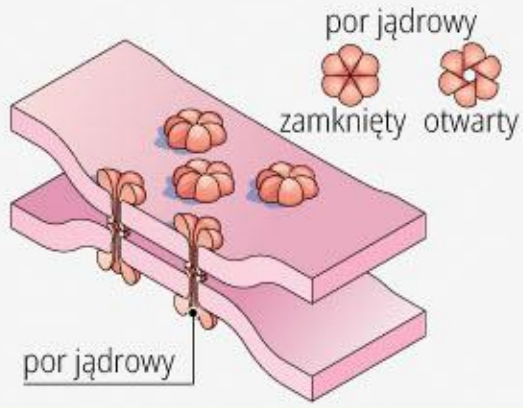
- **otoczka jądrowa** składająca się z dwóch błon: zewnętrznej i wewnętrznej; **wewnętrzna** błona jest gładka, a **zewnętrzna** połączona z rybosomami i przechodzi w siateczkę (retikulum) śródplazmatyczną szorstką; w otoczce znajdują się **pory jądrowe**, które umożliwiają transport substancji między jądrem komórkowym a cytoplazmą;
- **kariolimfa** (sok jądrowy) stanowi płynne środowisko jądra komórkowego, w którym jest zanurzona chromatyna, białka enzymatyczne (odpowiedzialne za syntezę DNA i RNA) i jedno lub kilka jąderek;



- **chromatyna** składa się z DNA związanego z zasadowymi białkami histonowymi, białek niehistonowych (głównie enzymatycznych) i RNA; w zależności od stopnia skręcenia występuje w dwóch formach: silnie upakowanej **heterochromatyny** (nieaktywnej genetycznie) i słabo skondensowanej (zagęszczonej) **euchromatyny** (odpowiedzialnej za na odczytywanie informacji genetycznej zapisanej w DNA); podczas podziału komórki po wcześniejszym zagęszczeniu chromatyny powstają z niej chromosomy;
- **jąderko** – nieobłoniona struktura o zbitej konsystencji, w której zachodzi synteza rRNA.

Funkcje

- kontrola większości czynności życiowych komórki;
- synteza DNA (replikacja);
- synteza rRNA i podjednostek rybosomów (w jąderku);
- przekazywanie informacji genetycznej z DNA na mRNA (transkrypcja);
- **przez pory jądrowe następuje transport z jądra do cytozolu**: tRNA, mRNA, snRNA, podjednostek rybosomów, a z cytozolu do jądra – białek histonowych, enzymów (polimerazy), białek rybosomów, wolnych nukleotydów.



Cytozol

Wnętrze komórki poza jądrem komórkowym wypełnia cytoplazma.

Budowa

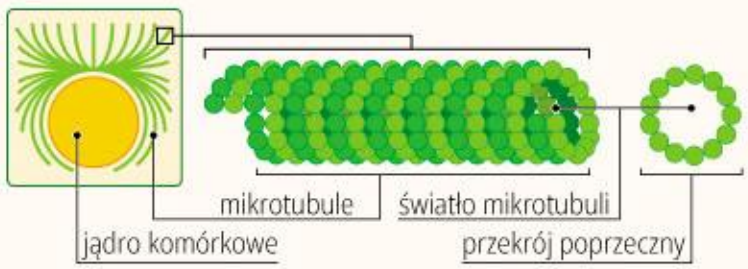
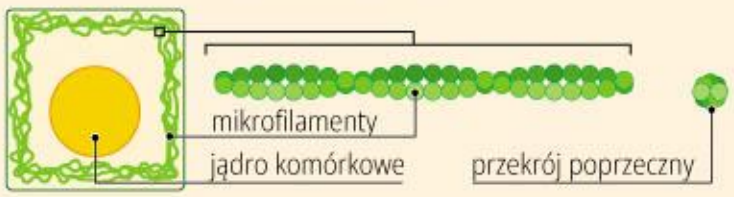
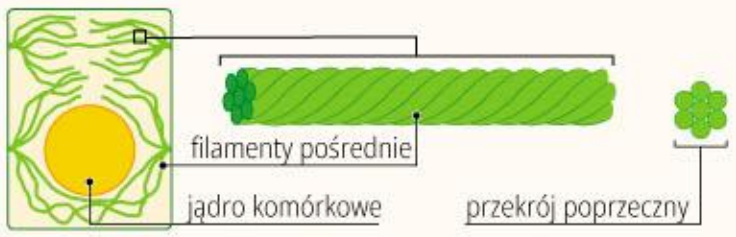
Cytoplazma składa się z:

- **cytoplazmy podstawowej** (cytozolu) – wodnego koloidu zawierającego białka, aminokwasy, lipidy, kwasy tłuszczowe, sole mineralne (m.in. wapnia Ca^{2+}, magnezu Mg^{2+}, sodu Na^{+});
- **organelli komórkowych** – w cytozolu komórek eukariotycznych zawieszony jest **cytoszkielet** składający się z włóknistych struktur: **mikrotubul**, **filamentów pośrednich** i **filamentów aktynowych.**

Funkcje

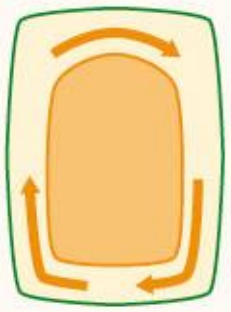
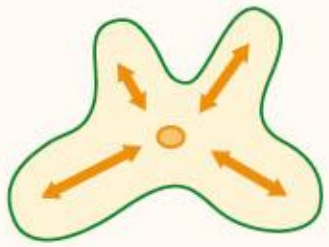
- tworzy środowisko wewnętrzne komórki, w którym zachodzą ważne reakcje biochemiczne, m.in. pierwszy etap oddychania komórkowego (glikoliza) czy biosynteza białka oraz transport wielu związków chemicznych między organellami komórkowymi.

Cytoszkielet (skadniki cytoszkieltu)

	Budowa	Funkcje
Mikrotubule	długie rurki zbudowane z **tubuliny** o średnicy ok. 25 nm 	• nadają kształt komórkom zwierzęcym • tworzą szlaki transportu wewnątrzkomórkowego, wzdłuż którego przemieszczają się substancje, pęcherzyki transportujące oraz organelle komórkowe • utrzymują organelle komórkowe we właściwym położeniu w komórce • tworzą wrzeciono podziałowe podczas podziału komórki • tworzą rusztowania wici i rzęsek w komórkach eukariotycznych
Filamenty aktynowe	zwane również **mikrofilamentami** – cienkie włókna **aktynowe** o średnicy ok. 7 nm 	• odpowiadają za utrzymanie kształtu komórek • uczestniczą w skurczu włókien i komórek mięśniowych • umożliwiają ruchy pełzakowate komórek, ruch cytozolu i organelli
Filamenty pośrednie	włókna zbudowane z różnych białek (**keratyna**, **desmina**, **lamina**) o średnicy ok. 10 nm 	• zapewniają wzmocnienie mechaniczne komórki (są liczne w komórkach nabłonka, otoczce jądra komórkowego oraz w komórkach nerwowych i mięśniowych)

Ruch cytozolu

– pozwala na transport substancji wewnątrz komórki i przemieszczanie się organelli komórkowych;
– umożliwia wymianę substancji między komórką a środowiskiem wewnątrzkomórkowym.

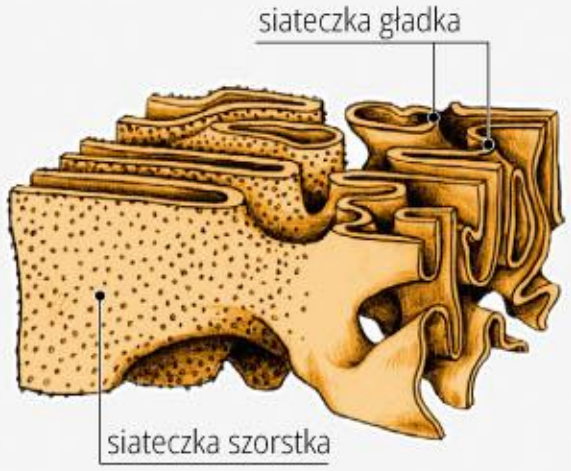
Trzy rodzaje ruchu cytozolu w komórkach roślinnych		
Ruch rotacyjny	**Ruch cyrkulacyjny**	**Ruch pulsacyjny**
Cytozol przepływa w jednym kierunku, **dookoła** zazwyczaj centralnie położonej wakuoli. 	Zachodzi zazwyczaj w komórkach, w których znajduje się kilka mniejszych wakuol. Ruch cytozolu zachodzi **między** wakuolami. 	Cytozol przepływa **raz w jednym, raz w drugim kierunku** wokół wakuoli. 

System wewnątrzkomórkowych błon plazmatycznych

Tworzą go **siateczka śródplazmatyczna** (retikulum endoplazmatyczne), **rybosomy**, **aparaty Golgiego**, **lizosomy**, **peroksysomy** i **glioksysomy**.

Siateczka śródplazmatyczna (retikulum endoplazmatyczne, ER):

– przyjmuje kształt sieci błonowych rurek i spłaszczonych pęcherzyków (cystern);
– występuje we wszystkich komórkach mających jądro komórkowe z wyjątkiem plemników i erytrocytów ssaków;
– zwiększa wewnętrzną powierzchnię komórki (na której mogą zachodzić procesy metaboliczne);
– dzieli komórkę na przedziały (kompartmenty), w których zachodzą często przeciwstawne procesy metaboliczne;
– wyróżnia się dwa rodzaje siateczki – **szorstką** i **gładką** – różniące się budową i pełnioną funkcją;
– udział obu form siateczki jest zmienny i zależy od rodzajów procesów metabolicznych zachodzących w komórce.



ER	Budowa	Funkcja
Siateczka śródplazmatyczna gładka (SER)	• utworzona z rurek, których zewnętrzna powierzchnia **nie jest połączona z rybosomami**	• zachodzi w niej synteza lipidów i związków lipopodobnych (w tym kwasów tłuszczowych, fosfolipidów, steroidów), np. w komórkach śluzowych żołądka i jelit, gruczołach śluzowych w skórze ryb i płazów, w komórkach gruczołowych jąder i w komórkach tkanki łącznej tłuszczowej • uczestniczy w neutralizowaniu (**detoksykacji**) używek i toksyn (m.in. alkoholu, pestycydów, wielu leków, trucizn)
Siateczka śródplazmatyczna szorstka (RER)	• ma postać spłaszczonych woreczków, na których zewnętrznej powierzchni **znajdują się rybosomy** przeprowadzające syntezę białek • występuje w komórkach intensywnie produkujących białka wydzielane poza komórkę, np. w komórkach nabłonka gruczołowego trzustki (wydzielają enzymy trawienne) czy w komórkach ślinianek (wydzielają enzym amylazę ślinową)	• bierze udział w syntezie i przemianach metabolicznych białek przeznaczonych w komórce na eksport (np. enzymy trawienne), a także białek błonowych

Specyficzne formy siateczki śródplazmatycznej

W ciele komórek nerwowych siateczka wraz z wolnymi rybosomami tworzy **tigroidy** (tzw. ciałka Nissla) – zachodzi w nich synteza białka.

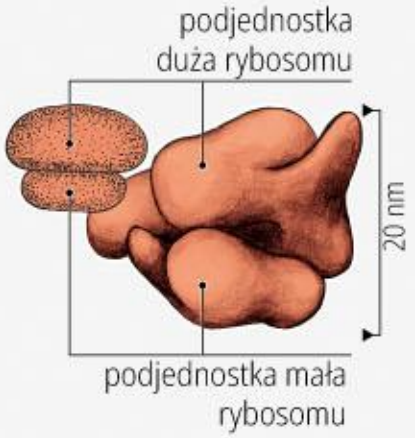
W komórkach mięśniowych siateczka gładka – **retikulum sarkoplazmatyczne** – magazynuje jony wapnia Ca^{2+}, których uwolnienie stanowi sygnał do zainicjowania skurczu mięśnia.

W komórkach olbrzymich szpiku kostnego ssaków (tzw. megakariocytach) z retikulum gładkiego zbudowane są **błony demarkacyjne**, które oddzielają od siebie powstające płytki krwi.

Rybosomy

Budowa

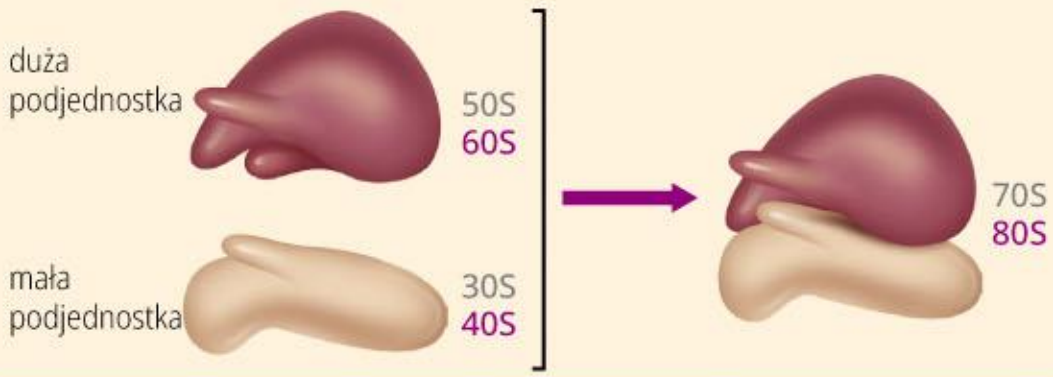
- ziarnistości są **związane z siateczką śródplazmatyczną** lub wolne w cytoplazmie;
- są liczne w komórkach rosnących i produkujących białka przeznaczone na eksport;
- pojedynczy rybosom składa się z **dwóch podjednostek**: małej i dużej, zbudowanych z rybosomalnego kwasu rybonukleinowego (rRNA) i białek;
- rozmiary rybosomów określamy na podstawie **współczynnika sedymentacji** (tzw. stałej sedymentacji Svedberga), czyli szybkości opadania cząstek w roztworze podczas wirowania.



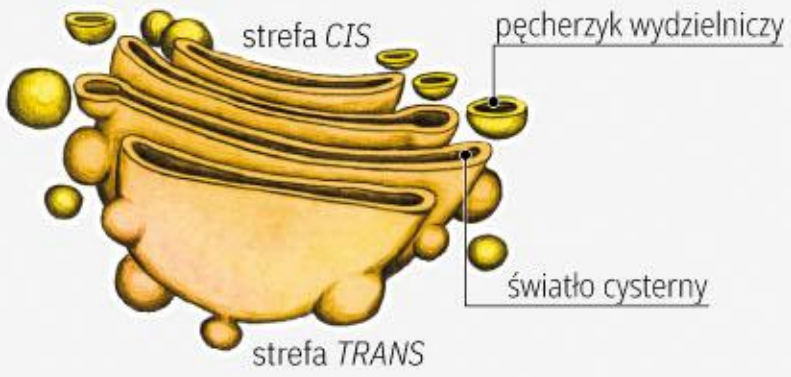
Funkcja

- na wolnych rybosomach zachodzi synteza większości białek spełniających określone funkcje w cytoplazmie (np. enzymy wewnątrzkomórkowe, białka cytoszkieletu, białka jądrowe, niektóre białka mitochondrialne i chloroplastowe);
- rybosomy związane z błonami syntetyzują białka budujące błony biologiczne, przeznaczone do określonych organelli czy wysyłane z komórki (np. hormony białkowe, kolagen, enzymy lizosomalne, enzymy wakuoli litycznych).

Porównanie rybosomów prokariotycznych i eukariotycznych

Cecha		Komórka	
		prokariotyczna	eukariotyczna
stała sedymentacji	podjednostki małej	30S	40S
	podjednostki dużej	50S	60S
	rybosomu	70S	80S
			
miejsce w komórce		w cytozolu	• związane z błonami siateczki śródplazmatycznej i błonami jądrowymi • wolne w cytoplazmie • w mitochondriach i chloroplastach małe rybosomy (tzw. prokariotyczne)

Aparat Golgiego



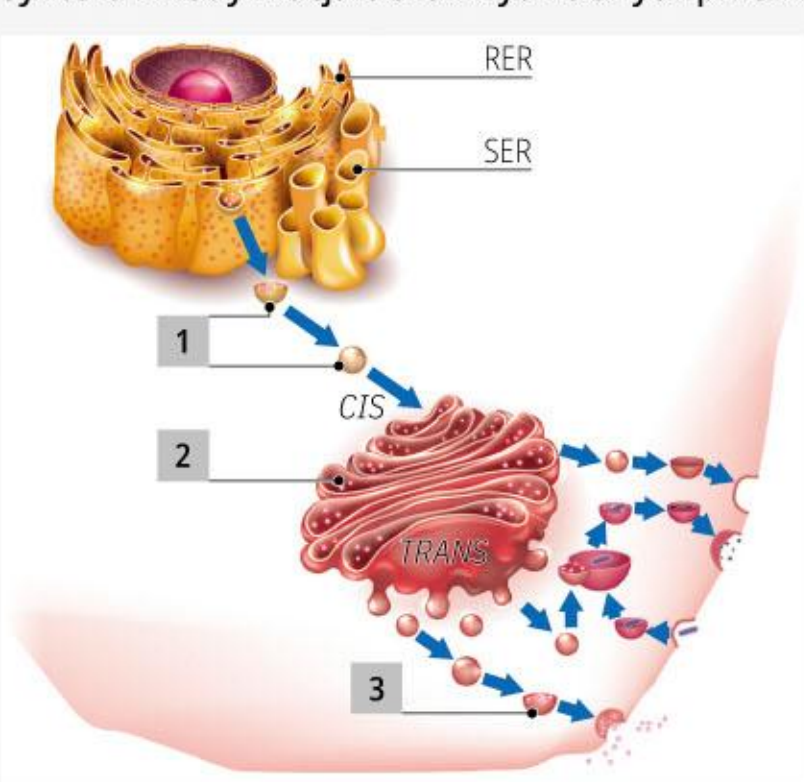
Budowa

- pojedynczy aparat Golgiego składa się ze stosu łukowato wygiętych, nakładających się na siebie spłaszczonych **woreczków – cystern (diktiosomu)** zbudowanych z błon siateczki gładkiej;
- wokół spłaszczonych cystern rozmieszczone są oddzielające się **niewielkie pęcherzyki;**
- występuje luźno w cytoplazmie komórek eukariotycznych;
- liczne w komórkach wydzielniczych, np. w komórkach trzustki;
- strefa *CIS* aparatu znajduje się najbliżej siateczki śródplazmatycznej, a strefa *TRANS* jest skierowana ku błonie komórkowej.

Funkcje

- **modyfikacja, pakowanie i kierowanie** białek i lipidów do wydzielenia poza komórkę (na drodze egzocytozy, np. hormony, enzymy trawienne przewodu pokarmowego, składniki substancji międzykomórkowej), do wnętrza organelli (np. enzymy trawienne lizosomów), do błony komórkowej i błon niektórych organelli komórkowych;
- kierowanie białek do właściwych przedziałów komórkowych;
- u roślin **synteza polisacharydów** (pektyn i hemiceluloz) do budowy ściany komórkowej, a w komórkach zwierzęcych – **mukopolisacharydów**;
- uczestniczy w powstawaniu akrosomu plemnika (który dzięki enzymom hydrolitycznym rozpuszcza osłonkę komórki jajowej);
- z odrywających się pęcherzyków aparatu powstają lizosomy.

Synteza i modyfikacja białek wydzielanych przez komórkę – działanie aparatu Golgiego



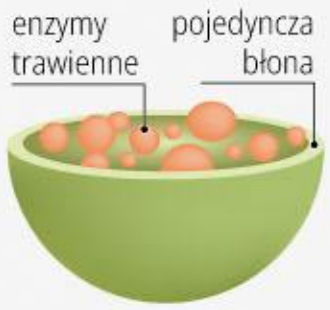
1 – synteza białek na rybosomach siateczki szorstkiej, wstępna modyfikacja w kanałach siateczki gładkiej i zamknięcie cząsteczek białka w pęcherzykach transportujących, odrywających się od siateczki;

2 – zlewanie się pęcherzyków transportujących z błoną aparatu Golgiego (strefa *cis*), dalsza modyfikacja białek (w procesie fosforylacji i glikolizacji), sortowanie do miejsc przeznaczenia;

3 – powstanie pęcherzyków wydzielniczych odrywających się od aparatu Golgiego (strefa *trans*) wędrujących w kierunku błony komórkowej, po zlaniu z którą zawartość usuwana jest na zewnątrz komórki w procesie egzocytozy.

Lizosomy

Budowa



- pęcherzyki otoczone pojedynczą błoną;
- występują w komórkach zwierzęcych i u niektórych protistów;
- zawierają enzymy trawienne (hydrolityczne) trawiące białka, lipidy, kwasy nukleinowe, polisacharydy i toksyny oraz organizmy patogenne czy zużyte lub uszkodzone organelle komórkowe;
- enzymy działają w środowisku lekko kwaśnym (pH ok. 5) – uwolnione do cytozolu są nieaktywne;
- liczne w komórkach żernych układu odpornościowego.

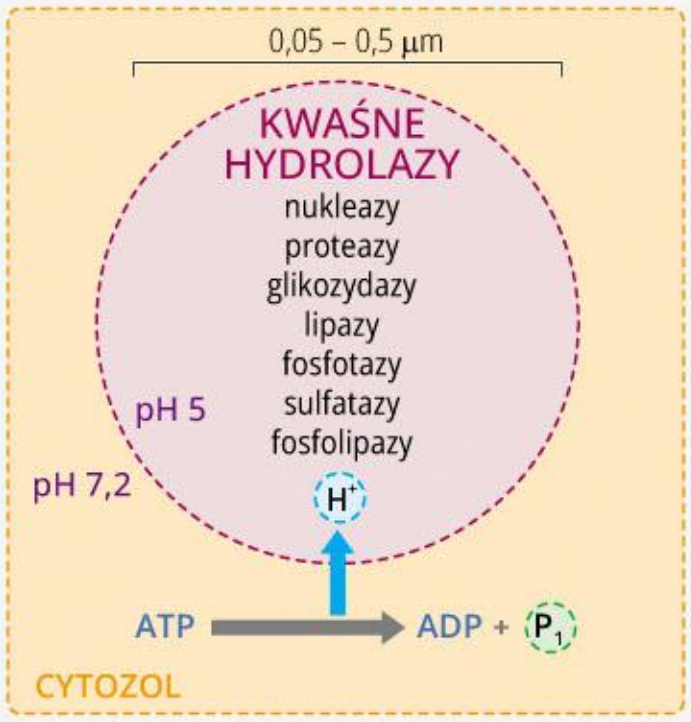
Funkcje

– odbywa się w nich trawienie wewnątrzkomórkowe substancji pochodzących spoza komórki oraz zużytych i uszkodzonych organelli komórkowych;

– dzięki lizosomom komórka stale odnawia swoje struktury (**zjawisko autofagii**) – końcowe produkty trawienia mogą być transportowane do cytozolu i ponownie wykorzystywane przez komórkę.

Pompa protonowa

Utrzymanie niskiego pH w lizosomach zapewnia **pompa protonowa**, która aktywnie transportuje jony H^+ ich wnętrza.

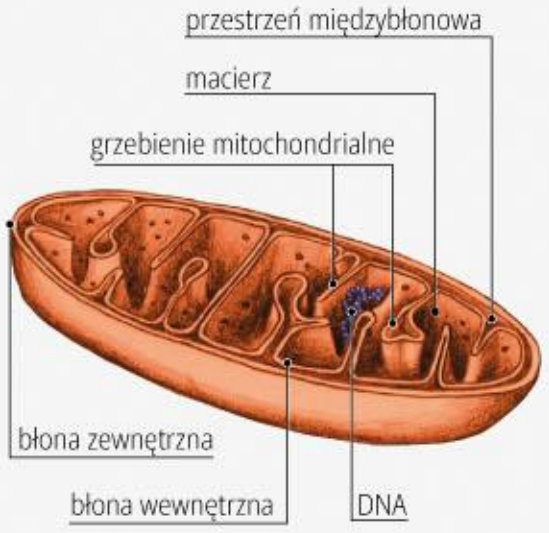


Mikrociałka

	Budowa	Funkcja
Peroksysomy	• pęcherzyki otoczone pojedynczą błoną występujące w komórkach eukariotycznych • zawierają **enzymy hydrolityczne – katalazę** i **oksydazę**	• uczestniczą w procesach utleniania związków organicznych (dzięki oksydazie) • biorą udział w detoksykacji szkodliwych substancji, np. **nadtlenku wodoru** (H_2O_2) (dzięki katalazie) • w komórkach wątroby człowieka uczestniczą w detoksykacji alkoholu etylowego oraz innych **toksycznych** substancji • rozkładają kwasy tłuszczowe na mniejsze cząsteczki, które stanowią substrat dla oddychania komórkowego w mitochondriach • peroksysomy roślin łącznie z chloroplastami i mitochondriami biorą udział w procesie **fotorespiracji**
Glioksysomy	• odmiana peroksysomów występująca wyłącznie u roślin • liczne w tkankach nasion magazynujących tłuszcze	• zawierają enzymy, które katalizują reakcje przekształcenia tłuszczów zapasowych w cukry, które zarodek rośliny wykorzystuje podczas procesu kiełkowania nasienia (**cykl glioksalowy**) • kiedy z kiełkujących nasion rozwiną się liścienie i komórki będą zdolne do przeprowadzania fotosyntezy, glioksysomy przekształcają się w peroksysomy

Mitochondrium

Budowa

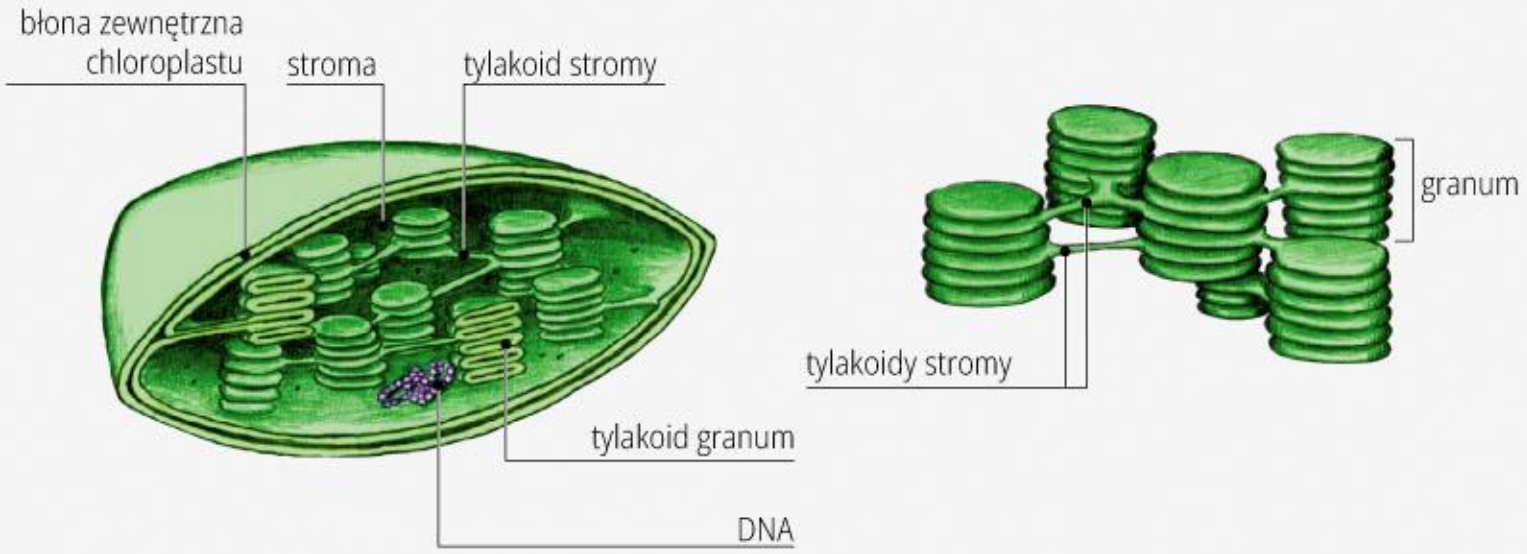


- **owalne** lub **cylindryczne;**
- otoczone **dwiema błonami białkowo-lipidowymi**:
  - **błona zewnętrzna** jest gładka i przepuszczalna dla wielu małych cząsteczek i większości jonów;
  - **błona wewnętrzna** jest pofałdowana i tworzy **grzebienie mitochondrialne**, które zwiększają jej powierzchnię (stopień pofałdowania jest ściśle związany z zapotrzebowaniem komórki na energię);
- **błona wewnętrzna jest selektywnie przepuszczalna** (swobodnie przechodzą gazy O_2, CO_2 i woda);
- między błoną zewnętrzną i wewnętrzną znajduje się **przestrzeń międzybłonowa** (**perimitochondrialna**);
- **wnętrze mitochondrium wypełnia** koloidalna **matrix (macierz) mitochondrialna**, w której znajdują się enzymy biorące udział w oddychaniu komórkowym (cykl Krebsa), cząsteczki kolistego DNA (mtDNA), tRNA i rybosomy, w których zachodzi synteza części białek mitochondrialnych (pozostałe są syntetyzowane przez rybosomy cytoplazmatyczne);
- są liczne w komórkach o dużym zapotrzebowaniu na energię, np. włóknach mięśni poprzecznie prążkowanych czy komórkach nerwowych.

Funkcja

- wytwarzanie podczas procesu utleniania komórkowego energii zgromadzonej w ATP.

Chloroplast



Budowa

- ma **kształt dysku;**
- jest otoczony **podwójną błoną komórkową**, między którą występuje przestrzeń międzybłonowa;
- **błona zewnętrzna** jest gładka i dobrze przepuszczalna dla jonów;
- **błona wewnętrzna** jest przepuszczalna tylko dla niektórych substancji; tworzy system spłaszczonych woreczków zwanych **tylakoidami;**
- **tylakoidy** mogą się układać jeden na drugim (tzw. grana) w stosy zwane **tylakoidami gran** (w ich błonach wbudowane są zielony barwnik chlorofil oraz białka enzymatyczne) lub tworzyć długie, pojedyncze rurki łączące ze sobą tylakoidy gran (**tylakoidy stromy**);
- **wnętrze chloroplastu** wypełnia **koloidalna stroma**, czyli **macierz chloroplastu**, w której znajdują się kolisty DNA chloroplastowy (chDNA), rybosomy oraz liczne enzymy.

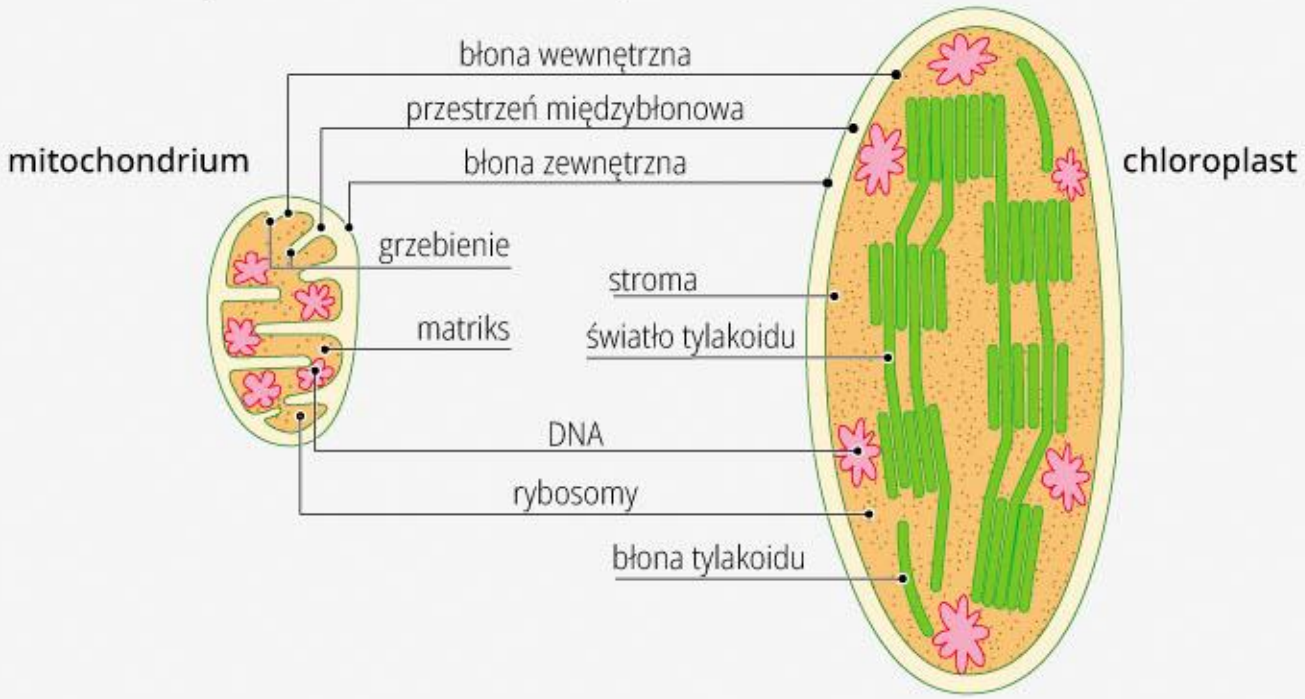
Funkcje

- wiązanie energii świetlnej w proste związki organiczne w procesie fotosyntezy;
- w błonach tylakoidów gran zachodzą reakcje fazy jasnej fotosyntezy;
- w stromie zachodzą reakcje fazy ciemnej fotosyntezy.

Charakterystyka plastydów

Rodzaje plastydów	Charakterystyka	Funkcje	Występowanie
proplastydy	bezbarwne, ze słabo rozwiniętym systemem błon wewnętrznych	młodociana, niezróżnicowana forma plastydów, z nich powstają inne rodzaje plastydów	komórki tkanek twórczych (embrionalnych), komórki zarodka i gamet
leukoplasty	bezbarwne, powstają przy braku światła, pod wpływem światła mogą przechodzić w chloroplasty	zdolność do syntezy i magazynowania substancji zapasowych, głównie skrobi (**proteinoplasty** gromadzą białka zapasowe, **amyloplasty** gromadzą węglowodany w postaci ziaren skrobi, **elajoplasty** gromadzą tłuszcze zapasowe)	komórki organów spichrzowych roślin (np. bulwy, kłącza, korzenie, liścienie, bielmo nasion)
etioplasty	mają **protochlorofilid** i **ciała prolamellarne**, struktury te pod wpływem światła przechodzą w chlorofil i tylakoidy, na świetle przekształcają się w chloroplasty	po przekształceniu w chloroplasty mają zdolność do fotosyntezy	rośliny hodowane w ciemności (tzw. etiolowane)
chromoplasty	barwne, zawierające barwniki karetonoidowe: **czerwono-pomarańczowy karoten i żółty kasnatofil**, powstają z proplastydów, leukoplastów i najczęściej z przekształcenia chloroplastów (starzenie się uprzednio zielonych liści jesienią, dojrzewanie owoców)	odpowiedzialne za zabarwienie owoców, płatków korony kwiatów (związek z zapylaniem kwiatów i rozsiewaniem owoców), niektórych organów spichrzowych roślin, karoten bierze udział w budowie witaminy A	np. korzeń marchwi, owoc papryki czy pomidora, płatki korony jaskra
chloroplasty	barwne, mają **zielony barwnik chlorofil**, u roślin otoczone przez dwie, a u protistów roślinopodobnych przez trzy lub cztery błony, w starzejących się komórkach przekształcają się w chromoplasty	zachodzi w nich proces fotosyntezy, nadają zielone zabarwienie nadziemnym częściom rośliny	zielone części roślin

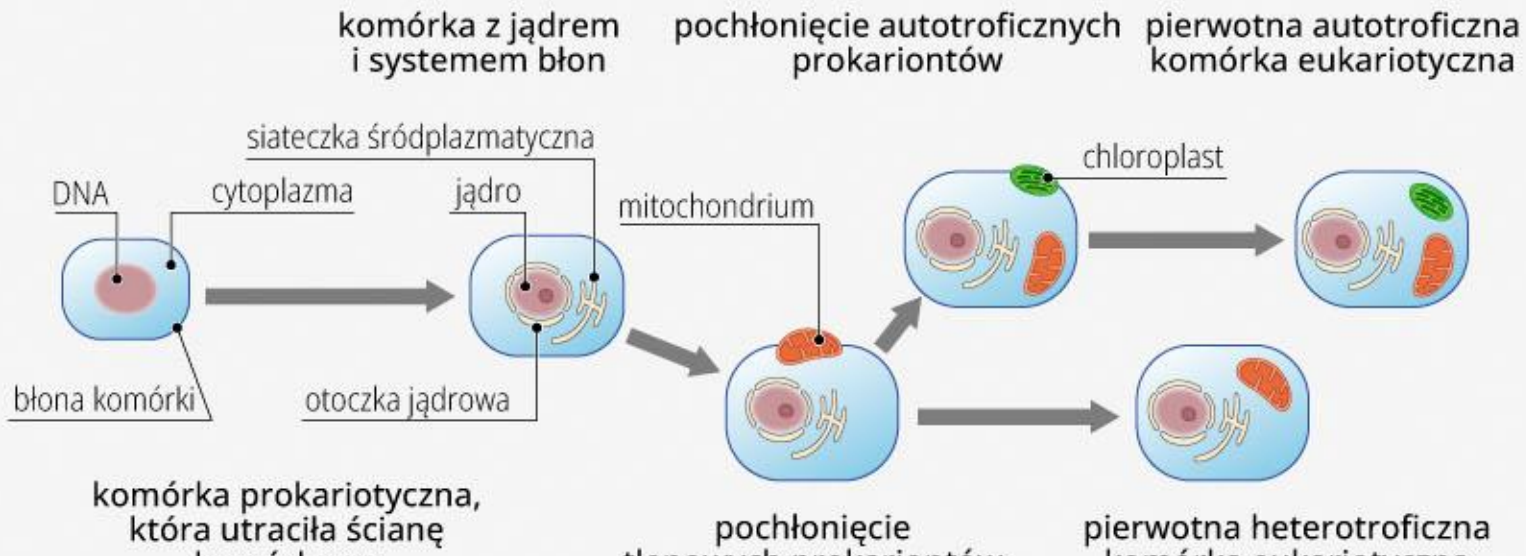
Porównanie budowy mitochondrium i chloroplastów



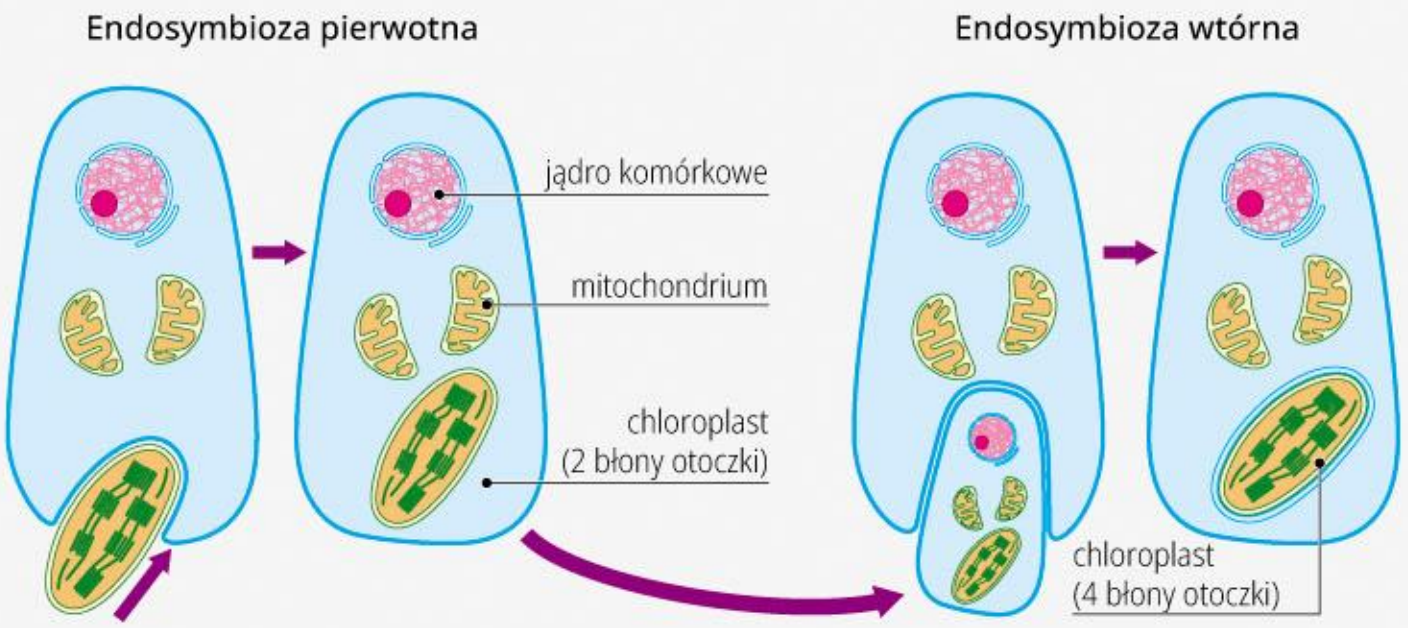
Mitochondria i chloroplasty **są organellami półautonomicznymi**, częściowo niezależnymi od jądra komórkowego, ponieważ mają DNA i rybosomy, co pozwala im na syntezę ok. 10% swoich białek. Mitochondria i chloroplasty mogą dzielić się niezależnie od podziałów komórki. Cechy te wyraźnie różnią mitochondria i chloroplasty od innych organelli komórkowych i dają im dużą autonomię w komórce.

Teoria endosymbiozy

Zgodnie z teorią endosymbiozy mitochondria i chloroplasty pochodzą od samodzielnie żyjących komórek bakterii, które zostały wchłonięte półtora miliarda lat temu przez komórkę eukariotyczną na drodze fagocytozy i nie zostały strawione. Komórki te stworzyły z komórką gospodarza (eukariotyczną) specyficzny rodzaj **symbiozy**. Następnie na drodze ewolucji zaczęty przekazywać część materiału genetycznego do jądra komórki gospodarza, a same przekształciły się w organelle komórkowe. Świadczy o tym własny DNA oraz rybosomy podobne wielkością do rybosomów prokariotycznych. Uważa się, że jako pierwsze zostały wchłonięte bakterie purpurowe, które dały początek **mitochondriom** (a te cudzożywnym tlenowcom), a następnie sinice (cyjanobakterie), z których powstały **chloroplasty** (a z tych autotroficzne tlenowce).

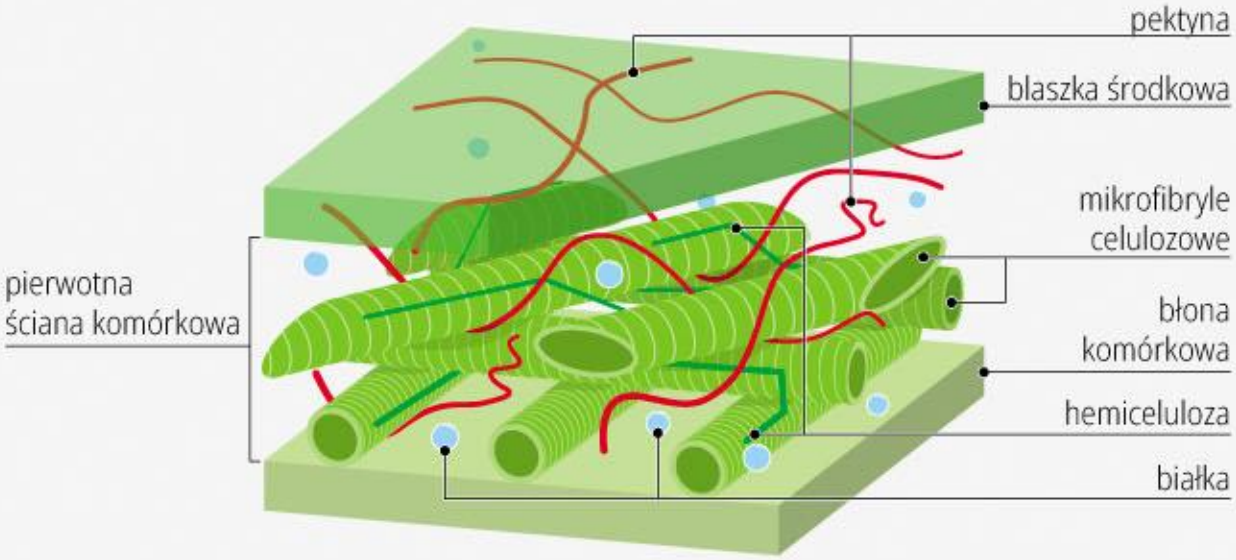


Uważa się, że chloroplasty krasnorostów i zielenic powstały podczas **pojedynczej endosymbiozy** określanej **endosymbiozą pierwotną**. Podczas tego procesu powstały chloroplasty otoczone podwójną błoną komórkową. Natomiast u protistów roślinopodobnych chloroplasty powstały podczas **endosymbiozy wtórnej**. Prawdopodobnie przodkowie fotosyntetyzujących protistów wchłonęli na drodze fagocytozy całą komórkę eukariotyczną, która wcześniej wchłonęła bakterie fotosyntetyzujące. W związku z tym pojawiły się dodatkowe błony komórkowe otaczające chloroplast. Ewolucjoniści zakładają, że taki proces zachodził kilkakrotnie.



Argumenty popierające teorię endosymbiozy:
- mitochondria i chloroplast są otoczone dwoma błonami;
- mitochondria i chloroplasty mają własne koliste DNA oraz aparat replikacyjny, transkrypcyjny i translacyjny;
- mitochondria i chloroplasty zawierają małe rybosomy, podobnie jak komórki prokariotyczne;
- podział mitochondriów i chloroplastów następuje podobnie jak u bakterii – przez podział już istniejących.

Ściana komórkowa



Budowa

- w komórkach roślin i niektórych protistów zbudowana z **celulozy** (**błonnika**), grzybów – z **chityny**, a bakterii – z **mureiny**;
- rusztowanie dla ściany komórkowej roślin i niektórych protistów stanowią długie, ściśle przylegające do siebie cząsteczki celulozy – **fibryle elementarne**, które łączą się w większe pęczki – **mikrofibryle**; zespół złożony z ok. 200–400 mikrofibryli tworzy **makrofibryle**, czyli włókna celulozowe;
- w **rusztowanie celulozowe** są wbudowane **pektyny** i **hemicelulozy** oraz woda i nieznaczne ilości białek strukturalnych i enzymatycznych;
- młode komórki otacza cienka i **elastyczna pierwotna ściana komórkowa** (mały udział celulozy);
- po zakończeniu wzrostu komórki są otoczone **wtórną ścianą**, która jest grubsza i sztywniejsza (większa zawartość celulozy);
- **wtórna ściana** powstaje przez **adkrustację** (**powlekanie**) lub **inkrustację** (**wysycanie**) innymi substancjami;
- pomiędzy pierwotnymi ścianami sąsiadujących komórek tworzy się spajająca je **blaszka środkowa** (zbudowana z pektyn).

Funkcje

- chroni komórkę przed uszkodzeniem mechanicznym i wnikaniem drobnoustrojów;
- nadaje kształt komórce;
- stanowi wzmocnienie i podporę dla komórek;
- chroni komórkę przed pęcznieniem i pękaniem w środowisku hipotonicznym;
- uczestniczy w transporcie wody.

Porównanie ściany komórkowej pierwotnej i wtórnej

Cechy	Ściana komórkowa	
	pierwotna	wtórna
wiek komórek	młode, rosnące	dojrzałe, o dużym stopniu specjalizacji
zawartość celulozy (% suchej masy)	20–30	60–90
układ włókien celulozowych	nieregularny, zapewniający zdolność do rozciągania błony	regularny, zapewniający dużą odporność mechaniczną
rodzaj wzrostu	wzrost powierzchniowy	wzrost na grubość od strony wewnętrznej
modyfikacje	brak	inkrustacja – drzewnik, krzemionka, węglan wapnia adkrustacja – kutyna, suberyna, sporopolenina, kaloza, gumy i śluzy

Modyfikacje wtórnej ściany komórkowej

Różnice	Inkrustacja	Adkrustacja
opis modyfikacji	substancje wnikają między włókna celulozowe	substancje odkładają się na powierzchni ściany
rodzaj substancji odkładanych i ich funkcja	**lignina** (**drzewnik**) – zwiększa wytrzymałość mechaniczną ściany, nadając jej sztywność i twardość **substancje nieorganiczne: krzemionka** (SiO_2) i **węglan wapnia** ($CaCO_3$) wzmacniają i budują ściany komórek traw, turzyc, skrzypów oraz niektórych protistów roślinopodobnych, np. pancerzyki okrzemek	**związki o charakterze lipidowym:** • **kutyna** wraz z woskiem tworzy **kutykulę** ograniczającą nadmierne parowanie wody i wnikanie drobnoustrojów chorobotwórczych • **suberyna** (składnik korka) pełni funkcję termoizolacyjną (nie przepuszcza wody i powietrza, chroni przed przegrzaniem) i wzmacniającą • **sporopolenina** (składnik zewnętrznej warstwy – **egzyny** ścian ziaren pyłku roślin nasiennych, zarodników mszaków i paprotników) wzmacnia odporność chemiczną i mechaniczną egzyny, (wykorzystywana w palinologii zajmującej się badaniem pyłku roślin i zarodników grzybów) **polisacharydy**, np.: • **kaloza** (wyścieła wewnętrzną ścianę porów rurek sitowych łyka) częściowo lub całkowicie zamyka przepływ asymilatów przez łyko • **śluzy** (występują na powierzchni ściany nasion, korzeni, liści, np. lnu, malwy, sagowca) chłoną wodę i stanowią rezerwę wodną niektórych roślin, pełnią także funkcję ochronną i zapasową • **gumy** są wydzielane przez rośliny wyższe w miejscach zranienia, np. guma arabska wydzielana przez zranioną akację senegalską

Wakuola (wodniczka)

Budowa
- występuje w komórkach roślin, grzybów i niektórych protistów i zwierząt;
- powstaje z małych **prawakuoli** oddzielających się od siateczki śródplazmatycznej lub **pęcherzyków** odrywających się od aparatu Golgiego;
- jest otoczona pojedynczą błoną – **tonoplastem**;
- wnętrze wakuoli roślinnych wypełnia **sok komórkowy** (**wakuolarny**);
- składniki soku komórkowego to:
  - **woda** i **jony nieorganiczne** (głównie wapń, potas i chlorki);
  - **związki organiczne** (białka, cukry, kwasy organiczne, wolne aminokwasy, kwasy organiczne);
  - **metabolity wtórne** – **glikozydy** (np. antocyjany – czerwone w kwaśnym pH, niebieskie w zasadowym), flawony (żółte), alkaloidy (często silnie trujące, np. kofeina, chinina, nikotyna, morfina), garbniki, kryształy (np. szczawianu wapnia).

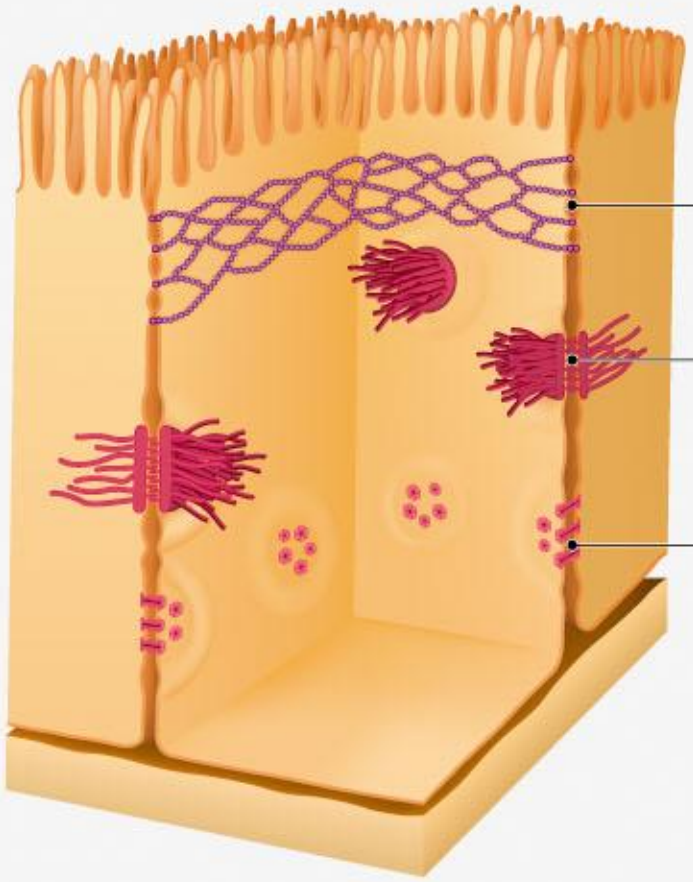
Funkcje
- utrzymanie jędrności komórki (turgoru);
- miejsce gromadzenia substancji zapasowych, toksycznych produktów metabolizmu (alkaloidów), barwników (wakuole owoców i płatków kwiatów);
- udział w trawieniu wewnątrzkomórkowym niektórych wakuoli roślinnych z enzymami hydrolitycznymi (funkcja lizosomów u zwierząt);
- udział w trawieniu pozakomórkowym wakuoli grzybów z enzymami hydrolitycznymi;
- w komórkach niektórych protistów i komórkach zwierzęcych **wodniczki pokarmowe** odpowiadające za trawienie pokarmu i **wodniczki tętniące** odpowiedzialne za osmoregulację.

Składniki komórki eukariotycznej

Plazmatyczne (żywe)
- błona komórkowa,
- cytozol, jądro komórkowe,
- siateczka śródplazmatyczna,
- rybosomy,
- aparat Golgiego,
- lizosomy,
- peroksysomy,
- mitochondrium,
- plastydy.

Nieplazmatyczne (martwe)
- ściana komórkowa,
- wakuola.

Połączenia międzykomórkowe w komórkach zwierzęcych



Połączenia zamykające

- uszczelniają komórki, tworzą selektywne bariery – zapobiegają przepływowi niektórych substancji przez warstwę komórek, np. nie pozwalają na wnikanie substancji z jelita do wnętrza ciała;
- występują w szczytowych częściach komórek nabłonka.

Desmosomy

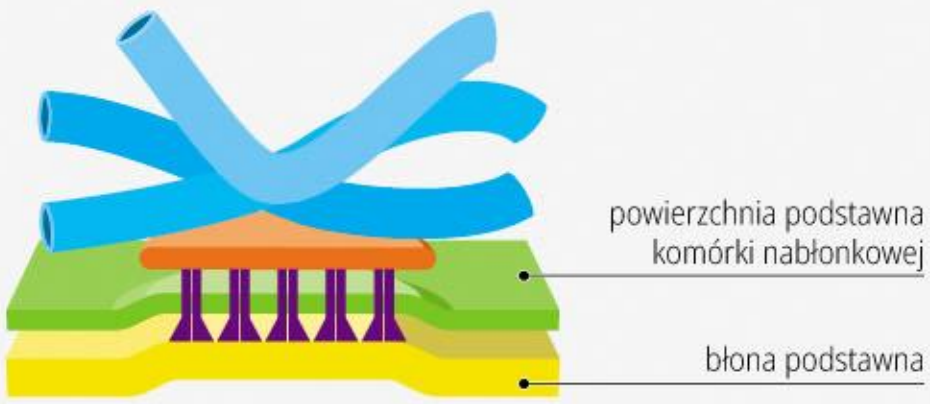
- drobne białkowe wypustki na powierzchni błony sąsiadujących komórek;
- są połączeniami o charakterze zakotwiczającym – łączą filamenty pośrednie sąsiadujących ze sobą komórek;
- zapewniają wytrzymałość mechaniczną.

Połączenia szczelinowe (komunikacyjne)

- zbudowane są z kompleksów białkowych, tzw. koneksonów, tworzących kanał łączący cytoplazmy sąsiednich komórek;
- dzięki nim zachodzi przekazywanie jonów i związków drobnocząsteczkowych (np. cukrów i aminokwasów) między komórkami;
- zapewniają szybkie przekazywanie informacji między komórkami na drodze elektrycznej (np. w komórkach mięśnia sercowego).

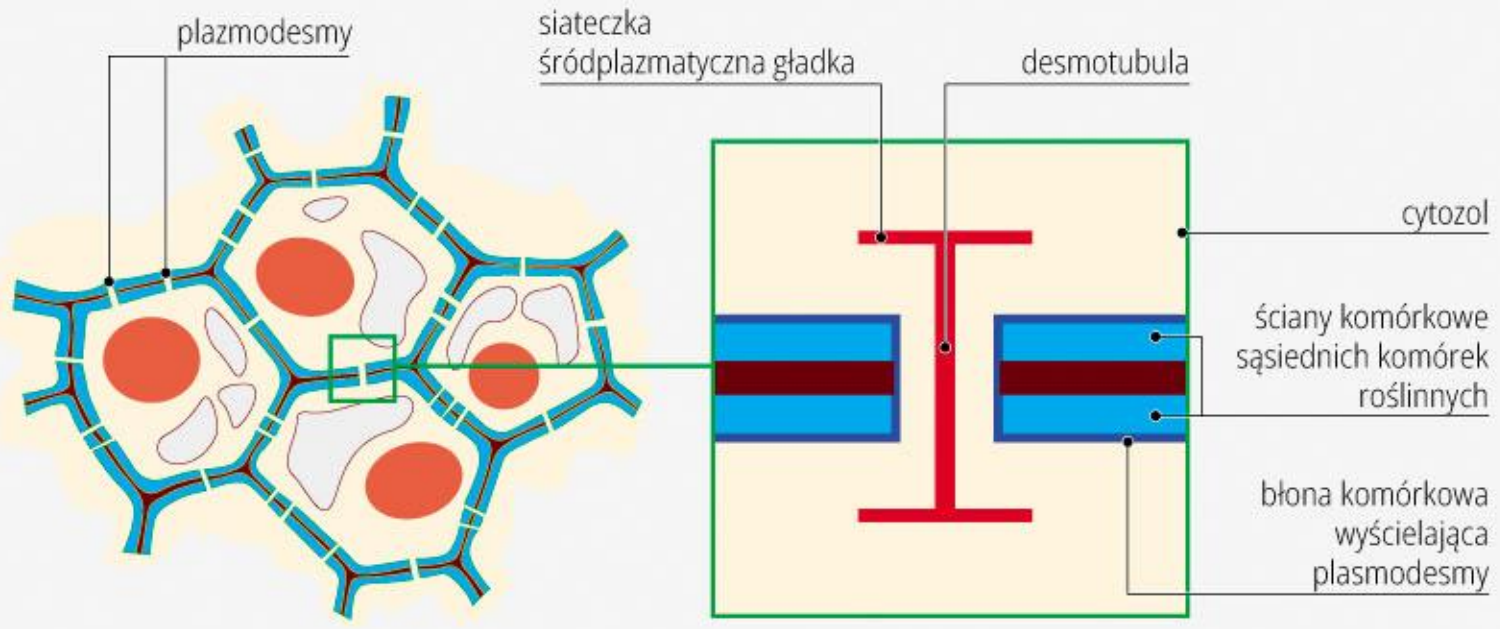
Półdesmosomy

Wyróżnia się też połączenia typu półdesmosomy, które utrzymują filamenty pośrednie w błonie podstawnej nabłonka.

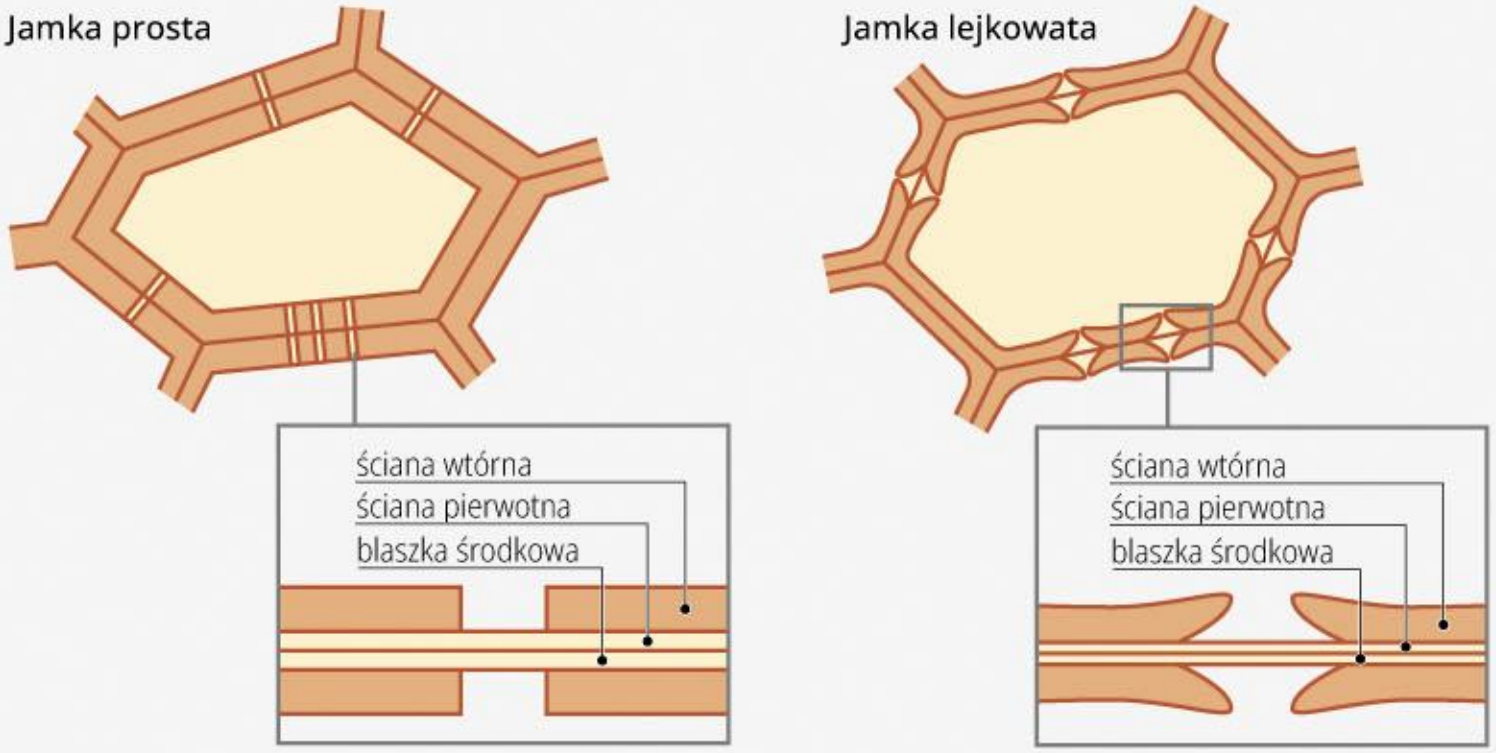


Połączenia międzykomórkowe w komórkach roślinnych

Komórki roślinne kontaktują się między sobą za pomocą **plazmodesmów**, czyli cienkich pasm cytozolu łączących siateczki śródplazmatyczne sąsiadujących komórek. Pasma te przechodzą przez liczne **jamki** w ścianie komórkowej.



Z powodu stałego kontaktu cytozolu z sąsiadujących komórek, na obszarze jamki nie odkłada się ściana wtórna. Ze względu na kształt wtórnej ściany komórkowej jamki dzielimy na **proste** i **lejkowate**.



Przez plazmodesmy zachodzi:

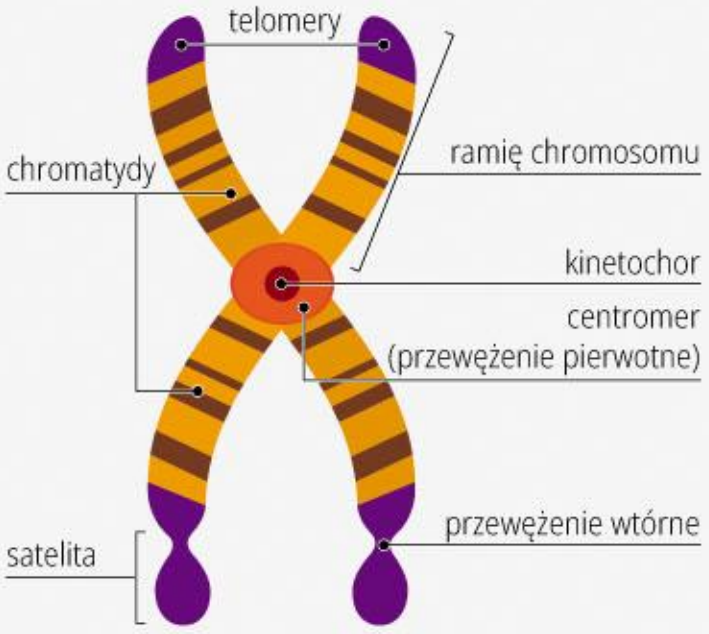
- transport wielu substancji, np. wody, aminokwasów, fosfolipidów czy nawet kwasów nukleinowych;
- przenikanie między komórkami wirusów roślinnych, co znacznie przyśpiesza ich rozprzestrzenianie się po całej roślinie.

2.4. Cykl komórkowy

Budowa chromosomu metafazowego

Chromosomy w komórkach niedzielących się nie są dostrzegalne. Dopiero podczas podziału komórki chromatyna ulega kondensacji (zagęszczeniu), tworząc **chromosomy**.

Maksymalny stopień kondensacji osiągają chromosomy podczas **metafazy** – jednej z faz podziału komórkowego. Można wówczas dokładnie wyróżnić części chromosomu.



Chromatydy – dwie identyczne cząsteczki DNA tworzące ramiona chromosomu.

Chromatydy siostrzane – chromatydy budujące ten sam chromosom.

Chromatydy niesiostrzane – chromatydy wchodzące w skład dwóch różnych chromosomów należących do pary chromosomów homologicznych (mają ten sam kształt i wielkość oraz informację genetyczną).

Ramiona chromosomu – części chromatyd występujące po obu stronach centromeru.

Centromer (przewężenie pierwotne) – miejsce połączenia dwóch chromatyd siostrzanych, a także włókien wrzeciona kariokinetycznego za pomocą białkowej struktury – **kinetochoru**; dzieli chromatydy na dwa ramiona.

Przewężenie wtórne (NOR, organizator jąderkotwórczy) – dodatkowe przewężenie, które między kolejnymi podziałami ulega kondensacji i tworzy się wokół niego jąderko, występujące w niektórych chromosomach na końcu ramienia.

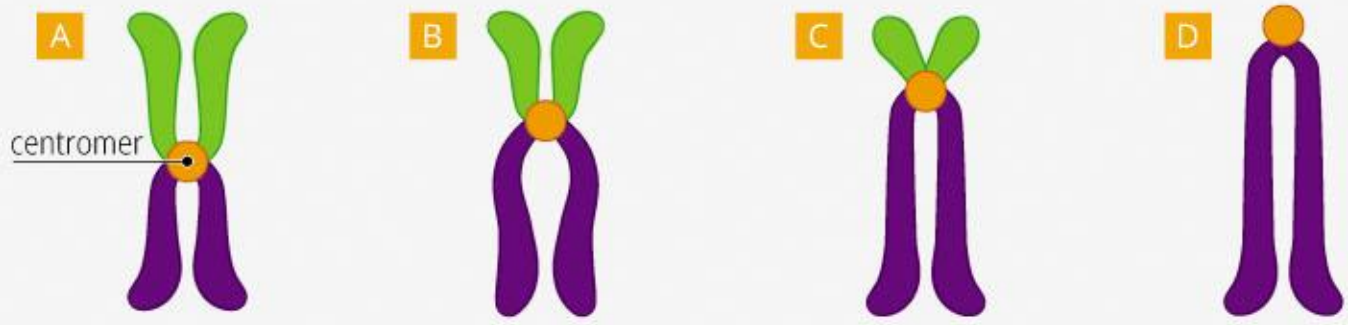
Satelita (trabant) – końcowa część chromosomu występująca za przewężeniem wtórnym, zbudowana z DNA, które po podziale komórkowym pozwala na odtworzenie jąderka.

Podział chromosomów

Ze względu na zawartość genetyczną:
- **chromosomy homologiczne** – chromosomy podobne do siebie pod względem składu genetycznego, mające identyczny kształt i wielkość, oznaczane tym samym symbolem (jeden pochodzi od ojca, a drugi od matki);
- **chromosomy niehomologiczne** – chromosomy różne pod względem zawartości genetycznej, oznaczane różnymi symbolami.

Ze względu na rolę w komórce:
- **autosomy** – wszystkie chromosomy z wyjątkiem chromosomów płci;
- **allosomy** (heterochromosomy) – chromosomy płci (np. u człowieka chromosom X i Y).

Ze względu na położenie centromeru:
- **metacentryczne** – centromer znajduje się w środku chromosomu i dzieli go na dwa ramiona o równej długości (A);
- **submetacentryczne** – centromer został przesunięty w kierunku jednego ramienia chromosomu i dzieli go na ramię dłuższe i krótsze (B);
- **akrocentryczny** – centromer znajduje się w pobliżu końca chromosomu i krótsze ramię jest słabo widoczne (C);
- **telocentryczny** – centromer znajduje się przy telomerze i chromosom ma tylko jedno ramię (D).



Cechy kariotypu

Kariotyp – kompletny zestaw chromosomów znajdujący się w komórce somatycznej organizmu. Każdy gatunek ma charakterystyczną dla siebie liczbę chromosomów zwaną **kariotypem**, np. u człowieka jest **46 chromosomów**, u muszki owocowej – 8, a u drożdży – 17. Tworzą go dwa rodzaje chromosomów: **chromosomy płci** (u człowieka **chromosom X i Y**) oraz **autosomy** (chromosomy niezależne od płci).

Kariogram – obraz kariotypu powstający na podstawie cech morfologicznych chromosomów wchodzących w jego skład. Każdy z chromosomów otrzymuje odrębny symbol lub liczbę.

W zależności od etapu cyklu rozwojowego lub rodzaju komórki mogą zawierać:
- pojedynczy zestaw (garnitur) chromosomów – **liczbę haploidalną** (1n);
- podwójny zestaw chromosomów – **liczbę diploidalną** (2n);
- zwielokrotniony ponad dwukrotnie zestaw chromosomów – **liczbę poliploidalną** (np. 3n, 4n).

Haplonty – organizmy, które w kariotypie mają pojedynczy (**haploidalny**) zestaw chromosomów (bakterie, większość grzybów i część protistów).

Diplonty – organizmy, które w kariotypie mają podwójny (**diploidalny**) zestaw chromosomów (prawie wszystkie zwierzęta i większość roślin).

Cykl komórkowy (życiowy komórki)

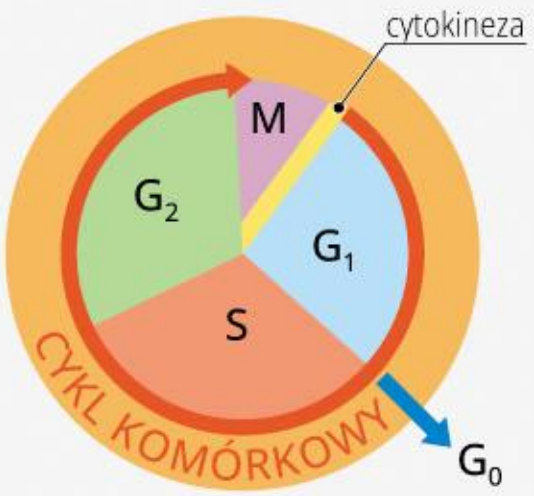
Każda komórka powstaje w wyniku podziału istniejącej już komórki macierzystej. Podział komórki obejmuje podział jądra komórkowego – **kariokinezę** – oraz podział cytoplazmy – **cytokinezę**. W zależności od sposobu podziału jądra komórkowego i jego skutków dla nowo powstałych komórek potomnych wyróżniamy dwa podstawowe rodzaje podziałów: **mitozę**, **mejozę** oraz stosunkowo rzadziej występujące **amitozę** i **endomitozę**.



Każda komórka powstaje w wyniku podziału już istniejącej komórki macierzystej. Okres od początku jednego podziału komórki do początku kolejnego nazywamy **cyklem komórkowym**. W cyklu komórkowym wyróżniamy dwa podstawowe etapy:
- **interfazę** – stan między kolejnymi podziałami, podczas którego komórka rośnie, syntetyzuje potrzebne do podziału substancje, w tym podwaja chromosomy;
- **fazę M** – podział komórki, który obejmuje podział jądra komórkowego (kariokinezę) oraz cytoplazmy (cytokinezę).

Podział jądra komórkowego w cyklu komórkowym nazywamy **mitozą**. Drugim podziałem jądra jest **mejoza**.

Schemat cyklu komórkowego



Interfaza

Interfaza jest najdłuższą fazą – obejmuje ok. 70–90% długości całego cyklu komórkowego. Kończy się z chwilą śmierci komórki lub w momencie rozpoczęcia następnego podziału. Podczas tej fazy komórka rośnie, syntetyzuje potrzebne do podziału substancje, w tym podwaja chromosomy. Interfaza składa się z trzech następujących po sobie faz: G_1, S i G_2.

G_1 – okres po zakończeniu podziału komórki; komórka przygotowuje się do syntezy DNA, odbudowuje białka (przez proces syntezy białek) wchodzące w skład różnych organelli komórkowych, a także enzymy niezbędne do replikacji (syntezy) DNA; następuje również wzrost komórki; jest najdłuższą fazą interfazy, w której zachodzą intensywne procesy metaboliczne.

S – podwojenie ilości DNA podczas procesu **replikacji**; następuje także synteza białek histonowych, które są materiałem budulcowym chromosomów; po replikacji DNA nić chromatynowa każdego chromosomu zostaje podwojona, dzięki czemu komórka wytwarza kopie wszystkich swoich chromosomów.

G_2 – przygotowania komórki do podziału; następuje synteza białka (głównie tubuliny), niezbędnego do budowy mikrotubul wrzeciona podziałowego, a w komórkach zwierzęcych także centrioli (ich liczba wzrasta z dwóch do czterech); zachodzi podział oraganelli półautonomicznych (mitochondrium i plastydów).

Mitoza – M

Podział komórki na dwie komórki potomne. Składa się z dwóch podziałów:

Kariokineza	podział jądra komórkowego (podwojonego materiału genetycznego DNA) na dwie części
Cytokineza	podział cytoplazmy (cytozolu i organelli komórkowych) na dwie komórki potomne

Dodatkowy etap cyklu komórkowego

G_0 – część komórek po fazie G_1 traci zdolność do dzielenia się i syntezy DNA, nie przygotowuje się do kolejnego podziału, lecz wchodzi w fazę różnicowania – przekształca się w komórki określonego typu. Czasami komórki z fazy G_0 mogą powtórnie wrócić do cyklu podziałowego przez wejście do fazy G_1 lub do fazy S.

Przebieg mitozy

Profaza – zanikanie otoczki jądrowej i jąderka, chromatyna ulega kondensacji (zagęszczaniu) i spiralizacji (skręceniu), co prowadzi do uformowania się chromosomów (każdy zbudowany z dwóch chromatyd zwanych chromatydami siostrzanymi); następuje formowanie się wrzeciona podziałowego (kariokinetycznego).

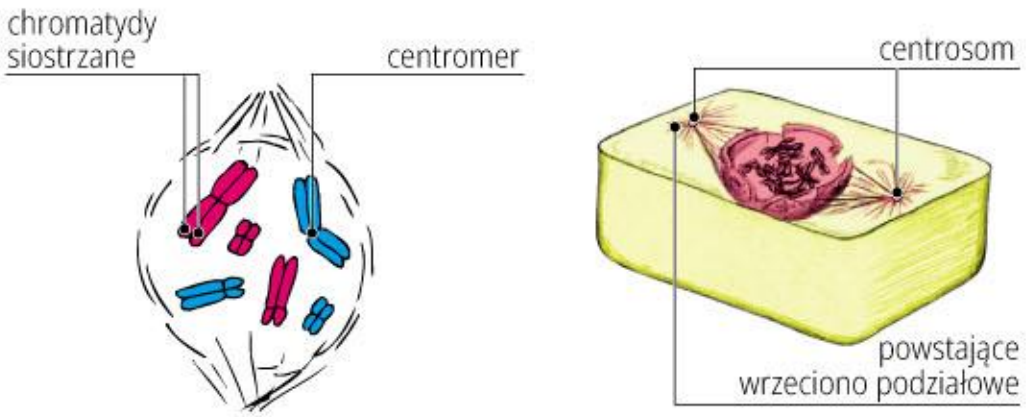
Metafaza – chromosomy łączą się z mikrotubulami wrzeciona podziałowego za pomocą kinetochorów, w wyniku ciągłego skracania się i wydłużania mikrotubul chromosomy stale wędrują aż do ustawienia się w płaszczyźnie równikowej komórki, tworząc tzw. płytkę metafazalną, osiągają największy poziom zagęszczenia i są dobrze widoczne pod mikroskopem optycznym.

Anafaza – pękają centromery i chromatydy siostrzane oddzielają się od siebie, mikrotubule wrzeciona skracają się i przyciągają chromatydy siostrzane do przeciwległych biegunów komórki. Wędrujące chromatydy stają się chromosomami potomnymi.

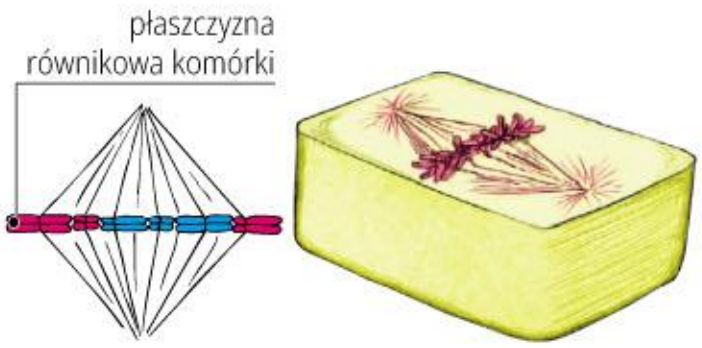
Telofaza – wokół zespołu chromosomów potomnych tworzą się nowe otoczki jądrowe, chromosomy potomne ulegają despiralizacji (rozkręceniu) i dekondensacji (mniejsze zagęszczenie), przyjmując postać włókien chromatynowych; zanika wrzeciono podziałowe i zostają odtworzone jąderka.

Przebieg mitozy przedstawiono dla komórki macierzystej, w której występowało 2n = 6 chromosomów

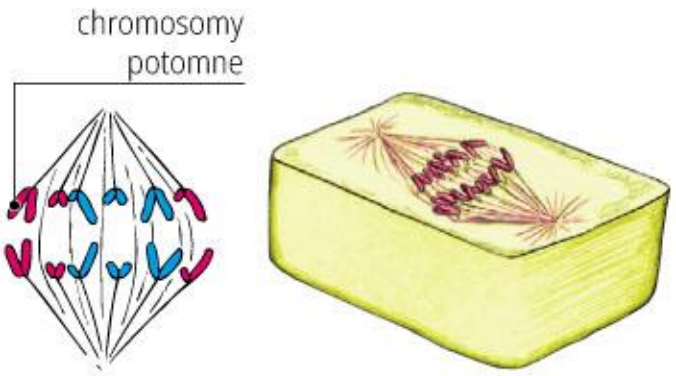
Profaza



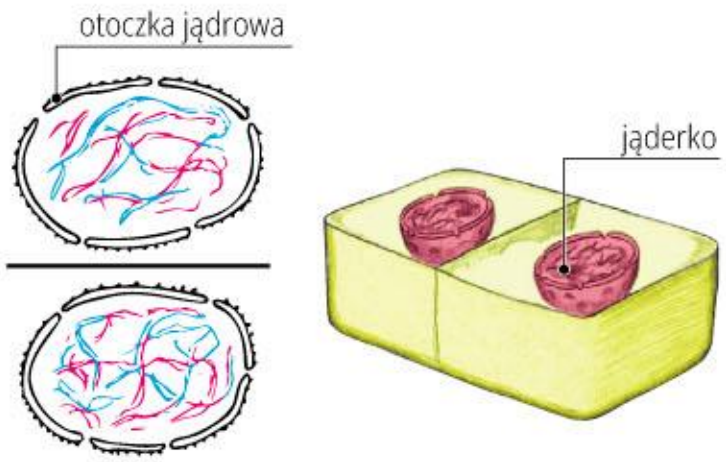
Metafaza



Anafaza

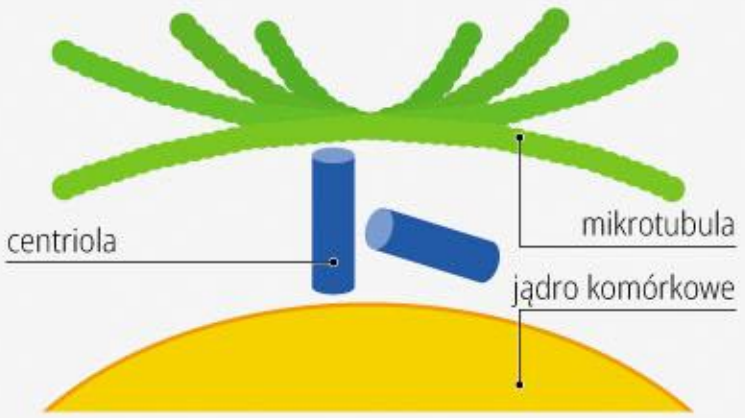


Telofaza



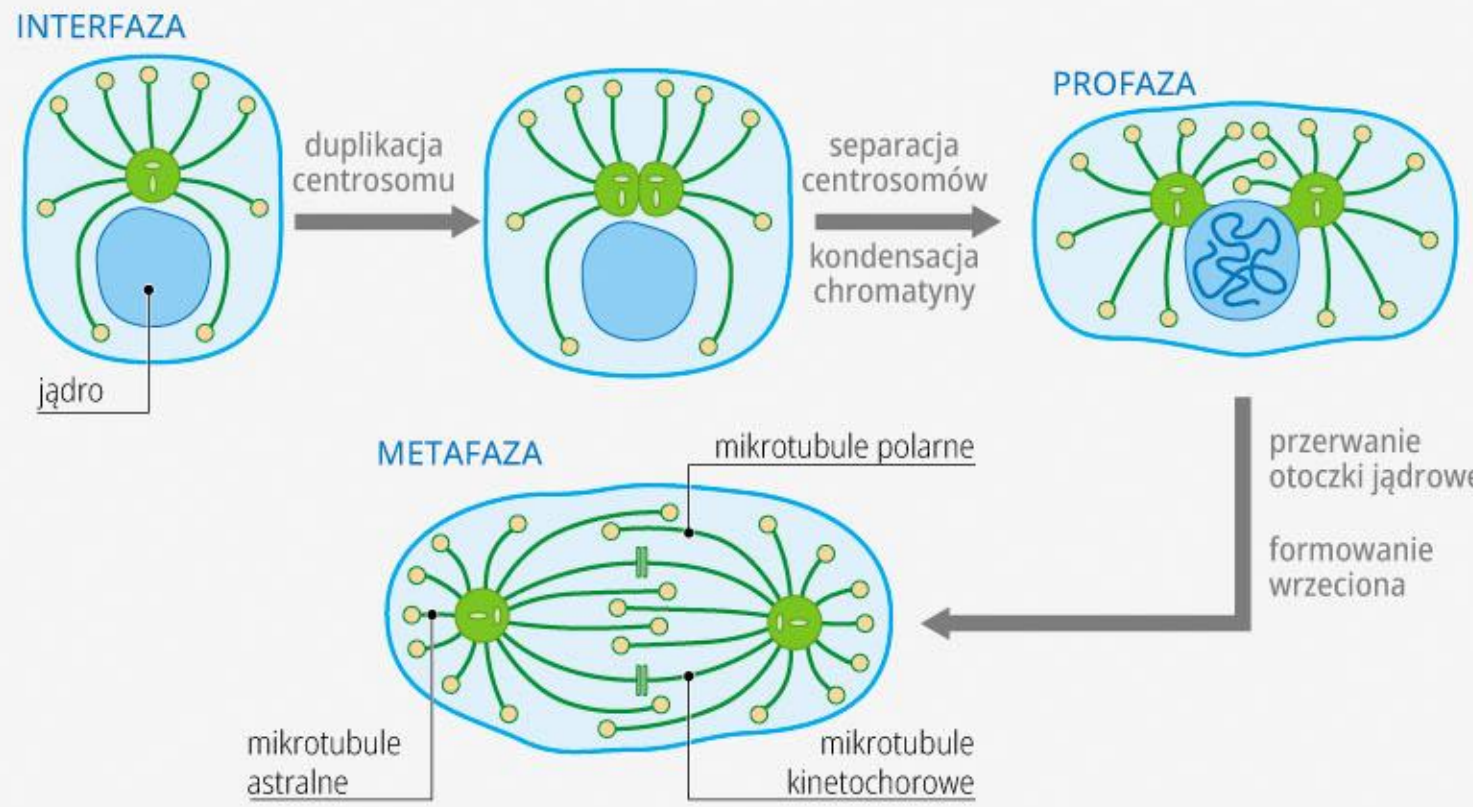
Budowa centrosomu

Centrosom składa się z pary **centrioli** i **substancji białkowej**, z której podczas **interfazy** wyrastają liczne **mikrotubule**, które uczestniczą w odciąganiu chromosomów podczas podziału komórki, tworząc **wrzeciono kariokinetyczne** (podziałowe). Przed podziałem komórkowym centrosom ulega podwojeniu, powstają dwa centrosomy (każdy z dwiema centriolami), które wędrują do przeciwległych biegunów komórki.



Wrzeciono podziałowe

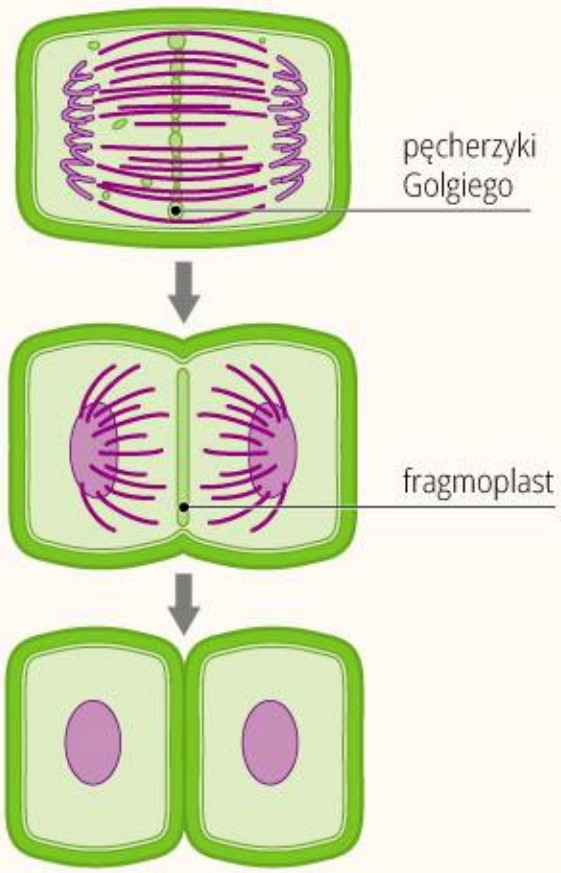
Wrzeciono podziałowe jest zbudowane z centrosomów, mikrotubul wrzeciona: kinetochorowych i polarnych oraz mikrotubul tworzących astrosferę. **Mikrotubule kinetochorowe** łączą bieguny komórki z kinetochorem chromosomu podczas metafazy. **Mikrotubule polarne** (inaczej biegunowe) rozciągają się od biegunów komórki do płaszczyzny równikowej wrzeciona kariokinetycznego, w której zachodzą na siebie. Dzięki promieniście rozmieszczonym wokół biegunów komórki **mikrotubulom astralnym** nowo powstała komórka potomna (z wyjątkiem komórek roślinnych) ma parę centrioli.

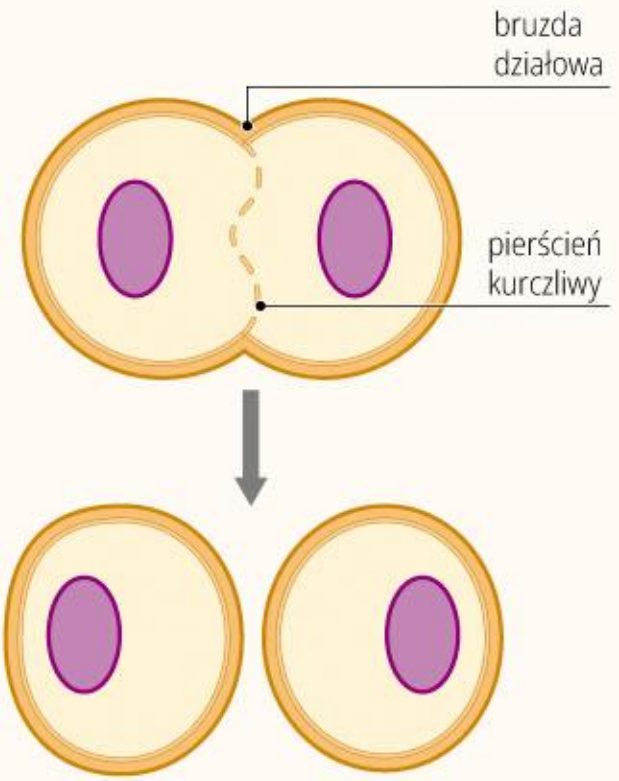


Cytokineza

Podział cytoplazmy oraz organelli i struktur w niej rozmieszczonych, czyli cytokineza następuje już podczas anafazy lub późnej telofazy (w komórkach roślinnych). Przebieg jest różny w komórkach roślinnych i zwierzęcych.

Komórki	
roślinne	**zwierzęce**
• nie powstaje bruzda podziałowa • w płaszczyźnie równikowej wrzeciona podziałowego tworzy się **fragmoplast**, na którym w wyniku gromadzenia pęcherzyków aparatu Golgiego wypełnionych substancjami do budowy blaszki środkowej i pierwotnej ściany komórkowej powstaje przegroda komórkowa • przegroda komórkowa łączy się z błoną komórki i rozdziela cytoplazmę na dwie części • komórki potomne budują nowe ściany komórkowe	• w poprzek płaszczyzny równikowej wrzeciona podziałowego (w płytce metafazowej) powstaje **pierścień kurczliwy** (zbudowany z mikrofilamentów aktyny połączonych z cząsteczkami miozyny) • kurczący się pierścień podziałowy powoduje utworzenie **bruzdy podziałowej** • bruzda podziałowa pogłębia się i rozdziela cytoplazmę pomiędzy dwie komórki potomne





Amitoza – bezpośredni podział jądra komórkowego

Amitoza jest bezpośrednim podziałem jądra komórkowego bez wyodrębniania chromosomów i syntezy DNA. Podział ten zachodzi dość rzadko. Jądro komórkowe dzieli się przez przewężenie na dwie części, często o niejednakowej ilości **chromatyny**. W podziale tym nie zanika otoczka jądrowa i nie powstaje wrzeciono podziałowe. Często podziałowi amitotycznemu nie towarzyszy podział cytoplazmy (czyli cytokineza), co może prowadzić do powstania komórki dwujądrowej. Amitoza występuje w makronukleusie (drugim obok małego mikronuleusa jądrze o funkcjach wegetatywnych) u pantofelka i w bielmie roślin kwiatowych, a u zwierząt – w komórkach wątroby, mięśnia sercowego, szyszynki i w niektórych komórkach nerwowych. Amitoza jest także objawem starzenia się i degeneracji komórek, które tracą swoją zdolność do podziału mitotycznego.

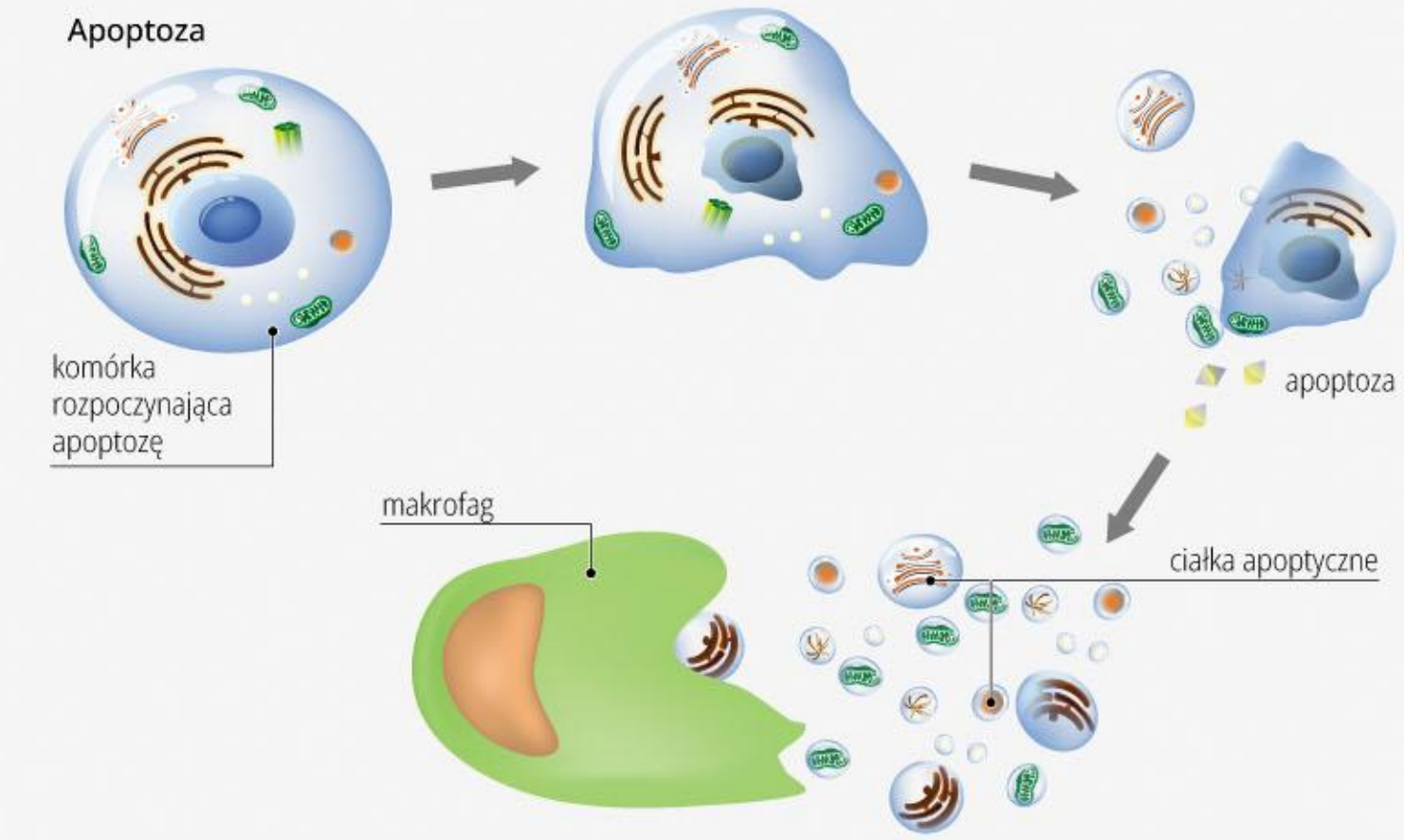
Rzadko występującym podziałem jest **endomitoza**, czyli podział chromosomów bez podziału jądra komórkowego i komórki. W wyniku endomitozy powstają komórki ze zwiększonym zespołem chromosomów. Endomitoza może prowadzić do powstania tzw. **chromosomów olbrzymich** (inaczej politenicznych), które występują w gruczołach ślinowych muszki owocowej (*Drosophila melanogaster*).

Program śmierci komórki

Liczba komórek w organizmie wielokomórkowym jest regulowana przez intensywność dwóch procesów: podziałów komórkowych i śmierci komórki. Komórki uszkodzone, zarażone (np. toksynami bakteryjnymi) czy stare, zużyte lub zbędne w organizmie są usuwane w procesie programowanej śmierci komórki – **apoptozie** lub **nekrozie**.

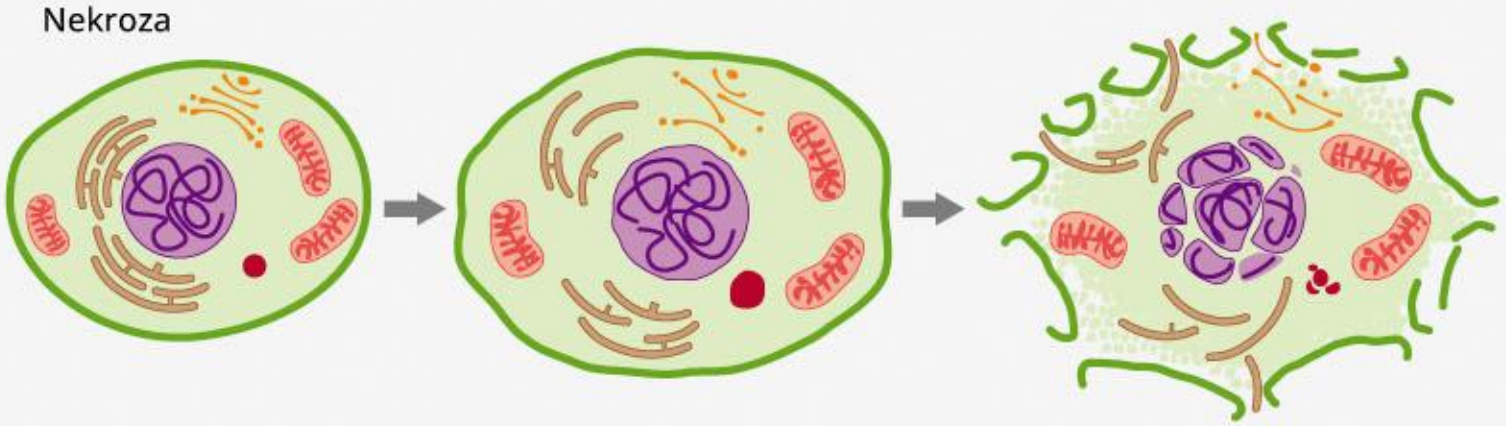
Różnice między apoptozą i nekrozą

Cecha	Apoptoza	Nekroza
rodzaj procesu	aktywny, wymagający dostarczenia ATP	bierny, hamowana synteza ATP
miejsce zachodzenia	pojedyncza komórka w warunkach fizjologicznych i patologicznych	szereg komórek w miejscu zapalnym (warunki patologiczne)
kształt komórki	komórka obkurczona	komórka spęczniała
ogniska zapalne w otoczeniu komórki	brak	występują
organelle komórkowe	zachowane	rozpad
zmiany w jądrze komórkowym	kondensacja chromatyny, rozpad jądra na fragmenty	brak kondensacji chromatyny, rozkład jądra
ciągłość błony komórkowej	nienaruszona do wytworzenia ciałek apoptycznych	rozerwana
końcowy etap procesu	wytworzenie ciałek apoptycznych i fagocytoza przez komórki żerne	pęknięcie, rozpad i wylewanie się zawartości komórki na zewnątrz
znaczenie	• Regulacja liczby komórek w organizmie. • Jest procesem niezbędnym dla prawidłowego rozwoju układu nerwowego i odpornościowego, a także dla właściwego wykształcenia dłoni i stóp u ludzi (również łap u innych ssaków). • Brak apoptozy może prowadzić do powstania chorób nowotworowych.	• Jest niebezpieczna dla organizmu ze względu na wydzielanie substancji toksycznych w ogniskach zapalnych. • U roślin może prowadzić do śmierci całej rośliny lub jej niektórych organów, a także wywoływać przedwczesne zrzucanie liści.



W wyniku rozpadu otoczki jądrowej DNA jądrowy zostaje rozcięty przez ednonukleazy (enzymy rozkładające kwasy nukleinowe) na mniejsze fragmenty. Z błony komórkowej powstają pęcherzyki (tzw. ciałka apoptyczne), w które zostają „zapakowane" niezmienione organelle komórkowe i części chromatyny. Ciałka apoptyczne zostają fagocytowane przez komórki żerne (makrofagi).

Nekroza

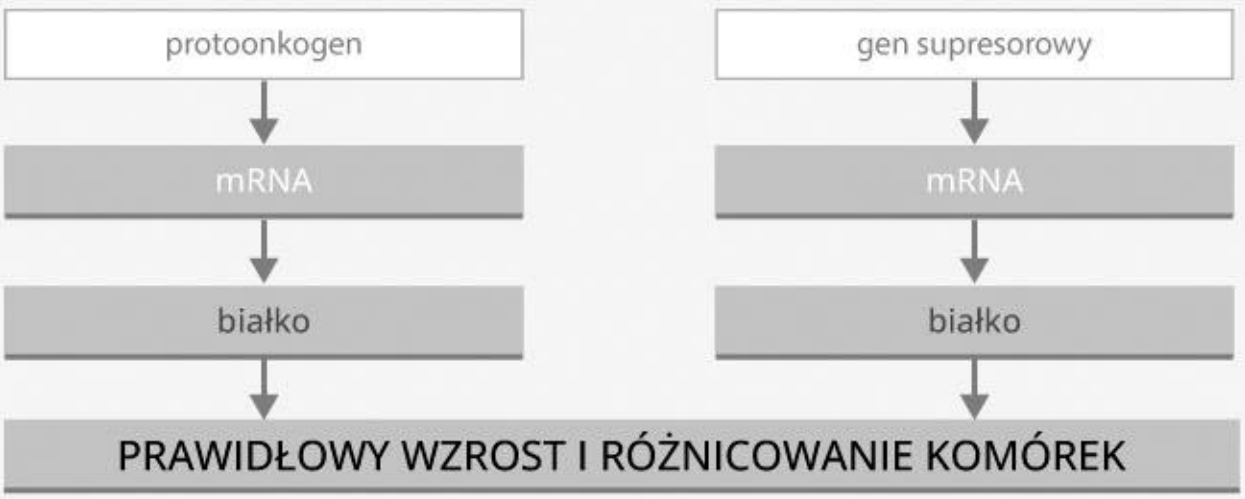


Komórka pobiera dużą ilość wody. Wzrost stężenia jonów wapnia wewnątrz komórki hamuje syntezę ATP i uruchamia działanie enzymów hydrolitycznych, trawiących organelle komórkowe. W końcowym etapie zostaje przerwana ciągłość błony komórkowej i zawartość komórki wypływa na zewnątrz.

Niekontrolowany podział komórki

W organizmach eukariotycznych podziały komórkowe, różnicowanie się komórek i ich śmierć są regulowane przez system kontroli cyklu komórkowego. W skład systemu wchodzą tzw. punkty kontrolne zbudowane z kompleksów białkowych. Najważniejsze dwa punkty kontrolne regulują przejście faz G_1 do S i G_2 do M cyklu komórkowego. Utrata kontroli nad cyklem komórkowym może prowadzić do niekontrolowanych podziałów komórkowych. Komórki nadmiernie zwiększają swoją liczbę, nie ulegają apoptozie ani nekrozie, a w konsekwencji może dojść do powstania komórek nowotworowych – **transformacji nowotworowych**. Czynnikami, które to powodują, są m.in. **mutacje białek regulatorowych** wywołane działaniem związków chemicznych (czynniki chemiczne), promieniowaniem jonizującym (czynniki fizyczne) czy wirusami onkogennymi (czynniki biologiczne).

W procesie tworzenia nowotworu uczestniczą trzy klasy genów: onkogeny, geny supresorowe i geny naprawcze DNA. **Onkogeny** wywodzą się z protoonkogenów. Mutacje w **protoonkogenach** sprawiają, że tworzą się onkogeny. Ich aktywacja zapobiega śmierci komórek i stymuluje ich wzrost. Proces ten prowadzi do wzrostu liczby komórek. Niektóre rodzaje nowotworów odznaczają się specyficzną translokacją chromosomów, w wyniku której może nastąpić połączenie się dwóch protoonkogenów w nowy gen o cechach onkogenu, np. w chronicznej białaczce szpikowej. Powstanie nowotworu poprzedza także mutacja genu supresorowego (antyonkogenu). Wówczas **gen supresorowy** traci swoje funkcje, a komórki z uszkodzonym DNA mogą dalej kontynuować cykl komórkowy.



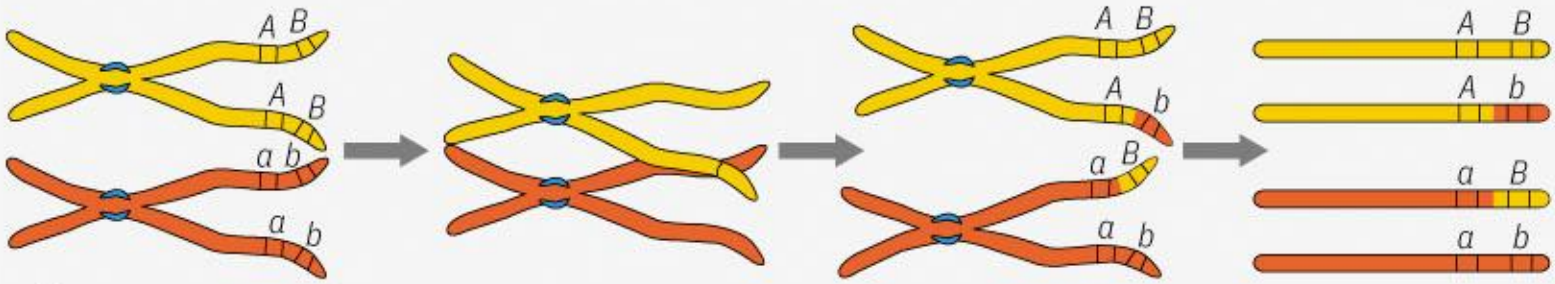
Układ odpornościowy rozpoznaje komórki, które przekształcają się w komórki nowotworowe jako obce i niszczy je. Jeśli komórka nie zostanie rozpoznana przez układ odpornościowy, może dalej się dzielić i utworzyć guz nowotworowy w prawidłowo funkcjonującej tkance. Tak powstaje **nowotwór łagodny**. Natomiast jeśli komórki nowotworowe dostają się do naczyń krwionośnych i limfatycznych, mogą wędrować do poszczególnych części ciała, tworząc nowe guzy nowotworowe. Prowadzi to do powstania tzw. przerzutów, co jest cechą charakterystyczną **nowotworu złośliwego**.

Mejoza

Mejoza jest podziałem komórkowym, który prowadzi do redukcji liczby chromosomów o połowę. W wyniku tego podziału z jednej diploidalnej (2n) komórki macierzystej powstają cztery haploidalne (1n) komórki potomne. Mejoza składa się z dwóch następujących po sobie podziałów.

I. Pierwszy podział mejotyczny (redukcyjny) – w jego trakcie dochodzi do zredukowania ilości materiału genetycznego i liczby chromosomów w jądrach potomnych.

Profaza I – zanika otoczka jądrowa i jąderko, formuje się wrzeciono kariokinetyczne, z chromatyny wyodrębniają się chromosomy, chromosomy homologiczne łączą się w pary, tworząc tzw. **biwalenty**. Każdy biwalent jest zbudowany z dwóch chromosomów, a każdy z nich posiada dwie chromatydy – biwalent jest zatem złożony z **czterech chromatyd (tetrada)**. Następnie w biwalentach dochodzi do wymiany odcinków między wewnętrznymi chromatydami chromosomów homologicznych, czyli zjawisko ***crossing-over***. Dzięki *crossing-over* powstają chromosomy o nowym składzie genetycznym. Proces ten prowadzi do wymieszania się (**rekombinacji**) materiału genetycznego w chromosomach homologicznych, z których jeden pochodzi od matki, a drugi – od ojca. Chromosomy homologiczne oddzielają się od siebie w parach i są połączone tylko **chiazmami**, czyli miejscami po skrzyżowaniu chromatyd podczas *crossing-over*.



Schemat procesu *crossing-over*

Metafaza I – w wyniku ciągłego skracania się i wydłużania mikrotubul pary chromosomów homologicznych stale wędrują aż do ustawienia się w płaszczyźnie równikowej komórki, a ich centromery łączą się z włóknami wrzeciona podziałowego.

Anafaza I – z płaszczyzny równikowej do przeciwległych biegunów komórki losowo rozchodzą się chromosomy z pary chromosomów homologicznych. Jeden chromosom z pary wędruje do jednego bieguna komórki, a drugi – do drugiego bieguna. Każdy chromosom nadal jest zbudowany z dwóch chromatyd.

Telofaza I – następuje skupienie chromosomów wokół dwóch biegunów komórki, dochodzi do częściowej despiralizacji chromosomów, odtworzenia otoczki jądrowej i jąderka oraz rozdzielenia cytoplazmy – cytokinezy. Powstają dwie komórki potomne.

II. Drugi podział mejotyczny – nie jest poprzedzony interfazą i syntezą DNA. Przypomina mitozę. W każdej z dwóch powstałych po pierwszym podziale mejotycznym komórek następuje rozchodzenie się chromatyd do przeciwległych biegunów komórki. Chromatydy te następnie stają się chromosomami potomnymi. Podczas drugiego podziału zmniejsza się ilość DNA do 1c, a liczba chromosomów jest taka sama. W wyniku tego zjawiska po cytokinezie powstają cztery komórki potomne o pojedynczej liczbie chromosomów – 1n.

Profaza II – ponownie grubieją (kondensacja) chromosomy, zanika otoczka jądrowa i jąderko oraz zaczyna się tworzyć wrzeciono podziałowe.

Metafaza II – chromosomy układają się w płaszczyźnie równikowej i do ich centromerów przyłączają się mikrotubule wrzeciona podziałowego.

Anafaza II – następuje podział centromerów i rozdzielenie chromatyd do przeciwległych biegunów komórki; z tych chromatyd powstają chromosomy potomne.

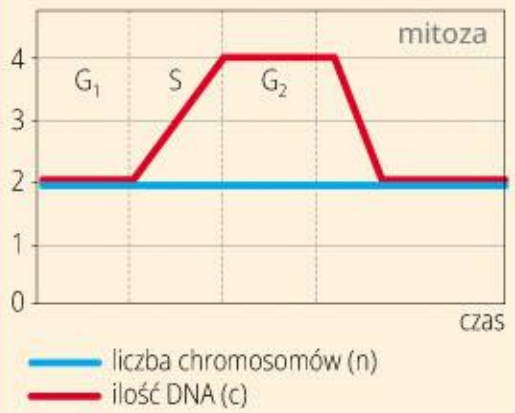
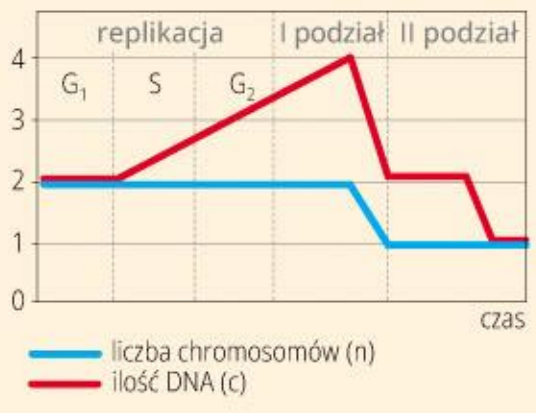
Telofaza II – wokół chromosomów potomnych zostaje odtworzona otoczka jądrowa, a następnie pojawia się jąderko. Chromosomy ulegają despiralizacji (rozkręceniu i odtworzeniu chromatyny) i zachodzi cytokineza.

Przebieg mejozy

Przebieg mejozy przedstawiono dla komórki macierzystej, w której występuje 2n = 6 chromosomów

I podział mejotyczny	II podział mejotyczny
Profaza I formowanie się chromosomów chromosomy homologiczne tworzą biwalenty wymiana odcinków między chromatydami chromosomów homologicznych biwalenty	Profaza II formowanie się chromosomów
Metafaza I układanie biwalentów	Metafaza II układanie chromosomów
Anafaza I rozdzielenie chromosomów z par chromosomów homologicznych	Anafaza II wędrówka grup chromatyd
Telofaza I • częściowa despiralizacja chromosomów • podział cytoplazmy bruzda podziałowa	Telofaza II • despiralizacja chromosomów • podział cytoplazmy

Porównanie mitozy i mejozy

Cecha	Mitoza	Mejoza
rodzaj dzielących się komórek	komórki somatyczne (budujące ciało) u zwierząt i roślin, komórki generatywne u roślin	komórki macierzyste gamet i komórki macierzyste zarodników
liczba podziałów komórkowych	1	2
etapy interfazy	G_1, S, G_2	G_1, S (brak wyraźnie wyodrębnionej fazy G_2)
liczba komórek powstających w wyniku podziałów	2	4
zjawisko *crossing-over*	nie zachodzi	zachodzi
liczba chromosomów przed podziałem	2n	2n
liczba chromosomów w komórkach potomnych	taka sama jak w komórkach macierzystych: 2n lub 1n	zredukowana do połowy w stosunku do komórki macierzystej: 1n
długość profazy	krótka	długa
metafaza	w płaszczyźnie równikowej wrzeciona ustawiają się całe chromosomy zbudowane z dwóch chromatyd	w metafazie I w płaszczyźnie równikowej wrzeciona ustawiają się pary chromosomów homologicznych (biwalenty), a w metafazie II – pojedyncze chromosomy zbudowane z dwóch chromatyd
anafaza	do przeciwległych biegunów komórki wędrują chromatydy, które stają się chromosomami potomnymi	w anafazie I do przeciwległych biegunów komórki wędrują chromosomy homologiczne z pary; w anafazie II do przeciwległych biegunów wędrują chromatydy
znaczenie podziału	• zwiększa liczbę identycznych genetycznie komórek • umożliwia regenerację tkanek • pozwala na wzrost i rozwój organizmu • umożliwia rozmnażanie bezpłciowe	• poprzedza powstanie gamet u zwierząt oraz zarodników roślin i grzybów • zapewnia stałą liczbę chromosomów w kolejnych pokoleniach organizmów rozmnażających się płciowo • dzięki niezależnej segregacji chromosomów homologicznych i *crossing-over* zapewnia różnorodność genetyczną organizmów rozmnażających się płciowo
zmiany liczby chromosomów (n) oraz ilości DNA (c)		



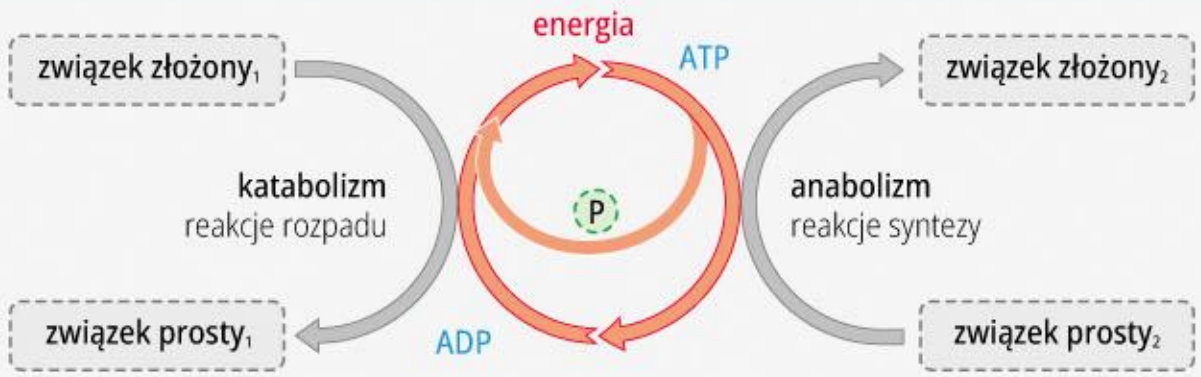
Metabolizm

3.1. Metabolizm – zagadnienia ogólne

Metabolizm to zbiór wszystkich reakcji chemicznych przebiegających w komórce, powiązanych i sprzężonych ze sobą. Metabolizm warunkuje aktywność organizmu – wzrost, ruch, reakcje na bodźce czy rozmnażanie się. Zbiór wszystkich cząsteczek naturalnie występujących w organizmie, tkance czy komórce (np. aminokwasów, lipidów, węglowodanów, nukleotydów) biorących udział w reakcjach metabolicznych nazywamy **metabolomem**. Badaniem metabolomu zajmuje się **metabolomika**.

Rodzaje przemian metabolicznych

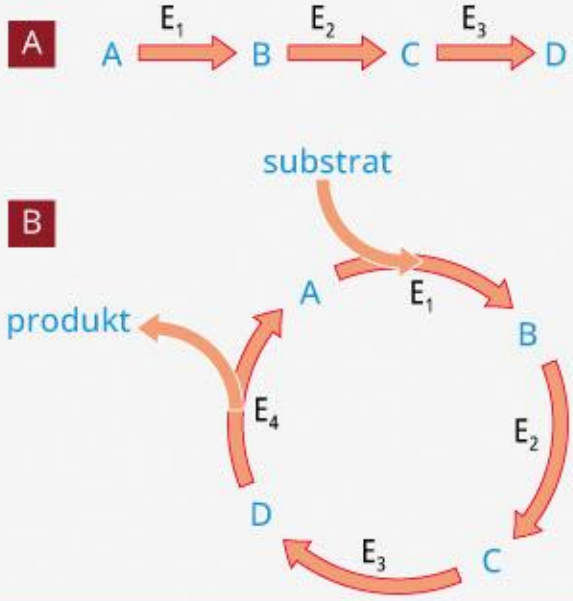
Anabolizm	Katabolizm
• synteza złożonych produktów z prostych substratów • reakcje endoergiczne – wymagają dostarczenia energii np. synteza polisacharydów z białek prostych, synteza białek z aminokwasów	• rozkład złożonych cząsteczek na proste związki chemiczne • przemiany egzoergiczne – przebiegają z wydzieleniem energii • uwalniana energia jest zużywana w procesach anabolicznych np. rozkład skrobi na cukry proste, rozkład białek na aminokwasy



Rodzaje reakcji metabolicznych

Reakcje anaboliczne i kataboliczne wzajemnie się uzupełniają. Charakter anaboliczny lub kataboliczny danego procesu określa sumaryczny kierunek zachodzących w nich zmian. Reakcje metaboliczne są zwykle wieloetapowe i mogą mieć postać:

- **szlaków metabolicznych** – (A) ciągu liniowych, następujących po sobie reakcji chemicznych, w których substrat ulega przekształceniu w produkt (np. glikoliza);
- **cykli metabolicznych** – (B) kołowych przemian chemicznych, w których po serii reakcji chemicznych dochodzi do odtworzenia substratu (np. cykl Krebsa, cykl Calvina).

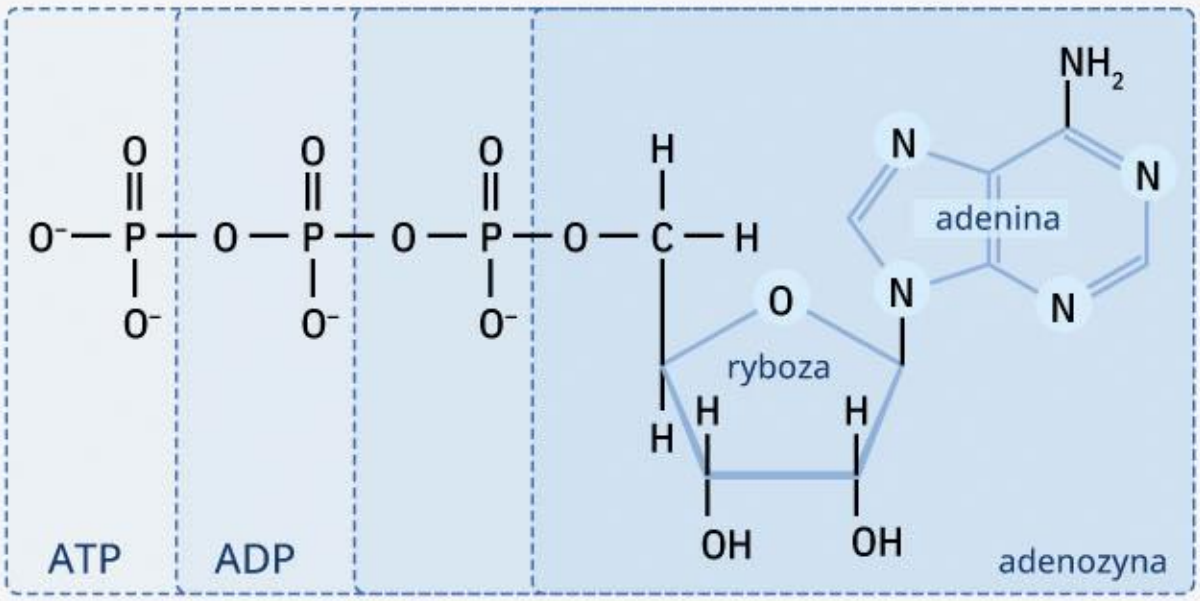


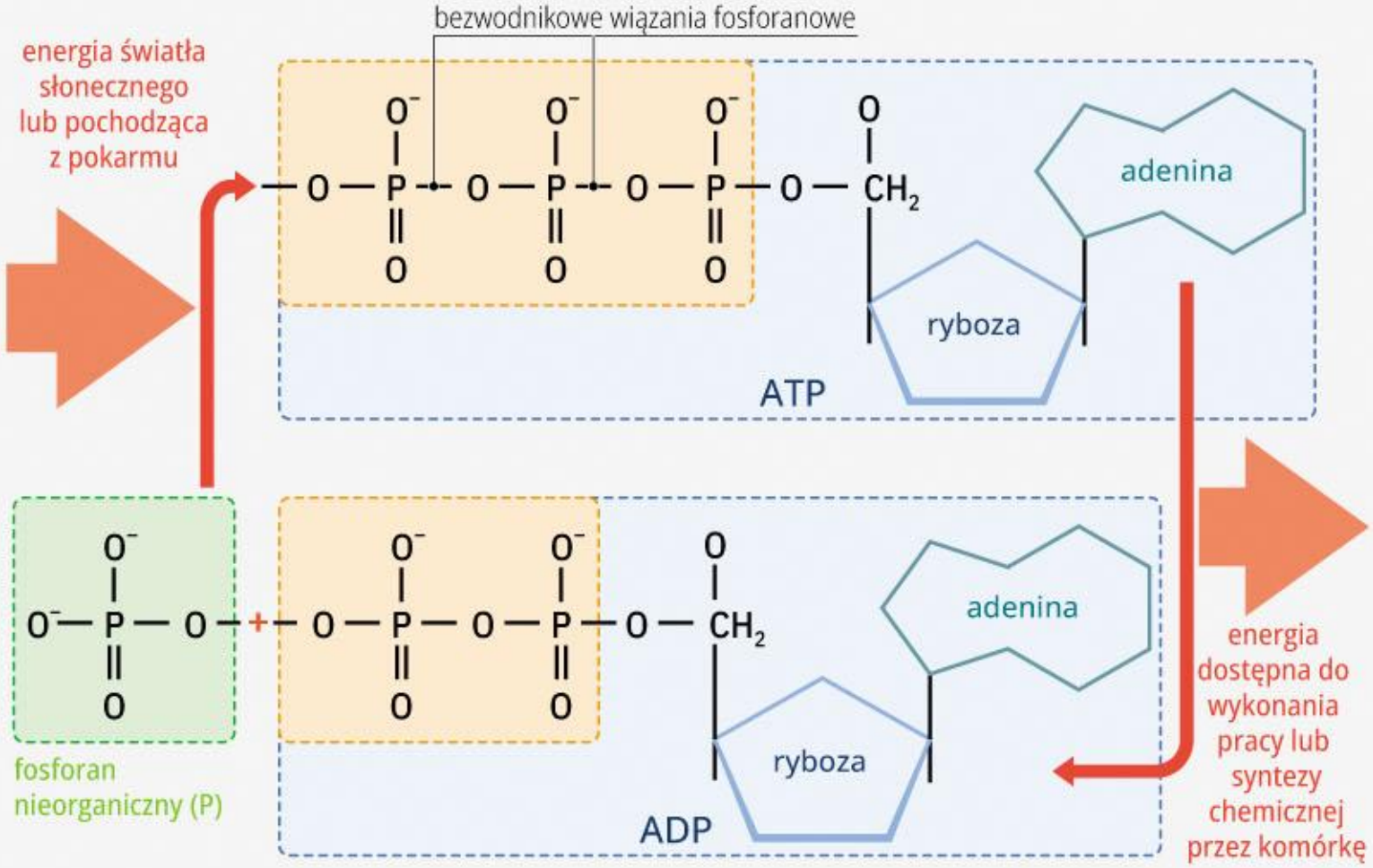
Rodzaje przenośników energii i elektronów w komórce

ATP – adenozynotrifosforan

- uniwersalny nośnik energii w komórce – w reakcjach syntezy jest donorem energii, a w reakcjach rozkładu – akceptorem energii;
- ATP jest nukleotydem i składa się z adeniny (zasady azotowej), rybozy (cukru prostego) oraz trzech reszt fosforanowych;
- pomiędzy resztami fosforanowymi znajdują się wysokoenergetyczne wiązania fosforanowe;
- odłączenie jednej reszty fosforanowej (Pi) w wyniku hydrolizy wiązania fosforanowego prowadzi do powstania adenozynodifosforanu (ADP) i uwolnienia dużej ilości energii – $ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi +$ energia (30,5 kJ/mol);

- ADP może ulec hydrolizie do adenozynomonofosforanu (AMP) z uwolnieniem Pi oraz energii $ADP + H_2O \rightarrow AMP + Pi + energia$;
- w komórce reakcja hydrolizy ATP jest sprzężona z reakcjami endoergicznymi, czyli wymagającymi dostarczenia energii;
- ATP łączy reakcje endoergiczne z egzoergicznymi, a cykl ATP-ADP jest podstawowym sposobem wymiany energii w komórce;
- ATP nie jest gromadzony i musi być stale produkowany;
- powstaje w procesie oddychania komórkowego w mitochondriach i podczas fotosyntezy w chloroplastach;
- syntezę ATP z ADP i Pi nazywamy **fosforylacją** (substratową, oksydacyjną i fotosyntetyczną);
- oprócz ATP komórki wykorzystują także GTP (guanozynotrifosforan), choć na znacznie mniejszą skalę.

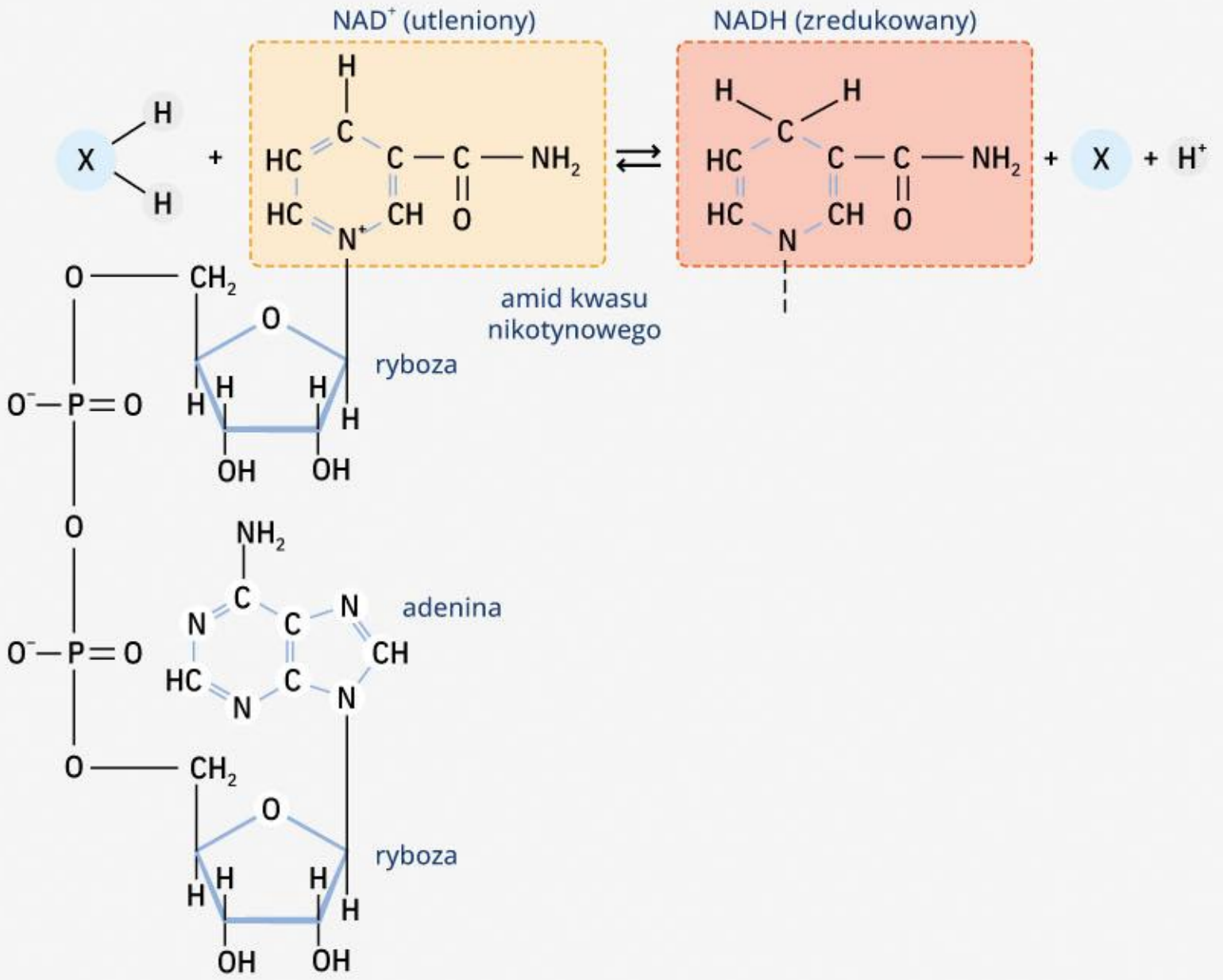




Dinukloetydy: NADH – dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy, jego fosforan (NADPH) oraz dinukleotyd flawinowy ($FADH_2$)

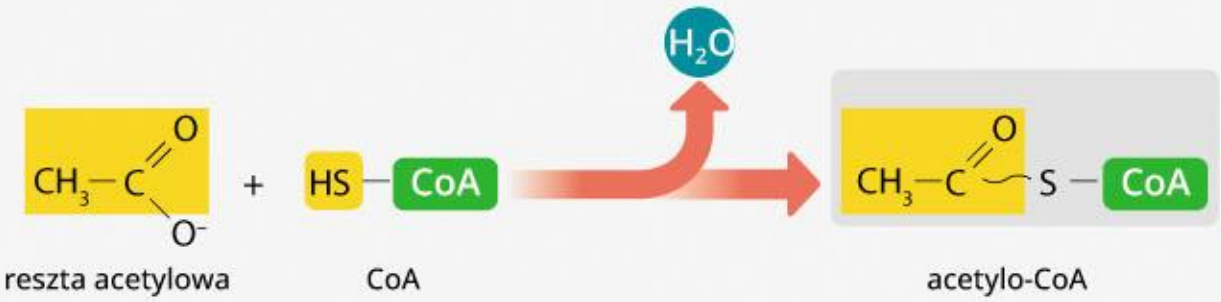
- zbudowany z dwóch nukleotydów połączonych resztami fosforanowymi;
- najbardziej rozpowszechniony przenośnik elektronów i protonów;
- jest koenzymem wielu enzymów;

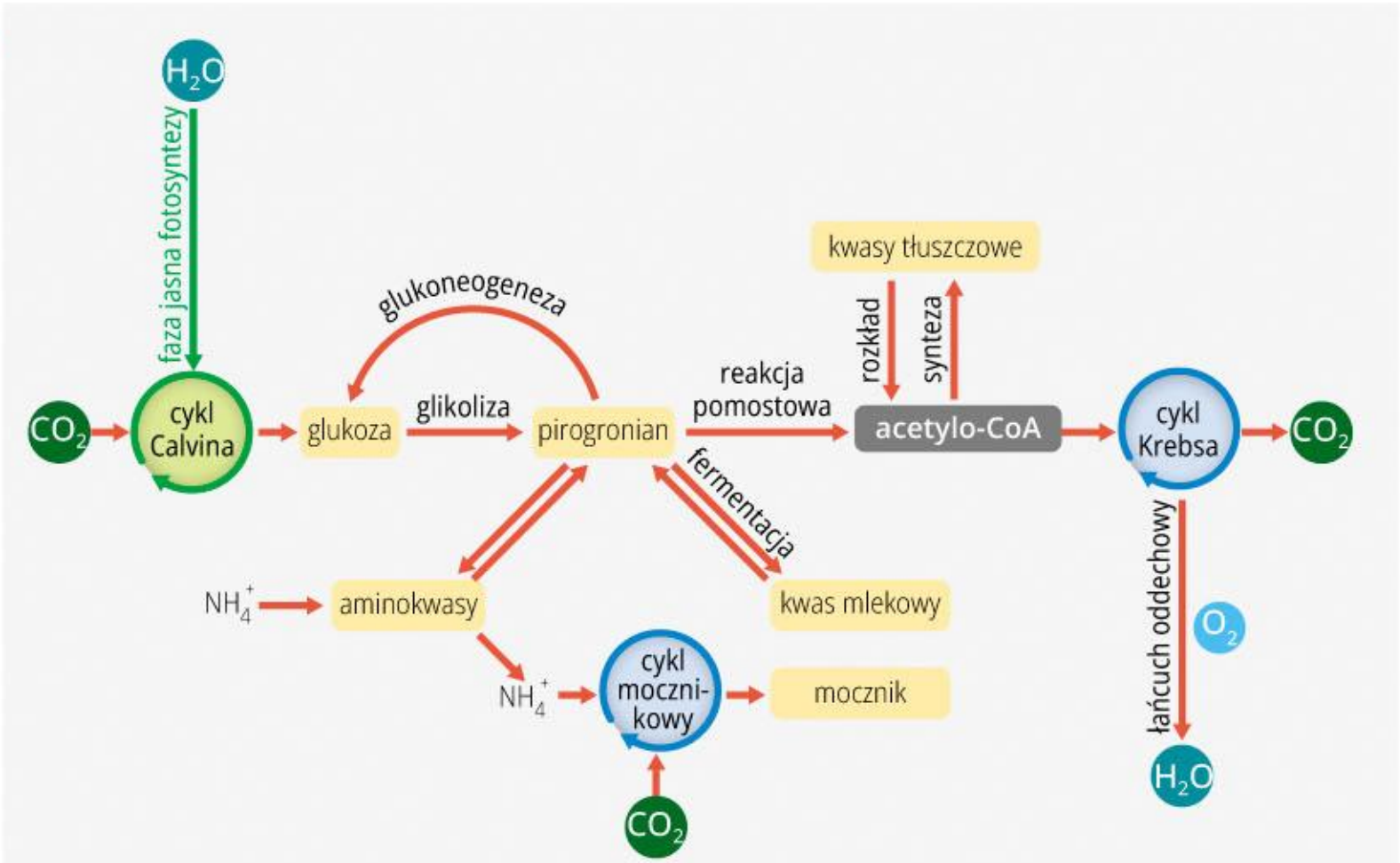
- występuje w formie utlenionej (NAD^+) i zredukowanej (NADH); $NADP^+$ po przyjęciu dwóch elektronów i protonu przechodzi w formę zredukowaną NADH (reakcja ta jest odwracalna);
- energia gromadzona w NADH jest ostatecznie wykorzystywana do produkcji ATP;
- w porównaniu z NADH, w NADPH występuje dodatkowo grupa fosforanowa;
- NADPH nie bierze udziału w syntezie ATP, ale dostarcza energii do określonych reakcji (np. fotosyntezy, syntezy kwasów tłuszczowych);
- FAD bierze udział w przenoszeniu elektronów i protonów w tlenowym oddychaniu komórkowym, a jego zredukowaną formą jest $FADH_2$.



Acetylokoenzym A (acetylo-CoA)

- reszta kwasu octowego połączona wiązaniem wysokoenergetycznym z koenzymem A (CoA);
- zajmuje centralną pozycję w metabolizmie komórki: łączy przemiany kataboliczne węglowodanów, kwasów tłuszczowych i niektórych aminokwasów z cyklem Krebsa;
- jest wykorzystywany w syntezie kwasów tłuszczowych.



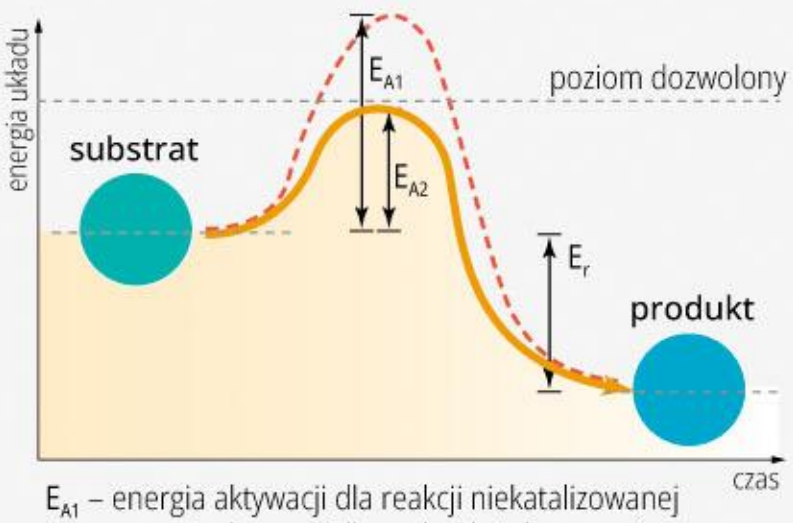


Rodzaje fosforylacji

Rodzaj fosforylacji	Proces, w którym zachodzi	Źródło grupy fosforanowej	Źródło energii w procesie
substratowa	glikoliza, cykl Krebsa	ufosforylowany substrat (substrat z grupą fosforanową)	energia uwolniona podczas odłączenia grupy fosforanowej
oksydacyjna	łańcuch oddechowy	fosforan nieorganiczny	energia świetlna
fotosyntetyczna	fotosynteza	fosforan nieorganiczny	energia uwolniona podczas przenoszenia elektronów na tlen

3.2. Enzymy

Enzymy to białka, które przyspieszają reakcje chemiczne zachodzące w komórkach, ale same w tych reakcjach nie ulegają zużyciu. Enzymy charakteryzują się wysoką **specyficznością** co do substratu lub typu przeprowadzanej reakcji. Enzymy umożliwiają wydajniejsze zachodzenie reakcji w warunkach umiarkowanej temperatury i ciśnienia, przyspieszając ją nawet milion razy. Przyspieszanie to zachodzi przez **obniżenie energii aktywacji**, czyli energii, która jest potrzebna do zerwania wiązań chemicznych i zapoczątkowania przemian. W przypadku reakcji katalizowanych enzymatycznie oznacza to, że w określonej jednostce czasu mniejsza ilość energii jest w stanie pobudzić większą liczbę cząsteczek, wskutek czego reakcja będzie biegła szybciej.



E_{A1} – energia aktywacji dla reakcji niekatalizowanej
E_{A2} – energia aktywacji dla reakcji katalizowanej enzymatycznie
E_r – energia reakcji

Budowa i cechy enzymów

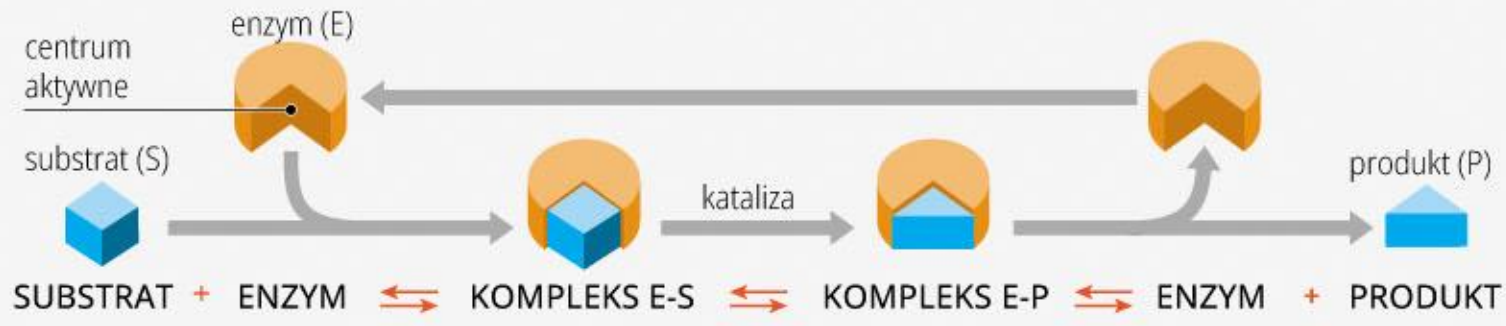
Podział enzymów pod względem złożoności budowy:

- **białka proste** – zbudowane tylko z aminokwasów;
- białka złożone, czyli **holoenzymy** – zbudowane z **apoenzymu** (części białkowej) i **kofaktora** (części niebiałkowej; np. jonów metali, witamin); kofaktory dzielą się na **koenzymy** (luźno związane z częścią białkową) oraz **grupy prostetyczne** (ściśle związane z częścią białkową).

Centrum aktywne to miejsce na enzymie odgrywające zasadniczą rolę w jego działaniu. Jest to trójwymiarowy, niewielki obszar, w którym są zlokalizowane określone reszty aminokwasowe łańcucha polipeptydowego wchodzące w bezpośredni kontakt z cząsteczką substratu.

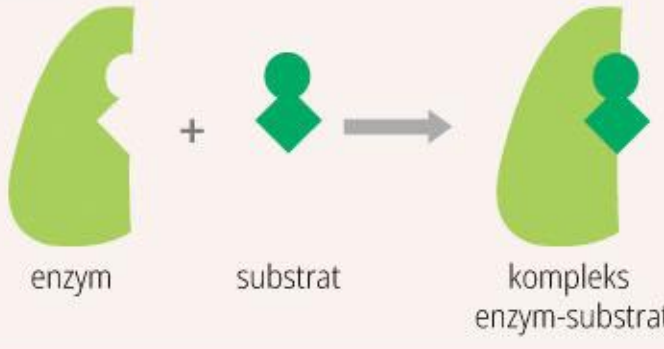
Przebieg reakcji enzymatycznej

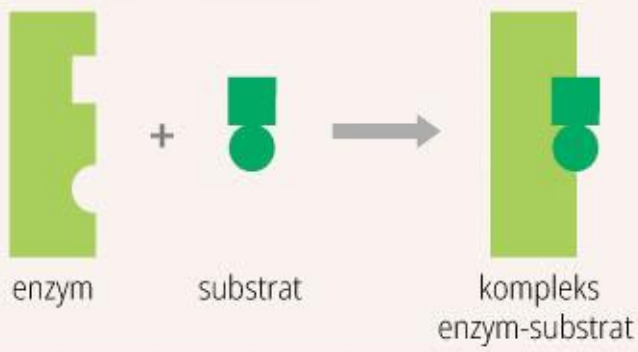
- związanie substratu (substancji, na którą działa enzym) do centrum aktywnego za pomocą słabych oddziaływań niekowalencyjnych (budowa centrum aktywnego zapewnia odpowiednie dopasowanie substratu do enzymu);
- wytworzenie przejściowego kompleksu enzym-substrat (ES);
- oddziaływanie między centrum aktywnym enzymu a substratem powoduje zerwanie wiązań i tworzenie nowych, w wyniku czego powstaje produkt lub produkty;
- odłączenie produktu; enzym nie zużywa się, tylko wiąże kolejny substrat w kompleks ES.



Modele wyjaśniające wzajemne dopasowanie enzymu i substratu

Model klucza i zamka	Model wymuszonego dopasowania
Substrat swoim kształtem idealnie pasuje do centrum aktywnego enzymu (jak zamek do klucza).	Centrum aktywne jest elastyczne, co oznacza, że po związaniu substratu dopasowuje się do niego swoim kształtem.





Rodzaje specyficzności enzymów

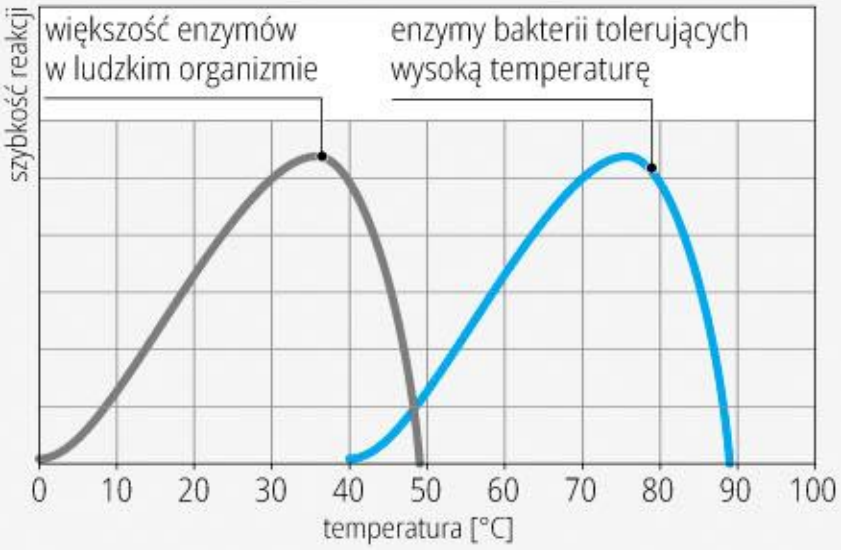
Specyficzność substratowa	Specyficzność katalizowanej reakcji	Stereospecyficzność
Wynika ze ścisłego dopasowania centrum aktywnego enzymu i substratu. Oznacza to, że enzym działa tylko na jeden substrat.	Uwarunkowana typem reakcji chemicznej. Enzymy tego rodzaju katalizują jeden typ reakcji, a czasem jedną określoną reakcję chemiczną.	Enzym rozpoznaje i tworzy kompleks z tylko jednym stereoizomerem określonego związku (L lub D); specyficzność bardzo powszechna wśród enzymów.

Główne klasy enzymów

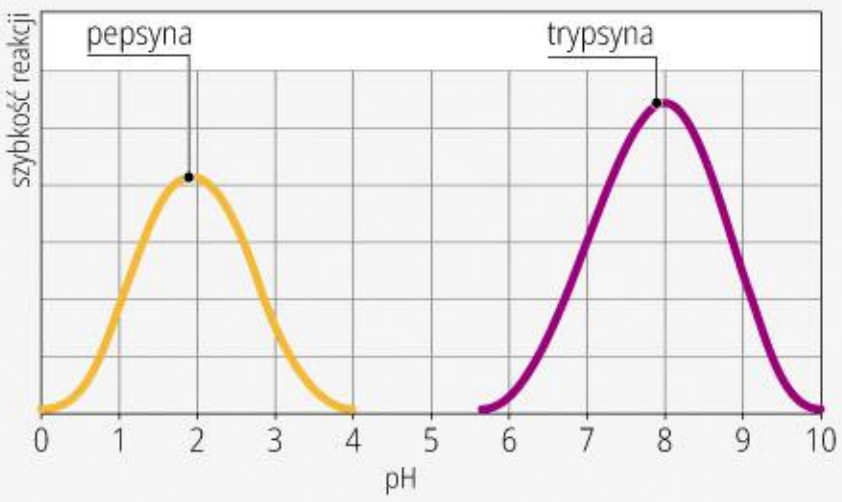
Klasa enzymów	Funkcja	Przykład
1. Oksydoreduktazy	Katalizują reakcje utlenienia-redukcji.	dehydrogenaza mleczanowa
2. Transferazy	Przenoszą grupy funkcyjne pomiędzy cząsteczkami.	aminotransferazy
3. Hydrolazy	Katalizują reakcje hydrolizy – rozszczepianie wiązań poprzez dodanie wody.	trypsyna, pepsyna
4. Liazy	Katalizują powstawanie lub rozpad wiązań podwójnych.	aldolaza, fumaraza
5. Izomerazy	Zmieniają położenie grup funkcyjnych wewnątrz cząsteczki.	epimeraza
6. Ligazy	Łączą dwie cząsteczki kosztem ATP.	ligaza ATP

Czynniki wpływające na aktywność enzymów

Temperatura – szybkość reakcji enzymatycznej wzrasta do pewnego stopnia wraz ze wzrostem temperatury; w niższej temperaturze aktywność enzymu jest mniejsza, a zbyt wysoka temperatura powoduje **denaturację enzymu** i nieodwracalną utratę aktywności; każdy enzym ma swoje **optimum temperaturowe**, przy którym szybkość reakcji jest największa (dla enzymów ludzkich to 35–40°C; dla enzymów termofilnych bakterii 70°C i więcej).



Wartość pH – optimum różne dla różnych enzymów, w zależności od typu reakcji i miejsca jej zachodzenia, np. dla pepsyny optimum pH jest w zakresie 1,5–3, a dla trypsyny i większości enzymów optimum pH mieści się w zakresie 6–8.



Aktywatory – substancje (np. jony metali, nukleotydy), które zwiększają szybkość reakcji enzymatycznych; działają najczęściej poprzez wpływ na zmianę konformacji enzymów.

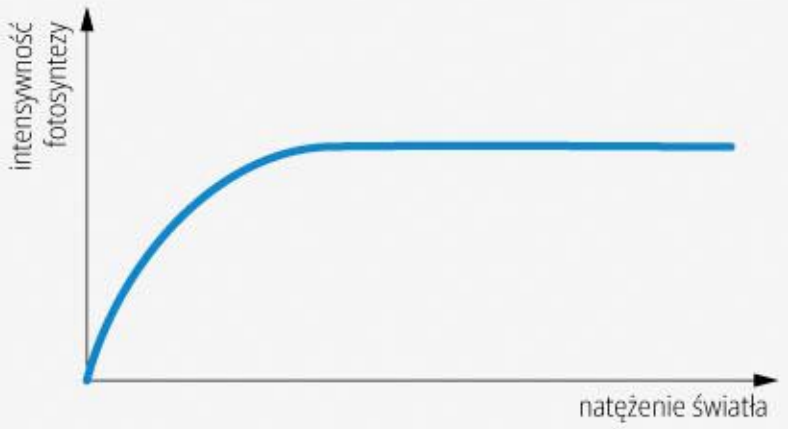
Inhibitory – substancje, które hamują aktywność enzymu poprzez zmianę jego konformacji; inhibitory mogą się wiązać z enzymem odwracalnie lub nieodwracalnie; inhibicja enzymów może być zjawiskiem patologicznym, kiedy prowadzi do zahamowania ich aktywności, ale jest także ważnym mechanizmem regulującym metabolizm komórkowy.

Rodzaje inhibitorów enzymów

Inhibitory nieodwracalne	Inhibitory odwracalne	
	kompetycyjne	niekompetycyjne
• inhibitor wiąże się kowalencyjnie z cząsteczką enzymu • np. trucizny (np. sarin), toksyny (np. DDT), antybiotyki (np. penicylina)	• wiążą się z enzymem za pomocą słabych wiązań	
	• inhibitor swoim kształtem przypomina substrat • inhibitor konkuruje z substratem o centrum aktywne enzymu • przyłączanie inhibitora hamuje enzym • inhibicję można cofnąć przez wzrost stężenia substratu	• inhibitor nie jest podobny do substratu • inhibitory nie przyłączają się do centrum aktywnego enzymu, ale w innej jego części • modyfikują strukturę przestrzenną enzymu, prowadząc do zablokowania jego aktywności

Stężenie substratu

Wraz ze wzrostem stężenia substratu rośnie szybkość reakcji enzymatycznej w wyniku wiązania cząsteczek substratu do centrum aktywnego enzymu i tworzenia kompleksu enzym-substrat. Dalsze zwiększanie stężenia substratu prowadzi do obsadzenia wszystkich centrów aktywnych dostępnych enzymów i reakcja osiąga stałą, maksymalną szybkość V_{max}.

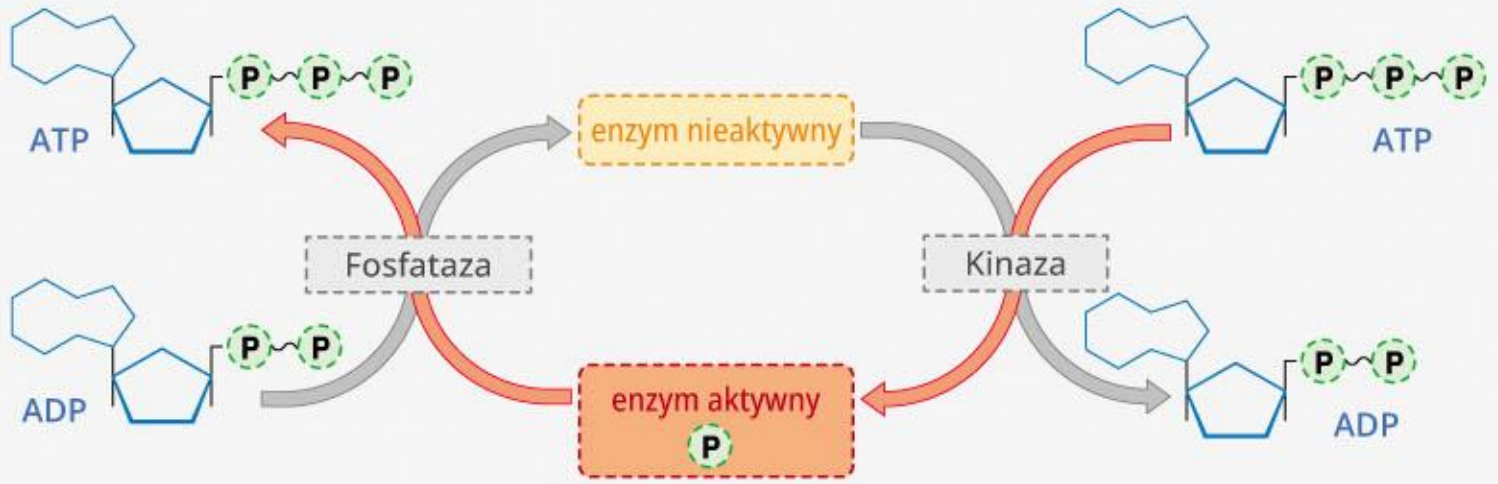


Kinetykę reakcji enzymatycznych opisujemy następującymi parametrami:

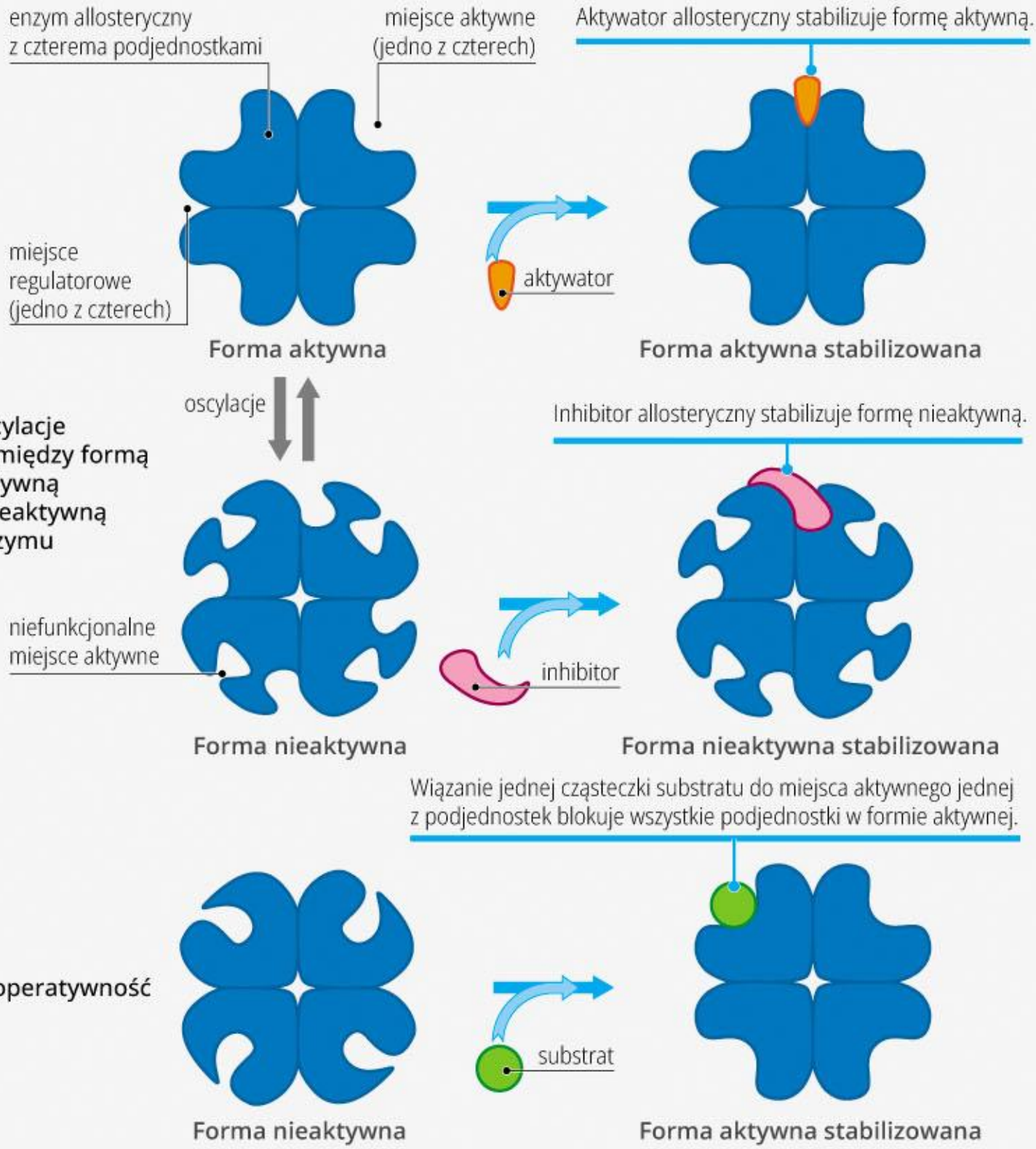
- **szybkość początkowa** (V_0) – ilość produktu (wyrażana w stężeniu molowym) tworzonego na sekundę przy stałym stężeniu enzymu; do pewnego momentu szybkość reakcji enzymatycznej jest wprost proporcjonalna do stężenia substratu;
- **szybkość maksymalna** (V_{max}) – maksymalna, stała szybkość reakcji enzymatycznej osiągnięta przy wyższych stężeniach substratu i obsadzeniu wszystkich centrów aktywnych substratami tworzącymi z nim kompleks enzym-substrat;
- **stała Michaelisa-Menten** (K_M) – stężenie substratu, przy którym szybkość reakcji enzymatycznej osiąga połowę szybkości maksymalnej; wyrażania w jednostkach stężenia molowego; K_M jest miarą powinowactwa enzymu do substratu – im K_M mniejsze, tym większe powinowactwo enzymu i substratu.

Regulacja aktywności enzymów w komórce

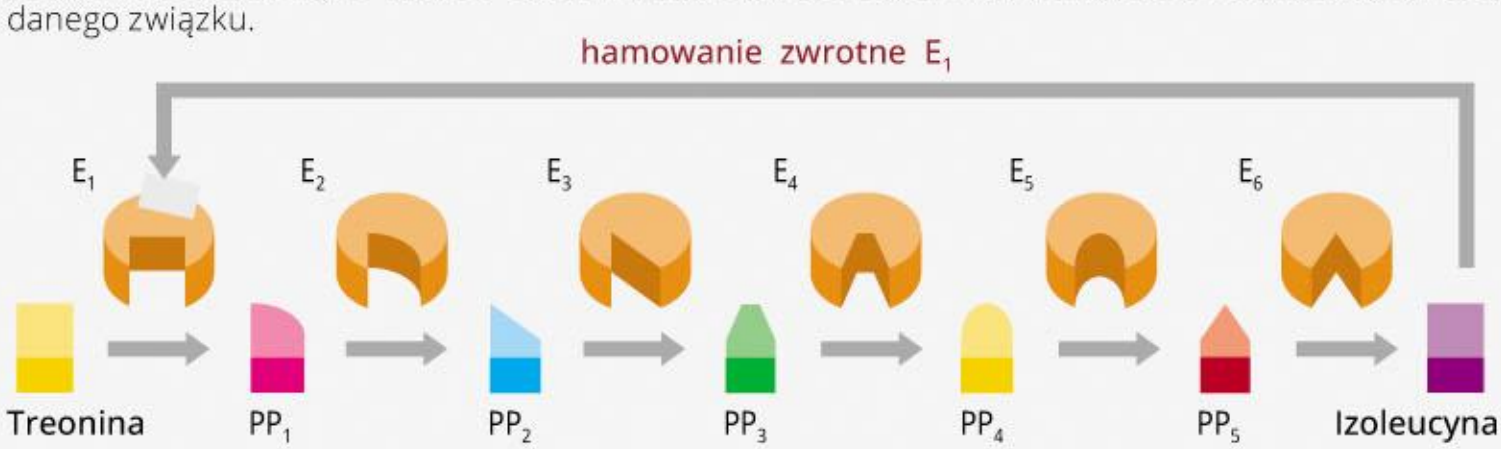
– **Przyłączenie grup funkcyjnych** – regulacja aktywności enzymów poprzez przyłączanie i odłączanie dodatkowych grup funkcyjnych (metylowych, hydroksylowych, cukrowych, fosforanowych); proces przyłączania reszt fosforanowanych do enzymu nazywamy **fosforylacją**, a proces odłączania reszt fosforanowanych od enzymu – **defosforylacją**. Procesy te mogą zwiększać lub zmniejszać aktywność enzymów, w zależności od zapotrzebowania komórki. Fosforylację katalizuje enzym zwany **kinazą**, a defosforylację – enzym **fosfataza**. Źródłem reszt fosforanowych jest ATP, a ich akceptorem ADP.



- **Wydzielanie enzymów w postaci prekursorów, czyli proenzymów** – proenzymy są nieaktywną formą enzymów, które ulegają aktywacji dopiero po wydzielaniu do miejsca ich działania. Przykładem są enzymy proteolityczne: pepsynogen jest proenzymem pepsyny z soku żołądkowego, trypsynogen – trypsyny.
- **Regulacja allosteryczna** – kontrola aktywności enzymów (zwykle podjednostkowych) przez ich pobudzanie lub hamowanie w wyniku związania się cząsteczki regulatorowej w **miejscu regulatorowym**, które znajduje się w innym miejscu niż centrum aktywne. Cząsteczka regulatorowa może być aktywatorem lub inhibitorem, a ich przyłączenie zmienia konformację przestrzenną enzymu. Przyłączenie aktywatora stabilizuje formę aktywną enzymu, a związanie inhibitora – formę nieaktywną.



– **Sprzężenie zwrotne ujemne** – rodzaj kontroli metabolicznej polegającej na wyłączaniu określonego szlaku metabolicznego w wyniku związania się końcowego produktu z enzymem, który działa na jednym z początkowych etapów szlaku; mechanizm ten chroni komórkę przed nadmierną syntezą danego związku.



Inne biokatalizatory

Biokatalizator	Charakterystyka
rybozymy	• zbudowane z jednoniciowego RNA, który w pewnych rejonach tworzy struktury dwuniciowe • występują u wszystkich organizmów oraz u wirusów • biorą udział w syntezie białek (w rybosomach, rRNA) w procesie tworzenia wiązania peptydowego • biorą udział w wycinaniu intronów w trakcie obróbki postrtranskrypcyjnej (snRNA)
DNA-zymy	• zbudowane z jednoniciowego DNA, który w pewnych rejonach tworzy struktury dwuniciowe • są sztucznie pozyskiwane i mają zastosowanie w biotechnologii (np. w reakcjach cięcia i łączenia kwasów nukleinowych)
synzymy	• pozyskiwane sztucznie peptydy, oligonukleotydy, biopolimery, nanocząstki organiczne i nieorganiczne, zeolity o właściwościach katalitycznych • są stosowane m.in. w biotechnologii i nanotechnologii (np. do tworzenia nanochipów diagnostycznych)

Znacznie i wykorzystanie enzymów

Obszar zastosowania	Omówienie
diagnostyka medyczna	• **markery molekularne chorób** – zmiany ich stężenia są informacją o wystąpieniu, postępie lub zahamowaniu choroby (np. dehydrogenaza mleczanowa w chorobach nowotworowych, fosfataza zasadowa w nadczynności przytarczyc; enzymy wątrobowe) • elementy składowe **testów diagnostycznych** (np. w teście ELISA są przyczepione do przeciwciał) i reakcji służących wykrywaniu chorób (np. w reakcji PCR wykorzystywana jest polimeraza DNA)
medycyna i farmacja	• leki enzymatyczne (np. laktaza w leczeniu nietolerancji laktozy, lipaza w leczeniu zaburzeń wydzielniczych trzustki) • jako składniki nośników służących do terapii i diagnostyki, czyli tzw. teranostyki • stosowane w czasie tworzenia leków
przemysł	• składniki żywności • przetwórstwo żywności (np. pozyskiwanie przetworów mlecznych, wina, kiszonek) • proszki i detergenty enzymatyczne (z enzymami pozyskanymi z bakterii żyjących w środowiskach ekstremalnych)

3.3. Oddychanie komórkowe

Oddychanie komórkowe obejmuje procesy kataboliczne, w czasie których dochodzi do rozkładu złożonych związków organicznych na proste organiczne lub nieorganiczne z równoczesnym uwolnieniem energii. Część energii jest gromadzona w postaci ATP, a część jest uwalniana w postaci ciepła. Substratami do oddychania komórkowego są:

- węglowodany – podstawowe, łatwo dostępne źródło energii w komórce; stanowią główny materiał zapasowy u roślin;
- tłuszcze – związki wysokoenergetyczne; stanowią główny materiał zapasowy u zwierząt;
- aminokwasy – powstają z rozkładu białek, są wykorzystywane w ostatniej kolejności.

Oddychanie komórkowe

Z dostępem tlenu	Bez dostępu do tlenu	
tlenowe	beztlenowe	fermentacja

Podział organizmów ze względu na tolerancję tlenu w środowisku

Organizmy tlenowe (organizmy aerobowe; aeroby)	Organizmy beztlenowe obligatoryjne (anaeroby bezwzględne)	Organizmy beztlenowe fakultatywne (anaeroby względne)
• żyją wyłącznie w środowisku tlenowym • uzyskują energię na drodze oddychania tlenowego • należy tu większość organizmów (rośliny, zwierzęta)	• żyją wyłącznie w środowisku beztlenowym • uzyskują energię na drodze procesów beztlenowych • np. bakterie chorobotwórcze: laseczka tężca, laseczka jadu kiełbasianego	• tolerują warunki tlenowe i beztlenowe • w obecności tlenu przeprowadzają oddychanie tlenowe, a przy braku lub niedoborze tlenu – beztlenowe • np. drożdże, bakterie mlekowe

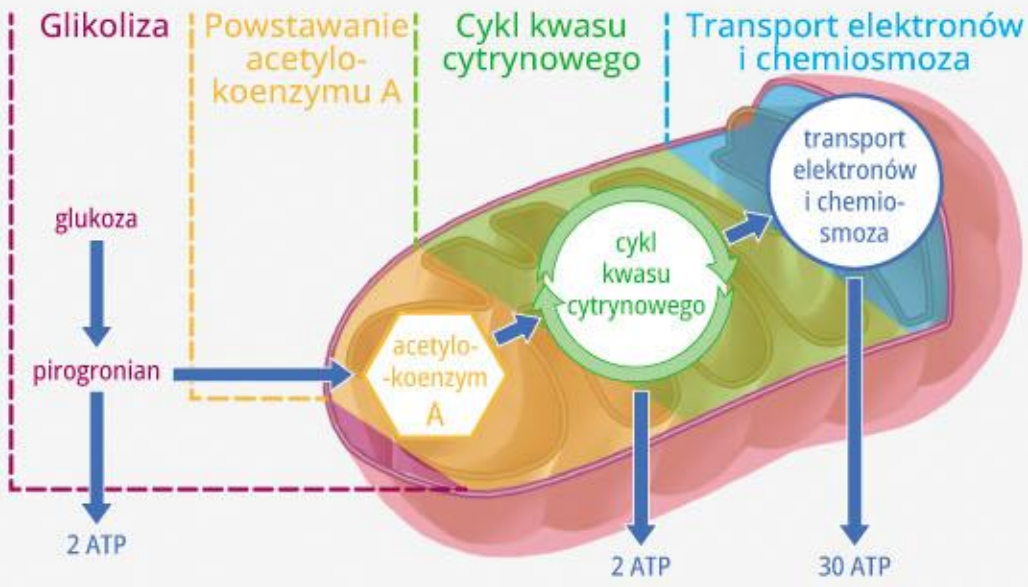
Ogólny przebieg tlenowego oddychania komórkowego

Sumaryczne równanie oddychania komórkowego:

Glukoza $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + energia

Na oddychanie komórkowe składają się z cztery etapy:

- glikoliza – zachodzi w cytozolu;
- reakcja pomostowa – zachodzi w macierzy mitochondrialnej;
- cykl Krebsa (cykl kwasu cytrynowego) – zachodzi w macierzy mitochondrialnej;
- łańcuch transportu elektronów – zachodzi w wewnętrznych błonach mitochondrialnych (grzebieniach mitochondrialnych).

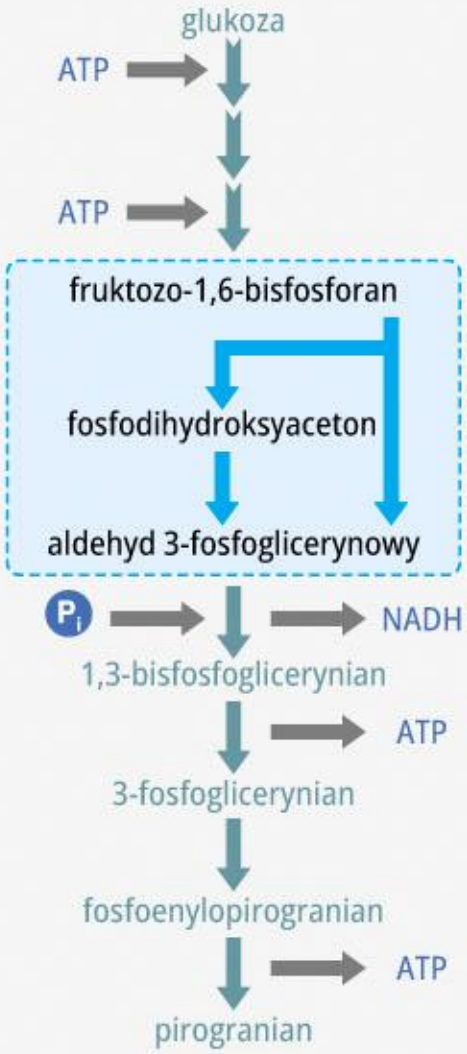


Glikoliza

- główny szlak rozkładu glukozy w komórkach prokariotycznych i eukariotycznych;
- zachodzi w cytozolu, zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych;
- obejmuje dziesięć reakcji, w czasie których cząsteczka glukozy jest przekształcana do dwóch cząsteczek pirogronianu;
- w czasie glikolizy powstają dwie cząsteczki ATP w procesie zwanym **fosforylacją substratową**, w trakcie której reszta fosforanowa jest przenoszona na ADP z ufosforylowanego substratu;
- w wyniku redukcji NAD^+ powstaje **NADH**;
- u organizmów przeprowadzających fermentację glikoliza jest jedynym procesem dostarczającym **ATP**;
- u organizmów tlenowych produkty glikolizy są wykorzystywane w dalszych etapach oddychania komórkowego: pirogronian jest utleniany do CO_2 w cyklu Krebsa, a NADH jest wykorzystywany w łańcuchu oddechowym do syntezy ATP.

Glikoliza

Substraty	Produkty
glukoza, ADP, P_i, NAD^+	pirogronian, ATP, NADH

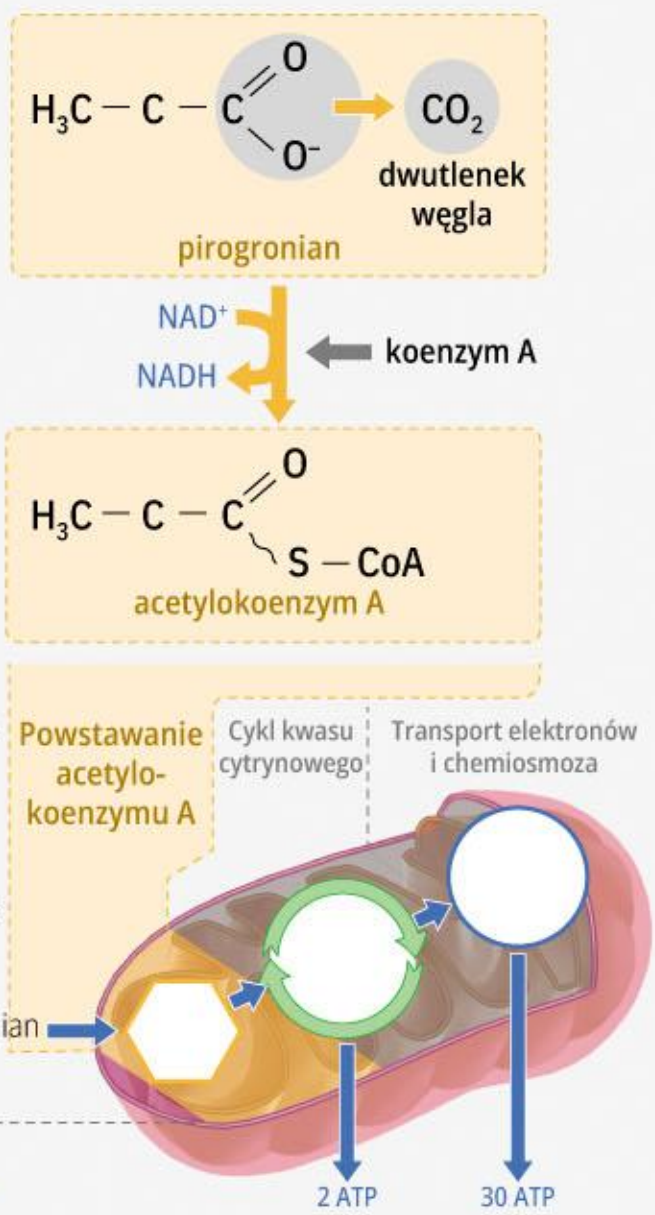


Reakcja pomostowa

- rozpoczyna się po przeniesieniu pirogronianu do macierzy mitochondrialnej przez białkowy przenośnik;
- pirogranian jest **dekarboksylowany** (odłącza się CO_2), a powstała dwuwęglowa reszta acetylowa jest utleniana w reakcji sprzężonej z redukcją NAD^+ (powstaje NADH);
- grupa acetylowa łączy się z koenzymem A, tworząc **acetylo-CoA**, który jest substratem dla cyklu Krebsa.

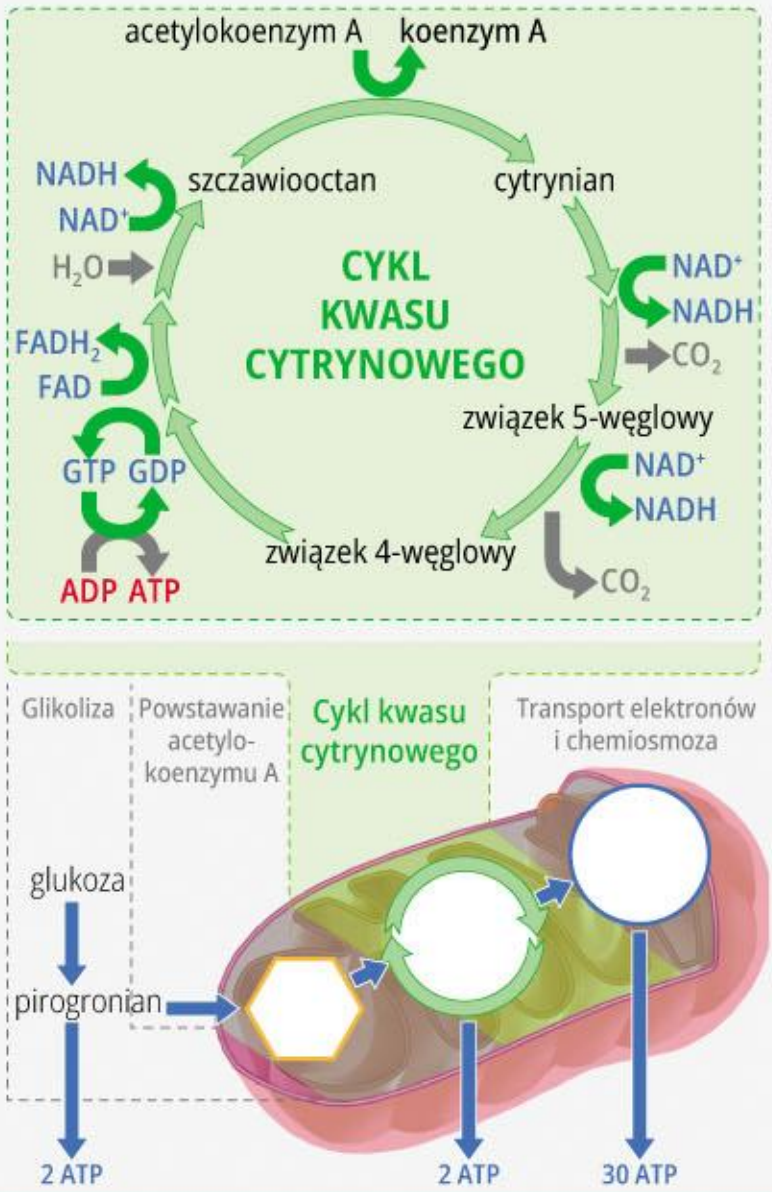
Reakcja pomostowa

Substraty	Produkty
pirogronian, koenzym A, NAD^+	acetylo-CoA, CO_2, NADH



Cykl Krebsa

- zachodzi w macierzy mitochondrialnej i składa się z ośmiu reakcji;
- rozpoczyna się przyłączeniem grupy acetylowej do czterowęglowej cząsteczki szczawiooctanu i wytworzeniem sześciowęglowego kwasu cytrynowego;
- kwas cytrynowy podlega przemianom, w efekcie których zostaje odtworzony szczawiooctan;
- w jednym obrocie cyklu wytwarzają się dwie cząsteczki CO_2, trzy cząsteczki NADH i jedna cząsteczka $FADH_2$;
- na jednym z etapów ma miejsce **fosforylacja substratowa**, w czasie której powstaje ATP (w procesie tym pośredniczy GTP);
- dostarcza wysokoenergetycznych elektronów w postaci NADH i $FADH_2$, które są utleniane w łańcuchu oddechowym.

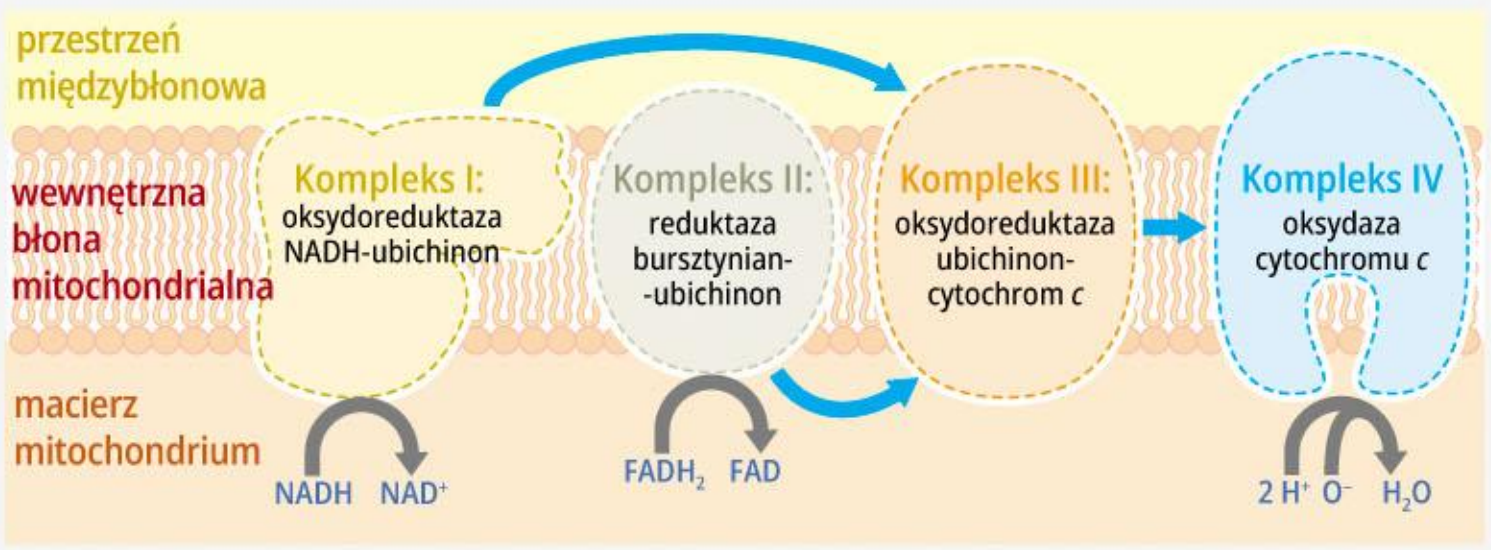


Cykl Krebsa

Substraty	Produkty
acetylo-CoA, szczawiooctan, ADP, P_i, FAD, NAD^+	szczawiooctan, ATP, NADH, $FADH_2$, CO_2

Łańcuch oddechowy i fosforylacja oksydacyjna

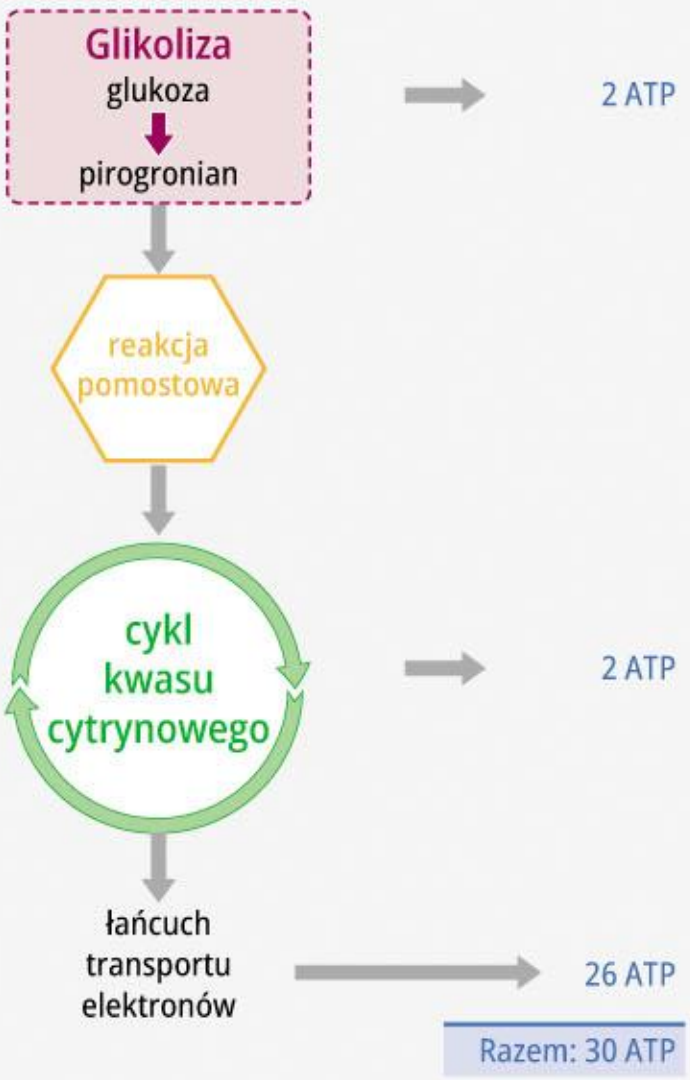
- obejmuje ciąg reakcji przenoszenia elektronów i protonów z NADH i $FADH_2$ na tlen (O_2);
- zachodzi w wewnętrznej błonie mitochondrialnej z udziałem czterech kompleksów białkowych, z czego trzy (kompleks I, III i IV) to tzw. pompy protonowe, które transportują protony uwolnione z NADH i $FADH_2$ z macierzy do przestrzeni mitochondrialnej;
- tlen po przyłączeniu protonów redukuje się do wody;
- wraz z przepływem elektronów przez kompleksy białkowe łańcucha oddechowego dochodzi do wytworzenia **gradientu protonów**, czyli różnicy ich stężeń po obu stronach błony (duże stężenie protonów w przestrzeni międzybłonowej, a małe – w macierzy mitochondrialnej);
- w celu wyrównania stężenia protonów po obu stronach błony przepływają one przez kompleks enzymatyczny **syntazy ATP**, co napędza jej obrót i syntezę ATP z ADP i Pi;
- proces syntezy ATP związanej z łańcuchem oddechowym nazywamy **fosforylacją oksydacyjną**, ponieważ energii do jego produkcji dostarczają elektrony redukujące tlen.



Łańcuch oddechowy

Substraty	Produkty
O_2, ADP, P_i, NADH, $FADH_2$	ATP, NAD^+, FAD, H_2O

Bilans energetyczny oddychania tlenowego



Oddychanie beztlenowe i fermentacja

Podział beztlenowych procesów uzyskiwania energii uwzględnia rodzaj ostatecznego akceptora elektronów.

Procesy beztlenowego uzyskiwania energii

Oddychanie beztlenowe	Fermentacja
• zachodzi z udziałem systemu przenośników w łańcuchu transportu elektronów zlokalizowanych w błonie komórkowej • elektrony przechodzą od glukozy (z glikolizy) do $NADP^+$ • ostatecznym akceptorem elektronów jest związek nieorganiczny (np. azotan, siarczan, wolna siarka) • produktami są: CO_2, zredukowany związek nieorganiczny i ATP • występuje u bakterii układu pokarmowego zwierząt, bakterii denitryfikacyjnych	• zachodzi bez udziału systemu przenośników łańcucha transportu elektronów • ma miejsce w cytozolu • ostatecznym akceptorem elektronów jest związek organiczny (np. pirogronian, aldehyd octowy) • zachodzi u bakterii (np. bakterie mlekowe), grzybów (np. drożdże), protistów (np. orzęsków układu pokarmowego przeżuwaczy), pasożytów (np. glista ludzka, tasiemce), w komórkach włókien mięśniowych człowieka przy deficycie tlenu

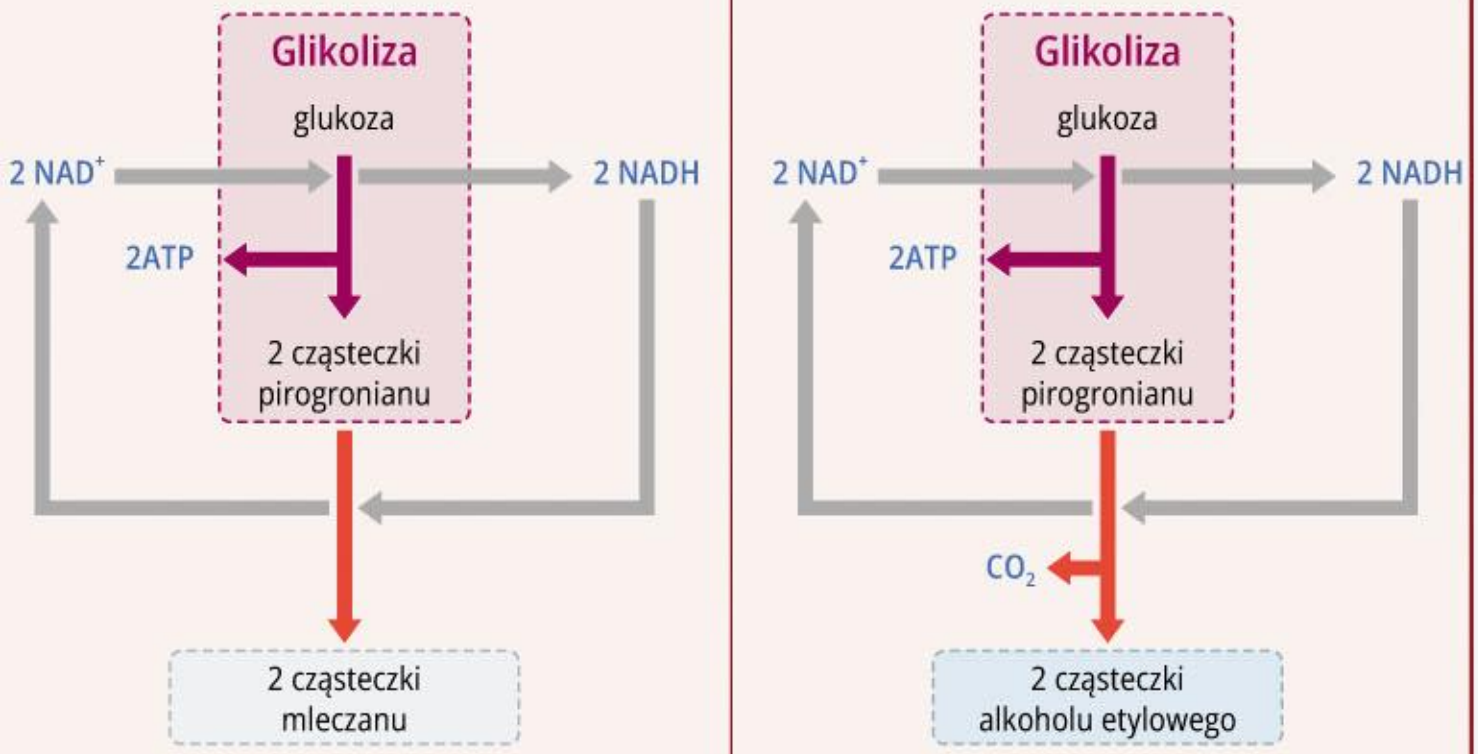
Rodzaje fermentacji

Fermentacja przebiega w cytozolu i obejmuje dwa etapy:

– **glikolizę**, która jest źródłem 2 cząsteczek ATP;

– **redukcję**, w czasie której pirogronian ulega przemianie w kwas mlekowy (fermentacja mlekowa) lub etanol (fermentacja alkoholowa) z równoczesnym odzyskiem NADP+.

Fermentacja mlekowa	Fermentacja alkoholowa
• zachodzi u niektórych grzybów i bakterii, we włóknach mięśni szkieletowych u ludzi • ostatecznym akceptorem elektronów z NADH jest pirogronian, który jest redukowany do kwasu mlekowego • proces jest szeroko wykorzystywany w przemyśle spożywczym – do produkcji jogurtów, kefirów czy do kiszenia	• zachodzi u niektórych bakterii i u drożdży • w pierwszym etapie pirogronian jest dekarboksylowany (odłącza się CO_2) i powstaje aldehyd octowy • aldehyd octowy jest ostatecznym akceptorem elektronów z NADH, podlega redukcji do alkoholu etylowego (etanolu) • proces jest wykorzystywany do produkcji napojów alkoholowych i w piekarnictwie



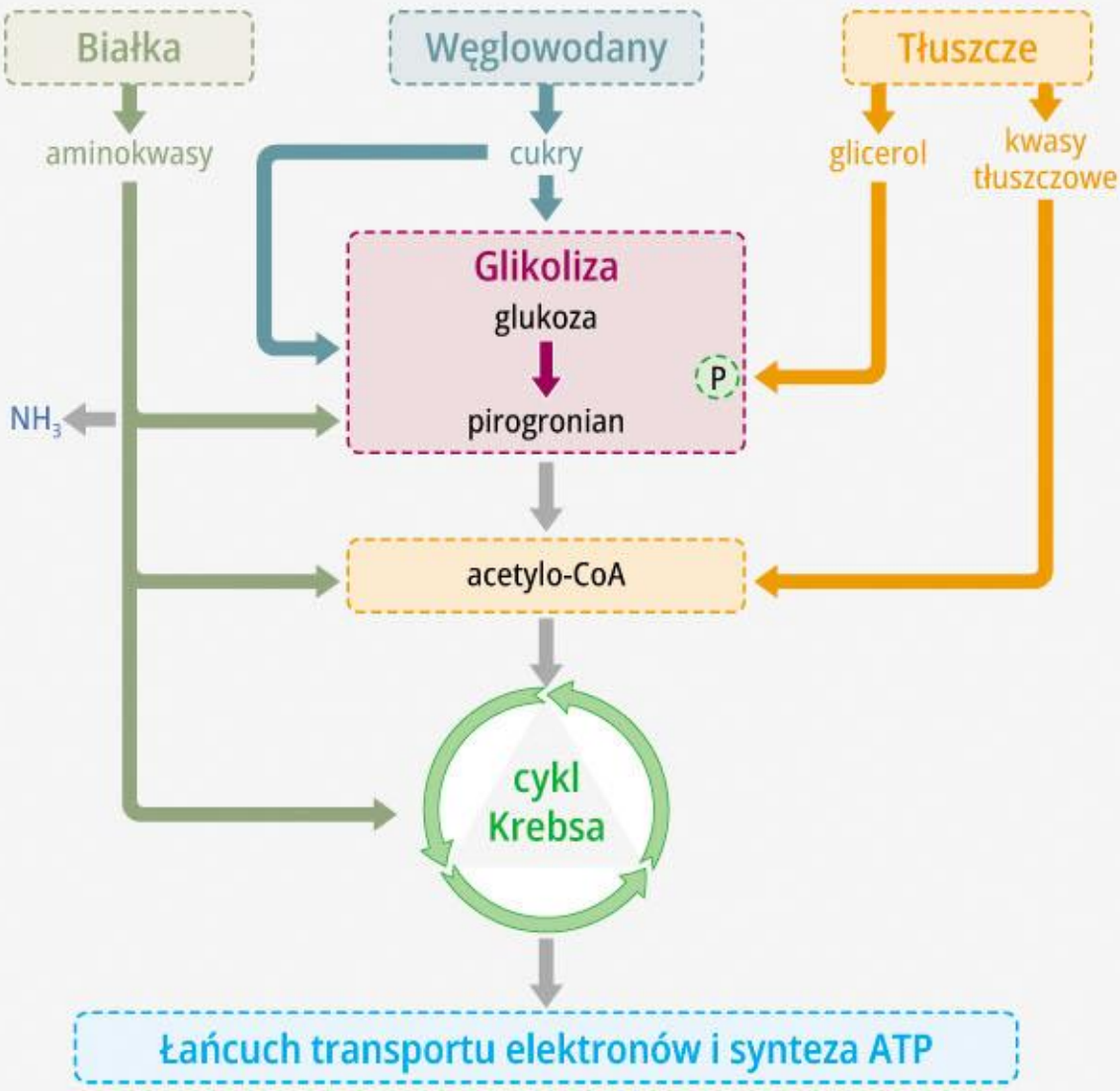
Porównanie tlenowych i beztlenowych procesów uzyskiwania energii

Cecha	Oddychanie tlenowe	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja
podstawowy substrat organiczny	glukoza	glukoza	glukoza
losy elektronów z NADH wytworzonego w glikolizie	przejście do łańcucha transportu elektronów	przejście do łańcucha transportu elektronów	redukcja związków organicznych
końcowy akceptor elektronów	tlen	związki nieorganiczne (NO_3^-, SO_4^{2-})	związki organiczne, np. pirogronian lub aldehyd octowy
końcowe produkty	CO_2, H_2O, ATP	CO_2, zredukowany związek nieorganiczny, ATP	związek organiczny, CO_2 (w fermentacji alkoholowej), ATP
lokalizacja w komórce	cytoplazma, mitochondria	cytoplazma	cytoplazma

Cecha	Oddychanie tlenowe	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja
wydajność energetyczna	30 cząsteczek ATP	mniejsza niż w oddychaniu tlenowym, większa niż w fermentacji	2 cząsteczki ATP
przykłady organizmów/ komórek, w których zachodzi	większość organizmów eukariotycznych	bakterie denitryfikacyjne, bakterie żyjące na dnie zbiorników wodnych oraz bytujące w jelitach zwierząt	bakterie (np. mlekowe), grzyby (drożdże), protisty (np. orzęski), pasożyty układu pokarmowego (np. tasiemiec), włókna mięśni szkieletowych przy niedotlenieniu

Inne procesy metaboliczne

Substancje dostarczane wraz z pokarmem – węglowodany, tłuszcze i białka – są wykorzystywane do syntezy ATP w procesie oddychania komórkowego.



Metabolizm węglowodanów

Glukoza jest podstawowym substratem oddychania komórkowego u wszystkich organizmów, a dla niektórych komórek (np. erytrocytów) jest jedynym źródłem energii. Formą zapasową glukozy u zwierząt jest glikogen. Glikogen jest magazynowany w mięśniach i wątrobie. Jego synteza nosi nazwę **glikogenezy**. Rozkład glikogenu na glukozę to **glikogenoliza**. Glukoza (i glikogen) ma krytyczne znacznie dla: układu nerwowego i erytrocytów (jest jedynym źródłem energii), mięśni szkieletowych (jedyne źródło energii przy braku tlenu), gruczołu sutkowego (jest substratem do syntezy laktozy) i tkanki tłuszczowej (stanowi źródło glicerolu).

Glukoneogeneza – proces syntezy glukozy ze związków innych niż węglowodany (nie jest odwróceniem glikolizy). U zwierząt zachodzi w wątrobie i w nerkach, a u roślin – głównie w nasionach roślin oleistych. U zwierząt substratami dla glukoneogenezy są: mleczan (powstały w czasie deficytu tlenowego w mięśniach), niektóre aminokwasy (głównie z białek pokarmowych) oraz glicerol (produkt hydrolizy tłuszczów).

Metabolizm tłuszczów

Tłuszcze są wysokokalorycznym źródłem energii, zwłaszcza dla mięśnia sercowego oraz mięśni szkieletowych w czasie spoczynku. Tłuszcze właściwe są hydrolizowane do glicerolu oraz kwasów tłuszczowych. Glicerol po przemianach jest włączany do glikolizy lub glukoneogenezy. Kwasy tłuszczowe są utlenianie w procesie zwanym **beta-oksydacją**, która zachodzi w macierzy mitochondrialnej. Z udziałem kompleksu enzymatycznego zostają rozłożone do dwuwęglowych reszt acetylowych, które po połączeniu z koenzymem A, jako acetylo-CoA zostają włączone do cyklu Krebsa. W procesie beta-oksydacji powstaje ponadto dużo zredukowanych nukleotydów, NADH i $FADH_2$, które zostają utlenione w łańcuchu oddechowym.

Synteza kwasów tłuszczowych zachodzi w czasie rozwoju zarodkowego oraz w gruczole sutkowym podczas laktacji. Substratem do ich syntezy jest acetylo-CoA, a wydłużanie cząsteczki zachodzi poprzez dobudowywanie kolejnych jednostek dwuwęglowych. W syntezie kwasów tłuszczowych wykorzystywane jest NADPH.

Metabolizm białek i aminokwasów

Aminokwasy powstają w wyniku hydrolizy białek, do której dochodzi np. w czasie długotrwałej głodówki. Aminokwasy podlegają deaminacji, czyli odłączeniu grupy aminowej. W tym procesie powstaje amoniak oraz ketokwas. Amoniak (w roztworze wodnym występuje jako jon NH_4^+) jest toksyczny i musi być usunięty z organizmu w cyklu mocznikowym. Ketokwas jest przekształcany w pirogranian lub acetylo-CoA i włączany do oddychania komórkowego.

3.4. Fotosynteza

Fotosynteza i **chemosynteza** obejmują procesy anaboliczne, w czasie których z prostych związków nieorganicznych wytwarzane są złożone związki organiczne. Procesy te wykorzystują energię świetlną lub energię chemiczną.

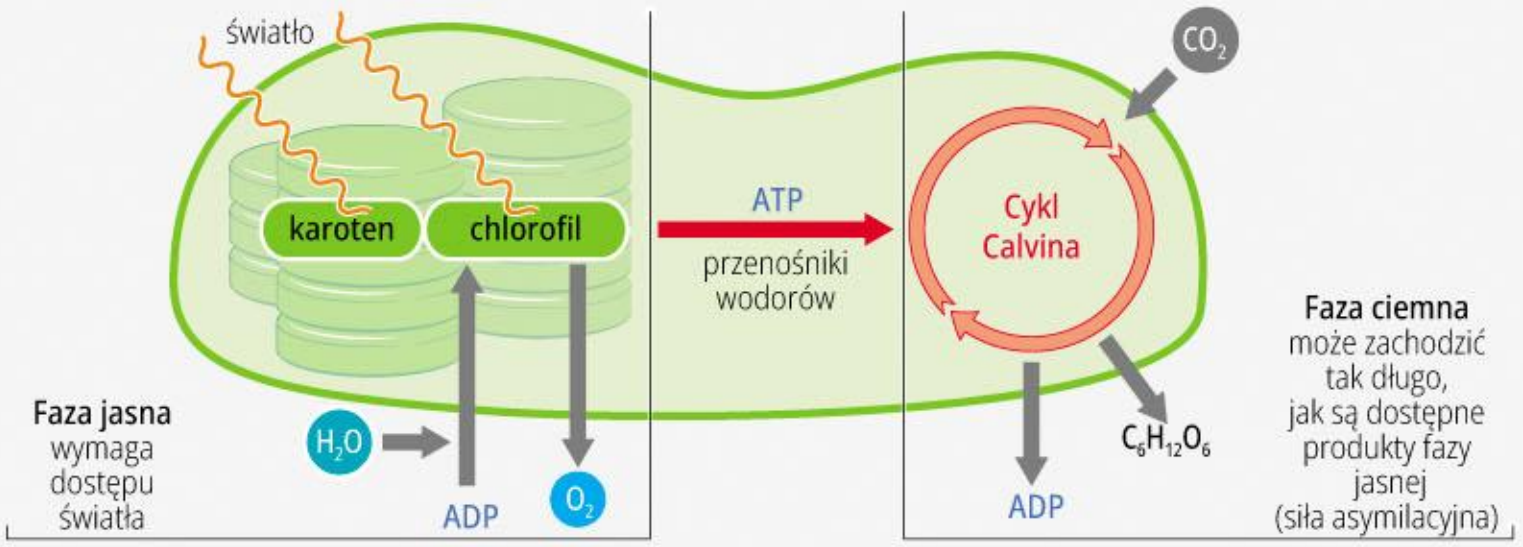
Podział organizmów ze względu na sposób pozyskiwania pokarmu

Autotrofy	Heterotrofy
• organizmy samożywne; syntetyzują cząsteczki organiczne z prostych związków nieorganicznych przy udziale energii słonecznej (fotosynteza) lub chemicznej (chemosynteza) • są producentami – stanowią źródło pożywienia dla organizmów heterotroficznych • autotrofami fotosyntetyzującymi są rośliny, sinice, bakterie zielone i purpurowe • autotrofami chemosyntetyzującymi są bakterie (np. nitryfikacyjne)	• organizmy cudzożywne; odżywiają się gotową materią ograniczą • są konsumentami uzależnionymi od autotrofów zarówno ze względu na pożywienie, jak i tlen uwalniany do atmosfery • heterotrofami są: bakterie, protisty, grzyby i zwierzęta

Etapy fotosyntezy i ich lokalizacja w chloroplaście

Faza jasna (zależna od światła) – zachodzi w błonach tylakoidów; wymaga udziału barwników fotosyntetycznych, które pochłaniają światło o odpowiedniej długości fali. Następuje rozkład wody i uwalnia się tlen. Produktami fazy jasnej jest siła asymilacyjna, czyli ATP i NADPH, które są wykorzystywane w fazie ciemnej.

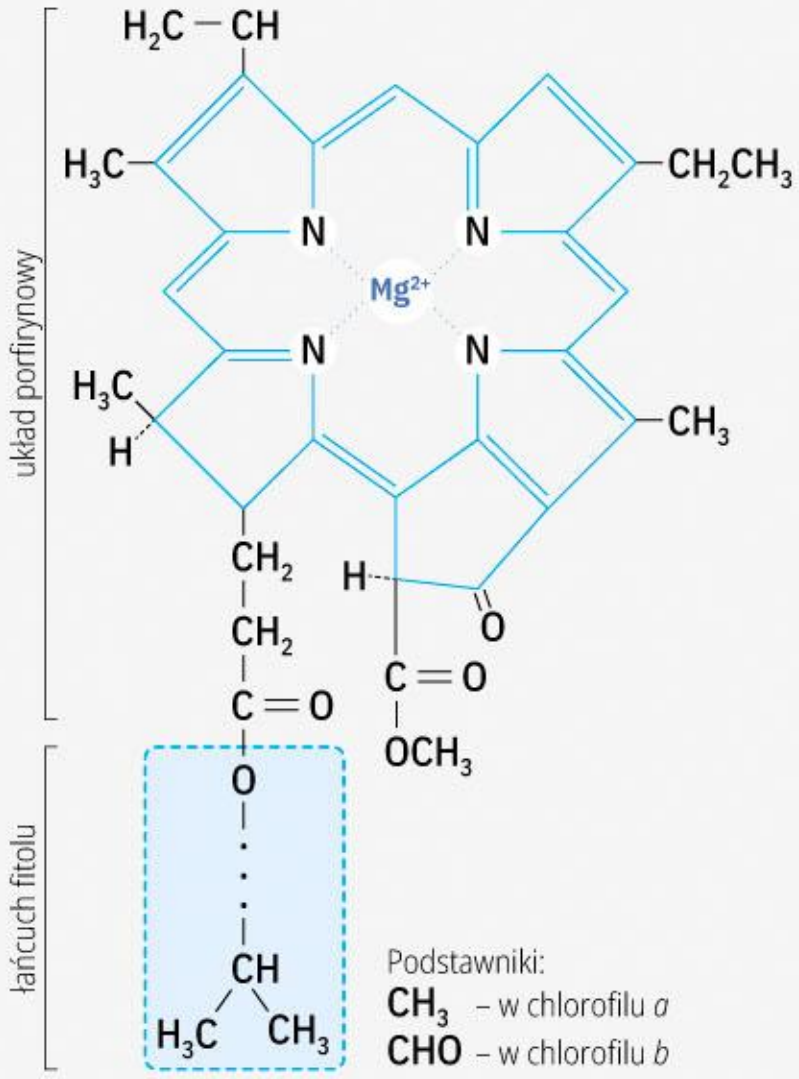
Faza ciemna (niezależna od światła) – zachodzi w stromie chloroplastów. Węgiel z CO_2 jest włączany do związków organicznych i zostają wytworzone węglowodany.



Barwniki fotosyntetyczne

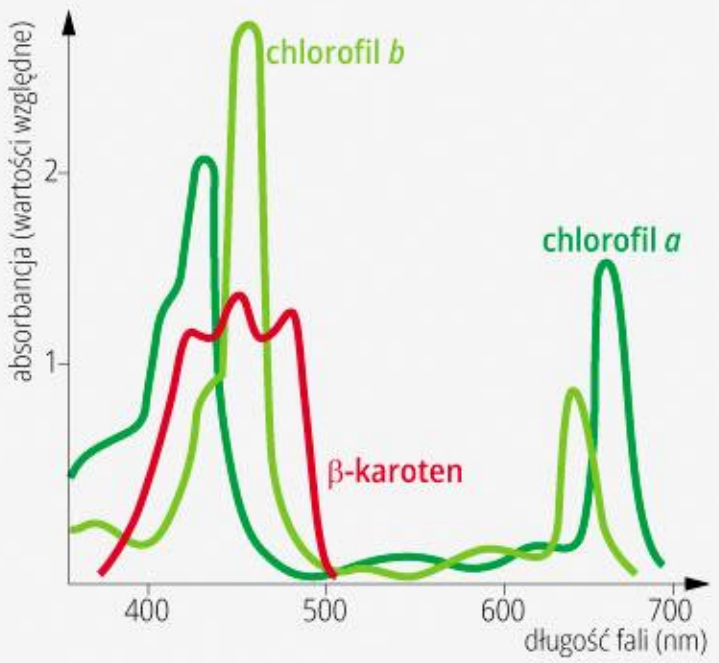
Rodzaj barwników	cechy budowy i właściwości	Rodzaje i występowanie
chlorofile (zielone)	Główne, zielone barwniki fotosyntetyczne, zbudowane z układu pierścieniowego i bocznego łańcucha; pochłaniają światło widzialne w zakresie niebieskim i czerwonym.	chlorofil *a* – rośliny i glony chlorofil *b* – rośliny i zielenice chlorofil *c* – okrzemki i brunatnice chlorofil *d* – krasnorosty
bakteriochlorofile (zielone)	Występują u bakterii zielonych.	bakteriochlorofil *a*
karotenoidy (czerwone, pomarańczowe, żółte)	Dzielą się na karoteny (zbudowane z atomów węgla i wodoru) oraz ksantofile (zbudowane z węgla, wodoru i tlenu); absorbują światło i przekazują je na chlorofile (nazywamy je barwnikami pomocniczymi).	**Karoteny:** β-karoten – rośliny, glony likopen – rośliny **Ksantofile:** luteina – rośliny, zielenice zeaksantyna – rośliny
fikobiliny (czerwone, niebieskie)	Barwniki pomocnicze u protistów roślinopodobnych i u sinic.	fikoerytryna fikocyjanina

Budowa chlorofilu



Podstawniki:
CH_3 – w chlorofilu *a*
CHO – w chlorofilu *b*

Chlorofil zbudowany jest z **pierścienia porfirynowego** z centralnie umieszczonym atomem magnezu oraz łańcucha bocznego, czyli reszty **fitolu**. Pierścień warunkuje absorbcję promieniowania, a łańcuch boczny zakotwicza chlorofil w błonie. Chlorofile pochłaniają światło w zakresie długości fali światła fioletowo-niebieskiego i czerwonego.

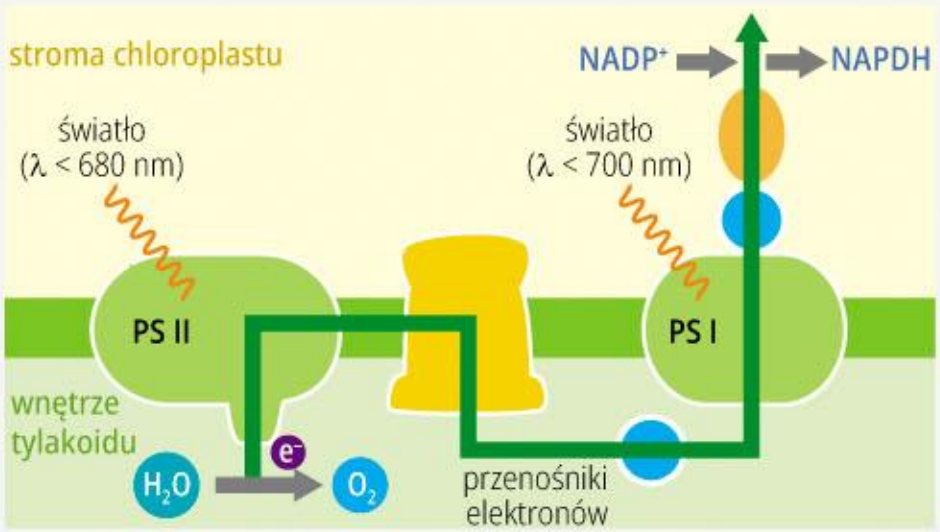


Przebieg fotosyntezy – faza jasna zależna od światła

Jasna faza fotosyntezy polega na przekształceniu energii promieniowania słonecznego w energię chemiczną magazynowaną w postaci **ATP** i **NADPH**. W jej czasie dochodzi do **rozkładu wody**, a ubocznym produktem jest **tlen**. Jej zachodzenie umożliwiają fotosystemy i przenośniki elektronów zlokalizowane w błonie tylakoidowej.

Fotosystemy (I i II) to kompleksy białkowo-barwnikowe, w których centrum znajduje się para cząsteczek chlorofilu *a* tworzących tzw. **centrum reakcji fotochmicznej**: w fotosystemie I (PSI, P–700) maksimum absorbcji promieniowania świetlnego chlorofilu *a* jest przy 700 nm, a w fotosystemie II (PSII, P–680) – przy 680. W obrębie fotosystemów znajdują się także barwniki antenowe złożone z chlorofili i karotenoidów, których zadaniem jest absorbowanie kwantów światła i przekazywanie ich do centrum reakcji.

Przebieg jasnej fazy fotosyntezy



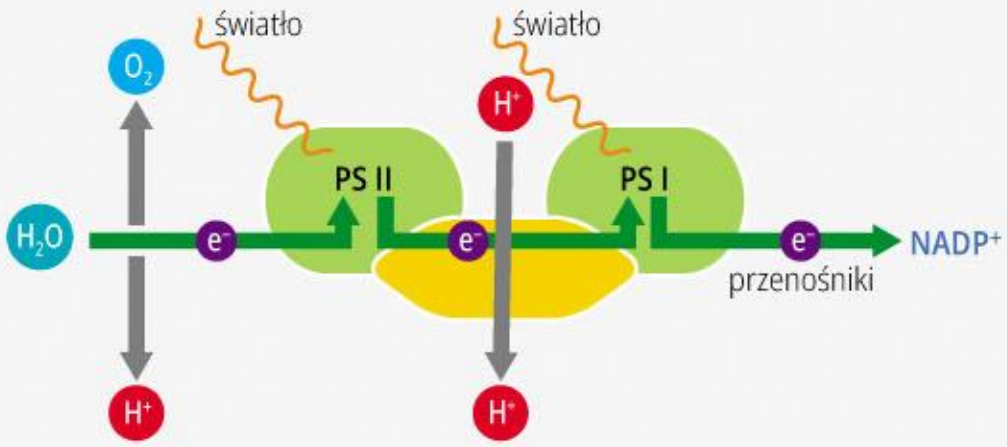
1. Wzbudzone światłem cząsteczki chlorofilu *a* w centrum reakcji PSII uwalniają elektrony, które są przekazywane na kolejne przenośniki. Wybicie elektronów z centrum reakcji pozostawia w nim lukę elektronową.
2. Elektrony zapełniające lukę elektronową w centrum reakcji PSII pochodzą z **rozkładu wody**, która ma miejsce w białkowym kompleksie (OEC) rozkładającym wodę na elektrony, protony oraz tlen.
3. Elektrony wybite z centrum reakcji PSII przechodzą przez szereg przenośników, w tym kolejno przez plastochinon, cytochrom b_6f oraz plastocyjaninę i trafiają na PSI.
4. Cząsteczka chlorofilu w centrum reakcji PSI pochłania kwant światła, przez co powstaje w niej luka elektronowa; w celu jej uzupełniania cząsteczka przyjmuje elektrony z PSII.
5. Elektrony z centrum reakcji PSI przechodzą na **ferredoksynę**, a następnie na $NADP^+$, który po przyjęciu dwóch elektronów i protonu redukuje się do NADPH.
6. Transportowi elektronów od wody do cząsteczki $NADP^+$ towarzyszy pompowanie elektronów ze stromy chloroplastu do wnętrza tylakoidu. Wytwarza się **gradient protonowy**, który jest siłą napędową **fosforylacji fotosyntetycznej**. W celu wyrównania stężenia protony przepływają przez kanał w kompleksie białkowym **syntazy ATP**, napędzając syntezę ATP.
7. Całość przemian prowadzi do powstania ATP i NADPH, czyli **siły asymilacyjnej**.

Uporządkowany przepływ elektronów w błonie tylakoidu jest możliwy dzięki ułożeniu przenośników elektronów według **wzrastającego potencjału redoks** (powinowactwa do elektronów). Każdy kolejny przenośnik jest coraz bardziej wydajnym utleniaczem, co oznacza, że przyjmuje elektrony od poprzedzającego go, a sam ulega redukcji.

Rodzaje fosforylacji fotosyntetycznej

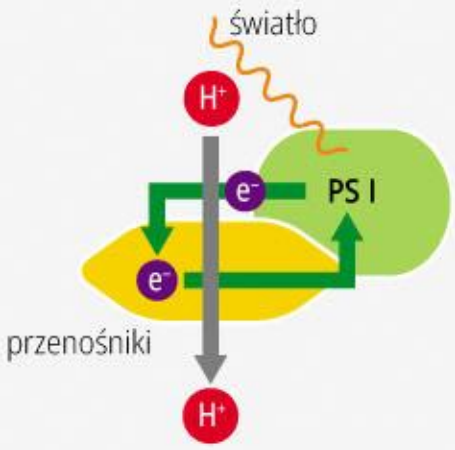
Fosforylacja niecykliczna

– przebiega z udziałem fotosystemów I i II;
– prowadzi do powstania ATP i NADPH;
– ma miejsce **rozkład wody i uwolnienie tlenu**.



Fosforylacja cykliczna

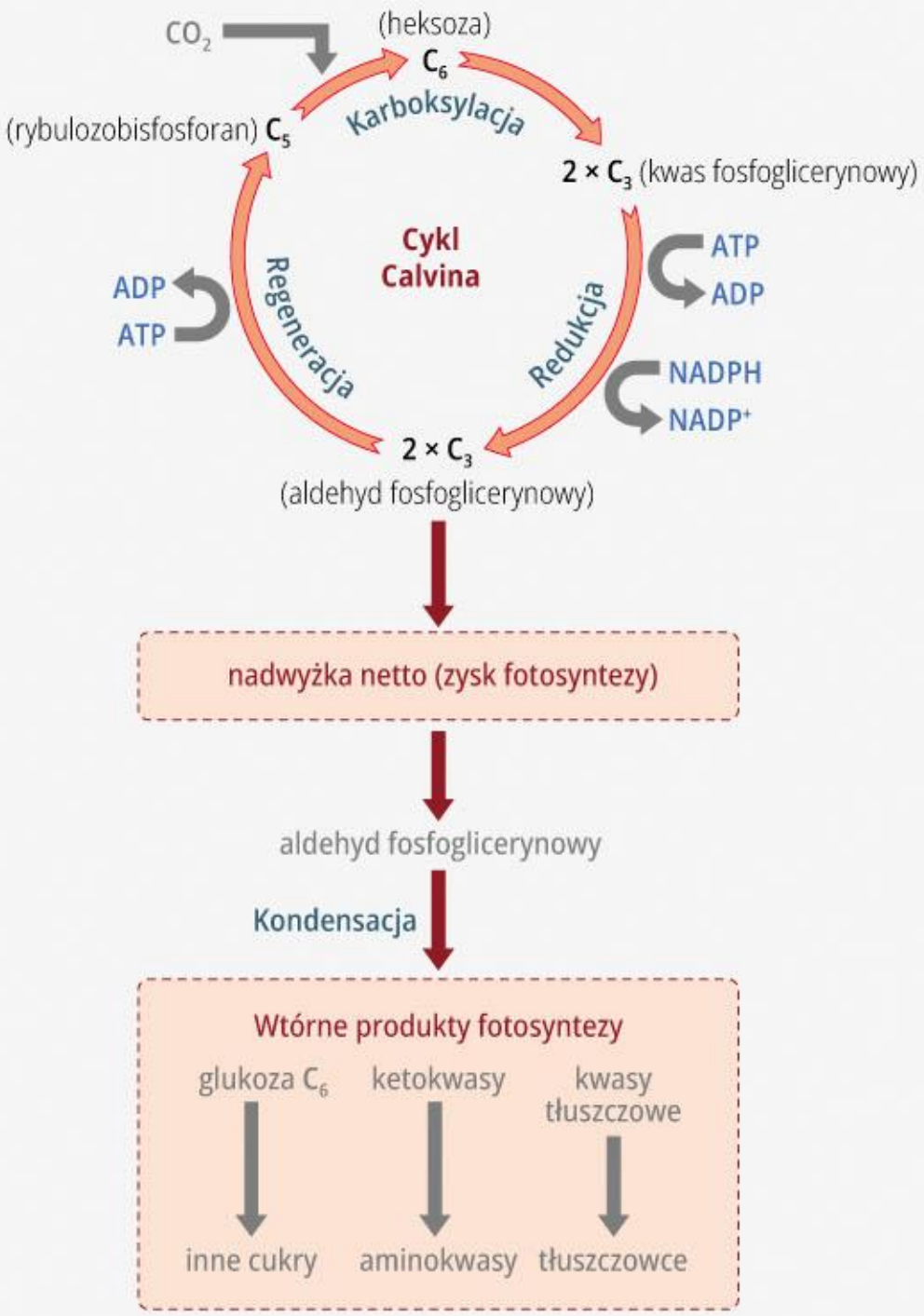
– przebiega tylko z udziałem fotosystemu I;
– powstaje tylko ATP;
– nie uwalnia się tlen;
– zachodzi w sytuacji wzmożonego zapotrzebowania na ATP.



Przebieg fazy ciemnej fotosyntezy

Faza ciemna polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej (ATP i NADPH) wytworzonej w czasie fazy jasnej do biosyntezy związków organicznych z CO_2. Na fazę ciemną, czyli **cykl Calvina-Bensona**, składają się trzy etapy:

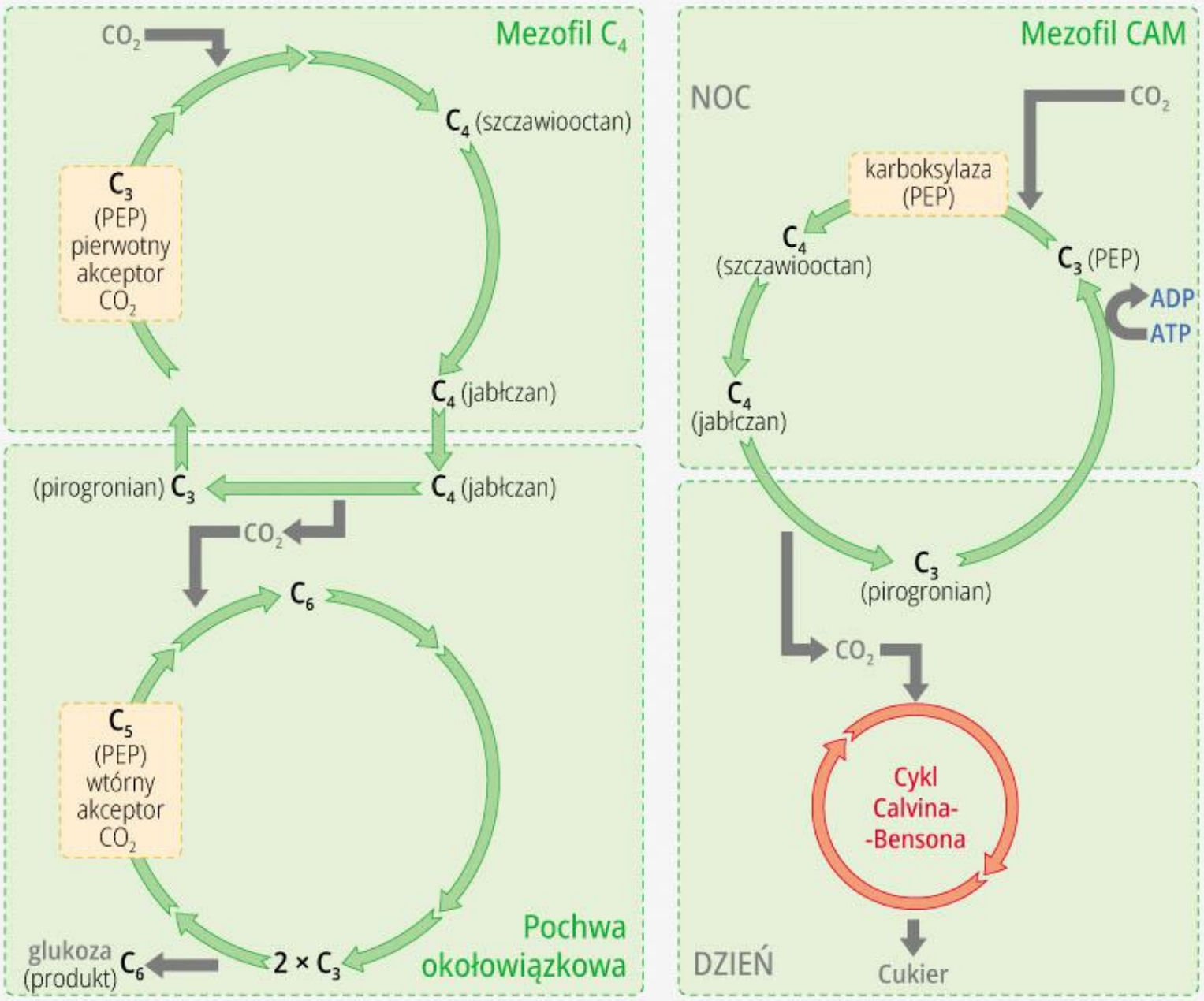
- **karboksylacja** – polega na przyłączeniu CO_2 pochodzącego z atmosfery do pięciowęglowego cukru rybulozo-1,5-bisfosforanu (RuBP) w wyniku reakcji katalizowanej przez enzym **karbosylazę/oksygenazę rybulozo-1,5-bisfosforanu (RUBISCO)**. W tej reakcji powstaje przejściowy związek sześciowęglowy, który rozpada się na dwie cząsteczki kwasu 3-fosfoglicerynowego;
- **redukcja** – kwas 3-fosfoglicerynowy przy udziale siły asymilacyjnej jest redukowany do aldehydu 3-fosfoglicerynowego. Aldehyd 3-fosfoglicerynowy jest pierwotnym produktem fotosyntezy, który służy jako substrat do syntezy innych cukrów i związków organicznych (wtórnych produktów fotosyntezy);
- **regeneracja** – polega na odtworzeniu rybulozo-1,5-bisfosforanu z wykorzystaniem aldehydu 3-fosfoglicerynowego oraz ATP.



Fotosynteza typu C_3, C_4 oraz CAM

Rośliny typu C_3	Rośliny typu C_4	Rośliny typu CAM
• zachodzi u roślin wszystkich stref klimatycznych • pierwszym trwałym produktem karboksylacji jest trójwęglowa cząsteczka aldehydu 3-fosfoglicerynowgo (C_3) • aparaty szparkowe roślin C_3 są zamknięte w nocy, a otwarte w dzień	• zachodzi u roślin klimatu suchego i gorącego (np. kukurydza, trzcina cukrowa) • pierwotnym akceptorem CO_2 jest związek 3-węglowy fosfoenolopirogronian (PEP), w wyniku czego powstaje czterowęglowy (C_4) – szczawiooctan • szczawiooctan ulega przemianie w jabłczan w komórkach mezofilu, a następnie jest transportowany do komórek **pochwy okołowiązkowej**, gdzie wchodzi w cykl Calvina-Bensona • aparaty szparkowe roślin C_4 są zamknięte w dzień, a otwarte w nocy (zapobiega to nadmiernej transpiracji)	• zachodzi u roślin klimatu suchego (np. gruboszowate) • po związaniu CO_2 z PEP powstaje szczawiooctan, a następnie jabłczan, który gromadzi się w wakuolach komórek mezofilu • w ciągu dnia CO_2 jest odłączany od jabłaczanu i wchodzi w cykl Calvina-Bensona • aparaty szparkowe roślin CAM są zamknięte w dzień, a otwarte w nocy (zapobiega to nadmiernej transpiracji)

Porównanie asymilacji CO_2 u roślin typu C_4 oraz CAM



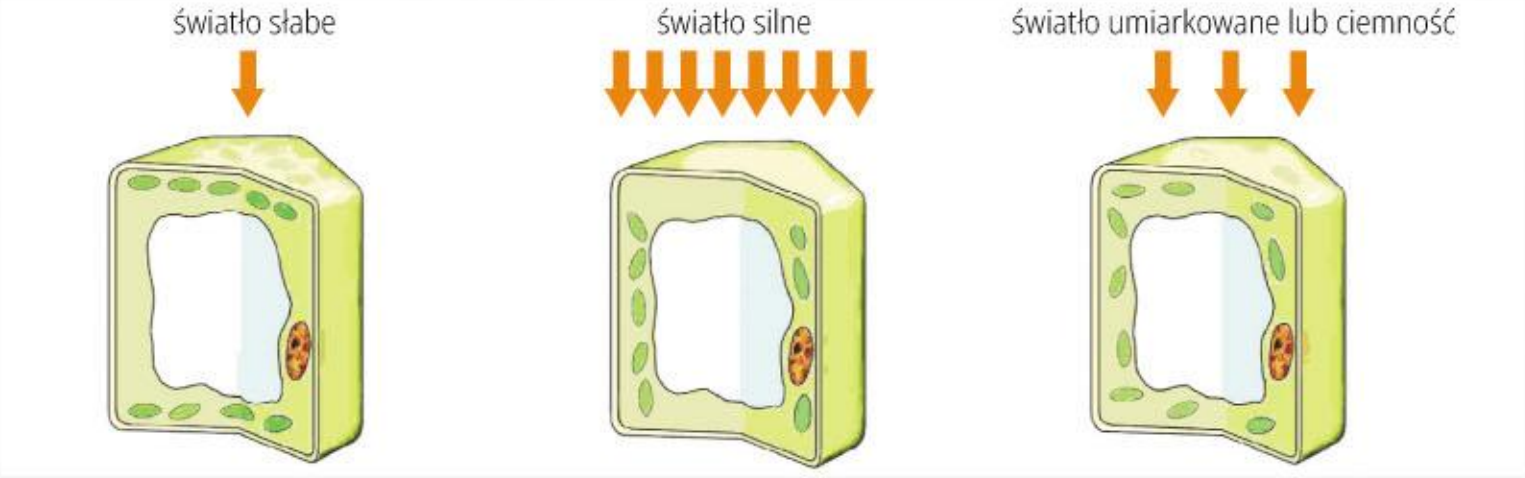
Czynniki wpływające na wydajność fotosyntezy

Zewnętrzne	Wewnętrzne
• światło (natężenie i barwa) • temperatura • stężenie CO_2 • dostępność wody i soli mineralnych	• liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych • powierzchnia blaszki liściowej • grubość kutykuli • rozmieszczenie chloroplastów w komórkach mezofilu • zawartość chlorofilu w chloroplastach

Mechanizmy regulujące ilość światła docierającego do liści

– **ruchy liści**, czyli zmiana położenia blaszki liściowej, co warunkuje zwiększenie lub ograniczenie pobieranej energii świetlnej (np. u roślin cieniolubnych przy małym nasłonecznieniu blaszka ustawia się poziomo, a przy dużym – pionowo);

– **ruchy chloroplastów** – mechanizm stosowany w celu wychwycenia jak największej ilości światła lub ograniczenia jego dopływu.



Znaczenie fotosyntezy

– rośliny wytwarzają materię organiczną i są wykorzystywane jako źródło węgla przez heterotrofów;

– źródło tlenu na Ziemi;

– usuwanie CO_2 z atmosfery ogranicza efekt cieplarniany;

– istotna w obiegu pierwiastków w biosferze.

Chemosynteza

Chemosynteza to rodzaj odżywiania autotroficznego niektórych bakterii, w którym energia potrzebna do asymilacji CO_2 pochodzi z utleniania prostych związków nieorganicznych lub organicznych. Chemosynteza bierze udział w obiegu pierwiastków w biosferze (m.in. węgla, azotu, siarki). Obejmuje dwa etapy:

– utlenienie związku chemicznego i pozyskanie energii w postaci siły asymilacyjnej: ATP i NADH lub NADPH;

– asymilację CO_2 i wytworzenie cukrów prostych z wykorzystaniem siły asymilacyjnej.

Bakterie chemosyntetyzujące:

Chemolitotrofy

– utleniają proste związki nieorganiczne:
  • bakterie nitryfikacyjne utleniają związki azotu,
  • bakterie siarkowe utleniają związki siarki,
  • bakterie żelaziste utleniają związki żelaza,
  • bakterie wodorowe utleniają wodór.

Chemoorganotrofy

– utleniają proste związki nieorganiczne, np. metan, metanol, kwas mrówkowy;

– źródłem węgla dla tych bakterii jest prosty związek organiczny, a nie CO_2, więc nie można ich zaliczyć do klasycznych autotrofów.

Przykłady bakterii chemosyntetycznych i utlenianych przez nie związków

Rodzaj bakterii	Przykład bakterii	Rodzaj utlenianego związku
Bakterie nitryfikacyjne – występują w glebie i w zbiornikach wodnych.	*Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*	$NH_3 + 1\frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_2^- + H^+ + H_2O$
	Nitrobacter, *Nitrococcus*	$NO_2^- + 1\frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_3^-$
Bakterie siarkowe – występują w zbiornikach wody słodkiej i morskiej, w źródłach wody siarkowej, w osadach dennych, ściekach kanalizacyjnych.	*Beggiatoa*	$H_2S + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + S^0$
	Thiothrix	$S^0 + H_2O + 1\frac{1}{2}O_2 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$
Bakterie żelaziste – występują w środowiskach zakwaszonych (gleby, wody, kwaśne gorące źródła).	*Ferrobacillus* (*ferrobaciljus*)	$4FeCO_3 + O_2 + 6H_2O \rightarrow 4FE(OH)_3 + 4CO_2$
Bakterie wodorowe – występują w glebie.	*Hydrogenomonas*	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$
Bakterie metanowe – występują w glebie, zbiornikach wodnych.	*Methylobacter*	$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH \rightarrow CHOH + 2H$
	Methanomonas	$CHOH + H_2O \rightarrow HCOOH + 2H$ $HCOOH \rightarrow CO_2 + 2H$

4

Klasyfikacja i przegląd różnorodności organizmów

4.1. Zasady klasyfikacji organizmów

Na Ziemi opisano dotychczas ok. 2 mln gatunków (według różnych szacunków to ok. 10% wszystkich występujących na Ziemi). Opisywaniem, nazewnictwem i klasyfikowaniem na podstawie pokrewieństwa organizmów zajmuje się **systematyka**. Językiem systematyki jest **język łaciński**. Systematyka bazuje na **nazewnictwie binominalnym** gatunków (wprowadzonym przez Karola Linneusza), w którym pierwszy człon stanowi nazwę rodzajową, a drugi – gatunkową. Systematyka łączy się z:

- **taksonomią** – zajmuje się metodami i zasadami klasyfikowania organizmów;
- **filogenetyką** – bada pokrewieństwo ewolucyjne organizmów;
- **kladystyką** – stanowi metodę klasyfikacji organizmów pochodzących od wspólnego przodka.

Podział królestwa roślin i zwierząt na hierarchiczne jednostki taksonomiczne

Jednostki taksonomiczne (taksony) to grupy organizmów wyróżnione na podstawie konkretnych cech i pokrewieństwa. Układ hierarchiczny oznacza, że każdy z taksonów jest zbiorem jednostek niższej rangi (np. rodzaj to zbiór gatunków, a rodzina – zbiór rodzajów).

KRÓLESTWO: zwierzęta	KRÓLESTWO: rośliny
TYP: strunowce	GROMADA: nagonasienne
GROMADA: ssaki	KLASA: iglaste
RZĄD: drapieżne	RZĄD: sosnowce
RODZINA: psowate	RODZINA: sosnowate
RODZAJ: wilk	RODZAJ: sosna
GATUNEK: wilk szary *Canis lupus*	GATUNEK: sosna pospolita *Pinus sylvestris*

Klucze do oznaczania organizmów

Klucze służą do rozpoznawania gatunków. Najczęściej klucze mają charakter dychotomiczny (dwudzielny) i numeryczny. Każdej grupie cech oznaczonej liczbą porządkową odpowiada grupa cech przeciwstawnych (wykluczających się).





Rozpoznawanie gatunków łabędzi

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

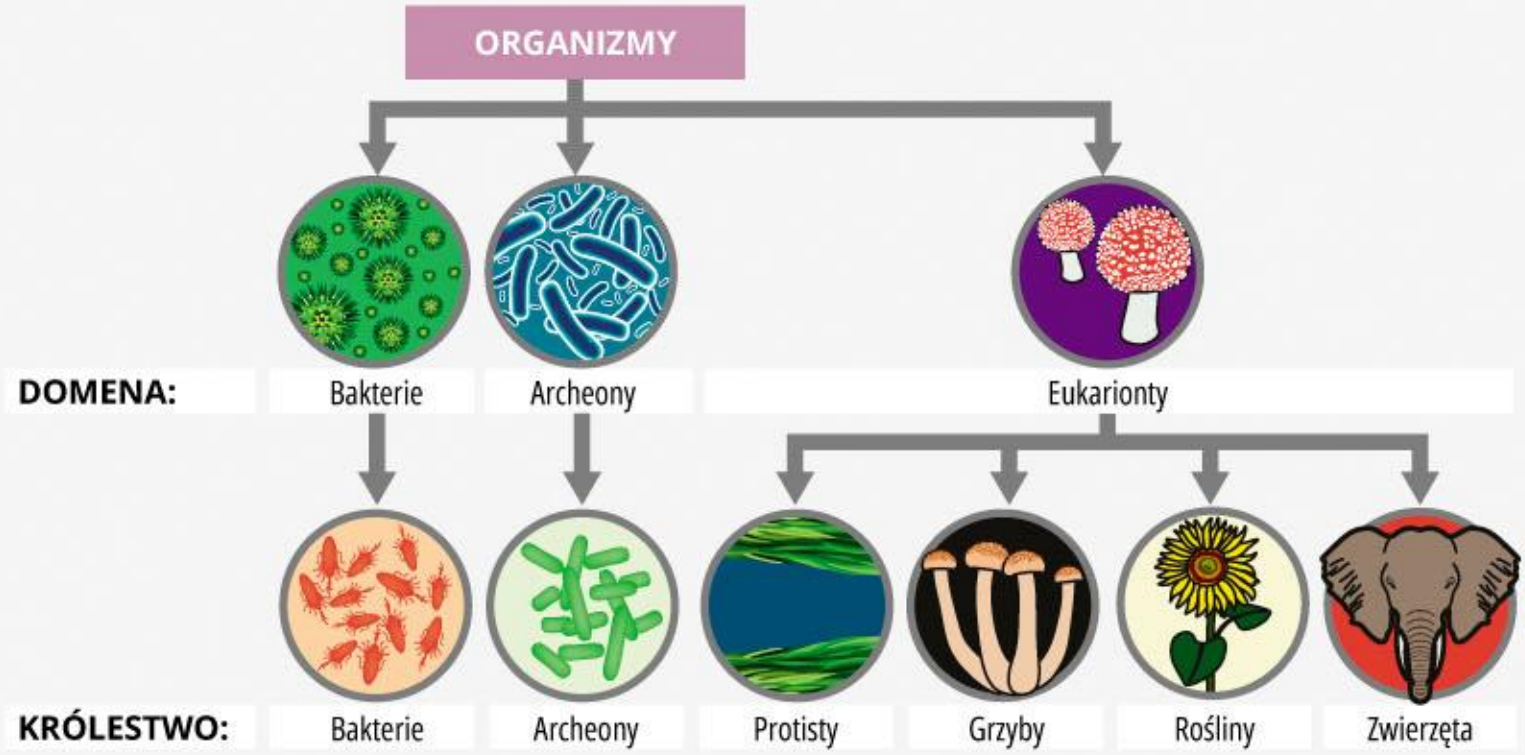




Podział świata ożywionego

Na podstawie nowoczesnych badań molekularnych podzielono świat żywy na **trzy domeny**, które tworzą główne gałęzie drzew życia: *Archaea*, *Bacteria* i *Eukaria*. Niekiedy, ze względów praktycznych, w obrębie tych domen wyróżnia się jeszcze **królestwa**: bakterii, archeonów, protistów, grzybów, roślin i zwierząt. Podział na królestwa nie odzwierciedla jednak w poprawny sposób filogenezy organizmów.

Klad to grupa taksonów/organizmów – potomków wywodzących się od wspólnego przodka; klady zalicza się do jednej z trzech domen świata ożywionego.



Domena	Królestwo	Charakterystyka	Funkcja w biosferze
Bacteria	bakterie (*bacteria*)	Organizmy prokariotyczne, jednokomórkowe, mikroskopijnych rozmiarów, mają ścianę komórkową (zbudowaną z peptydoglikanu).	Organizmy pasożytnicze, chorobotwórcze, niektóre są chemoautotrofami, inne fotoautotrofami; odgrywają istotną rolę w obiegu pierwiastków w przyrodzie; mają zastosowanie przemysłowe.
Archaea	archeony (*archaea*)	Organizmy prokariotyczne, jednokomórkowe, mikroskopijnych rozmiarów; ściany komórkowe bez peptydoglikanu.	Gatunki środowisk ekstremalnych: ścieki, bagna, tereny silnie zasolone lub zakwaszone, gorące źródła.
Eukaria	protista	Organizmy najczęściej jednokomórkowe, rzadziej wielokomórkowe. Odżywiają się autotroficznie, heterotroficznie, oddychają całą powierzchnią ciała. Mają pellikulę. Rozmnażają się głównie bezpłciowo (najczęściej przez podział), ale u niektórych gatunków występuje rozmnażanie płciowe.	Gatunki środowisk wodnych oraz obecne w tkankach i płynach ustrojowych zwierząt. Są producentami i heterotrofami. Niektóre gatunki są chorobotwórcze.
	grzyby	Organizmy eukariotyczne, cudzożywne, zbudowane ze strzępek tworzących grzybnię, obecna ściana komórkowa zbudowana z chityny.	Reducenci, pasożyty i gatunki chorobotwórcze; wchodzą w symbiozę z korzeniami roślin i glonami (porosty); są źródłem antybiotyków; drożdże są wykorzystywane w przemyśle.
	rośliny	Organizmy eukariotyczne; wielokomórkowe, fotosyntetyzujące; rozwój z przemianą pokoleń, rozmnażanie płciowe; ściana komórkowa zbudowana z celulozy.	Producenci; źródło tlenu, materii organicznej w biosferze, stanowią pożywienie dla konsumentów.
	zwierzęta	Organizmy eukariotyczne, wielokomórkowe, cudzożywne; zbudowane z wyspecjalizowanych tkanek i narządów.	Konsumenci (roślinożercy i mięsożercy).

Systemy i metody klasyfikacji organizmów

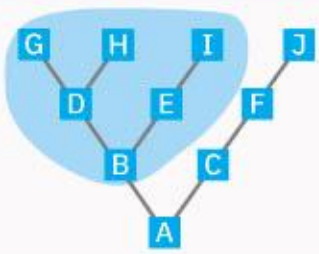
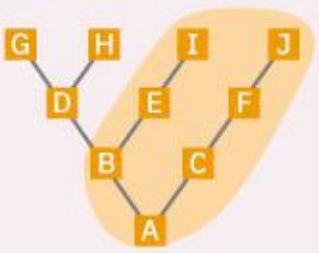
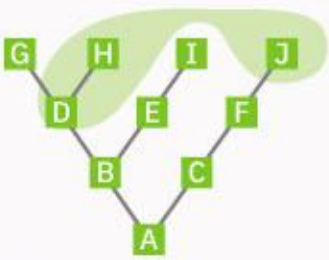
Systemy klasyfikacji organizmów		
Systemy	**sztuczne**	**naturalne**
	• oparte na podobieństwie morfologicznym, fizjologicznym i ekologicznym organizmów	• oparte na pokrewieństwie pomiędzy organizmami (wspólnym pochodzeniu ewolucyjnym)
Metody	• **metody fenetyczne** – wykorzystują podobieństwo dowolnie wybranej cechy (będące wynikiem np. występowania w tym samym środowisku)	• **metody podziału logicznego** – przeciwstawienie danej grupie cech cechy przeciwstawnych i wykluczających się; na tej metodzie oparte są klucze do oznaczania gatunków
		• **metody filogenetyczne** – oparte na pokrewieństwie ewolucyjnym gatunków; umożliwiają odtworzenie drzewa rodowego (filogenezy) organizmu na podstawie przebiegu ewolucji

Systematyka filogenetyczna

Systematyka filogenetyczna bada pochodzenia gatunków, określa związki ewolucyjne pomiędzy nimi i wskazuje kierunki rozmieszczania się organizmów. W badaniu pokrewieństwa ewolucyjnego filogenetyka analizuje:

- **struktury homologiczne** – struktury obecne u gatunków, odziedziczonych po wspólnym przodku (np. kości w ręce człowieka, łapie kota czy płetwie wieloryba);
- **synapomorfie** – cechy obecne tylko u ostatniego wspólnego przodka badanych taksonów i jego potomków; powstają na skutek mutacji czy doboru naturalnego (np. kosteczki słuchowe ssaków);
- **homologie na poziomie molekularnym** – porównywanie struktur wybranych makrocząsteczek (np. sekwencji aminokwasowej białek, sekwencji nukleotydowej DNA lub RNA.

Rodzaje grup taksonomicznych

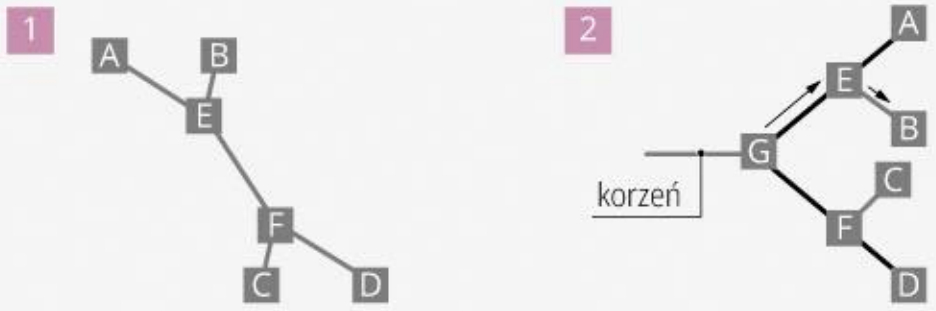
Grupy	Ilustracja	Opis
monofiletyczne		Grupa naturalna. Uwzględnia wspólnego przodka oraz wszystkich jego potomków; grupy monofiletyczne są podstawą tworzenia klasyfikacji opartych na pokrewieństwie; przykładem są ssaki.
parafiletyczne		Grupa sztuczna. Obejmuje wspólnego przodka i tylko niektórych jego potomków; członkowie tej grupy mają wspólne cechy z gatunkiem macierzystym; przykładem są gady, z których usunięto ptaki pomimo ich wyraźnego pokrewieństwa z krokodylami i dinozaurami.
polifiletyczne		Grupa sztuczna. Wywodzi się z kilku linii ewolucyjnych pochodzących od różnych przodków i obejmuje organizmy niespokrewnione. Grupy tworzy się na podstawie pozornych podobieństw, np. zwierzęta stałocieplne, glony.

Drzewo filogenetyczne

Drzewo filogenetyczne (rodowe) ilustruje graficznie pokrewieństwo ewolucyjne organizmów. Związki te obrazuje się za pomocą rozgałęziających się odcinków – **gałęzi** oraz **węzłów** (punktów rozgałęzienia).

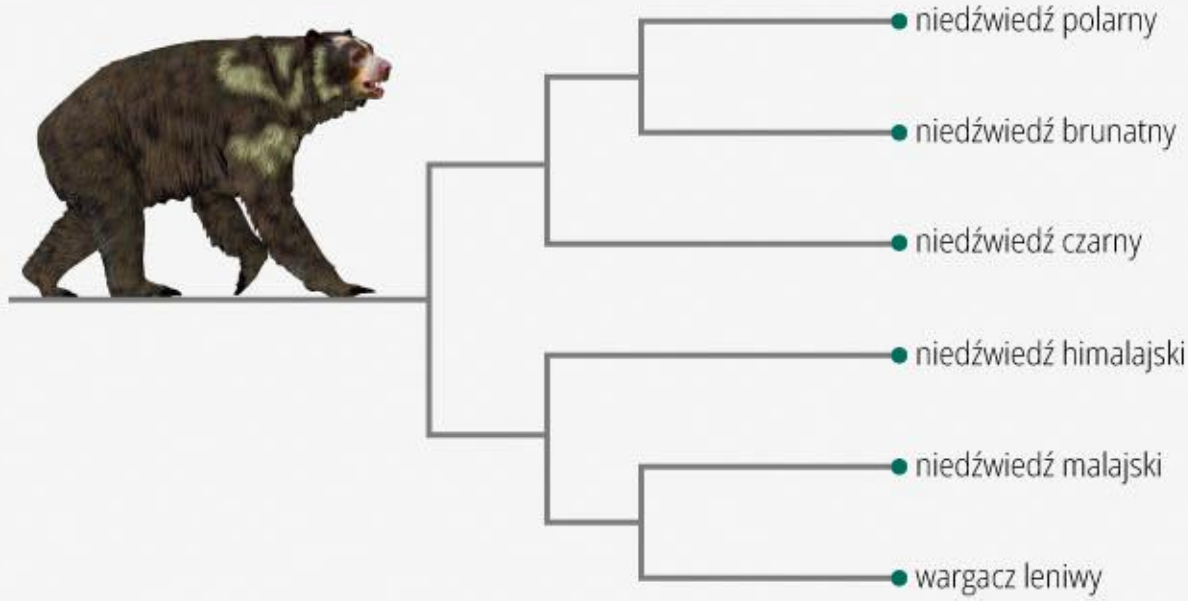
Gałąź reprezentuje klad, czyli grupę organizmów mającą wspólnego przodka, a **węzeł** odpowiada rozdzieleniu się na dwie linie ewolucyjne. Drzewa mogą być:

- **niezakorzenione** – nie jest znany kierunek ewolucji, nie wiadomo, który węzeł odpowiada wspólnemu przodkowi;
- **zakorzenione** – znany jest ostatni wspólny przodek dla wszystkich grup uwzględnionych na grafie.



Struktura drzewa filogenetycznego niezakorzenionego (1) i zakorzenionego (2).

Kladogram



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

4.2. Wirusy

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

Cechy wirusów świadczące o ich przynależności do materii

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

Budowa wirusów

Pojedynczą, dojrzałą cząsteczkę wirusa występującą w środowisku pozakomórkowym zdolną do zarażania nazywamy **wirionem**.

Budowa wirionu

Element budowy	Funkcja
materiał genetyczny – DNA lub RNA (nigdy oba jednocześnie)	• zawarta jest w nim informacja genetyczna w postaci od kilku genów (u najprostszych wirusów) do kilkuset genów (u najbardziej skomplikowanych wirusów) • koduje białka kapsydu oraz enzymy, które są niezbędne do ekspresji genów wirusa w komórce gospodarza, a także do replikacji jego genomu
kapsyd (otoczka białkowa, płaszcz białkowy)	• składa się z podjednostek białkowych zwanych kapsomerami • chroni materiał genetyczny wirusa przed działaniem czynników zewnętrznych • nadaje kształt wirionom • pozwala na rozpoznanie komórek gospodarza
osłonka białkowo-lipidowa	• występuje tylko u niektórych wirusów (np. wirus grypy czy wirus HIV) • część lipidowa powstaje z błony komórkowej gospodarza • część białkowa stanowi białka wirusowe o charakterze glikoprotein, które pełnią funkcję receptorów i pozwalają wirusom na wniknięcie do wnętrza komórki gospodarza • przeciwko glikoproteinom wirusa – antygenom organizm gospodarza wytwarza właściwe przeciwciała

Wirion bakteriofaga składa się z:

– **wielościennej główki** z materiałem genetycznym (DNA lub RNA);

– **kurczliwego ogonka** (w postaci spiralnej struktury).

Ogonek jest połączony z główką za pomocą białka łącznikowego. W ogonku powstaje kanał, przez który wnika wirusowy materiał genetyczny. Na końcu ogonka znajduje się płytka podstawowa, w którą wbudowane są białka enzymatyczne rozkładające ścianę komórkową bakterii. Od płytki podstawowej odchodzi sześć nitkowatych wypustek, którymi bakteriofag przymocowuje się do powierzchni komórek bakterii. Każdy gatunek lub szczep bakterii ma inne miejsce receptorowe i dzięki wypustkom bakteriofag atakuje konkretne bakterie.

Zróżnicowanie materiału genetycznego wirusów

Rodzaj kwasu	Postać		Przykład
DNA	jednoniciowy (ssDNA)	liniowy	wirus rumienia zakaźnego
		kulisty	bakteriofag ΦFX174
	dwuniciowy (dsDNA)	liniowy	wirus opryszczki
		kulisty	wirus brodawczaka

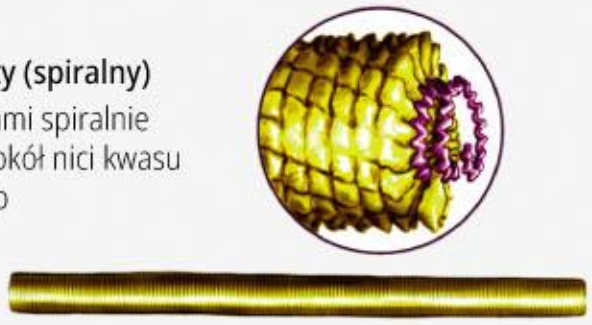
Rodzaj kwasu	Postać		Przykład
RNA	jednoniciowy (ssRNA)		
	służy jako mRNA	liniowy	wirus żółtej febry
	jest matrycą do syntezy mRNA		wirus grypy
	jest matrycą do syntezy DNA		wirus HIV
	dwuniciowy (dsRNA)	liniowy	rotawirus

ss – ang. *single stand*
ds – ang. *double strand*

Formy morfologiczne wirusów

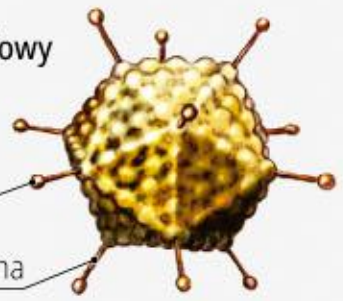
Wirusy przyjmują różne kształty w zależności od rodzaju: pałeczkowate, wielościenne (bryłowe) lub o bardziej zróżnicowanym kształcie (bakteriofagi).

Wirus pałeczkowaty (spiralny)
wirus z białkami spiralnie ułożonymi wokół nici kwasu nukleinowego



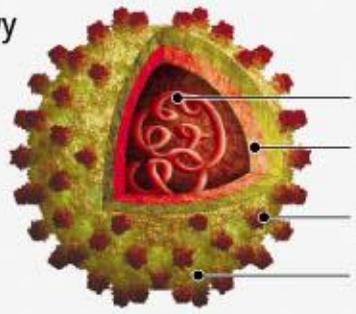
Wirusy w kształcie pałeczki, np. mozaikowatości tytoniu, są często określane jako wirusy helikalne.

Wirus bryłowy



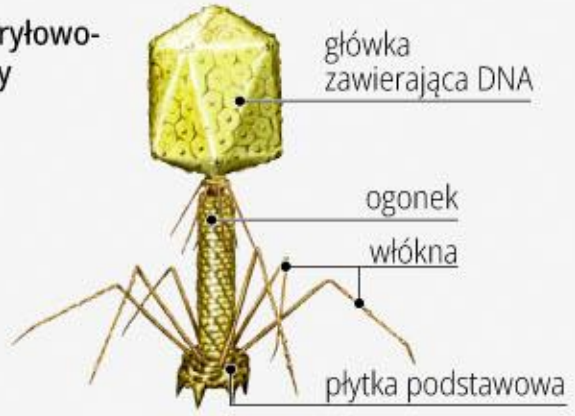
Adenowirusy wywołujące np. zakażenia dróg oddechowych u zwierząt mają kapsyd wielościenny z wystającymi glikoproteinowymi kolcami.

Wirus bryłowy z osłonką lipidową



Wirusem bryłowym z osłonką lipidową jest np. wirus grypy.

Wirus bryłowo-spiralny



Forma bryłowo-spiralna występuje u bakteriofagów (fagów) zakażających bakterie, np. bakteriofaga T4.

Wirusy w zależności od przebiegu infekcji przechodzą dwa cykle reprodukcyjne: lityczny i lizogeniczny

Cykl lityczny	Cykl lizogeniczny
• kończy się śmiercią komórki gospodarza • następuje zarażenie komórki i po namnożeniu się nowych wirusów komórka ulega rozpadowi, czyli **lizie**; uwolnione wirusy atakują następne komórki • występuje u bakteriofagów zjadliwych, np. u bakteriofaga T4	• kończy się śmiercią komórki gospodarza • następuje zarażenie komórki i genom wirusa zostaje włączony do genomu komórki gospodarza; podczas kolejnych podziałów komórkowych genom wirusa jest przekazywany do komórek potomnych w postaci nieczynnego materiału genetycznego wirusa nazywanego **prowirusem** (**profagiem** u bakteriofagów) • prowirus może funkcjonować przez długi czas w stanie uśpionym, nie wywołując żadnych objawów choroby • występuje u fagów łagodnych, np. u bakteriofaga λ (lambda). • pod wpływem zmian czynników środowiska, np. temperatury, promieniowania ultrafioletowego, profag może się uaktywnić i przechodzi w cykl lityczny, stając się fagiem zjadliwym; przejście do cyklu litycznego kończy się śmiercią komórki bakterii

Schemat cyklu litycznego i lizogenicznego na przykładzie bakteriofaga λ (lambda)

1. Absorpcja

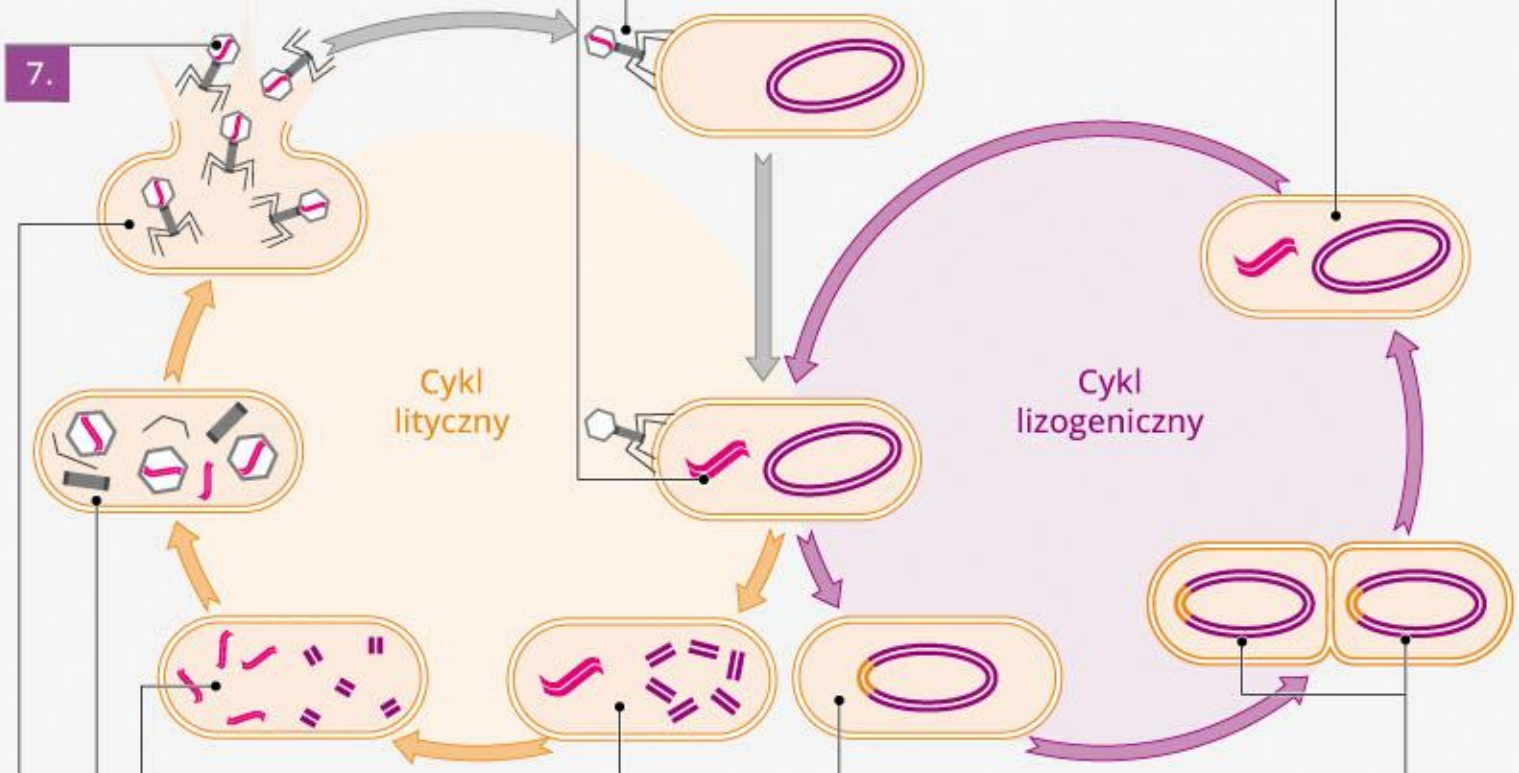
Bakteriofag rozpoznaje receptory na powierzchni komórek bakterii. Następuje połączenie receptora bakteryjnego z bakteriofagiem.

2. Wnikanie

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

5. Przejście profaga w fag

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



3. DNA komórki gospodarza zostaje rozłożony.

3. Integracja

DNA bakteriofaga zostaje włączony do DNA bakterii – przechodzi w formę nieczynną wirusa-profaga.

4. Replikacja

Powstałe w wyniku replikacji cząsteczki DNA wirusa stanowią matrycę do syntezy RNA. Dzięki temu na rybosomach komórki gospodarza są syntetyzowane białka wirusa.

4. Replikacja

Włączony w DNA bakterii materiał genetyczny wirusa replikuje się z DNA bakterii. Bakteria podczas kolejnych podziałów przekazuje również materiał genetyczny wirusa.

5. Składanie

Z nowo powstałych składników samorzutnie następuje składanie nowych wirionów.

6. Uwalnianie

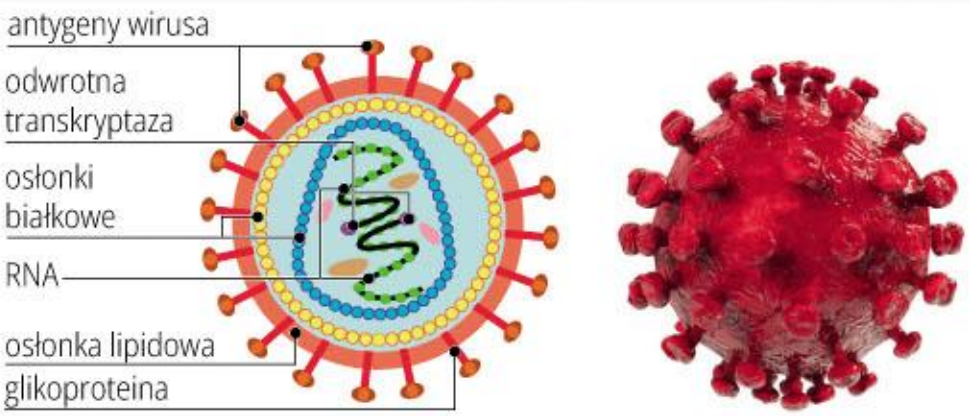
Nowo powstałe bakteriofagi powodują rozerwanie komórki bakteryjnej. Uwolnione wiriony mogą infekować nowe komórki bakteryjne 7.

Cykl infekcyjny retrowirusa

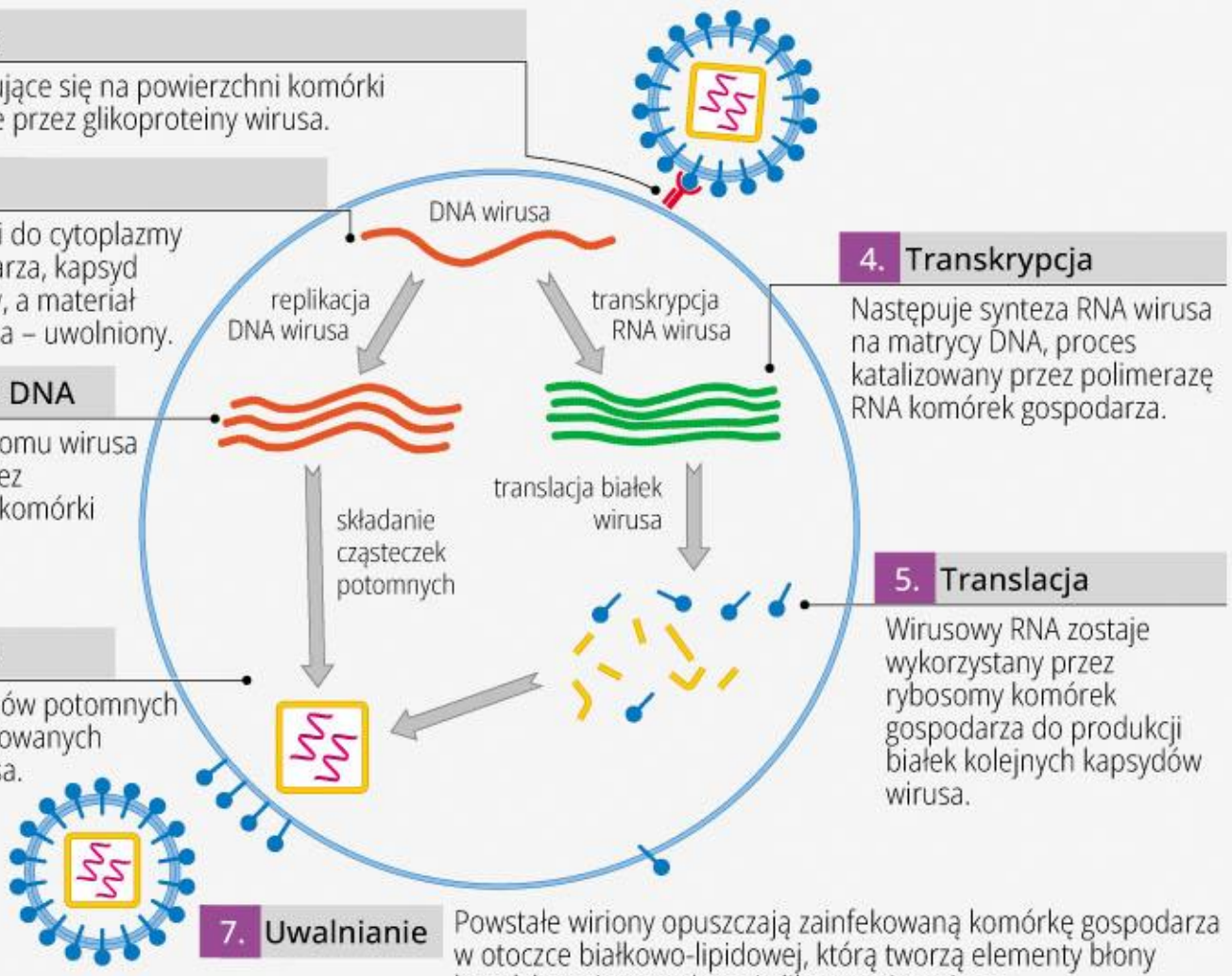
Retrowirusy (*retro* oznacza „wstecz") to wirusy z grupy RNA – wirusy zarażające zwierzęce komórki eukariotyczne. Ich genom zawiera dwie jednakowe kopie jednoniciowego RNA i koduje enzym **odwrotną transkryptazę (rewertazę)**. Enzym przepisuje informację genetyczną na DNA gospodarza. Powstaje nić RNA/DNA, z której jest usunięty RNA, a odwrotna transkryptaza katalizuje syntezę drugiej komplementarnej nici DNA. Następnie dwuniciowy DNA zostaje zintegrowany z DNA komórki gospodarza, co skutkuje utworzeniem tzw. **prowirusa**. Transkrypcja zintegrowanego DNA prowadzi do powstania szeregu kopii wirusowego RNA. Kapsyd wirusa jest otoczony osłonką lipidową z glikoproteinami. Z komórek gospodarza powstają lipidy oraz część białek osłonki. W efekcie nie są one rozpoznawane przez komórki układu odpornościowego i wirus może atakować **limfocyty T** – komórki odpowiedzialne głównie za rozpoznawanie obcych antygenów w organizmie. Retrowirusy powodują szereg chorób zwierząt i człowieka, m.in. nowotwory i AIDS. AIDS (ang. *acquired immune deficiency syndrome*) – nabyty zespół niedoboru odporności jest wywoływany przez wirus HIV (ang. *human immunodeficiency virus*). Przykładami innych retrowirusów są:

- **HTLV** – wirus ludzkiej białaczki limfocytów T,
- **BIV** – wirus niedoboru odporności u bydła
- **SIV** – wirus niedoboru odporności u małp,
- **JRSV** – wirus gruczolakoraków płuc u owiec,
- **MMTV** – wirus nowotworu sutka u myszy.

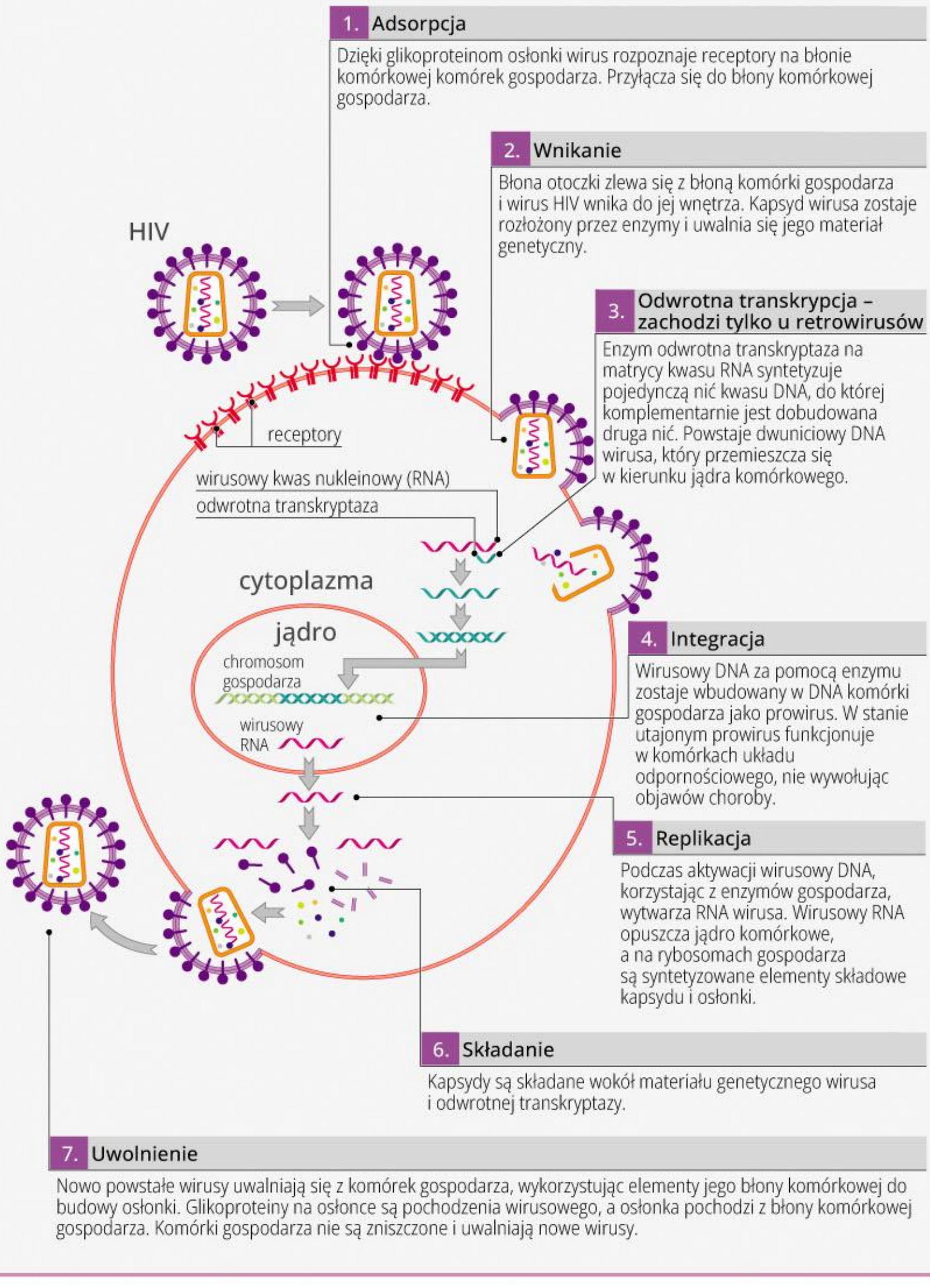
Budowa retrowirusa na przykładzie wirusa HIV



Schemat cyklu infekcyjnego wirusa zwierzęcego DNA



Schemat cyklu infekcyjnego wirusa zwierzęcego RNA – wirus HIV



1. Adsorpcja

Dzięki glikoproteinom osłonki wirus rozpoznaje receptory na błonie komórkowej komórek gospodarza. Przyłącza się do błony komórkowej gospodarza.

2. Wnikanie

Błona otoczki zlewa się z błoną komórki gospodarza i wirus HIV wnika do jej wnętrza. Kapsyd wirusa zostaje rozłożony przez enzymy i uwalnia się jego materiał genetyczny.

3. Odwrotna transkrypcja – zachodzi tylko u retrowirusów

Enzym odwrotna transkryptaza na matrycy kwasu RNA syntetyzuje pojedynczą nić kwasu DNA, do której komplementarnie jest dobudowana druga nić. Powstaje dwuniciowy DNA wirusa, który przemieszcza się w kierunku jądra komórkowego.

4. Integracja

Wirusowy DNA za pomocą enzymu zostaje wbudowany w DNA komórki gospodarza jako prowirus. W stanie utajonym prowirus funkcjonuje w komórkach układu odpornościowego, nie wywołując objawów choroby.

5. Replikacja

Podczas aktywacji wirusowy DNA, korzystając z enzymów gospodarza, wytwarza RNA wirusa. Wirusowy RNA opuszcza jądro komórkowe, a na rybosomach gospodarza są syntetyzowane elementy składowe kapsydu i osłonki.

6. Składanie

Kapsydy są składane wokół materiału genetycznego wirusa i odwrotnej transkryptazy.

7. Uwolnienie

Nowo powstałe wirusy uwalniają się z komórek gospodarza, wykorzystując elementy jego błony komórkowej do budowy osłonki. Glikoproteiny na osłonce są pochodzenia wirusowego, a osłonka pochodzi z błony komórkowej gospodarza. Komórki gospodarza nie są zniszczone i uwalniają nowe wirusy.

Porównanie wirusów roślinnych, zwierzęcych i bakteriofagów

Cecha	Wirusy roślinne	Wirusy zwierzęce	Bakteriofagi (fagi)
kształt wirionu	pałeczkowaty (spiralny)	wielościenny (bryłowy)	bryłowo-spiralny

Cecha	Wirusy roślinne	Wirusy zwierzęce	Bakteriofagi (fagi)
rodzaj kwasu nukleinowego	RNA (jednoniciowy lub dwuniciowy)	zwykle DNA (jednoniciowy rzadko lub dwuniciowy), rzadziej RNA (jednoniciowy lub dwuniciowy)	DNA (jednoniciowy lub dwuniciowy) lub RNA jednoniciowy
sposób infekcji	przechodzą przez uszkodzenia mechaniczne ściany komórkowej i przemieszczają się między komórkami za pomocą plazmodesmów	• wnikają w całości do komórki gospodarza, pozostawiając u niektórych osłonkę • odznaczają się wysoką specyficznością dzięki obecności glikoprotein na powierzchni ich osłonki • wirusy pozbawione otoczki przechodzą do komórki gospodarza na drodze fagocytozy	wstrzykują tylko materiał genetyczny do komórki gospodarza, pozostawiając na zewnątrz kapsyd
przykłady	• wirus mozaiki tytoniu, grochu, ogórka • wirus smugowatości ziemniaków, pomidorów • wirus kędzierzawki truskawek, ziemniaków • wirus ospowatości śliwy • wirus żółtaczki buraka	zwierzęta: • wirus nosówki (RNA) • wirus pryszczycy (RNA) • wirus wścieklizny (RNA) człowiek: • wirusy RNA: grypy, odry, polio, świnki, różyczki, HIV, wścieklizny, żółtej febry, SARS, wirusowe zapalenie wątroby typu A i C, wirus gorączki krwotocznej, wirusy onkogenne • wirusy DNA: ospa prawdziwa i wietrzna, półpasiec, opryszczka, wirusowe zapalenie wątroby typu B, mononukleoza, opryszczki, wirus brodawczaka ludzkiego, wirusy onkogenne	bakteriofagi DNA: bakteriofag T4 i bakteriofag λ pasożytujące w komórkach pałeczki okrężnicy *Escherichia coli*

Znaczenie wirusów

negatywne	pozytywne
• przyczyniają się do wielu groźnych chorób u ludzi; niektóre wirusy są przenoszone za pomocą wektorów – innych organizmów, np. wirus zapalenia opon mózgowych jest przenoszony przez kleszcze • wywołują szereg groźnych chorób u zwierząt i roślin, przez co przyczyniają się do strat w hodowli i uprawie • bakteriofagi atakujące bakterie wykorzystywane przez człowieka w przemyśle fermentacyjnym i spożywczym przynoszą poważne straty w gospodarce człowieka • bakteriofagi wywołujące infekcje bakterii uczestniczących w krążeniu azotu w przyrodzie (bakterie brodawkowe asymilujące azot atmosferyczny) przyczyniają się do obniżenia plonów	• w inżynierii genetycznej są stosowane jako wektory przenoszące zmodyfikowane DNA dawcy do komórek biorców • wirusy wykorzystuje się do produkcji szczepionek i surowic • bakteriofagi są używane do zwalczania bakterii chorobotwórczych, szczególnie opornych na działanie antybiotyków • niektóre wirusy stosuje się w walce biologicznej, np. do zwalczania owadzich szkodników lasów

Podział wirusów

Kryterium	Charakterystyka
rodzaj komórki gospodarza	Wirusy komórek prokariotycznych to bakteriofagi, a komórek eukariotycznych – to wirusy roślinne i zwierzęce. Przykładem bakteriofagów jest wirus atakujący pałeczkę okrężnicy czy wirus infekujący bakterie z rodzaju *Salmonella* i *Shigella*. Wirusy roślinne to m.in. wirus mozaikowatości tytoniu, wirus kędzierzawki truskawek, a zwierzęce – wirus wywołujący nosówkę czy pryszczycę. Przykładem wirusów ludzkich jest wirus odry, ospy i brodawczaka ludzkiego.
rodzaj kwasu nukleinowego	Wirusy w swoim genomie mogą mieć kwas DNA lub RNA. Bakteriofagi mają jednoniciowy lub dwuniciowy DNA lub jednoniciowy RNA. Wirusy roślinne w genomie zawierają tylko RNA (jednoniciowy i dwuniciowy), a zwierzęce – zwykle DNA (jednoniciowy lub dwuniciowy) lub RNA (jednoniciowy lub dwuniciowy).
kształt wirionu oraz obecność lub brak osłonki	Osłonki z glikoproteinami decydują o specyficzności działania wirusów. Wirusami o wysokiej specyficzności są wirusy zwierzęce, pasożytujące tylko w określonych komórkach, np. wirus polio wywołujący paraliż dziecięcy atakuje wyłącznie komórki nerwowe oraz bakteriofagi.
sposób infekcji komórek gospodarza	Bakteriofagi wstrzykują materiał genetyczny do wnętrza komórki bakterii, pozostawiając kapsyd na zewnątrz. Natomiast wirusy zwierzęce w całości wnikają do komórki gospodarza. Wirusy roślinne dostają się do komórek roślinnych przez uszkodzenia mechaniczne powstałe w ścianie komórkowej.

Wirusy onkogenne

Retrowirusy i niektóre wirusy DNA poprzez długotrwałe zakażenia mogą prowadzić do rozwoju chorób nowotworowych. Ich działanie prowadzi do stałego wzrostu komórek bez ich starzenia – **transformacji** oraz do **unieśmiertelniania komórek**. Transformowane komórki zmieniają swój wygląd i metabolizm. Unieśmiertelnianie komórek wirusy przeprowadzają przez:

- aktywację lub wprowadzenie genów stymulujących wzrost komórek, np. ludzki wirus opryszczki 8 (HHV8) prowadzi do rozwoju mięsaka Kaposiego (nowotwór tkanek miękkich często pojawiający się u osób o obniżonej odporności, a także u osób chorujących na AIDS);
- usuwanie naturalnych procesów, które hamują syntezę DNA i podziały komórkowe, np. wirus brodawczaka, który koduje białka pobudzające podziały i wzrost komórek;
- zapobieganie apoptozie, np. wirus Epsteina-Barr (wywołującego m.in. mononukleozę zakaźną czy raka jamy nosowo-gardłowej) pobudza ekspresję jednego z onkogenów komórkowych, który chroni przed programowaną śmiercią komórki;
- dostarczanie regulatorów wzrostu i rozwoju – cytokinin, np. ludzki wirus białaczki limfocytów T (HTLV) koduje białko aktywujące ekspresję genów pobudzających wzrost cytokinin stymulujących wzrost komórek;
- wirusy onkogenne, takie jak HTLV, HBV, HCV, wirusy brodawczaka 16, 18, HHV8 i wirus Epsteina-Barr są przyczyną ok. 15% nowotworów człowieka.

Wybrane choroby wirusowe człowieka

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

Nazwa choroby	Drogi zarażenia	Objawy	Zapobieganie
AIDS (zespół nabytego upośledzenia odporności) ludzki wirus niedoboru odporności (HIV)	bezpośredni kontakt z krwią osoby chorej, kontakty seksualne z osobami zarażonymi, transfuzje krwi, zarażenie dziecka przez chorą matkę podczas ciąży, porodu lub karmienia piersią	pierwsze objawy przypominające grypę, drugi etap trwający nawet kilkanaście lat bezobjawowy, kolejny to okres pełnoobjawowy: osłabienie układu odpornościowego, co skutkuje wzrostem zachorowań na niektóre typy nowotworów (np. nowotwór złośliwy skóry – mięsak Kaposiego), zapalenie płuc, gruźlicę, grzybicę	zachowanie zasad higieny, unikanie ryzykownych zachowań seksualnych, używanie prezerwatyw, stosowanie jednorazowych strzykawek, sterylizacja sprzętu medycznego
grypa • wirus A – zaraża ptaki, świnie, konie i człowieka • wirus B – zaraża człowieka • wirus C – zaraża człowieka i świnie	droga kropelkowa (oddechowa)	bóle głowy, mięśni i stawów, dreszcze, wysoka gorączka, kaszel, katar; może prowadzić do wystąpienia powikłań, takich jak zapalenie oskrzeli, płuc, mięśnia sercowego, u osób starszych może doprowadzić do śmierci	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi ludźmi i zwierzętami, dużych skupisk ludzkich
odra wirus odry	droga kropelkowa (oddechowa)	choroba wieku dziecięcego (3–5 lat), pierwsze objawy to ból gardła, zapalenie błony śluzowej nosa i spojówek, wysoka gorączka, następnie pojawia się charakterystyczna różowa wysypka, a czasami objawy zapalenia oskrzeli i płuc	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi
ospa wietrzna wirus ospy wietrznej (VZV)	droga kropelkowa (oddechowa), bezpośredni kontakt z osobą chorą	choroba wieku dziecięcego; może pojawić się u osób dorosłych w znacznie cięższej postaci, wysoka gorączka, ból głowy, charakterystyczna swędząca wysypka na skórze i rzadziej na błonach śluzowych	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi
różyczka wirus różyczki	droga kropelkowa	choroba wieku dziecięcego; może pojawić się u osób dorosłych w znacznie cięższej postaci, szczególnie niebezpieczna dla kobiet w ciąży (wirus powoduje wady rozwojowe płodu), powiększenie węzłów chłonnych, bladoróżowa wysypka, gorączka	szczepienia ochronne dzieci, dziewcząt, kobiet w wieku rozrodczym
świnka wirus świnki	droga kropelkowa	choroba wieku dziecięcego; ból głowy i mięśni, gorączka, obrzęk i ból ślinianek przyusznych, u nastolatków i dorosłych mężczyzn może jako powikłanie doprowadzić do zapalenia jąder, co grozi bezpłodnością	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi
choroba Heinego-Medina (wirusowe zapalenie rogów przednich rdzenia kręgowego, ostre nagminne porażenie dziecięce) wirus polio	droga pokarmowa lub kropelkowa	choroba wieku dziecięcego, zaburzenia pracy układu nerwowego, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, zapalenie mózgu, porażenie kończyn, często przebiega bezobjawowo	szczepienia ochronne, przestrzeganie zasad higieny

Nazwa choroby	Drogi zarażenia	Objawy	Zapobieganie
zakażenie wirusem HPV (brodawczaka ludzkiego)	droga płciowa, bezpośredni kontakt z naskórkiem chorego	zmiany na skórze i błonach śluzowych, kurzajki, brodawki, rak szyjki macicy	szczepienia ochronne dziewcząt i młodych kobiet, stosowanie prezerwatyw, unikanie kontaktu z zarażonym naskórkiem (szczególna ostrożność na basenach, pływalniach, pod prysznicem w tych miejscach – noszenie ochronnego obuwia)
wirusowe zapalenie wątroby typu A (WZW typu A, choroba brudnych rąk), wirus zapalenia wątroby typu A (HAV)	droga pokarmowa	bóle głowy, osłabienie, nudności, wymioty, gorączka, bóle brzucha, mięśni i stawów, czasem żółtaczka jako objaw zapalenia wątroby (zażółcenie białkówki oczu, skóry i błon śluzowych), nie stanowi zagrożenia życia	szczepienia ochronne, zachowanie podstawowych zasad higieny
wirusowe zapalenie wątroby typu B (WZW typu B, żółtaczka wszczepienna) wirus zapalenia wątroby typu B (HBV)	bezpośredni kontakt z krwią chorego, transfuzja krwi, zabiegi medyczne, możliwość zarażenia płodu przez chorą matkę podczas porodu, kontakty seksualne	objawy podobne jak przy WZW typu A, w postaci przewlekłej prowadzi do żółtaczki, marskości wątroby, a nawet do śmierci	szczepienia ochronne
wirusowe zapalenie wątroby typu C (WZW typu C) wirus zapalenia wątroby typu C (HCV)	głównie kontakt z krwią chorego, rzadko kontakty seksualne	głównie przebiega bezobjawowo, prowadzi do marskości wątroby lub pierwotnego raka wątroby	unikanie kontaktu z krwią zakażoną wirusem, brak skutecznej szczepionki
gorączka krwotoczna różne grupy wirusów	ukąszenia przez komary czy kleszcze, droga kropelkowa, kontakt z osobami chorymi	wysoka gorączka, dreszcze, bóle mięśni i stawów, krwotoki wewnętrzne, krwawienia z błon śluzowych, zaburzenia krzepliwości krwi, niektóre typy gorączki mogą prowadzić do śmierci	przestrzeganie higieny, ochrona przed ukąszeniem przez owady, unikanie kontaktów z osobami chorymi
zespół ostrej ciężkiej niewydolności oddechowej (SARS) koronawirus SARS-CoV	droga kropelkowa, kontakt z osobami chorymi	gorączka, osłabienie, bóle mięśni, zaburzenia żołądkowo-jelitowe, kaszel, ból gardła, duszności, nietypowe zapalenie płuc	brak skutecznych środków w leczeniu choroby, unikanie kontaktów z osobami chorymi

Leczenie chorób wirusowych

Choroby wirusowe nie powinny być leczone za pomocą antybiotyków antybakteryjnych. Ich stosowanie może obniżyć odporność organizmu i wywołać negatywne skutki uboczne. Znaczna część ludzkich chorób wirusowych jest zwalczana przez układ odpornościowy. Organizm produkuje białko odpornościowe – **interferon**, które hamuje namnażanie się wirusów w komórkach. Skuteczną metodą walki z wirusami są **szczepionki**. Są to preparaty zawierające żywe, o osłabionej zjadliwości lub zabite drobnoustroje lub ich fragmenty czy produkty przemiany materii. Działają one stymulująco na układ odpornościowy, który produkuje odpowiednie przeciwciała przeciw określonemu drobnoustrojowi. Dzięki szczepionkom w XX w. udało się całkowicie wyeliminować wiele chorób wirusowych, np. ospę wietrzną czy chorobę Heinego-Medina, a także zmniejszyć zachorowalność na wiele ciężkich i groźnych chorób wirusowych wieku dziecięcego.

Szczególnie ważne są szczepienia przeciw wirusom o dużej zdolności do mutacji materiału genetycznego. Przykładem jest wirus grypy, który może wywołać **grypę pandemiczną** – występującą co kilkanaście lub kilkadziesiąt lat w postaci **epidemii** (duża zachorowalność w określonym czasie na danym terenie) na całym świecie, np. grypa świńska czy ptasia grypa. W związku z tworzeniem nowych odmian przez wirusa grypy zaleca się szczepienia ochronne co roku. W przypadku niektórych wirusów, np. wścieklizny, stosuje się surowice odpornościowe, czyli osocze krwi pozbawione fibrynogenu. Uzyskuje się je od organizmów zaszczepionych przeciwko danemu wirusowi lub takich, które przeszły chorobę. Skuteczne w leczeniu infekcji wirusowych są także leki przeciwwirusowe, które działają na enzymy cyklu namnażania wirusów. Hamując ich ekspresję, zapobiegają uwalnianiu kolejnych wirusów, np. leki przeciwko wirusowi HIV zatrzymują działanie enzymu odwrotnej transferazy.

Wiroidy i priony

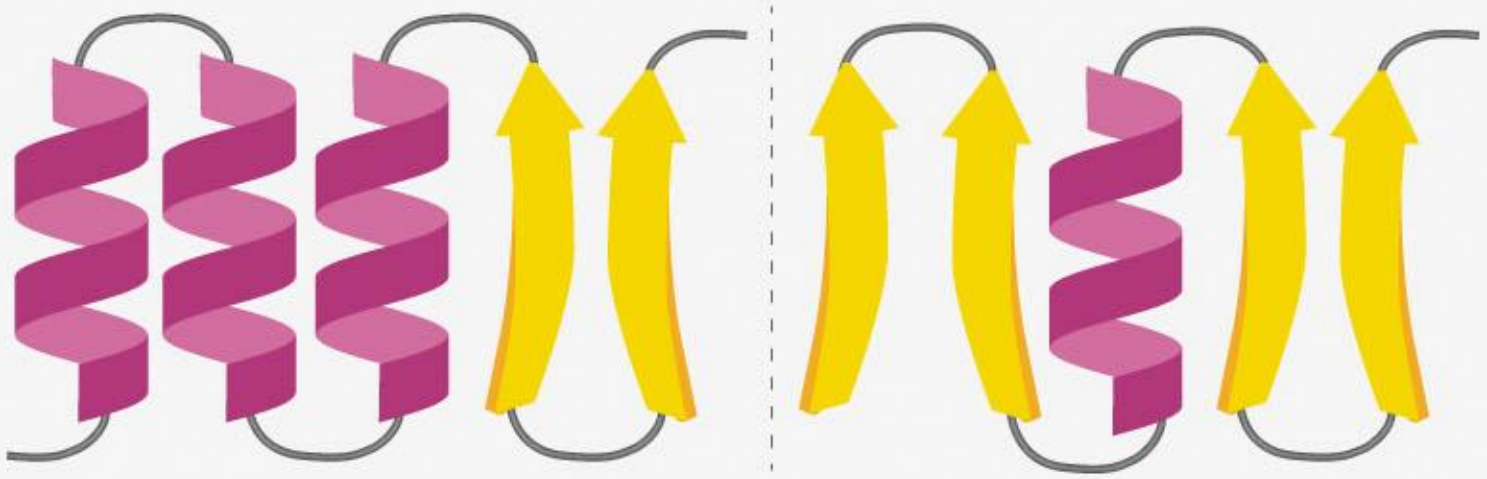
Wiroidy i **priony** są najprostszymi bezkomórkowymi formami zakaźnymi. **Wiroidy** to koliste cząsteczki RNA. Mają zdolność do replikacji, podczas której korzystają z enzymów komórki gospodarza.

Priony są zakaźnymi cząsteczkami białka. Pod wpływem nieznanych dotychczas czynników prawidłowa forma białka oznaczonego symbolem PrP^{c} zamienia się w formę chorobotwórczą – oznaczaną symbolem PrP^{sc}, która zmienia swoją strukturę przestrzenną z α-helisy na strukturę ß-kartki. Białka prionowe powodują przechodzenie kolejnych cząsteczek białek prawidłowych w cząsteczki białka infekcyjnego. Choroby człowieka wywoływane przez priony mogą mieć podłoże genetyczne lub nabyte, mogą też pojawiać się sporadycznie. Człowiek zaraża się prionami głównie drogą pokarmową (zjadając mięso zakażonych zwierząt), przez przeszczep zakażonej tkanki, kontakty z zanieczyszczonymi narzędziami medycznymi. Priony są bardzo odporne na zniszczenie (wysoka temperatura, środki chemiczne, promieniowanie jonizujące), nie giną nawet podczas gotowania. Dotychczas nie ma skutecznej terapii farmakologicznej zwalczającej priony. Łączenie się innych białek z prionami w agregaty może być przyczyną choroby Alzheimera, Huntingtona czy Parkinsona.

Porównanie cech wirusów, wiroidów i prionów

Cechy	Wirusy	Wiroidy	Priony
materiał genetyczny	DNA lub RNA	RNA (kolista, jednoniciowa cząsteczka)	brak
białkowa osłonka	obecna	brak	brak
białko jako czynnik zakaźny	brak	brak	obecne
budowa komórkowa	brak		
przeprowadzają procesy metabolizmu	brak		
namnażają się tylko w organizmie gospodarza	namnażają się		
rodzaj gospodarza, którego infekują	wszystkie organizmy	rośliny	zwierzęta (ssaki, ptaki, niektóre owady), komórki drożdży
przykłady chorób, które wywołują	odra, ospa, grypa, świnka, choroba Heinego-Medina, wścieklizna, rak szyjki macicy	wrzecionowatość bulw ziemniaka, smugowatość liści lucerny, choroba palm kokosowych (kadang-kadang)	encefalopatie gąbczaste (choroba szalonych krów BSE, choroba scrapie u owiec i kóz, pasażowalna encefalopatia norek, przewlekła wyniszczająca choroba osłów, jeleni i łosi), u człowieka – choroba Creutzfeldta-Jacoba (przedstarcze otępienie CJD), kuru („śmiejąca się śmierć"), śmiertelna rodzinna bezsenność (FFI), zespół Gerstmanna-Sträusslera-Scheinkera (GSS)

Białko prawidłowe i infekcyjne białko prionowe

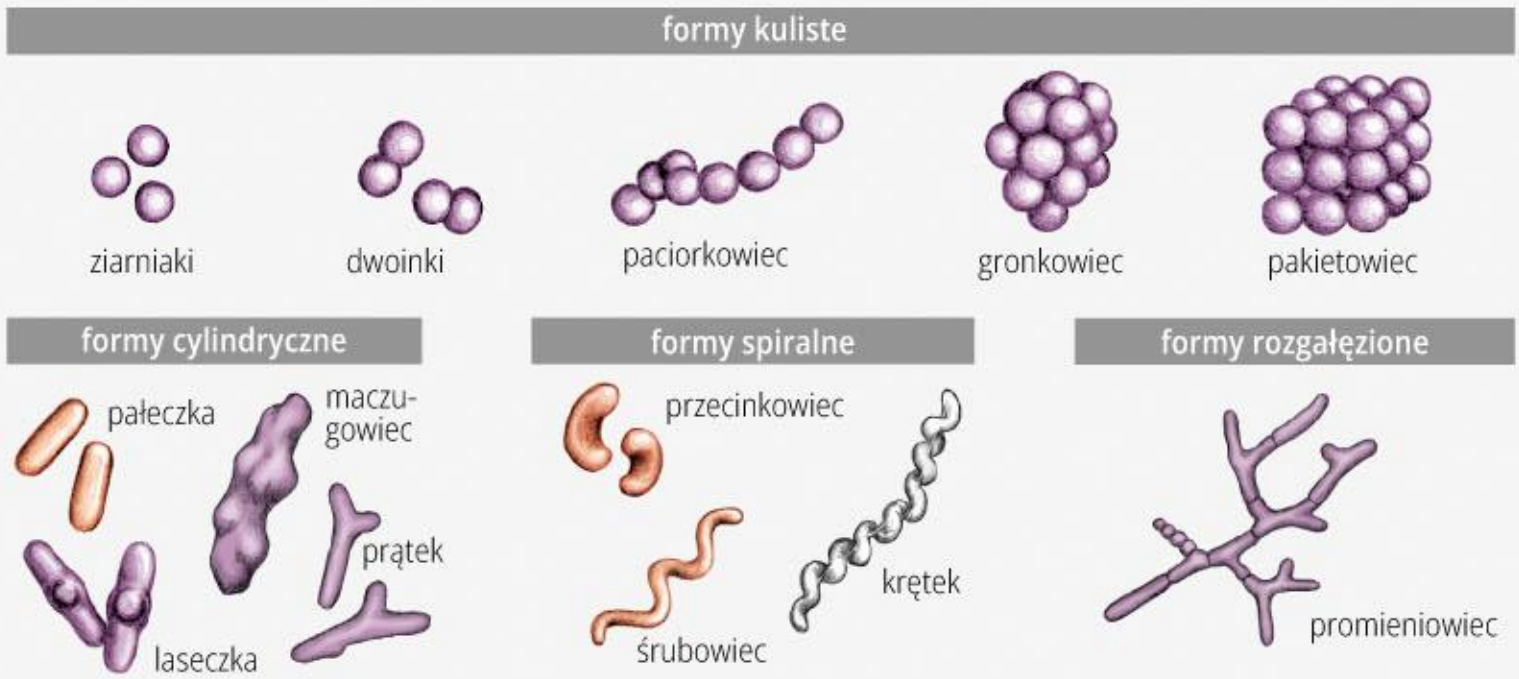


4.3. Bakterie

Bakterie są jednokomórkowymi organizmami prokariotycznymi. Ich komórki o niewielkich rozmiarach – od 0,5 do 750 µm – są pozbawione jądra komórkowego i mają uproszczoną budowę. Występują we wszystkich środowiskach – wodach słodkich, morzach i oceanach, glebie, w powietrzu, gdzie tworzą formy przetrwalnikowe, wewnątrz i na powierzchni innych organizmów. Zasiedlają także środowiska niedostępne dla innych organizmów, takie jak gorące źródła, solanki, pokrywy lodowe obszarów okołobiegunowych, kominy hydrotermalne. Dlatego bakterie nazywamy **organizmami kosmopolitycznymi**.

Kształt bakterii

Występują w postaci pojedynczej komórki lub skupień – kolonii. Komórki w zależności od kształtu przyjmują trzy podstawowe formy: kuliste, cylindryczne i spiralne. Odmienny kształt przyjmują formy rozgałęzione.



Najprostszą formą bakterii są bakterie kuliste, które mogą występować pojedynczo jako ziarenkowce (*coccus*) lub połączone w pary – dwoinki (*diplococcus*), w długie sznury – paciorkowce (*streptococcus*), nieregularne skupiska w kształcie kiści winogron – gronkowce (*staphylococcus*) lub sześcianów – pakietowce (*micrococcus*). Wśród form cylindrycznych wyróżnia się bakterie tworzące przetrwalniki – laseczki (*bacillus*), bez przetrwalników – pałeczki (*bacterium*) oraz nieregularnie cylindryczne przypominające maczugę – maczugowce (*corynebacterium*) oraz zakrzywione pałeczki – prątki (*mycobacterium*).

Do bakterii spiralnych zalicza się spiralnie skręcone przecinkowce (*vibro*), śrubowce z kilkoma spiralnymi skrętami (*spirillum*) oraz krętki z wielokrotnymi skrętami (*spirochaeta*). Bakterie mogą także przyjmować kształty rozgałęzione przypominające strzępki grzybów – promieniowce (*actinomyces*).

Komórki bakterii

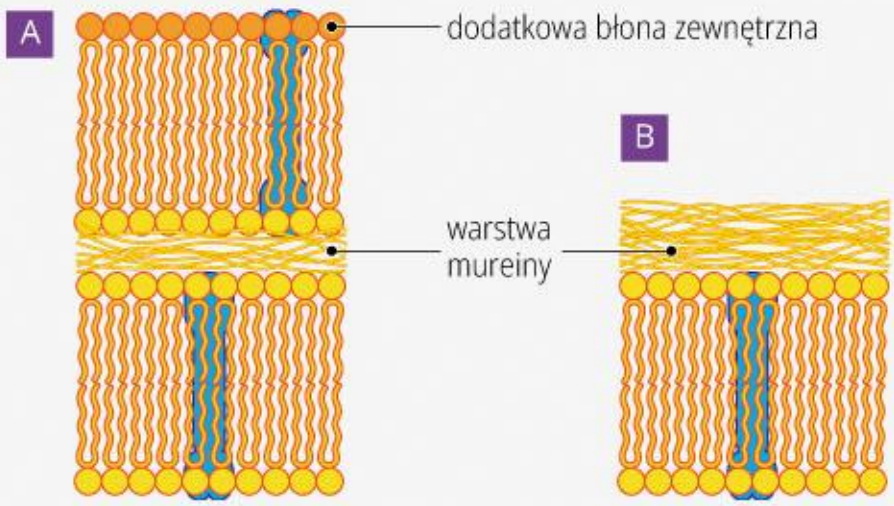
	Budowa	Funkcje
Ściana komórkowa	• występuje u większości bakterii • zbudowana z **mureiny** (peptydoglikanu) – substancji białkowo-cukrowej • różnice w grubości ściany i reakcji na różne związki chemiczne pozwoliły na podział bakterii na dwa rodzaje: **bakterie Gram-ujemne** i **bakterie Gram-dodatnie**	• stanowi barierę ochronną • nadaje kształt komórkom • chroni komórki bakterii przed pęknięciem w środowisku hipotonicznym
Otoczka lub warstwa śluzowa	• występuje u niektórych bakterii • zbudowana z polisacharydów, polipeptydów lub białek	• chroni bakterie chorobotwórcze przed fagocytozą komórek układu odpornościowego żywiciela • chroni bakterie wolnożyjące przed wysychaniem (poprzez wchłanianie wody ze środowiska) • ułatwia przyczepianie się bakterii do podłoża lub innych bakterii (adhezję)
Rzęski i fimbrie	• występują u niektórych bakterii • **rzęski** są cylindrycznymi, nitkowatymi wyrostkami o innej budowie niż wici komórek eukariotycznych, są zbudowane z cząsteczek białka flageliny i zakotwiczone w błonie i ścianie komórkowej • **fimbrie** są białkowymi wyrostkami zbudowanymi z białka piliny, są cieńsze, krótsze i bardziej sztywne niż rzęski	• rzęski służą do aktywnego poruszania się bakterii • fimbrie ułatwiają przymocowywanie się bakterii do różnych powierzchni lub innych bakterii; fimbrie płciowe (fimbrie, F, F pili) uczestniczą w procesie koniugacji
Błona komórkowa	• zbudowana według modelu płynnej mozaiki komórki eukariotycznej • zawiera mniejszą różnorodność fosfolipidów i brak jest cholesterolu • błona tworzy **wewnątrzkomórkowe wpuklenia** (dawne określenie mezosomy) • u samożywnych bakterii fotosyntetyzujących z wpuklających się fragmentów błony komórkowej powstają **ciała chromatoforowe** (tylakoidy, zawierają barwniki fotosyntetyczne, np. **bakteriochlorofil** oraz odpowiednie kompleksy enzymów)	• oddziela komórkę bakterii od środowiska zewnętrznego • stanowi barierę ochronną • umożliwia transport pierwiastków, substancji odżywczych i produktów metabolizmu między komórką a otoczeniem • zachodzą w niej niektóre etapy oddychania komórkowego i fotosyntezy
Cytozol	• nie ma zdolności ruchu • znajdują się w nim czynne struktury biologiczne: nukleoid, plazmidy, rybosomy, materiały zapasowe • pozbawiony takich struktur jak siateczka wewnątrzplazmatycznna, aparat Golgiego, mitochondrium	• wypełnia wnętrze komórki bakterii • gromadzą się w nim materiały zapasowe – **glikogen, wolutyna**, a u sinic – **skrobia sinicowa**
Genofor	• chromosom bakteryjny – zwany też genoforem • **genofor** tworzy pojedyncza, koliście zamknięta cząsteczka dwuniciowego DNA położona w cytozolu. Obszar cytozolu z chromosomem bakteryjnym nazywany jest **nukleoidem**	• pełni funkcję jądra komórkowego komórek eukariotycznych
Plazmidy	• koliście zamknięte cząsteczki DNA	• odpowiadają za niektóre cechy bakterii, m.in. odporność bakterii na antybiotyki, za syntezę niektórych metabolitów oraz wytwarzanie plazmidów płciowych odpowiedzialnych za koniugację

	Budowa	Funkcje
Rybosomy	• o stałej sedymentacji 70 S • mniejsze od rybosomów eukariotycznych	• biorą udział w biosyntezie białka
Tylakoidy	• struktury blaszkowate powstałe z błony komórkowej, występujące tylko u bakterii fotosyntetyzujących	• zachodzą w nich etapy procesu fotosyntezy

Różnice w budowie i grubości ściany komórkowej bakterii

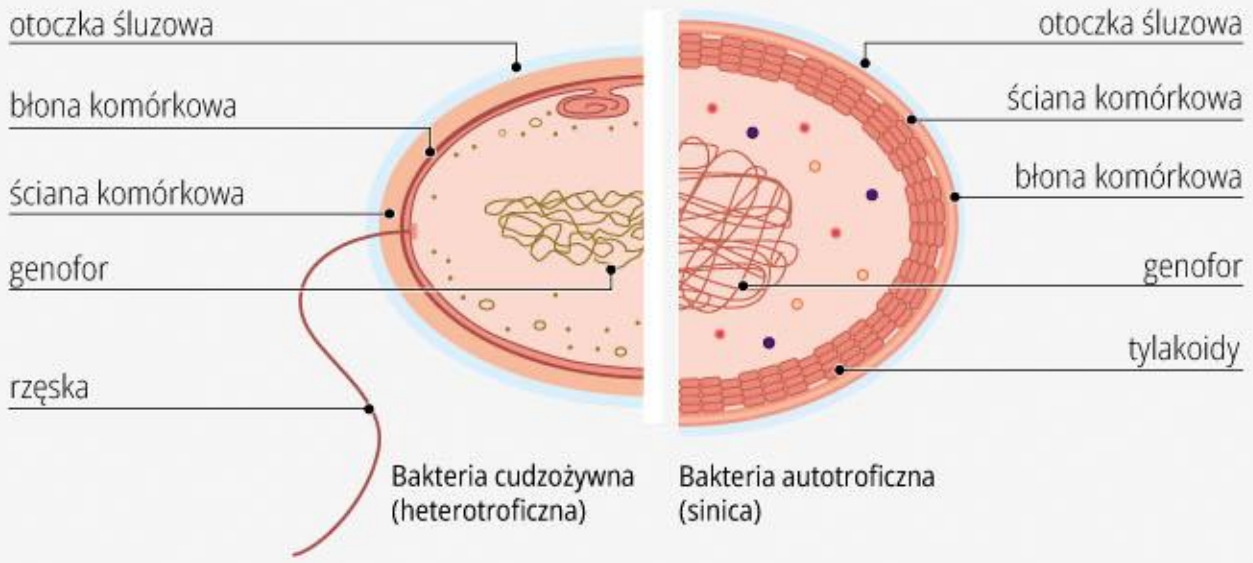
Bakterie Gram-ujemne	Bakterie Gram-dodatnie
• cienka ściana komórkowa złożona tylko z jednej warstwy mureiny (2–10 nm) • brak w niej kwasów tejchojowych* • na zewnątrz pokryta jest błoną zewnętrzną (białkowo-cukrowo-lipidową) chroniącą przed działaniem antybiotyków, np. penicyliną	• gruba ściana komórkowa złożona z kilku warstw mureiny (15–50 nm) • występują w niej kwasy tejchojowe • brak błony zewnętrznej

* Związki polimerowe zbudowane reszt glicerolu lub innego alkoholu związanego z grupami fosforowymi.



Schemat ściany komórkowej: A. Bakteria Gram-ujemna, B. Bakteria Gram-dodatnia

Schemat budowy komórek bakteryjnych



Podział bakterii ze względu na odżywianie

autotroficzne			
Fotoautotrofy	**fotosynteza** anoksygeniczna bez wydzielania tlenu	bakterie zielone i purpurowe barwniki asymilacyjne – **bakteriochlorofil, karotenoidy**	występują w zbiornikach wody słonej i słodkiej (**zielenice** zasiedlają strefy beztlenowe osadów dennych)
	fotosynteza oksygeniczna z wydzielaniem tlenu	sinice barwniki asymilacyjne – **chlorofil *a*, karotenoidy, czerwona fikoerytryna, niebieska fikocyjanina**	organizmy pionierskie występujące na obszarach pustynnych, na skałach, na korze drzew, w glebie, w wodach czystych i zanieczyszczonych materią organiczną, powodując w nich zakwity
Chemoautotrofy	zyskują energię z utleniania związków nieorganicznych	bakterie nitryfikacyjne, siarkowe, żelazowe, wodorowe	**bakterie nitryfikacyjne** z rodzaju ***Nitrosomonas*** – utleniają amoniak do azotanów(III) – oraz z rodzaju ***Nitrobacter*** (utleniają azotany(III) do azotanów(V), występują w glebie: bakterie siarkowe z rodzaju ***Thiobacillus*** (utleniają H_2S do S, S do SO_3^{2-}, SO_3^{2-} do SO_4^{2-}) występują w głębszych warstwach wód słodkich, słonych bagnach, źródłach siarkowych, ściekach kanalizacyjnych, matach bakteryjnych **bakterie żelazowe** (utleniają jony Fe^{2+} do Fe^{3+}) występują w wodach powierzchniowych i podziemnych, studniach, rurach wodociągowych, stacjach uzdatniania wód **bakterie wodorowe** (utleniają wodór do wody) występują w glebie
heterotroficzne			
Saprofity	rozkładają martwą materię organiczną	bakterie gnilne	laseczki z rodzaju ***Bacillus*** występujące w glebie, laseczki z rodzaju ***Clostridium*** żyjące w przewodzie pokarmowym koniowatych
Pasożyty	odżywiają się żywymi organizmami, wywołując groźne schorzenia	bakterie wywołujące choroby człowieka, zwierząt i roślin	**krętek blady** *Treponema pallidum* wywołujący kiłę, *Borrelia burgdorferi* powodująca boreliozę
Symbionty	uzyskują substancje odżywcze, korzystając z innych organizmów, którym w zamian dostarczają substancji wytworzonych przez siebie	bakterie brodawkowe	bakterie glebowe z rodzaju ***Rhizobium*** żyjące w brodawkach korzeniowych roślin motylkowych bakterie z rodzaju ***Bacteroides*** żyjące w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy

Fotosynteza anoksygeniczna

U bakterii fotosyntetyzujących beztlenowych redukcja dwutlenku węgla zachodzi przy udziale wodoru. Donorem wodoru są zredukowane związki siarki, np. H_2S:

$$CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{energia słoneczna}} CH_2O + H_2O + 2S$$

Fotosynteza oksygeniczna

U sinic podczas fotosyntezy donorem wodoru jest woda, podobnie jak u roślin.

$$CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{energia słoneczna}} CH_2O + H_2O + 2S$$

Podział bakterii ze względu na oddychanie

tlenowe		
bakterie tlenowe (aeroby)	glikoliza, reakcja pomostowa, cykl Krebsa zachodzą w cytoplazmie, łańcuch oddechowy zachodzi w błonie komórkowej	np. laseczki tlenowe z rodzaju ***Bacillus***, większość bakterii chorobotwórczych człowieka, dla których optymalna do rozwoju jest temperatura ludzkiego ciała
beztlenowe		
bakterie beztlenowe (anaeroby)	zachodzi podobnie jak oddychanie tlenowe, w którym zamiast tlenu ulega redukcji inny związek nieorganiczny, pod względem ilości energii mniej wydajne od oddychania tlenowego	np. **bakterie denitryfikacyjne**, które redukują azotany(V) do azotynów(III), a następnie do wolnego azotu (N_2)
bakterie przeprowadzające fermentację – zachodzi wyłącznie na obszarze cytozolu	alkoholowa	produktem końcowym jest etanol np. pakietowce z rodzaju ***Sarcina***
	mleczanowa	produktem końcowym jest kwas mlekowy np. pałeczki z rodzaju ***Lactobacillus***
	propionowa	produktem końcowym jest kwas propionowy np. pałeczki z rodzaju ***Propionibacterium***

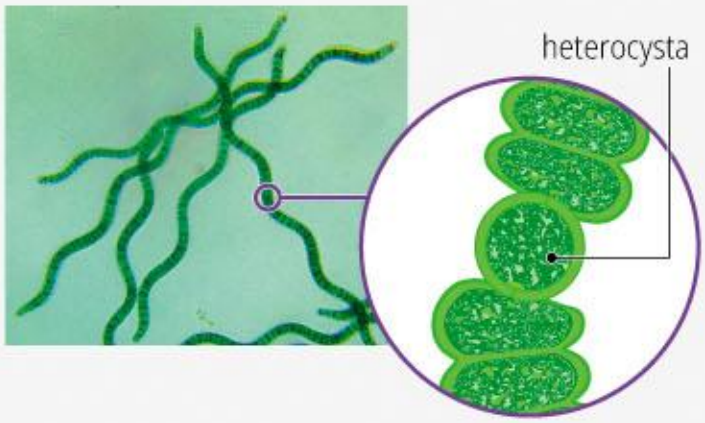
Bakterie beztlenowe mogą być **beztlenowcami bezwzględnymi** (**obligatoryjnymi**), które w obecności tlenu giną, np. laseczka jadu kiełbasianego (*Clostridium botulinum*) lub **względnymi** (**fakultatywnymi**), które mogą funkcjonować w warunkach tlenowych lub beztlenowych w zależności od warunków środowiska, np. paciorkowce – z rodzaju ***Lactococcus***, ***Enterococcus***, ***Streptococcus***.

Wiązanie azotu atmosferycznego

Zdolność wiązania azotu atmosferycznego mają symbiotyczne bakterie z rodzaju ***Rhizobium***, wolno żyjące bakterie glebowe z rodzaju ***Azotobacter*** i ***Clostridium*** oraz sinice z rodzaju ***Gloeocapsa***, ***Gloeotrichia*** i ***Nostoc***.

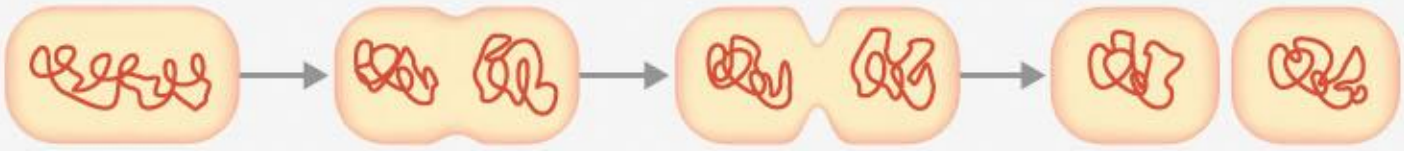
Przystosowania sinic do wiązania azotu cząsteczkowego (N_2)

- wiązanie azotu cząsteczkowego odbywa się w specjalnych komórkach, tzw. **heterocystach;**
- zawierają enzym **nitrogenezę** (działa w warunkach beztlenowych), która jest niezbędna do przeprowadzenia tego procesu;
- mają grube ściany komórkowe chroniące przed wnikaniem tlenu;
- mają uwstecznione aparat fotosyntetyczny – nie produkują tlenu;
- transport przyswojonego azotu odbywa się plazmodesmami, którymi łączą się komórki w kolonii.



Rozmnażanie bakterii

- Bakterie są organizmami haploidalnymi.
- Rozmnażają się bezpłciowo przez podział komórki, pączkowanie (tylko u niektórych) oraz fragmentację nitkowatych kolonii u sinic.
- Rozmnażanie bakterii nie prowadzi do wymiany materiału genetycznego.
- Dzieląca się komórka bakterii podwaja materiał genetyczny zawarty w genoforze, wskutek czego powstają dwie komórki potomne o takim samym materiale genetycznym, jak komórka macierzysta.
- Szybkość podziału bakterii zależy od wielkości materiału genetycznego i warunków środowiska. W optymalnych warunkach, np. w laboratorium, komórka bakteryjna może się dzielić co 2–3 godziny, a niektóre nawet co 20 min.



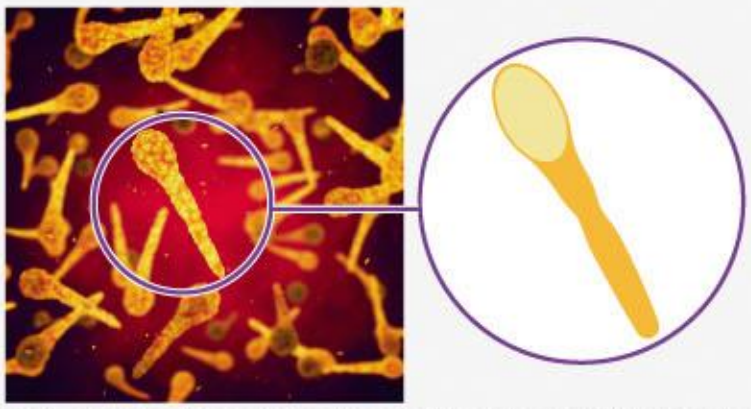
Schemat podziału komórki bakteryjnej

Formy przetrwalnikowe bakterii

Niektóre bakterie w celu przetrwania niekorzystnych warunków środowiska, np. braku wody, substancji odżywczych, działania niskiej lub wysokiej temperatury czy niekorzystnego pH, wytwarzają **przetrwalniki**. W przetrwalnikach bakterie przechodzą w stan **anabiozy** – życia utajonego, podczas którego obniżają tempo metabolizmu.

Endospory

- powstają przez wewnątrzkomórkowe zmiany w cytoplazmie prowadzące do wydzielenia mniejszej części otoczonej własną ścianą komórkową we wnętrzu komórki macierzystej;
- część komórki macierzystej ulega degeneracji;
- endospora jest niezwykle odporna na działanie niekorzystnych czynników środowiskowych, np. wysokiej czy niskiej temperatury, braku wody i substancji odżywczych, wysychania, promieni UV, niekorzystnego pH;
- tworzą je laseczki, m.in. z rodzaju *Bacillus*, *Clostridium*, *Sporosarcina*.



Endospory – formy przetrwalnikowe laseczki tężca *Clostridium tetani*

Cysty

- powstają przez odwodnienie cytoplazmy i otoczenie komórki grubą ścianą komórkową;
- są wrażliwe na wysokie temperatury;
- są odporne na wysychanie, promieniowanie ultrafioletowe i jonizujące, urazy mechaniczne;
- występują np. u bakterii z rodzaju *Azotobacter*.

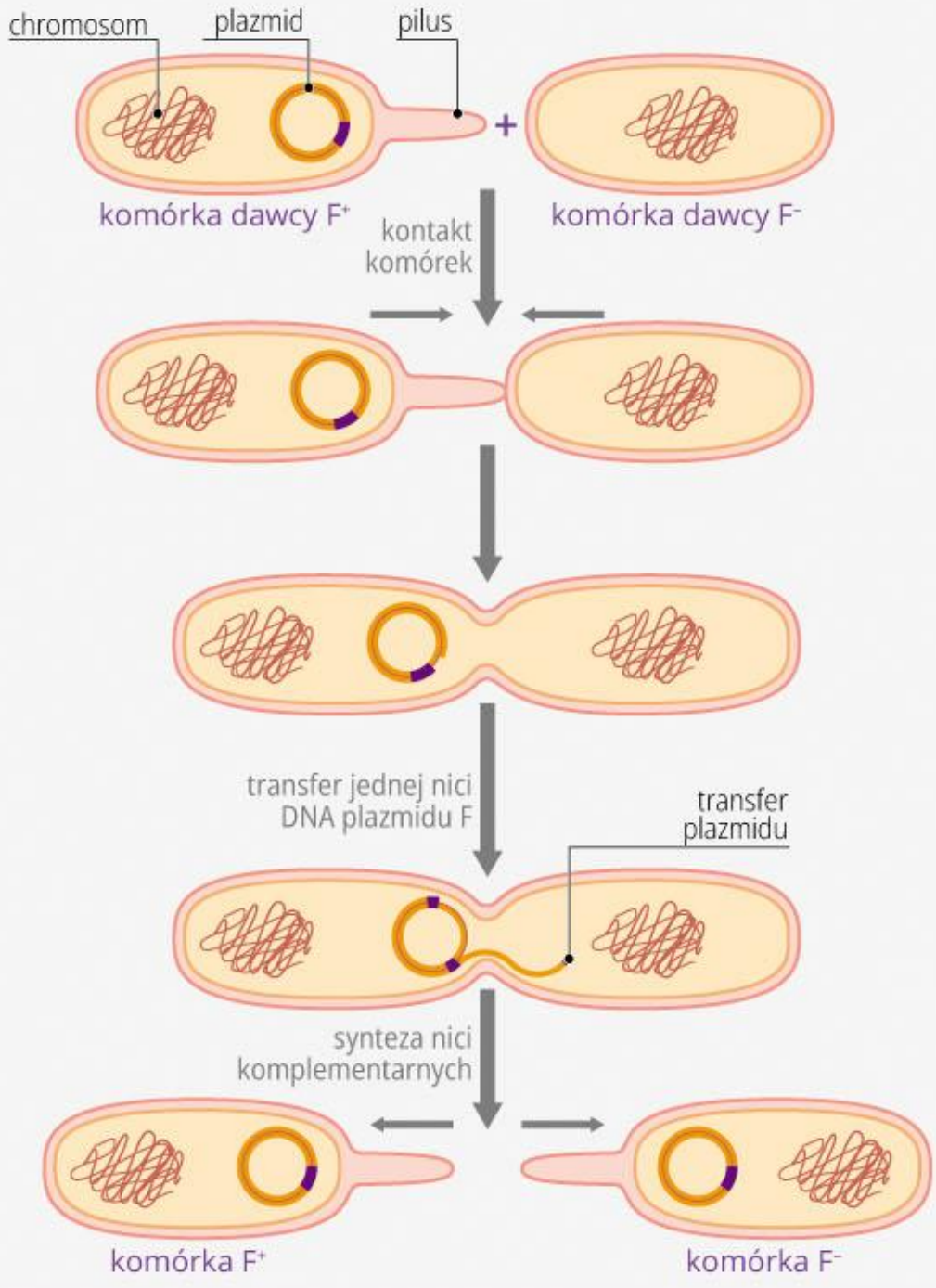
Procesy płciowe bakterii

Bakterie nie rozmnażają się płciowo, ale zachodzi u nich wymiana materiału genetycznego w **procesach płciowych**. Prowadzą one do rekombinacji materiału genetycznego bez zwiększenia liczby komórek. Zwiększenie różnorodności genetycznej bakterii pozwala przystosować się bakteriom do zmieniających się warunków środowiska.

Wyróżnia się trzy sposoby wymiany materiału genetycznego bakterii: **koniugację**, **transformację** i **transdukcję**.

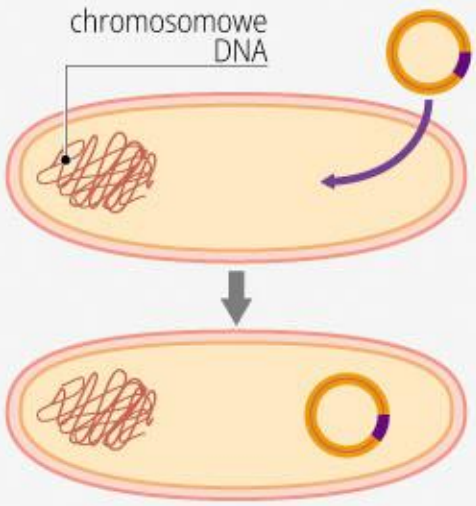
Koniugacja

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



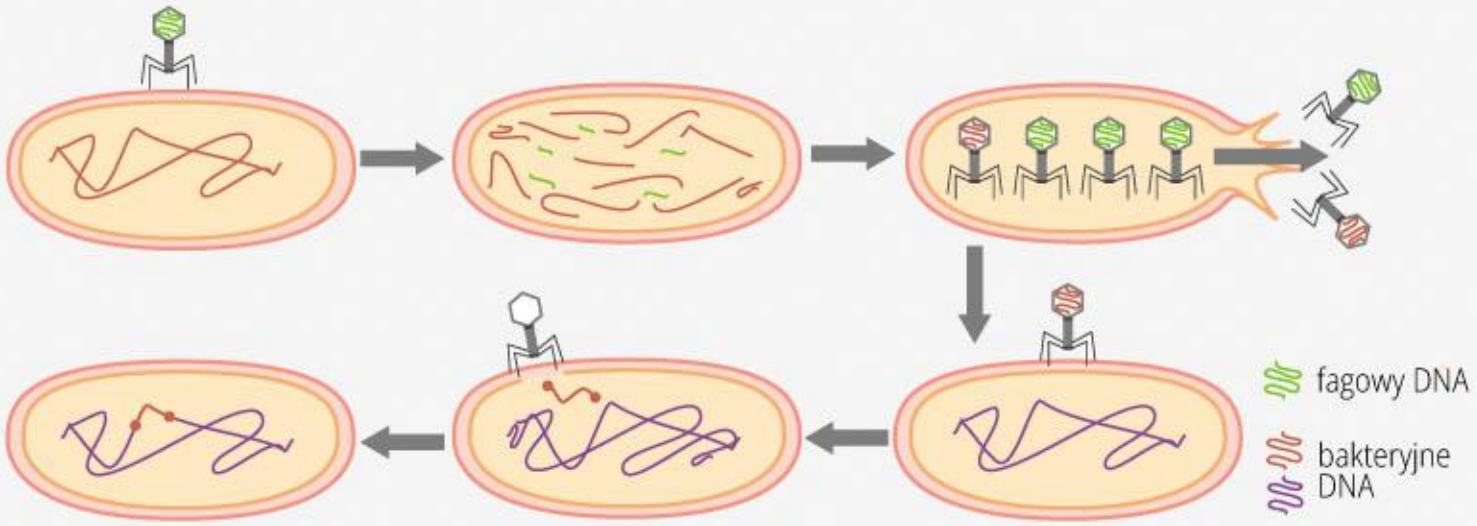
Transformacja

- Komórka bakteryjna pobiera z otoczenia **obcy DNA**, zwykle plazmidowy, i włącza go w swój materiał genetyczny.
- Komórka bakterii nabywa nowych cech, np. odporności na antybiotyki.
- Naturalną zdolność do transformacji wykazują tylko nieliczne bakterie z rodzaju *Bacillus* i *Streptococcus*.
- Sztucznie wywołana transformacja ma duże praktyczne zastosowanie w biotechnologii do m.in. do klonowania genów czy syntezy plazmidowego DNA.



Transdukcja

- Informacja genetyczna bakterii jest przekazywana za pomocą wirusów – **bakteriofagów łagodnych**.
- Wirus przenosi do chromosomu bakterii oprócz własnego DNA także fragment DNA z komórki, którą opuścił.

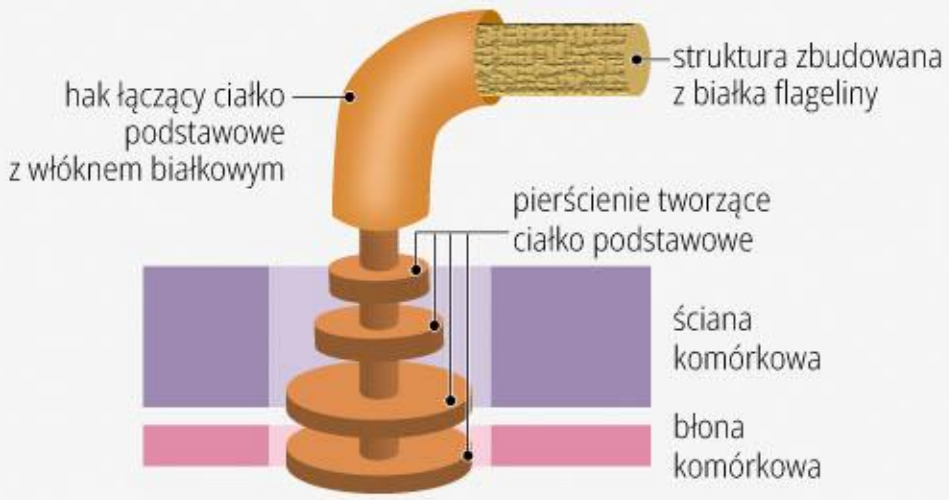


Schemat transdukcji bakterii. Materiał genetyczny bakteriofaga i bakterii zostaje rozłożony na mniejsze części przez enzymy. Niektóre nowo powstałe bakteriofagi mają DNA bakterii (zaznaczone kolorem brązowym). Bakteriofagi z DNA bakterii infekują następne bakterie. Wówczas DNA z bakterii dawcy zostaje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

Ruch komórek bakterii

- Formy osiadłe są nieruchome.
- Bakterie mające zdolność do aktywnego ruchu poruszają się za pomocą rzęsek napędzanych siłą potencjału błonowego (gradient protonowy powstający w poprzek błony komórkowej).
- Mają inną budowę niż rzęski komórek eukariotycznych, są zaczepione w błonie cytoplazmatycznej i zbudowane z kurczliwego białka flageliny, które przyjmuje postać lewoskrętnej struktury helikalnej z pustym środkiem.
- Liczba i umiejscowienie rzęsek może służyć oznaczeniom taksonomicznym i określeniu antygenowości bakterii.
- Bakterie wprawiane w ruch za pomocą rzęsek reagują pozytywnie lub negatywnie na bodźce środowiska.
- Ruch komórki bakterii w odpowiedzi na działanie bodźca nazywamy **taksją** – w kierunku bodźca **taksją dodatnią**, w stronę przeciwną – **taksją ujemną**.
- Przykładem taksji są **chemotaksje**, czyli ruchy od lub do substancji chemicznych zawartych w środowisku, dzięki którym bakterie zdobywają pokarm lub rozpoznają obecność innych komórek; **fototaksje** – reakcje na warunki świetlne; ruchy związane z warunkami termicznymi – termotaksje.

Budowa rzęski u bakterii Gram-ujemnych



Bakterie Gram-dodatnie ze względu na grubszą warstwę mureiny w ścianie komórkowej mają prostszą budowę rzęski (cieńszy i dłuższy hak, inne białko włókna i dwa pierścienie w ciałku podstawowym).

Typy urzęsienia bakterii



monotrichalne (jednorzęse) | lofotrichalne (dwubiegunowe) | peritrichalne (okołorzęse)

Systematyka bakterii

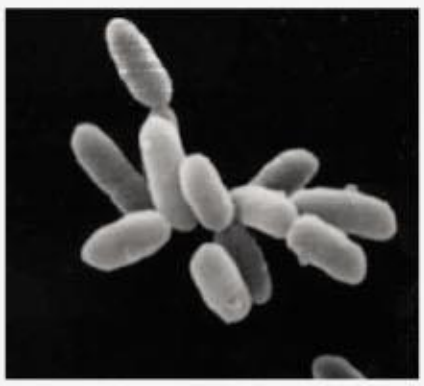
Współczesna klasyfikacja bakterii uwzględnia różnice na poziomie molekularnym: budowę kwasów nukleinowych, białek czy rybosomów. Na podstawie tych cech wyróżniono dwie domeny prokariontów:
– archeowce (*Archaea*),
– bakterie (*Bacteria*).

Różnice między archeonami a bakteriami

Archeony	Bakterie
• w ścianie komórkowej brak mureiny • na powierzchni ściany komórkowej znajduje się białkowa, ochronna warstwa S • lipidy w błonach komórkowych zbudowane z kwasów tłuszczowych rozgałęzionych • w genoforze DNA jest nawinięty na zasadowe białka histonowe • informacja genetyczna o budowie białek zapisana w sposób nieciągły z obecnością odcinków niekodujących – intronów	• w ścianie komórkowej występuje mureina • u bakterii Gram-ujemnych na powierzchni ściany komórkowej znajduje się błona zewnętrzna • lipidy w błonach komórkowych zbudowane z kwasów tłuszczowych nierozgałęzionych • w genoforze DNA jest nawinięty na zasadowe białka niehistonowe • informacja genetyczna o budowie białek zapisana w sposób ciągły – brak intronów

Przedstawiciele Archeonów

ekstremofile – żyjące w środowiskach ekstremalnych:
– **haliofile** – żyjące w środowiskach silnie zasolonych, np. w Morzu Martwym czy Wielkim Jeziorze Słonym w Stanach Zjednoczonych;

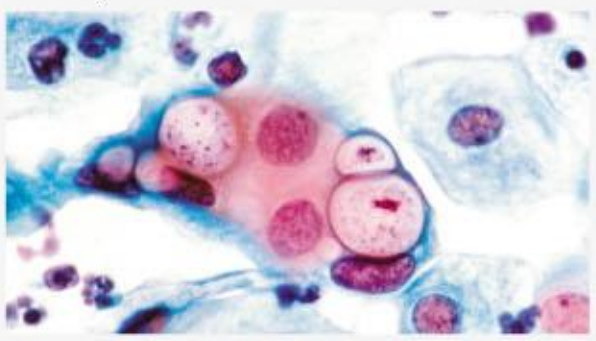


– **termofile** – żyjące w gorących źródłach (temp. ponad 100°C), np. w źródłach wulkanicznych czy w pobliżu kominów hydrotermalnych na dnie Oceanu Spokojnego.

Halobacterium sp. **– halofilne archeowce, występujące w większości środowisk o dużym zasoleniu, wilgotności i dostępności materii organicznej.**

Przedstawiciele Bakterii

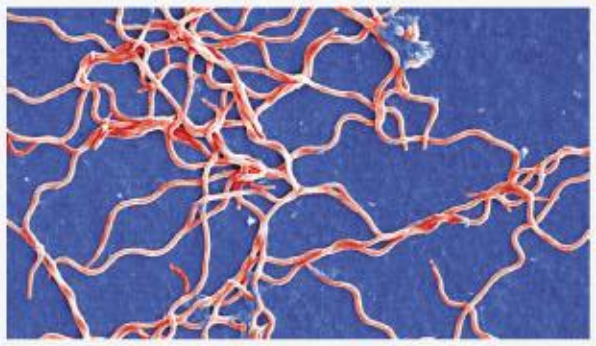
Chlamydie



Przykładem gatunków pasożytniczych są *Chlamydia trachomatis* przenoszona drogą płciową, wywołująca ślepotę i zapalenie cewki moczowej, oraz *Chlamydia pneumoniae* przenoszona droga kropelkową, wywołująca zapalenie płuc.

Chlamydia trachomatis (barwiona mikrofotografia TEM)

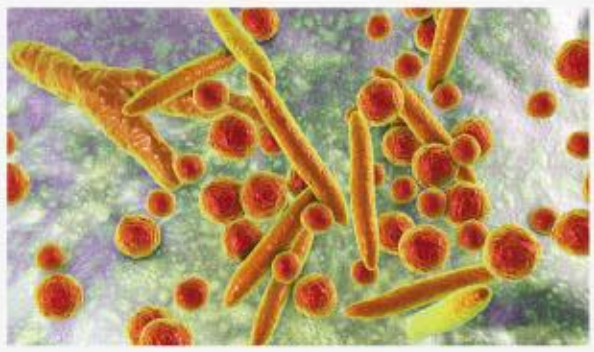
Krętki



Przykładem gatunków pasożytniczych są *Treponema pallidum* – krętek blady wywołujący kiłę – i krętek wywołujący boreliozę.

Borrelia burgdorferi wywołuje boreliozę (mikrofotografia TEM)

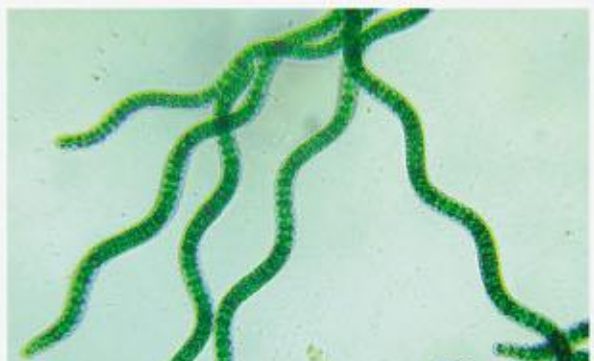
Mykoplazmy



Najmniejsze bakterie, komensale i pasożyty chorobotwórcze człowieka, a także licznych gatunków zwierząt.

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

Sinice



To nitkowate samożywne bakterie mające zdolność przyswajania azotu atmosferycznego. Są organizmami pionierskimi występującymi na obszarach pustynnych, na skałach, na korze drzew, w glebie, w wodach czystych i zanieczyszczonych materią organiczną, powodują w nich zakwity (masowy pojaw fitoplanktonu spowodowany zwiększonym dopływem substancji organicznych i mineralnych do wody ze ściekami komunalnymi czy nawozami sztucznymi, prowadzący do spadku zawartości tlenu, który powoduje śmierć wielu organizmów, m.in. ryb). Niektóre sinice budują z grzybami plechy porostów.

Spirulina, przedstawiciel słodkowodnych sinic nitkowatych

Znaczenie bakterii

1. Bakterie biorą udział w **krążeniu pierwiastków w przyrodzie**, głównie węgla, azotu, siarki i fosforu (uczestniczą w cyklach biogeochemicznych – krążeniu pierwiastka między organizmem żywym a nieorganicznym środowiskiem).
2. W łańcuchu pokarmowym pełnią funkcję **destruentów** rozkładających martwą materię organiczną do prostych związków nieorganicznych, które rośliny wykorzystują do przeprowadzenia fotosyntezy.
3. Niektóre bakterie uczestniczą w przemianach związków azotu – **procesie nitryfikacji** (utlenianiu amoniaku i soli amonowych do azotanów(III) i azotanów(V), które są pobierane przez rośliny) i **denitryfikacji** (redukcja azotanów(III) i azotanów(V) do wolnego azotu atmosferycznego).
4. Bakterie mające zdolność **wiązania azotu atmosferycznego** z rodzaju *Rhizobium* żyją w symbiozie z korzeniami roślin motylkowych, wpływają korzystnie na ich wzrost i rozwój, a także wzbogacają glebę w związki azotu.
5. Bakterie glebowe przekształcają glebę, wzbogacając ją w próchnicę, przewietrzając i zwiększając zdolności gleby do zatrzymywania wody.
6. Bakterie (z rodzaju *Bacteroides*) żyją w symbiozie ze zwierzętami roślinożernymi, zasiedlając ich przewody pokarmowe, ułatwiają trawienie i rozkład celulozy.
7. Bakterie symbiotyczne żyjące w przewodzie pokarmowym człowieka (*Escherichia coli*) produkują witaminy: K i z grupy B.
8. Bakterie są źródłem pożywienia dla niektórych organizmów, m.in. protistów i parzydełkowców.

9. W przemyśle spożywczym są **wykorzystywane do produkcji** serów, jogurtów, kefirów, kiszonej kapusty, ogórków oraz do produkcji alkoholu etylowego, wina, piwa.
10. Bakterie są także stosowane w produkcji artykułów przemysłowych, np. kauczuku, tytoniu, jedwabiu czy produktów bawełnianych.
11. Bakterie biorą udział w tworzeniu ropy naftowej, rud żelaza, saletry amonowej i siarki.
12. W przemyśle farmaceutycznym bakterie są stosowane do **produkcji szczepionek**, **antybiotyków** (streptomycyna, tetracyklina), surowic, witamin (B_{12}, C).
13. Niektóre zmodyfikowane genetycznie bakterie są wykorzystywane do produkcji aminokwasów, hormonów (wzrostu, insuliny) czy węglowodanów (dekstranu – głównego składnika płynu krwiozastępczego zwiększającego objętość osocza i zmniejszającego lepkość krwi).
14. Bakterie stosuje się do produkcji **biogazu** (jest wytwarzany przez bakterie żyjące w oborniku, podczas fermentacji beztlenowej) jako źródła energii do napędzania pojazdów czy ogrzewania domów.
15. Bakterie są wykorzystywane w rolnictwie do produkcji kiszonek paszowych, a rośliny motylkowe dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi asymilującymi azot atmosferyczny są stosowane jako zielony nawóz.
16. Niektóre bakterie mające zdolność do rozkładu szkodliwych substancji wykorzystuje się w procesie bioremediacji do oczyszczania wody i gleby z zanieczyszczeń będących efektem działalności człowieka (np. ropy naftowej i jej produktów, detergentów czy środków ochrony roślin).
17. Niektóre bakterie są stosowane jako **enzymy restrykcyjne** („nożyczki genetyczne" do cięcia określonych sekwencji kwasu DNA) w inżynierii genetycznej.
18. Z ciepłolubnych bakterii uzyskuje się enzym wykorzystywany do syntezy w dużej ilości kwasu DNA w warunkach laboratoryjnych (metoda PCR – łańcuchowa reakcja polimerazy).
19. Bakterie saprobiontyczne powodują psucie wielu artykułów spożywczych i przemysłowych (m.in. drewna, papieru, włókien). Bakterie siarkowe produkujące kwas siarkowy niszczą budynki (mury, cegły, zaprawę murarską) oraz konstrukcje żelazne.
20. Bakterie pasożytnicze wywołują **liczne choroby** człowieka, zwierząt i roślin. Prowadzi to do wyniszczenia organizmu człowieka, a w przypadku roślin i zwierząt wykorzystywanych gospodarczo przez człowieka zmniejsza plony i liczebność hodowli.
21. Niektóre bakterie mają zdolność tworzenia **biofilmu**, czyli kolonii złożonej z kilku lub kilkunastu gatunków, która przylega do stałych powierzchni. Takie struktury są mniej odporne na działanie antybiotyków, antyseptyków (substancji odkażających) czy mechanizmów obronnych człowieka i są źródłem m.in. psucia się zębów czy wielu zakażeń szpitalnych (osiedlają się m.in. na powierzchni implantów sercowych, cewników, rozruszników serca, protez naczyniowych i ortopedycznych).
22. Niektóre gatunki bakterii lub wydzielane przez nie toksyny są wykorzystywane jako broń biologiczna, np. laseczki wąglika.

Wybrane choroby bakteryjne człowieka

Choroba	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
borelioza (krętek *Borrelia burgdorferi*)	ugryzienie przez kleszcza, który jest nosicielem bakterii	I stadium (1–3 tygodnie od ukąszenia) – wędrujący rumień na skórze (kształt różowej obrączki), objawy grypopodobne, gorączka, ból głowy, osłabienie; po 3 miesiącach wczesna postać rozsiana – zapalenie mięśnia sercowego, zapalenie stawów, a po wielu latach powikłania neurologiczne	unikanie ukąszenia przez kleszcze przez odpowiedni ubiór szczelnie okrywający ciało i stosowanie preparatów odstraszających kleszcze, sprawdzanie całego ciała po spacerze w lesie, zaroślach i po łąkach

Choroba	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
cholera (przecinkowiec cholery *Vibrio cholerae*)	droga pokarmowa (zakażona bakterią woda lub rzadziej żywność), bezpośredni kontakt z chorym	biegunka, wymioty prowadzące do odwodnienia, zmarszczenie skóry, w skrajnych przypadkach może dojść do śpiączki, w postaci epidemii w tzw. krajach Trzeciego Świata	szczepienia ochronne, przestrzeganie podstawowych zasad higieny osobistej, higiena przygotowywania posiłków, właściwe przechowywanie żywności, ochrona źródeł wody pitnej, izolowanie chorych
czerwonka bakteryjna – dyzenteria (pałeczka z rodzaju *Shigella*)	droga pokarmowa (zakażone odchodami owoce, jarzyny, rzadziej woda) lub bezpośredni kontakt z zarażonym	wysoka gorączka, bóle brzucha, biegunka z krwią, śluzem i ropą (bakteria wywołuje podrażnienia błony śluzowej żołądka i jelit)	szczepienia ochronne, przestrzeganie podstawowych zasad higieny osobistej, higiena przygotowywania posiłków, właściwe przechowywanie żywności, picie wody ze znanych i zbadanych źródeł
dur brzuszny (dawniej tyfus brzuszny, pałeczka duru brzusznego *Salmonella enterica*)	droga pokarmowa (zakażona bakterią woda lub żywność), bezpośredni kontakt z chorym, czasami bakterie są przenoszone przez owady (głównie muchy)	gorączka, ból brzucha, bóle głowy, różowa wysypka na klatce piersiowej i brzuchu, powiększenie wątroby, śledziony i węzłów chłonnych szyi	szczepienia ochronne, przestrzeganie podstawowych zasad higieny osobistej, higiena przygotowywania posiłków, właściwe przechowywanie żywności, ochrona źródeł wody pitnej
gruźlica (prątek gruźlicy, prątek Kocha, *Mycobacterium tuberculosis*)	droga kropelkowa lub pyłowa od człowieka chorego na gruźlicę, rzadziej pokarmowa przez picie mleka lub spożywanie mięsa zwierząt zarażonych bakterią (krowy, owce, świnie)	często we wczesnej fazie zachodzi bezobjawowo, gorączka, chudnięcie, guzki gruźlicze w zaatakowanych narządach, w gruźlicy płucnej kaszel, ból w klatce piersiowej, plucie krwią, może dotyczyć różnych układów, np. gruźlica kości i stawów, mózgu i opon mózgowo-rdzeniowych, układu moczowo-płciowego	okresowe prześwietlenia płuc, szczepienia ochronne, izolacja osób chorych, badania weterynaryjne zwierząt hodowlanych
kiła (krętek blady *Treponema pallidum*)	droga płciowa, przez łożysko matki	owrzodzenie na zewnętrznych narządach płciowych, tzw. stwardnienie pierwotne (u kobiet także w obrębie wewnętrznych narządów płciowych), powiększenie węzłów chłonnych, czerwono-brązowa wysypka na stopach, dłoniach, wewnętrznej powierzchni jamy ustnej; bakteria może powodować choroby innych narządów wewnętrznych	unikanie przygodnych kontaktów płciowych, stosowanie prezerwatyw, przestrzeganie podstawowych zasad higieny

Choroba	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
rzeżączka (dwoinki rzeżączki *Neisseria gonorrhoeae*)	droga płciowa, przez łożysko matki	swędzenie i infekcje okolic odbytu, u mężczyzn ból, pieczenie i ropna wydzielina z cewki moczowej, u kobiet dyskomfort w dole brzucha, wysoka temperatura, krwawienia międzymiesiączkowe; rzeżączka może atakować inne części organizmu, np. gardło czy siatkówkę oka	unikanie przygodnych kontaktów płciowych, stosowanie prezerwatyw, przestrzeganie podstawowych zasad higieny
salmonelloza (pałeczka z rodzaju *Salmonella*)	droga pokarmowa (żywność – głównie jaja i mięso drobiowe skażone odchodami zakażonych zwierząt)	biegunka, gorączka, bóle i skurcze jelit, czasami nudności i wymioty po 6 do 72 godzin od zakażenia	przestrzeganie podstawowych zasad higieny osobistej, higiena przygotowywania posiłków, właściwe przechowywanie żywności
tężec (laseczki tężca *Clostridium tetani*)	kontakt rany z zabrudzoną ziemią zarażoną bakterią tężca	skurcze mięśni, bóle głowy, szczękościsk, utrudnienie połykania, skurcze mięśni mimicznych, drgawki, unieruchomienie klatki piersiowej (duszność, sinica), u noworodków może być przyczyną śmierci	szczepienia ochronne, osobom nieszczepionym po zarażeniu podaje się surowicę przeciwtężcową
wąglik (laseczka wąglika *Bacillus anthracis*)	choroba odzwierzęca przenoszona drogą skórną (lub przez otartą skórę), drogą oddechową (przez wdychanie kurzu z bakterią lub jej przetrwalnikami), drogą pokarmową (spożywanie zarażonego bakterią mleka lub mięsa)	postać skórna, tzw. czarna krosta; jelitowa (ból brzucha, gorączka, śluzowo-krwista biegunka, może prowadzić do śmierci); postać płucna (wysoka gorączka, dreszcze, kaszel z krwiopluciem, duszność, sinica, co prowadzi do śmierci)	szczepienia osób narażonych na kontakt z bakterią, m.in. weterynarzy, pracowników laboratoriów diagnostycznych, rzeźników; kontrola weterynaryjna zwierząt hodowlanych

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

Rodzaje toksyn bakterii

- Egzotoksyny – wydzielane przez komórki bakterii Gram-dodatnich, najbardziej niebezpieczne.
- Endotoksyny – wydzielane przez komórki bakterii Gram-ujemne podczas ich rozpadu.

Leczenie chorób bakteryjnych

- Skuteczną metodą walki z bakteriami chorobotwórczymi jest stosowanie **antybiotyków** (substancje chemiczne wytwarzane przez żywe bakterie lub uzyskiwane syntetycznie czy półsyntetycznie).
- Mechanizm działania antybiotyków na bakterie polega na hamowaniu syntezy ściany komórkowej bakterii (np. penicylina), białek komórkowych (np. tetracyklina), kwasów nukleinowych (np. aktynomycyna), a także zaburzania właściwości osmotycznych błon cytoplazmatycznych bakterii.

- Antybiotyki mogą działać **bakteriobójczo** (wywołują śmierć bakterii) lub **bakteriostatycznie** (hamują wzrost i rozmnażanie się bakterii).
- Antybiotyki mogą powodować ujemne skutki uboczne – zabijają nie tylko bakterie chorobotwórcze, lecz także pozytywną florę bakteryjną występującą w przewodzie pokarmowym, układzie oddechowym czy na powierzchni skóry człowieka. Zniszczenie pozytywnej flory bakteryjnej prowadzi do awitaminozy (brak witamin szczególnie z grupy B i witaminy K), osłabienia układu odpornościowego, czego stukiem są m.in. rozwijające się grzybice wywołane przez grzyby *Candida albicans*, a także powstanie populacji **bakterii opornych** na działanie antybiotyków czy **antybiotykozależnych** (bakterii, których wzrost zależy od obecności antybiotyku).
- **Dezynfekcja** (inaczej odkażanie) ma na celu zahamowanie rozprzestrzeniania się bakterii ze źródła zakażenia na organizmy zdrowe, może obejmować skórę i błony śluzowe człowieka, otoczenie chorego czy środowisko jego życia. Podczas stosowania środków chemicznych i mechanicznych zostaje zabitych większość bakterii.
- **Sterylizacja**, czyli wyjaławianie, ma na celu zniszczenie bakterii znajdujących się na przedmiotach lub w płynach. Jest szeroko wykorzystywana w medycynie, np. do wyjaławiania środków opatrunkowych, narzędzi operacyjnych oraz w **mikrobiologii** (nauka o budowie i czynnościach życiowych bakterii) do sterylizacji szkła laboratoryjnego czy pożywek bakteryjnych. Wyjaławianie przeprowadza się za pomocą działania temperatury, promieniowania krótkiego i stosowania filtrów.

Antybiogram

Badanie wrażliwości określonego gatunku bakterii na działanie konkretnego antybiotyku.



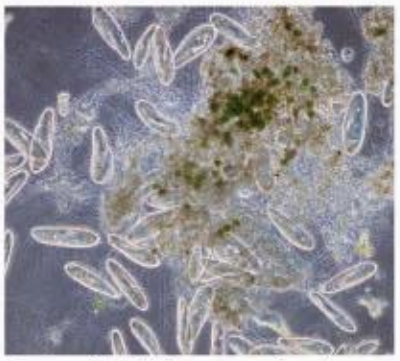
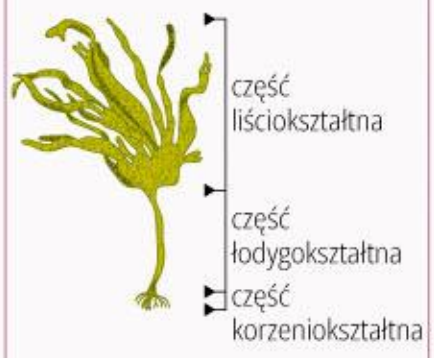
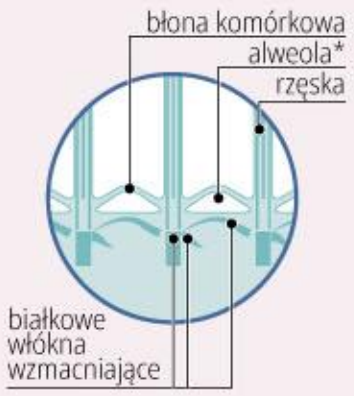
Antybiogram stosuje się w celu ustalenia odpowiedniego antybiotyku dla pacjenta i uniknięcia podawania nieskutecznych antybiotyków, które mogą osłabić jego odporność. W tym celu pobiera się próbkę wydzieliny pacjenta, np. krwi, z której wykonuje się posiew na podłożu bakteriologicznym. Wyhodowane bakterie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

4.4. Protisty

Królestwo protistów (*Protista*) to polifiletyczna grupa organizmów, których wspólną cechą jest eukariotyczna budowa komórki (obecność jądra komórkowego, organelli otoczonych błoną komórkową). Królestwo *Protista* dzielimy ze względu na budowę komórek, sposób odżywiania oraz poruszania na protisty **zwierzęce** (dawniej pierwotniaki), **roślinopodobne** (dawniej glony) i **grzybopodobne** (śluzowce i lęgniowce dawniej zaliczane do grzybów niższych). Protisty obejmują przede wszystkim formy **jednokomórkowe**. Część tworzy **kolonie**, występują także **komórczaki** oraz **formy wielokomórkowe o budowie plechowej**.

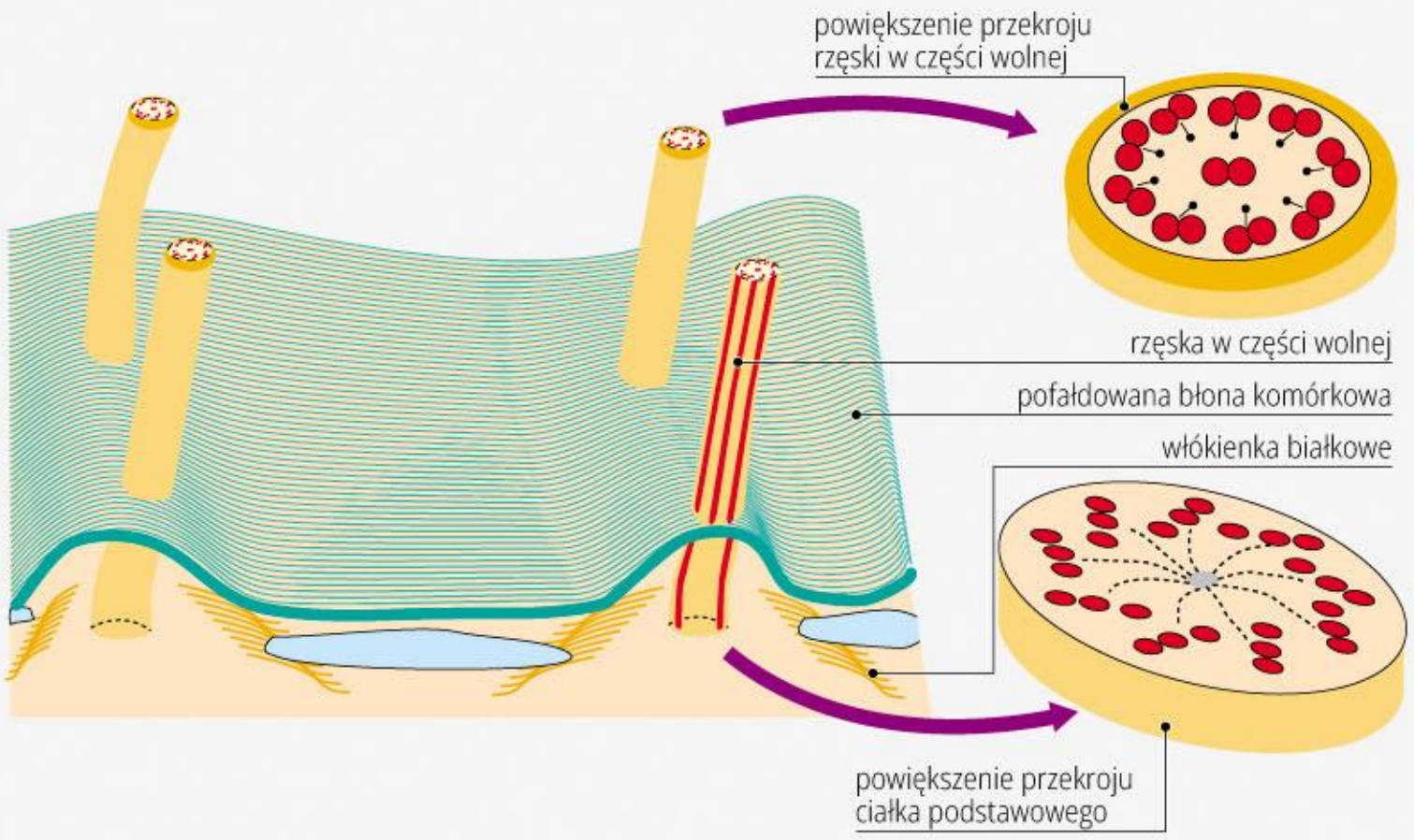
Żyją przede wszystkim w środowisku wodnym lub związanym z wodą, a także w tkankach i płynach ustrojowych zwierząt.

Porównanie protistów zwierzęcych, roślinopodobnych i grzybopodobnych

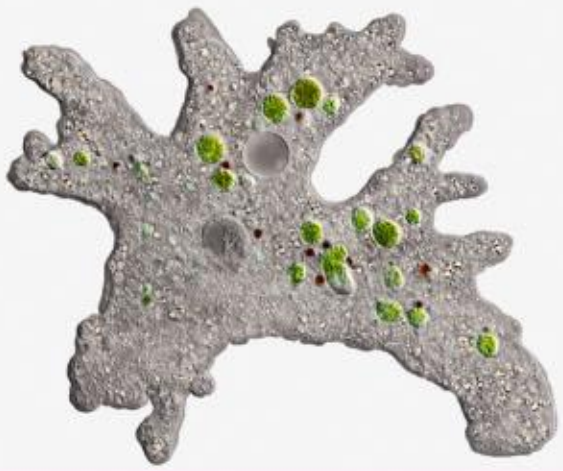
Cecha	Protisty zwierzęce	Protisty roślinopodobne	Protisty grzybopodobne
stopień organizacji budowy	jednokomórkowe lub kolonijne  Pantofelki (*Paramecium*) – formy jednokomórkowe	jednokomórkowe  Eugleny (*Euglena*) – formy jednokomórkowe kolonijne lub wielokomórkowe plechowe – plechy nitkowate, plektenchymatyczne (zbudowane z tzw. nibytkanki – plektenchym – wielokomórkowe nici połączone za pomocą substancji śluzowych) i tkankowe (część liściokształtna, łodygokształtna i korzeniokształtna) 	jednokomórkowe lub wielokomórkowe plechowe; niektóre tworzą wielojądrowe **śluźnie (plazmodium)**  Kędziorek mylny (*Trichia decipiens*) – śluźnia wytwarzająca kuliste zarodnie
pokrycie komórki	nagie lub pokryte **pellikulą**, która nadaje komórce kształt i elastyczność oraz uczestniczy w transporcie substancji  ***Alweola** stabilizuje pellikulę i uczestniczy w regulacji przepływu wody i soli mineralnych.	pokryte pellikulą lub celulozową ścianą komórkową (czasami przesyconą krzemionką)	pokryte celulozową ścianą komórkową

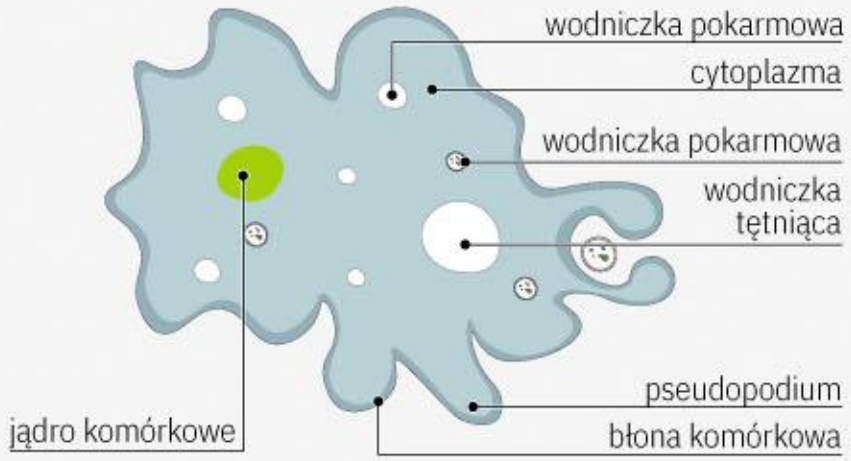
Cecha	Protisty zwierzęce	Protisty roślinopodobne	Protisty grzybopodobne
charakterystyczne cechy budowy komórki	u niektórych gatunków **aparat jajowy** – mikronukleus i makronukleus; wodniczki pokarmowe (służą do trawienia) i tętniące (służą do osmoregulacji); lizosomy, materiał zapasowy gromadzą w postaci glikogenu i tłuszczów	chloroplasty otoczone trzema lub czterema błonami komórkowymi; produkty fotosyntezy (skrobia, paramylon i tłuszcz) magazynowane jako materiały zapasowe w cytoplazmie, w ścianie komórkowej, **pirenoidach** (strukturach znajdujących się w chloroplastach)	komórka ma wiele jąder komórkowych (komórczaki)
odżywianie	cudzożywne (pasożyty, drapieżniki)	samożywne lub miksotroficzne	cudzożywne (saprofity, pasożyty)
ruch	ruchy – taksje jednokomórkowych protistów mogą być spowodowane działaniem m.in. światła (**fototaksja**), związków chemicznych (**chemotaksja**) lub temperatury (**termotaksja**); mogą być ujemne (ucieczka od bodźca) i dodatnie (gromadzenie się wokół bodźca)		
sposób poruszania się	formy osiadłe, za pomocą wici i rzęsek – **ruch undulipodialny**; **Ruch pełzakowaty** – pseudopodialny za pomocą wypustek cytoplazmatycznych – pseudopodiów (nibynóżek)	za pomocą wici, formy osiadłe, biernie unoszone w wodzie (formy kokalne)  Okrzemka (*Bacillariophyta*) – forma kokalna	formy osiadłe, ruch pełzakowaty

Ruch undulipodialny



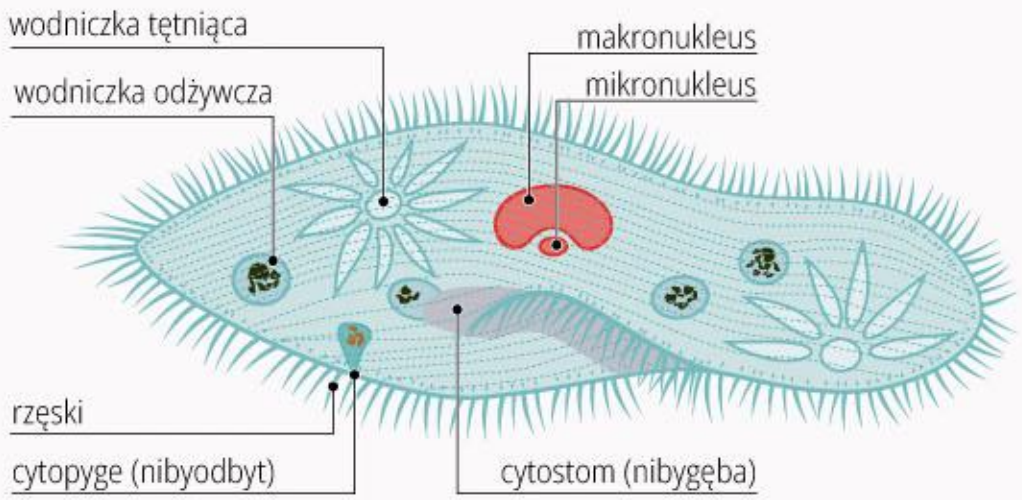
Ruch pełzakowaty



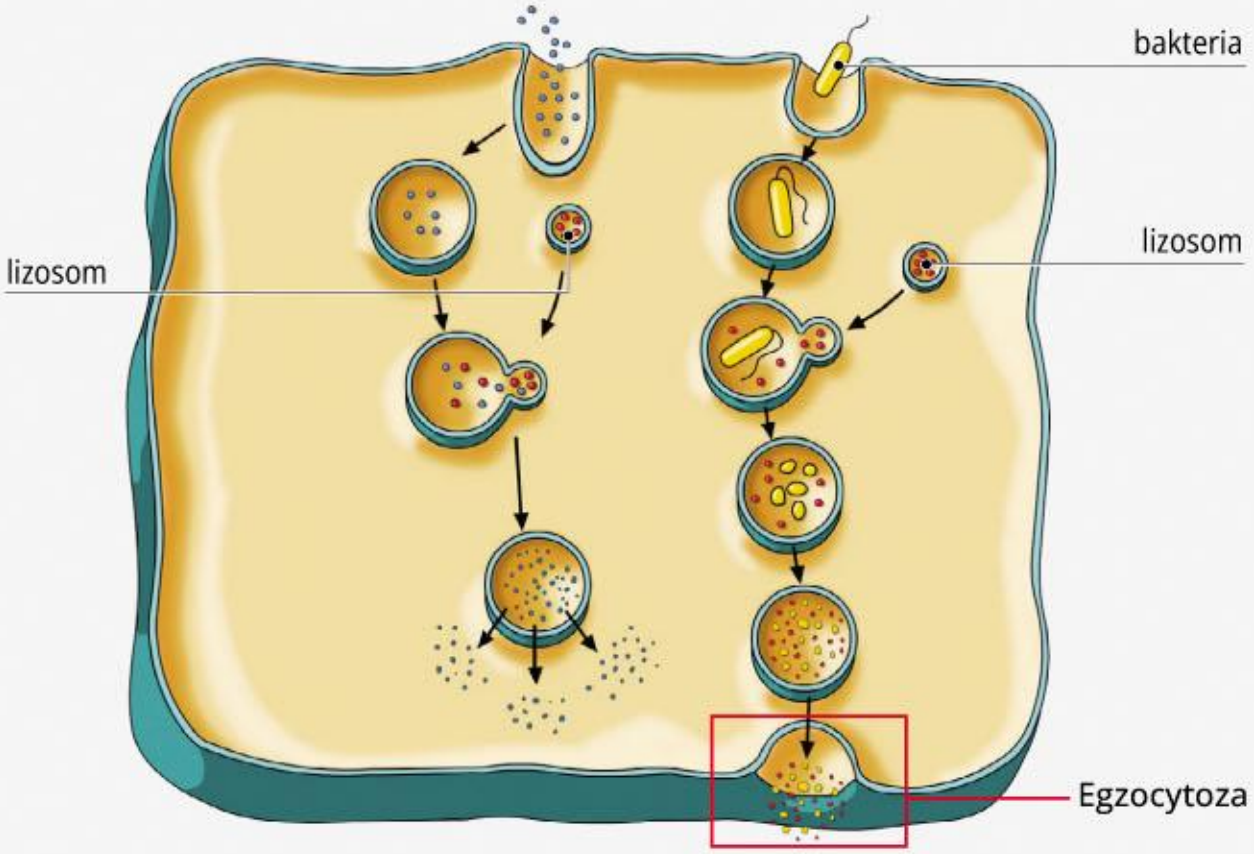


Sposoby pobierania pokarmu przez protisty heterotroficzne

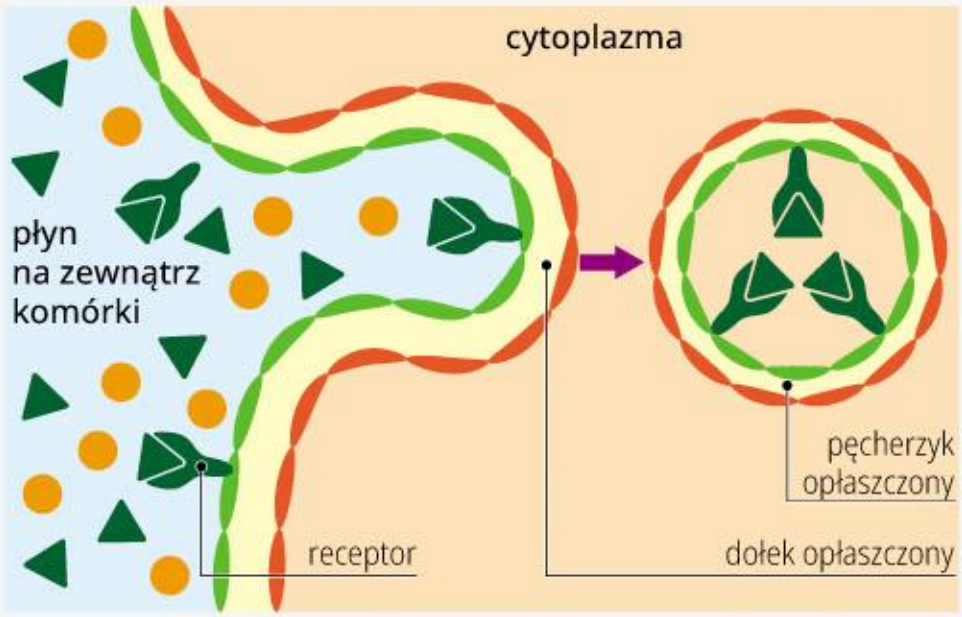
Wchłanianie	przenikanie drobnych cząsteczek pokarmowych zgodnie z gradientem stężeń lub na drodze transportu aktywnego (wbrew gradientowi stężeń z wykorzystaniem energii ATP)
Endocytoza	
pinocytoza	**fagocytoza**
• pobieranie drobin białek lub innych wielkocząsteczkowych substancji rozpuszczonych w wodzie • powstają zagłębienia w postaci kanalików zakończonych pęcherzykami, do których dostaje się pokarm • w cytoplazmie do odłączonych pęcherzyków dołączają się lizosomy i zachodzi trawienie pokarmu wraz z błoną pęcherzyka • nie kończy się egzocytozą, a niestrawione resztki pokarmowe są rozproszone w cytoplazmie komórki • ubytek błony komórkowej zużytej do wytworzenia pęcherzyka endocytarnego	• pochłanianie dużych cząstek pokarmowych (np. całych bakterii, szczątków komórek) otaczanych przez wypustki cytoplazmy – powstaje wodniczka pokarmowa • do wodniczki pokarmowej dołączają lizosomy, które trawią tylko jej zawartość • niestrawione resztki pokarmowe są usuwane na zewnątrz podczas egzocytozy
• u gatunków niemających pellikuli endocytoza może zachodzić w każdym miejscu błony komórkowej • u gatunków pokrytych pellikulą endocytoza zachodzi na obszarze **cytostomu** (miejsce o cienkiej pellikuli), a usuwanie niestrawionych resztek pokarmowych na obszarze **cytopyge** (rejon błony komórkowej, z którym zlewają się wodniczki odżywcze po zakończeniu trawienia)	



Endocytoza



Endocytoza z udziałem receptorów



Charakterystyka protistów autotroficznych

Grupa	Organizacja ciała	Główne barwniki fotosyntetyczne			Pokrycie ciała	Materiał zapasowy	Wici
		chlorofile	ksantofile	karoteny			
euglieniny (*Euglenophyta*)	jednokomórkowe	*a*, *b*	diadinoksantyna zeaksantyna	beta-karoten	pellikula	paramylon	przeważnie dwie, rzadziej jedna lub wiele
bruzdnice (*Dinoflagellata*)	jednokomórkowe, czasem kolonijne	*a*, *c*	diadinoksantyna, fukoksantyna	beta-karoten	celulozowe płytki (u niektórych pancerzyk zbudowany z krzemionki lub kalcytu)	skrobia, tłuszcz	obecne dwie

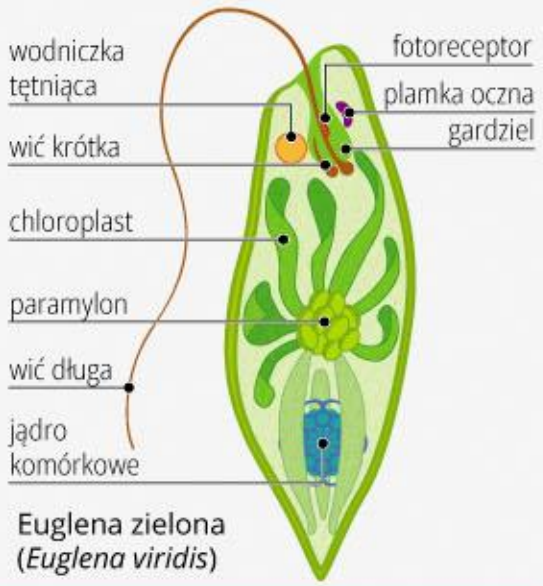
Grupa	Organizacja ciała	Główne barwniki fotosyntetyczne			Pokrycie ciała	Materiał zapasowy	Wici
		chlorofile	ksantofile	karoteny			
okrzemki (*Bacillariophyta*)	jednokomórkowe, czasem kolonijne	*a*, *c*	fukoksantyna	beta-karoten	dwuczęściowy, krzemionkowy pancerzyk	chryzolaminaryna (polisacharyd), tłuszcze	tylko u gamet
złotowiciowce (*Chrysophyta*)	jednokomórkowe czasem kolonijne	*a*, *c*	fukoksantyna, luteina	beta-karoten	ściana celulozowa inkrustowana krzemionką lub węglanem wapnia	chryzolaminaryna, tłuszcze	obecne dwie
brunatnice (*Phaeophyta*)	wielokomórkowe	*a*, *c*	fukoksantyna	beta-karoten	celulozowa wewnętrzna ściana komórkowa, zewnętrzna ściana pektynowa wysycona kwasem algilowym	chryzolaminaryna, tłuszcze, zewnętrzna ściana pektynowa wysycona kwasem algilowym	tylko u gamet

Miksotrofizm

Miksotrofem jest euglena zielona, która w zależności od dostępu światła zmienia sposób odżywiania – gdy występuje dostateczna ilość światła, jest samożywna, a przy braku lub niedostatecznej ilości światła odżywia się cudzożywnie.

Przystosowania do miksotrofizmu:

- obecność chloroplastów pozwala na przeprowadzenie fotosyntezy;
- **plamka oczna** (stigma, światłoczuła) pełni funkcję filtru zasłaniającego fotoreceptor, pozwala na ruch w kierunku światła;
- **fotoreceptor** u podstawy długiej wici reaguje na natężenie światła;
- wgłębienie – gardziel, z której wyrastają dwie wici – krótka i długa; długa wić służy do aktywnego poruszania się w kierunku światła o odpowiednim natężeniu.



Euglena zielona (*Euglena viridis*)

Osmoregulacja i wydalanie u protistów

Środowisko życia	
wody morskie, wewnątrz organizmów zwierząt	**wody słodkie**
osmoregulacja	
• są izotoniczne w stosunku do środowiska życia • nie potrzebują mechanizmów osmoregulacji	• są hipertoniczne w stosunku do środowiska życia • są narażone na ciągły, osmotyczny napływ wody do wnętrza komórki • do usuwania nadmiaru wody służą wodniczki tętniące
wydalanie szkodliwych produktów przemiany materii	
• na drodze dyfuzji	• za pomocą wodniczek tętniących

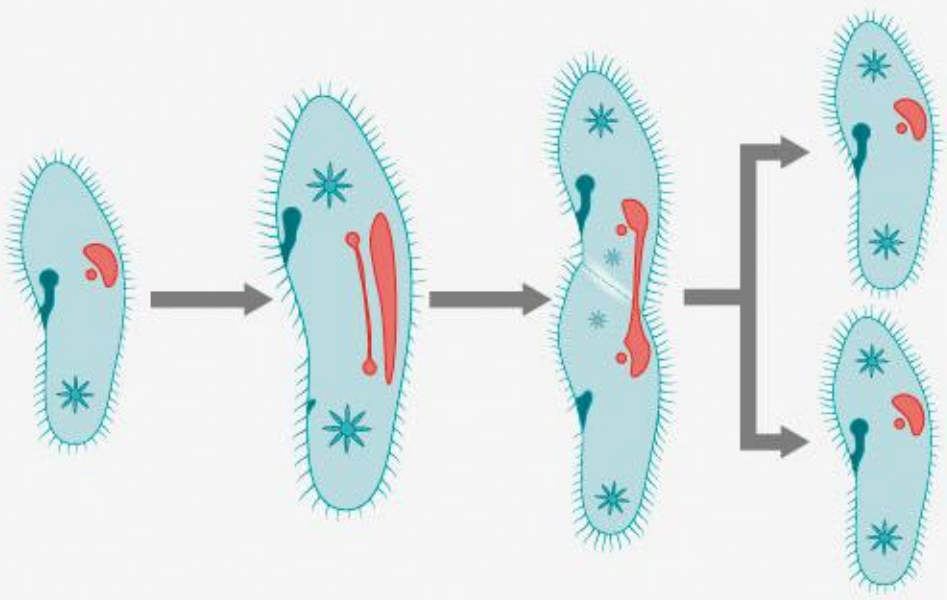
Rozmnażanie się protistów

Protisty rozmnażają się bezpłciowo – przez podział komórki, fragmentację plechy, rozmnóżki, zarodniki lub płciowo za pomocą gamet.

Sposoby rozmnażania protistów

zwierzęcych	roślinopodobnych	grzybopodobnych
• bezpłciowo przez podział podłużny (np. u wiciowców) i poprzeczny (np. u orzęsków) komórki (formy jednokomórkowe) • u niektórych gatunków pasożytniczych podział wielokrotny jądra – tzw. **schizogonia** (prowadzi do powstania w krótkim czasie dużej liczby osobników potomnych) • rozmnażanie płciowe z przemianą faz jądrowych • proces płciowy – **koniugacja**	• bezpłciowo przez podział podłużny komórki (formy jednokomórkowe), fragmentację plechy, rozmnóżki, zarodniki • płciowo – u form wielokomórkowych przemiana faz jądrowych z przemianą pokoleń	• bezpłciowo przez zarodniki • płciowo za pomocą gamet

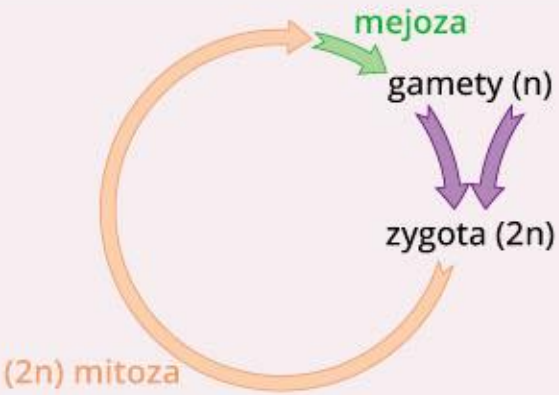
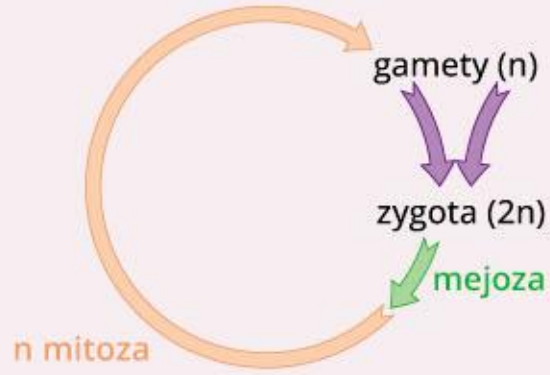
Rozmnażanie bezpłciowe u pantofelka (*Paramecium caudatum*) przez podział poprzeczny komórki (makronukleus dzieli się przez amitozę, a mikronukleus przez mitozę)



Przemiana faz jądrowych u protistów zwierzęcych

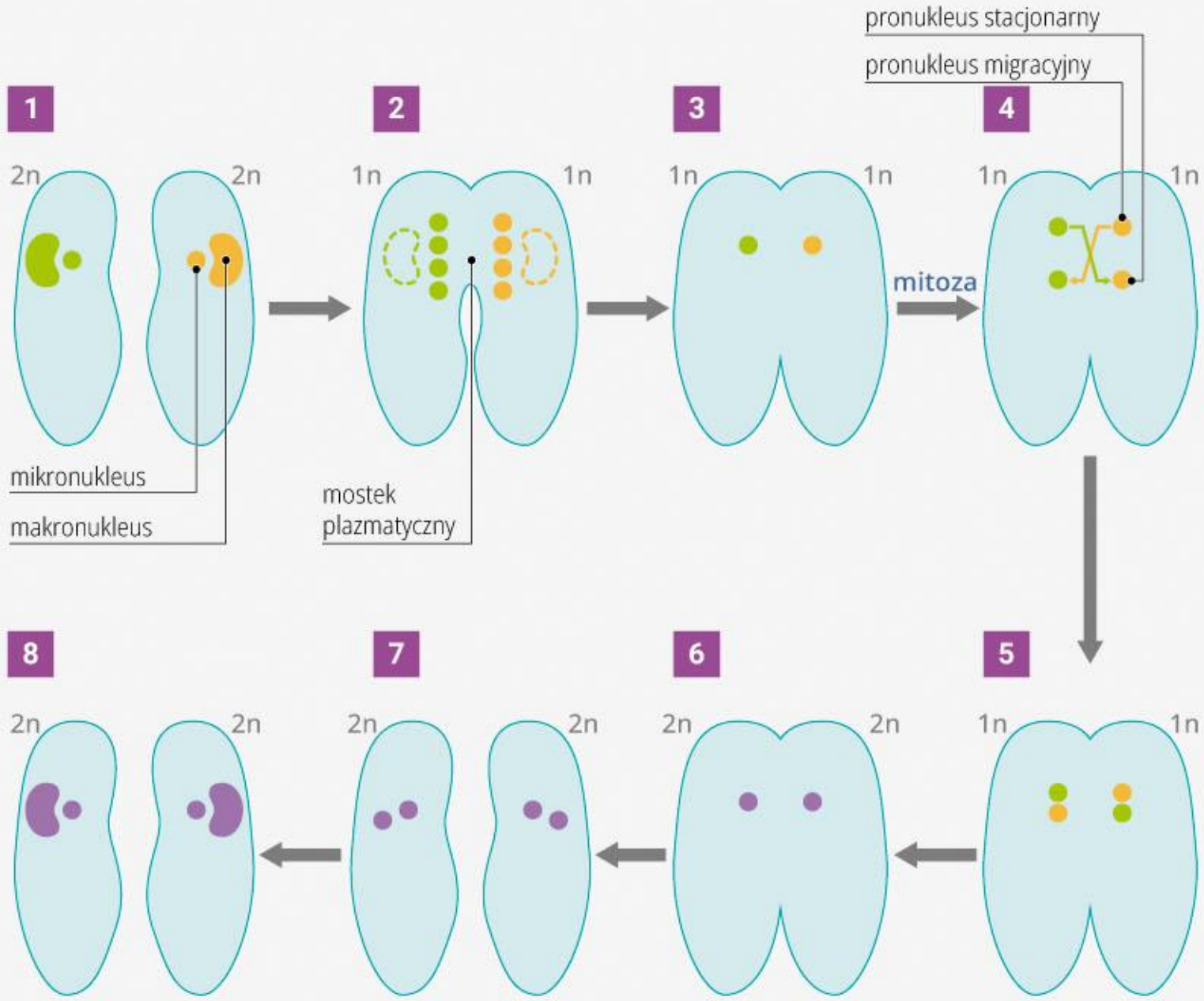
Przemiana faz jądrowych – następowanie po sobie faz haploidalnej (1n) i diploidalnej (2n); **faza haploidalna** trwa od mejozy do zapłodnienia (haplofaza), a **faza diploidalna** – od zapłodnienia do mejozy (diplofaza).

Przemiana faz jądrowych	
z przewagą fazy diploidalnej	**z przewagą fazy haploidalnej**
• dominuje postać troficzna (zdolna do podziałów, wzrostu i odżywiania) – diplont • **diplont** ma dwa zestawy chromosomów w jądrze komórkowym • fazę haploidalną reprezentują tylko gamety • powstanie gamet poprzedza mejoza (**mejoza pregamiczna – przedzapłodnieniowa**)	• dominuje postać troficzna (zdolna do podziałów, wzrostu i odżywiania) – **haplont** • haplont ma pojedynczy zestaw chromosomów w jądrze komórkowym • fazę diploidalną reprezentuje tylko zygota powstała w wyniku łączenia się gamet • diploidalna zygota dzieli się mejotycznie, po czym powstają haploidalne postacie troficzne (**mejoza postgamiczna – pozapłodnieniowa**)

Przemiana faz jądrowych	
z przewagą fazy diploidalnej	z przewagą fazy haploidalnej
	
Mejoza pregamiczna, dominująca faza diploidalna	Mejoza postgamiczna, dominująca faza haploidalna

Cykl rozwojowy pantofelka

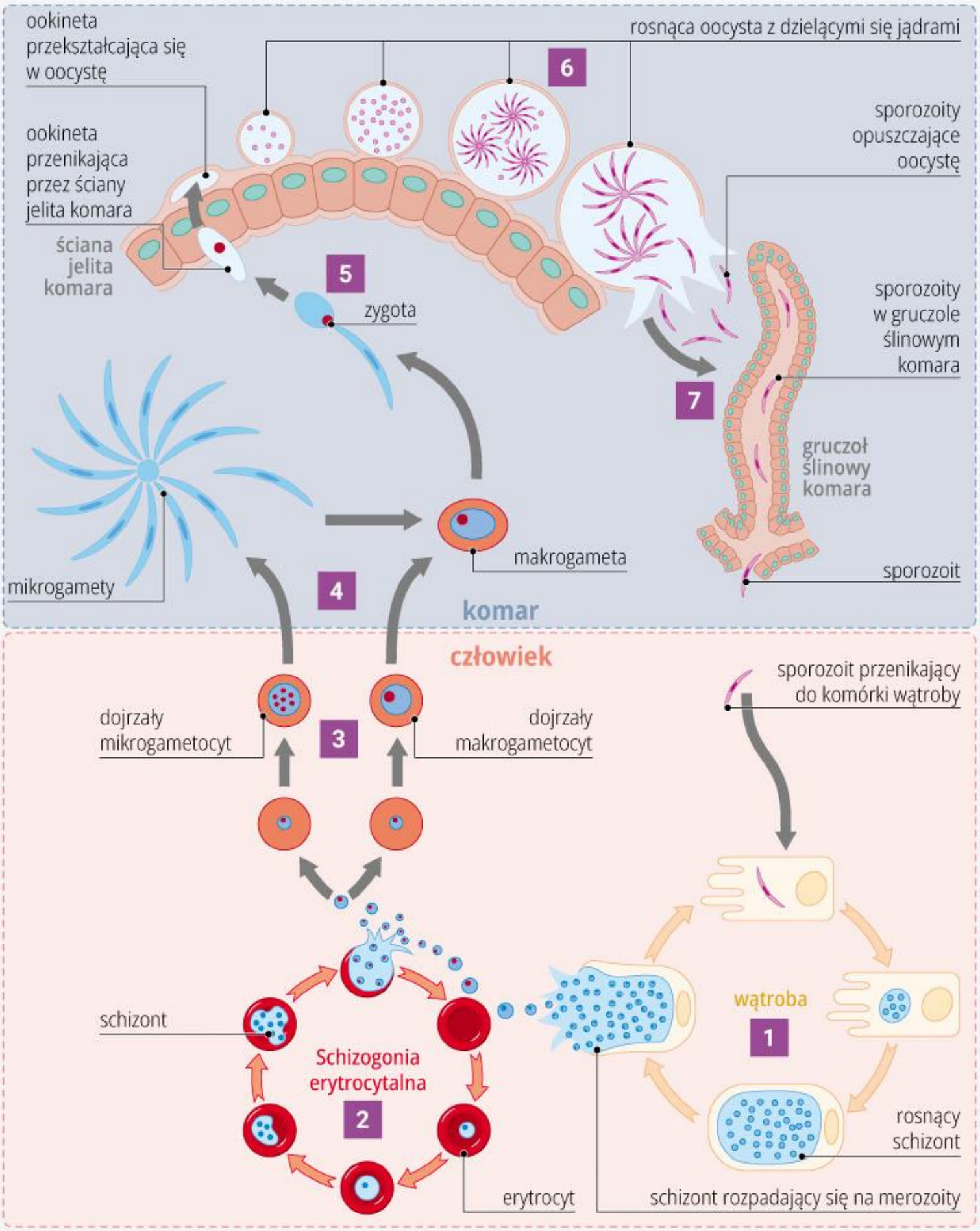
W cyklu rozwojowym pantofelka, przedstawiciela orzęsków, zachodzi proces płciowy – **koniugacja**, w wyniku której następuje rekombinacja materiału genetycznego bez zwiększenia liczby osobników. **Mejoza pregamiczna** prowadzi do powstania jąder haploidalnych.



Schemat procesu koniugacji u orzęsków: 1. dwa osobniki przed koniugacją, 2. połączenie dwóch orzęsków, mejoza mikronukleusa, stopniowy zanik makronukleusa, 3. zanikają trzy z czterech jąder haploidalnych w każdym z koniugatów, 4. mitoza jądra haploidalnego i powstanie pronukleusów, 5. przejście jąder migracyjnych do sąsiednich komórek, 6. połączenie się pronukleusów i powstanie jądra diploidalnego w obu komórkach – mikronukleusa zygotycznego, 7. rozdzielanie się orzęsków i podział mitotyczny jądra diploidalnego – w komórce każdego osobnika powstają dwa jądra diploidalne, 8. odtworzenie z jednego jądra mikronukleusa (2n) i z drugiego jądra przez zwielokrotnienie ilości DNA – makronukleusa (wiele n) w obu orzęskach.

Cykl rozwojowy zarodźca malarii

Specyficzny cykl rozwojowy z **mejozą postgamiczną** przechodzi przedstawiciel sporowców – zarodziec malarii. W jego rozwoju występuje zmiana żywicieli. Człowiek jest **żywicielem pośrednim** – w jego krwi zarodźce rozmnażają się bezpłciowo (na drodze schizogonii), a komary z rodzaju widliszek (*Anopheles*) – **żywicielem ostatecznym**, w którego organizmie zarodźce rozmnażają się płciowo i wytwarzają stadia inwazyjne.



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

Podział zarodników ze względu na zdolność do ruchu

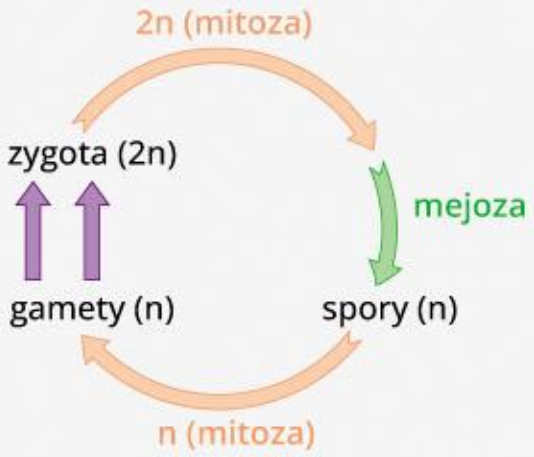
Aplanospory – nie mają wici ani zdolności do ruchu.

Zoospory (pływki) – mają wicie i zdolność do ruchu.

Przemiana faz jądrowych u protistów roślinopodobnych

Przemiana pokoleń – regularne następowanie po sobie pokolenia **diploidalnego** rozmnażającego się bezpłciowo za pomocą zarodników – **sporofitu** – i **haploidalnego** rozmnażającego się płciowo za pomocą gamet – **gametofitu**. Haploidalne zarodniki powstają w **zarodniach** (sporangiach) w procesie mejozy komórek macierzystych zarodników. Gamety powstają w **gametangiach** – jednokomórkowych **plemniach** (gamety męskie) i **lęgniach** (gamety żeńskie).

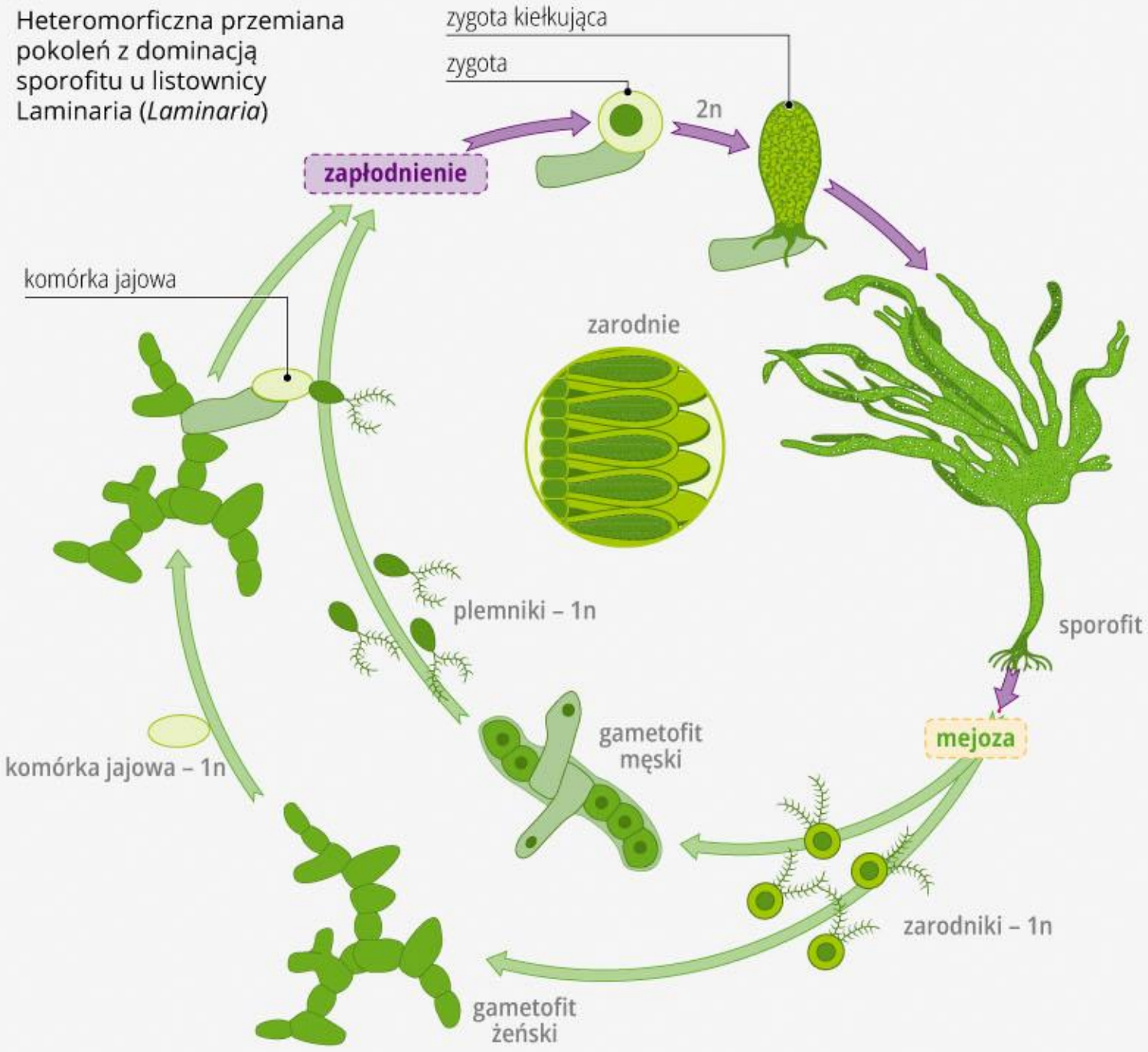
Mejoza, która zachodzi u organizmów z przemianą pokoleń, to **mejoza pośrednia**.



Przemiana izomorficzna – typ przemiany pokoleń, w której oba pokolenia – gametofit i sporofit – są podobne do siebie pod względem budowy zewnętrznej i długości życia. Pokolenia różnią się tylko liczbą chromosomów w komórkach i rodzajem produkowanych komórek rozrodczych.

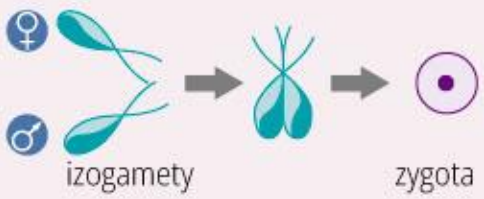
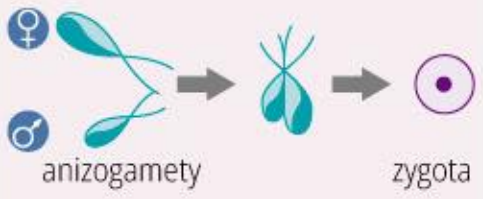
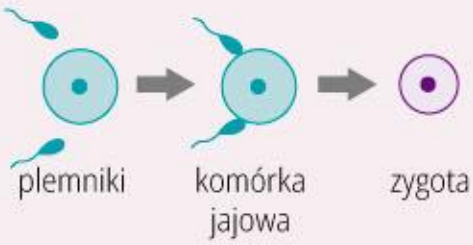
Przemiana heteromorficzna – typ przemiany pokoleń, w której oba pokolenia – gametofit i sporofit – różnią się pod względem budowy zewnętrznej i długości życia, jedno z pokoleń wyraźnie dominuje nad drugim (**przemiana heteromorficzna z dominacją sporofitu, przemiana heteromorficzna z dominacją gametofitu**).

Heteromorficzna przemiana pokoleń z dominacją sporofitu u listownicy Laminaria (*Laminaria*)

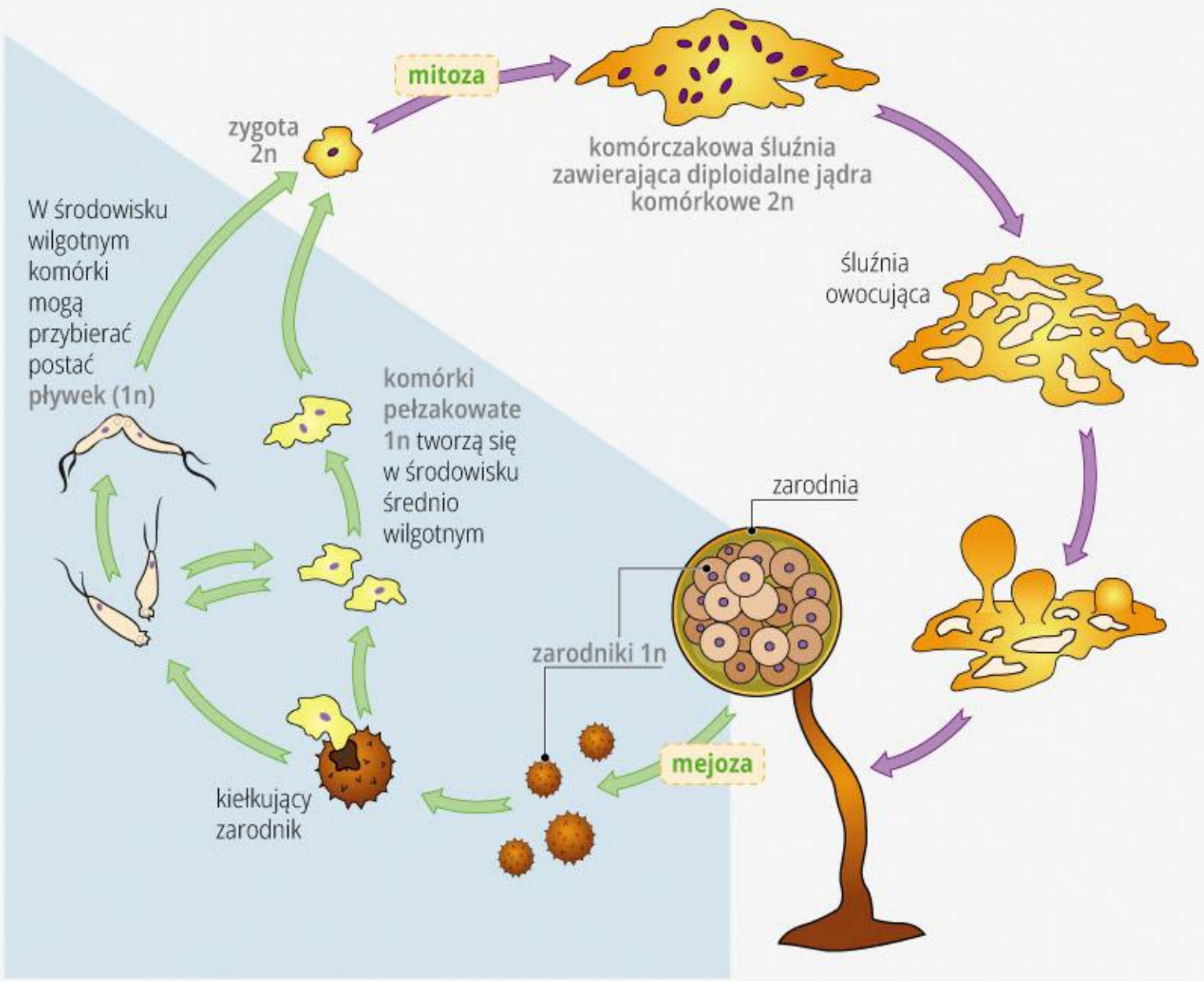


Typy zapłodnienia

W zależności od rodzaju gamet wyróżnia się następujące typy zapłodnienia: izogamię, anizogamię i oogamię.

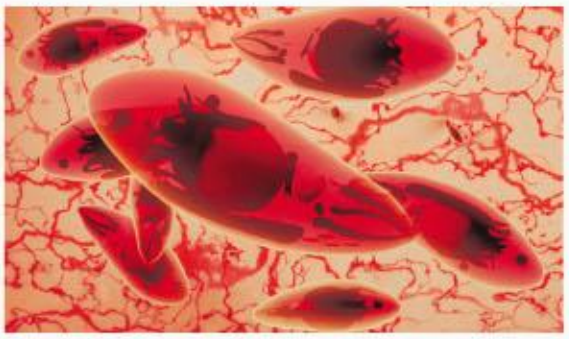
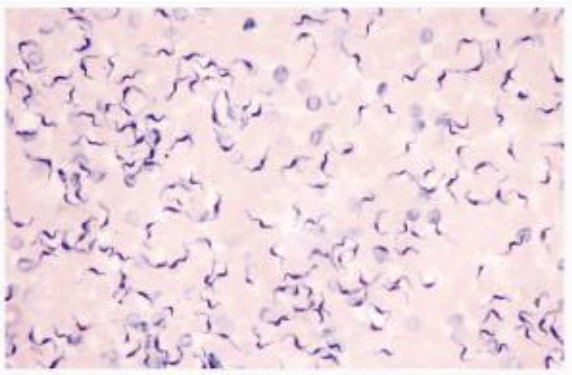
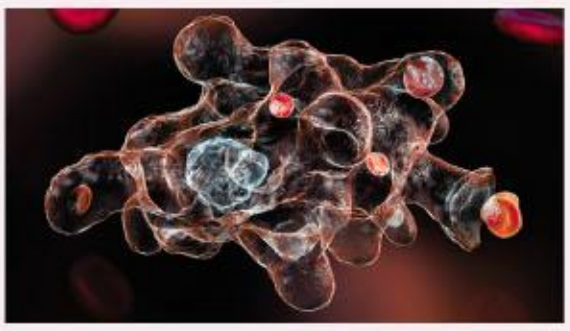
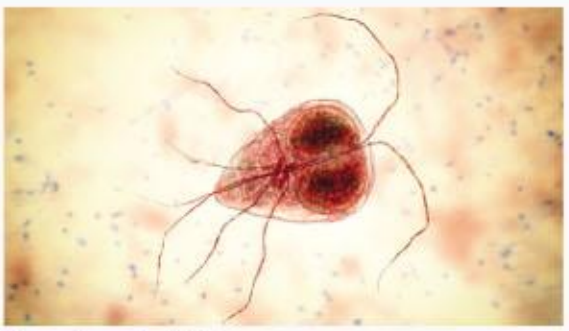
Izogamia	Anizogamia	Oogamia
dwie identyczne morfologicznie gamety (izogamety) – komórka jajowa i plemnik zaopatrzone w wici	dwie gamety różniące się wielkością (większa gameta pełni funkcję komórki jajowej)	dwie różne gamety – duża nieruchliwa gameta żeńska – komórka jajowa i mała ruchliwa z wicią gameta męska – plemnik
		

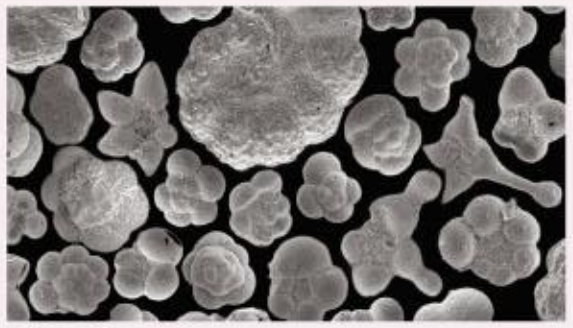
Cykl rozwojowy protistów grzybopodobnych



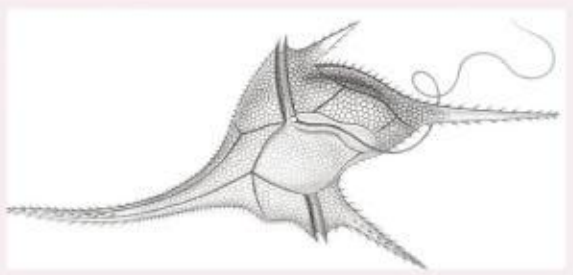
Cykl rozwojowy śluzowca (*Myxomycota*)

Główne grupy protistów zwierzęcych

Grupa	Cechy charakterystyczne	
sporowce (*Apicomplexa* lub *Sporozoa*)	• jednokomórkowe pasożyty zwierząt • nie mają organelli ruchu • podział komórki – tzw. schizogonia, który stanowi przystosowanie do pasożytniczego trybu życia • przedstawicielem jest m.in. zarodziec malaryczny oraz *Toxoplasma gondii*	 Toxoplasma gondii
orzęski (*Ciliata*)	• żyją w środowisku słodkowodnym i słonowodnym • poruszają się za pomocą rzęsek • niektóre gatunki są osiadłe, a ruch rzęsek ułatwia im zdobycie pokarmu • ciało pokryte pellikulą • mają dwa jądra: duże – makronukleus i małe – mikronukleus, otwór gębowy – cytostom i otwór odbytowy – cytopyge • występuje proces płciowy – koniugacja • przedstawicielem jest m.in. pantofelek (*Paramecium*), wirczyk (*Vorticella*) i trębacz	 Trębacz (Stentor)
kinetoplastydy (*Kinetoplastida*)	• żyją w środowisku słodkowodnym i słonowodnym, wilgotnych ekosystemach lądowych, są także pasożytami człowieka, zwierząt kręgowych, roślin i innych protistów zwierzęcych • mają kinetoplast u nasady wici, budową przypominający mitochondrium (dostarcza energię niezbędną do aktywnego poruszania) • u pasożytów błonka falująca, która zwiększa poruszanie się w płynach ustrojowych żywiciela • przedstawicielem są świdrowce (*Trypanosomatidae*): świdrowiec gambijski (*Trypanosoma gambiense*) i rodezyjski (*T. rhodesiense*) powodujący śpiączkę afrykańską przenoszoną przez muchy tse-tse (*Glossina sp.*)	 Świdrowiec gambijski we krwi człowieka
ameby (*Amoebozoa*)	• żyją w glebie, w wodach słodkich i słonych oraz są pasożytami człowieka, kręgowców i niektórych gatunków bezkręgowców • jako organ ruchu mają cytoplazmatyczne nibynóżki (pseudopodia) • przedstawicielem jest pełzak czerwonki (*Entamoeba histolytica*) powodujący czerwonkę pełzakową oraz *Acanthamoeba* będąca przyczyną zapalenia rogówki oka	 Pełzak czerwonki
parabasalia	• są pasożytami człowieka i kręgowców, występują też formy symbiotyczne • nie mają mitochondriów, a energię uzyskują podczas oddychania beztlenowego • jedna z wici może przekształcić się w błonkę falującą (zwiększa przystosowanie do przemieszczania się w ciele żywiciela) • przedstawicielem jest m.in. rzęsistek pochwowy (*Trichomonas vaginalis*) i ogoniastek jelitowy, zwany lambią (*Giardia lamblia*)	 Ogoniastek jelitowy

Grupa	Cechy charakterystyczne	
otwornice (*Foraminifera*)	• żyją w wodach słonych • są pokryte wapiennymi skorupkami zbudowanymi z substancji organicznych przesyconych węglanem wapnia • skorupki mają otworki, przez które wysuwają się cytoplazmatyczne nibynóżki • skorupki tworzą pokłady skał osadowych	 Otwornice
promienionóżki (*Actinopoda*)	• żyją głównie w wodach słonych • mają długie, cienkie promieniście rozmieszczone nibynóżki, często wzmocnione igiełkami z krzemionki • część wytwarza krzemionkowy lub zbudowany z węglanu wapnia szkielet	 Promienionóżki

Główne grupy protistów roślinopodobnych

Grupa	Cechy charakterystyczne	
eugleniny (*Euglenophyta*)	• żyją w wodach słodkich, są także spotykane w wodach słonawych i w glebie • poruszają się za pomocą wici • nie mają ściany komórkowej, a ich ciało pokrywa pellikula • wiele gatunków to miksotrofy	 Euglena zielona
tobołki (*Pyrrophyta*)	• żyją w wodach słonych • część to endosymbionty (organizmy żyjące wewnątrz innych i przynoszące im korzyści) koralowców, małży, meduz, które dostarczają gospodarzowi produktów fotosyntezy • najliczniejszą ich grupą są bruzdnice, w których jądrze zawsze można obserwować chromosomy niezależnie od fazy podziału komórkowego • bruzdnice przyczyniają się do zakwitów wód, wydzielają szkodliwe toksyny, które mogą powodować wymieranie bezkręgowców i ryb	 Bruzdnica (*Dinoflagellata*)
okrzemki (*Bacillariophyta*)	• żyją w morzach lub wodach słodkich • wchodzą w skład planktonu lub osiedlają się na dnie zbiorników wodnych • często wiosną powodują brązowe zakwity wód ze względu na złocistobrązowy barwnik – fukoksantynę • krzemionkowa ściana komórkowa okrzemek zwana pancerzykiem składa się z dwóch zachodzących na siebie części: większej – wieczka i mniejszej – denka • pancerzyki obumarłych w minionych okresach geologicznych okrzemek wytworzyły pokłady ziemi okrzemkowej (diatomitu)	 Okrzemka

Grupa	Cechy charakterystyczne	
złotowiciowce (*Chrysophyta*)	• żyją w wodach słodkich i morskich • złociste zabarwienie jest wynikiem obecności żółtobrązowych i brązowych karotenoidów • większość gatunków jest jednokomórkowa, a niektóre słodkowodne z rodzaju *Dinobryon* mogą tworzyć kolonie	 Dinobryon
brunatnice (*Phaeophyta*)	• w większości występują wzdłuż wybrzeży mórz strefy umiarkowanej i chłodnej, tworząc gęste zarośla • organizmy wielokomórkowe o plesze przypominającej rośliny lądowe • ściany komórkowe są zbudowane z celulozy i galaretowatych polisacharydów • żółtawobrunatną barwę zawdzięczają barwnikowi fukoksantynie • przedstawicielem jest m.in. morszczyn pęcherzykowaty (*Fucus vesiculosus*) i wielkomorszcz gruszkonośny (*Macrocystis pyrifera*)	 Morszczyn pęcherzykowaty

Główne grupy protistów grzybopodobnych

Grupa	Cechy charakterystyczne	
lęgniowce (*Oomycota*)	• żyją w wodzie lub glebie • ciało w postaci nitkowatych strzępek • odżywiają się martwymi szczątkami organicznymi lub pasożytują na innych organizmach (zwierzętach, roślinach) • przedstawicielem jest m.in. roztoczek (*Saprolegnia*), fitoftora (*Phytophthora infestans*)	 Fitoftora ziemniaka
śluzowce (*Myxomycota*)	• żyją na martwych, butwiejących pniach drzew i ściółce leśnej • w cyklu rozwojowym przyjmują postać komórczakowej śluźni zawierającej wiele diploidalnych jąder nieoddzielonych błonami komórkowymi	 Wykwit piankowaty (*Fuligo septica*)

Znaczenie protistów

1. Gatunki zamieszkujące wody słodkie i morskie są głównymi **producentami materii organicznej**.
2. Jako organizmy samożywne w procesie fotosyntezy zużywają dwutlenek węgla i wydzielają tlen jako produkt uboczny.
3. Uczestniczą w **krążeniu pierwiastków** w przyrodzie – głównie azotu, fosforu i węgla.

4. Są konsumowane w łańcuchu troficznym przez inne organizmy. Niektóre z nich stanowią pokarm człowieka, szczególnie w krajach azjatyckich, zwłaszcza w Japonii.

5. Plechy dużych gatunków tworzą morskie zarośla, które **stanowią środowisko życia wielu gatunków** zwierząt, miejsce schronienia przed drapieżnikami czy miejsce rozrodu, np. miejsce tarła ryb. Rozkładające się szczątki stanowią pożywienie dla saprofitów.

6. Plechy morskich brunatnic ze względu na zawartość jodu są wykorzystywane do produkcji mieszanek ziołowych i kosmetyków, a algina obecna w ścianie komórkowej – w przemyśle spożywczym jako stabilizator do produkcji lodów, kremów i sosów, a także do impregnacji tkanin w przemyśle włókienniczym.

7. Z pancerzyków obumarłych gatunków żyjących kilkadziesiąt milionów lat temu powstały **pokłady skał osadowych** na dnie zbiorników wodnych: diatomitu z krzemionkowych pancerzyków okrzemek, wapiennych z pancerzyków otwornic czy złoża skał krzemianowych ze szkieletów promienionóżek.

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

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

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

11. Gatunki wchodzące w skład **fitoplanktonu** (okrzemki, bruzdnice) są przyczyną zakwitów wód. W wyniku tego procesu obniża się stężenie tlenu, co prowadzi do śmierci wielu gatunków zwierząt, np. ryb, a uwalnianie substancji toksycznych pogarsza jakość wody.

12. Niektóre gatunki są pasożytami roślin, zwierząt i człowieka, wywołują **groźne choroby**, np. malarię, śpiączkę afrykańską czy czerwonkę pełzakową.

Najważniejsze choroby wywoływane przez protisty

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

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

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

4.5. Grzyby

Grzyby są jednokomórkowymi lub wielokomórkowymi, beztkankowymi organizmami heterotroficznymi o komórkach otoczonych **chitynową ścianą komórkową**. Większość z nich zasiedla środowiska lądowe wilgotne i zacienione o umiarkowanej temperaturze (od 4°C do 40°C), z dużą dostępnością materii organicznej, z której czerpią niezbędne do życia składniki pokarmowe. Opisano ponad 120 tys. gatunków.

Cechy charakterystyczne grzybów

- organizmy eukariotyczne;
- komórki otoczone chitynową ścianą komórkową;
- ciało niezróżnicowane na organy (plechowce);
- brak plastydów, obecne nieaktywne fotosyntetycznie barwniki nadające różne zabarwienie;
- w komórkach liczne wakuole gromadzące wodę, barwniki, jony i związki toksyczne;
- organizmy heterotroficzne – pasożyty, saprofity, symbionty;
- materiał zapasowy w postaci glikogenu, tłuszczów i wolutyny;
- oddychają tlenowo oraz przeprowadzają fermentację mlekową i alkoholową.

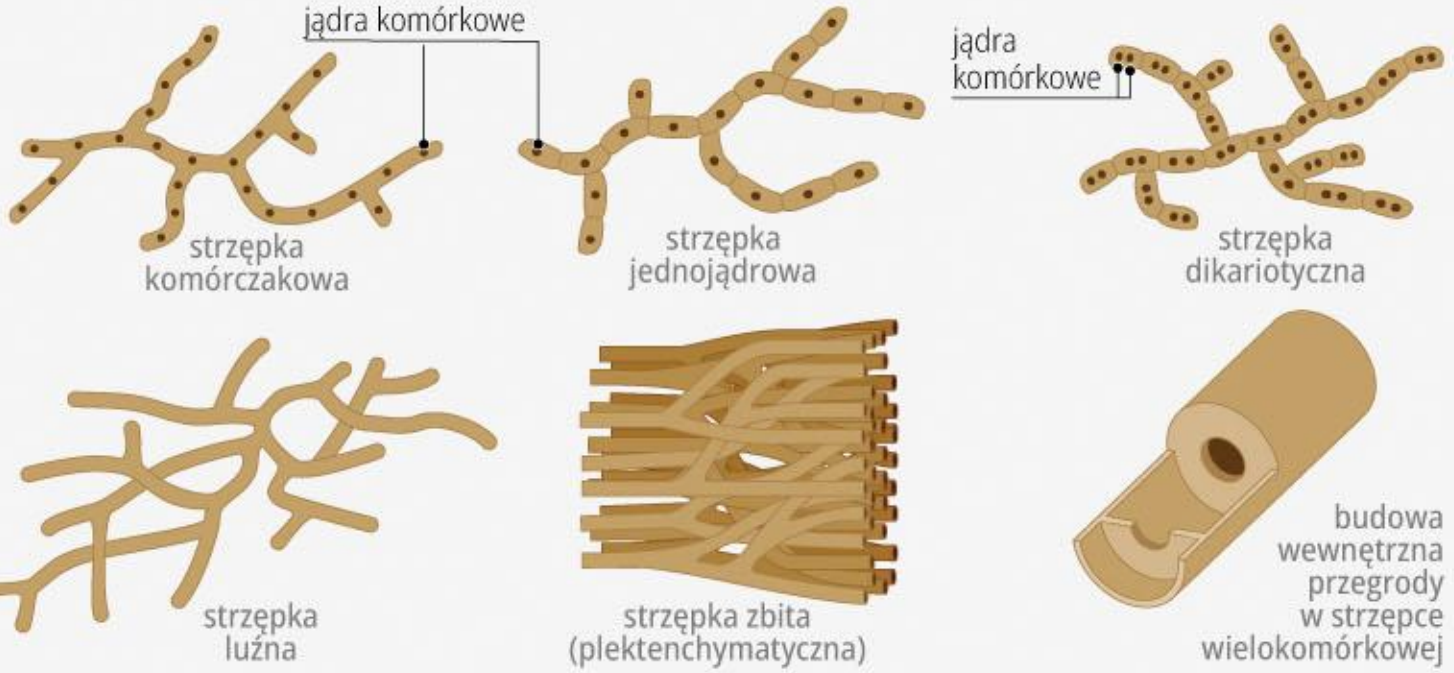
Formy morfologiczne grzybów

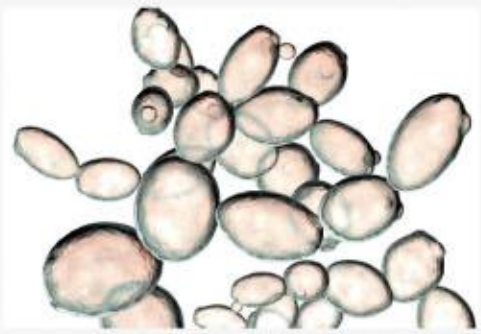
Formy jednokomórkowe to np. komórki drożdży.

Ciało grzybów wielokomórkowych – **grzybnia** – jest zbudowane z wydłużonych lub rozgałęzionych strzępek.

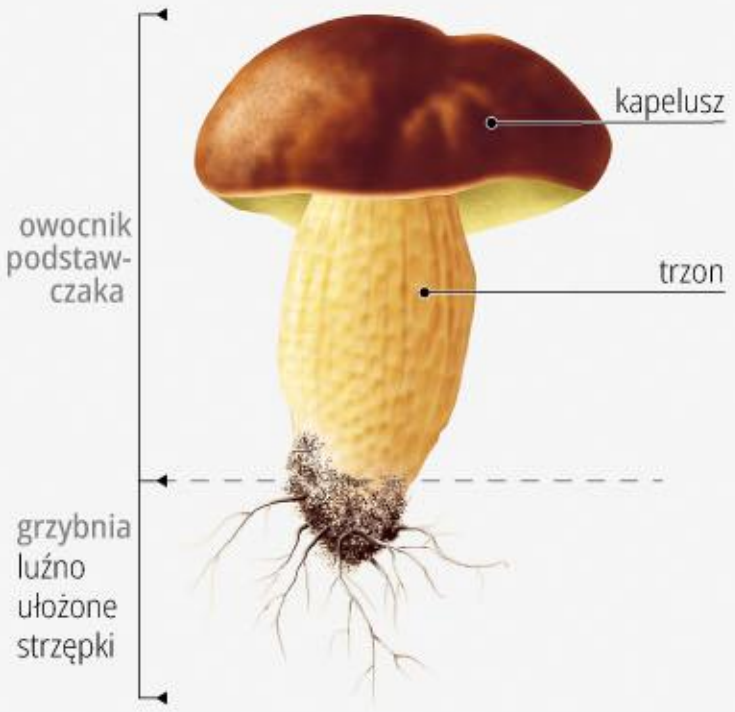
Formy wielokomórkowe zbudowane ze strzępek (z przegrodami poprzecznymi lub bez przegród		
jednojądrowe	dwujądrowe (dikariotyczne)	wielojądrowe (komórczakowe)
komórki zawierają jedno jądro	komórki zawierają dwa jądra	komórki zawierają wiele jąder

Typy strzępek grzybni





Formy jednokomórkowe – komórki drożdży piekarskich (*Saccharomyces cerevisiae*)



Strzępki u większości grzybów są luźno ułożone i tworzą **plechy nitkowate** (luźne). U niektórych gatunków ciasno przylegające do siebie strzępki tworzą nibytkankę, tzw. **plechę plektenchymatyczną**, z której powstają **owocniki**. W owocnikach w zarodniach powstają haploidalne zarodniki.

Odżywianie grzybów

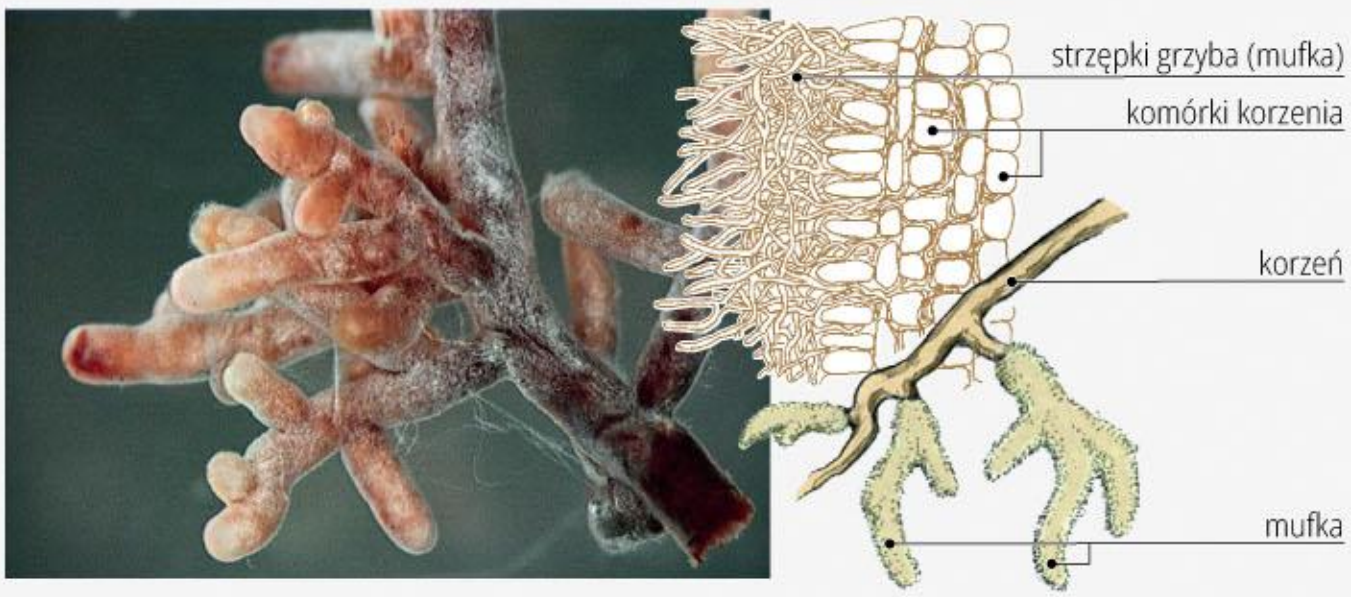
saprofityczne	pasożytnicze	symbiotyczne	drapieżne
• odżywiają się martwą materią organiczną, którą rozkładają za pomocą **hydrolitycznych enzymów trawiennych** (trawienie zewnątrzkomórkowe) • enzymy rozkładają złożone związki organiczne do związków prostych (cukrów prostych, aminokwasów, kwasów tłuszczowych), które grzyby łatwiej wchłaniają za pomocą strzępek np. muchomor czerwony (*Amanita muscaria*), pieczarka (*Agaricus*)	• pobierają związki organiczne wprost z żywych organizmów roślinnych, zwierzęcych, w tym ludzi, atakują je i wywołują groźne choroby, tzw. grzybice np. buławinka czerwona (*Claviceps purpurea*), rdza źdźbłowa, drożdżaki z rodzaju *Candidia*	• żyją w symbiozie z komórkami sinic i zielenic, tworząc porosty, lub z korzeniami roślin nasiennych (mikoryza) np. przedstawiciele workowców (*Ascomycetes*) i podstawczaków (*Basidiomycetes*)	• polują na ofiary, wydzielając m.in. do środowiska trucizny odurzające, a następnie przekształconymi strzępkami chwytają ofiary – głównie drobne zwierzęta glebowe (nicienie i pierścienice) np. maczużnik bojowy (*Cordyceps militaris*), boczniak ostrygowaty (*Pleurotus ostreatus*)

Mikoryza

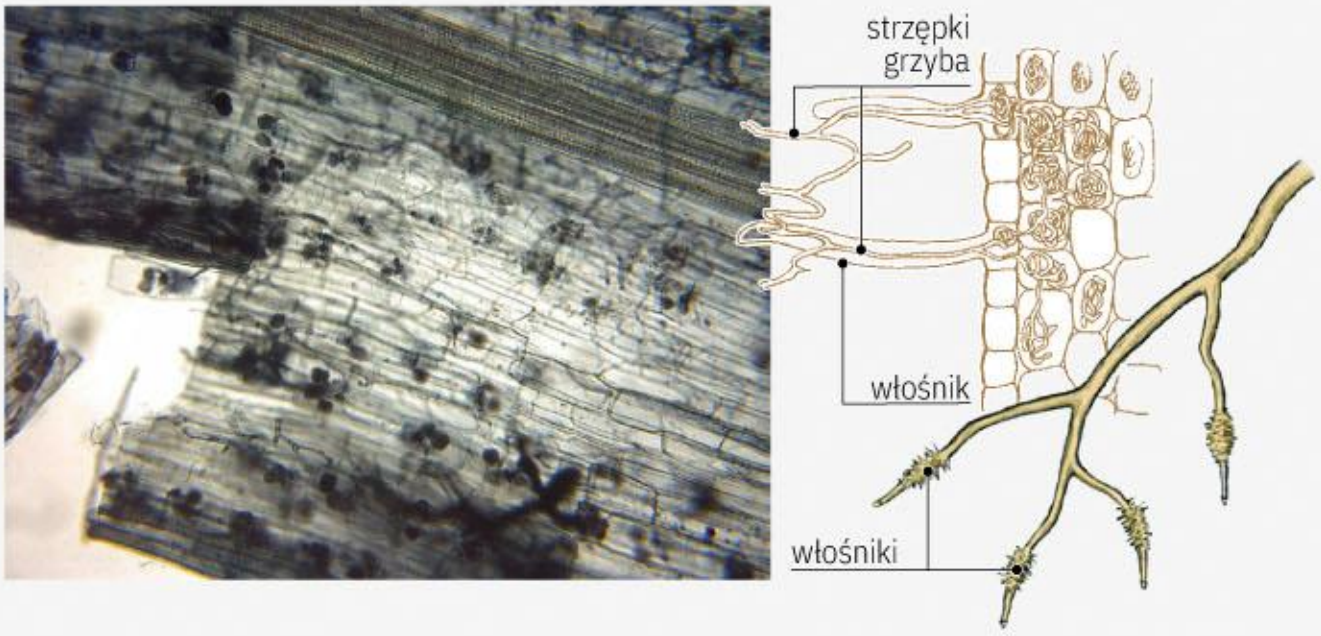
Mikoryza to rodzaj zależności nieantagonistycznych (mutualizmu, w którym obie strony odnoszą korzyści) między grzybem a korzeniami roślin nasiennych. Grzyby w zamian za produkty fotosyntezy zapewniają roślinom większy dostęp do wody i soli mineralnych oraz substancji wzrostowych, a także stanowią ochronę przed działaniem patogenów.

Wyróżnia się dwa typy mikoryzy: **ektotroficzną** (zewnętrzną) i **endotroficzną** (wewnętrzną).

Mikoryza	
ektotroficzna	**endotroficzna**
• strzępki grzyba wnikają do przestworów międzykomórkowych i oplatają komórki korzenia, tworząc tzw. mufkę, tylko nieliczne wrastają do komórek kory pierwotnej korzenia • strzępki grzyba przejmują funkcję włośników korzenia – pobierają wodę z solami mineralnymi • włośniki zaczynają stopniowo zanikać • rozrastająca się w glebie grzybnia zwiększa zasięg pozyskiwania składników mineralnych • występuje u ok. 10% rodzin roślin wyższych (głównie rośliny drzewiaste, np. koźlak i brzoza oraz osika, borowik szlachetny i buk oraz sosna, mleczaj rydz i sosna lub świerk)	• strzępki grzyba wnikają do wnętrza komórek korzenia przez skórkę lub włośnik i penetrują komórki kory pierwotnej • strzępki grzyba tworzą pęcherzyki, czyli arbuskule, w których zachodzi wymiana składników pokarmowych między grzybem a rośliną • strzępki grzyba nie powodują ograniczenia wzrostu korzenia • występuje u większości roślin (80–90%), np. między grzybem a roślinami zielnymi i krzewinkami



Mikoryza ektotroficzna



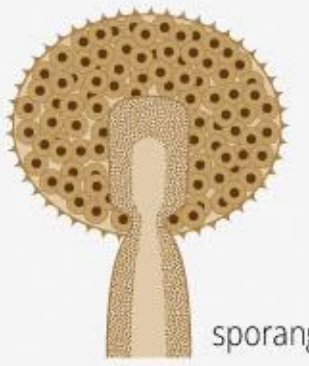
Mikoryza endotroficzna

Sposoby rozmnażania się grzybów

Rodzaj rozmnażania		Charakterystyka
bezpłciowe	fragmentacja plechy	z każdego fragmentu macierzystej plechy powstaje nowa grzybnia, np. porosty
	pączkowanie	komórki tworzą uwypuklenia w kształcie pączków, które rosną i po oderwaniu się tworzą nową komórkę, np. drożdże
	zarodniki (spory)	**aplanospory** u gatunków lądowych (nie mają zdolności do poruszania się), np. u sprzężniowców, oraz **zoospory** u gatunków wodnych (zarodniki ruchliwe, pływki), np. u skoczkowców
płciowe	gametogamia	łączenie się gamet, które powstają w specjalnych strukturach – **gametangiach**, żeńskich **lęgniach** i męskich **plemniach**, np. u skoczkowców
	gametangiogamia	łączenie się całych gametangiów, zawartość plemni za pomocą tzw. włostka przelewa się do lęgni, występuje u sprzężniowców i workowców
	somatogamia	łączenie się dwóch różnych płciowo haploidalnych strzępek grzybni, występuje u podstawczaków

Rodzaje zarodników grzybów

Zarodniki	Opis	Miejsce powstania		Podział poprzedzający powstanie	
		wewnątrz zarodni – ednospory	poza zarodnią – egzospory	mitoza – mitospory	mejoza– mejospory
sporangialne	Powstają w kulistych zarodniach na końcach haploidalnych strzępek; są wytwarzane przez grzyby z gromady sprzężniowców.	+		+	
konidialne	Powstają przez odcięcie komórek na szczycie strzępek; są wytwarzane przez grzyby z gromady sprzężniowców i workowców.		+	+	
workowe	Powstają w specjalnych zarodniach – workach u workowców.	+			+
podstawkowe	Powstają przez odcięcie komórek na zarodniach – podstawkach u podstawczaków.		+		+


sporangialne


konidialne


workowate


podstawkowe

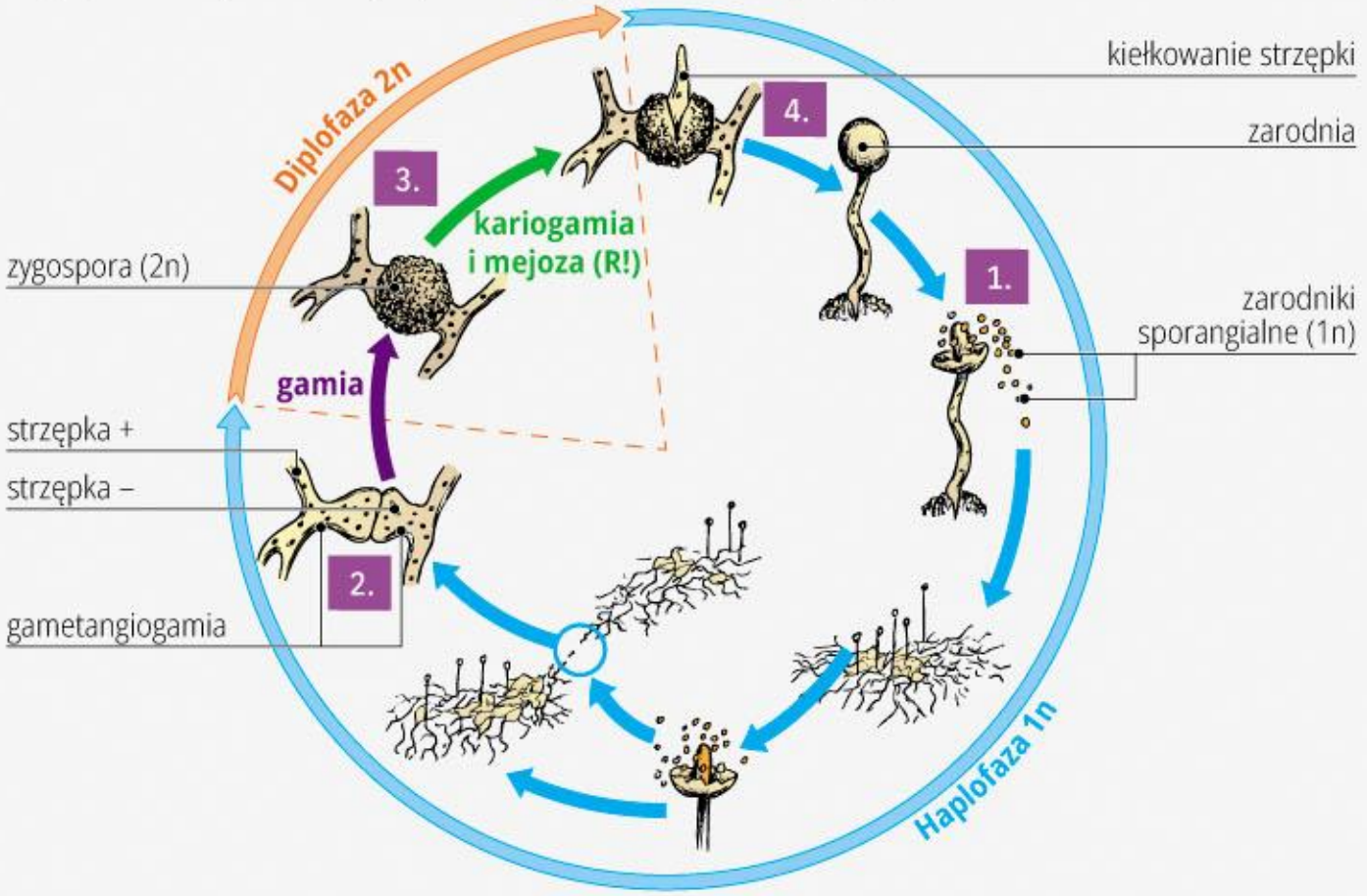
Cykle rozwojowe grzybów

U grzybów w cyklach rozwojowych wyróżnia się dwie podstawowe fazy: **diploidalną (2n)** i **haploidalną (1n)**, często jedna z nich jest wyraźnie skrócona.

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

Cykl rozwojowy sprzężniowców

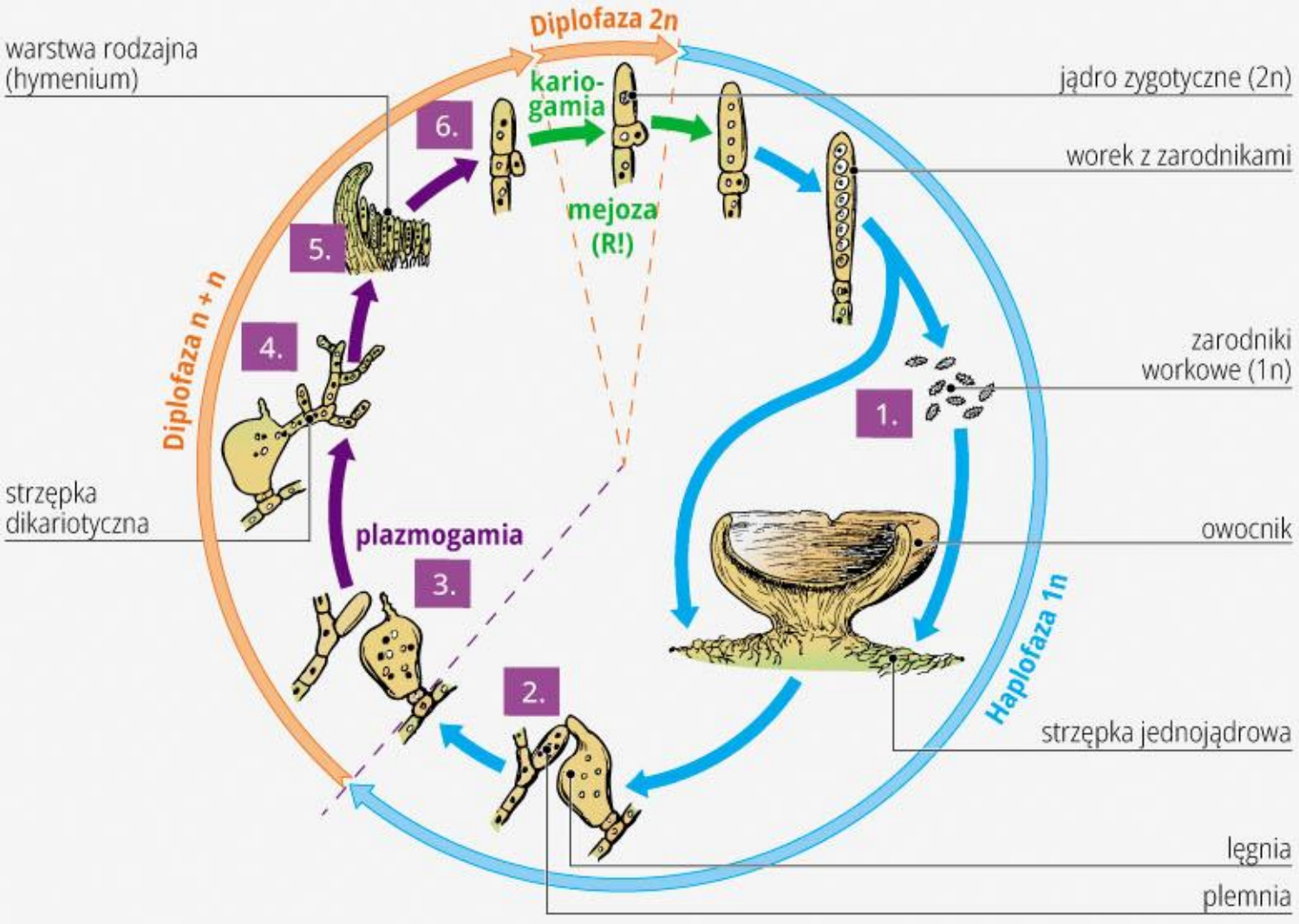
Sprzężniowce rozmnażają się bezpłciowo za pomocą **zarodników sporangialnych** (nieruchliwych apalnospor) lub **konidialnych**. Proces płciowy to **gametangiogamia**. W cyklu rozwojowym **faza haploidalna (1n) dominuje** nad fazą diploidalną (2n) i dikariofazą (n+n).



1. Z zarodników (1n) rozwijają się haploidalne, identyczne morfologicznie, ale zróżnicowane płciowo (różnoimienne) grzybnie. Na końcach dwóch różnoimiennych strzępek grzybni powstają **gametangia**.
2. Następuje łączenie dwóch gametangiów – **gametangiogamia** – przez rozpuszczenie ściany komórkowej oddzielającej je od siebie i zlanie zawartości (**plazmogamia**).
3. Tworzy się **zygospora przetrwalnikowa** otoczona grubą, często kolczastą ścianą komórkową, odporna na niekorzystne warunki środowiskowe. Zygospora, jako forma przetrwalnikowa, często przez wiele miesięcy pozostaje nieaktywna. W sprzyjających warunkach w zygosporze dochodzi do procesu zlania różnoimiennych jąder, czyli **kariogamii**, w wyniku którego powstają diploidalne jądra zygotyczne (2n) oraz zachodzi **mejoza**. Mejoza prowadzi do wytworzenia haploidalnych strzępek (1n).
4. Zygospora pęka, uwalniając haploidalne strzępki, na których szczycie formują się zarodnie wypełnione **sporangialnymi zarodnikami**. Zarodniki kiełkują w nową haploidalną grzybnię, która może rozmnażać się płciowo lub bezpłciowo za pomocą nieruchliwych **aplanospor**.

Cykl rozwojowy workowców

Workowce rozmnażają się bezpłciowo przez **podział komórki**, **pączkowanie**, **zarodniki konidialne** i **workowe**, a **płciowo przez gametangiogamię**. W cyklu rozwojowym workowców pokoleniem **dominującym jest faza haploidalna (1n)**.



1. Uwolnione z zarodni zarodniki w sprzyjających warunkach kiełkują w haploidalną, zróżnicowaną płciową grzybnię.
2. Grzybnie wytwarzają wielojądrowe gametangia: plemnie i lęgnie.
3. Plemnia łączy się za pomocą charakterystycznego wyrostka – **włostka** – z lęgnią. Przez włostek następuje **plazmogamia**, czyli przeniesienie cytoplazmy wraz z jądrem komórkowym z plemni do lęgni.
4. Zróżnicowane płciowo jądra układają się obok siebie parami i tworzą pary **jąder sprzężonych (n+n)**.
5. Pary jąder sprzężonych przechodzą do strzępek wyrastających z zapłodnionej lęgni i tworzą tzw. grzybnię dikariotyczną. Strzępki grzybni dikariotycznej rosną, tworząc **warstwę hymenium** (tzw. warstwę rodzajną), z której wytworzą się zarodniki.
6. Szczytowe komórki strzępek dikariotycznych przekształcają się w zarodnie zwane **workami**, w których dochodzi do zlania się jąder sprzężonych, czyli **kariogamii**. W wyniku kariogamii powstaje diploidalne **jądro zygotyczne (2n)**, które przechodzi podział mejotyczny, dając 4 haploidalne jądra (n). Każde jądro przechodzi dodatkowo mitozę, w efekcie czego powstaje osiem haploidalnych zarodników workowych (n) – **askospor**.

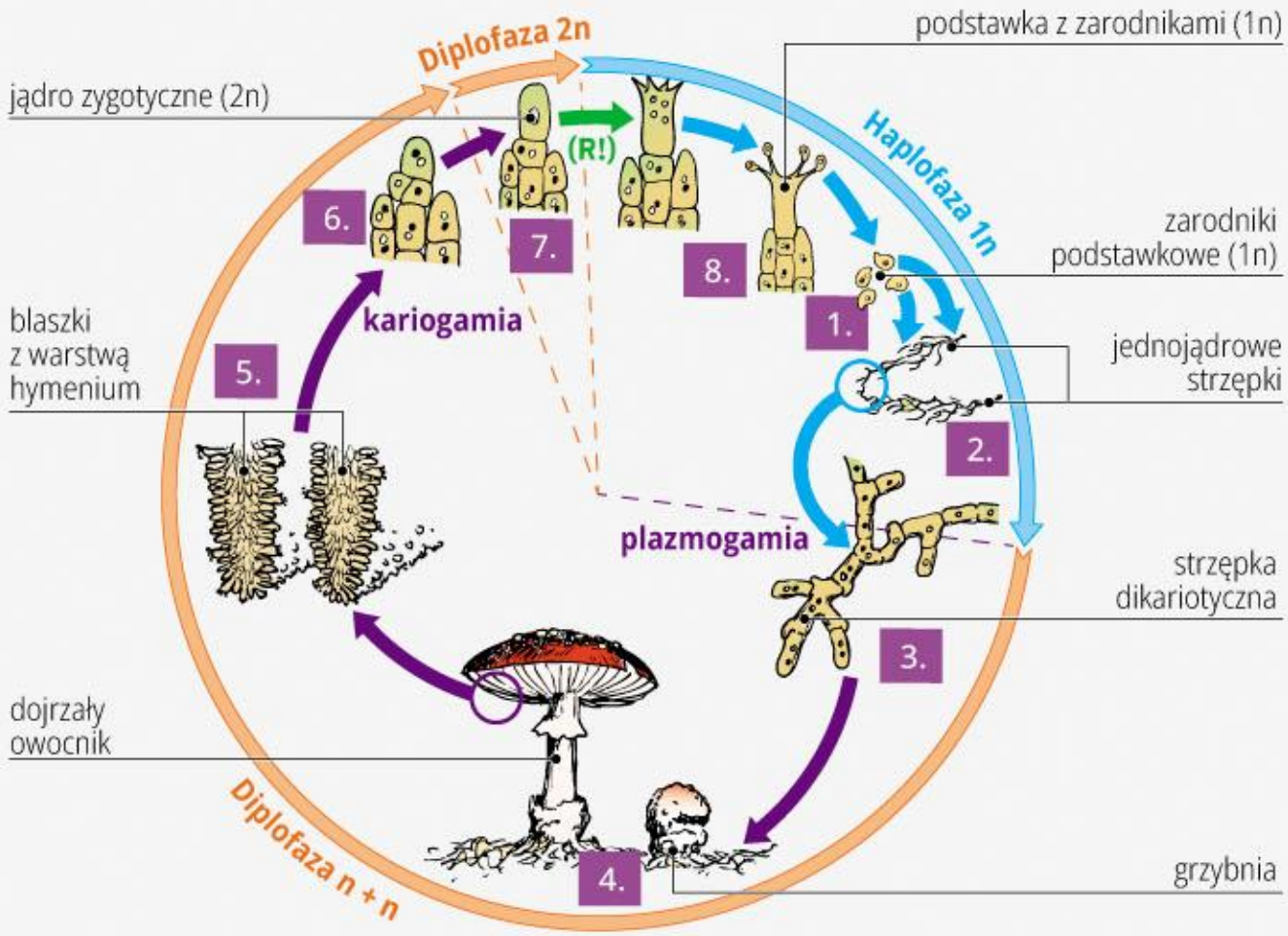
Cykl rozwojowy podstawczaków

Podstawczaki rozmnażają się bezpłciowo przez fragmentację grzybni, za pomocą **zarodników konidialnych i podstawkowych** oraz płciowo na drodze **somatogamii**. W cyklu rozwojowym **przeważa dikariofaza (n+n)**, faza haploidalna (n) jest skrócona, a faza diploidalna (2n) ogranicza się jedynie do jądra zygotycznego.

1. Z zarodników podstawkowych rozwijają się haploidalne, zróżnicowane płciowo grzybnie.
2. Następuje połączenie się różnopłciowych, haploidalnych (n) strzępek grzybni – somatogamia, w wyniku którego dochodzi do zlania cytoplazmy – **plazmogami**.
3. Powstają strzępki z parami jąder sprzężonych (n+n).
4. Strzępki rozrastają się i wytwarzają owocnik, który najczęściej ma postać kapelusza osadzonego na trzonie.
5. Spodnia strona kapelusza nosi nazwę **hymenoforu**. Znajduje się w nim warstwa rodzajna – **hymenium**, w której tworzą się zarodnie zwane **podstawkami**.
6. W szczytowych komórkach niektórych strzępek dochodzi do zlania się jąder sprzężonych – **kariogamii**. W wyniku tego procesu powstaje jądro zygotyczne.

7. Każde jądro zygotyczne dzieli się mejotycznie, dając cztery haploidalne.

8. Pojedyncza szczytowa komórka wytwarza cztery wyrostki, do których wnikają jądra haploidalne, dając początek zarodnikom podstawkowym.



Cykl rozwojowy podstawczaka na przykładzie muchomora czerwonego

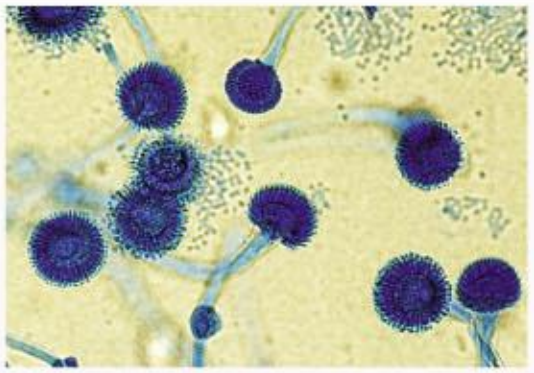
Przegląd systematyczny grzybów

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

Główne gromady	Charakterystyka	
sprzężniowce (*Zygomycetes*)	• są grzybami lądowymi zbudowanymi z wielojądrowych, haploidalnych strzępek • rozmnażają się bezpłciowo za pomocą zarodników sporangialnych lub konidialnych i płciowo na drodze gametangiogamii • są saprofitami żyjącymi na martwej materii organicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, często powodują zjawisko pleśnienia produktów spożywczych przedstawicie: rozłożek czerniejący (*Rhizopus nigricans*), pleśniak biały (*Mucor mucedo*), zrywka kryształowa (*Pilobolus crystallinus*; żyje na odchodach bydlęcych), owadomorki (*Entomophthorales*) (pasożyty wewnętrzne owadów, roztoczy i nicieni)	 Pleśniak biały  Rozłożek czerniejący

Główne gromady	Charakterystyka	
skoczkowce (*Chytridiomycetes*)	• jednokomórkowe lub wytwarzające grzybnie komórczakowe • w większości żyją w wodzie, prowadząc saprofityczny lub pasożytniczy tryb życia • rozmnażają się bezpłciowo za pomocą ruchliwych jednowiciowych zoospor i płciowo na drodze izogamii lub oogamii • w cyklu życiowym przeważa haplofaza przedstawiciele: wiele gatunków to pasożyty roślin uprawnych, np. ziemniaków, kapusty, niektóre żyją w warunkach beztlenowych w żołądku zwierząt przeżuwających	 Bulwa ziemniaka zainfekowana przez grzyba z rodzaju *Synchytrium*. Grzyb wywołuje tzw. raka ziemniaczanego. Zarażone bulwy tworzą rakowate narośla, których rozpad uwalnia przetrwalniki grzyba mogące infekować nawet przez 20 lat.
workowce (*Ascomycetes*)	• najliczniejsza grupa grzybów, opisano ponad 80 tysięcy gatunków • żyją głównie w środowisku lądowym, rzadko w wodnym • duża różnorodność form organizacji ciała od jednokomórkowych do wielokomórkowych (zbudowana z nitkowatych strzępek grzybnia tworzy owocniki) • owocniki u workowców przyjmują różne kształty i formy: zamknięte, miseczkowate, kuliste, butelkowate • rozmnażają się bezpłciowo przez podział komórki, pączkowanie, zarodniki konidialne i workowe oraz płciowo na drodze gametangiogamii • są głównie grzybami saprofitycznymi, odżywiającymi się martwą materią organiczną • niektóre gatunki są pasożytami i symbiontami tworzącymi mikoryzy i budujące plechy porostów przedstawiciele: o pozytywnym znaczeniu – drożdże, pędzlak (*Penicillium*); negatywnym – buławinka czerwona, czyli sporysz, pędzlak (*Penicillium*), mączniaki (*Erysiphales*); jadalne – trufle (*Tuber*), smardze; trujące – piestrzenica kasztanowata (*Gyromitra esculenta*)	 Owocnik zamknięty trufli (*Tuber*)  Czarka szkarłatna (*Sarcoscypha coccinea*) – owocnik miseczkowaty  Smardz jadalny (*Morchella esculenta*) – owocnik kulisty  Buławinka czerwona

Główne gromady	Charakterystyka	
podstawczaki (*Basidiomycetes*)	• druga co do liczebności grupa grzybów, licząca ponad 40 tysięcy gatunków • żyją w środowisku lądowym • reprezentują dużą różnorodność form od jednokomórkowych po nitkowate, wielokomórkowe grzybnie tworzące owocniki (dorastające do znacznych rozmiarów) • owocniki i hymenofory przyjmują różne kształty, np. owocniki konsolowate, kopytowate, kapeluszowe, gałęziste, zamknięte, a hymenofory gładkie, kolczaste, labiryntowate czy żyłkowane • rozmnażają się bezpłciowo przez zarodniki konidialne i podstawkowe oraz płciowo na drodze somatogamii • są grzybami saprofitycznymi, pasożytami i symbiontami tworzącymi mikoryzy przedstawiciele: większość gatunków jest jadalnych, np. pieczarki (*Agaricus*), borowiki (*Boletus*), maślaki (*Suillus*), podgrzybki (*Imleria*): liczne gatunki są śmiertelnie trujące, np. muchomory (*Amanita*), strzępiak ceglasty (*Inosperma erubescens*), zasłoniak rudy (*Cortinarius orellanus*); niektóre gatunki są groźnymi pasożytami roślin, np. rdza źdźbłowa (*Puccinia graminis*, pasożyt pszenicy i traw), głównie (*Ustilaginomycotina*) i śniecie (*Ustilago*, pasożyty pszenicy)	 Owocnik zamknięty purchawki (*Lycoperdon*)  Hubiak pospolity (*Fomes fomentarius*)  Borowik szlachetny (*Boletus edulis*)  Muchomor sromotnikowy (*Amanita phalloides*)  Borowik szatański (*Boletus satanas*)  Czubajka cuchnąca (*Lepiota cristata*)

Główne gromady	Charakterystyka	
grzyby niedoskonałe (*Deuteromycota*)	• stworzone sztucznie dla grzybów, u których nie stwierdzono rozmnażania płciowego • rozmnażają się bezpłciowo przez zarodniki konidialne • zaliczamy do nich przedstawicieli workowców i rzadziej podstawczaków • we współczesnej systematyce często nie wyróżnia się tej grupy grzybów, a gatunki, u których nie występuje rozmnażanie płciowe, zaliczane są do workowców, nieliczne do podstawczaków	 Kropidlak popielaty (*Aspergillus fumigatus*)

Znaczenie grzybów w przyrodzie

1. Jako **organizmy saprofityczne**, odżywiając się martwą materią organiczną, ograniczają jej gromadzenie w środowisku, co zapewnia utrzymanie równowagi biologicznej.
2. Grzyby jako **destruenci** rozkładający szczątki innych organizmów uczestniczą w krążeniu materii i pierwiastków (głównie węgla i azotu) w przyrodzie. Przyczyniają się też do użyźniania gleby w przyswajalne przez rośliny związki mineralne, a tym samym wpływają na wysokość plonów roślin uprawnych.
3. Grzyby jako jedyne organizmy mają **zdolność rozkładu trwałych ścian komórkowych** roślin lądowych dzięki wydzielaniu enzymów: celulazy, hemicelulozy i ligninazy.
4. Symbioza grzybów z korzeniami roślin – **mikoryza** – zwiększa pobieranie wody i soli mineralnych przez rośliny, chroni rośliny przed wpływem toksyn i metali ciężkich, przed zakażeniem bakteriami i innymi grzybami pasożytniczymi. W przypadku niektórych gatunków storczyków mikoryza jest niezbędna do ich życia.

Znaczenie grzybów dla człowieka

1. Grzyby jadalne ze względu na swoje **walory smakowe** są wykorzystywane przez człowieka jako surowiec kulinarny lub dodatki do potraw. Wartość energetyczna grzybów jest niewielka, dostarczają tylko soli mineralnych i witamin (B_1, B_2, PP, D), a chityna zawarta w ich ścianach komórkowych zwiększa perystaltykę przewodu pokarmowego.
2. Niektóre grzyby są uprawiane przez człowieka na skalę przemysłową – stanowią **surowiec spożywczy**, np. pieczarki, boczniaki, trufle.
3. Grzyby mające zdolność do fermentacji wykorzystuje się do **produkcji żywności**: drożdże do spulchniania ciasta w piekarnictwie, do wyrobu piwa i wina, niektóre gatunki pędzlaka (*Penicillium camemberti*, *Penicillium roqueforti*) – do produkcji sera, a pewne gatunki rozłożka – do produkcji kwasu mlekowego na skalę przemysłową.
4. Grzyby są wykorzystywane w **przemyśle farmaceutycznym** do otrzymywania antybiotyków (m.in. pędzlak *Penicillium notatum* do produkcji penicyliny) oraz witamin A, B_2, B_{12}. Z niektórych grzybów uzyskuje się cyklosporynę – lek zapobiegający odrzucaniu przeszczepów.
5. Niektóre gatunki drożdży, których komórki zostały **genetycznie zmodyfikowane**, są wykorzystywane do produkcji białek o znaczeniu leczniczym (interfronu i insuliny).
6. **Grzyby saprofityczne** są przyczyną psucia się artykułów spożywczych (pleśniak – głównie produktów mlecznych, a rozłożek czerniejący – owoców), materiałów budowlanych, drewna, a także odzieży. Niektóre gatunki kropidlaków, rozwijając grzybnie na artykułach spożywczych, wydzielają aflatoksyny – toksyczne, rakotwórcze substancje chemiczne.

Grzyby pasożytnicze

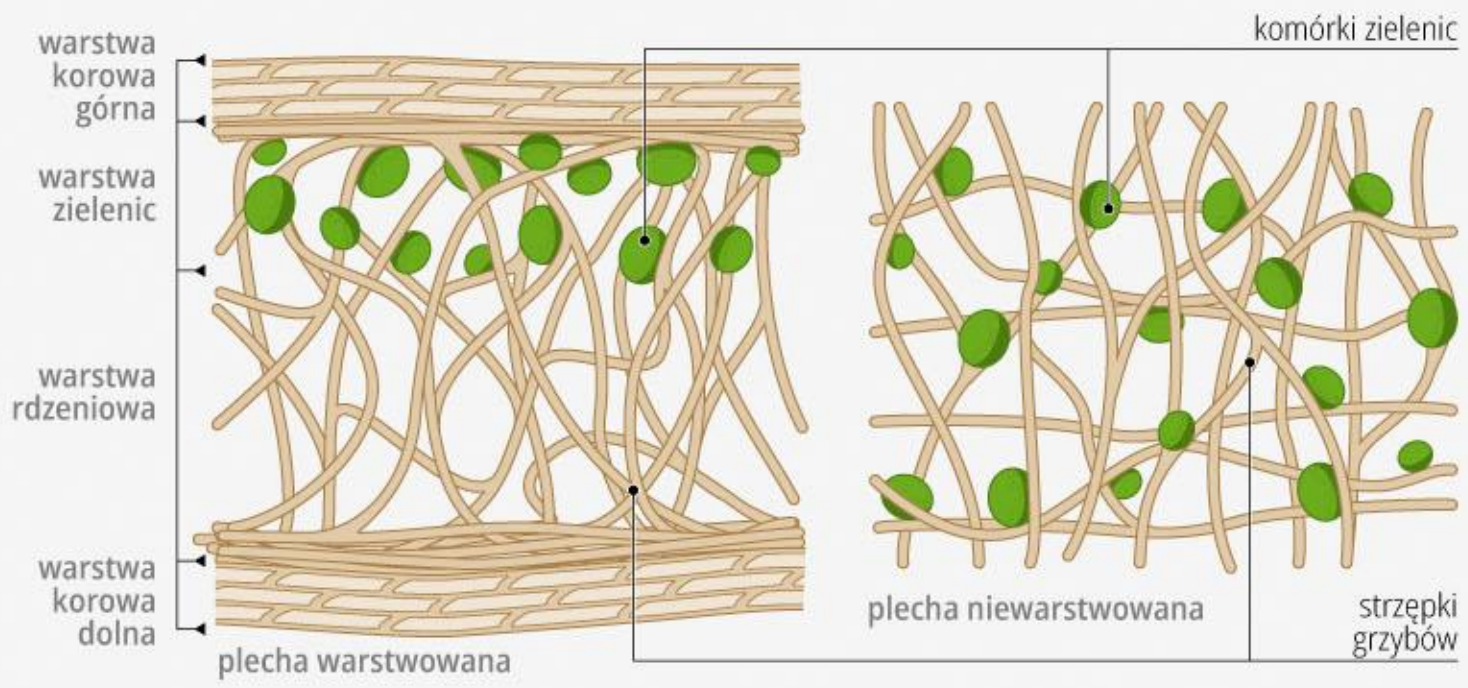
- Niektóre gatunki grzybów – buławinka czerwona, rdza źdźbłowa, głownie i śniecie – są pasożytami roślin. Powodują duże straty w rolnictwie. Duże straty w gospodarce leśnej wywołują grzyby pasożytujące na drzewach, głównie huby i opieńki miodowe.
- U zwierząt i człowieka grzyby pasożytnicze (drożdżaki z rodzaju *Candidia*) są przyczyną grzybic powierzchniowych warstw skóry i błon śluzowych oraz bardzo niebezpiecznych grzybic narządów wewnętrznych (np. płuc, jelit), które mogą doprowadzić do śmierci.

4.6. Porosty

Porosty są plechowcami zbudowanymi z dwóch komponentów: strzępek grzyba (głównie workowców, rzadziej podstawczaków) i komórek zielenic lub sinic. Grzyb ochrania oraz dostarcza wody i soli mineralnych, a zielenice lub sinice – substancji odżywczych zdobytych na drodze fotosyntezy. Dzięki temu związkowi porosty są samożywne – autotroficzne. Współpracę między komponentami uznawano za obustronnie korzystną (**symbioza obligatoryjna**). Najnowsze badania wskazują na dominującą rolę grzyba, który uniemożliwia rozmnażanie płciowe sinicom lub zielenicom, a wydzielając różne substancje, kontroluje ich wzrost i proces fotosyntezy. Ta zależność jest przykładem kontrolowanego pasożytnictwa grzyba na zielenicy lub sinicy i stanowi odmianę symbiozy nazwanej **helotyzmem** (gr. *heilotes* – jeniec, niewolnictwo, grzyb więzi zielenice lub sinice).

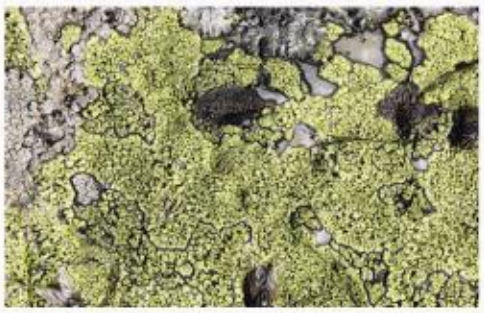
Budowa porostu

W pleszce porostów wyróżnia się zbudowaną z tkanki plektenchymatycznej **warstwę korową** górną i dolną. Izoluje ona porost od wpływów środowiska zewnętrznego. Pod warstwą korową u niektórych porostów rozmieszczone są równomiernie komórki zielenic lub sinic (**plecha niewarstowana**), a u innych tworzą wyraźne warstwy (**plecha warstwowana**).



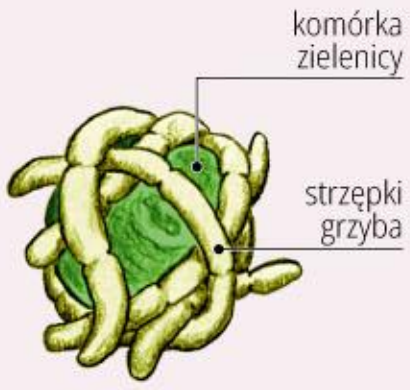
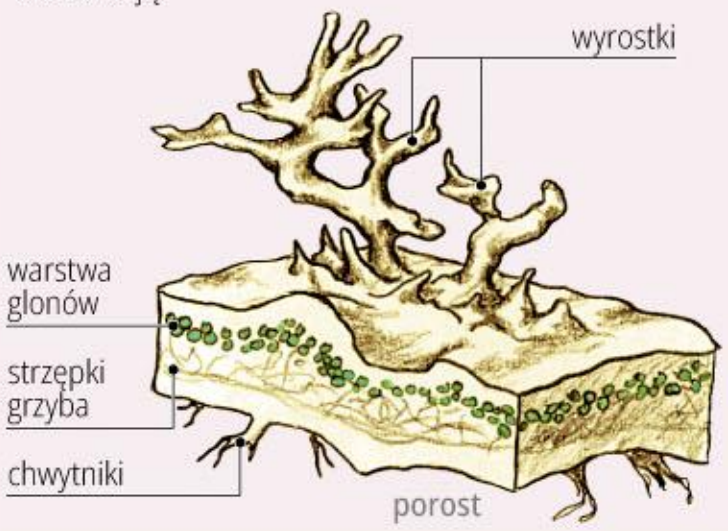
Rodzaje plech porostów

W zależności od kształtu wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje plech: **skorupiaste**, **listkowate** i **krzaczkowate**.

Plecha		
skorupiasta	**listkowata**	**krzaczkowata**
silnie spłaszczona, pozbawiona chwytników, ściśle przylega do podłoża, np. skały, muru czy kory drzew, a czasami w nie wrasta	silnie spłaszczona, kształtem przypominająca blaszki liściowe, zwykle przytwierdzona do podłoża w kilku miejscach za pomocą chwytników	zbudowana z części nasadowej z chwytnikami, którymi jest przymocowana do podłoża oraz licznych rozgałęzień rosnących pionowo ku górze
		
Wzorzec alpejski (*Rhizocarpon alpicola*)	Pustułka pęcherzykowata (*Hypogymnia physodes*)	Brodaczka kędzierzawa (*Usnea subfloridana*)

Rozmnażanie się porostów

Porosty rozmnażają się wyłącznie bezpłciowo przez fragmentację plechy za pomocą specjalnych struktur – **urwistków** i **wyrostków**.

Urwistki (soredia)	Wyrostki (izydia)
• zbudowane z jednej lub kilku komórek zielenicy lub sinicy oplecionych strzępkami grzyba • powstają pod warstwą korową plechy, a wydostają się przez jej pęknięcie	• większe od urwistków • powstają na powierzchni plechy porostu jako kruche odgałęzienia, które się od niej odłamują
 urwistek	
Urwistki i wyrostki są roznoszone przez wiatr i na właściwym podłożu rozrastają się w nowy organizm.	

Grzyby wchodzące w skład porostów mogą rozmnażać się płciowo lub bezpłciowo za pomocą zarodników typowych dla swojej grupy.

Znaczenie porostów

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

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

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

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

5. Porosty są **schronieniem i pokarmem dla wielu zwierząt**, np. karibu, woły piżmowe i renifery odżywiają się chrobotkiem alpejskim *Cladonia stellaris*, płucnicą islandzką *Cetraria islandica* i płucnicą kędzierzawą *Cetraria ericetorum*. Porosty są wykorzystywane przez niektóre gatunki ptaków do budowy gniazd i dzięki właściwościom antyseptycznym stanowią ochronę przed pasożytami.

6. Niektóre gatunki porostów, pomimo stosunkowo niskiej wartości odżywczej, są **jadalne** przez człowieka, np. w Japonii kruszownica jadalna *Umbilicaria esculenta* i włostka *Alectoria pellucida*, a w Laponii do wypieku chleba używa się zmielonej plechy płucnicy islandzkiej.

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

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

5

Różnorodność roślin

5.1. Ewolucja i przystosowania roślin do życia na lądzie

Rośliny są podstawą życia na Ziemi. W czasie fotosyntezy przekształcają energię słoneczną w energię chemiczną, którą w postaci związków budujących pokarmy przekazują zwierzętom i człowiekowi. Roślinna fotosynteza zużywa CO_2 z powietrza i jest źródłem tlenu.

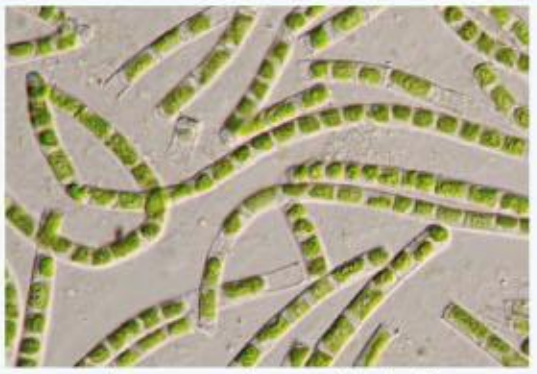
Cechy odróżniające rośliny od innych organizmów

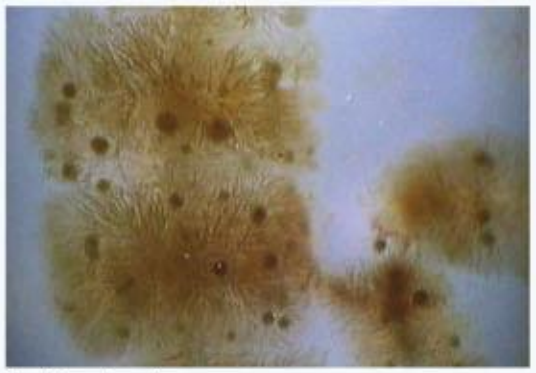
- autotrofizm,
- obecność celulozowej ściany komórkowej,
- obecność chloroplastów otoczonych podwójną błoną,
- obecność skrobi jako materiału zapasowego,
- obecność wakuoli warunkującej turgor komórki,
- występowanie przemiany pokoleń w cyklu życiowym.

Rośliny pierwotnie wodne

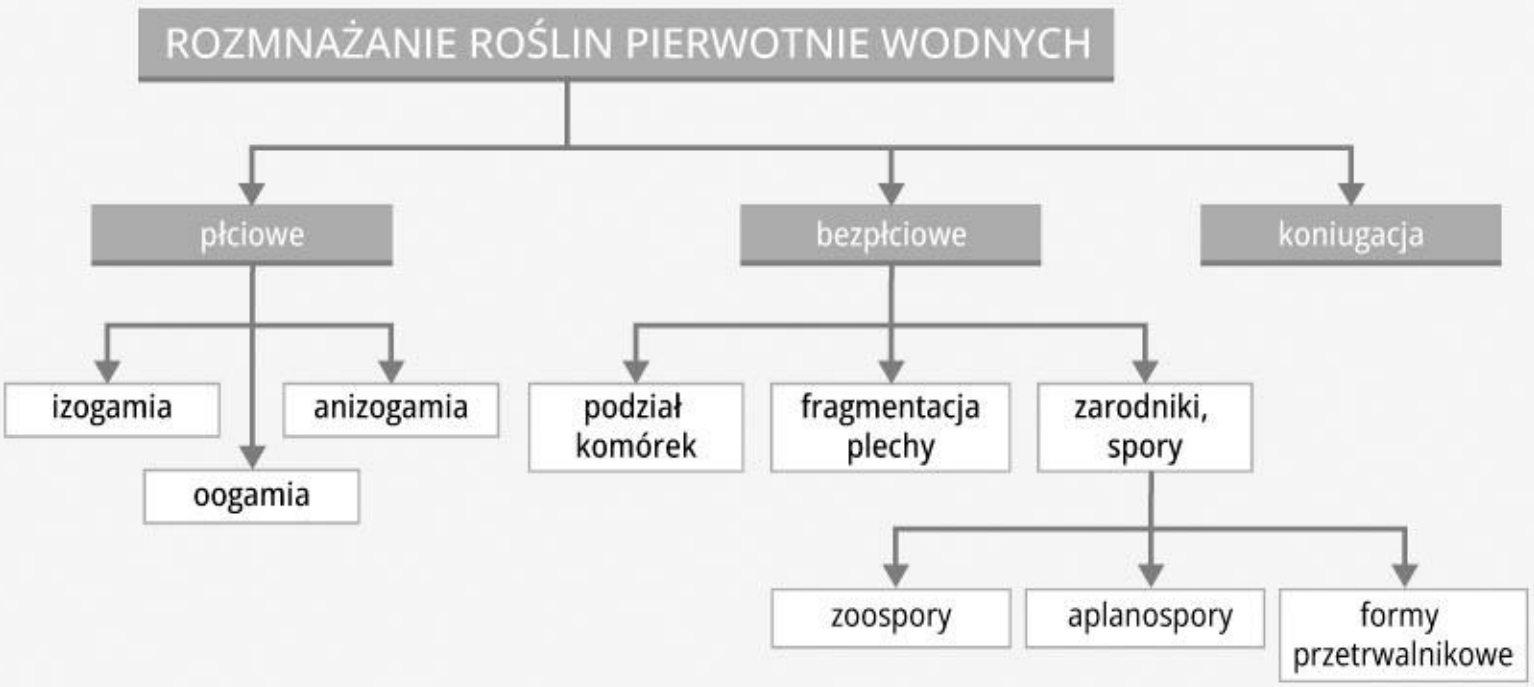
Rośliny pierwotnie wodne obejmują **glaukocystofity**, **krasnorosty** i **zielenice**. Niektórzy zaliczają te grupy do protistów roślinopodobnych. Za ich przynależnością do roślin przemawia obecność ściany komórkowej zbudowanej z celulozy, chloroplastów otoczonych podwójną błoną i skrobi jako materiału zapasowego.

Formy organizacji budowy roślin pierwotnie wodnych

Formy organizacji	Charakterystyka	
formy monadalne (ruchliwe, z wiciami)	Zwykle nie mają ściany komórkowej, tylko wzmocnioną błonę komórkową i dodatkowe osłonki. Wić (lub wici) zapewnia zdolność aktywnego ruchu. Uwaga: u krasnorostów brak form monadalnych.	 *Cyanophora paradoxa* – glaukofit
formy kokalne (nieruchliwe)	Stały kształt komórki (np. kuliste, gwiazdkowate, wydłużone); typowo wykształcona ściana komórkowa; pozbawione możliwości ruchu.	 *Cyanidium caldarium* – krasnorost
formy kolonijne	Zespół komórek połączonych ze sobą za pomocą śluzu lub plazmodesm. Kolonia to najprostsza forma organizmu wielokomórkowego. Kształt kolonii może być regularny lub nieregularny.	 *Volvox sp.* – zielenica

Formy organizacji	Charakterystyka	
formy nitkowate	Typ kolonii, w której komórki po podziale w jednej płaszczyźnie pozostają ze sobą złączone. Nić może być nierozgałęziona lub rozgałęziona.	 *Klebsormidium flaccidum* – ramienicowe
formy plechowe	Organizmy o znacznych rozmiarach, zbudowane z wielokomórkowych, rozgałęzionych nici ciasno ze sobą splecionych. Wyróżniamy: • plechy plektenchymatyczne, które mają dobrze widoczne, pojedyncze nici; • plechy pseudoparenchymatyczne, których struktura przypomina tkankę i nie można wyodrębnić w niej pojedynczych nici.	 Żabirośl – krasnorost  Hildebrandia rzeczna

Typy rozmnażania u roślin pierwotnie wodnych



Główne cechy glaukocystofitów, krasnorostów i zielenic

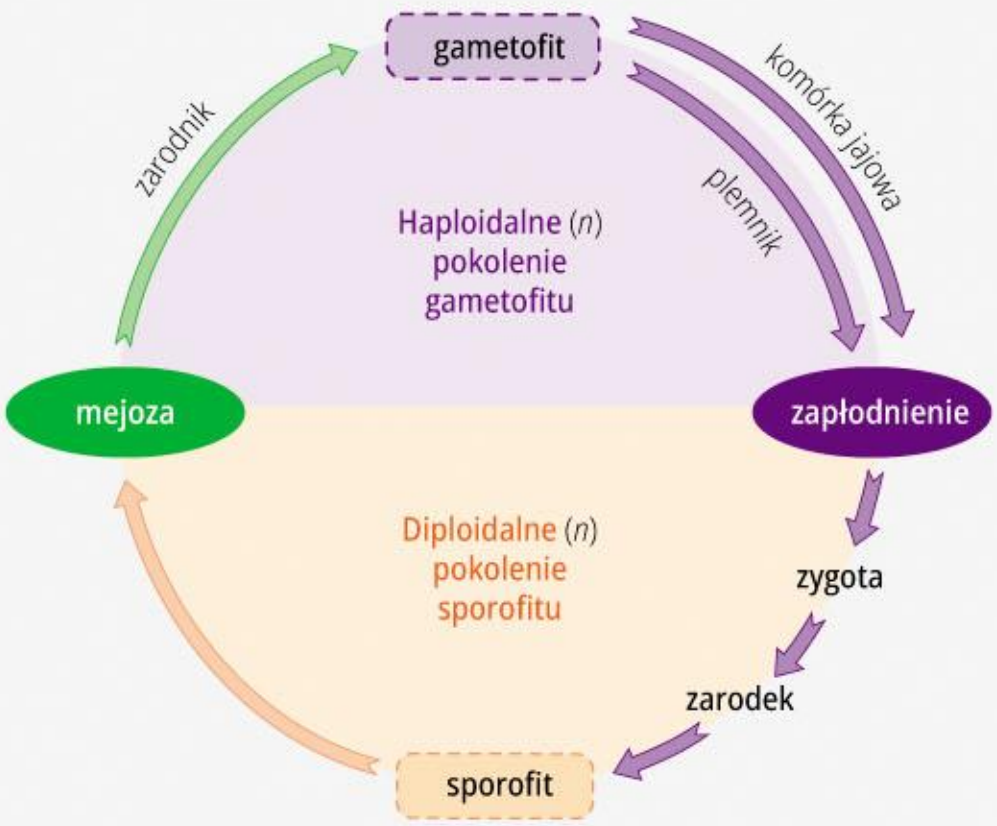
Galukocystofity	Krasnorosty	Zielenice
• jednokomórkowe, zarówno ruchliwe, jak i osiadłe • fotosynteza przebiega w **cyjanellach** (strukturach podobnych do chloroplastów) • obecny chlorofil *a* • występują w wodach słodkich; wchodzą w skład planktonu • znanych jest 13 gatunków	• wielokomórkowe, nitkowate lub plechowate; przytwierdzone do podłoża za pomocą **ryzodium** • w ścianie komórkowej występuje celuloza oraz kwasy alginowe • chloroplasty, otoczone podwójną błoną, zawierają chlorofil *a*, karotenoidy i fikobiliny • materiał zapasowy: ziarna poliglikanu • rozmnażanie bezpłciowe i płciowe • ponad 5000 gatunków; występują w oceanach, wodach słodkich, glebie, na skałach • przykłady gatunków: widlik zaostrzony, szkarłatnica	• formy monadalne, kokalne, nitkowate, plechowe • chloroplasty zawierają chlorofile *a* i *b* oraz karotenoidy • obecność wakuoli tętniącej • materiał zapasowy to skrobia • rozmnażanie bezpłciowe i płciowe • ponad 9000 gatunków; występują w wodach słodkich, słonych, glebie, na kamieniach, korze drzew • przykłady gatunków: ramienica bałtycka, toczek, sałata morska, zawłotnia, gałęzatka

Znaczenie krasnorostów i zielenic

1. Są pokarmem dla zooplanktonu i ryb.
2. Niektóre gatunki krasnorostów wchodzą w skład **raf koralowych**; zielenice wchodzą w skład porostów.
3. Przeprowadzana przez nie fotosynteza jest źródłem tlenu i odgrywa istotną rolę w obiegu węgla na Ziemi.
4. Krasnorosty są cennym składnikiem diety w krajach azjatyckich.
5. Są źródłem wielu **aktywnych biologicznie substancji**: związków przeciwwirusowych, przeciwbakteryjnych, składników kosmetyków.
6. Są źródłem **agaru** i **karagenu**, substancji wykorzystywanych w nauce i przemyśle.

Przemiana pokoleń u roślin

U roślin, w tym roślin pierwotnie wodnych, występuje **przemiana pokoleń**, w której ma miejsce przemiana faz jądrowych. Zjawisko to polega na naprzemiennym występowaniu pokolenia rozmnażającego się za pomocą gamet (**gametofitu**, 1n) oraz **sporofitu** (2n), czyli pokolenia rozmnażającego się za pomocą zarodników (spor). Zarodniki (mejospory) powstają w wyniku podziałów mejotycznych komórek macierzystych zarodników. Z mejospor rozwijają się gametofity, ale ich skład genetyczny jest inny niż organizmu rodzicielskiego – sporofitu. Wytwarzanie mejospor jest związane z rozmnażaniem płciowym.



Przystosowania roślin do życia na lądzie

Parametr środowiska lądowego	Przystosowania morfologiczne i anatomiczne roślin
wilgotność	• tkanka okrywająca zapobiegająca utracie wody i ograniczająca parowanie; zapewnia także wytrzymałość na przesuszenie • wykształcenie aparatów szparkowych w tkance okrywającej, przez które pobierany jest dwutlenek węgla i które regulują transpirację • struktury zabezpieczające przed utratą wody, m.in. kutykula, korek, kutner
dostęp do wody	• rozbudowany system korzeniowy w celu sprawnego pobierania wody z gleby • tkanki przewodzące umożliwiające efektywny transport wody i soli mineralnych z korzeni do innych części rośliny
gęstość powietrza	• mała gęstość powietrza wymagała wykształcenia systemu tkanek wzmacniających, które zapewniają wytrzymałość i odporność na złamanie • system korzeniowy utrzymujący roślinę w glebie
dostęp do światła	• płaska powierzchnia i cienka blaszka liści warunkują wydajne pochłanianie promieniowania słonecznego
wahania temperatury	• tkanki okrywające i ich wytwory chroniące przed zmianami temperatur

Najstarsze rośliny lądowe – ryniofity

Według najnowszych badań najstarsze rośliny lądowe:
– pojawiły się ok. 480–460 mln lat temu w środkowym ordowiku;
– wywodzą się z grupy ramienicowych (*Characeae*), zaliczanych do zielenic;
– najstarsze znalezione szczątki roślin kopalnych należą **ryniofitów** (rodzaje *Cooksonia* i *Rhynia*);
– rynia miała dychotomicznie rozgałęziony, pozbawiony liści sporofit, w którym obecne były chloroplasty i chlorofil; każde rozgałęzienie (**telom**) było zakończone wydłużonymi zarodniami z zarodnikami; w obrębie pędu przebiegała prymitywna wiązka przewodząca; rynia była przytwierdzona do podłoża chwytnikami; gametofit miał postać małych zielonych łodyżek; ryniofity były roślinami dwupiennymi (gametangia męskie i żeńskie znajdowały się na innych łodyżkach); występowała izomorficzna przemiana pokoleń;
– z ryniofitów wyodrębniły się zosterofilofity (prawdopodobnie dały początek widłakowym) i trymerofity (z nich prawdopodobnie wywodzą się widłakowe, skrzypowe, paprociowe i pranagozalążkowe).



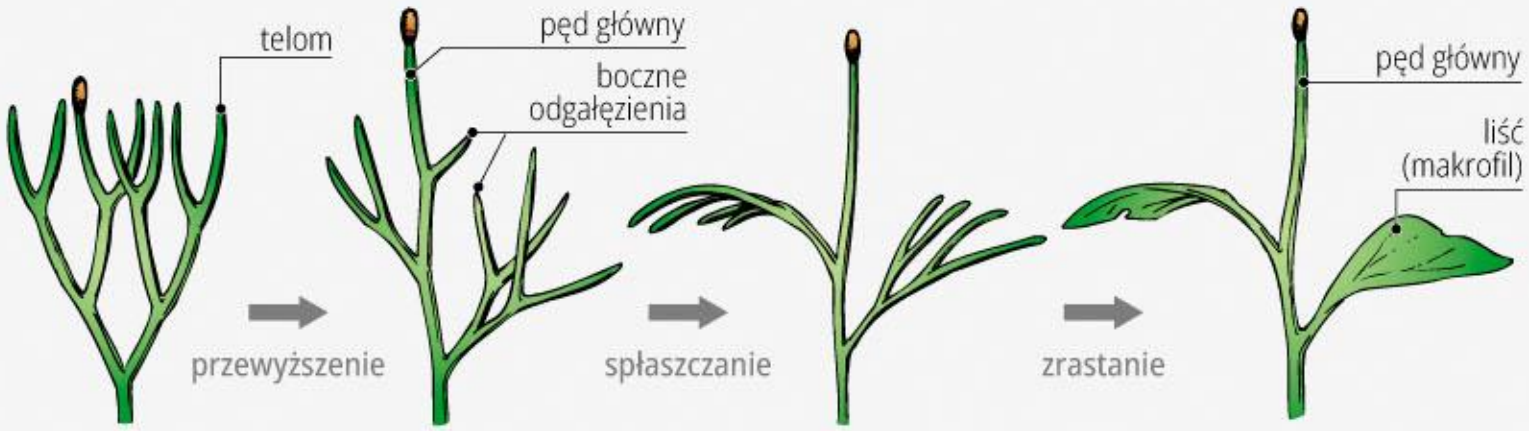
Cooksonia sp. *Rhynia gwynne-vaughanii*

Ewolucja ryniofitów

Ryniofity (przemiana pokoleń izomorficzna)	
przemiana heteromorficzna (z dominacją jednego pokolenia)	
mszaki (zredukowany sporofit, dominujący gametofit)	**rośliny zarodnikowe, rośliny nasienne** (zredukowany gametofit, rozwinięty sporofit)

Teoria telomowa

Telom to jednoosiowe odgałęzienie sporofitu najwyższego rzędu z pojedynczą wiązką przewodzącą. Zgodnie z teorią telomową wszystkie organy sporofitu roślin powstały z przekształcenia telomów ryniofitów. Współczesne rośliny lądowe nazywamy roślinami telomowymi lub osiowymi.



Nazewnictwo roślin lądowych

Rośliny	
telomowe	pęd główny, pędy boczne i liście powstałe z przekształcenia telomów ryniofitów
naczyniowe (poza mszakami)	dla podkreślenia występującej u roślin lądowych tkanki przewodzącej wodę, czyli naczyń (członów naczyń)
organowce (nazwa historyczna)	dla podkreślenia obecności w pełni wykształconych organów wegetatywnych (łodyga, liście, korzeń) i generatywnych (kwiaty, owoce)
zarodnikowe	rośliny rozmnażające się za pomocą zarodników – mszaki, widłakowe, skrzypowe i paprociowe
nasienne	rośliny wytwarzające nasiona – nagozalążkowe i okrytozalążkowe

5.2. Tkanki roślinne

Tkanka to zespół komórek o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie, które pełnią określoną funkcję. Wykształcenie tkanek umożliwiło roślinom opanowanie środowisk lądowych.

Podział tkanek roślinnych



Tkanki twórcze (merystematyczne)

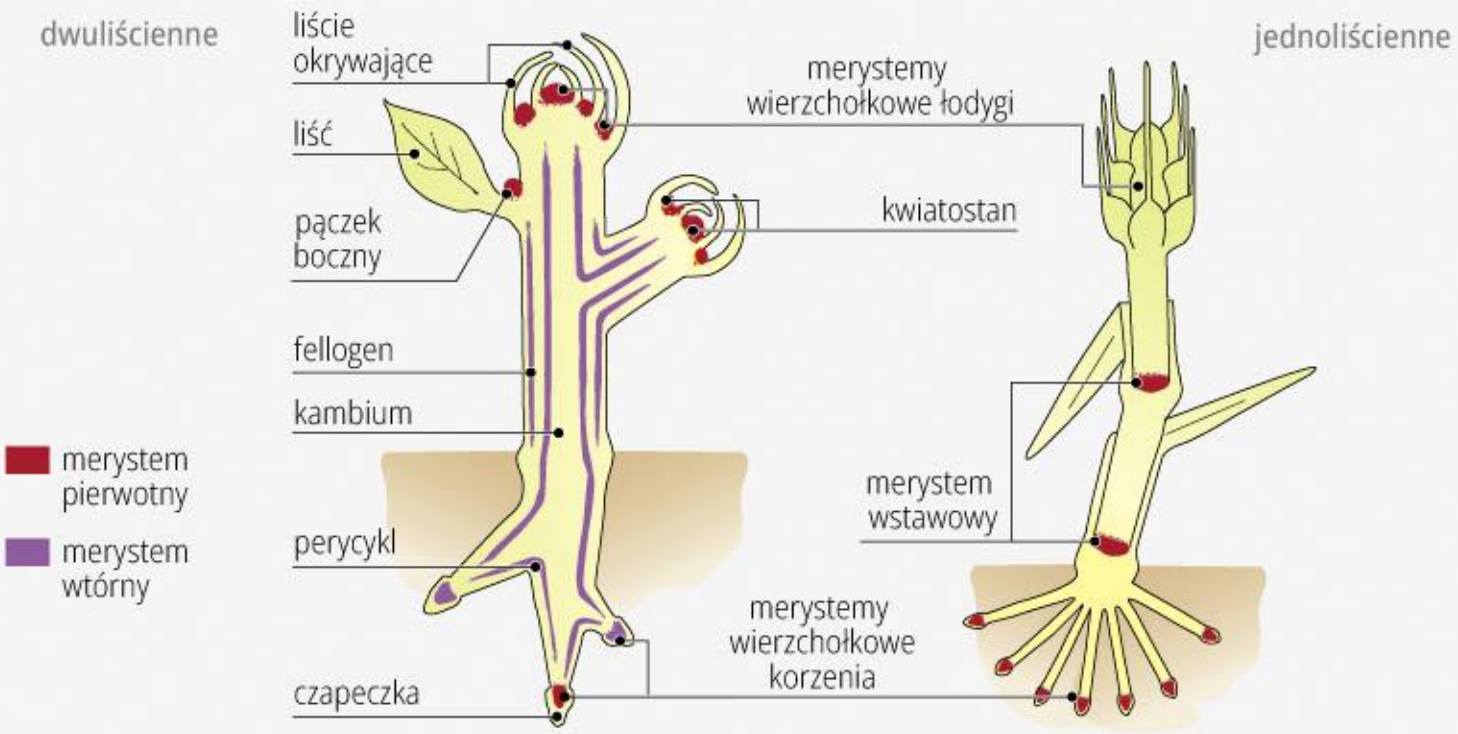
Tkanki twórcze mają zdolność do regularnych podziałów i tworzenia nowych komórek, z których powstają komórki tkanek stałych.

Cechy komórek tkanek merystematycznych:
- żywe, małe, ściśle do siebie przylegają i są otoczone cienką, pierwotną ścianą komórkową;
- wnętrze wypełniają: duże jądro komórkowe i drobne wakuole;
- wykazują zdolność do podziałów mitotycznych (większość tkanek twórczych) lub mejotycznych (tkanki zarodnikotwórcze).

Tkanki twórcze	
pierwotne	**wtórne**
• występują w zarodku lub pochodzą z merystemu zarodkowego • dają początek tkankom stałym	• powstają z tkanek stałych po ich odróżnicowaniu się • dają początek wtórnym tkankom stałym

Tkanki twórcze pierwotne

Rodzaj tkanki twórczej pierwotnej	Charakterystyka
merystemy wierzchołkowe (stożki wzrostu)	• występują na szczycie łodygi (stożek wzrostu pędu) i korzenia (stożek wzrostu korzenia) • odpowiadają za wzrost rośliny na długość (wzrost elongacyjny) • stożek wzrostu korzenia jest chroniony **czapeczką** zbudowaną z komórek miękiszowych
merystemy wstawowe (interkalarne)	• zlokalizowane u podstawy międzywęźli, nad nasadami liści • umożliwiają wzrost roślinom, które szybko wytwarzają kwiaty na zakończeniach pędów • występują u jednoliściennych i niektórych dwuliściennych (np. goździkowatych)
merystemy boczne pierwotne (kambium pierwotne)	• występują w wiązkach przewodzących roślin dwuliściennych, wraz z kambium międzywiązkowym (wtórnym) odkładają nowe elementy łyka i drewna • powodują przyrost pędu na grubość
niektóre merystemy zarodnikotwórcze (archesporialne)	• występują wewnątrz zarodni, gdzie ich komórki dzielą się mejotycznie • wytwarzają haploidalne (n) zarodniki



Tkanki twórcze wtórne

Rodzaj tkanki twórczej wtórnej		Charakterystyka
merystemy boczne	kambium (miazga międzywiązkowa)	• występuje w wewnętrznej części łodygi i korzenia • wytwarza nowe wiązki przewodzące (łyko wtórne i drewno wtórne) • zlokalizowane między warstwami łyka i drewna • umożliwia roślinom przyrost na grubość
	fellogen (miazga korkotwórcza)	• występuje w obwodowej części łodygi i korzenia • wytwarza wtórną tkankę okrywającą (korek) i pasma tkanki miękiszowej (felodermę) • umożliwia roślinom przyrost na grubość
kalus (tkanka przyranna, kalusowa)		• powstaje w miejscu zranienia rośliny • źródłem kalusa są komórki miękiszowe lub kambium • intensywne podziały komórek kalusa zabliźniają i regenerują uszkodzone miejsca
tkanka zarodnikotwórcza (merystem archesporialny)		• występuje w zalążniach i pylnikach kwiatów • komórki przechodzą mejozę, w wyniku czego powstają haploidalne zarodniki

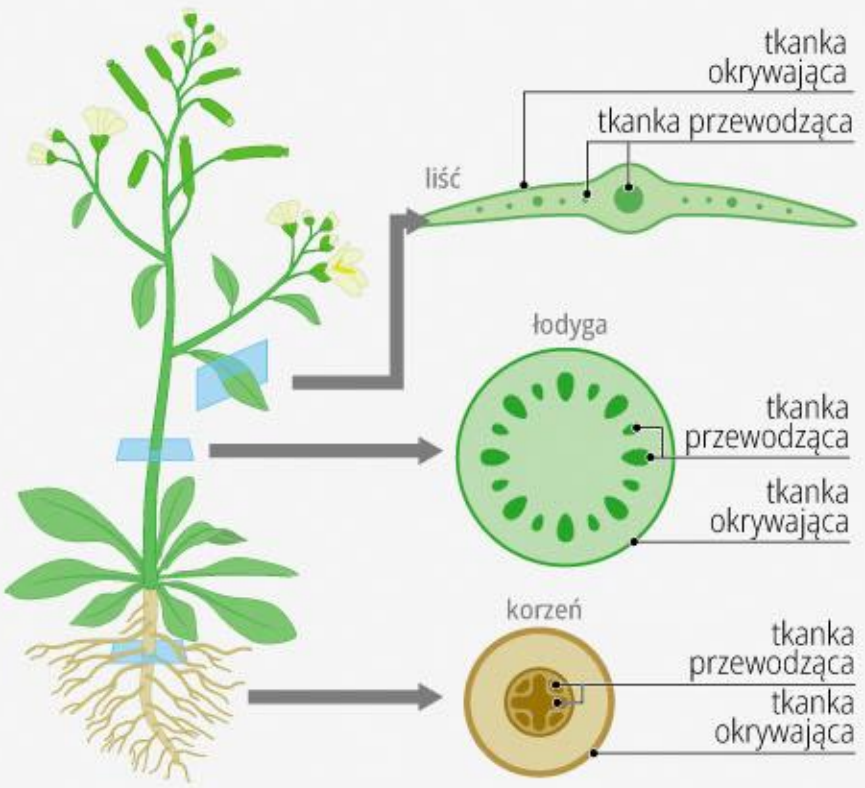
Tkanki stałe

Tkanki stałe zbudowane są z dojrzałych, wyspecjalizowanych komórek, które utraciły zdolność do podziałów.

Cechy komórek tkanek stałych:

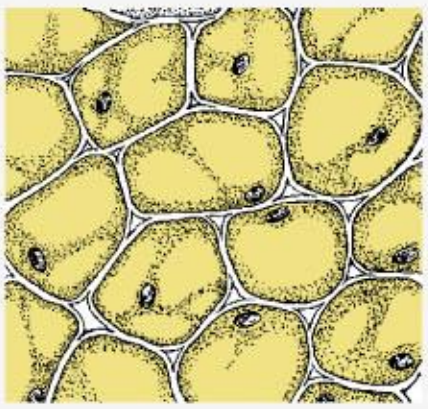
– niezdolne do podziałów lub zachowują tę zdolność bardzo rzadko (dają wtedy początek merystemom wtórnym);
– żywe lub martwe, w zależności od rodzaju tkanki;
– większe niż komórki tkanek twórczych i silnie zwakuolizowane;
– mają dobrze wykształconą ścianę komórkową i dojrzałe plastydy.

Tkanki stałe:
• miękiszowa,
• okrywająca,
• wzmacniająca,
• przewodząca,
• wydzielnicza.



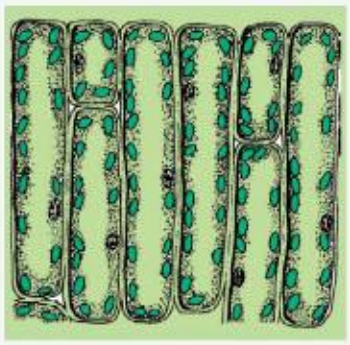
Tkanka miękiszowa

Tkanka miękiszowa – najbardziej rozpowszechniony typ tkanki roślinnej. Zbudowana z dużych, żywych, cienkościennych komórek, pomiędzy którymi znajdują się liczne przestwory międzykomórkowe. Komórki pełnią różne funkcje i zachowują zdolność do odróżnicowania się i podziału w:

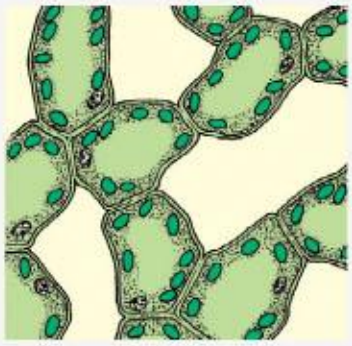


– **miękisz zasadniczy** – podstawowa odmiana tkanki miękiszowej wypełniająca przestrzenie pomiędzy innymi tkankami;

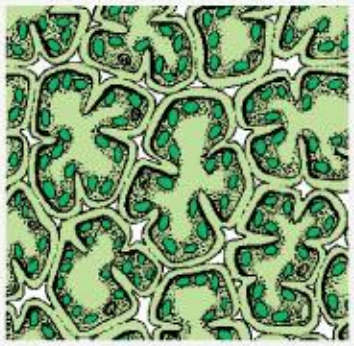
– **miękisz asymilacyjny** – przeprowadza fotosyntezę, jego komórki zawierają dużą liczbę chloroplastów; formy: **palisadowy**, **gąbczasty** i **wieloramienny**;



Miękisz asymilacyjny palisadowy

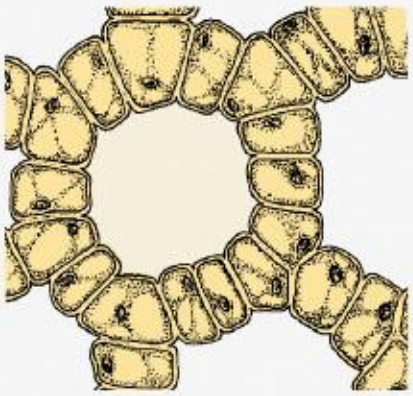


Miękisz asymilacyjny gąbczasty



Miękisz asymilacyjny wieloramienny

– **miękisz powietrzny** (**aerenchyma**) – ma silnie rozwinięte przestrzenie (kanały) międzykomórkowe; umożliwia przewietrzanie tkanek u roślin wodnych i błotnych; ułatwia także unoszenie roślin na powierzchni wody (np. u hiacynta wodnego – na fotografii);

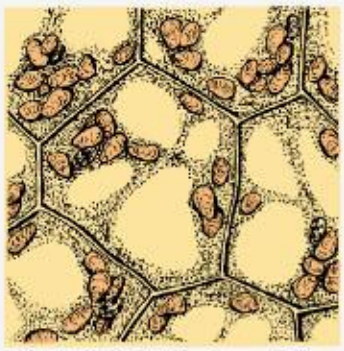


Miękisz powietrzny

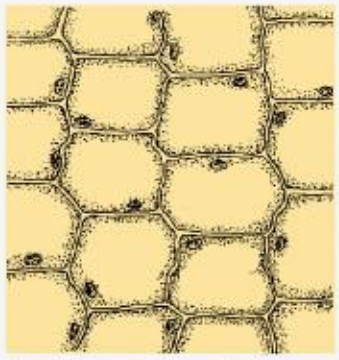


Rozdęte ogonki liściowe z tkanką powietrzną u hiacynta wodnego

– **miękisz spichrzowy** – magazynuje substancje zapasowe w postaci tłuszczów, białek i cukrowców; jest bezzieleniowy; odmianą miękiszu spichrzowego jest **miękisz wodonośny** – magazynujący wodę w łodygach lub liściach sukulentów.



Miękisz spichrzowy



Miękisz wodonośny



Przekrój przez pałkę szerokolistną – liście wewnętrzne wypełnia miękisz spichrzowy, a liście zewnętrzne – miękisz powietrzny.

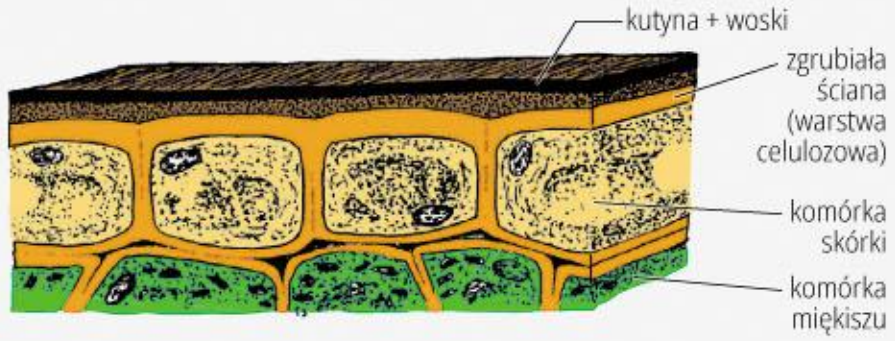
Tkanka okrywająca

Tkanka okrywająca stanowi ochronę roślin przed niekorzystnymi czynnikami zewnętrznymi i utratą wody. Wyróżniamy tkankę okrywającą pierwotną (skórkę) i wtórną (perydermę).

Tkanka okrywająca pierwotna

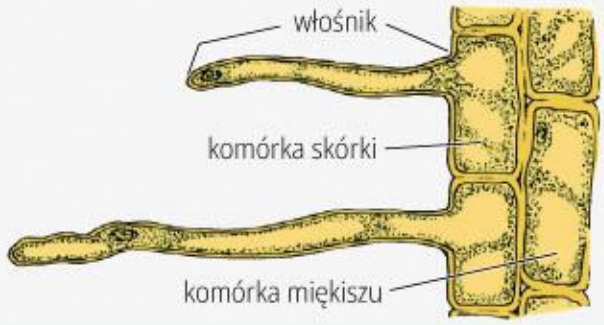
Skórka pędu (epiderma)

– stanowi barierę oddzielającą roślinę od środowiska zewnętrznego;
– utworzona najczęściej z pojedynczej warstwy żywych, ściśle przylegających komórek;
– komórki są pozbawione chloroplastów (z wyjątkiem roślin wodnych i cieniolubnych);
– komórki mają zgrubiałą ścianę komórkową i są wysycone kutyną;
– powierzchnia skórki pokryta jest kutykulą, która chroni przed utratą wody;
– w epidermie znajdują się aparaty szparkowe, przez które zachodzi wymiana gazowa.

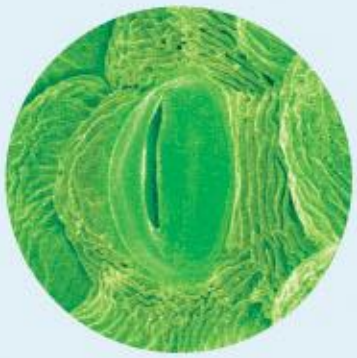


Skórka korzenia (ryzoderma)

- bierze udział w pobieraniu wody i soli mineralnych z gleby;
- utworzona z pojedynczej warstwy żywych, ściśle do siebie przylegających komórek pozbawionych kutykuli;
- w młodych częściach korzenia ryzoderma tworzy jednokomórkowe wypustki zwane włośnikami, które zwiększają powierzchnię chłonną korzenia.



Wytwory epidermy

Wytwory epidermy	Budowa i właściwości	Funkcje
aparaty szparkowe 	• zbudowane z dwóch **komórek szparkowych**, między którymi znajduje się szparka • komórki szparkowe zawierają chloroplasty • mechanizm otwierania aparatów jest uwarunkowany zmianami uwodnienia komórek szparkowych	• regulacja transpiracji • wymiana gazowa – tlenu i dwutlenku węgla
włoski 	• jedno- lub wielokomórkowe, żywe lub martwe, często wypełnione powietrzem	• **włoski kutnerowate** chronią przed utratą wody (np. szarotka) • **włoski czepne** umożliwiają przyczepianie się do podpory (np. przytulia) • **włoski parzące** pełnią funkcje obronne (np. pokrzywa) • **włoski gruczołowate** zawierają enzymy trawienne lub substancje zapachowe (np. rosiczka)
kolce 	• sztywne, ostre wytwory zbudowane ze skórki oraz leżącego pod nią miękiszu	• ochrona przed roślinożercami

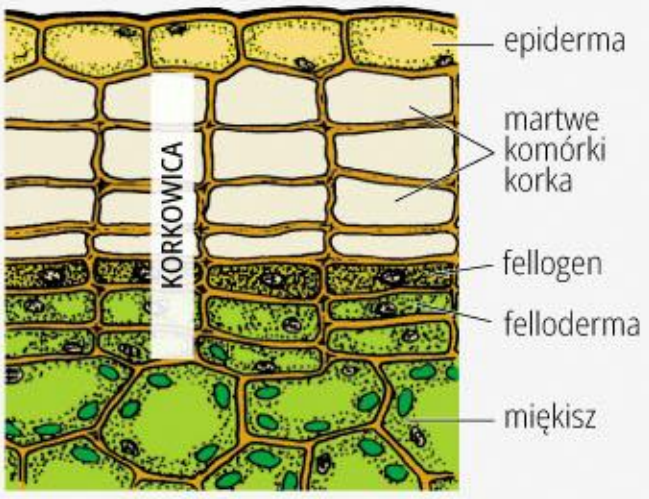
Tkanka okrywająca wtórna

Wtórną tkanką okrywająca jest **peryderma** (korkowica), która stopniowo zastępuje skórkę. Jej główne cechy to:

- występowanie u roślin wieloletnich, u których występuje wtórny przyrost na grubość oraz w starszych organach roślin;

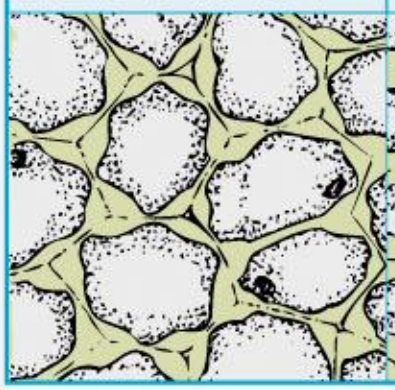
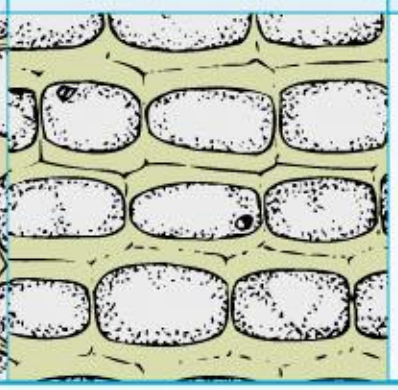
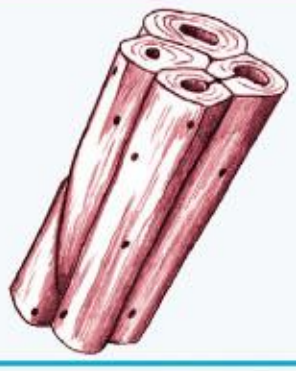
- składa się z trzech warstw: **miazgi korkotwórczej** (fellogenu), **martwego korka** (fellemu) oraz żywej **tkanki miękiszowej** (fellodermy);
- komórki korka są wypełnione powietrzem, a ich zgrubiałe ściany komórkowe są wysycone **ligniną** i pokryte **suberyną** – taka budowa uniemożliwia przepływ wody i gazów;
- funkcją korka jest ochrona przed utratą wody, zmianami temperatury oraz uszkodzeniami mechanicznymi;
- wymianę gazową w obrębie perydermy zapewniają **przetchlinki** – miejsca z luźno ułożonymi komórkami i dużymi przestworami komórkowymi.





Tkanka wzmacniająca

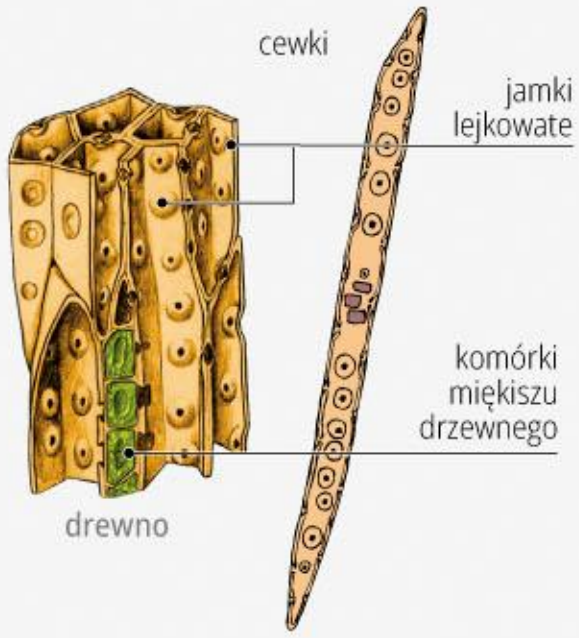
Tkanka wzmacniająca ma zwartą strukturę, jest zbudowana z żywych lub martwych komórek, które ściśle do siebie przylegają i mają zgrubiałe ściany komórkowe. Zapewnia roślinom odpowiednią sztywność oraz odporność na działanie czynników zewnętrznych.

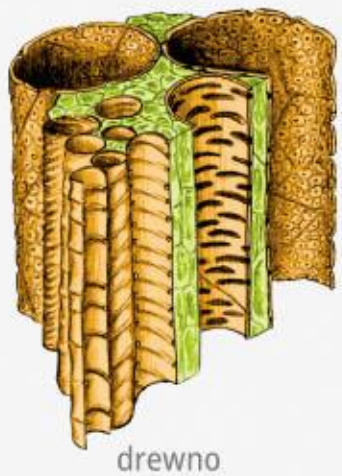
Tkanka wzmacniająca			
kolenchyma (zwarcica)		**sklerenchyma (twardzica)**	
• występuje w ogonach liściowych i obwodowych częściach łodyg • zbudowana z żywych, wydłużonych i ściśle przylegających do siebie komórek • komórki zwarcicy mają nierównomierne zgrubienia ścian komórkowych • zapewnia roślinom elastyczność, chroni przed złamaniem		• zbudowana z martwych komórek z silnie zgrubiałymi i wysyconymi ligniną ścianami komórkowymi • występuje w starszych organach pędów nadziemnych i podziemnych • nadaje sztywność, odporność na zginanie, rozciąganie	
kolenchyma kątowa • celulozowane zgrubienia są obecne w kątach komórek	**kolenchyma płatowa** • celulozowe zgrubienia występują wzdłuż ścian komórkowych w postaci równoległych pasm	**włókna sklerenchymatyczne** • wydłużone komórki zachodzące na siebie; występują w obrębie innych tkanek	**sklereidy** (komórki kamienne) • nieregularne kształty, bryłowe wstępują pojedynczo lub w grupach
			

Tkanka przewodząca

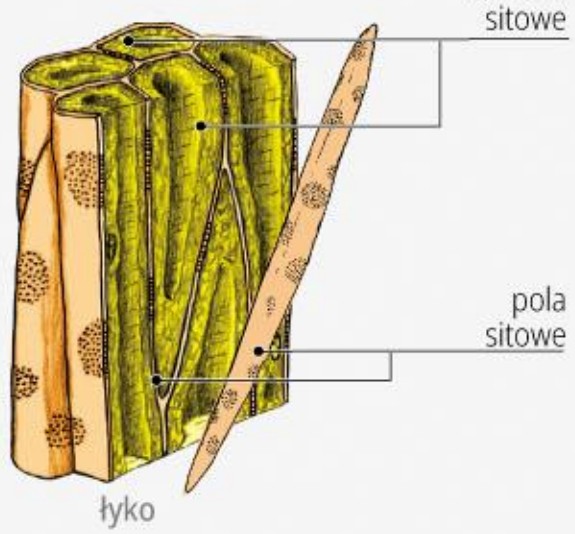
Tkanka przewodząca służy do transportu w obrębie rośliny wody z solami mineralnych oraz asymilatów wytworzonych w liściach w czasie w fotosyntezy. Jest tkanką niejednorodną, w której skład oprócz komórek przewodzących wchodzą elementy dodatkowe (komórki miękiszowe, włókna sklerenchymatyczne). Tkankę przewodzącą dzielimy na **łyko** i **drewno**.

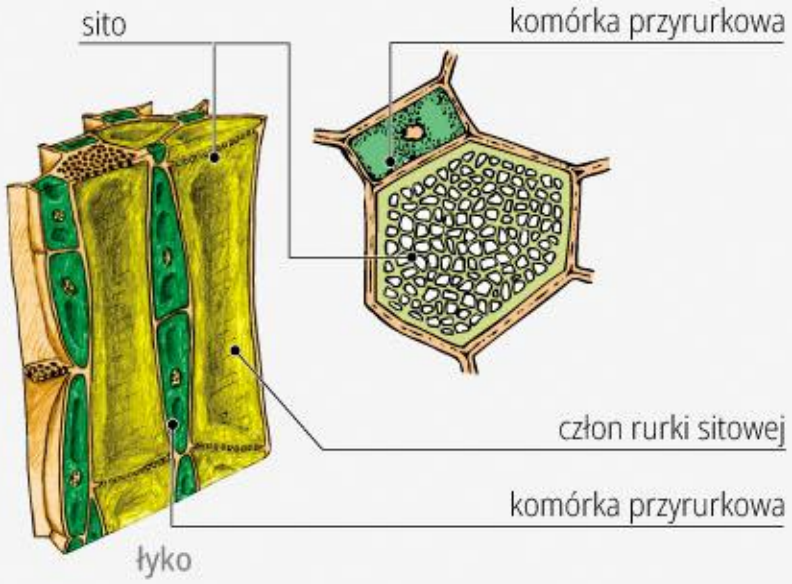
Tkanka przewodząca	
łyko (floem)	**drewno (ksylem)**
• transportuje produkty fotosyntezy z liści do innych części rośliny • zbudowane z żywych komórek • w skład łyka wchodzą **komórki sitowe** (u paprociowych i nagozalążkowych) lub **rurki sitowe** i **komórki przyrurkowe** (u okrytozalążkowych) • dodatkowymi elementami są miękisz łyka oraz włókna łykowe	• transportuje wodę i sole mineralne pobrane przez korzenie z gleby • zbudowane z martwych komórek o wydłużonym kształcie i zgrubiałej ścianie komórkowej wysyconej ligniną • w skład drewna wchodzą dwa rodzaje komórek: **cewki** i **naczynia** • elementami dodatkowymi są włókna drzewne oraz miękisz drzewny
komórki sitowe: • występują u paprociowych i nagozalążkowych • mają wrzecionowaty kształt, w bocznych ścianach komórkowych występują pola sitowe, przez które przechodzą pasma cytoplazmy łączące się z kolejnymi komórkami	cewki: • wydłużone, wrzecionowate komórki o zgrubiałych ścianach komórkowych • w ścianach są obecne liczne otwory zwane jamkami, które warunkują przepływ wody • cewki są charakterystyczne dla paprociowych i nagonasiennych
rurki sitowe: • występują u okrytozalążkowych • zbudowane z członów rurek sitowych ułożonych szeregowo • wnętrze członów wypełnia duża wakuola, a w dojrzałych komórkach zanika jądro komórkowe • ściany poprzeczne członów zawierają pola sitowe, przez których otwory przechodzą pasma cytolazmy, zapewniające przepływ asymilatów	naczynia: • utworzone z szeregowo ułożonych członów naczyń, pomiędzy którymi całkowicie lub częściowo zanikła ściana komórkowa • warunkują przepływ wody na długich odcinkach • występują u okrytonasiennych











Tkanka wydzielnicza

Terminem tkanka wydzielnicza określamy pojedyncze komórki lub ich zespoły, wydzielające substancje chemiczne o różnej funkcji. Utwory wydzielnicze dzielimy na: **zewnątrzwydzielnicze** (uwalniają substancje na zewnątrz rośliny) i **wewnątrzwydzielnicze** (wytwarzają i gromadzą substancje wewnątrz organizmu).

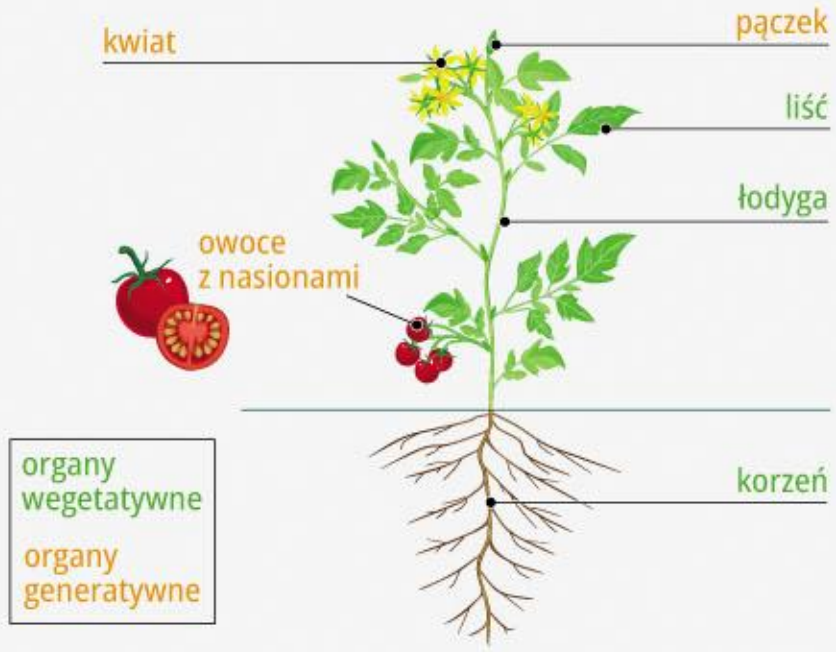
Tkanka wydzielnicza	
zewnątrzwydzielnicza	**wewnątrzwydzielnicza**
miodniki – wytwarzają nektar wabiący zwierzęta zapylające, np. pszczoły, ptaki	**rury mleczne** – zbudowane z szeregowo ułożonych komórek zawierających sok mleczny – lateks (np. u kauczukowca)
włoski wydzielnicze (gruczołowe) – wydzielają związki o nieprzyjemnym zapachu odstraszające roślinożerców lub enzymy trawienne (u roślin owadożernych, np. rosiczki)	**kanały żywiczne** (u nagonasiennych) – wydzielają żywicę, która ma funkcje ochronne (przed patogenami) lub odstraszające (np. u sosny)
hydatody – umożliwiają roślinom wytracenie nadmiaru wody (gutację) przy obniżonej transpiracji (rośliny tropikalne)	

5.3. Budowa i funkcje organów roślinnych

Budowa roślinnych organów wegetatywnych

Organy wyspecjalizowane części organizmu roślinnego zbudowane z tkanek i pełniące określoną funkcję	
organy wegetatywne zapewniają roślinie wzrost o rozwój	**organy generatywne** biorą udział w rozmnażaniu
korzeń, łodyga, liść	kwiat, nasiona, owoce

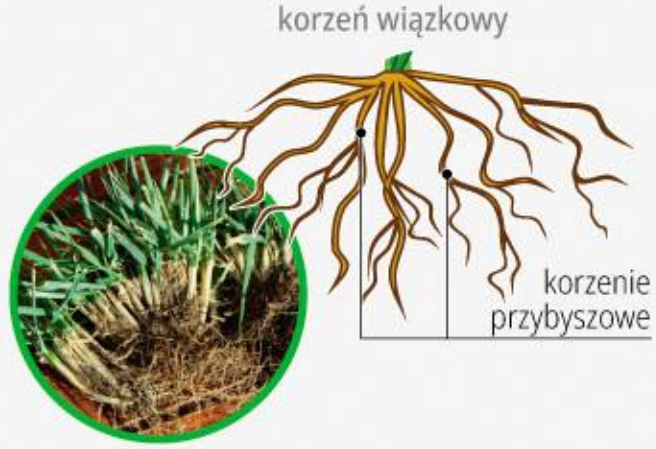
Funkcje korzenia
- pobieranie wody i soli mineralnych;
- utrzymywanie rośliny w podłożu;
- synteza niektórych istotnych biologicznie substancji (np. hormonów);
- magazynowanie substancji pokarmowych (u roślin wieloletnich).



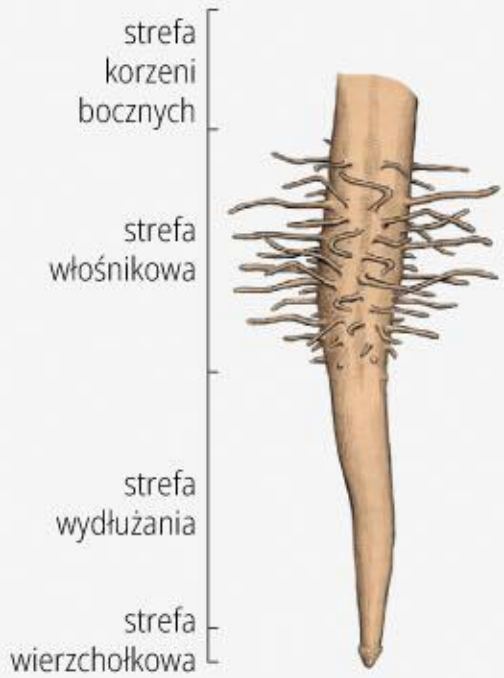
Systemy korzeniowe

System palowy	System wiązkowy
• składa się z korzenia głównego rosnącego pionowo w dół oraz odchodzących od niego krótszych korzeni bocznych • występuje u większości nagozalążkowych i u dwuliściennych	• brak korzenia głównego; z podstawy pędu wyrastają liczne, równorzędne pod względem wielkości korzenie zwane **korzeniami przybyszowymi** • występuje u roślin zarodnikowych oraz okrytozalążkowych jednoliściennych





Budowa morfologiczna korzenia



Strefa wierzchołkowa (strefa podziałów komórkowych) jest zbudowana z komórek stożka wzrostu, które intensywnie się dzielą. Zapewniają w ten sposób wzrost korzenia i dają początek wszystkim jego tkankom. Stożek wzrostu jest chroniony **czapeczką** – strukturą zbudowaną z komórek miękiszowych.

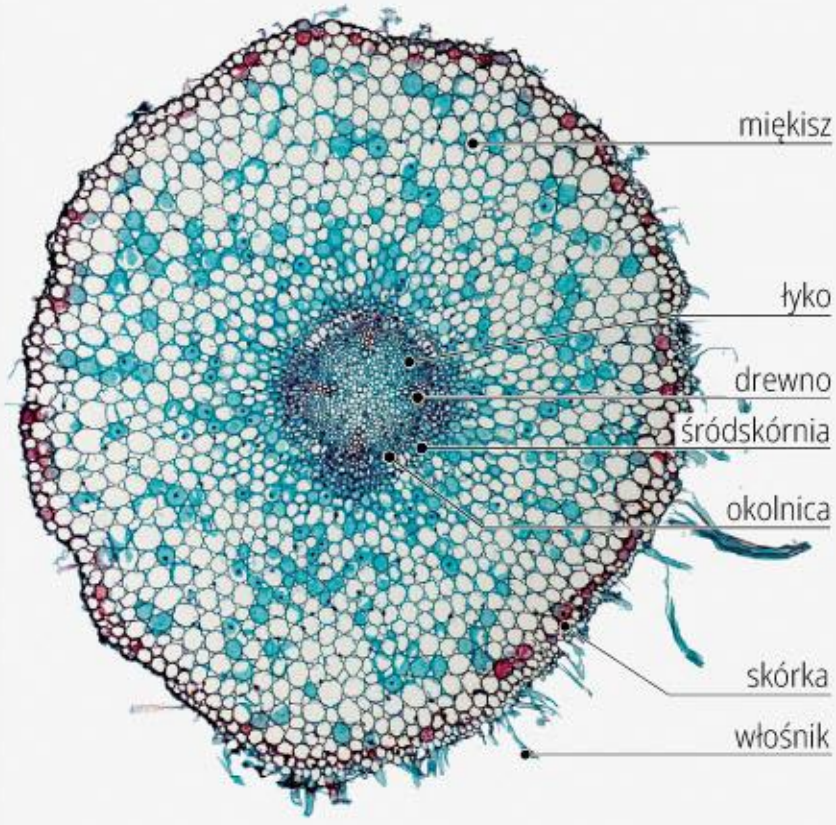
Strefa wydłużania (strefa elongacyjna) – zbudowana z komórek intensywnie zwiększających swoje rozmiary. Jest to miejsce najsilniejszego wzrostu korzenia na długość.

Strefa włośnikowa (strefa różnicowania) – zbudowana z komórek różnicujących się w określony typ tkanki, przeznaczony do pełnienia określonych funkcji. W tej strefie znajdują się włośniki, które zwiększają powierzchnię chłonną korzenia i usprawniają pobieranie wody.

Strefa korzeni bocznych (strefa wyrośnięta) – część korzenia głównego, z której u wielu roślin wyrastają korzenie boczne. W tej strefie ma miejsce przyrost korzenia na grubość. Główną funkcją tej części jest przewodzenie wody z solami mineralnymi w górę rośliny i utrzymywanie rośliny w podłożu.

Budowa pierwotna korzenia

Budowa pierwotna korzenia to charakterystyczny układ tkanek wytworzony w wyniku aktywności merystemu wierzchołkowego korzenia. Pierwotna budowa korzenia zachowuje się u roślin, u których nie występuje przyrost na grubość, czyli u większości roślin zarodnikowych i części okrytozalążkowych.



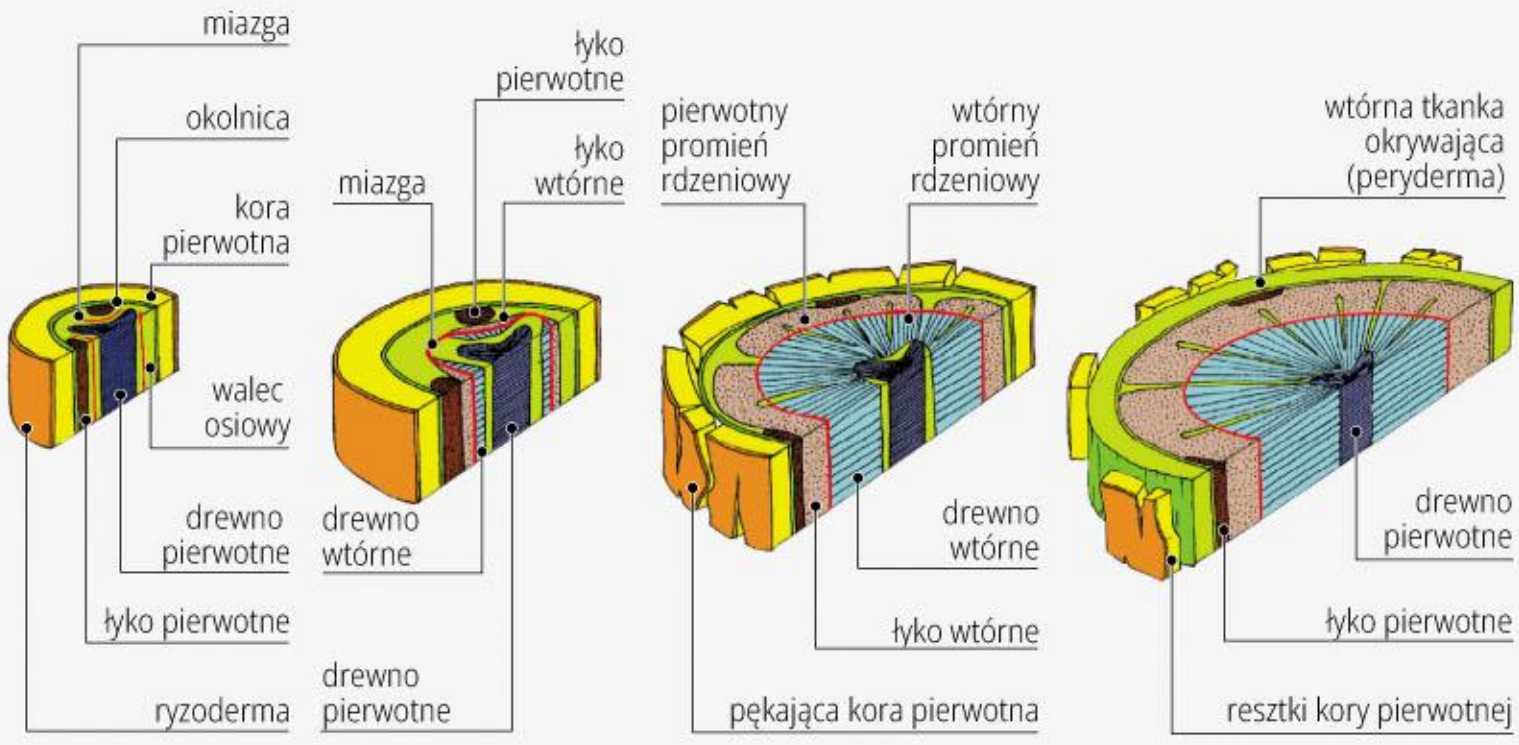
Ryzoderma (skórka korzenia) – najbardziej zewnętrzna warstwa korzenia, która wytwarza liczne włośniki.

Kora pierwotna – gruba warstwa tkanki miękiszowej, która umożliwia przenikanie wody i soli mineralnych z włośników do tkanki przewodzącej. Najbardziej wewnętrzna pojedyncza warstwa komórek kory pierwotnej tworzy endodermę (śródskórnię), która pełni funkcję ochronną w stosunku do walca osiowego.

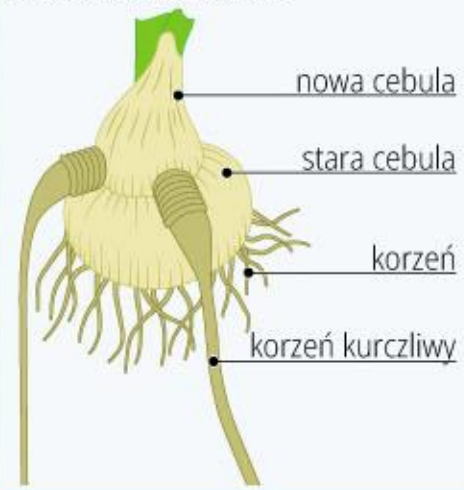
Walec osiowy – zajmuje centralną część korzenia. Najbardziej zewnętrzna jego warstwa to okolnica (perycykl), zbudowana z komórek miękiszowych i biorąca udział w tworzeniu korzeni bocznych. Wnętrze walca osiowego wypełnia tkanka miękiszowa oraz tkanki przewodzące: wiązki łyka pierwotnego i wiązki drewna pierwotnego, które ułożone są naprzemianlegle.

Budowa wtórna korzenia

Budowa wtórna korzenia to charakterystyczny układ tkanek będący efektem działania merystemów bocznych: **kambium** oraz **fellogenu**, które powstają z komórek walca osiowego. Ich obecność warunkuje przyrost na grubość. Kambium powstaje z komórek miękiszowych oddzielających łyko pierwotne od drewna pierwotnego oraz częściowo z okolnicy. Kambium ma postać falistego pierścienia i odkłada do wnętrza **drewno wtórne**, a na zewnątrz – **łyko wtórne**. W wyniku tego procesu korzeń zwiększa swój obwód, co prowadzi także do pękania ryzodermy i kory pierwotnej. Fellogen tworzy się z okolnicy. W wyniku jego różnicowania się tworzy się wtórna tkanka okrywająca – **korkowica** (peryderma).



Przekształcenia budowy i funkcji korzenia

Modyfikacja korzenia	Opis	Przykłady roślin
korzenie spichrzowe 	Grube i mięsiste korzenie magazynujące substancje odżywcze. Umożliwiają roślinie przetrwanie zimy oraz rozwój organów nadziemnych wiosną.	• rośliny dwuletnie (marchew, pietruszka, burak, rzodkiewka) • rośliny wieloletnie (żeń-szeń)
bulwy korzeniowe 	Przekształcone korzenie boczne lub przybyszowe, które magazynują substancje odżywcze.	dalie, bataty, maniok
korzenie kurczliwe 	Mają zdolność skracania swojej górnej części, dzięki temu wciągają roślinę głębiej w glebę. Występują u roślin, których nasiona kiełkują na powierzchni gleby, a pędy rosną pod ziemią.	lilia, krokus
korzenie podporowe 	Są to korzenie przybyszowe wyrastające z łodygi na pewnej wysokości nad ziemią i wnikają do gleby (pionowo lub ukośnie). Występują u roślin rosnących na ternach podmokłych, które mają wysokie pędy nadziemne i niegłęboki system korzeniowy. Ich zadaniem jest stabilizacja rośliny w podłożu.	kukurydza, namorzyny, monstery, pandany, figowce, niektóre palmy
korzenie czepne 	Są to korzenie przybyszowe, które wyrastają z łodyg i służą do mocowania rośliny do podpory (pni, gałęzi, ścian, tyczek).	epifity i pnącza, np. wanilia, bluszcz
korzenie powietrzne 	Korzenie zwisają swobodnie w dół. Są pokryte skórką o specjalnej budowie (**welamen**), która umożliwia im pobieranie wody (pary wodnej) z powietrza.	storczyki, figowce

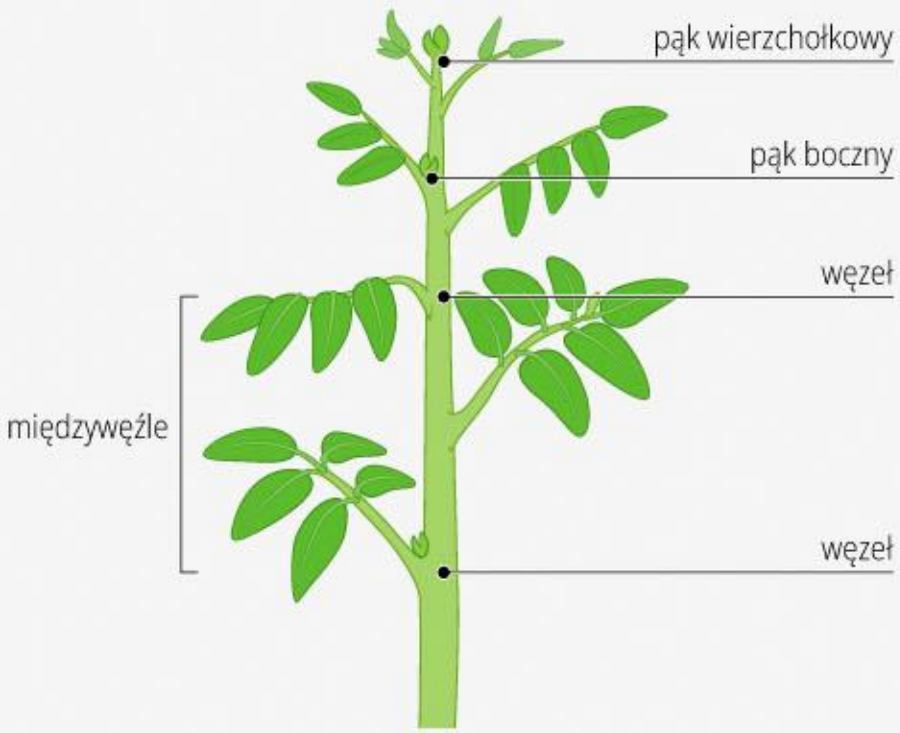
Modyfikacja korzenia	Opis	Przykłady roślin
korzenie oddechowe 	Są to boczne odgałęzienia poziomych korzeni podziemnych, które wyrastają pionowo w górę ponad powierzchnię podłoża i służą do pobierania tlenu dla systemu korzeniowego. Występuję u roślin rosnących na terenach zabagnionych i okresowo zalewanych.	cypryśnik błotny
korzenie pasożytów (ssawki) 	Służą do pobierania wody z solami mineralnymi oraz substancji pokarmowych z tkanek rośliny – żywiciela.	rośliny pasożytnicze: jemioła, kanianka

Budowa i funkcje łodygi

Łodyga to nadziemny organ wegetatywny, który z osadzonymi na niej liśćmi tworzy pęd.

Główne funkcje łodygi:
- utrzymywanie liści, a niekiedy kwiatów i owoców;
- przewodzenie wody z solami mineralnymi z korzenia do innych organów rośliny;
- przewodzenie asymilatów z liści do innych organów rośliny.

Budowa morfologiczna łodygi



Pąk wierzchołkowy – zajmuje szczytową część łodygi i umożliwia wzrost rośliny na długość. W jego skład wchodzą: stożek wzrostu łodygi, zawiązki liści i związki pędów bocznych.

Pąki boczne – znajdują się kątach liści i wytwarzają boczne odgałęzienia łodygi.

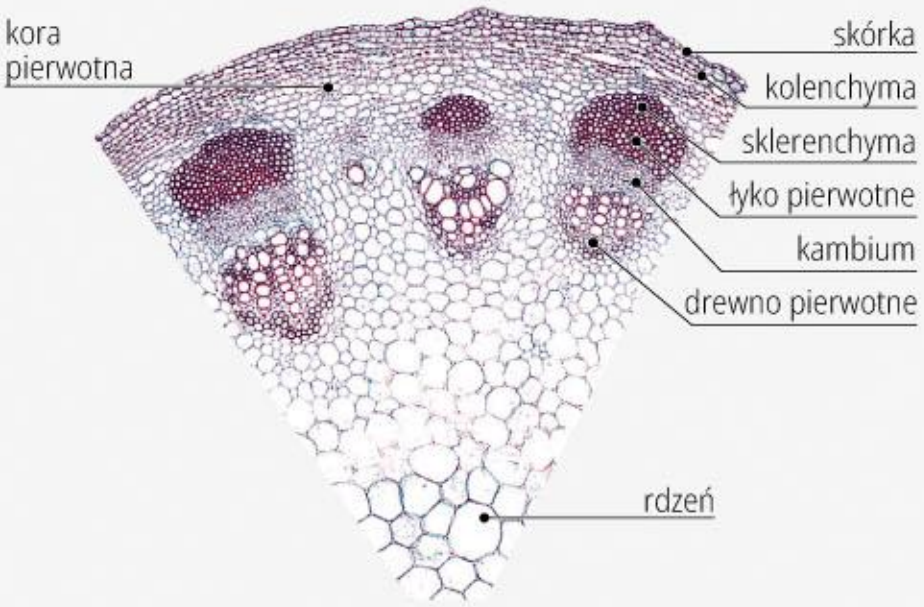
Węzły – zgrubiałe części łodygi, z których wyrastają liście.

Międzywęźla – odcinki łodygi pomiędzy kolejnymi węzłami.

Budowa pierwotna łodygi

Budowa pierwotna łodygi to charakterystyczny układ tkanek będący efektem działania merystemu pierwotnego – stożka wzrostu łodygi.

Budowa pierwotna łodygi roślin dwuliściennych

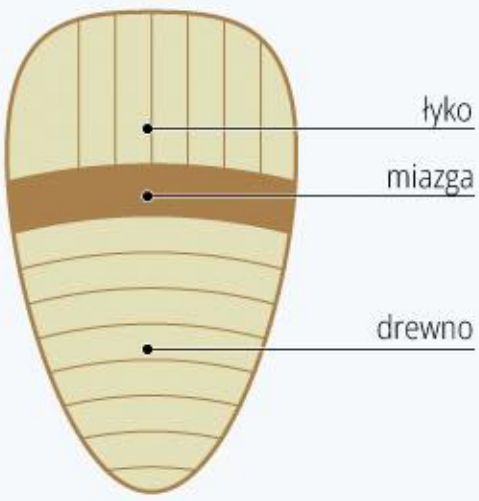
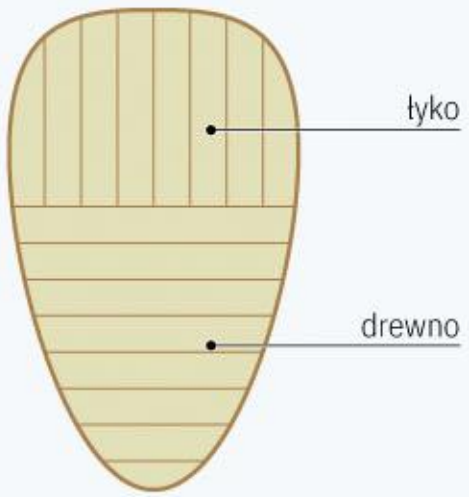


Epiderma (skórka) łodygi to najbardziej zewnętrzna warstwa łodygi, zapewnia ochronę warstw leżących poniżej. Liczne aparaty szparkowe skórki biorą udział w wymianie gazowej.

Kora pierwotna – zbudowana z komórek miękiszowych, z których te najbardziej zewnętrzne mogą zawierać chloroplasty. Między komórkami kory pierwotnej mogą występować pasma sklerenchymy i kolenchymy oraz komórki wydzielnicze. Okolnica i endoderma nie występują u większości roślin nasiennych.

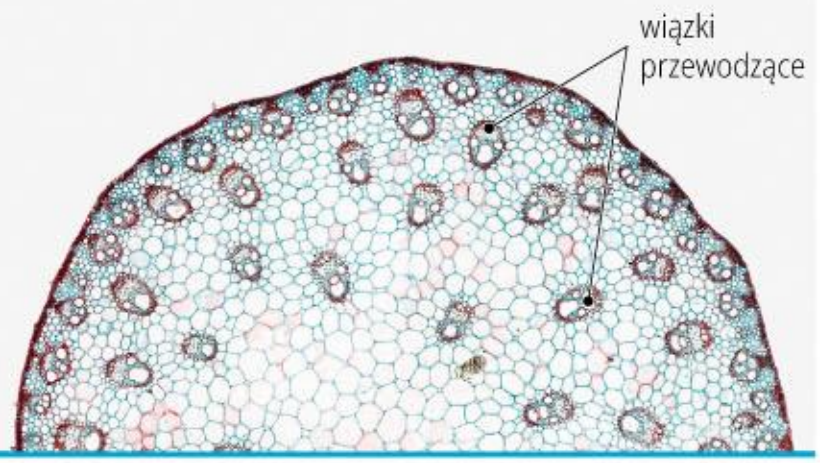
Walec osiowy – wewnętrzna część łodygi, którą tworzą tkanki przewodzące – które budują wiązki przewodzące ułożone w formie pierścienia (koncentrycznie). Każda wiązka składa się z łyka pierwotnego i drewna pierwotnego ułożonych naprzeciwlegle. Łyko znajduje się w części zewnętrznej (graniczy z korą pierwotną), a drewno – w części wewnętrznej. Między łykiem a drewnem znajduje się warstwa kambium (wiązka otwarta), która umożliwia wtórny przyrost na grubość.

Rodzaje wiązek przewodzących

otwarte	zamknięte
Wiązki, w których pomiędzy łykiem pierwotnym a drewnem pierwotnym jest kambium. Występują u roślin z wtórnym przyrostem na grubość: nagozalążkowych i dwuliściennych okrytozalążkowych.	Brak kambium w wiązce przewodzącej. Występuje u roślin bez wtórnego przyrostu na grubość, tj. u jednoliściennych okrytozalążkowych.
	

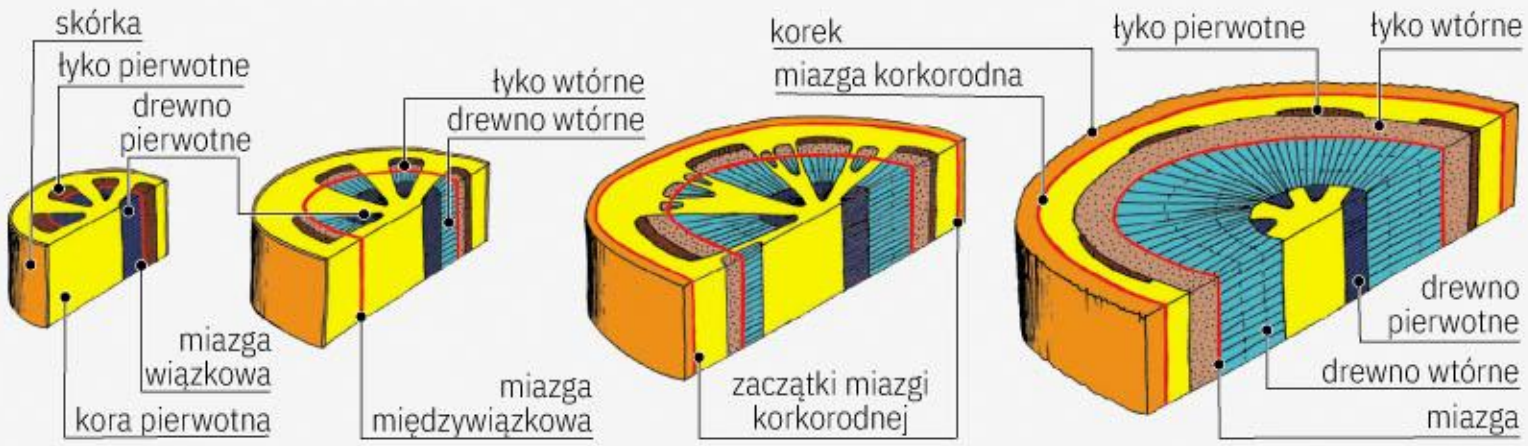
Budowa pierwotna łodygi jednoliściennych

U roślin jednoliściennych w budowie pierwotnej łodygi brak wyraźnej granicy pomiędzy korą pierwotną a walcem osiowym. Wiązki przewodzące są rozmieszczone nieregularnie. U roślin, które mają puste w środku łodygi (np. trawy), wiązki są skupione obwodowo, ale nie tworzą wyraźnego pierścienia. Wiązki przewodzące są typu zamkniętego – bez warstwy kambium pomiędzy łykiem pierwotnym a drewnem pierwotnym.



Budowa wtórna łodygi

Charakterystyczny układ wtórnej budowy łodygi jest wynikiem działania merystemów bocznych. U roślin zielnych przyrost jest nieznaczny lub nie następuje w ogóle. Na dużą skalę zachodzi u dużych, wieloletnich drzew. Przyrost na grubość jest efektem działania **kambium wiązkowego** (znajduje się w obrębie wiązek przewodzących) i **kambium międzywiązkowego** (leży między wiązkami i powstaje z komórek miękiszowych), które tworzą ciągły pierścień. Dzielące się komórki kambium odkładają do środka drewno wtórne, a na zewnątrz – łyko wtórne. Przyrost wtórny prowadzi do zastąpienia wiązkowego układu tkanek przewodzących układem cylindrycznym. W czasie przyrostu na grubość w łodydze powstaje także wtórna tkanka okrywająca – **korkowica** (peryderma), która jest efektem aktywności fellogenu. Fellogen powstaje najczęściej z komórek kory pierwotnej.



Przekształcenia budowy i funkcji łodygi

Modyfikacja łodygi	Opis	Przykłady roślin
kłącza 	Są to podziemne, wieloletnie łodygi o nieorganicznym wzroście wierzchołkowym. Pełnią funkcje spichrzowe i służą do rozmnażania wegetatywnego.	imbir, kurkuma, rabarbar, konwalia
rozłogi 	Są to płożące się odgałęzienia dolnej części nadziemnego pędu, które rosną nad ziemią lub pod ziemią. Służą do rozmnażania wegetatywnego.	truskawka, poziomka, perz
bulwy pędowe 	Są to krótkie, zgrubiałe, podziemne pędy o ograniczonym wzroście. Pełnią funkcje spichrzowe i przetrwalnikowe oraz są organami rozmnażania wegetatywnego.	ziemniak, szafran, słonecznik

Modyfikacja łodygi	Opis	Przykłady roślin
ciernie pędowe 	Są to sztywne, zaostrzone i zdrewniałe odgałęzienia boczne. Stanowią ochronę przed roślinożercami.	śliwa tarnina
wąsy pędowe 	Są to rozgałęzione lub nierozgałęzione organy czepne. Wąsy są wrażliwe na dotyk i służą do owijania się rośliny wokół podpory.	winorośl

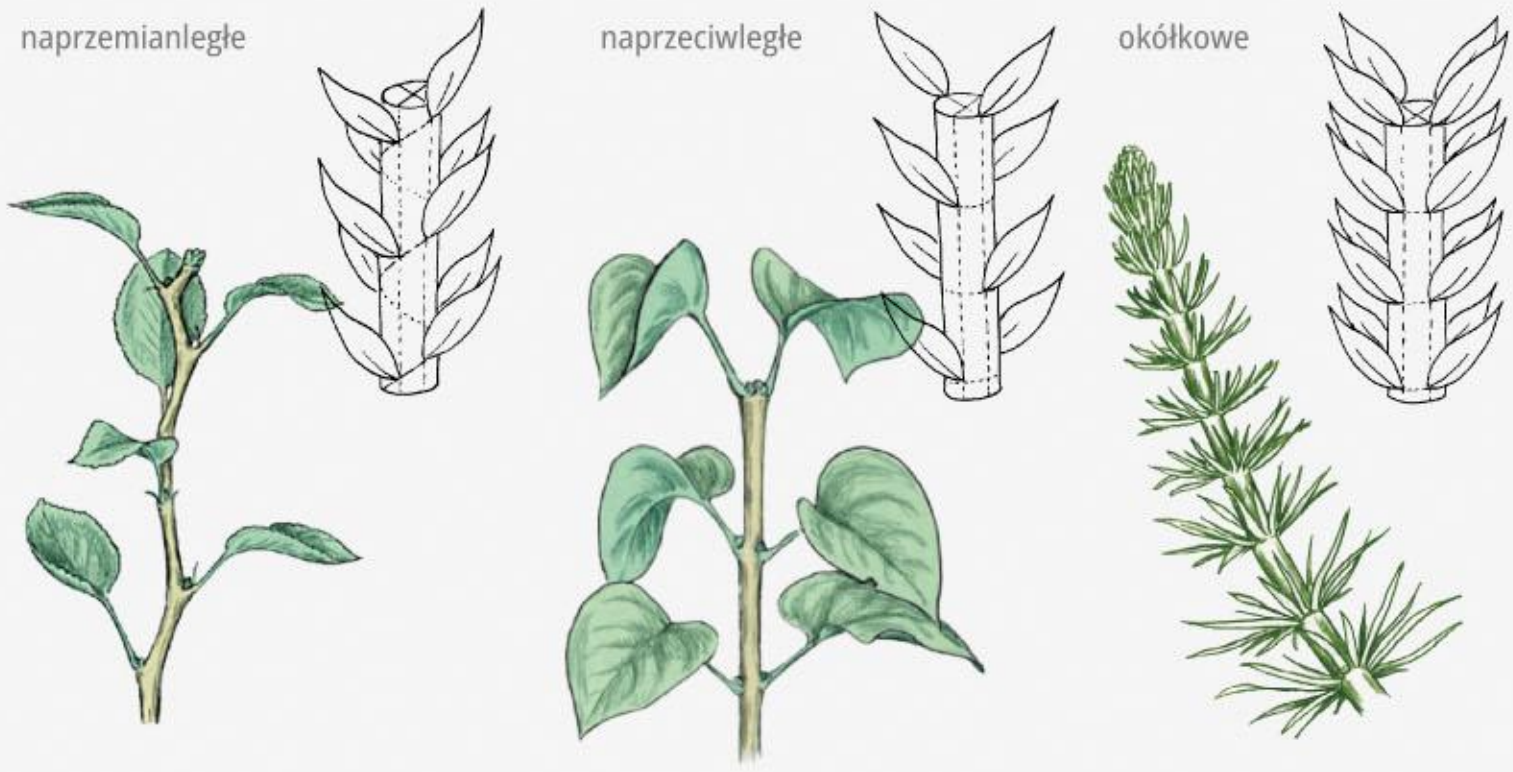
Budowa i funkcje liści

Liść to organ wegetatywny rośliny będący częścią pędu. Powstaje w wyniku aktywności merystemu wierzchołkowego. Sposób ułożenia wszystkich liści na łodydze nazywamy **ulistnieniem**.

Funkcje liści:

- miejsce powstawania substancji odżywczych podczas fotosyntezy,
- transpiracja,
- wymiana gazowa,
- czasami są organami rozmnażania wegetatywnego.

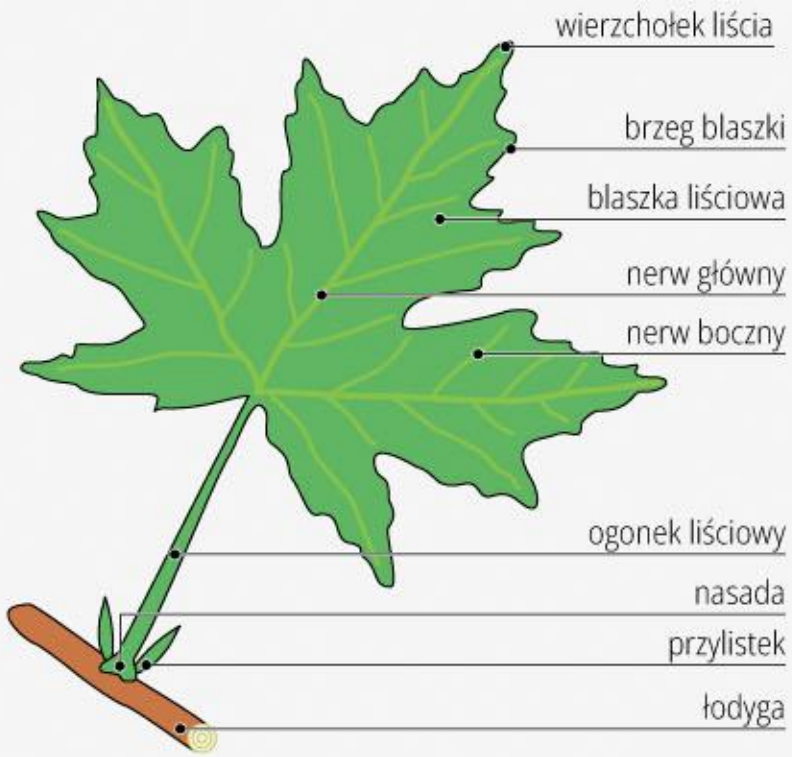
Typy ulistnienia



Rodzaje liści

Mikrofile	Makrofile	Liścienie
Są to prymitywne, łuskowate liście. Występują u roślin zarodnikowych, np. widłaków.	Są to duże, w pełni wykształcone liście większości roślin naczyniowych.	Są to liście zarodkowe, czyli pierwsze liście powstające w zarodku, które pełnią funkcje spichrzowe.

Budowa morfologiczna liścia rośliny okrytozalążkowej

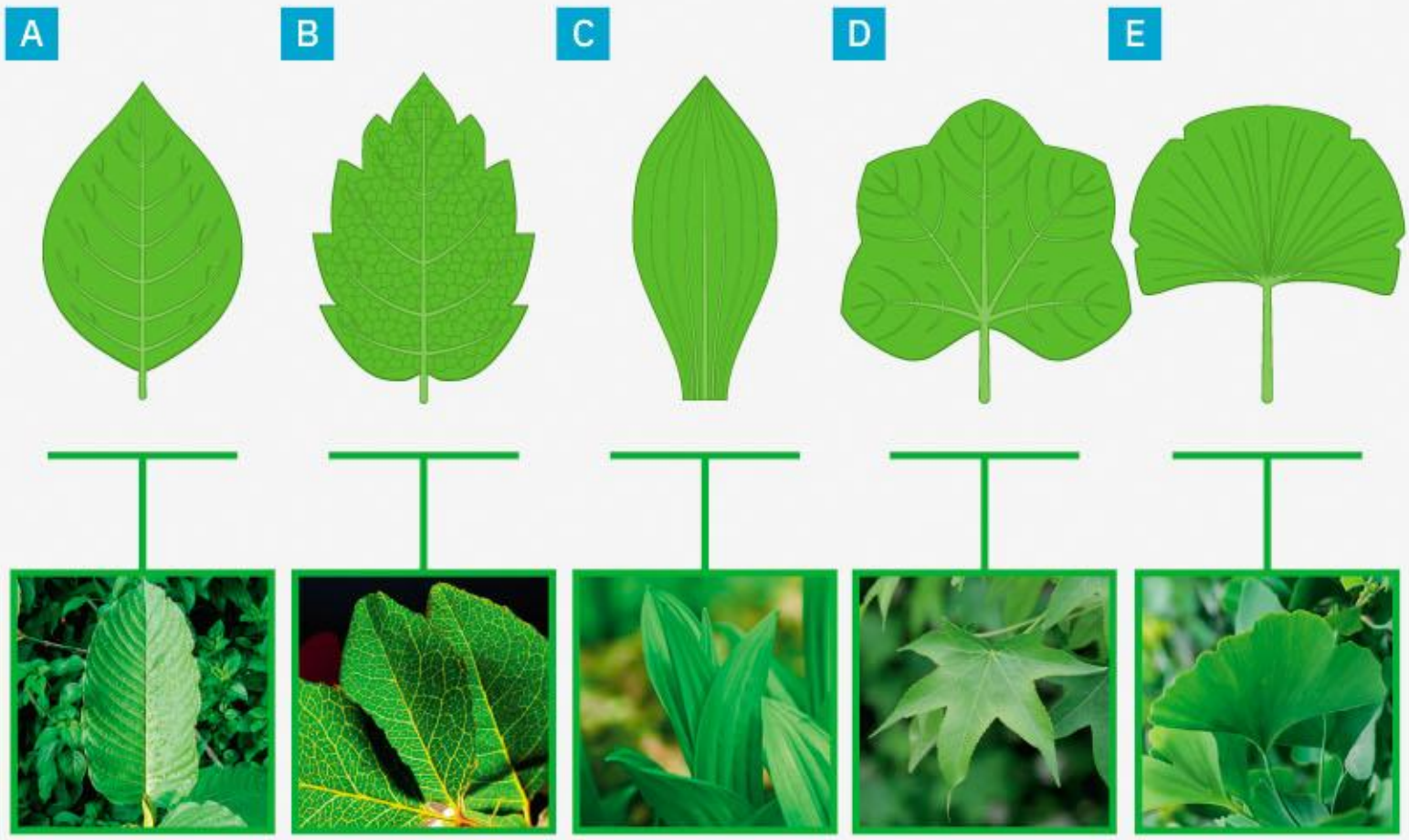


Blaszka liściowa jest zwykle płaska i cienka, co zwiększa jej powierzchnię oraz optymalizuje przebieg fotosyntezy i transpiracji.

Ogonek liściowy jest połączeniem między blaszką liściową a nasadą. Zapewnia odpowiednie położenie liścia względem padającego światła. U niektórych roślin występują liście siedzące – brakuje ogonków liściowych (blaszka łączy się bezpośrednio z nasadą).

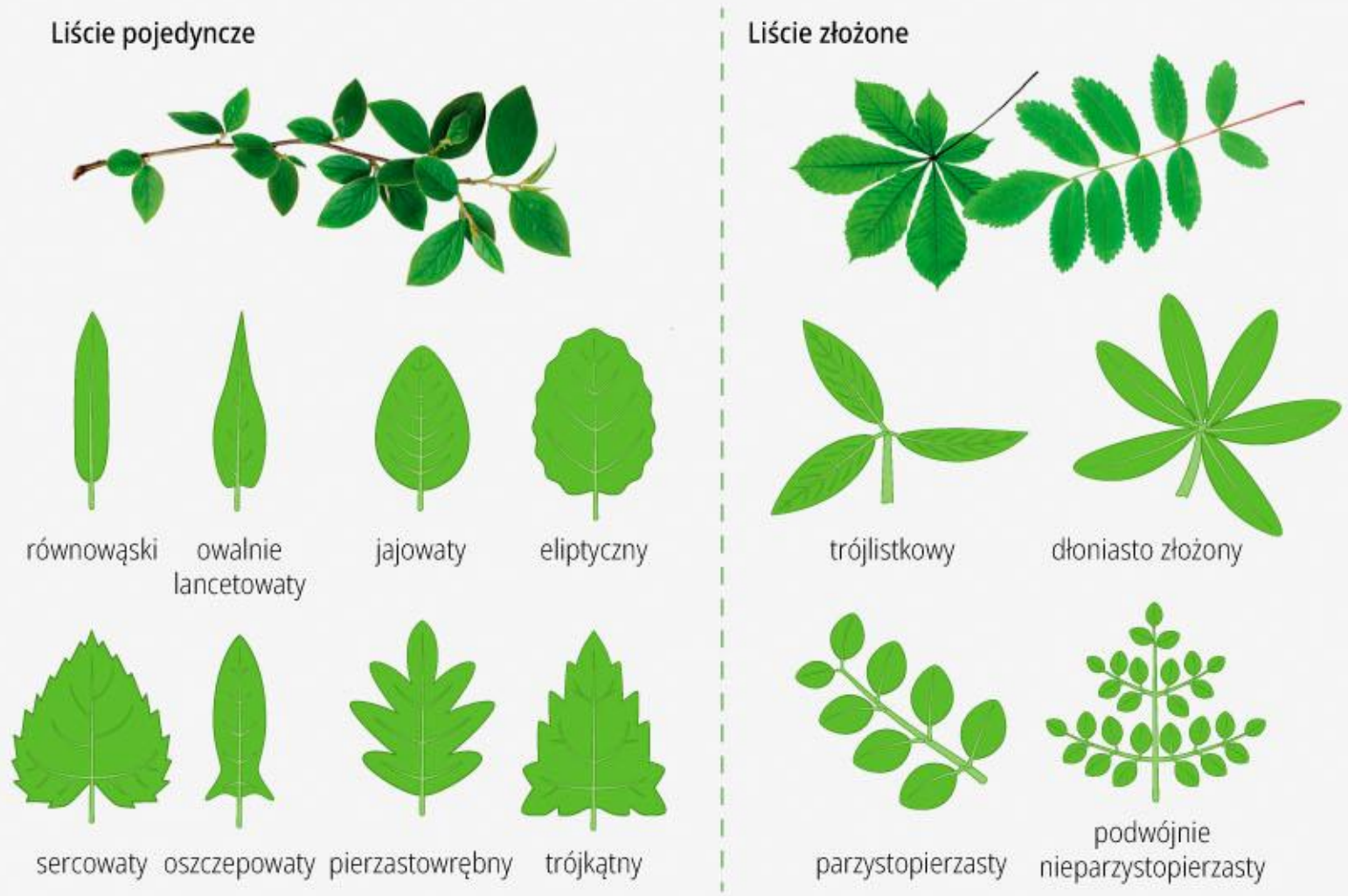
Nasada liścia to płaska i poszerzona struktura łącząca liść z łodygą.

Rodzaje nerwacji liści



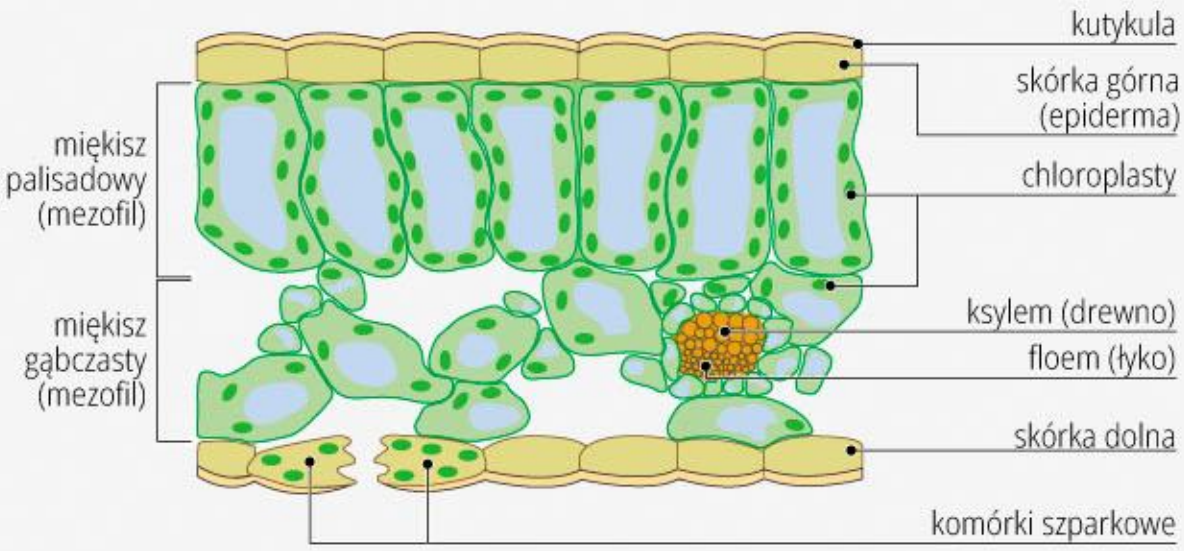
Nerwacja liścia: A. pierzasta, B. siatkowata, C. równoległa, D. dłoniasta, E. wachlarzowata

Różnorodność morfologiczna liści



Budowa anatomiczna liścia rośliny okrytozalążkowej

Liść jest utworzony z trzech tkanek: okrywającej, miękiszowej i przewodzącej.



Skórka (epiderma) jest najbardziej zewnętrzną warstwą liścia zbudowaną najczęściej z pojedynczej warstwy żywych komórek, pokrytych nieprzepuszczalną dla wody i gazów kutykulą. W skórce występują aparaty szparkowe, które umożliwiają wymianę gazową i transpirację.

Miękisz asymilacyjny występuje między dolną i górną epidermą. Jest miejscem zachodzenia fotosyntezy. U roślin dwuliściennych występuje w dwóch formach. Są to:

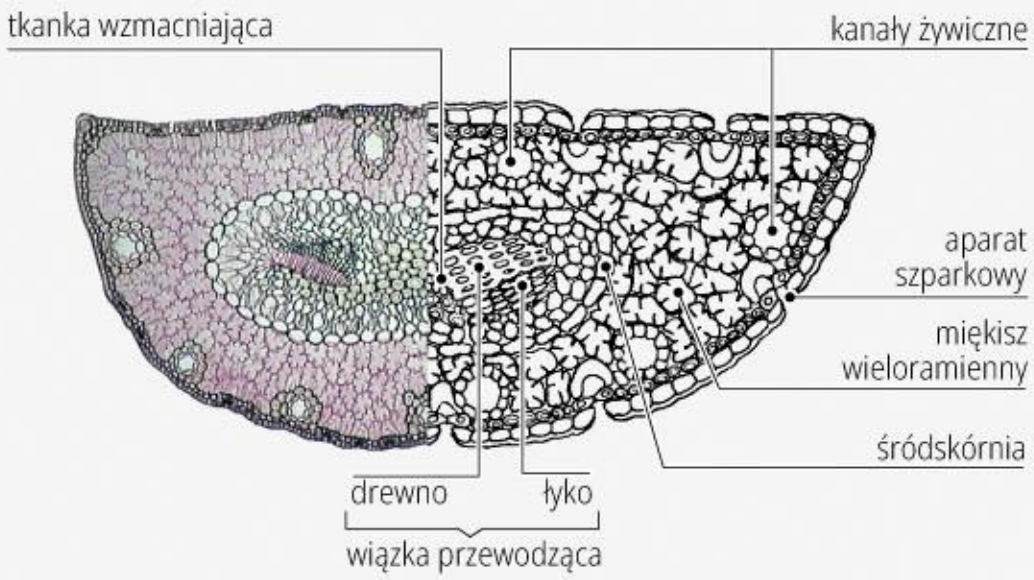
- **miękisz palisadowy** – zlokalizowany pod górną skórką; jest zwarty, w jego komórkach występują chloroplasty;
- **miękisz gąbczasty** – zajmujący dolną część liścia; jego komórki są luźno ułożone i występują duże przestwory międzykomórkowe; w komórkach obecne są chloroplasty.

Wiązka przewodząca tworzy nerwację liścia oraz rusztowanie liścia. Transportuje wodę z solami mineralnymi oraz substancje organiczne.

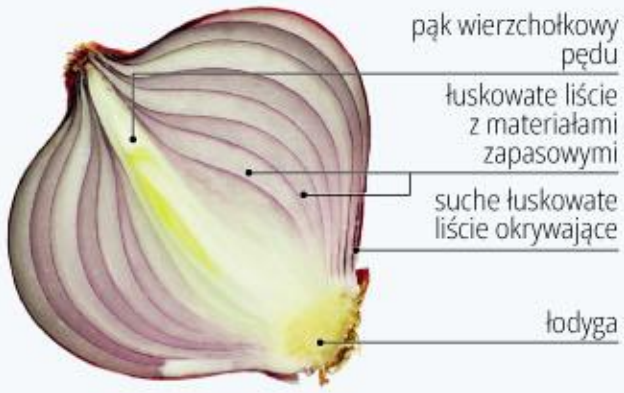
Budowa anatomiczna liścia rośliny nagozalążkowej

Liście roślin iglastych są wielosezonowe o silnie zredukowanej powierzchni. Ich budowa jest przystosowaniem do warunków suszy fizjologicznej związanej z utrudnionym pobieraniem wody z podłoża w czasie zimy. Główne adaptacje liści roślin iglastych to:

- komórki skórki o grubych ścianach pokrytych warstwą kutykuli i wosku;
- aparaty szparkowe zlokalizowane w zagłębieniach skórki;
- obecna warstwa sklerenchymy pod skórką;
- obecność miękiszu wieloramiennego utworzonego z komórek o pofałdowanych ścianach zwiększających wydajność fotosyntezy;
- wiązki przewodzące otoczone **tkanką transfuzyjną**, która pośredniczy w transporcie wody i substancji organicznych między miękiszem asymilacyjnym a wiązkami przewodzącymi;
- kanały żywiczne wydzielające **żywicę** chroniącą przed szkodnikami i zasklepiającą rany.



Przekształcenia budowy i funkcji liści

Modyfikacja liścia	Opis	Przykłady roślin
cebule 	Jest to podziemny organ zbudowany z grubych, mięsistych liści. Pełni funkcje spichrzowe oraz służy jako organ rozmnażania wegetatywnego.	cebula, czosnek, tulipan
liście pułapkowe 	Służą do chwytania i trawienia drobnych zwierząt (głównie owadów), które są źródłem azotu dla rośliny.	muchołówka, rosiczka, dzbanecznik

Modyfikacja liścia	Opis	Przykłady roślin
liście cierniowe 	Są to silnie zdrewniałe, ostre i zredukowane liście, w których wnętrzu biegnie wiązka przewodząca. Pełnią funkcje obronne.	opuncja, berberys, kaktusy
liściaki 	Są to spłaszczone ogonki liściowe, które pełnią funkcje asymilacyjne. Występują u roślin, u których blaszka liściowa uległa silnej redukcji.	akacja
liście spichrzowe 	Są to grube i mięsiste liście, które pełnią funkcje spichrzowe.	kapusta
wąsy liściowe 	Są to organy czepne, za pomocą których roślina owija się wokół podpory.	groch, wyka

5.4. Mszaki i rośliny zarodnikowe

Mszaki to zróżnicowana grupa roślin lądowych zarodnikowych, zwykle niewielkich rozmiarów. Zaliczamy do nich mchy, wątrobowce i glewiki. Dotychczas opisano ponad 26 tysięcy gatunków mszaków. Zwykle występują w miejscach wilgotnych, rzadziej w suchych; wiele gatunków należy do organizmów pionierskich. Mszaki to grupa przejściowa pomiędzy beztkankowcami (plechowcami) a organowcami (roślinami, u których obecny jest korzeń, łodyga, liście), łącząca cechy obu tych grup.

Mszaki jako formy przejściowe

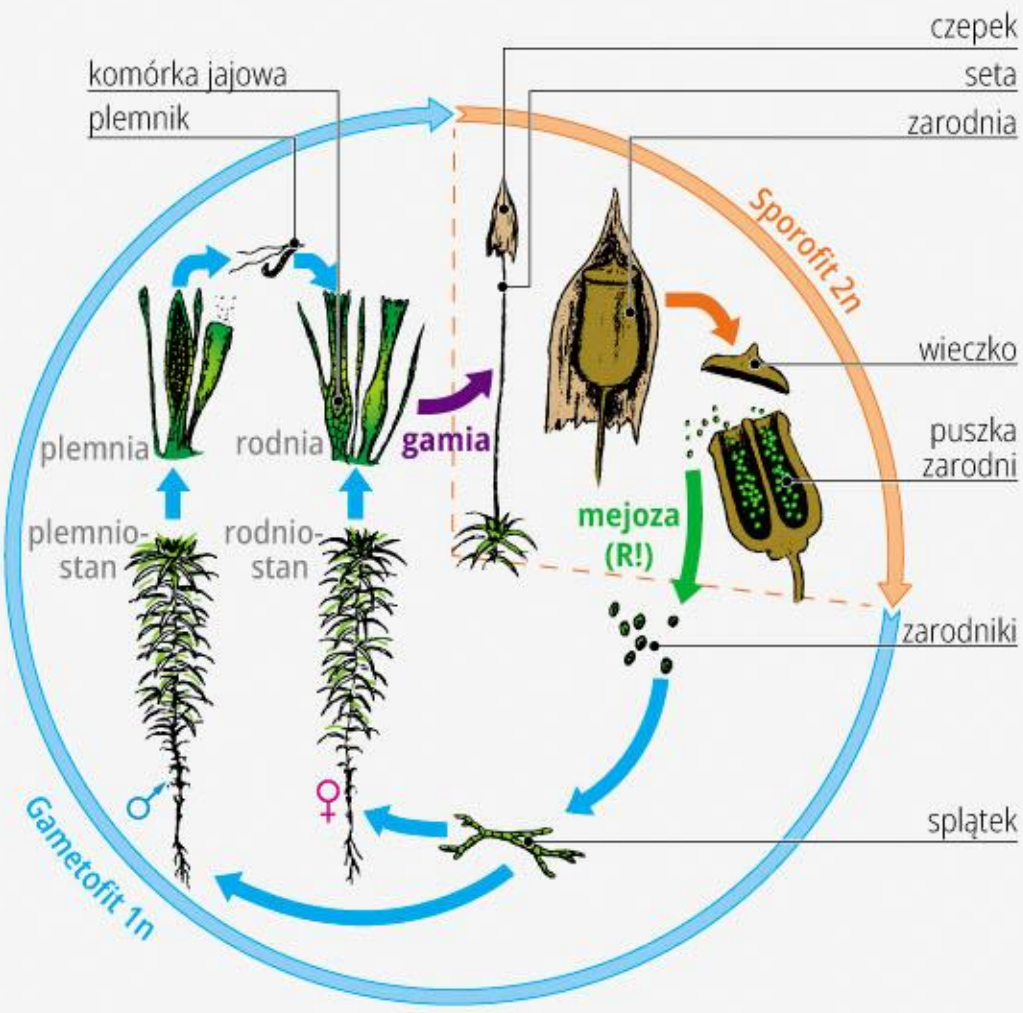
Cechy plechowców	Cechy organowców
• rozmnażanie płciowe uzależnione od wody • brak typowych organów – występują ich analogi: chwytniki, łodyżki, listki • brak typowej tkanki przewodzącej • niezdrewniałe ściany komórkowe	• obecność wielokomórkowych gametangiów (plemni, rodni) • obecność tkanek (okrywającej,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

Główne cechy mszaków

- występowanie regularnej przemiany pokoleń, w której dominuje **gametofit**;
- gametofit jest wieloletnią, samożywną rośliną, która ma postać ulistnionej łodyżki lub spłaszczonej tarczki przytwierdzonej do podłoża chwytnikami;
- gametofity mogą być **jednopienne** (gametofit zawiera rodnie i plemnie, np. u mchu torfowca) lub **dwupienne** (pojedynczy gametofit zawiera albo rodnie albo plemnie, np. u mchu płonnika);
- sporofit składa się ze stopy, sety oraz zarodni; jest formą krótko żyjącą, obumiera po wytworzeniu zarodników;
- rozmnażanie może być bezpłciowe (zarodniki, fragmentacja, rozmnóżki) lub płciowe, które wymaga obecności wody;
- haploidalne zarodniki kiełkują, tworząc splątek, z którego rozwija się gametofit.

Budowa sporofitu i gametofitu oraz cykl życiowy wraz z przemianą pokoleń u mchu płonnika





Przegląd systematyczny mszaków

Mszaki		
Mchy	**Wątrobowce**	**Glewki**
• ok. 13 tysięcy gatunków (700 w Polsce) • typowe siedliska: wilgotne lasy, brzegi strumieni, torfowiska, kora, skały	• gametofit płaski i płatowany lub w postaci ulistnionej łodyżki	• znanych ok. 300 gatunków (w Polsce tylko cztery, m.in. glewik polny, glewiczek karoliński) • spłaszczony i plechowaty gametofit przytwierdzony chwytnikami • z gametofitu wyrastają trwałe i długie sporofity • brak sety w sporoficie; występuje tylko zarodnia • zarodnia pęka podłużnie i uwalnia zarodniki • sporofit jest samożywny
płonniki (np. płonnik pospolity) • obecna prosta wiązka przewodząca • wielowarstwowe listki z żeberkiem • dwupienny gametofit; sporofit z długą setą i szczytową zarodnią z czepkiem	**porostnica wielokształtna**: • płatowaty, dwupienny gametofit z tkankami: okrywającą, asymilacyjną, spichrzową • rodnie i plemnie wzniesione na drzewkowatych strukturach • gametofit wytwarza rozmnóżki • sporofit rozwija się wewnątrz rodni i ma postać trzonka, który pęka podłużnie; uwalnianie zarodników umożliwiają sprężyce – skręcone włóka	
torfowce (np. torfowiec) • płaski i szeroki splątek • dwupienny gametofit w postaci silnie rozgałęzionej łodyżki nie zawiera chwytników; górna część rośnie, a dolna obumiera i jest mineralizowana • sporofit osadzony na trzonku gametofitu, ma zarodnie z ruchomą puszką • jednowarstwowe listki zbudowane z żywych i martwych komórek • są składnikiem torfu		



Płonnik pospolity



Porostnica wielokształtna



Glewik polny

Znaczenie mszaków

1. Są organizmami pionierskimi; na wydmach biorą udział w procesie glebotwórczym.
2. Regulują bilans wodny gleb leśnych, chroniąc je przed erozją.
3. Stanowią środowisko życia wielu organizmów (grzybów, zwierząt).
4. Biorą udział w tworzeniu torfu, który jest wykorzystywany jako opał, składnik kosmetyków i suplementów oraz w lecznictwie (borowina).

Rośliny zarodnikowe*

Polifiletyczna grupa obejmuje ok. 11 200 gatunków roślin lądowych lub wtórnie wodnych. Do wspólnych cech roślin zarodnikowych należą:

– sporofit jako dominujące pokolenie zbudowane z korzeni (przybyszowych), łodygi i liści zarodnionośnych (sporofili) i asymilacyjnych (trofofili);

– zarodnie umieszczone na sporofitach wytwarzają haploidalne zarodniki, które mogą być jednakowej wielkości (jadnakozarodnikowe) lub różnej (różnozarodnikowe)

– mały, wielokomórkowy i samożywny gametofit (przedrośle) może być jednopienny lub dwupienny;
– obecność w pełni wykształconych tkanek typowych dla roślin lądowych, np. drewna i łyka;
– brak przyrostu na grubość (z wyjątkiem poryblinów);
– zapłodnienie następuje w obecności wody.

*Nazwa „paprotniki" używana dawniej na określenie tych klas ma obecnie znaczenie historyczne.

Podział roślin zarodnikowych

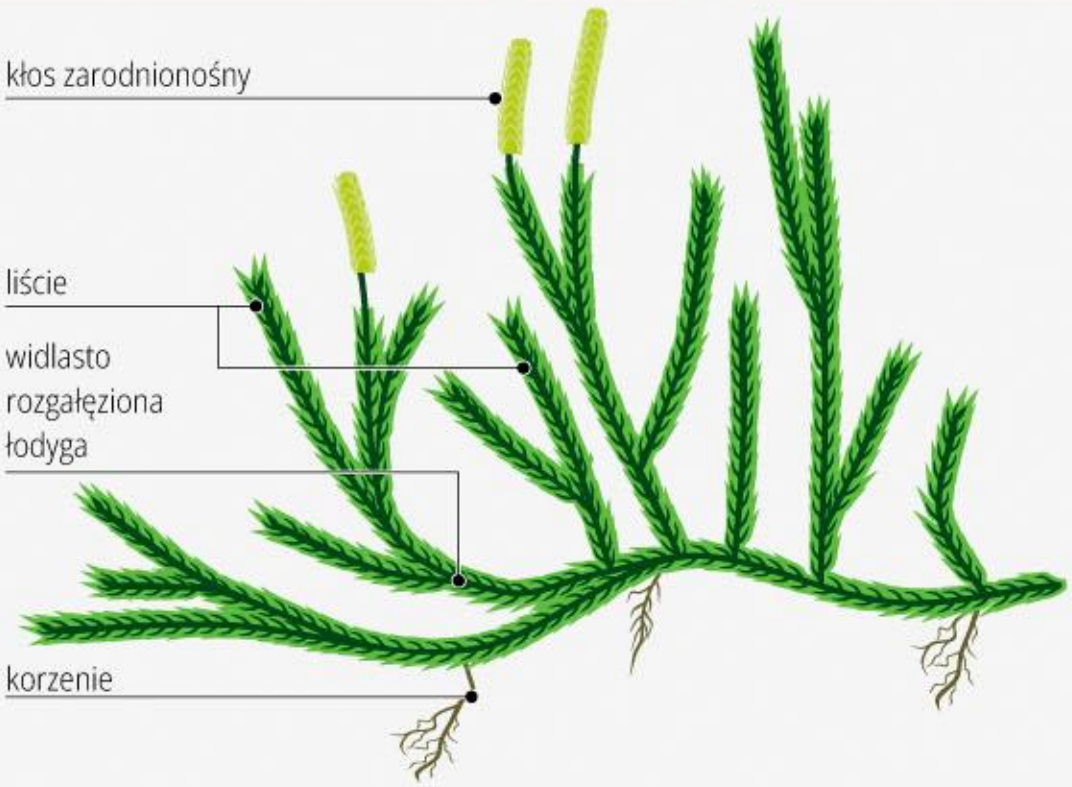
Widłakowe	Paprociowe
widliczki	paprocie
widłaki	skrzypy
porybliny	psyloty

Widłakowe

Widłakowe niegdyś odegrały znaczącą rolę w kształtowaniu szaty roślinnej Ziemi. Współczesne gatunki mają niewielkie rozmiary, charakterystyczne dla nich są widlaste rozgałęzienia pędu i korzenia. Z płożących się łodyg wyrastają drobne trofofile i sporofile, skupione często w kłosy zarodnionośne (strobile). Niewielki gametofit jest długożyjący, samożywny lub żyjący w symbiozie z grzybami. W Polsce występuje 13 gatunków widłakowych (np. wroniec widlasty, widliczka ostrozębna) – wszystkie objęte są ścisłą ochroną gatunkową, a niektóre znajdują się na liści gatunków zagrożonych wyginięciem.

Podział widłakowych

Jadnakozarodnikowe	Różnozarodnikowe	
widłaki (np. widłak wroniec)	widliczki (np. widliczka ostrozębna)	porybliny (np. poryblin jeziorny)



Paprociowe

Do paprociowych zaliczamy paprocie, skrzypy i psyloty. Psyloty różni od pozostałych brak rozgałęzionych pędów podziemnych, gametofit jest samożywny, a sporofit stanowi różnie ukształtowana łodyga. Do krajowych psylotów należą nasięźrzał pospolity i podejźrzon księżycowy.

	Paprociowe	
	Paprocie	**Skrzypy**
Cechy charakterystyczne	• najliczniejsza grupa roślin zarodnikowych (w Polsce 55 gatunków) • obejmują rośliny zielne i drzewa • liście osadzone na ogonkach z pierzasto podzielonymi blaszkami liściowymi (młode liście pastorałowato zwinięte) • łodyga pokryta skórką, w której są obecne aparaty szparkowe • tkanka miękiszowa otacza wiązkę przewodzącą w centralnej części łodygi • większość jest jednakozarodnikowa, nieliczne różnozarodnikowe (np. salwinia pływająca) • obecny sprężynujący system wyrzucania zarodników z zarodni	• rośliny zielne do 1 m wysokości (w Polsce 9 gatunków) • sporofit występuje w postaci jednorocznych łodyg naziemnych i wieloletnich łodyg podziemnych • ściany komórkowe wysycone krzemionką • łodygi są członowane, zróżnicowane na długie międzywęźla i krótkie węzły • z węzłów łodygi podziemnej wyrastają korzenie przybyszowe, a węzłów łodygi nadziemnej okółki liści wolnych i zrośniętych w pochewkę • łodyga pełni funkcje asymilacyjne • pędy naziemne zróżnicowane na dwa typy: zarodnionośne (wiosenne) i płonne (letnie) • wzniesiony pęd zarodnionośny jest brunatny, na jego szczycie znajduje się kłos okryty tarczowatymi liśćmi, na których spodzie znajdują się zarodnie • skrzypy są jednakozarodnikowe
Przykłady	• długosz królewski • **języcznik zwyczajny** • gałuszka kulecznica • narecznica samcza	• skrzyp polny • skrzyp błotny • **skrzyp olbrzymi**

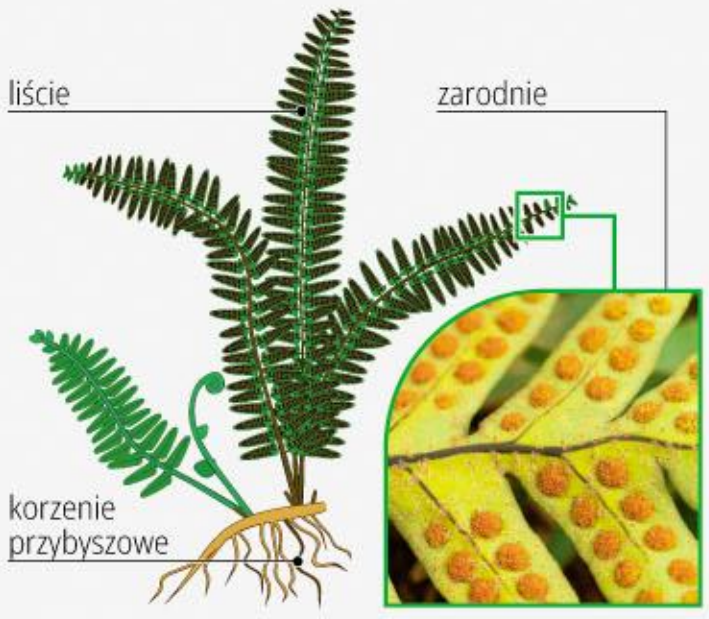


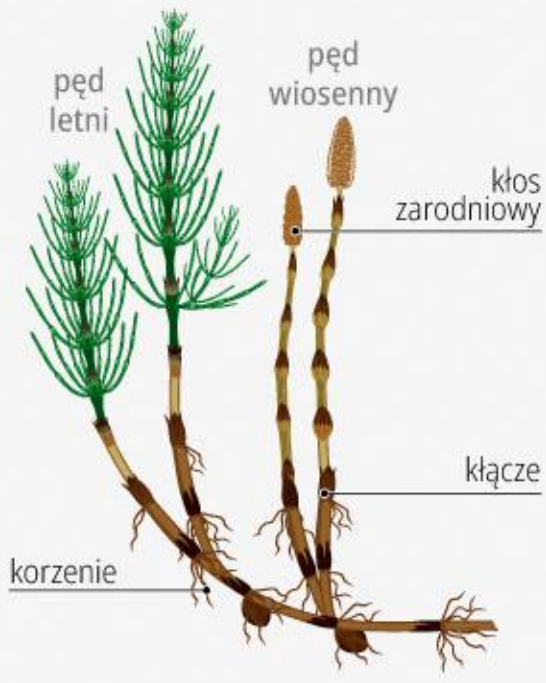
Języcznik zwyczajny



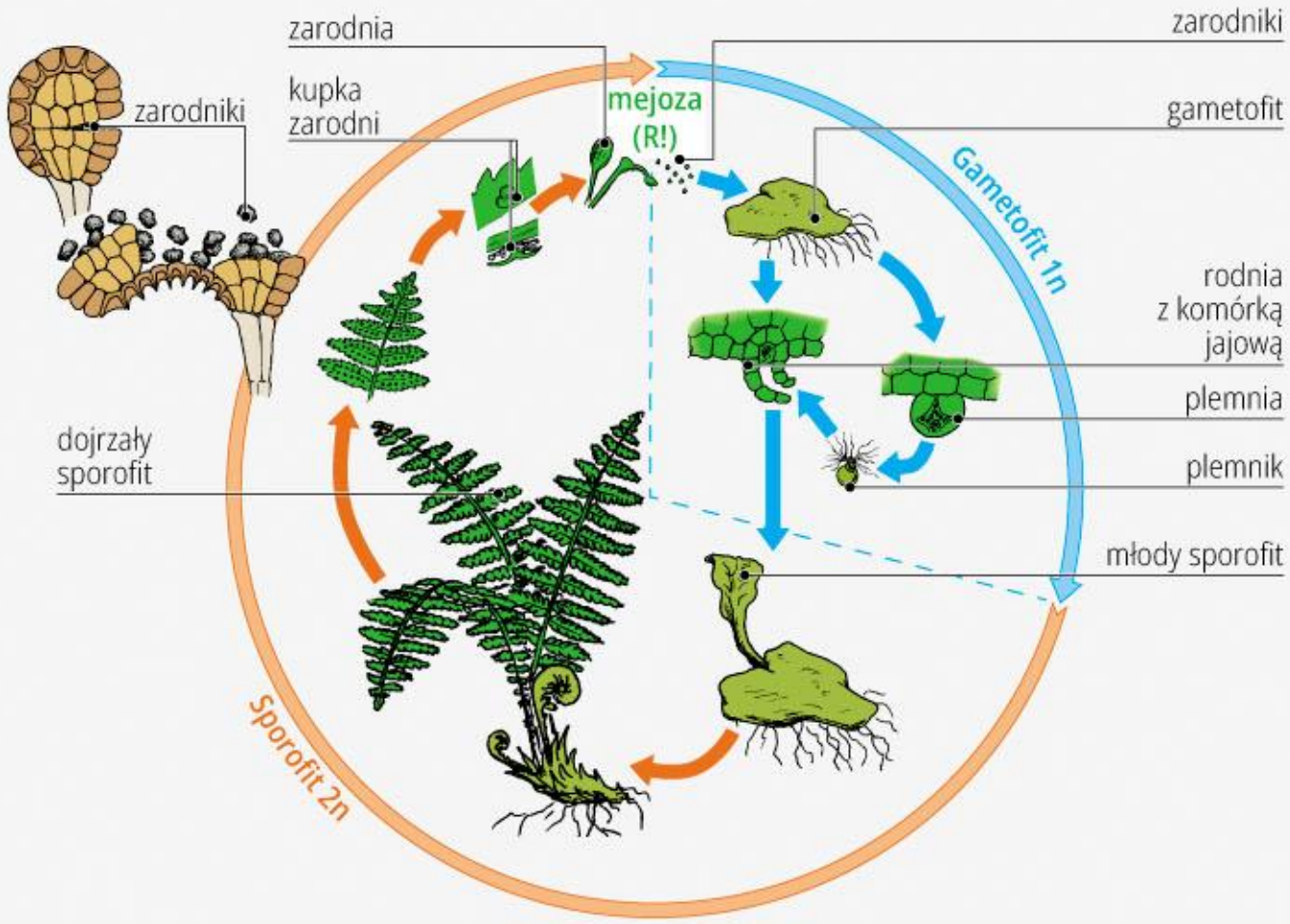
Skrzyp olbrzymi

Rozmnażanie paproci i skrzypów

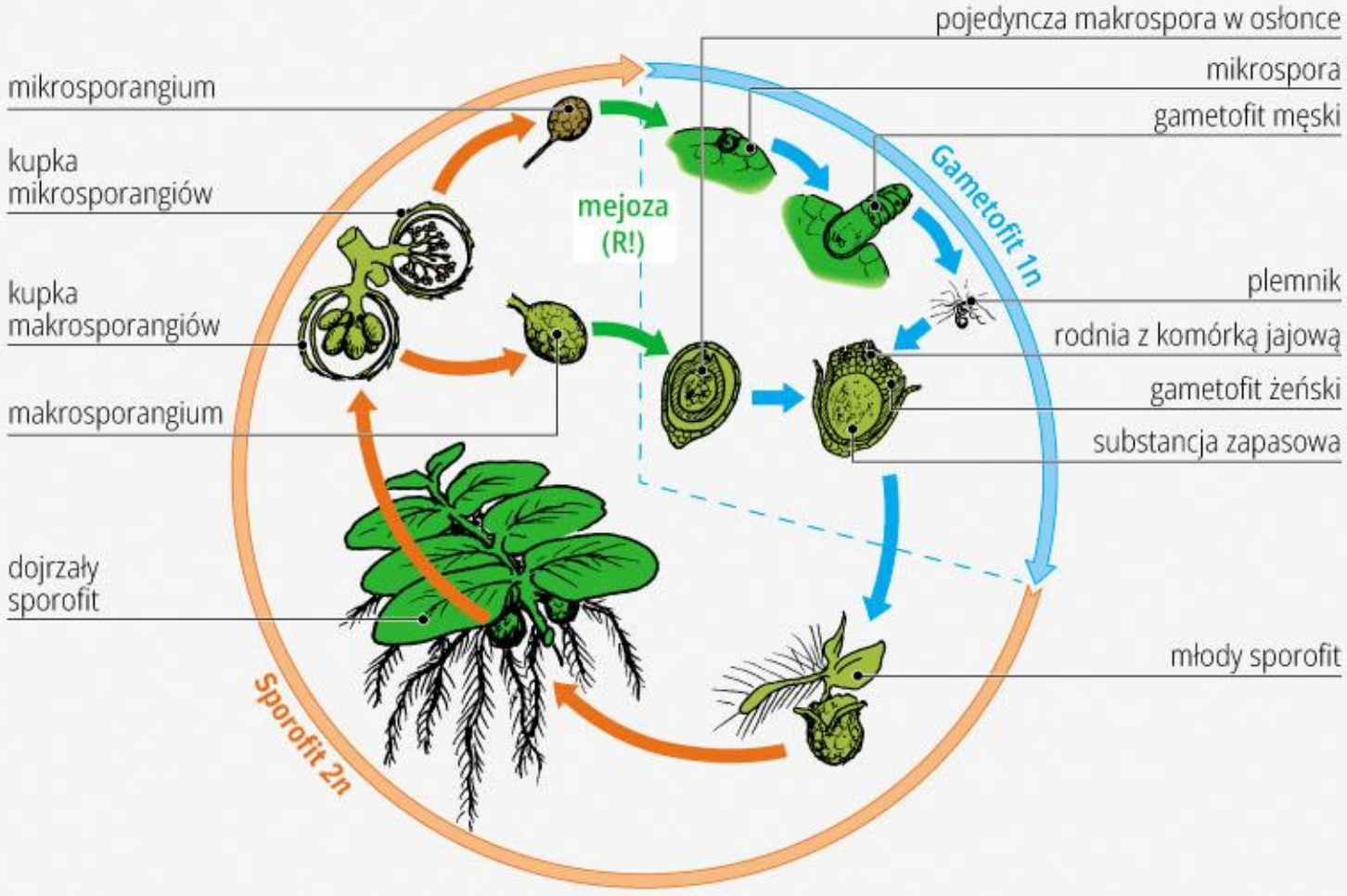




Cykl rozwojowy paproci jednakozarodnikowych na przykładzie narecznicy samczej



Cykl rozwojowy paproci różnozarodnikowych na przykładzie salwinii pływającej



Znaczenie roślin zarodnikowych

1. Ich szczątki utworzyły pokłady węgla kamiennego.
2. Stanowią główny element runa leśnego i są środowiskiem życia innych organizmów.
3. Są surowcem do wyrobu kosmetyków i farmaceutyków (np. ziele skrzypu) oraz jako źródło olejków eterycznych (np. widłaki).
4. Hoduje się je jako rośliny doniczkowe.
5. Skrzypy stanowią uciążliwe chwasty i są niepożądanym składnikiem pasz dla zwierząt.

5.5. Rośliny nagonasienne (nagozalążkowe)

Rośliny nagonasienne wytwarzają nagie (nieosłonięte) nasiona i zalążki. Należą tu duże rośliny drzewiaste (np. sosna, świerk, jodła), które w wielu miejscach stanowią dominujący element szaty roślinnej (gatunki lasotwórcze). Nagozalążkowe wraz z okrytozalążkowymi należą do roślin nasiennych.

Wspólne cechy roślin nasiennych:

- cykl życiowy z przemianą pokoleń z dominacją diploidalnego sporofitu i silną redukcją gametofitu;
- różnozarodnikowość (wytwarzanie makrospor i mikrospor);
- wytwarzanie zalążków (przekształconych megasporangiów), z których po zapłodnieniu rozwija się nasiono z łupiną nasienną;
- wytwarzanie nasion i kwiatów;
- zapłodnienie niezależne od obecności wody (plemniki są transportowane do wnętrza rodni za pomocą łagiewki pyłkowej).

Porównanie zarodników i nasion

Cecha	Zarodniki	Nasiona
budowa	prosta, pojedyncza komórka	skomplikowana, zawiera młodą roślinę z korzeniem zarodkowym, łodygą i zawiązkami liści
zawartość substancji pokarmowych	mała ilość substancji pokarmowych	duża ilość substancji pokarmowych, służących do odżywiania młodej rośliny
ochrona przed czynnikami zewnętrznymi	brak	wielokomórkowa, często gruba i twarda łupina nasienna
żywotność	długookresowa	długookresowa
rośliny, u których występują	rośliny zarodnikowe: mszaki, paprociowe, widłakowe	nagozalążkowe, okrytozalążkowe

Cechy charakterystyczne nagozalążkowych:

- zalążek otoczony pojedynczym ingumentem;
- grube łodygi wykazują wtórny przyrost na grubość;
- liście zróżnicowane, zredukowane, często w postaci szpilek lub łusek;
- drewno składa się z cewek, a łyko – z komórek sitowych;
- większość gatunków jest jednopienna;
- wiele gatunków wytwarza żywicę.

Sporofit roślin nagonasiennych (na przykładzie sosny zwyczajnej)

Sporofit sosny ma formę drzewiastą, rozwija się z nasienia i wytwarza **organy wegetatywne** oraz **generatywne** w postaci jednopłciowych kwiatów. Kwiaty żeńskie i męskie znajdują się na tej samej roślinie. **Kwiat żeński** tworzy łuska wspierająca, w której pachwinie znajduje się **łuska nasienna**, czyli **owocolistek** (**makrosporofil**). Na górnej powierzchni owocolistka znajdują się dwa nieosłonięte **zalążki**. Zalążek jest zbudowany z wielokomórkowego **ośrodka** i pojedynczej **osłonki**, która w szczytowej części zawiera otwór zwany **okienkiem**. W ośrodku znajduje się **komórka macierzysta makrospor**, która ulega mejozie, dając cztery **haploidalne makrospory**. Jedna z nich daje początek gametofitowi żeńskiemu, a reszta obumiera.

Kwiaty męskie zebrane są w żółte kwiatostany w kształcie **kłosa** (**szyszki męskie**). **Kwiat męski** składa się z osi i osadzonych na niej łuskowatych **mikrosporofili**. U ich nasady znajdują się **dwa woreczki pyłkowe** (**mikrosporangia**), w których wnętrzu powstają **ziarna pyłku** (**mikrospory**).

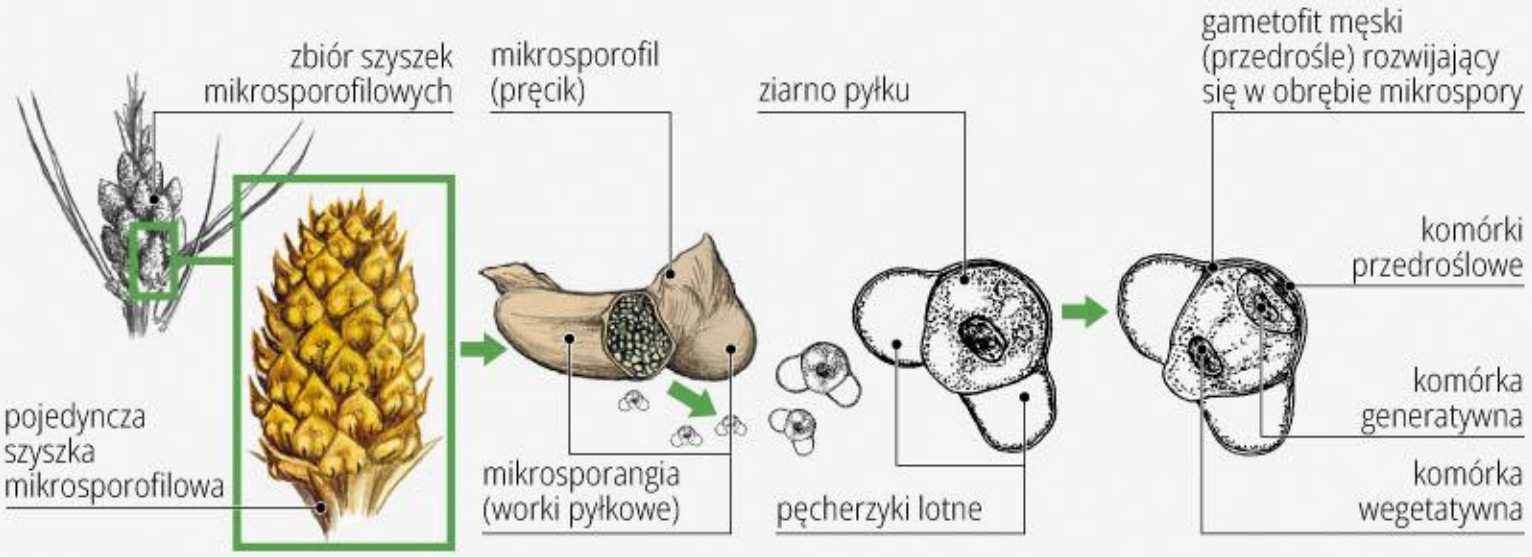


Kwiatostany sosny zwyczajnej: A. żeński niedojrzały, B. żeński dojrzały, C. męski

Gametofit roślin nagozalążkowych

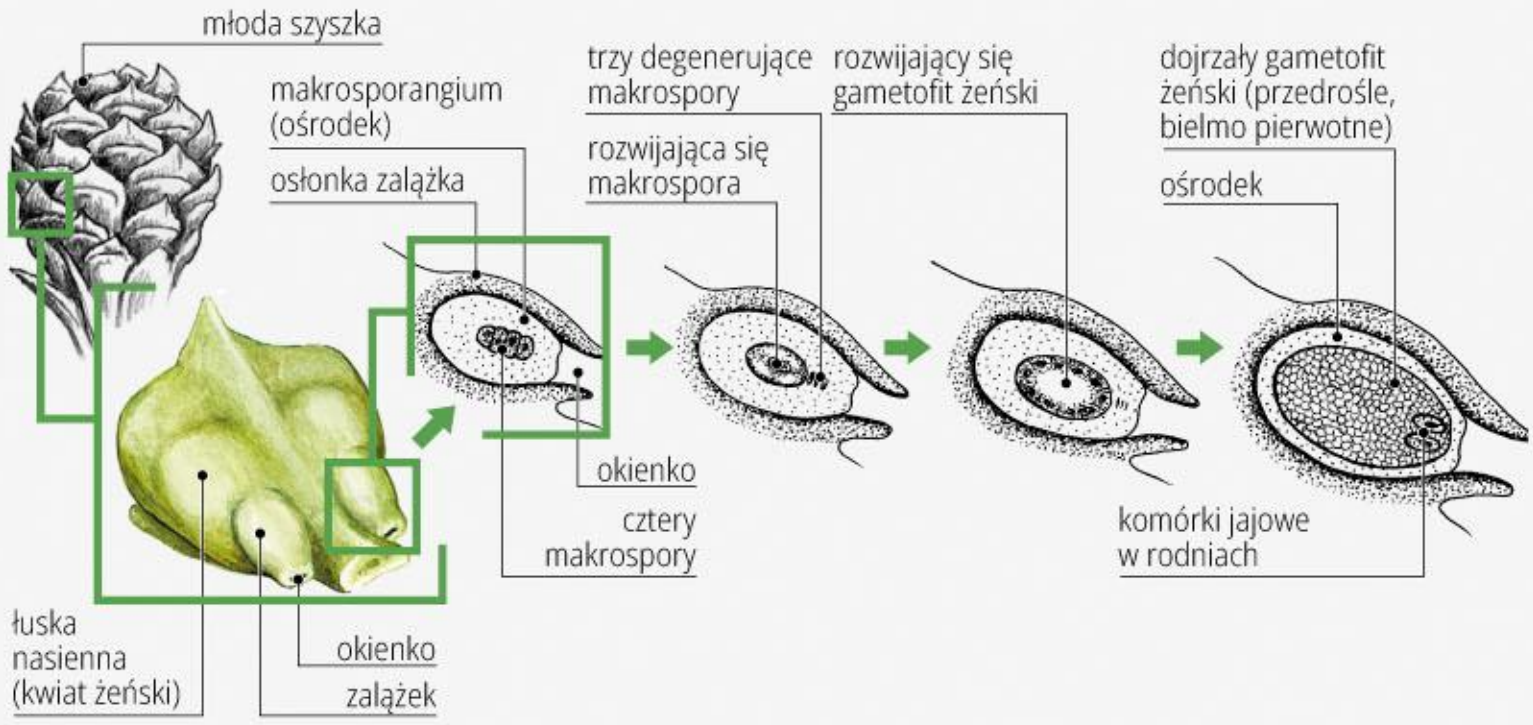
Gametofit męski (przedrośle, ziarno pyłku)

Rozwija się w wyniku podziałów mitotycznych mikrospory. Zbudowany jest z jednej lub dwóch **komórek przedroślowych**, dużej **komórki wegetatywnej** oraz mniejszej **generatywnej**. W trakcie rozwoju komórki przedroślowe zamierają, z komórki generatywnej powstają dwie komórki plemnikowe, a z komórki wegetatywnej rozwija się łagiewka pyłkowa. Rozwinięte ziarno pyłku ma dwa pęcherze lotne ułatwiające rozsiewanie.

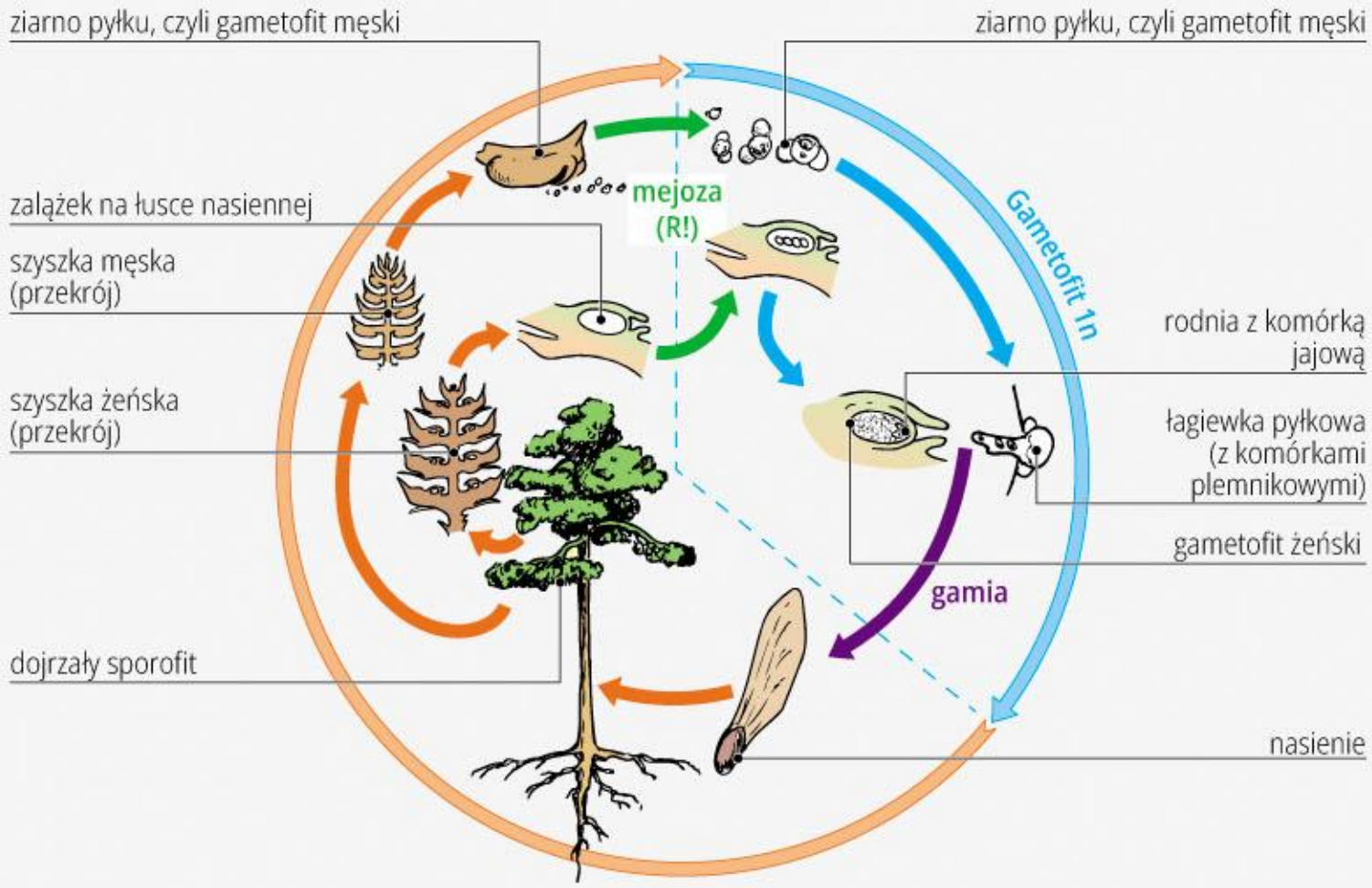


Gametofit żeński (przedrośle żeńskie; bielmo pierwotne)

Powstaje na skutek wielokrotnych podziałów mitotycznych makrospory. We wnętrzu znajdują się komórki miękiszowe z dużą ilością substancji odżywczych. Na biegunie, na którym znajduje się okienko, powstają dwie **rodnie**, z których każda zawiera dużą komórkę jajową.



Cykl rozwojowy sosny zwyczajnej



W woreczkach pyłkowych kwiatu męskiego z każdej komórki macierzystej mikrospor rozwijają się cztery **mikrospory**, a z nich powstaje gametofit męski (**ziarno pyłku**). W obrębie zalążków zlokalizowanych na łusce nasiennej kwiatu żeńskiego z komórki macierzystej makrospor powstają cztery makrospory. Tylko jedna z nich rozwija się dalej i tworzy gametofit żeński – **bielmo pierwotne** zawierające dwie rodnie. Z dojrzałego woreczka pyłkowego ziarna pyłku zostają przeniesione przez wiatr na okienko zalążka – dochodzi do **zapylenia**. Ziarno pyłku wykształca **łagiewkę pyłkową**, za pomocą której transportuje dwie komórki plemnikowe do rodni. Jedna z komórek plemnikowych łączy się z komórką jajową (zapłodnienie) i powstaje zygota. Zalążek przekształca się w **nasiono**. Rozwijające się łuski nasienne formują szyszkę. Dojrzałe nasiona są roznoszone przez wiatr i mogą kiełkować, dając początek sporofitowi.

Przegląd systematyczny nagozalążkowych

Nagozalążkowe wielkolistne
- sagowce,
- gniotowe,
- paprocie nasienne (wymarłe).

Nagozalążkowe drobnolistne
- miłorzębowe,
- szpilkowe,
- benetyty (wymarłe).

Nagozalążkowe wielkolistne		
	Sagowce	**Gniotowe**
Cechy charakterystyczne	• dominowały w mezozoiku • obecnie ok. 130 gatunków • mają krótkie, grube pnie, duże szyszki i pierzaste liście • rośliny dwupienne, pyłek przenoszą owady; obecne ruchliwe plemniki • hodowane jako rośliny ozdobne	• obejmują ok. 70 gatunków z trzech rodzajów: gniot, przęśl i welwiczja • cechy charakterystyczne dla okrytozalążkowych: naczynia w drewnie wtórnym, zredukowane gametofity, siatkowate unerwienie liści, zaczątek obupłciowości i owadopylność
Przykłady	• sagowiec • zamia	• welwiczja przedziwna • przęśl skrzypowata • gniot



Sagowiec



Welwiczja wspaniała

Nagozalążkowe drobnolistne		
	Miłorzębowe	**Szpilkowe (iglaste)**
Cechy charakterystyczne	• współcześnie żyje tylko jeden gatunek – miłorząb dwuklapowy • występuje naturalnie w Chinach (gatunek zagrożony) • rozgałęziony, ok. 40-metrowy pień • wachlarzowate liście z widlastą nerwacją • dwupienny (kwiaty męskie w postaci żółtych kotków, a żeńskie w postaci dwóch nagich zalążków) • nasiona na długiej szypule otoczone mięsistą osnówką • popularna roślina lecznicza	• obecnie ok. 600 gatunków • zwykle potężne drzewa, występują w lasach • pędy zróżnicowane na krótkopędy i długopędy • trwałe, zimozielone (z wyjątkami) liście w postaci szpilek (igieł) • nasiona rozsiewane przez wiatr (rzadko przez zwierzęta)
Przykłady	• miłorząb dwuklapowy	• sosna limba • sosna zwyczajna • jodła pospolita • świerk pospolity • modrzew europejski • jałowiec pospolity • cis pospolity



Miłorząb dwuklapowy



Jodła pospolita

Znaczenie nagozalążkowych

1. Ważne gatunki lasotwórcze w większości stref klimatycznych; dominują w tajdze i są środowiskiem życia dla innych organizmów.
2. Nasiona są wartościowym pożywieniem dla zwierząt.
3. Stanowią źródło drewna (budownictwo, meblarstwo, instrumenty muzyczne, przemysł papierniczy).
4. Mają właściwości lecznicze i stanowią źródło leków (np. taksol z cisa), terpentyny, żywic (przemysł perfumeryjny i kosmetyczny).

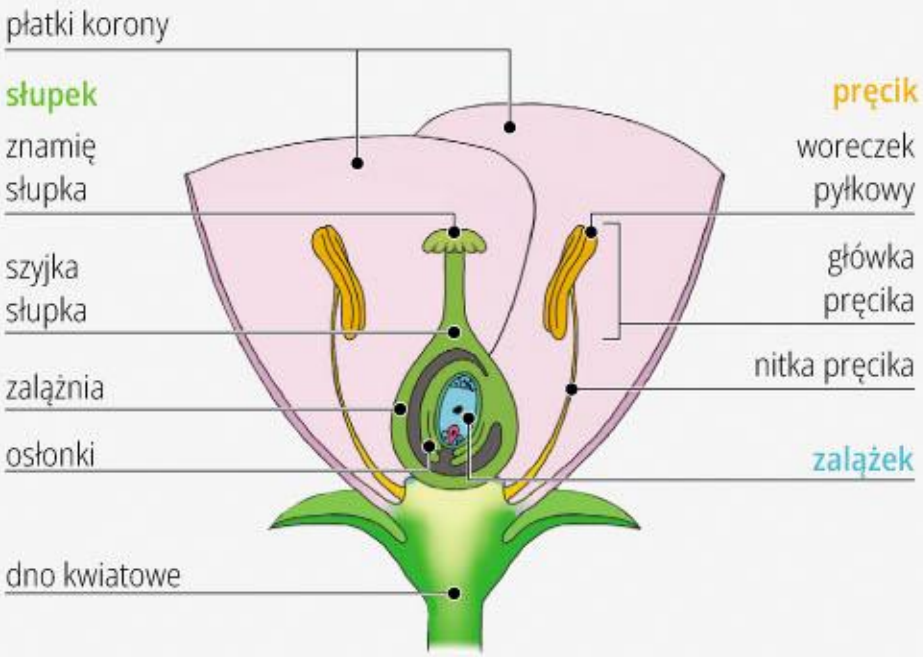
5.6. Rośliny okrytozalążkowe (okrytonasienne)

Cechy roślin okrytonasiennych

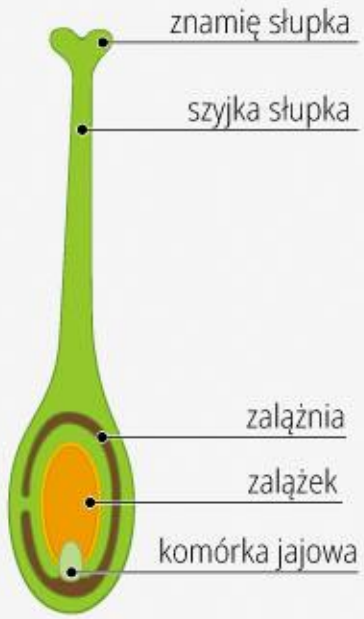
- dominują współcześnie we florze całego świata (stanowią ponad 90% opisanych gatunków roślin);
- w cyklu życiowym dominuje sporofit, gametofit jest zredukowany do kilku komórek;
- sporofit wytwarza organy wegetatywne (korzeń, łodygę, liście) oraz generatywne (kwiaty i owoce);
- ogromna różnorodność form (drzewa, krzewy, rośliny zielne, wtórnie wodne);
- kwiaty są zwykle obupłciowe i zawierają słupek (powstał w wyniku zrośnięcia się owocolistków);
- ściana zalążni słupka osłania zalążki, chroniąc je przez wpływem warunków zewnętrznych (stąd nazwa – okrytozalążkowe);
- nasiona mają ochronną owocnię (stąd nazwa – okrytonasienne);
- występuje podwójne zapłodnienie, w wyniku którego nasiona tworzą się wewnątrz owocu;
- wiele sposób przenoszenia pyłku (wiatr, zwierzęta);
- sprawny system transportowania wody z solami mineralnymi dzięki obecności członów naczyń w drewnie i przewodzenia asymilatów za pomocą rurek sitowych w łyku;
- budowa liści zapewniająca wydajne pochłanianie światła.

Budowa kwiatu roślin okrytozalążkowych

Kwiat to organ służący do rozmnażania płciowego. Składa się z **działek kielicha**, **płatków korony**, **pręcików** oraz **słupka**. Elementy te są osadzone na dnie kwiatowym.



Działki kielicha oraz korony tworzą razem **okwiat**. **Działki kielicha** stanowią najbardziej zewnętrzny okółek kwiatu, ich rolą jest ochrona leżących wewnątrz części kwiatu. **Płatki korony** często są większe od kielicha, barwne i mają zróżnicowany kształt. Ich rolą jest przywabianie zapylaczy (w obrębie płatków korony u wielu gatunków znajdują się struktury wydzielające nektar i olejki eteryczne).



Słupek powstaje ze zrośnięcia owocolistków (makrosporofili). Składa się ze **znamienia** (miejsce osiadania ziarna pyłku), **szyjki** (przez którą przechodzi łagiewka pyłkowa) oraz **zalążni**, w której mieszczą się zalążki. Zalążek składa się z ośrodka i dwóch osłonek, które w szczytowej części tworzą okienko. Każdy zalążek zawiera gametofit żeński. Zalążek przekształca się w nasienie, a zalążnia – w owoc.

Ogół pręcików kwiatu to **pręcikowie**. Pojedynczy **pręcik** składa się z trzonka, czyli nitki, oraz główki z dwoma pylnikami połączonymi łącznikiem. Każdy pylnik zawiera dwa woreczki pyłkowe, wewnątrz których powstają ziarna pyłku.



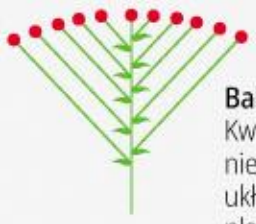
Rodzaje kwiatostanów okrytozalążkowych

Kwiaty okrytozalążkowych mogą występować pojedynczo lub w skupieniach zwianych **kwiatostanami**. Kwiatostany zwiększają szanse zapylenia.

Proste



Grono
Kwiaty na szypułkach jednakowej długości, osadzone na nierozgałęzionej osi (np. u konwalii, porzeczki i rzepaku).



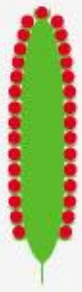
Baldachogrono
Kwiaty na szypułkach niejednakowej długości, układające się w jednej płaszczyźnie (np. u bzu czarnego, jarzębiny, gruszy).



Kłos
Kwiaty bezszypułkowe siedzące, ułożone jak w gronie (np. u babki i rdestu).



Kotka (bazia)
Kłos o wiotkiej, zwisającej osi (np. u wierzby, leszczyny i orzecha włoskiego).



Kolba
Kłos o zgrubiałej osi (np. u pałki i kwiatostanów żeńskich kukurydzy).



Wiecha
Oś kwiatostanu silnie rozgałęziona, na końcach wszystkich rozgałęzień znajdują się pojedyncze kwiaty (np. u bzu lilaka, winorośli właściwej i licznych traw).



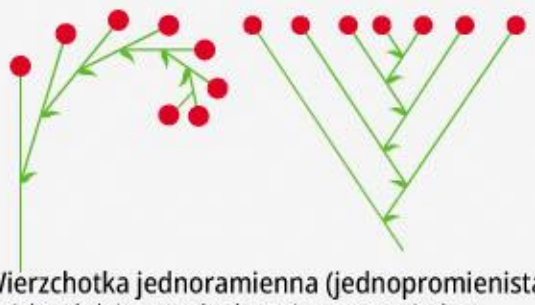
Główka
Oś kwiatostanu silnie skrócona i zgrubiała, kwiaty siedzące lub na krótkich szypułkach (np. u koniczyny).



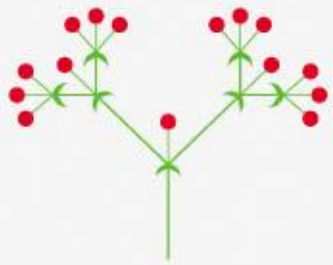
Baldach
Oś kwiatostanu silnie skrócona, z jej końcowego odcinka wyrastają kwiaty na szypułkach układające się kopulasto. Najmłodsze kwiaty w środku kwiatostanu (np. u czosnku i wiśni pospolitej).



Koszyczek
Oś kwiatostanu silnie skrócona, rozszerzona i zwykle spłaszczona. Kwiaty siedzące, w środku najmłodsze, na obrzeżach często odmiennie wykształcone (np. języczkowate u słonecznika).



Wierzchotka jednoramienna (jednopromienista)
Każda oś daje po zakończeniu wzrostu jedno odgałęzienie następnego rzędu. Jeżeli odgałęzienia są skierowane w jedną stronę, tworzy się sierpik (np. u niezapominajki), jeśli w obie – wachlarzyk (np. u kosaćca).



Wierzchotka dwuramienna
Pod kwiatem szczytowym osi wyrastają naprzeciwlegle dwa odgałęzienia zakończone kwiatami (np. u goździka).



Wierzchotka wieloramienna
Pod kwiatem szczytowym osi wyrasta kilka odgałęzień zakończonych kwiatami (np. u wilczomlecza).

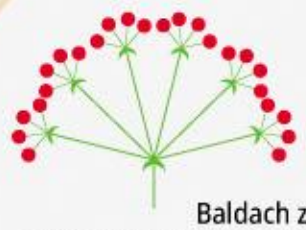
Złożone



Kłos złożony
Na osi kwiatostanu osadzone są kłosy proste – kłoski (np. u pszenicy, żyta i jęczmienia).



Wiecha złożona
Oś kwiatostanu silne rozgałęziona, na końcach rozgałęzień znajdują się kłoski (np. u owsa, prosa i kwiatostanów męskich kukurydzy).

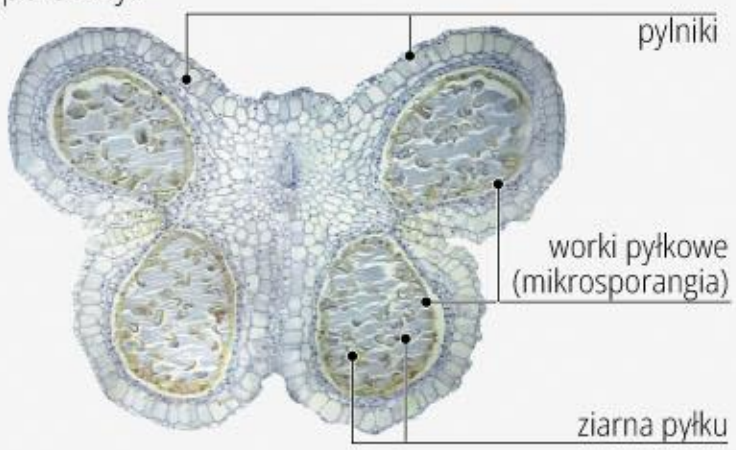


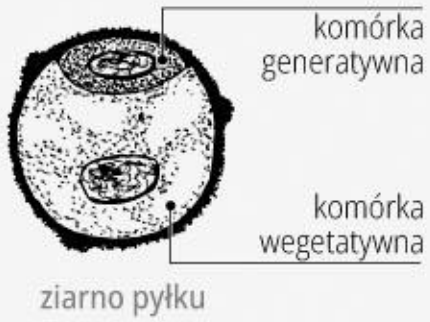
Baldach złożony
Oś główna skrócona, osie boczne zakończone małymi baldachami tzw. baldaszkami (np. u marchewki i pietruszki).

Gametofit roślin okrytozalążkowych

Gametofit męski (przedrośle męskie, ziarno pyłku)

Rozwija się w wyniku podziałów mitotycznych mikrospory. Dojrzałe ziarno pyłku składa się z dwóch komórek: wegetatywnej i generatywnej. Z komórki generatywnej powstają dwie, pozbawione możliwości ruchu komórki plemnikowe, a z komórki wegetatywnej rozwija się łagiewka pyłkowa. Rozwinięte ziarna pyłku są otoczone mocną, odporną na czynniki zewnętrzne ścianą zbudowaną z celulozy, pektyn i sporopoleniny.

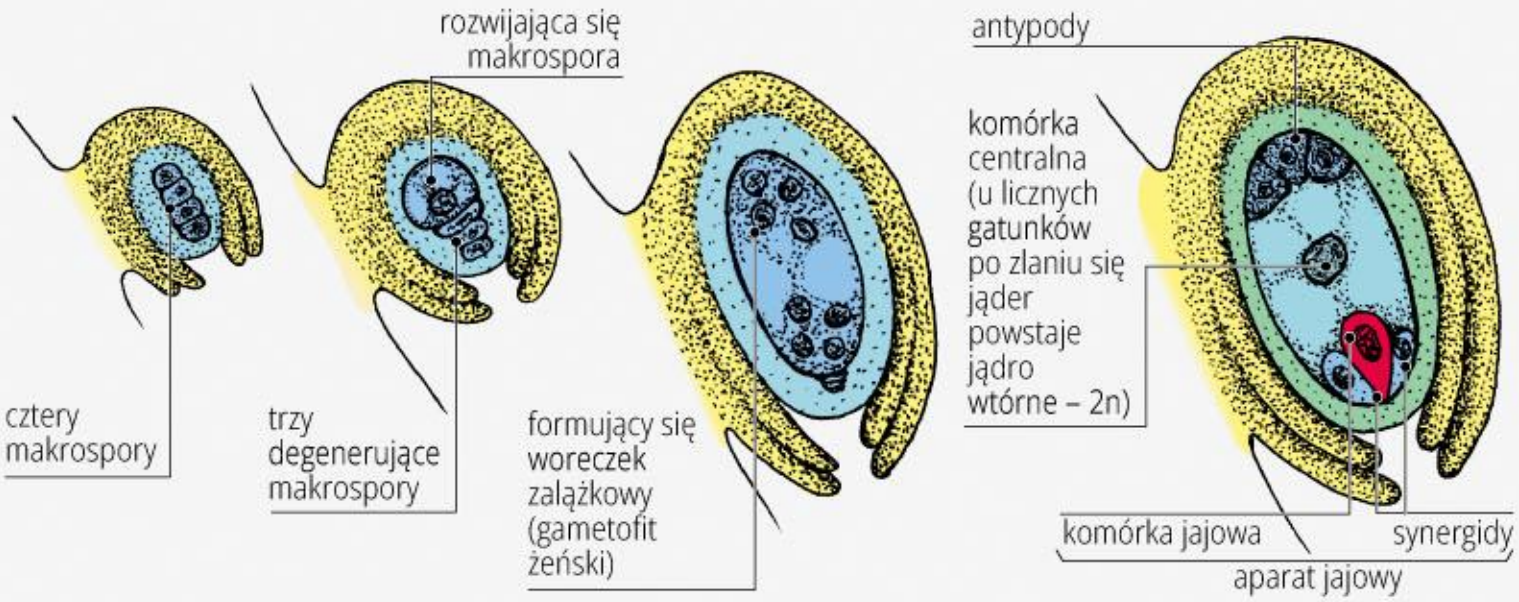




ziarno pyłku

Gametofit żeński (przedrośle żeńskie)

Powstaje w wyniku rozwoju jednej z czterech makrospor obecnych w zalążku. W wyniku podziałów mitotycznych powstaje dojrzały gametofit żeński zwany woreczkiem zalążkowym. Jest on zbudowany z siedmiu komórek. Są to: haploidalne synergidy, komórka jajowa i antypody oraz komórka centralna zawierająca diploidalne wtórne jądro woreczka zalążkowego. W zapłodnieniu biorą udział komórki: centralna i jajowa, a reszta komórek obumiera.

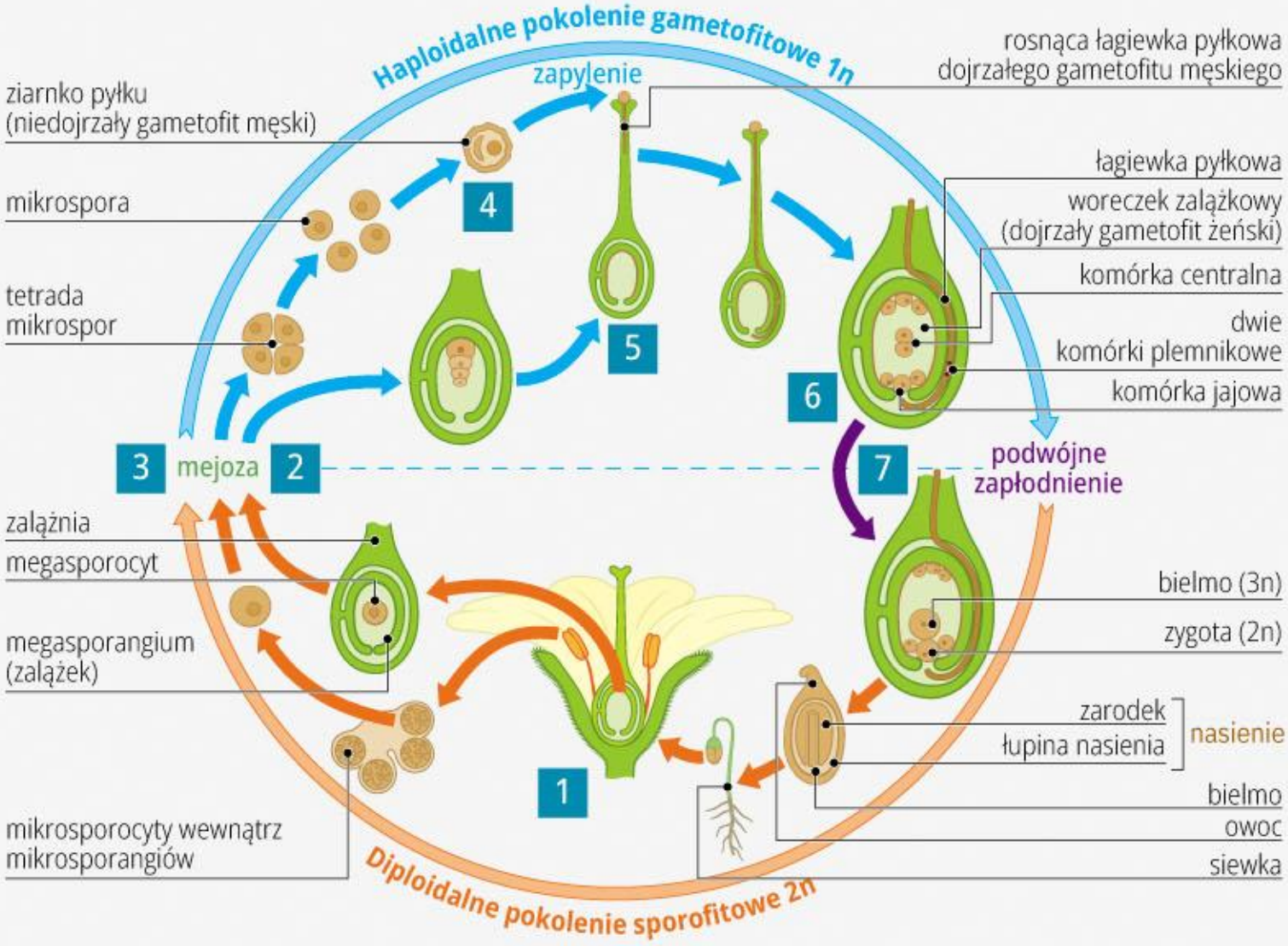


Cykl rozwojowy roślin okrytozalążkowych

Zapylenie – przeniesienie ziaren pyłku na znamię słupka za pośrednictwem wiatru, zwierząt lub wody.

Samozapylenie – przeniesienie ziaren pyłku z pręcika na słupek tego samego kwiatu lub innych kwiatów tej samej rośliny. Samozapylenie jest procesem niekorzystnym, ponieważ ogranicza możliwość wymiany genów i tym samym różnorodność genetyczną. Mechanizmami zabezpieczającymi przed samozapyleniem są: heterostylia (kwiaty z różną długością słupków i pręcików), samosterylność (zapylenie własnym pyłkiem hamuje rozwój nasion), czasowe zróżnicowanie dojrzewania słupków i pręcików.

Zapylenie krzyżowe (obcopylność) – przeniesienie ziaren pyłku z pręcików jednej rośliny na znamię słupka innej rośliny tego samego gatunku. Obcopylność zwiększa rekombinację genów i tym samym różnorodność biologiczną. Odbywa się:
- **z udziałem zwierząt** (przystosowania: barwne i pachnące okwiaty, wydzielanie nektaru, olejków; okwiat kształtem przypominający samicę owadów);
- **za pomocą wiatru** (przystosowania: zredukowany okwiat, długie pręciki, lekki pyłek, słupki z dużymi znamionami);
- **z udziałem wody** (przystosowania: pyłek wydłużony, pozbawiony ochronnej egzyny; znamiona słupka lejkowate).



1 Dojrzały sporofit rośliny okrytozalążkowej wytwarza kwiaty.

2 Megasporocyt przechodzi mejozę, dając haploidalne megaspory.

3 Mikrosporocyty w woreczkach pyłkowych pręcików przechodzą mejozę, dając haploidalne mikrospory.

4 Każda mikrospora przekształca się w ziarno pyłku.

5 Megaspora przekształca się w woreczek zalążkowy (gametofit żeński).

6 Do woreczka zalążkowego wrasta łagiewka pyłkowa, dostarczając dwie komórki plemnikowe.

7 Zachodzi podwójne zapłodnienie, dając diploidalną zygotę i triploidalne bielmo.

Istota podwójnego zapłodnienia u roślin okrytozalążkowych

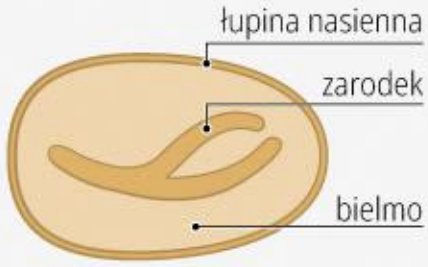
Ziarno pyłku osadzone na znamieniu słupka kiełkuje, a powstała łagiewka pyłkowa wrasta przez szyjkę słupka do zalążni, gdzie zostają uwolnione obie komórki plemnikowe.

1. Jedna komórka plemnikowa (n) łączy się z komórką jajową (n), dając **zygotę (2n)**, która dzieli się i przekształca w zarodek nasienia.
2. Druga komórka plemnikowa (n) łączy się z komórką centralną (2n), tworząc **triploidalną komórkę** (3n), która rozwija się w bielmo, czyli tkankę odżywiającą rosnący zarodek.

W wyniku dalszego rozwoju powstaje nasiono. Z osłonek zalążka powstaje łupina nasienna, a ze ściany zalążni – owocnia.

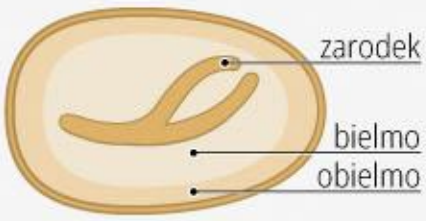
Budowa nasienia

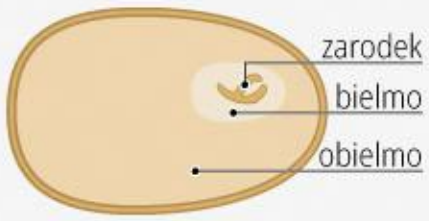
Dojrzałe nasienie składa się z zarodka rośliny, łupiny nasiennej oraz bielma. W trakcie rozwoju komórki zarodka (zawiązek przyszłej rośliny) dzielą się, wytwarzając jeden lub dwa liścienie, korzeń zarodkowy i stożek wzrostu pędu. Łupina chroni nasienie przed wpływem niekorzystnych czynników zewnętrznych. Bielmo pełni funkcje tkanki odżywczej w trakcie rozwoju zarodka.

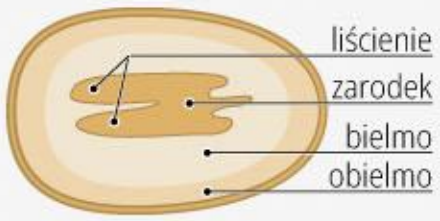


Rodzaje nasion

Nasiona bielmowe	Nasiona obielmowe	Nasiona bezbielmowe
Tkanką odżywczą stanowi bielmo, które nie zostało wykorzystane w trakcie rozwoju zarodka. Występuje np. u zbóż.	Funkcje tkanki odżywczej spełnia obielmo, które jest zachowanym ośrodkiem zalążka. Występuje np. u goździka.	Nasiona bez bielma, u których substancje odżywcze są gromadzone w liścieniach. Występuje np. u fasoli, dyni, słonecznika.







Budowa i rodzaje owoców

Owoc – organ charakterystyczny dla roślin okrytozalążkowych, który pełni funkcję ochronną w stosunku do znajdujących się w jego wnętrzu nasion. Niekiedy wspomaga rozsiewanie nasion. Owoce właściwe powstają z zalążni słupka. Owoce, w których formowaniu biorą udział inne części kwiatu, nazywamy **owocami rzekomymi** (szupinkami).

Podział owoców

właściwe
(powstałe tylko z zalążni)

rzekome
(w ich powstaniu bierze udział np. dno kwiatowe – u jabłoni, gruszy)

pojedyncze
(powstają z jednej zalążni)

złożone
(powstają z kwiatów o wielu słupkach, w ich tworzeniu ważną rolę odgrywa rozrastające się dno kwiatowe łączące poszczególne owocki)
- **wielopestkowiec** – u maliny
- **wieloorzeszek** – u truskawki

owocostany
(powstają z całych kwiatostanów, w ich tworzeniu biorą udział dna kwiatowe, okwiaty, liście przykwiatowe itd.)
- **jagodostan** – u ananasa
- **owocostan pestkowcowy** – u figi
- **owocostan orzeszkowy** – u morwy

mięsiste
(owocnia mięsista, soczysta)
- **pestkowiec** – zewnętrzna owocnia mięsista, wewnętrzna twarda tworzy pestkę zawierającą nasienie – u śliwki, wiśni
- **jagoda** – cała owocnia mięsista zawierająca zwykle wiele nasion – u borówki, pomidora, ogórka

suche
(owocnia w czasie dojrzewania wysycha)

pękające
(podczas dojrzewania pękają)
- **mieszek** – powstaje z jednego owocolistka, pęka jednym szwem – u kaczeńca
- **strąk** – powstaje z jednego owocolistka – u motylkowych
- **torebka** – powstaje z kilku owocolistków, podobna do mieszka – u goździka
- **łuszczyna** – powstaje z dwóch owocolistków, podobna do strąka (długa) – u kapusty
- **łuszczynka** – podobna do łuszczyny, lecz krótka – u tasznika

niepękające
- **orzech** – owocnia wykształcona jako twarda skorupa niezrośnięta z nasieniem – u dębu, leszczyny
- **ziarniak** – owocnia zrośnięta z nasieniem, powstaje ze słupka górnego – u zbóż
- **niełupka** – owocnia zrośnięta z nasieniem, powstaje ze słupka dolnego – u złożonych
- **rozłupnia** – powstaje z wielu owocolistków, rozpada się na jednonasienne części zwane rozłupkami – u baldaszkowych

Sposoby rozprzestrzeniania się nasion i owoców

Sposoby rozprzestrzeniania		Opis	Przykłady
Autochoria		rozsiewane z wykorzystaniem mechanizmów własnych (np. łatwo pękające owoce, gwałtowne wyrzucenie nasion na znaczne odległości)	rdest ptasi, niecierpek, ogórecznik, groch
Allochoria	anemochoria	rozsiewanie za pomocą wiatru; nasiona są lekkie, drobne, zaopatrzone w aparaty lotne	klon, mniszek, brzoza
	zoochoria	rozsiewanie przez zwierzęta; nasiona mają struktury (haczyki, kolce), za pomocą których przyczepiają się do sierści i piór zwierząt; mięsiste owoce są cennym pożywieniem dla zwierząt, a nasiona są wydalane	łopian, przytulia, wiśnia, jarzębina
	hydrochoria	rozsiewanie za pomocą wody; nasiona i owoce lekkie, pływające; owoce z twardą owocnią, obecna tkanka powietrzna	palma kokosowa, babka wodna, grzybienie białe

Przegląd systematyczny roślin okrytozalążkowych

Do roślin okrytozalążkowych zaliczamy blisko 300 tys. gatunków, które dominują w środowiskach lądowych. Badania ostatnich lat dzielą je na kilka kladów, m.in. grzybieniowate, magnoliowe, jednoliścienne i dwuliścienne właściwe.

	Charakterystyka	
grzybieniowate	Należą tu gatunki wodne z grubym kłączem zakorzenionym na dnie zbiornika; liście zanurzone pod wodą i pływające. Przedstawiciele: grążel żółty, grzybienie białe, wiktoria królewska.	 Grzybień biały
magnoliowe	Najczęściej mają formę małych drzew i krzewów; spiralne rozmieszczenie elementów kwiatu, niezróżnicowany okwiat, obecność cewek w drewnie; występują głównie w strefie zwrotnikowej i podzwrotnikowej. Przedstawiciele: magnolie, tulipanowce, rośliny przyprawne: muszkatołowiec korzenny, wawrzyn, cynamonowiec, pieprz czarny.	 Muszkatołowiec korzenny
jednoliścienne	Należy tu ok. 65 tys. gatunków roślin zielnych (wyjątek: bambus); zaliczamy tu wiechlinowate (potocznie trawy), które mają puste w środku łodygi, podzielone na węzły i międzywęźla. Kwiaty są wiatropylne, owocem jest ziarniak. Przedstawiciele: wiechlinowate (żyto, pszenica, owies, ryż, kukurydza), storczykowate (wanilia, obuwik pospolity), liliowate (lilia, tulipan).	 Wanilia

	Charakterystyka	
dwuliścienne właściwe	Obejmują 75% gatunków okrytozalążkowych, cechują się ogromną różnorodnością form (drzewa, krzewy, rośliny zielne). Wśród nich znajdują się rodziny o dużym znaczeniu dla człowieka: **Różowate** – w Polsce ok. 150 gatunków, z których wiele ma duże znacznie gospodarcze jako rośliny uprawne, ozdobne i lecznicze, np. brzoskwinia, czereśnia, jabłoń, malina, poziomka, wiśnia. **Kapustowate** (krzyżowe) – w większości rośliny zielne, czterokrotne kwiaty, owoc to łuszczyna; wśród ponad 3700 gatunków znajdują się rośliny uprawne (kapusta i jej odmiany), zielarskie, oleiste i paszowe. **Bobowate** (motylkowe) – rośliny głównie zielne, żyją w symbiozie z bakteriami brodawkowymi; kwiaty grzbieciste; owocem jest strąk. Należą tu rośliny o dużym znaczeniu użytkowym: pastewne (koniczyna), strączkowe o wysokiej zawartości białka (np. fasola, bób, soja), oleiste, lecznicze i ozdobne. **Astrowate** (złożone) – najliczniejsza rodzina; należą tu rośliny zielne i byliny; kwiaty drobne zebrane w kwiatostany (koszyczki); są szeroko wykorzystywane jako rośliny ozdobne (dalie, astry), uprawne (słonecznik, sałata), zioła (rumianek).	 Pięciornik gęsi należy do różowatych.  Przywrotnik należy do różowatych.  Rzodkiewka należy do kapustowatych.  Wyżlina ciernista należy do bobowatych.  Koniczyna należy do bobowatych.  Słonecznik należy do astrowatych.

Porównanie jednoliściennych i dwuliściennych

Cecha	Jednoliścienne	Dwuliścienne właściwe
liczba liścieni w zarodku	jeden	dwa
kwiaty	zwykle 3-krotne; okwiat najczęściej niezróżnicowany na kielich i koronę	zwykle 4- lub 5-krotne; okwiat w postaci kielicha i korony
ziarna pyłku	jedna bruzda lub por	trzy bruzdy lub pory
liście	liście bezogonkowe, wydłużone, równowąskie; unerwienie równoległe	osadzone na ogonkach; blaszka zróżnicowana, unerwienie pierzaste lub siatkowate
budowa blaszki liściowej (przekrój poprzeczny)	miękisz asymilacyjny niezróżnicowany	miękisz asymilacyjny zróżnicowany na miękisz palisadowy i gąbczasty
wiązki przewodzące w łodydze o budowie pierwotnej	rozproszone na całym przekroju; wiązki zamknięte (bez kambium)	ułożone pierścieniowo; wiązki otwarte (z kambium)
przyrost łodygi na grubość	zwykle nie występuje (wyjątkiem są np. palmy)	występuje i polega na odkładaniu do środka łodygi drewna wtórnego, a na zewnątrz – łyka wtórnego
system korzeniowy	wiązkowy	palowy

Znaczenie okrytozalążkowych

1. Dominujący składnik szaty roślinnej na Ziemi i główny składnik materii organicznej.
2. Wiele gatunków uprawnych stanowiących podstawę wyżywienia ludzi (ryż, zboża, ziemniaki, drzewa owocowe i cytrusowe) i zwierząt.
3. Surowce dla przemysłu spożywczego (kasze, mąki, cukier, oleje, przyprawy, kawa, herbata, miód), kosmetycznego i farmaceutycznego.
4. Źródło drewna meblarskiego (np. dąb, olcha, jesion), włókien (bawełna, len), kauczuku i gutaperki.

Porównanie nagozalążkowych z okrytozalążkowymi

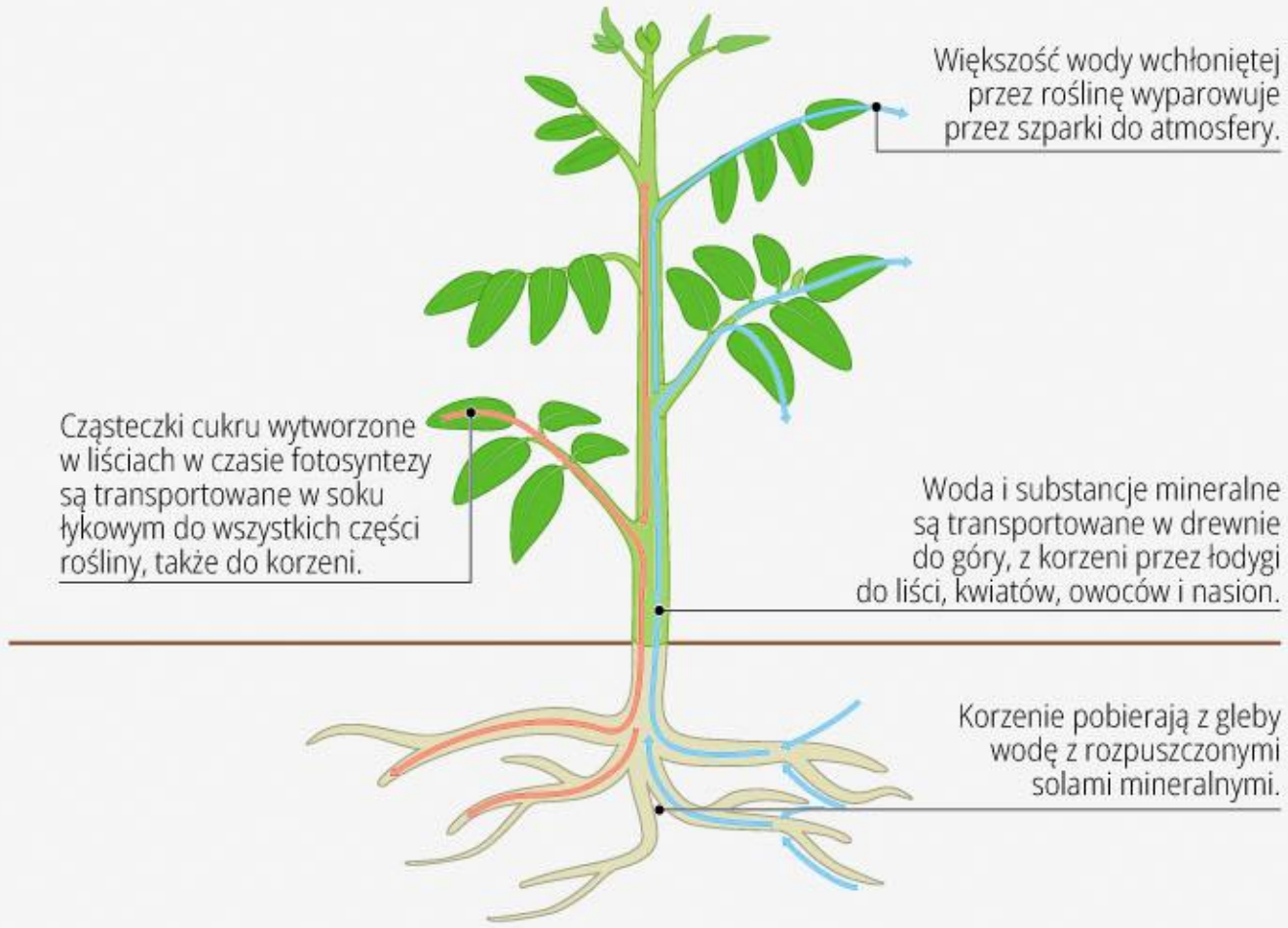
Cecha	Nagozalążkowe	Okrytozalążkowe
pokrój	drzewa i krzewy	drzewa, krzewy, rośliny zielne, byliny, rośliny kwiatowe
elementy tkanek przewodzących	drewno: cewki łyko: komórki sitowe	drewno: człony naczyń i cewki łyko: rurki sitowe
organy rozmnażania	szyszki	kwiaty
zapłodnienie	pojedyncze	podwójne
nasiona	nieosłonięte lub osadzone na łuskach szyszek	zamknięte w owocni (dojrzałej zalążni)
forma substancji odżywczej i zapasowej	gametofit żeński	bielmo
liczba znanych gatunków	ok. 850	ponad 300 000
występowanie	cały świat	cały świat

6

Funkcjonowanie roślin

6.1. Gospodarka wodna roślin

Woda jest niezbędnym składnikiem każdej komórki, ale jej zawartość w organach roślin jest różna i waha się w zakresie 5–90%. Zależy to od wielu czynników, np. rodzaju tkanki, etapu rozwojowego rośliny, pory roku, strefy klimatycznej. Rośliny pobierają wodę wraz z solami mineralnymi z podłoża za pomocą korzeni.



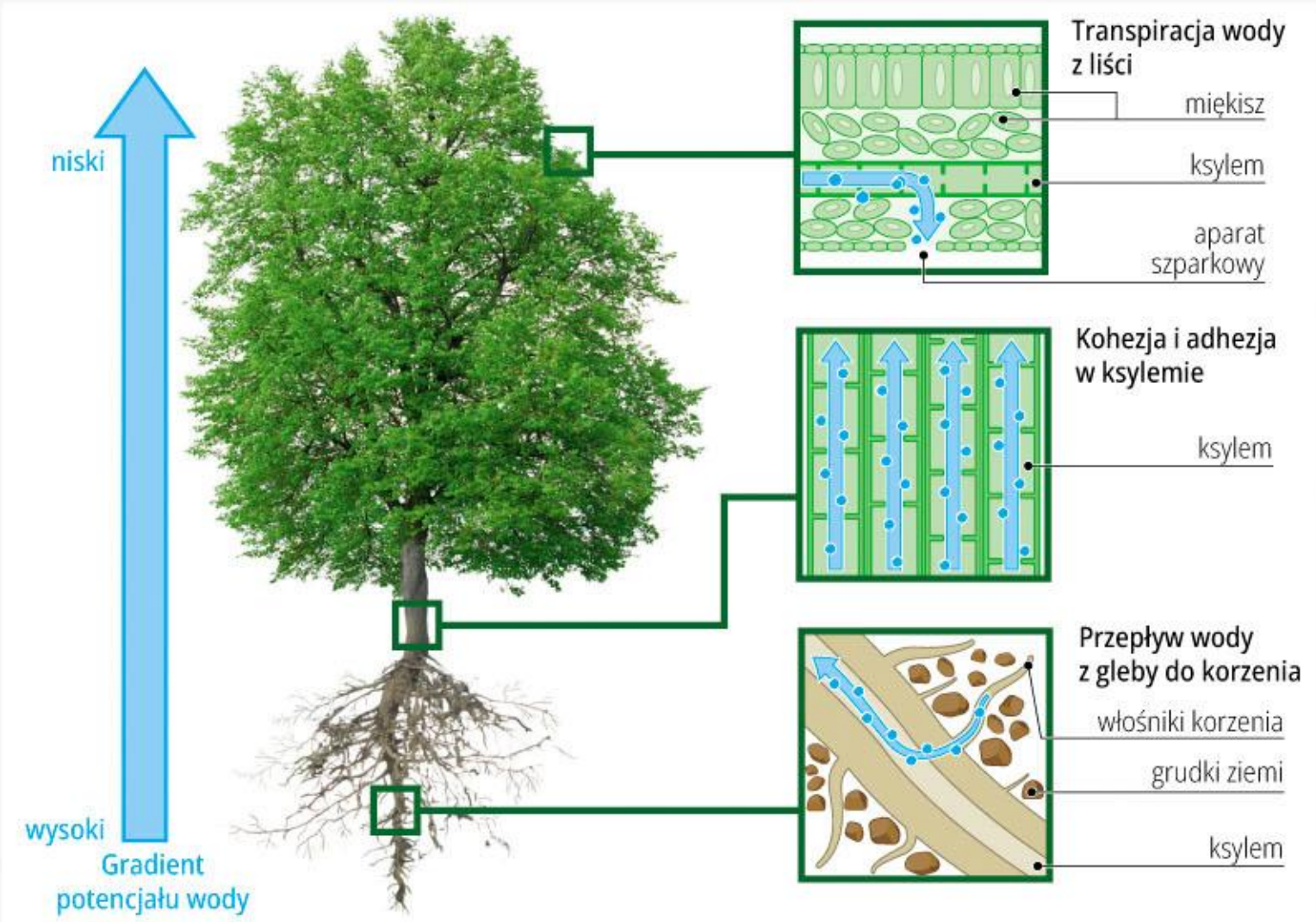
Procesy warunkujące przemieszczanie się wody w roślinie

Procesy związane z transportem wody

Dyfuzja	Przepływ objętościowy (masowy)	Osmoza
• jest to mieszanie się cząsteczek wynikające z ich przypadkowych ruchów zależnych od temperatury • dyfuzja ma duże znaczenie w przemieszczaniu wody na krótkie odległości oraz w czasie transpiracji • transport wody odbywa się też na zasadzie dyfuzji ułatwionej dzięki białkom błonowym – akwaporynom	• zależy on od gradientu ciśnienia; odpowiada za transport wody na duże odległości w drewnie	• jest to samorzutne przemieszczanie się wody przez błonę półprzepuszczalną, które jest zgodne z gradientem stężenia wody po obu stronach błony • na osmozę mają wpływ gradient stężenia i gradient ciśnienia

Potencjał wody w roślinie

Potencjał wody (Ψ, psi) jest miarą zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na zasadzie osmozy. Wyrażany jest w MPa (mega paskalach) i uzależniony od ciśnienia hydrostatycznego oraz osmotycznego. Przyjęto, że potencjał wody ma wartość 0 MPa, a rozpuszczenie w niej substancji powoduje spadek potencjału (potencjał ma wartość ujemną). Różnica potencjałów (gradient) prowadzi do przepływu wody od obszaru o wyższym potencjale do obszaru o niższym potencjale. Potencjał wody przyjmuje najniższe wartości w glebie, mniejsze w tkankach rośliny, a najmniejsze w atmosferze. Powoduje to przepływ wody z gleby do korzenia, łodygi i liści, a na końcu do atmosfery (para wodna).



Drogi transportu wody w roślinie

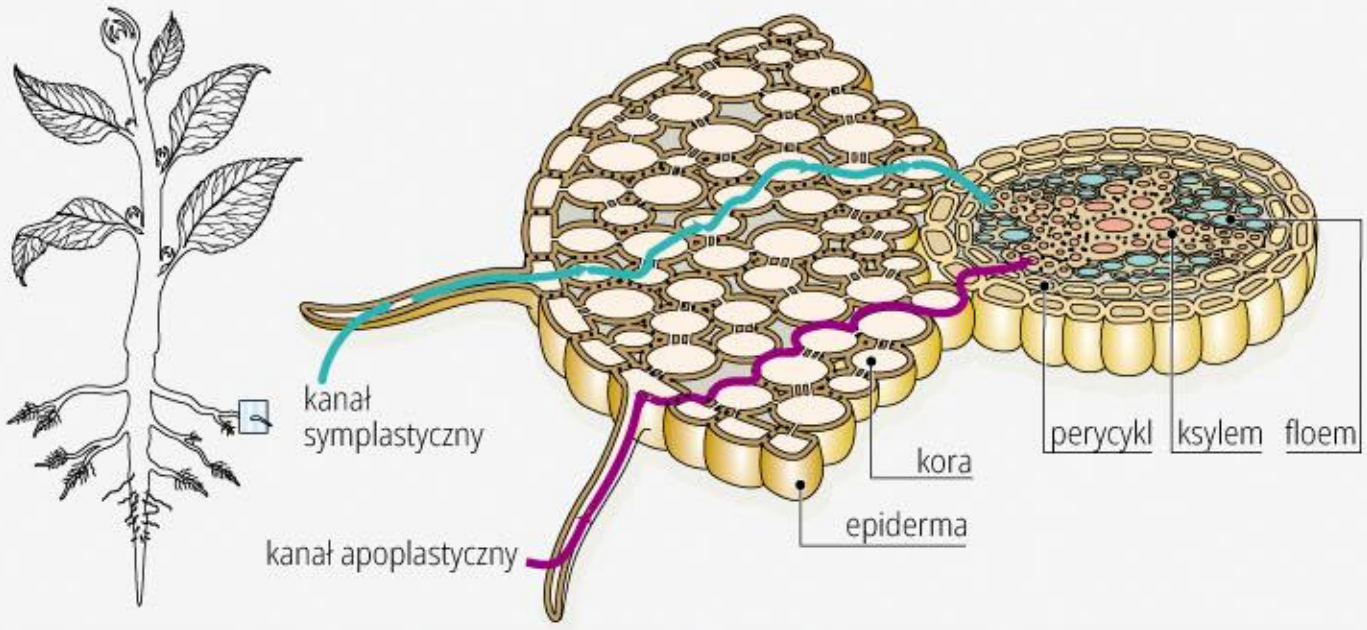
Transport wody i soli mineralnych zachodzi w układzie gleba – roślina – korzeń i składa się z następujących etapów:
- pobieranie wody z gleby i transport w poprzek tkanek korzenia;
- transport pionowy elementami drewna z korzeni przez łodygę do liści;
- transport poziomy w obrębie liścia i transpiracja.

Transport wody w układzie gleba – korzeń

Woda z solami mineralnymi jest pobierana z gleby przez włośniki korzenia i transportowana przez komórki kory pierwotnej do walca osiowego i elementów przewodzących drewna.

Transport wody z gleby do wiązek przewodzących korzenia

Kanał apoplastyczny	Kanał symplastyczny
Woda przemieszcza się w obrębie ścian komórkowych przestrzeni międzykomórkowych i pomiędzy mikrofibrylami celulozy.	Obejmuje on elementy żywe komórek, tj. protoplasty, które są ze sobą połączone za pomocą plazmodesm.



Transport wody w układzie korzeń – łodyga – liście

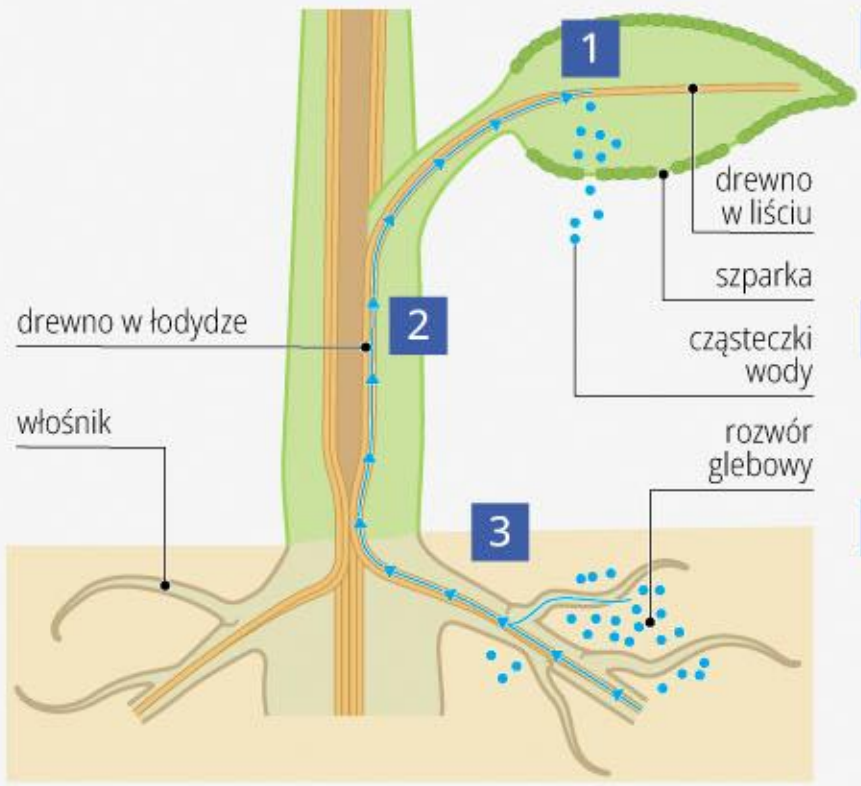
Transport pionowy od korzeni do liści odbywa się wzdłuż elementów przewodzących łodygi. Jest możliwy dzięki sile ssącej i parciu korzeniowemu.

Mechanizmy pobierania i transportu wody

Siła ssąca liści (transport bierny)	Parcie korzeniowe (transport czynny)
• to główny mechanizm odpowiadający za pobieranie i transport wody w roślinie • zachodzi dzięki transpiracji, która utrzymuje różnicę potencjału i nieustanny przepływ wody • utrzymacie ciągłego słupa wody w roślinie jest możliwe dzięki **siłom kohezji** (przyciąganie się cząsteczek wody) i adhezji (przyleganie cząsteczek wody do ścian cewki lub naczyń) • nie wymaga nakładu energii	• jest mechanizmem wspomagającym przy braku lub ograniczeniu transpiracji • polega na aktywnym pobieraniu wody wraz z solami mineralnymi z gleby do komórek korzenia • w efekcie obniżenia potencjału wody w elementach przewodzących drewna następuje jej napływ z tkanek sąsiednich o wyższym potencjale; powstaje ciśnienie hydrostatyczne, które pełni funkcję pompy tłoczącej wodę w górę rośliny • wymaga nakładu energii

Transport wody w układzie liście – atmosfera

W obrębie liścia woda przechodzi od wiązek przewodzących do komórek miękiszu i przez aparaty szparkowe jest uwalniana do atmosfery. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa **transpiracja**, czyli zjawisko parowania wody z naziemnych części rośliny.



1 Woda paruje do atmosfery z powierzchni miękiszu asymilacyjnego. Wywołuje to siłę ssącą, która ciągnie wodę z drewna liścia do komórek miękiszu.

2 Kohezja cząsteczek wody pozwala, by nieprzerwany słup wody wznosił się w wąskich naczyniach i cewkach drewna łodygi.

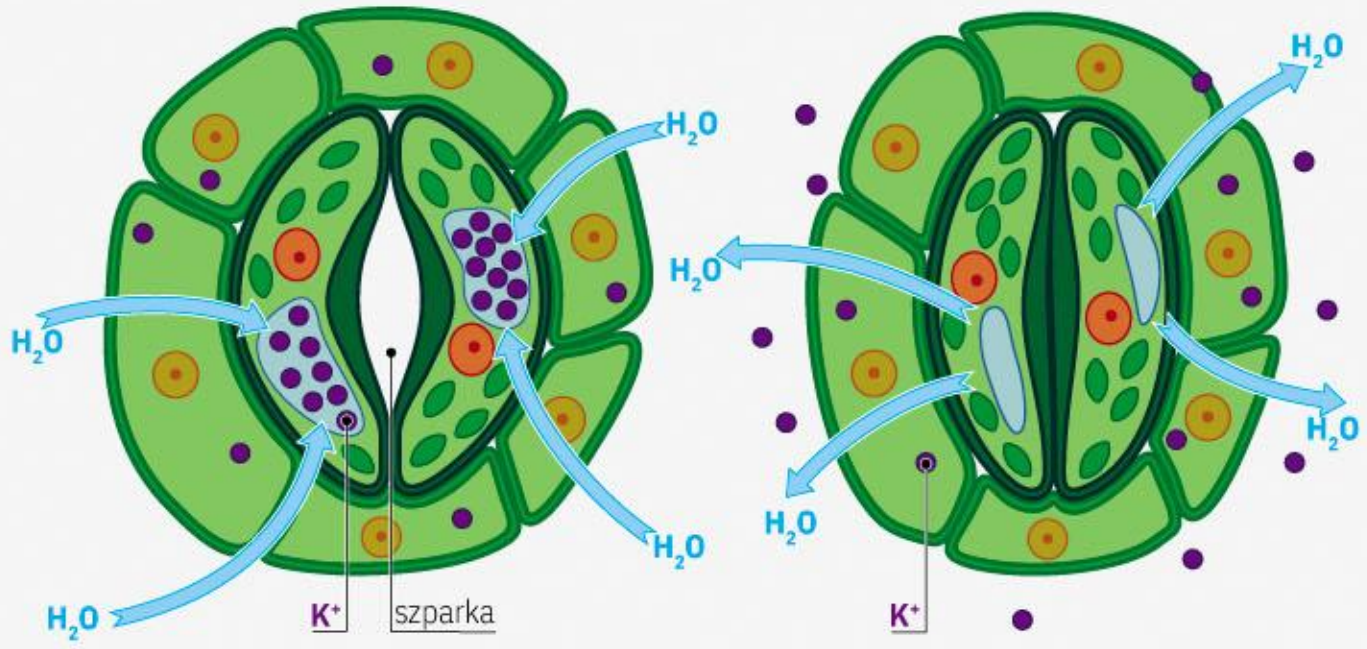
3 Efektem tego zjawiska jest transport wody ku górze w drewnie korzenia, tworzący ciągły słup wody od drewna korzenia, przez drewno łodygi, do drewna liścia. Podnoszenie się wody w korzeniu przyczynia się do powstania napięcia powodującego dyfuzję wody z roztworu glebowego do wnętrza organu.

Rodzaje transpiracji

Transpiracja kutykularna	Transpiracja szparkowa	Transpiracja przetchlinkowa
Zachodzi przez skórkę pokrytą kutykulą. Jej intensywność zależy od grubości kutykuli. Ten mechanizm odpowiada za 1–3% całkowitego wyparowywania wody i zachodzi głownie u roślin środowisk wilgotnych.	Woda wyparowuje przez aparaty szparkowe i podlega regulacji związanej z ich otwieraniem i zamykaniem. Jest to dominujący rodzaj transpiracji.	Odbywa się przez stale otwarte przetchlinki występujące na łodygach drzew.

Mechanizm otwierania i zamykania aparatów szparkowych

Otwieranie i zamykanie aparatów szparkowych opiera się na zmianie kształtu komórek szparkowych, który zależy od ciśnienia hydrostatycznego (turgorowego) w ich wnętrzu. Cały proces jest aktywowany światłem.



Otwieranie aparatu szparkowego obejmuje:

- obniżenie potencjału wody w roztworze komórkowym w wyniku pobierania przez komórki szparkowe jonów potasu (od komórek sąsiadujących i przy nakładzie energii ATP) oraz rozkładu skrobi w ich wnętrzu, co jest źródłem jonów jabłczanowych;
- napływ wody do komórek szparkowych na zasadzie osmozy z otaczających komórek;
- zwiększenie turgoru komórek szparkowych i ich otwarcie.

Zamykanie aparatu szparkowego obejmuje:

- zwiększenie potencjału wody w roztworze komórkowym komórek szparkowych w wyniku zmniejszenia stężenia jonów potasu (transportowanych do komórek sąsiadujących) oraz jonów jabłczanowych (zużywanych do syntezy skrobi);
- wypływ wody z komórek szparkowych do komórek otaczających na zasadzie osmozy;
- zmniejszenie turgoru komórek szparkowych i ich zamknięcie.

Czynniki regulujące szybkość transportu wody w roślinie

Czynniki wewnętrzne	Czynniki zewnętrzne
• wielkość systemu korzeniowego • budowa morfologiczna i anatomiczna liści • liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych	• dostępność wody glebowej • temperatura • wiatr • światło

Bilans wodny

Bilans wodny to różnica pomiędzy ilością wody pobranej przez roślinę a ilością wody utraconej w wyniku transpiracji.

Bilans wodny	
dodatni	**ujemny**
• występuje, kiedy ilość wody pobranej przez roślinę przewyższa jej straty	• występuje, kiedy straty wody są większe niż ilość wody pobranej przez roślinę • konsekwencją jest więdnięcie

Podział roślin ze względu na bilans wodny

Rośliny hydrostabilne	Rośliny hydrolabilne
• bilans wodny równy zero • brak dużych zmian zawartości wody w tkankach	• ujemny bilans wodny przez długi czas • znaczne zmiany zawartości wody w tkankach
• aparaty szparkowe szybko reagują na zmiany uwodnienia • regulacja dobowa transpiracji (ograniczenie transpiracji w południe i w nocy) • bardzo rozbudowany system korzeniowy • obecność wody zapasowej w korzeniach, pniach, gałęziach i liściach	• aparaty szparkowe mało wrażliwe na odwodnienie (szparki bardzo wolno się zamykają) • regulacja dobowa transpiracji nie występuje • komórki odporne na szybkie zmiany potencjału wody
• drzewa • trawy • sukulenty	• rośliny siedlisk nasłonecznionych • trawy

Składniki mineralne roślin:

– stanowią składniki organicznych związków węgla;
– biorą udział w magazynowaniu energii (w ATP) i transporcie elektronów;
– pełnią funkcje strukturalne;
– uczestniczą w osmoregulacji i przekazywaniu sygnałów;
– warunkują aktywność enzymów.

Sposoby pobierania składników mineralnych

Pobieranie bierne	Pobieranie czynne
Odbywa się przez włośniki korzenia i jest zgodne z gradientem stężeń. Nie wymaga nakładu energii.	Obywa się z udziałem kanałów jonowych i białek nośnikowych. Ma miejsce wbrew gradientowi stężeń i dlatego wymaga nakładu energii.

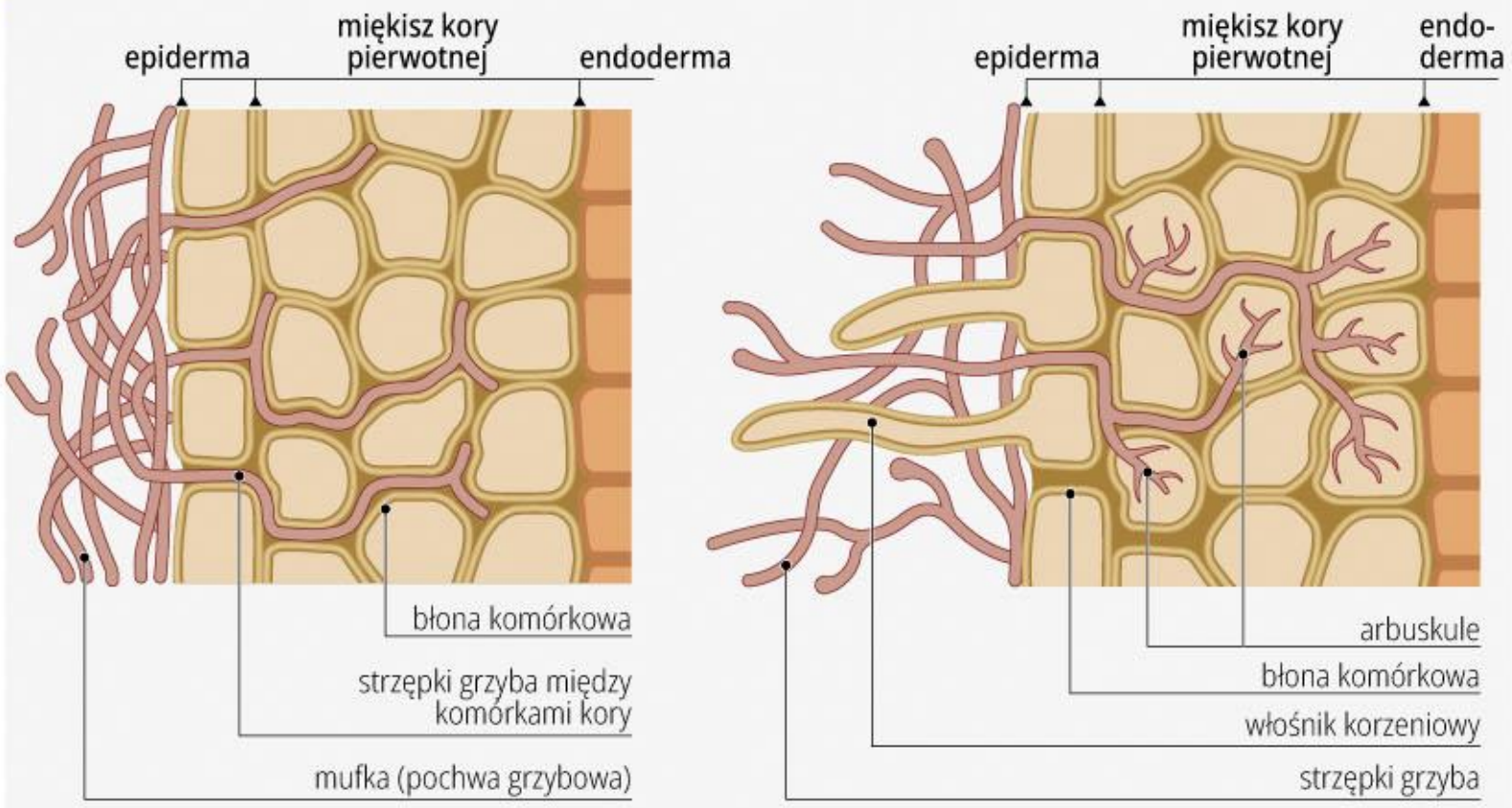
6.2. Odżywianie się roślin

Związki symbiotyczne roślin

Mikoryza to specjalny rodzaj symbiozy korzeni roślin z niektórymi gatunkami grzybów. Każdy z elementów układu mikoryzowego ponosi korzyści: roślina pobiera od grzyba związki mineralne (np. fosfor), a grzyb pobiera od rośliny związki organiczne (asymilaty).

Rodzaje mikoryzy

Mikoryza zewnętrzna (ektotroficzna)	Mikoryza wewnętrzna (arbuskularna)
• grzybnia grzyba tworzy otoczkę wokół korzeni i tylko nieliczne jej fragmenty wrastają do komórek kory pierwotnej korzenia • grzybnia znacznie się rozrasta w glebie i ma duży zasięg pozyskiwania składników mineralnych • występuje u drzew	• rozwidlona na zewnątrz grzybnia wnika do wnętrza komórek korzenia przez skórkę lub włośnik i penetruje komórki kory pierwotnej • strzępki grzyba tworzą pęcherzyki, czyli arbuskule, w których zachodzi wymiana składników pokarmowych między grzybem i rośliną • występuje zwykle u roślin zielnych



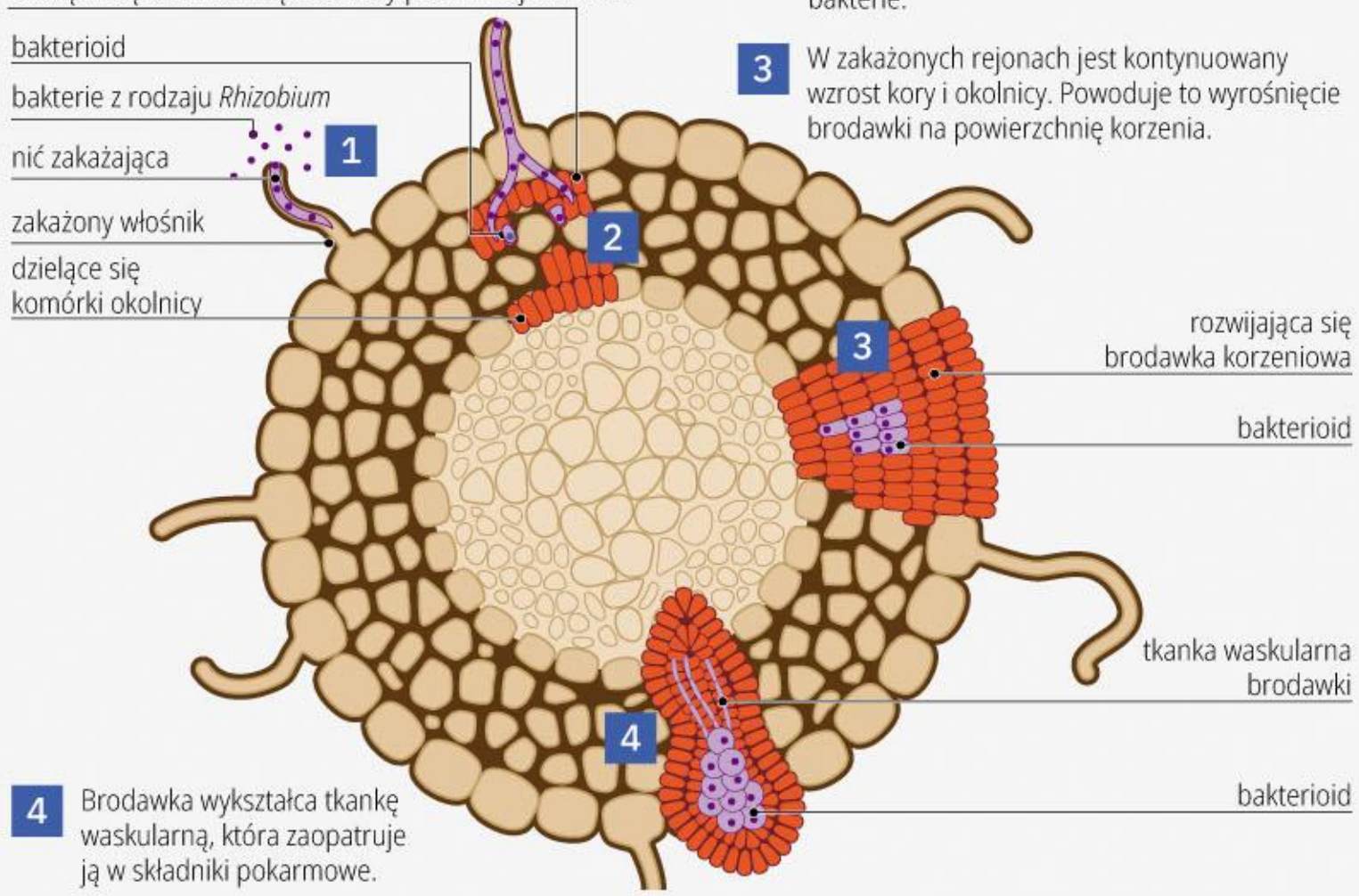
Symbioza z bakteriami brodawkowymi

Bakterie brodawkowe (np. z rodzaju *Rhizobium*) mają zdolność wiązania wolnego azotu atmosferycznego (N_2) i przekształcania go w formę przyswajalną dla roślin: jony NH_4^+ lub NO_3^-. Wchodzą one w związki z korzeniami roślin bobowatych (np. fasolą, grochem, bobem) i tworzą na korzeniach struktury zwane **brodawkami korzeniowymi**. Związek ten jest korzystny dla obu partnerów: bakterie dostarczają roślinie dostępnych form azotu, a w zamian pobierają roślinne produkty fotosyntezy. Powstawanie brodawek korzeniowych wynika z wydzielania przez roślinę substancji przyciągających bakterie. Z kolei bakterie po kontakcie z korzeniami roślin wydzielają **czynnik Nod**, który inicjuje proces formownia brodawek.

1 Korzenie wydzielają sygnały chemiczne, które przyciągają ryzobia. Bakterie wytwarzają sygnały wywołujące m.in. wydłużenie włośników.

2 Bakterie penetrują komórki kory pierwotnej korzenia. Komórki kory pierwotnej i okolnicy zaczynają się dzielić. Z nici zakażającej są uwalniane do komórek kory pęcherzyki zawierające bakterie.

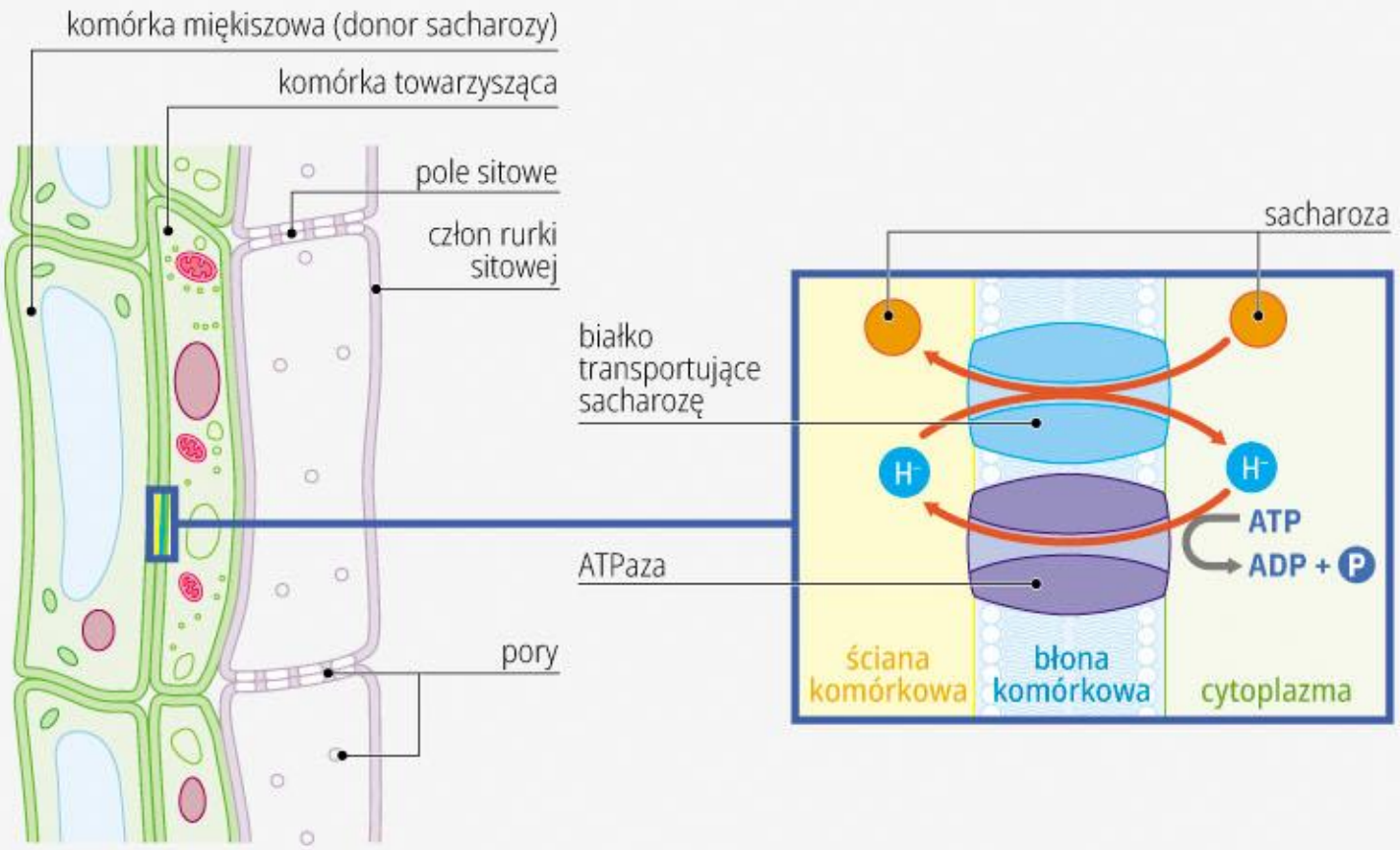
3 W zakażonych rejonach jest kontynuowany wzrost kory i okolnicy. Powoduje to wyrośnięcie brodawki na powierzchnię korzenia.



4 Brodawka wykształca tkankę waskularną, która zaopatruje ją w składniki pokarmowe.

Transport związków organicznych

Asymilaty powstające w czasie fotosyntezy są rozprowadzane elementami łyka zarówno w górę rośliny, jak i w dół. Transport rozpoczyna się od **źródła**, czyli miejsca syntezy sacharozy (najczęściej liści), i dociera do **zlewni**, czyli miejsca magazynowania (w postaci skrobi) lub szybkiego zużywania asymilatów (np. korzenie, merystemy wierzchołkowe).



Załadunek i rozładunek łyka

Załadunek łyka	Rozładunek łyka
• zachodzi w źródle (zwykle w liściach) i polega na przemieszczaniu się asymilatów z komórek miękiszowych do komórek przyrurkowych i do członów rurek sitowych z wykorzystaniem plazmodesm • proces ten wymaga energii, ponieważ zachodzi wbrew różnicy stężeń sacharozy	• zachodzi w zlewni (w komórkach, które nie wytwarzają asymilatów) i polega na odbieraniu sacharozy z elementów przewodzących łyka do komórek akceptorowych • wymaga nakładu energii

6.3. Wzrost i rozwój roślin

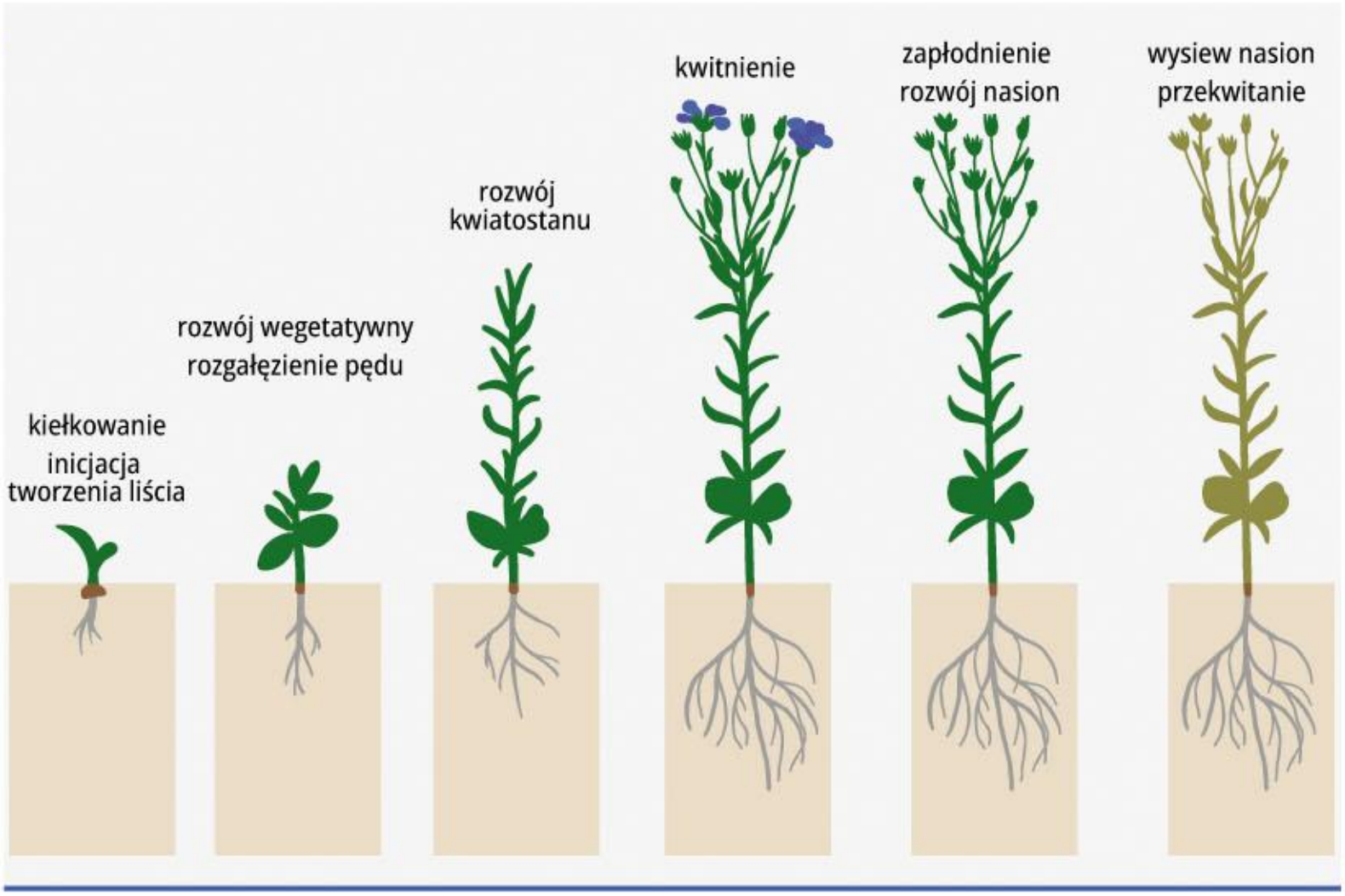
Rozwój rośliny jest uwarunkowany genetycznie i obejmuje wszystkie zmiany zachodzące w ciągu całego życia rośliny od zapłodnienia do śmierci.

Wzrost rośliny polega na nieodwracalnym powiększeniu rozmiarów rośliny. Obejmuje zwiększenie liczby komórek oraz przyrost ich objętości i masy. Konsekwencją wzrostu są:
– **zmiany ilościowe** o charakterze ograniczonym (np. kwiaty, owoce) lub nieograniczonym (np. korzeń);
– **zmiany jakościowe** będące efektem różnicowania się komórek i morfogenezy.

Ontogeneza roślin

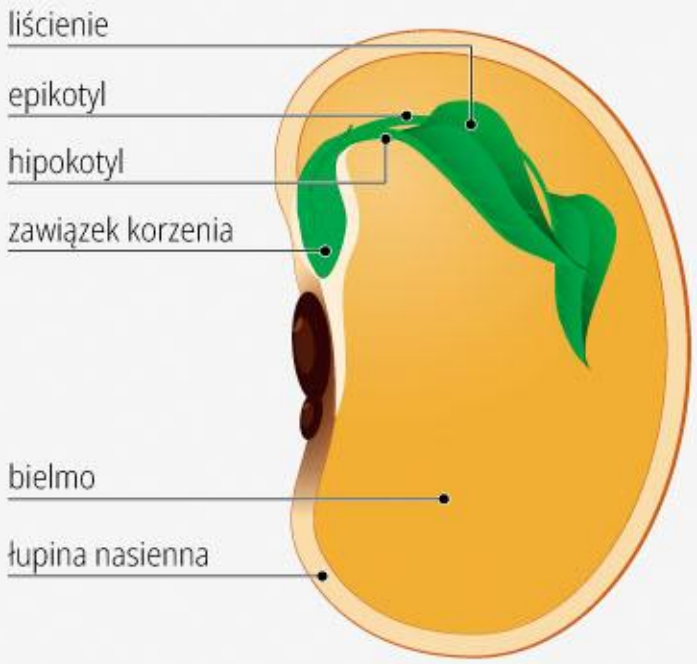
Ontogeneza (rozwój osobniczy) – zbiór przemian anatomicznych i fizjologicznych organizmu roślinnego od jego powstania aż do śmierci. Ontogeneza jest uwarunkowana czynnikami wewnętrznymi (głównie genetycznymi) oraz zewnętrznymi (środowiskowymi). Ontogeneza obejmuje:

– embriogenezę,
– stadium wegetatywne,
– stadium generatywne,
– starzenie się i śmierć.



Embriogeneza

W czasie embriogenezy zapłodniona komórka jajowa podlega podziałom i różnicowaniu w zarodek. W roślin nasiennych zarodek jest wielokomórkowy i w pełni rozwinięty – składa się z jednego lub dwóch **liścieni**, części podliścieniowej (**hipokotylu**) i nadliścienowej (**epikotylu**), zawiązka pędu i korzenia. Wytwarza się tkanka odżywcza nasienia (bielmo lub obielmo) oraz łupina nasienna. Rozwój nasiona ma miejsce w obrębie łupiny nasiennej. Niektóre rośliny zatrzymują rozwój na etapie embriogenezy, a ich nasiona przechodzą w stan spoczynku (anabiozy).



Rodzaje spoczynku nasion

Spoczynek bezwzględny	Spoczynek względny
• wynika z braku gotowości nasienia do kiełkowania • może wynikać z niedojrzałości łupiny nasiennej, niedojrzałości morfologicznej lub fizjologicznej zarodka lub z działania inhibitorów wzrostu • może być przerwany przez uszkodzenia łupiny nasiennej lub stratyfikację (okresowy wpływ niskiej temperatury)	• wynika z braku odpowiednich dla kiełkowania warunków środowiskowych (brak wody, nieodpowiednia temperatura lub warunki świetlne) • spoczynek może być przerwany zmianą niekorzystnych warunków (np. zaistnieniem odpowiedniej temperatury czy zwiększeniem zawartości wody w podłożu)

Stadium wegetatywne

Stadium wegetatywne obejmuje kiełkowanie nasion oraz wzrost wegetatywny, podczas którego powstają korzenie, łodygi i liście.

Fazy kiełkowania nasion

1. **Faza pęcznienia** – nasiona intensywnie pobierają wodę i pęcznieją. Procesy oddychania komórkowego ulegają znacznemu nasileniu.
2. **Faza kataboliczna** – w wyniku hydrolizy enzymatycznej dochodzi do uwolnienia substancji odżywczych z tkanki zapasowej.
3. **Faza anaboliczna** – następuje synteza nowych składników komórkowych, które są niezbędne do dalszego wzrostu i rozwoju zarodka.

Czynniki wpływające na proces kiełkowania

Czynnik warunkujący kiełkowanie	Opis
woda	Woda zapewnia uwodnienie nasienia i pobudzenie uśpionych procesów metabolicznych. Absorbcja wody przez suche nasiona to **imbibicja**, która przejawia się zwiększeniem ich objętości.
tlen	Tlen jest niezbędny do zachodzenia procesów oddychania komórkowego i produkcji energii (ATP) koniecznej do dalszego wzrostu i rozwoju nasion.
temperatura	Temperatura warunkuje prawidłowe zachodzenie procesów metabolicznych i aktywność enzymów biorących w nich udział. Kiełkowanie nasion wielu gatunków roślin jest aktywowane okresem przechłodzenia, czyli **stratyfikajcą**.
światło	Światło aktywuje lub stymuluje kiełkowanie nasion. Nasiona roślin, których kiełkowanie zależy od światała, nazywamy nasionami **fotoblastycznymi**. Około 5% gatunków roślin (np. zboża) wytwarza nasiona niewrażliwe na światło (nasiona **niefotoblastyczne**).

Rodzaje kiełkowania nasion

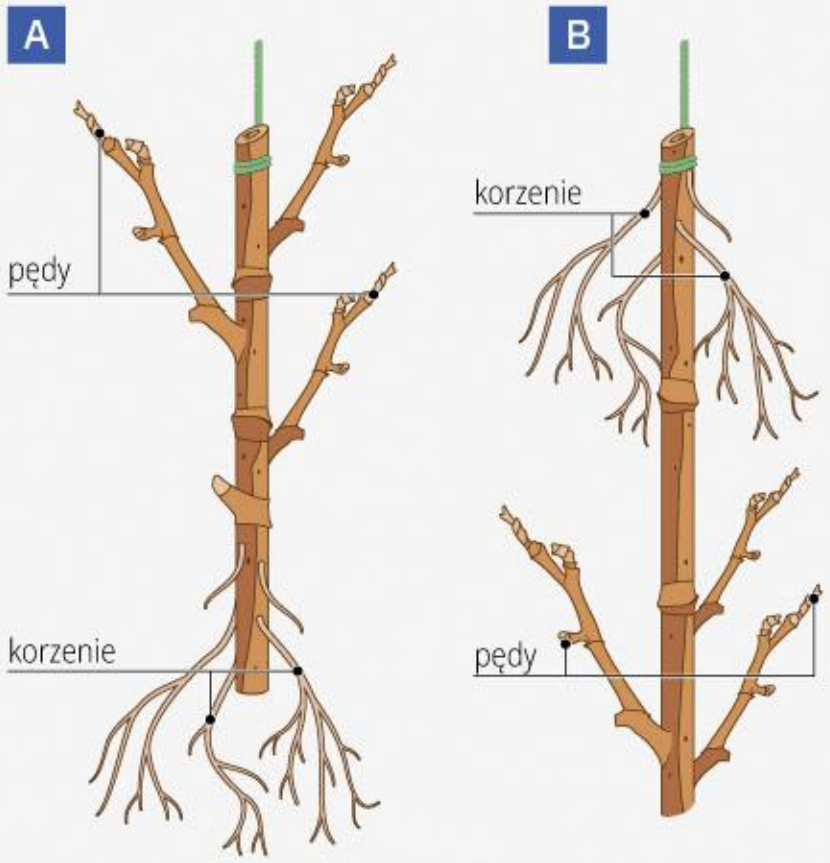
Kiełkowanie hipogeiczne (podziemne)	Kiełkowanie epigeiczne (nadziemne)
• Liścienie pozostają w nasieniu pod ziemią i zamierają dopiero po wykorzystaniu przez rozwijający się zarodek znajdujących się w nich substancji pokarmowych. • W czasie wzrostu szybciej wydłuża się epikotyl (część nadliścieniowa). • Fotosynteza jest aktywna dopiero w pierwszych liściach. • Przykłady roślin: bób, fasola.	• Liścienie wydostają się od razu na powierzchnię i zaczynają przeprowadzać fotosyntezę. W ten sposób dostarczają rozwijającej się siewce substancje odżywcze. • W czasie wzrostu szybciej wydłuża się hipokotyl (część podliścieniowa). • Przykłady roślin: kukurydza, rzodkiewnik.





Wzrost wegetatywny

W czasie wzrostu wegetatywnego roślina rośnie, zwiększa swoje rozmiary i wytwarza organy wegetatywne (korzeń, liście, łodygę). Jest to proces regulowany genetycznie, hormonalnie i środowiskowo. W zależności od gatunku roślin stadium to może trwać od kilku dni czy tygodni nawet do kilkudziesięciu lat (u drzew). Podstawą wzrostu wegetatywnego jest **biegunowość rośliny**, czyli istnienie dwóch naprzeciwległych biegunów: korzeniowego i pędowego. Biegunowość warunkuje rozwój tkanek w kierunku korzenia lub pędu.



Stadium generatywne

Stadium generatywne obejmuje kwitnienie i owocowanie. W tym stadium roślina wytwarza kwiaty, nasiona i owoce.

Kwitnienie to proces wytwarzania kwiatów, które są organami rozmnażania płciowego. To proces wieloetapowy, który obejmuje:
– indukcję kwitnienia w wierzchołku wzrostu pędu,
– powstawanie kwiatu.

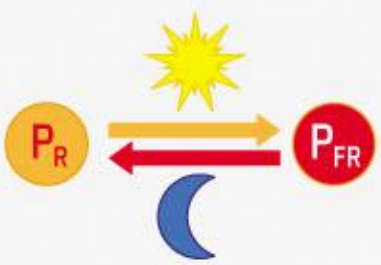
Czynniki wpływające na kwitnienie

Czynniki wewnętrzne	Czynniki zewnętrzne
Mają podłoże genetyczne i prawdopodobnie związane są z: • osiągnięciem przez roślinę odpowiedniego wieku i rozmiaru • intensyfikacją podziałów komórkowych w merystemie wierzchołkowym pędu • aktywacją czynników kwitnienia (np. fitochrom) i genów kwiatowych	Kluczowymi czynnikami zewnętrznymi są: • temperatura (niektóre rośliny do prawidłowego kwitnienia wymagają okresowego przechłodzenia, czyli stratyfikacji) • światło, które decyduje o długości dnia i nocy (fotoperiod)

Fotoperiodyzm

Fotoperiod to okres oddziaływania światła na rośliny.

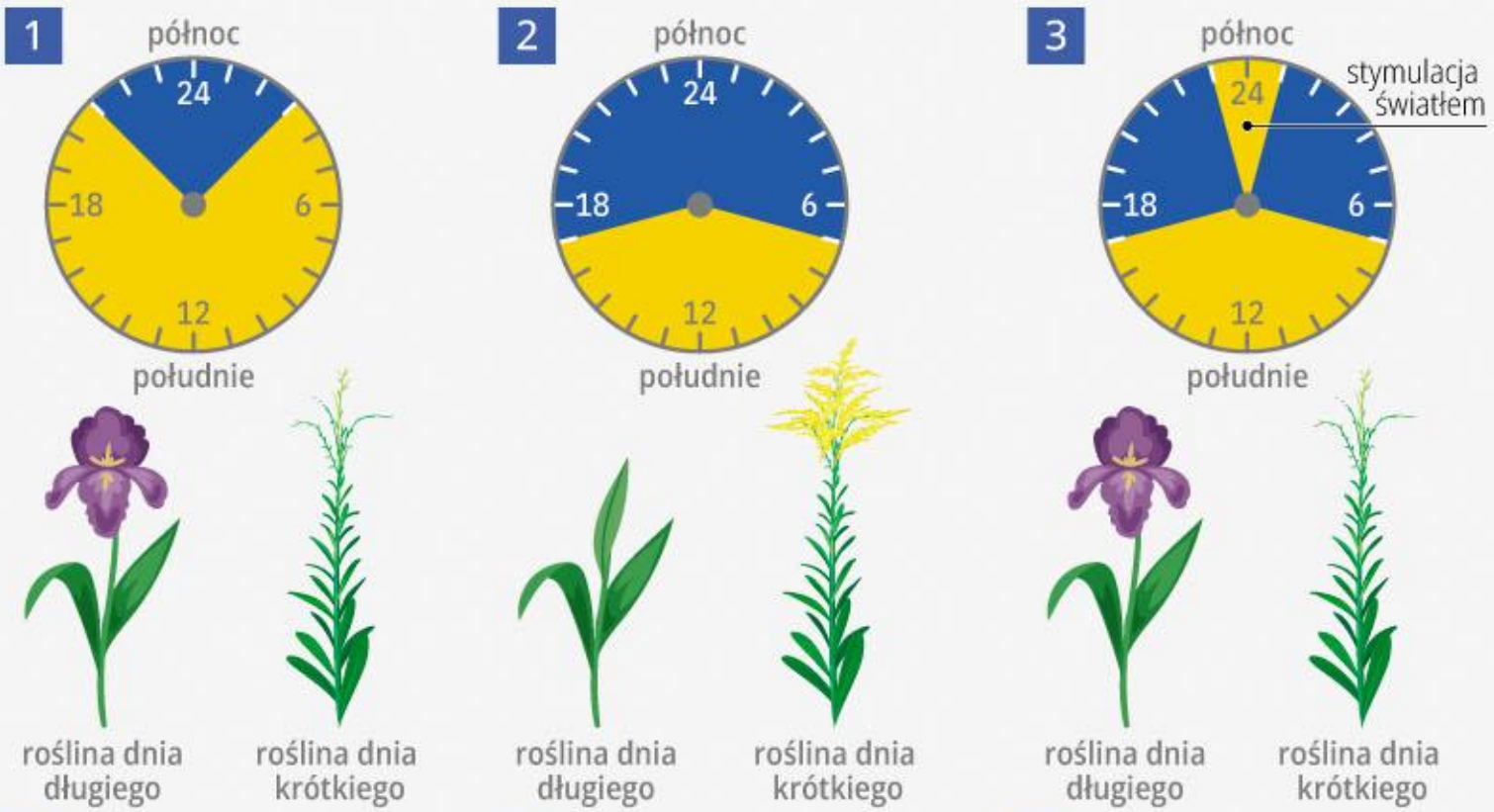
Fotoperiodyzm – reakcje roślin na dobowy czas trwania okresów światła i ciemności.



Czujnikiem dnia i nocy jest występujący w liściach niebieskozielony barwnik – **fitochrom (P)**. Występuje on w dwóch formach: **P660 (P_R)**, która pochłania światło o długości fali 660 nm, oraz **P730 (P_{FR})**, która pochłania światło o długości fali 730 nm. Obie formy ulegają wzajemnym przekształceniom pod wpływem światła o określonej długości fali lub ciemności. Forma P730 jest aktywna fizjologicznie – wzrost jej stężenia hamuje kwitnienie roślin krótkiego dnia, a pobudza kwitnienia roślin długiego dnia.

Podział roślin ze względu na fotoperiodyzm

Rośliny krótkiego dnia	Rośliny długiego dnia	Rośliny neutralne
Kwitną, gdy w fotoperiodzie przeważa faza ciemna (jesienią). Przykłady: złocień, tytoń.	Kwitną, gdy w fotoperiodzie przeważa faza jasna (latem). Przykłady: gorczyca, koper.	Niewrażliwe na długość dnia, zakwitają po osiągnięciu stadium generatywnego Przykłady: ogórek, fasola, pomidor.



1 Wczesna wiosna

Krótkie okresy ciemności stymulują kwitnienie u roślin długiego dnia, ale nie wpływają na kwitnienie roślin dnia krótkiego (np. nawłoci).

2 Późna jesień

Długie okresy ciemności stymulują kwitnienie u roślin krótkiego dnia, ale nie wpływają na kwitnienie roślin dnia długiego (np. irysa).

3 Noc przerwana błyskiem światła

Podczas długich zimowych nocy sztucznie przerwanych epizodem światła roślina dnia krótkiego nie zakwitnie w przeciwieństwie do rośliny dnia długiego.

Owocowanie

Owoce powstają wyłącznie u roślin okrytonasiennych i są wynikiem rozmnażania płciowego. Owoce zwierają nasiona. Rośliny ze względu na owocowanie dzielimy na:

rośliny monokarpiczne – kwitną i owocują tylko jeden raz w trakcie swojego życia (rośliny jednoroczne i dwuletnie);

rośliny polikarpiczne – kwitną i owocują wiele razy w trakcie swojego życia (byliny, cebulowe, drzewa).

Starzenie się i obumieranie roślin

Długość życia w zależności od gatunku rośliny jest bardzo zróżnicowana. Kluczową rolę w starzeniu się roślin odgrywają zmiany stężenia fitohormonów (m.in. wzrost etylenu). Symptomami starzenia się rośliny są:

- ustanie wzrostu korzeni i pędu;
- zmniejszenie pobierania soli mineralnych, ograniczenie transportu wody i asymilatów;
- spadek intensywności fotosyntezy i oddychania komórkowego;
- rozkład chlorofilu.

Regulatory wzrostu i rozwoju roślin

Fitohormony (hormony roślinne) to związki organiczne regulujące każdy etap ontogenezy rośliny.

Fitohormony:

- są syntetyzowane w określonych miejscach rośliny (np. stożkach wzrostu korzenia i pędu);
- wykazują aktywność w bardzo małych stężeniach (rzędu 10^{-6} mol/dm^3);
- działają w miejscach ich syntezy i w pozostałych częściach rośliny;
- efekt ich działania zależy od ich stężenia, miejsca działania, stadium rozwojowego i gatunku rośliny;
- fitohormonami są: **auksyny**, **giberelіny**, **cytokininy**, **kwas abscysynowy**, **etylen**, **kwas jasmonowy**, **brassinosteroidy**.

Fizjologiczna rola fitohormonów

Fitohormon	Działanie fizjologiczne
auksyny (np. kwas indolilo-3-octowy, IAA)  próba kontrolna próbka z dodatkiem auksyn	• syntetyzowane w młodych liściach, pąkach i nasionach • wpływają na wzrost wydłużeniowy komórek (przy niskich stężeniach działają stymulująco, a przy wysokich – hamująco), umożliwiając ruchy wygięciowe w reakcji na bodziec kierunkowy • stymulują podziały i różnicowanie się komórek (np. kambium) • pobudzają tworzenie się kalusa • odpowiadają za zjawisko dominacji wierzchołkowej, ponieważ hamują rozwój pąków bocznych • stymulują powstawanie korzeni bocznych i przybyszowych • wpływają na powstawanie owoców partenokarpicznych (beznasiennych), np. u pomidora, truskawek, cytrusów
giberelіny (np. pochodne kwasu giberelinowy: GA1, GA2)  próba kontrolna próbka z dodatkiem giberelin	• syntetyzowane w młodych liściach, pręcikach kwiatów, stożkach wzrostu pędu i korzenia • stymulują podziały komórkowe i wzrost elongacyjny łodyg • pobudzają rozwój pąków • przyspieszają kiełkowanie nasion i przerywają stan ich spoczynku • indukują zakwitanie roślin długiego dnia w warunkach niekorzystnego fotoperiodu • stymulują kwitnienie i rozwój owoców
cytokininy (np. zeatyna)	• syntetyzowane w korzeniach, w owocach i młodych liściach • pobudzają podziały komórkowe • stymulują wydłużanie komórek i ich różnicowanie się • współdziałają z auksynami w procesie wydłużania i różnicowania się komórek, przy czym istotny jest wzajemny stosunek obu tych fitohormonów • pobudzają kiełkowanie nasion i przerywają stan ich spoczynku • zmieniają dominację wierzchołkową przez stymulowanie rozwoju pędów bocznych • opóźniają procesy starzenia się rośliny
kwas abscysynowy (ABA)	• syntetyzowany w pąkach spoczynkowych, starych liściach i owocach, nasionach w stanie spoczynku • hamuje procesy wzrostowe: rozwój pąków, kiełkowanie nasion, wzrost pędów • przyspiesza opadanie owoców i liści oraz procesy starzenia się tkanek i organów • odgrywa istotną rolę w sygnalizacji komórkowej zależnej od czynników stresowych (np. w czasie niedoboru wody wzrost jego stężenia jest sygnałem do zamknięcia aparatów szparkowych)

Fitohormon	Działanie fizjologiczne
kwas jasmonowy (JA)	• reguluje wzrost, kiełkowanie nasion, tworzenie organów • wpływa na procesy związane ze starzeniem się rośliny • stymuluje biosyntezę witaminy E • bierze udział w reakcjach obronnych i odpowiedzi roślin na czynniki stresowe
brassinosteroidy (np. brassinolid)	• regulują wzrost i rozwój roślin • wpływają na przebieg fotosyntezy • biorą udział w odpowiedzi roślin na stres biotyczny i abiotyczny
etylen (C_2H_4; ma postać gazową)	• syntetyzowany w węzłach łodyg, dojrzewających owocach i starzejących się tkankach • ogranicza syntezę auksyn (ale auksyny wzmagają syntezę etylenu) • przyspiesza dojrzewanie owoców, opadnie liści i owoców • przyspiesza tworzenie się włośników i korzeni przybyszowych • bierze udział w odpowiedzi roślin na stres (np. w wyniku uszkodzeń mechanicznych, infekcji, zmian temperatury)



25 dni w temperaturze 13°C
bez etylenu



25 dni w temperaturze 13°C
z etylenem

Praktyczne wykorzystanie fitohormonów

Syntetyczne odpowiedniki hormonów roślinnych znalazły zastosowanie w rolnictwie, ogrodnictwie oraz przemyśle spożywczym. Przykłady zastosowań:
- syntetyczne auksyny jako herbicydy (środki chwastobójcze), czynniki pobudzające ukorzenianie (ukorzeniacze), substancje zmniejszające liczbę owoców oraz stymulujące wytwarzanie owoców;
- etylen jest stosowany do przyspieszania dojrzewania owoców i warzyw;
- cytokininy wykorzystuje się do opóźniania efektów starzenia w przypadku przechowywania warzyw i ciętych kwiatów;
- gibereliny stosuje się jako substancje przerywające spoczynek nasion, stymulujące wytwarzanie większych owoców;
- gibereliny wykorzystuje się w ogrodnictwie do nadawania kwiatom pożądanego kształtu;
- kwas abscysynowy stosuje się jako składnik preparatów chwastobójczych.

6.4. Reakcje roślin na bodźce

Rośliny wykazują reakcje ruchowe w odpowiedzi na działanie bodźca (temperaturę, światło, siłę ciążenia). Wyróżnia się dwa typy ruchów roślin: **tropizmy** i **nastie**. Ze względu na mechanizm, ruchy dzielimy na **wzrostowe** i **turgorowe**.

Rodzaje ruchów roślin

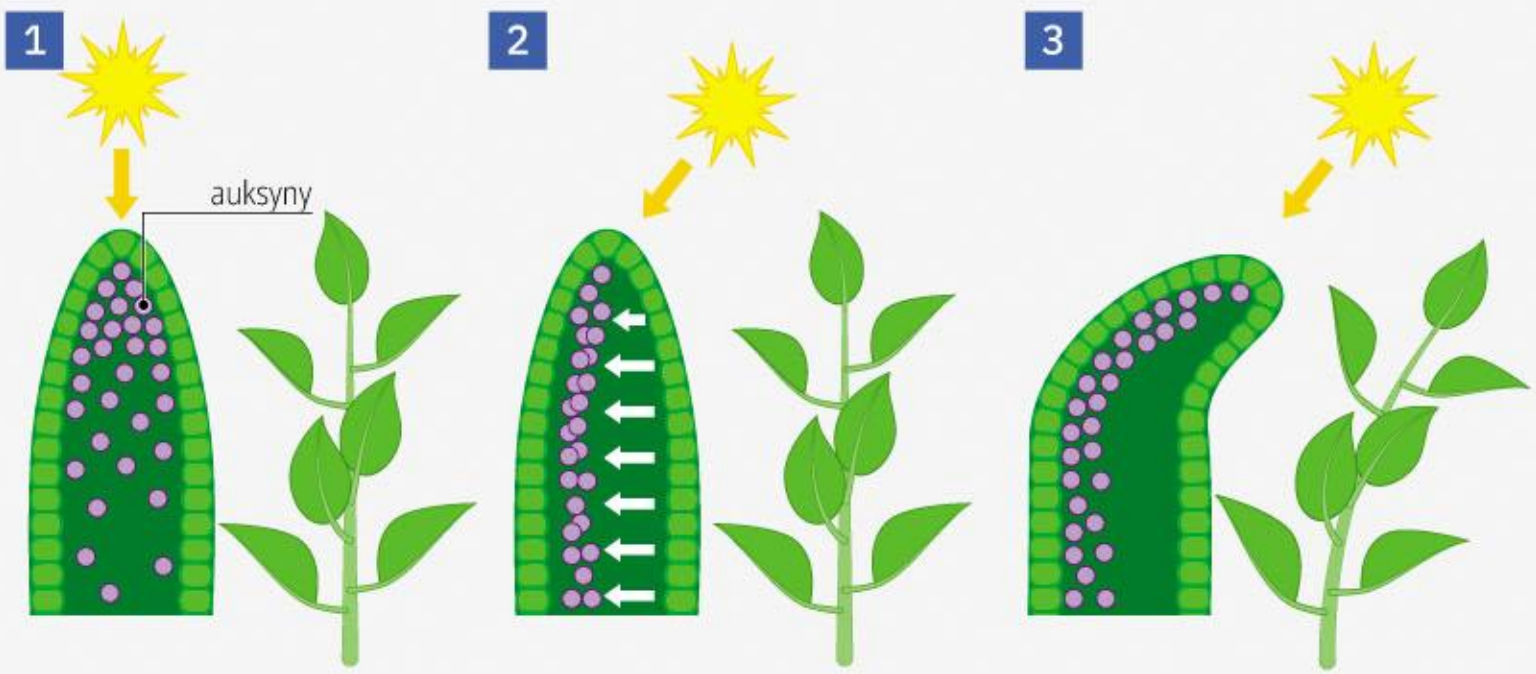
Ruchy wzrostowe	Ruchy turgorowe
• spowodowane nierównomiernym tempem wzrostu przeciwległych ścian organu lub jego części, które związane jest ze zróżnicowanym rozmieszczeniem auksyn • należy tu większość tropizmów (np. wyginanie się pędów w kierunku źródła światła)	• bazują na zmianach turgoru komórek występujących w określonych miejscach organu • należą tu nastie (np. składanie liści mimozy w reakcji na dotyk)

Tropizmy

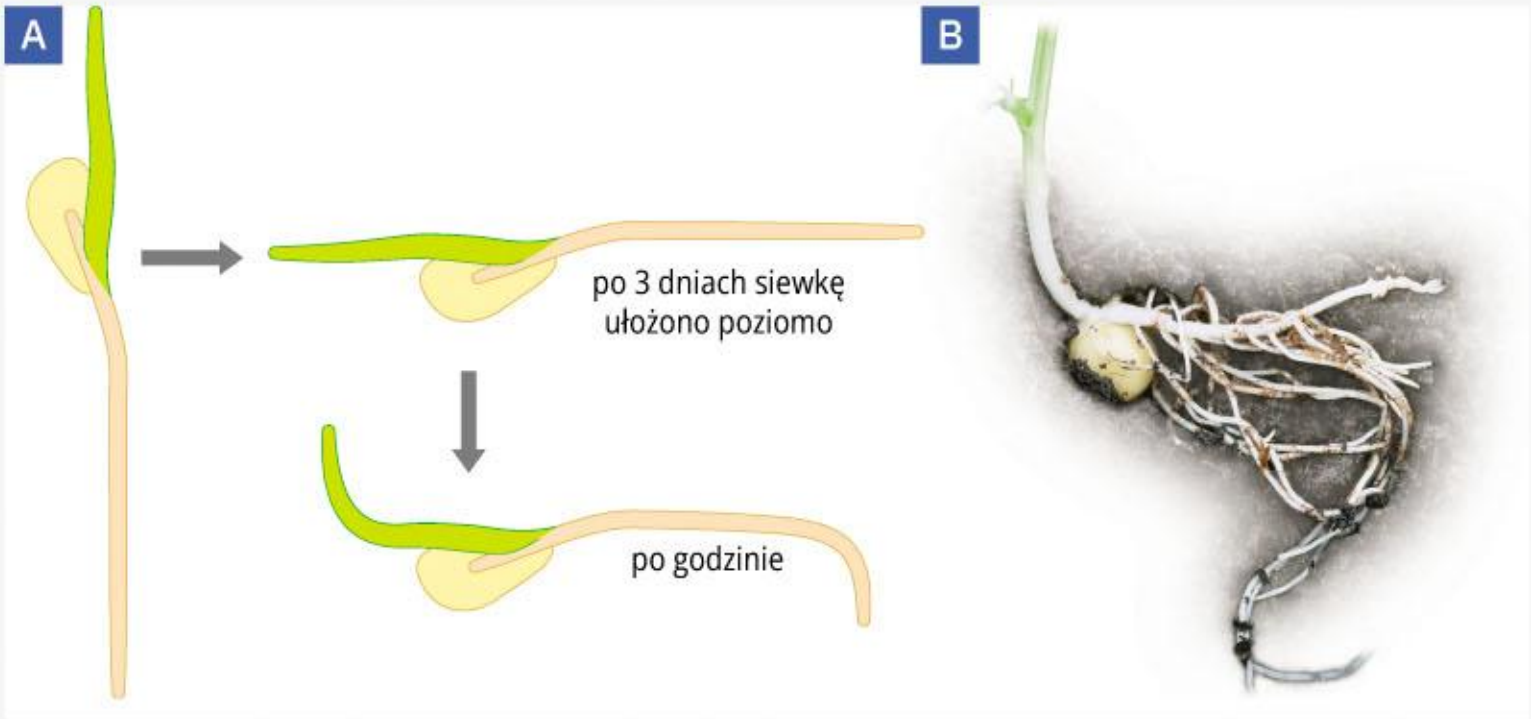
Tropizmy to ruchy organów roślin naczyniowych (np. wygięcie, skręcenie), będące reakcją na bodziec zewnętrzny. Kierunek ruchu jest uzależniony od kierunku działania bodźca – **tropizmy dodatnie** zachodzą w kierunku źródła bodźca, a **tropizmy ujemne** w przeciwną stronę do kierunku działania bodźca.

Rodzaje tropizmów

Rodzaj tropizmu	Bodziec	Charakterystyka
fototropizm	światło	• fototropizm dodatni polega na wygięciu rośliny lub jej części w kierunku padającego światła (np. pędy roślin, koleoptyle traw) • fototropizm ujemny polega na wyginaniu się w przeciwną stronę do padającego światła (np. korzenie bluszczu) • czujnikiem wykrywającym światło i inicjującym reakcje jest **fototropina** • mechanizm molekularny fototropizmu polega na nierównomiernym rozkładzie auksyn, które gromadzą się po zacienionej stronie i powodują niesymetryczny wzrost wydłużeniowy komórek
grawitropizm (geotropizm)	siła grawitacji	• grawitropizm dodatni polega na wzroście organu w kierunku środka Ziemi (np. u korzenia) • grawitropizm ujemny polega na wzroście w kierunku przeciwnym do przyciągania ziemskiego (u pędu) • w obrębie korzenia strukturami wyczuwającymi przyciąganie ziemskie są **statolity**, które wywierając nacisk na dolne części czapeczki korzenia, wskazują kierunek wzrostu • za wzrost wydłużeniowy odpowiadają nierównomiernie rozmieszczone auksyny
chemotropizm	substancje chemiczne	• chemotropizm dodatni polega na wygięciu rośliny lub jej części w kierunku źródła substancji chemicznych (np. siewki roślin pasożytniczych, korzeń) • chemotropizm ujemny polega na wzroście w kierunku przeciwnym do bodźca chemicznego • odmianą chemotropizmu jest **hydrotropizm**, czyli wygięcie w kierunku gradientu potencjału wody (np. korzenie wykazują hydrotropizm dodatni)
tigmotropizm	bodziec mechaniczny	• wywołany najczęściej dotykiem • strukturami szczególnie wrażliwymi na dotyk są wąsy, za pomocą których roślina przyczepia się do podpór



Mechanizm fototropizmu



Grawitropizm : A. ujemny pędów, B. dodatni korzeni

Nastie

Nastie to reakcje ruchowe organów roślin niezależne od kierunku działania bodźca. Zachodzą najczęściej w wyspecjalizowanych komórkach znajdujących w określonych częściach rośliny.

Rodzaj nastii	Bodziec	Przykład
chemonastia	substancja chemiczna	u roślin pasożytniczych po schwytaniu owada, np. u rosiczki
fotonastia	zmiana intensywności światła	otwieranie się kwiatów za dnia i zamykanie nocą, np. szczawik zajęczy, goryczka, lub odwrotnie, np. lepnica
sejsmonastia	bodźce: mechaniczne, elektryczne, termiczne	nagła zmiana turgoru lub objętości komórek, np. ruchy liści u mimozy i szczawika, oraz kurczenie się pręcików, np. mahonii, chabra
termonastia	zmiany temperatury	otwieranie się kwiatów pod wpływem podwyższenia temperatury oraz zamykanie się ich po jej obniżeniu, np. u tulipana, krokusa

7

Różnorodność zwierząt

7.1. Kryteria klasyfikacji zwierząt

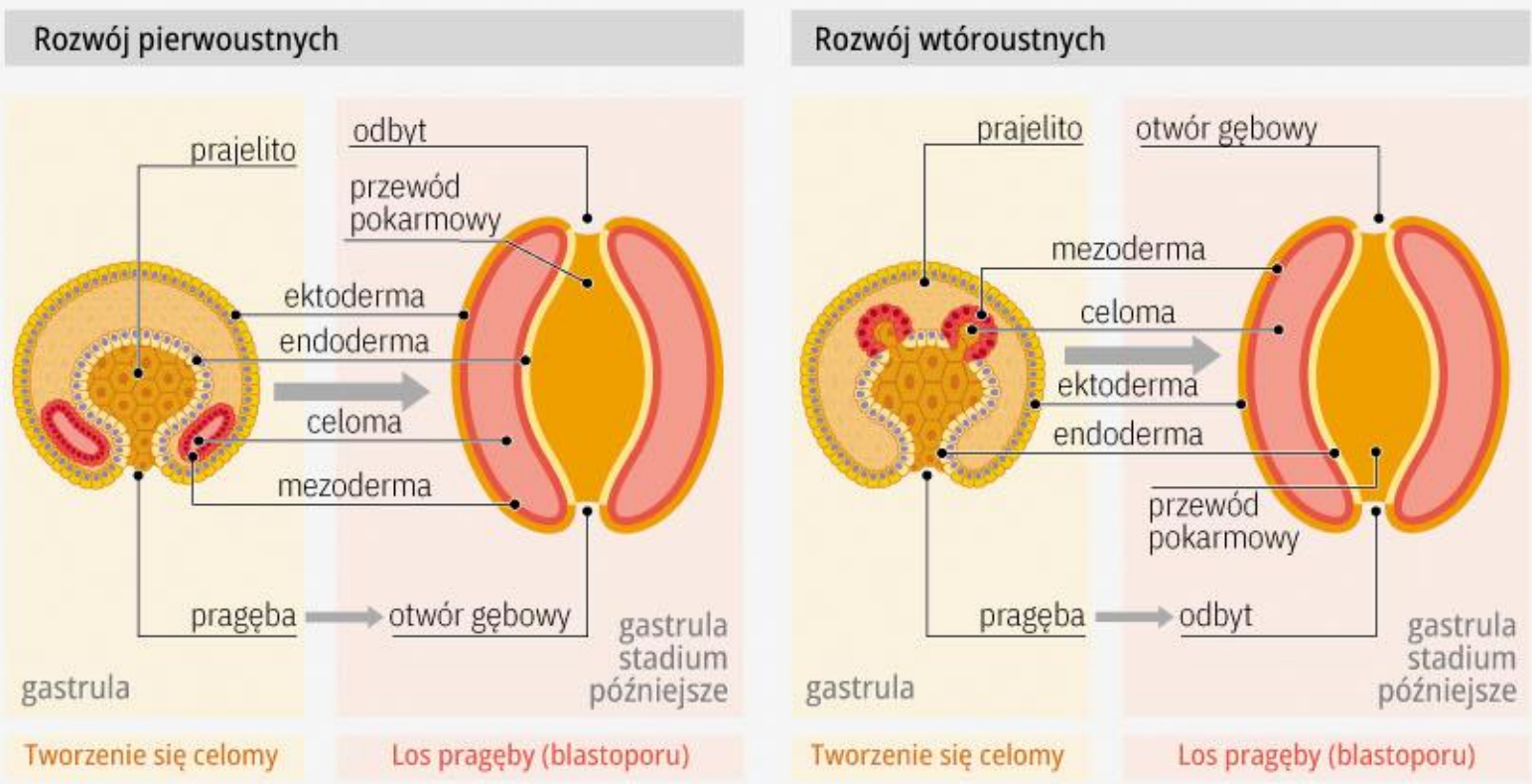
Cechy charakterystyczne królestwa zwierząt

- Zwierzęta należą do organizmów eukariotycznych (jądrowych).
- Są zbudowane z wielu komórek (wielokomórkowe) pozbawionych ściany komórkowej; funkcję spajającą komórki spełniają białka strukturalne.
- U wielu zwierząt występują komórki mięśniowe i nerwowe tworzące tkankę mięśniową i nerwową, które są odpowiedzialne za ruch i przewodzenie bodźców.
- Są cudzożywne.
- Większość rozmnaża się płciowo; dominuje stadium diploidalne.
- Przechodzą rozwój zarodkowy, podczas którego powstają kolejno tkanki i narządy.

Pokrewieństwa ewolucyjne zwierząt ze względu na wybrane kryteria

Kryterium	Grupa zwierząt	Przykłady występowania
obecność tkanek	beztkankowe	gąbki
	tkankowe	wszystkie zwierzęta oprócz gąbek
liczba listków zarodkowych	dwuwarstwowe (dwa: ektoderma i endoderma)	gąbki, parzydełkowce
	trójwarstwowe (trzy: ektoderma, endoderma, mezoderma)	wszystkie zwierzęta oprócz gąbek i parzydełkowców
pochodzenie otworu gębowego	pierwouste	płazińce, nicienie, wrotki, pierścienice, stawonogi, mięczaki
	wtórouste	szkarłupnie, strunowce
obecność wtórnej jamy ciała (celomy)	acelomatyczne (bez celomy)	płazińce
	pseudocelomatyczne (bez celomy, którą naśladuje pierwotna jama ciała)	nicienie, wrotki
	celomatyczne (z celomą)	pierścienice, stawonogi, mięczaki, szkarłupnie, strunowce

Zwierzęta pierwouste i wtórouste



Powstawanie biegunów ciała

Zwierzęta pierwouste	Zwierzęta wtórouste
• pragęba staje się otworem gębowym	• pragęba staje się otworem odbytowym lub zarasta
• otwór odbytowy nie występuje lub tworzy się na przeciwległym końcu ciała	• otwór gębowy powstaje wtórnie na przeciwległym końcu ciała (jeśli pragęba przekształciła się w otwór odbytowy) lub obok (jeśli pragęba zarasta)

Powstawanie mezodermy

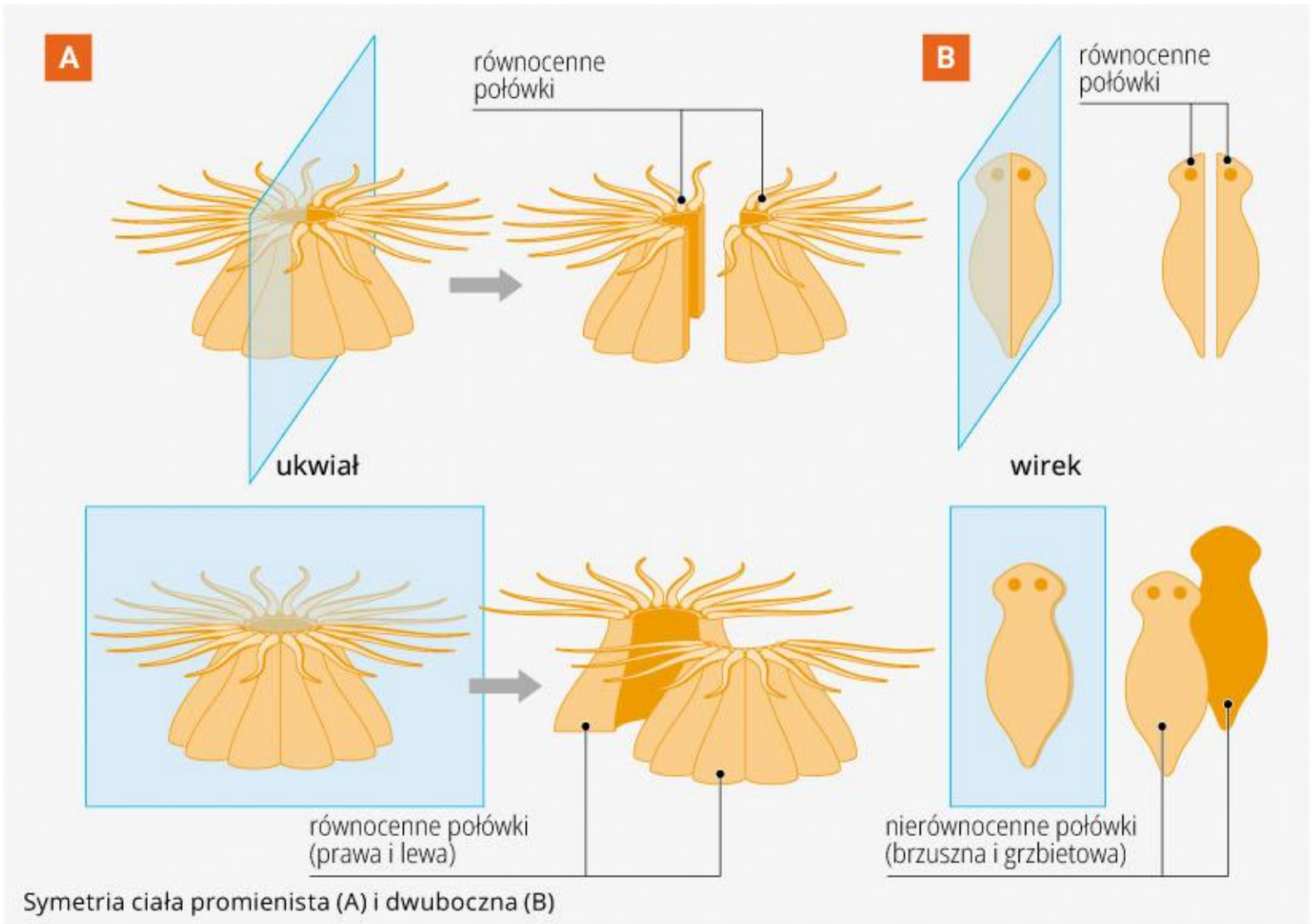
Zwierzęta pierwouste	Zwierzęta wtórouste
• przez wędrowanie komórek ektodermy między warstwę endodermy i ektodermy – powstaje **mezenchyma** (bezpostaciowa struktura wypełniająca pierwotną jamę ciała), np. u płazińców i nicieni • przez podział komórek tworzących szeregowo ułożone pęcherzyki (tzw. somity), w których tworzy się wtórna jama ciała **(celoma)**, np. u pierścienic	• przez wpuklenia do pierwotnej jamy ciała części komórek prajelita (warstwy komórek endodermy), co prowadzi do wytworzenia pęcherzyków (somitów) otaczających wtórną jamę ciała

Symetria ciała zwierząt

Większość zwierząt ma ciało zbudowane symetrycznie. Rodzaj symetrii pozwala m.in. na określenie ich trybu życia. Tylko nieliczne zwierzęta są asymetryczne, np. gąbki.

Porównanie symetrii promienistej i dwubocznej ciała

Cecha	Symetria ciała	
	promienista	dwuboczna
liczba płaszczyzn symetrii	kilka	jedna
grzbietowa strona ciała	brak, mają górną stronę z otworem gębowym i strukturami odbierającymi bodźce ze środowiska ze wszystkich stron	obecna
brzuszna strona ciała	brak, mają dolną stronę przytwierdzającą do podłoża	obecna, z narządami ruchu
prawa i lewa strona ciała	brak	obecna
przednia część ciała	brak	obecna, z otworem gębowym i skupiskiem narządów zmysłów, co prowadzi do centralizacji układu nerwowego i wykształcenia głowy
tylna część ciała	brak	obecna
tryb życia	zazwyczaj osiadłe lub planktoniczne	najczęściej aktywnie przemieszczające się
występowanie	parzydełkowce	większość zwierząt tkankowych z wyjątkiem ślimaków z prawoskrętnie ukształtowanymi muszlami i szkarłupniami z wtórną symetrią promienistą



Symetria ciała promienista (A) i dwuboczna (B)

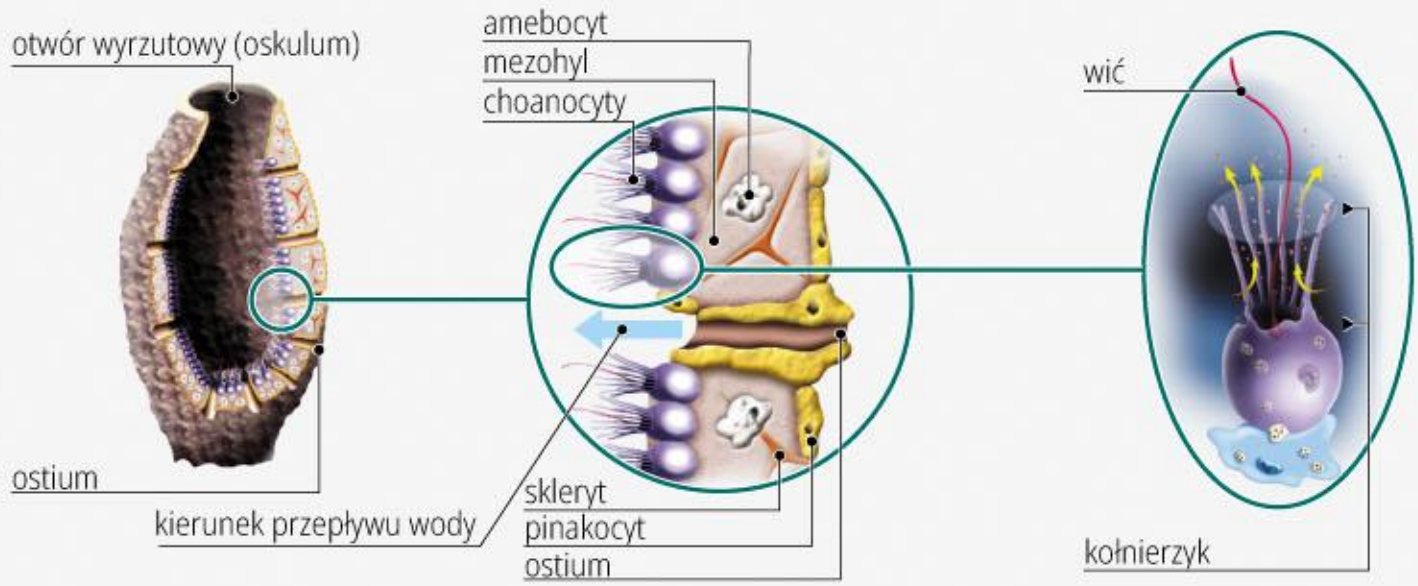
7.2. Różnorodność i przegląd systematyczny zwierząt bezkręgowych

Gąbki

Gąbki (*Porifera*) to zwierzęta wodne, prowadzące osiadły tryb życia. Są zbudowane z dwóch warstw komórek, które nie tworzą typowych tkanek. Mają słabo zaznaczoną symetrię promienistą (lub jej całkowity brak). Wnętrze ciała wypełnia jama **spongocel** połączona ze środowiskiem zewnętrznym licznymi otworami. Wykazują bardzo dużą zdolność do regeneracji – pojedyncza komórka może odtworzyć cały organizm.

Budowa ciała gąbek

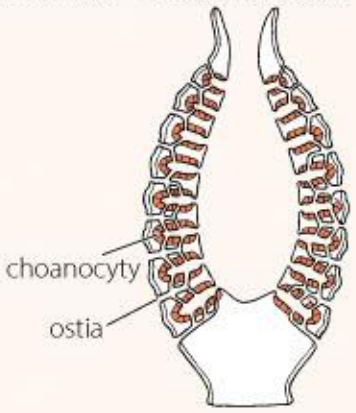
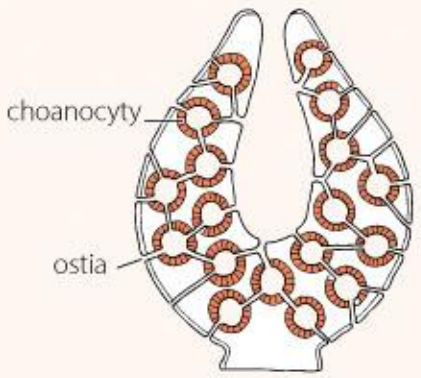
Ciało gąbek przypomina worek skierowany do góry otworem, który nosi nazwę otworu wyrzutowego – **oskulum**. Wnętrze ciała wypełnia jama **spongocel**. Ciało gąbek składa się z dwóch warstw komórek, między którymi znajduje się galaretowata substancja (**mezohyl** – odpowiednik mezoglei u parzydełkowców):
- warstwy zewnętrznej, zbudowanej z płaskich komórek – **pinakocytów;**
- warstwy wewnętrznej zbudowanej z komórek kołnierzykowych – **choanocytów** opatrzonych wicią.



Funkcje komórek gąbek

Rodzaj komórek	Funkcje
amebocyty	poruszają się ruchem pełzakowatym, uczestniczą w trawieniu pokarmu i transporcie substancji odżywczych
choanocyty (komórki kołnierzykowe)	zaopatrzone w wici, wychwytują cząsteczki pokarmowe
pinakocyty	mają zdolność kurczenia się, tworzą warstwę zewnętrzną ciała
gametocyty	tworzą gamety

Typy budowy gąbek

Askon	Sykon	Leukon
choanocyty wyścielają ściany spongocelu 	choanocyty wyścielają kanały promieniste w ścianie ciała 	choanocyty wyścielają kuliste komory w ścianie ciała 

Czynności życiowe gąbek

Odżywianie

- **są filtratorami**, woda z pokarmem wpływa do wnętrza gąbki za pośrednictwem porów, przepływa przez kanały ciała wyścielone komórkami kołnierzykowymi. Wici tych komórek kierują wodę do jamy ciała, woda wypływa z ciała gąbki przez otwór wyrzutowy;
- jama ciała nie bierze udziału w trawieniu (trawienie zewnątrzkomórkowe).

Osmoregulacja

Ruch wody wpływającej do ciała i wypływającej z ciała gąbki odpowiada za wymianę gazową i usuwanie zbędnych metabolitów.

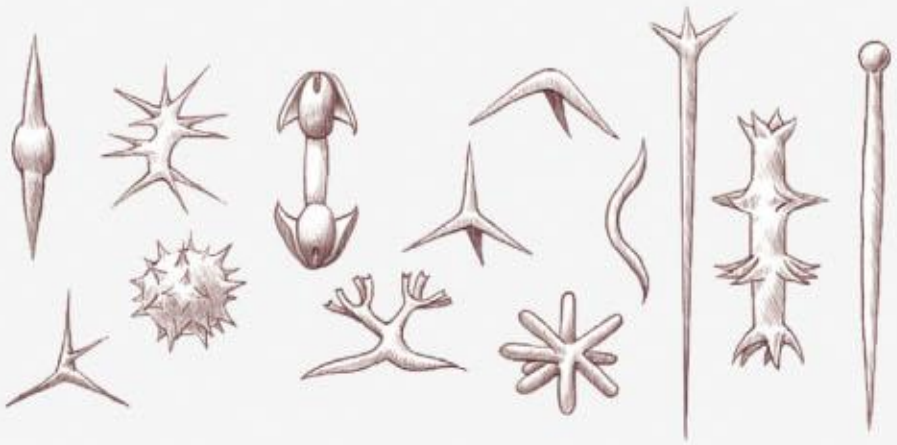
Rozmnażanie się gąbek

- bezpłciowe
  - **pączkowanie** – większość powstałych pączków pozostaje połączonych z organizmem macierzystym, tworząc kolonię;
  - tworzenie **gemul** (pąków wewnętrznych) – złożone z kilku komórek, z których rozwija się nowa gąbka, są formami przetrwalnikowymi (występują u gąbek narażonych na gwałtowne zmiany temperatury lub jej brak, wytwarzane przed nadejściem zimy);
- płciowe
  - większość to obojnaki (hermafrodyty);
  - u gatunków rozdzielnopłciowych brak gonad, gamety powstają z komórek położonych w mezohylu, zapłodnienie u większości wewnętrzne;
  - rozwój złożony – z zapłodnionego jaja powstaje orzęsiona, swobodnie pływająca larwa (amfiblastula lub parenchymula).

Gąbki mają niezwykłe zdolności do regeneracji, czyli odtworzenia uszkodzonych lub utraconych struktur organizmu. Jest to wynikiem szczególnych właściwości komórek gąbek, które są **totipotencjalne**. Oznacza to, że poszczególne komórki po podziale mogą przekształcać się w każdy rodzaj komórek występujący w danym organizmie.

Przegląd gąbek

Zdecydowana większość żyje w morzach i oceanach, ale spotykane są też gatunki słodkowodne. Liczą ok. 55000 gatunków, z czego 150 słodkowodnych. W Polsce żyje 7 gatunków słodkowodnych gąbek, m.in. nadecznik stawowy. Podział gąbek opiera się na budowie elementów szkieletowych (igieł, sklerytów) w mezohylu.



Przykłady spikul (igieł) gąbek krzemionkowych

Grupa gąbek	Charakterystyka	Przedstawiciele
pospolite (*Demospongiae*)	• stanowią 80–90% współczesnych gatunków gąbek • żyją w wodach słodkich i morskich • typ budowy leukon • szkielet krzemionkowy, sponginowy lub krzemionkowo-sponginowy	 Nadecznik stawowy (*Spongilla lacustris*)  Puchar Neptuna (*Cliona patera*)
wapienne (*Calcarea*)	• wyłącznie gatunki morskie • żyją na twardych podłożach, na małych głębokościach, często w miejscach ocienionych, w szczelinach i jaskiniach • szkielet zbudowany z węglanu wapnia • występują pojedynczo lub w koloniach • tworzą związki symbiotyczne ze skorupiakami i niektórymi glonami • trzy typy budowy: askon, leukon i sykon	 *Sycon raphanus*
szklane (*Hexactinellida*)	• wyłącznie gatunki morskie zamieszkujące duże głębokości • szkielet zbudowany z różnokształtnych krzemionkowych igiełek • typ budowy sykon lub leukon	 Koszyczek Wenery (*Euplectella aspergillum*)

Znaczenie gąbek

1. Gąbki jako filtratory odgrywają ważną rolę w procesie samooczyszczania zbiorników wodnych, zmniejszają zawartość wapnia i krzemu w wodzie, fagocytują bakterie, cząstki zawiesiny organicznej i niektóre zanieczyszczenia.
2. Są wrażliwe na większe chemiczne zanieczyszczenia wód i z tego względu są biologicznymi wskaźnikami czystości wód (bioindykatorami).
3. Są pokarmem dla innych zwierząt bezkręgowych, np. ślimaków, i tworzą siedliska dla wielu gatunków zwierząt, np. ryb, skorupiaków.
4. Sponginowe szkielety gąbek dzięki miękkości, elastyczności i porowatości są wykorzystywane do mycia i celów gospodarczych, np. szkielety gąbki greckiej czy lewantyńskiej.
5. Znajdują zastosowanie jako delikatny materiał szlifierski w jubilerstwie i optyce.
6. Z gąbek uzyskuje się substancje antywirusowe, bakteriostatyczne, antygrzybiczne, np. z gąbki *Halichondria okadai* uzyskano cytostatyk działający na komórki nowotworowe.
7. W przeszłości w medycynie ludowej gąbki były stosowane jako tampony tamujące krew, a wyciągi z gąbek zawierające duże ilości jodu stosowano w leczeniu chorób tarczycy.
8. Niektóre tropikalne gatunki działają toksycznie na ryby, koralowce i człowieka (powodują silne podrażnienia skóry).

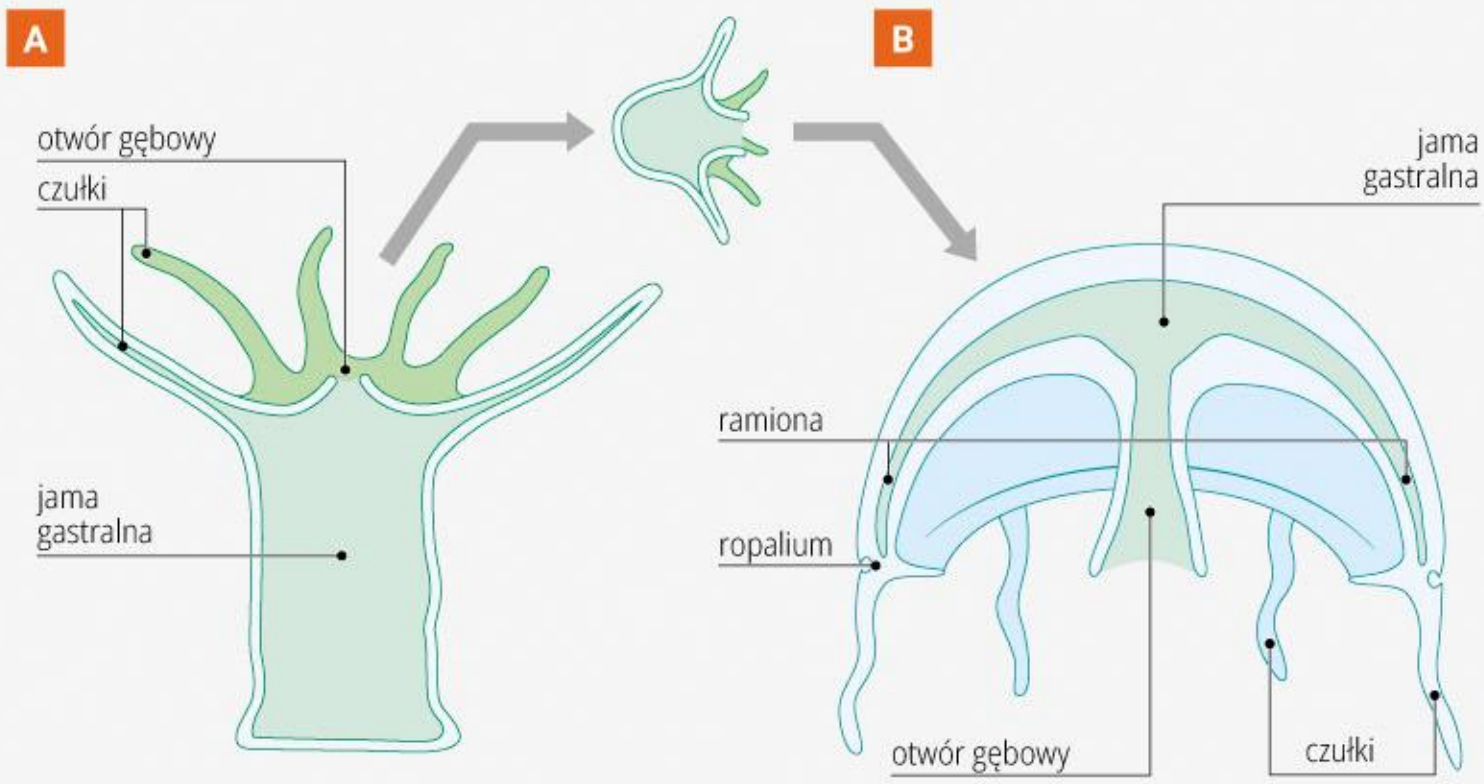
Parzydełkowce

Parzydełkowce (*Cnidaria*) to najprostsze zwierzęta tkankowe o promienistej symetrii ciała. Są zbudowane z dwóch warstw komórek. W warstwie zewnętrznej występują **parzydełka** – specyficzne struktury obronne, skąd pochodzi nazwa całego typu zwierząt. Ich ciało przybiera dwie formy morfologiczne: **osiadłego polipa** i **swobodnie pływającej meduzy**. Żyją wyłącznie w środowisku wodnym, głównie w morzach od stref tropikalnych po podbiegunowe.

Budowa parzydełkowców

Ciało parzydełkowców przypomina worek zbudowany z dwóch warstw komórek: **zewnętrznej ektodermy** i **wewnętrznej endodermy**. Między ektodermą i endodermą znajduje się galaretowata, bezpostaciowa substancja – **mezoglea**. W mezoglei u niektórych parzydełkowców, np. koralowców, powstaje szkielet zbudowany z organicznego związku **kolagenu** przesyconego **węglanem wapnia**.

Jamochłony mają dwie formy organizacji budowy ciała: polipa i meduzę. Różnice dotyczą m.in. trybu życia, rozmiarów i kształtu ciała, położenia otworu gębowego.

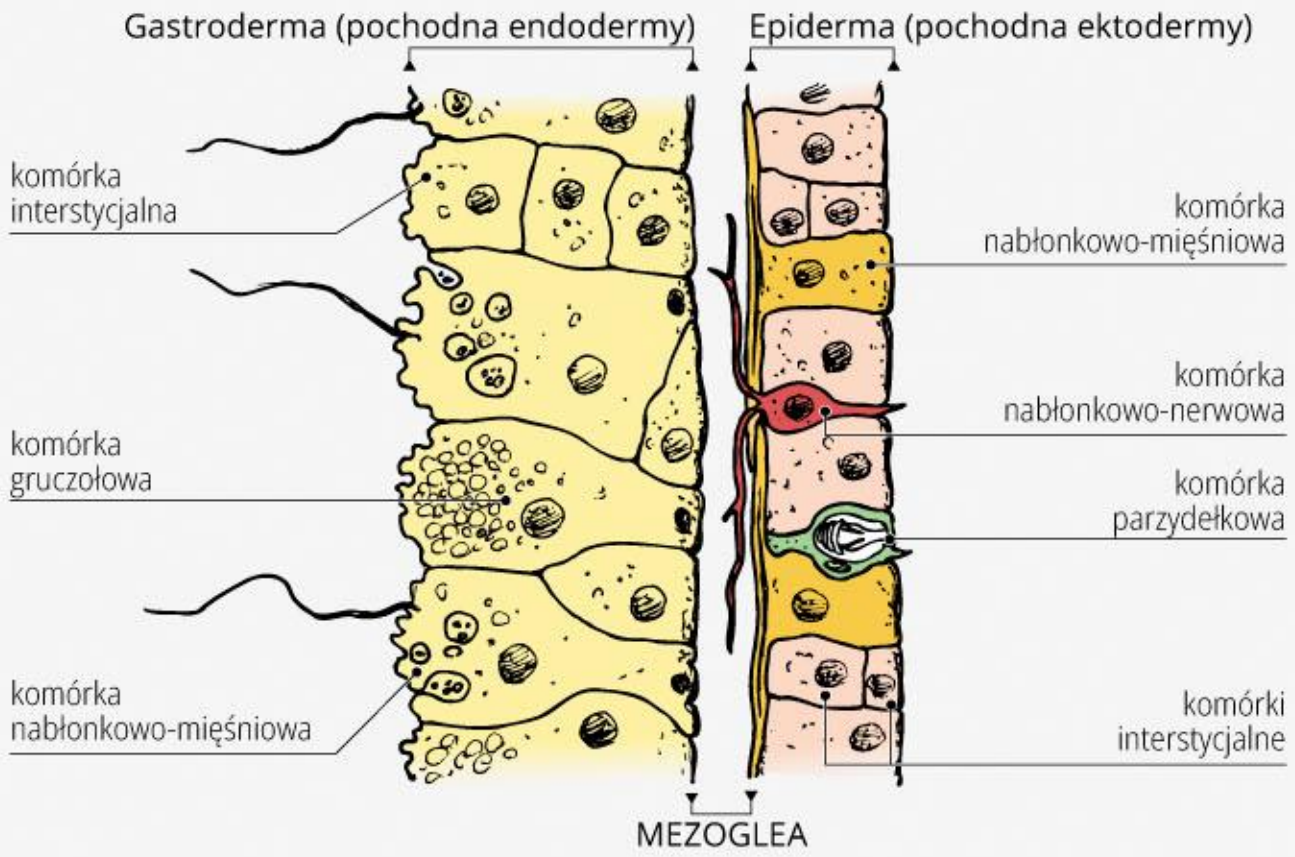


Budowa polipa (A) i meduzy (B)

Porównanie organizacji budowy polipa i meduzy

Cecha	Polip	Meduza
położenie otworu gębowego	skierowany ku górze, otoczony czułkami	na spodniej stronie ciała, skierowany ku dołowi, otoczony ramionami (płatami gębowymi)
kształt	cylindra	parasola (dzwonu)
sposób rozmnażania	bezpłciowe	płciowe
tryb życia	osiadły	wolno żyjące
długość życia	forma długowieczna	forma krótkotrwała, żyje najczęściej kilka miesięcy

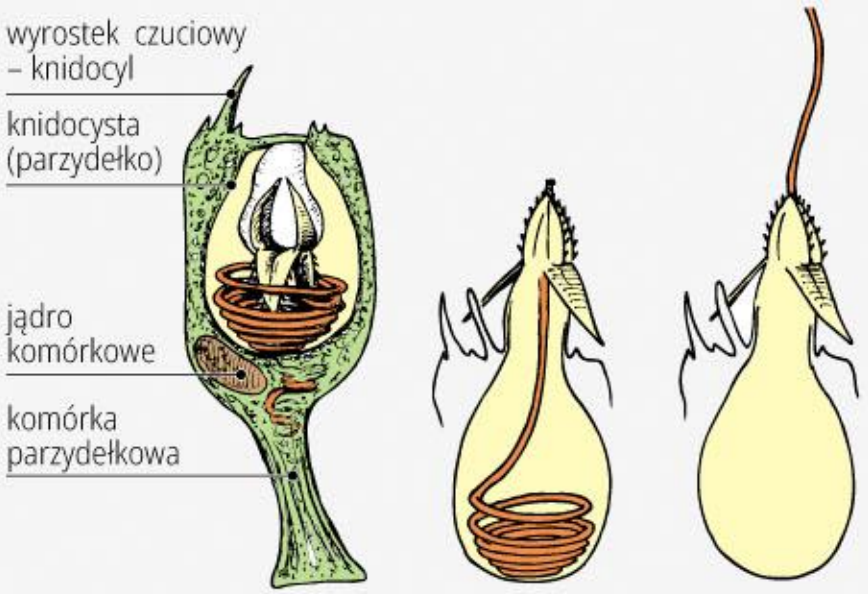
Typy komórek parzydełkowców



Typ komórek	Położenie	Charakterystyka
nabłonkowo-mięśniowe	epiderma, gastroderma	• mają długie wypustki z kurczliwymi włóknami białkowymi • są ułożone wzdłuż głównej osi ciała w epidermie i poprzecznie do niej w gastrodermie (działają antagonistycznie) • umożliwiają ruch i zmianę kształtu ciała (skurcz jednej warstwy powoduje rozciągnięcie drugiej)
nabłonkowo-nerwowe	głównie epiderma	• mają długie wypustki połączone w sieć • tworzą siateczkowy (rozproszony) układ nerwowy • umożliwiają reagowanie na bodźce • największe zagęszczenie na brzegu dzwona meduz i na czułkach polipów
parzydełkowe (knidocysty)	epiderma	• służą do obrony i zdobywania pokarmu
interstycjalne	epiderma, gastroderma	• mają zdolność do przemieszczania się i przekształcania w komórki innego typu, w tym komórki rozrodcze
gruczołowe	epiderma, gastroderma	• wydzielają enzymy trawienne do jamy gastralnej, gdzie zachodzi trawienie zewnątrzkomórkowe

Budowa komórki parzydełkowej i kolejne etapy wyrzucania nici parzydełka

Komórki parzydełkowe (knidocysty) występują głównie na czułkach polipa i ramionach meduzy oraz wokół otworu gębowego. Na zewnątrz komórka jest zakończona **czuciowym wyrostkiem** (**knidocylem**). Wewnątrz znajduje się parzydełko, zbudowane z pęcherzyka wypełnionego parzącą cieczą i spiralnie skręconej nici, która zostaje z dużą siłą wyrzucona podczas podrażnienia wyrostka czuciowego. Może się wbijać w ciało ofiary lub oplatać je w celu unieruchomienia. Równocześnie uwolniona parząca ciecz paraliżuje ofiarę. Wykorzystane komórki parzydełkowe są odtwarzane. Nowe parzydełka powstają z komórek interstycjalnych.



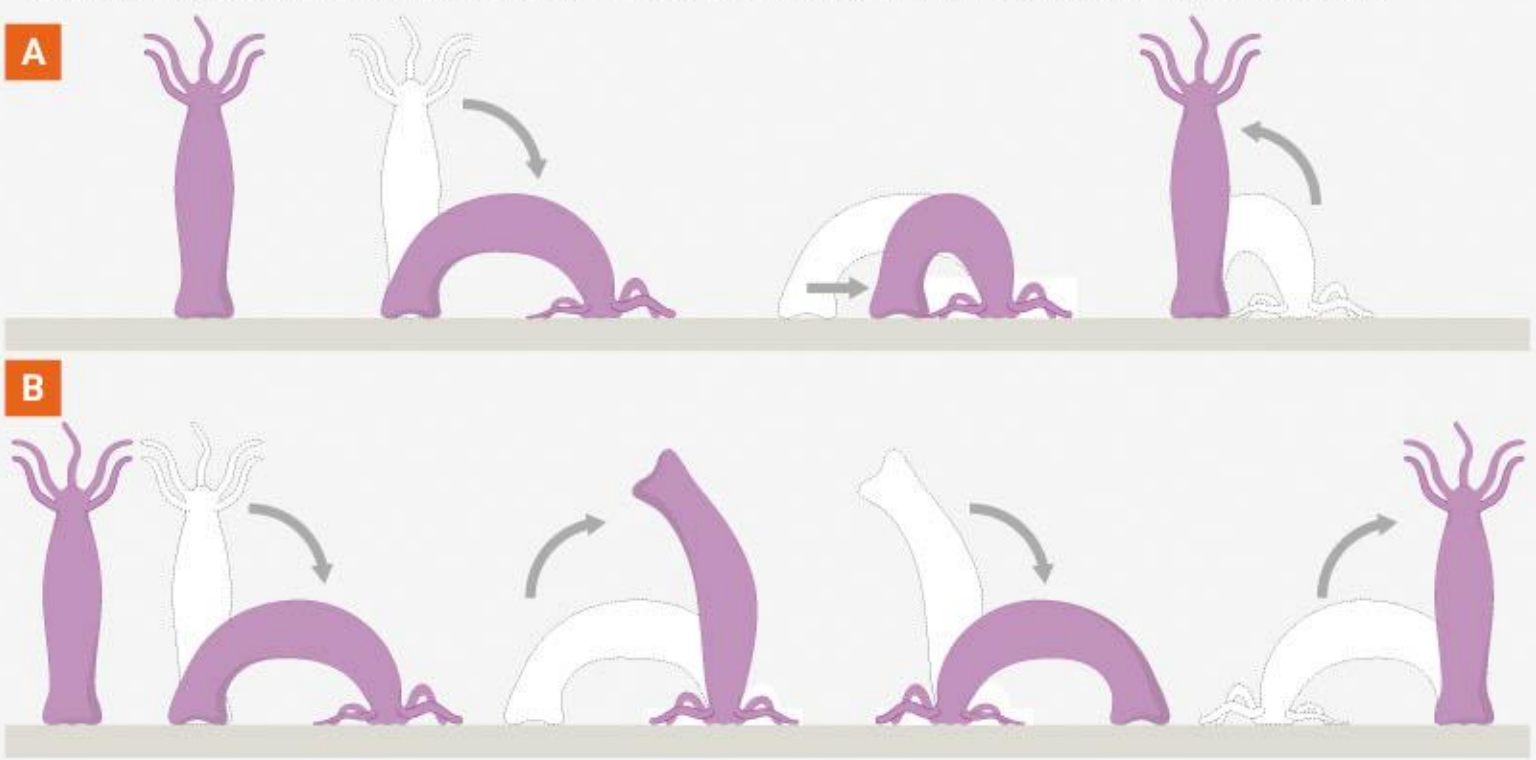
Czynności życiowe parzydełkowców

Odżywianie

- są drapieżnikami, chwytają ofiarę za pomocą czułków i parzydełek;
- trawienie w jamie gastralnej:
  - zewnątrzkomórkowe (dzięki enzymom wydzielanym przez komórki gruczołowe gastrodermy);
  - wewnątrzkomórkowe (dzięki lizosomom komórek trawiennych gastrodermy);
- niestrawione resztki pokarmowe są usuwane przez otwór gębowy.

Poruszanie

- **meduzy** poruszają się ruchem odrzutowym (następuje skurcz całego ciała, co powoduje wypchnięcie wody spod parasola i odrzucenie meduzy do góry);
- **polipy** są osiadłe, mogą okresowo się poruszać, krocząc (A) lub koziołkując po podłożu (B);

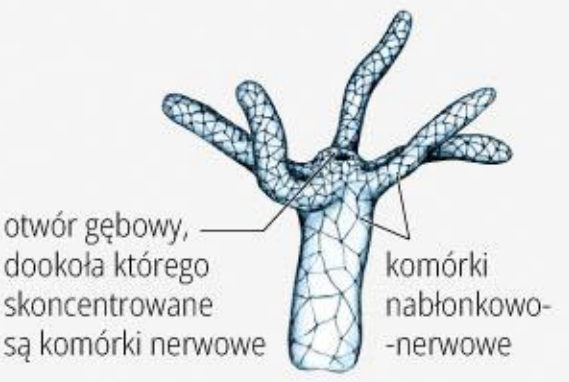


Etapy poruszania (przemienne przyczepianie się do podłoża: A. stopą , B. czułkami) stułbi

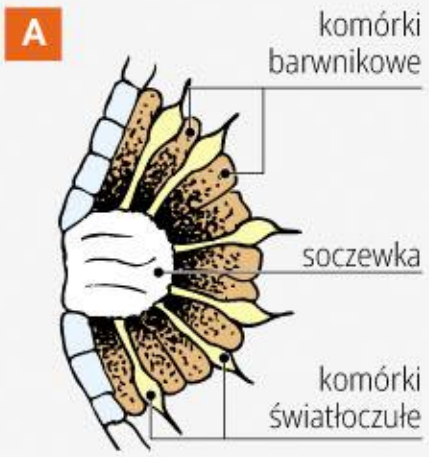
- stadia larwalne **planule** poruszają się za pomocą rzęsek.

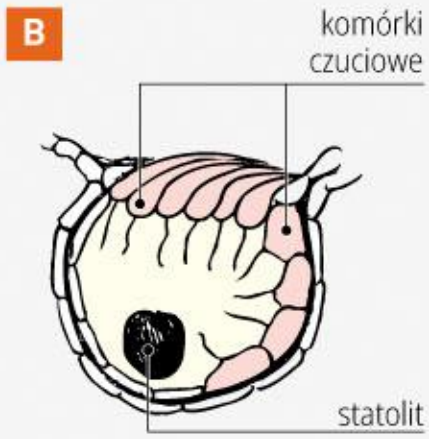
Koordynacja nerwowa

Komórki nerwowe długimi wypustkami łączą się ze sobą i tworzą rozproszoną sieć wypełniającą całe ciało. Jest to pierwszy układ nerwowy u zwierząt – **siateczkowy (rozproszony) układ nerwowy.** Bodźce ze środowiska są odbierane przez komórki zmysłowe. Sieć nerwowa wraz z narządami zmysłów jest rozmieszczona promieniście wokół ciała, co pozwala na odbiór bodźców z każdej strony.



Narządy zmysłów parzydełkowców to komórki zmysłowe epidermy, które odbierają ze środowiska bodźce chemiczne i mechaniczne. U meduz występują rozmieszczone w regularnych odstępach na obwodzie ciała **ciałka brzeżne (ropalia)** zawierające narządy równowagi (**statocysty**), receptory chemiczne oraz skupiska komórek światłoczułych – tzw. **oczka**.

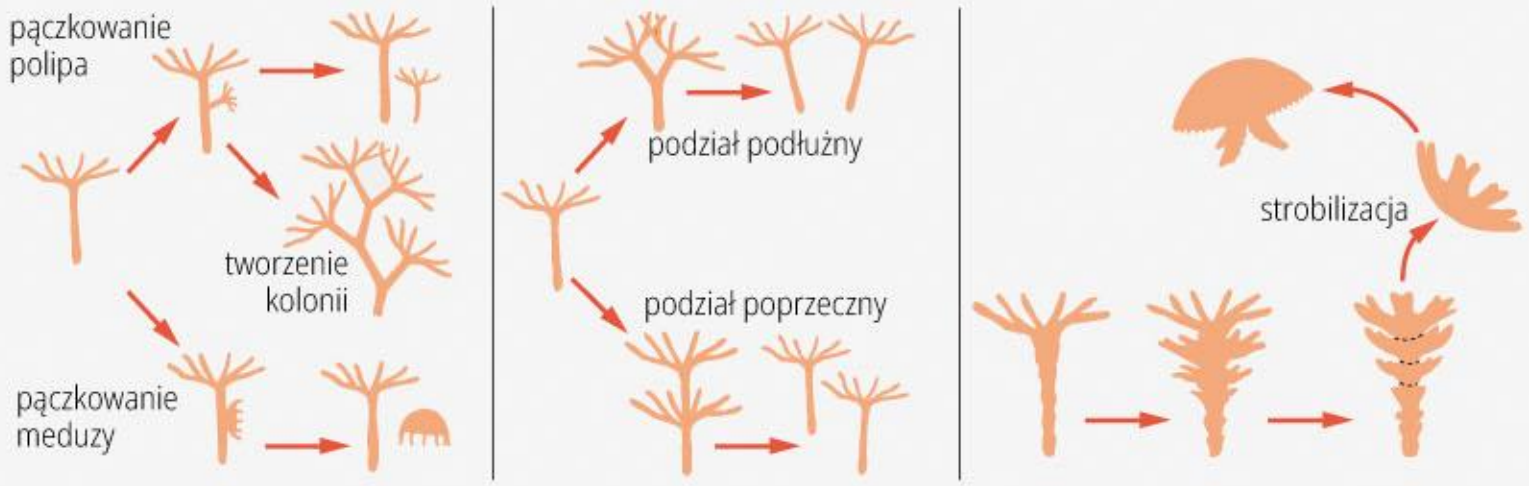




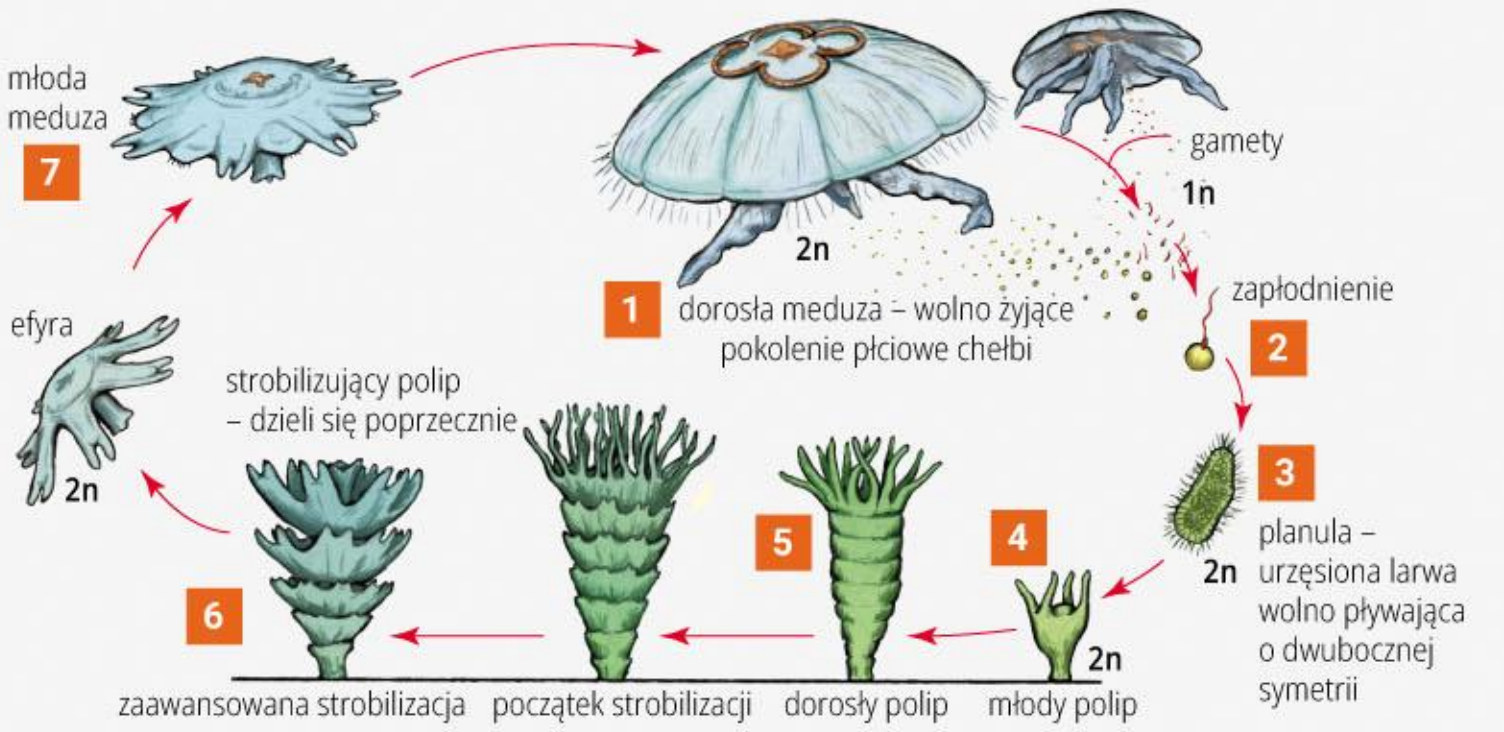
Oczka (A) są skupieniem komórek barwnikowych i światłoczułych otaczających warstwę komórek, pełniących funkcję soczewki. Statocystę (B) tworzą zagłębienia lub pęcherzyki wysłane komórkami czuciowymi otaczające statolit – ziarenka zbudowane głównie z węglanu wapnia. Podczas ruchu meduzy statolit zmienia swoje położenie i uciska komórki czuciowe, co dla zwierzęcia jest sygnałem do zmiany położenia ciała.

Rozmnażanie

– bezpłciowe głównie u polipów:
- pączkowanie;
- podział poprzeczny lub podłużny;
- strobilizacja, czyli podział polipa na wiele młodocianych meduz (efyr);



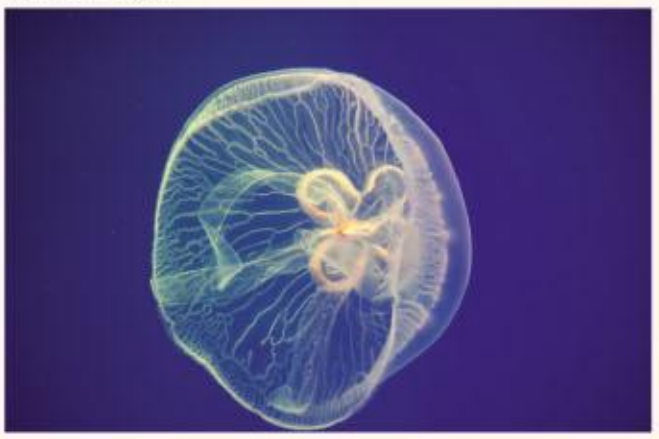
– płciowe głównie u meduz:
- głównie gatunki rozdzielnopłciowe (rzadko obojnacze);
- w zależności od gatunku zapłodnienie zewnętrzne (w wodzie) lub wewnętrzne (wewnątrz osobnika rodzicielskiego);
- większość przechodzi przemianę pokoleń (polipa i meduzy) – **matagenezę** bez przemiany faz jądrowych (oba pokolenia są diploidalne);
- w rozwoju często występuje orzęsiona larwa – **planula**;
- u części gatunków rozwój bez przemiany pokoleń.



1. Dojrzałe meduzy produkują gamety, które przez otwór gębowy są wyrzucane do wody.
2. Gamety łączą się ze sobą, następuje zapłodnienie (zewnętrzne) i powstaje zygota (2n).
3. Z zygoty rozwija się orzęsiona, swobodnie pływająca larwa – planula.
4. Planula po kilku dniach opada na dno zbiornika wodnego i przekształca się w polipa.
5. Polip po osiągnięciu odpowiednich rozmiarów zaczyna rozmnażać się bezpłciowo przez strobilizację.
6. Od polipa odrywają się młode meduzy – efyry.
7. Efyry po kilku miesiącach przekształcają się w dorosłe meduzy.

Przegląd parzydełkowców

Na świecie żyje ok. 9 tys. gatunków, z czego w Polsce tylko 30: 26 gatunków reprezentuje stułbiopławy, 2 – krążkopławy i 2 – koralowce.

Grupa parzydełkowców	Charakterystyka	Przedstawiciele
krążkopławy (*Scyphozoa*)	• żyją wyłącznie w wodach słonych • postacią dominującą jest planktoniczna meduza, która osiąga większe rozmiary od polipa i żyje dłużej • w rozwoju pojawia się larwa planula	w Polsce dwa gatunki: chełbia modra (*Aurelia aurita*) oraz bełtwa festonowa (*Cyanea capillata*), które żyją w Bałtyku i Morzu Północnym  Chełbia modra  Bełtwa festonowa
kubopławy (*Cubozoa*)	• żyją w ciepłych wodach słonych strefy tropikalnej i subtropikalnej • formą dominującą są meduzy przypominające kształtem sześcian • mają najlepiej rozwinięty układ nerwowy i narządy zmysłów wśród wszystkich parzydełkowców • podczas metagenezy w meduzę przekształca się cały polip	gatunki silnie parzące i jadowite, np. rząd osy morskie  Osa morska (*Chironex fleckeri*)

Grupa parzydełkowców	Charakterystyka	Przedstawiciele
stułułbiopławy (*Hydrozoa*)	• żyją w wodach słonych i słodkich • występują w postaci polipa lub meduzy • meduzy mniejsze od polipów lub ich brak • postacią dominującą jest polip	stułbia płowa (*Hydra vulgaris*), żeglarz portugalski (*Physalia physalis*), znany też jako bąbelnica  Stułbia płowa  Żeglarz portugalski
koralowce (*Anthozoa*)	• żyją wyłącznie w morzach pojedynczo lub w koloniach • występują tylko w postaci polipów, których jamy gastralne są podzielone przegrodami • korale madreporowe budują rafy koralowe	 Ukwiał koński (*Actinia equina*)  Koral szlachetny (*Corallium rubrum*)

Znaczenie parzydełkowców

1. Parzydełkowce stanowią pokarm dla innych zwierząt, np. ryb, rozgwiazd, żółwi szylkretowych.
2. Niektóre parzydełkowce żyją w symbiozie z innymi organizmami, np. protistami, sinicami czy skorupiakami.
3. Korale madreporowe uczestniczą w budowie raf koralowych.
4. Niektóre gatunki są jadalne przez ludzi, np. w Chinach czy Japonii.
5. Korale ośmiopromienne, jak koral szlachetny, ze względu na czerwono zabarwiony wapienny szkielet są wykorzystywane w jubilerstwie do produkcji ozdobnych przedmiotów, np. biżuterii.
6. Meduzy kubopławów wydzielające parzące i toksyczne jady mogą być niebezpieczne dla człowieka.
7. Z niektórych gatunków meduz otrzymuje się białko wykorzystywane w doświadczeniach nad ekspresją genów i transportem białek w komórce.

Płazińce

Płazińce (*Platyhelminthes*) są zwierzętami dwubocznie symetrycznymi, trójwarstwowymi (obecność mezodermy) o spłaszczonym grzbieto-brzusznie ciele. Są acelomatyczne – nie mają wtórnej jamy ciała. Rozpoczyna się u nich proces wyodrębniania głowy (**cefalizacji**). Prowadzą pasożytniczy tryb życia (przywry i tasiemce) lub są wolno żyjące (wirki).

Budowa ciała płazińców

- Ciało pokrywa wór **powłokowo-mięśniowy** złożony z jednowarstwowego wielojądrowego nabłonka **syncytialnego** u pasożytów i komórkowego orzęsionego u wolno żyjących.
- Pod nabłonkiem znajdują się pasma mięśni ułożonych okrężnie, skośnie i podłużnie względem osi ciała. U większości płazińców występują **mięśnie grzbieto-brzuszne** spłaszczające ciało, co sprawia, że zwierzę ma dużą powierzchnię ciała w stosunku do jego objętości.
- Wnętrze ciała – pierwotną jamę ciała wypełnia **parenchyma** (różnokształtne komórki połączone wypustkami, które gromadzą i rozprowadzają substancje odżywcze).



Budowa wora powłokowo-mięśniowego płazińców wolno żyjących (A) i pasożytniczych (B)

Czynności życiowe płazińców

Układ pokarmowy

- w postaci rozgałęzionego i ślepo zakończonego w ciele jelita (otwór gębowy, gardziel, jelito środkowe, w którym zachodzi trawienie);
- nie mają jelita tylnego ani otworu odbytowego;
- u pasożytów układ pokarmowy uległ całkowitej redukcji.

Układ nerwowy

- w postaci dwóch zwojów głowowych i odchodzących od nich pni nerwowych połączonych spoidłami poprzecznymi biegnących wzdłuż ciała – **układ ortogonalny**;
- gatunkom wolno żyjącym orientację w środowisku ułatwiają narządy zmysłów: receptory chemiczne, dotykowe, fotoreceptory (oczka) i narządy równowagi (statocysty);
- gatunki pasożytnicze mają zredukowane narządy zmysłów.

Układ wydalniczy

- **protonefrydialny** zbudowany z oplatających całe ciało kanalików wydalniczych zakończonych komórkami płomykowymi; ruch rzęsek komórek płomykowych przesuwa wydaliny w kanalikach, które łączą się w dwa większe kanały uchodzące na zewnątrz otworami wydalniczymi;
- układ wydalniczy spełnia głównie funkcję osmoregulacyjną (najlepiej jest rozwinięty u płazińców słodkowodnych).

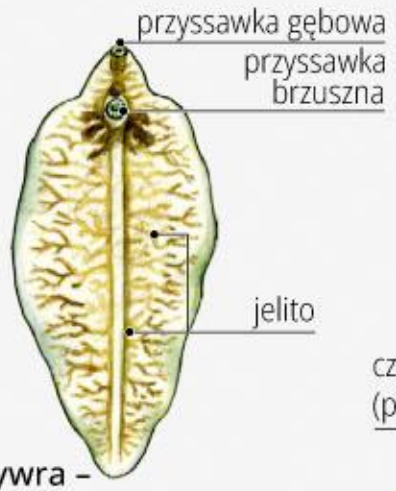
Rozmnażanie i rozwój

- rozmnażanie bezpłciowe:
  - podział poprzeczny ciała;
- rozmnażanie płciowe:
  - w większości zwierzęta obojnacze (hermafrodyty);
  - zapłodnienie najczęściej **krzyżowe** (gamety pochodzą od różnych osobników lub członów), a u pasożytów może dochodzić do **samozapłodnienia** (gamety pochodzą od tego samego osobnika);
  - **rozwój prosty** występuje u gatunków wolno żyjących, a **złożony ze zmianą żywicieli** – u pasożytów (**żywiciel pośredni** – organizm, w którym pasożyt występuje w postaci larwalnej i nie rozmnaża się płciowo; **żywiciel ostateczny** – organizm, w którym pasożyt występuje w postaci dojrzałej i rozmnaża się płciowo).

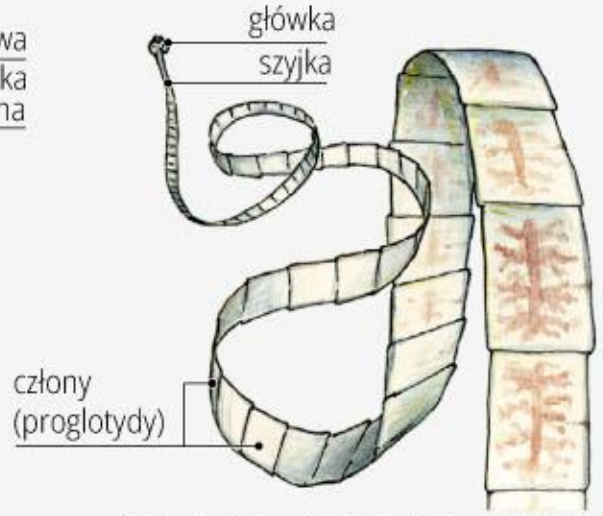
Kształt i ogólny plan budowy głównych gromad płazińców



wirek – wypławek biały



przywra – motylica wątrobowa



tasiemiec – tasiemiec uzbrojony

Porównanie cech płazińców wolno żyjących i pasożytniczych

Cecha	Płazińce wolno żyjące	Płazińce pasożytnicze
części ciała	ciało nieczłonowane	ciało (strobila) składa się z licznych członów (proglotydy), główki (skoleksu) i szyjki
pokrycie ciała	wór powłokowo-mięśniowy, wielokomórkowy orzęsiony nabłonek	wór powłokowo-mięśniowy, syncytialny nabłonek z grubym oskórkiem
mięśnie	trzy warstwy silnych mięśni: okrężne, skośne, podłużne	nieliczne, słabe włókna mięśniowe
układ pokarmowy	proste lub rozgałęzione jelito z wysuwaną gardzielą, brak otworu odbytowego	brak, pokarm wchłaniany całą powierzchnią ciała
oddychanie	tlenowe, całą powierzchnią ciała	beztlenowe, całą powierzchnią ciała
układ nerwowy i narządy zmysłów	dwa zwoje nerwowe i klika pni nerwowych połączonych spoidłami, chemoreceptory, mechanoreceptory, oczka, statocysty	dwa zwoje nerwowe i słabo rozwinięte pnie nerwowe, zredukowane narządy zmysłów, mechanoreceptory, chemoreceptory
układ wydalniczy	protonefrydialny	protonefrydialny uwsteczniony
rozmnażanie	obojnaki, zapłodnienie krzyżowe, rozwój prosty	obojnaki, możliwe samozapłodnienie, rozwój złożony

Przystosowanie tasiemców do pasożytnictwa

– aparat czepny złożony z przyssawek, haczyków czy bruzdy podziałowej pozwalający na utrzymanie się w ciele gospodarza;



tasiemiec uzbrojony — tasiemiec nieuzbrojony



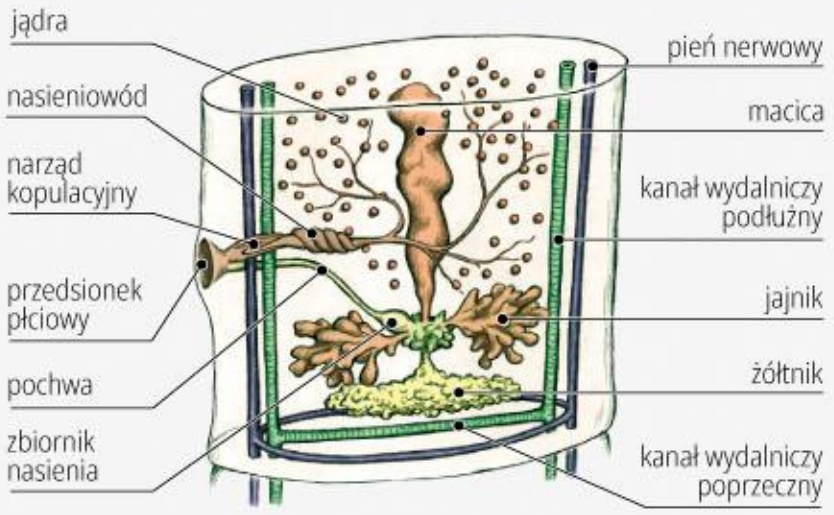
bruzdogłowiec szeroki

– nabłonek syncytialny, którego warstwa zewnętrzna chroni ciało tasiemców przed działaniem enzymów trawiennych gospodarza;
– brak układu pokarmowego i pobieranie pokarmu przez wchłanianie całą powierzchnią ciała;
– oddychanie beztlenowe (fermentacja);
– brak narządów zmysłów;

- stałe wytwarzanie nowych członów, które różnicują się w szyjce i stopniowo dojrzewają, co zapewnia nieustanną produkcję jaj;
- obojnactwo i samozapłodnienie;
- wytwarzanie ogromnej liczby jaj, co zwiększa szanse na przedostanie się do środowiska i zakażenie dużej liczby żywicieli.

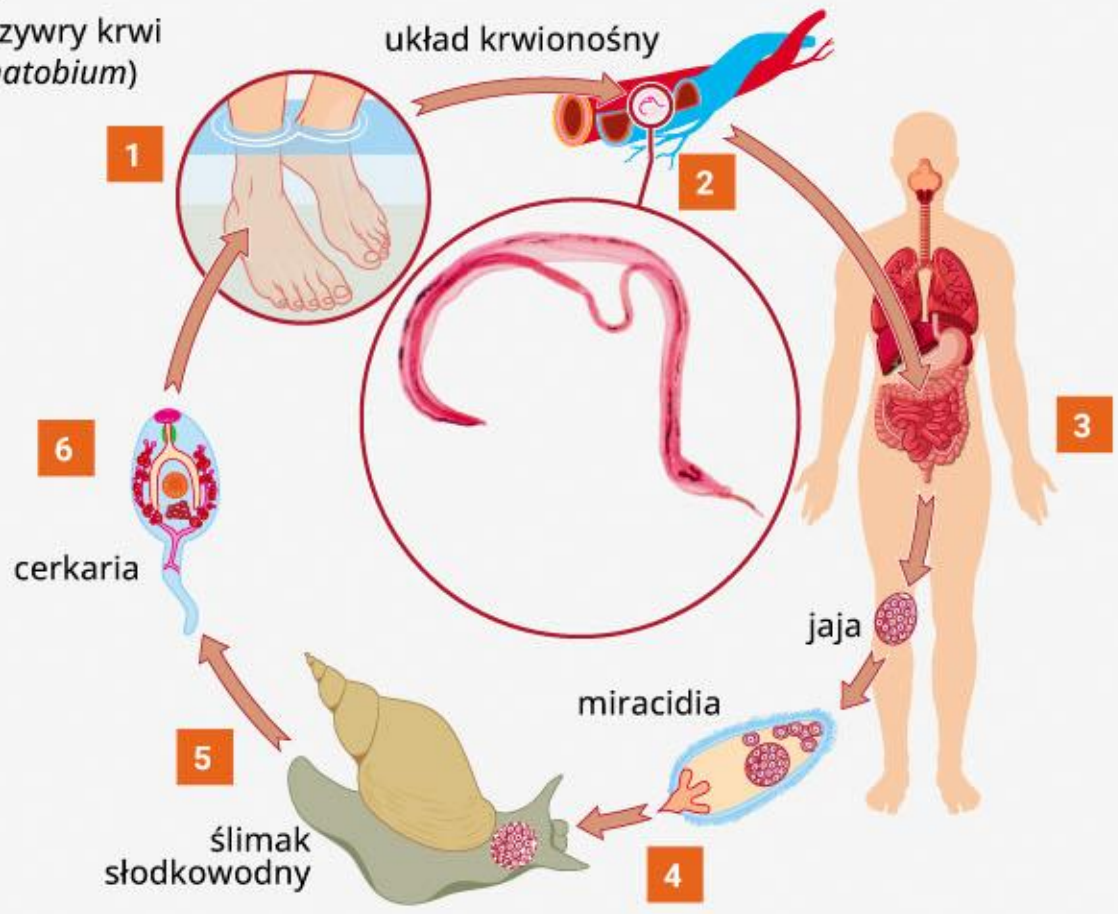
Budowa członu tasiemca

Dojrzały człon tasiemca zawiera rozwinięty obojnaczy układ rozrodczy. Do zapłodnienia może dojść w obrębie jednego członu – samozapłodnienia (rozmnażanie pojedynczego osobnika) lub zapłodnienia między różnymi członami (zapłodnienie krzyżowe). Człony maciczne są wypełnione macicą z zapłodnionymi jajami (w jednym członie znajduje się ok. 100 tys. jaj). Ostatnie człony wypełnione całkowicie jajami odrywają się i z kałem żywiciela wydostają się na zewnątrz.



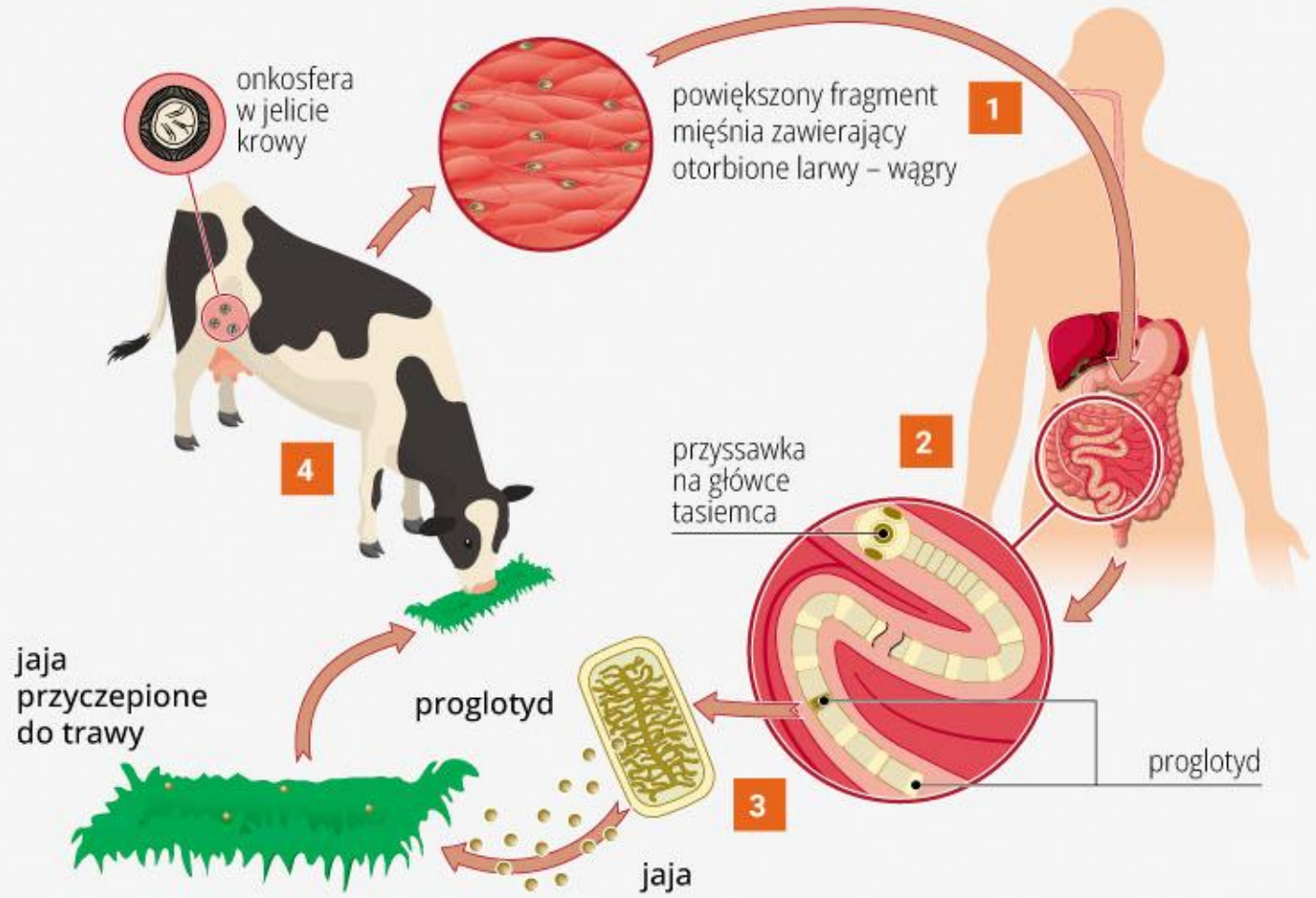
Cykle rozwojowe płazińców

Cykl rozwojowy przywry krwi (*Schistosoma haematobium*)



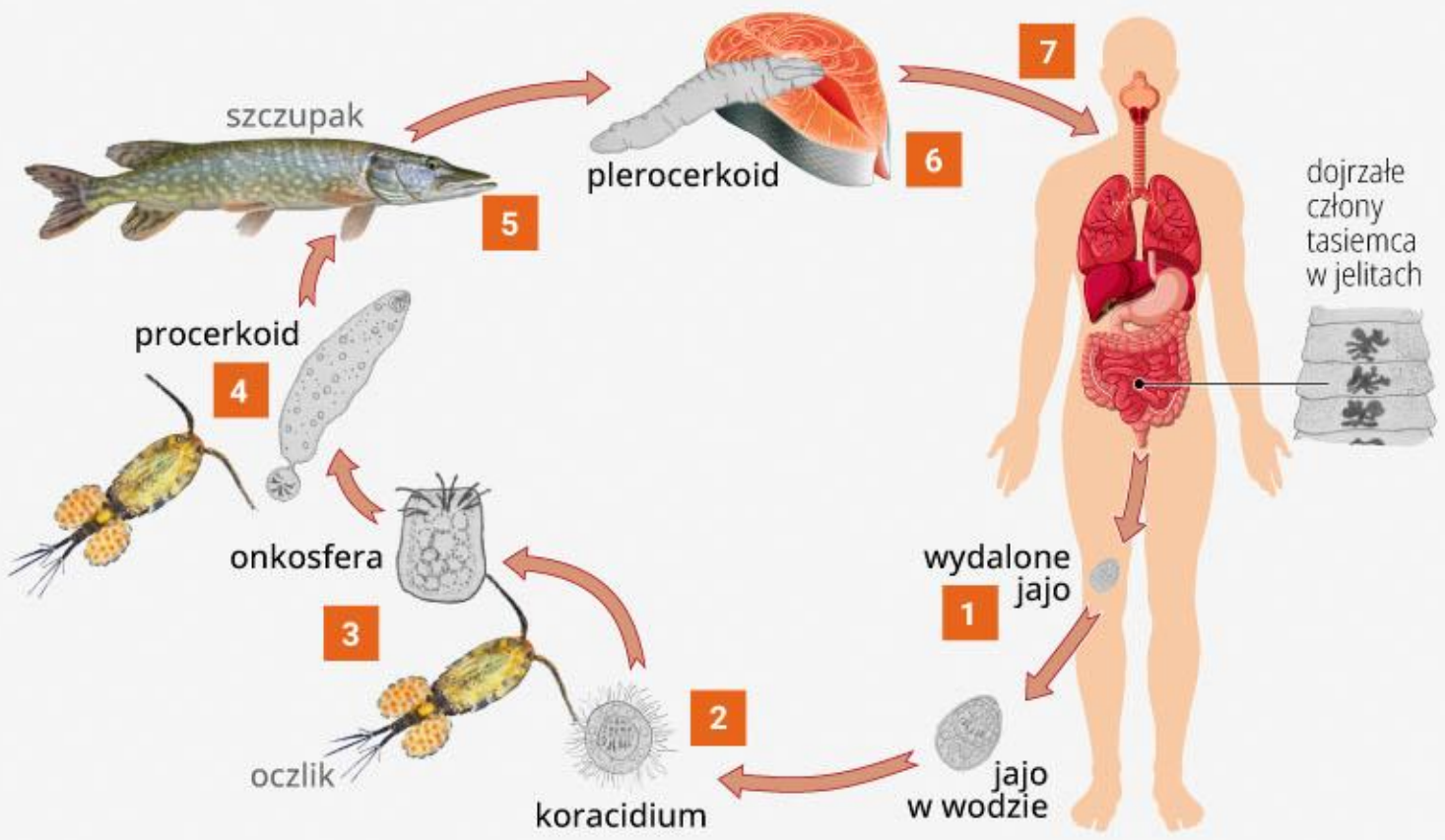
1. Wolno pływające larwy – cerkarie wwiercają się w skórę człowieka brodzącego w wodzie, np. podczas kąpieli w jeziorze czy pracy na polach ryżowych.
2. Larwy przedostają się do układu krążenia, gdzie dojrzewają. Rozmnażanie płciowe odbywa się w naczyniach krwionośnych pęcherza moczowego. Na brzusznej stronie ciała samców znajduje się długa bruzda, w której przebywa samica.
3. Jaja są składane w pęcherzu i wraz z moczem żywiciela ostatecznego są usuwane na zewnątrz.
4. Jeżeli jaja znajdą się w wodzie, wylęgają się z nich orzęsione, wolno żyjące larwy (miracidia, inaczej dziwadełka), które zaczynają pływać w poszukiwaniu żywiciela pośredniego.
5. Larwy muszą trafić do ciała żywiciela pośredniego – słodkowodnego ślimaka, gdzie przekształcają się w formy rozmnażające się bezpłciowo – nieruchliwą sporocystę, która partenogenetycznie tworzy kolejne pokolenie larw – redie; z redii rozwijają się następne pokolenie redii albo larwy następnego typu – cerkarie.
6. Cerkarie opuszczają ciało ślimaka i zaczynają pływać w wodzie za pomocą ruchliwego ogonka.

Cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego (*Taenia saginata*)



1. Człowiek – żywiciel ostateczny zjada niedogotowane mięso zarażone larwami – wągrami (pęcherzykami wypełnionymi płynem z główką tasiemca). W przewodzie pokarmowym osłonki wągra ulegają strawieniu, a larwy zostają uwolnione.
2. Larwy przyczepiają się do ściany jelita cienkiego i dojrzewają. W członach dorosłego tasiemca produkowane są komórki płciowe.
3. Człony zawierające zapłodnione jaja wraz z odchodami są wydalane na zewnątrz.
4. Wraz z trawą żywiciel pośredni – krowa – zjada jaja, z których w jego przewodzie pokarmowym rozwijają się larwy – onkosfery. Ulegają otorbieniu w mięśniach i przekształcają się w larwy – wągry.

Cykl rozwojowy bruzdogłowca szerokiego (*Diphyllobothrium latum*)



1. Z kałem żywiciela do wody dostają się jaja tasiemca.
2. Jajo w wodzie rozwija się w orzęsioną pływającą larwę – **koracidium**.

3. Dalszy rozwój tasiemca jest możliwy, jeśli koracidium zostaje połknięte przez pierwszego żywiciela pośredniego, drobnego skorupiaka z rodziny widłonogów – oczlika.
4. W przewodzie pokarmowym oczlika koracidium przekształca się w drugą larwę **onkosferę**, która dostaje się do jamy ciała i przekształca w kolejną larwę – **procerkoid**.
5. Jeśli zarażony oczlik zostaje zjedzony przez rybę (szczupaka, okonia, łososia), procerkoid przedostaje się do mięśni ryby lub układu rozrodczego i przekształca się w larwę – **plerocerkoid**.
6. Zarażone ryby zostają zjedzone przez większe ryby drapieżne.
7. Zarażenie człowieka następuje przez zjedzenie surowego mięsa ryb lub ikry (kawioru) zawierających plerocerkoidy, które rozwijają się w dorosłą postać bruzdogłowca.

Porównanie cykli rozwojowych najważniejszych płazińców pasożytniczych

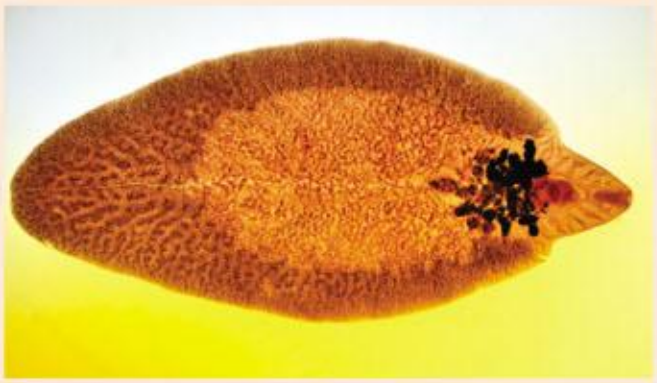
Gatunek	Postać wolno żyjąca	Żywiciel pośredni	Żywiciel ostateczny	Drogi zakażenia	Zapobieganie zakażeniom
motylica wątrobowa (*Fasciola hepatica*)	larwy pływające w wodzie – miracidium, cerkarie	ślimak słodkowodny-błotniarka moczarowa (*Galba truncatula*)	bydło, czasami człowiek	wypicie wody z larwami lub zjedzenie roślin z osadzonymi na nich larwami	gotowanie wody, zabezpieczenie wody przed zanieczyszczeniem fekaliami
przywra krwi* (*Schistosoma haematobium*)	larwy pływające w wodzie – miracodium, cerkarie	ślimak z rodzaju Bulinus	człowiek, rzadziej małpy	kąpiel w naturalnych zbiornikach wodnych zakażonych larwami, picie nieprzegotowanej wody pochodzącej z naturalnych zbiorników wodnych z larwami	osuszanie terenów będących siedliskiem ślimaków, kontrola wody do picia, kąpieli i celów gospodarczych, stosowanie odzieży ochronnej dla osób pracujących w wodzie zakażonej larwami
tasiemiec uzbrojony (*Taenia solium*)	brak	świnia	człowiek, ssaki drapieżne	spożycie mięsa zawierającego larwy (wągry)	niespożywanie surowego mięsa z nieznanego źródła, kontrola weterynaryjna mięsa przed dopuszczeniem do spożycia, ochrona gleby i wody przed przedostaniem się odchodów ludzkich
tasiemiec nieuzbrojony (*Taenia saginata*)	brak	bydło	człowiek, ssaki drapieżne	spożycie mięsa zawierającego larwy (wągry)	niespożywanie surowego mięsa z nieznanego źródła, kontrola weterynaryjna mięsa przed dopuszczeniem do spożycia, ochrona gleby i wody przed przedostaniem się odchodów ludzkich
tasiemiec bąblowiec (*Echinococcus granulosus*)	brak	przeżuwacze, konie, świnie, człowiek	ssaki drapieżne (pies, wilk, lis)	spożywanie nieumytych owoców leśnych, spożycie jaj zawartych w odchodach żywiciela ostatecznego	mycie owoców leśnych, przestrzeganie zasad higieny osobistej, systematyczne odrobaczanie psów

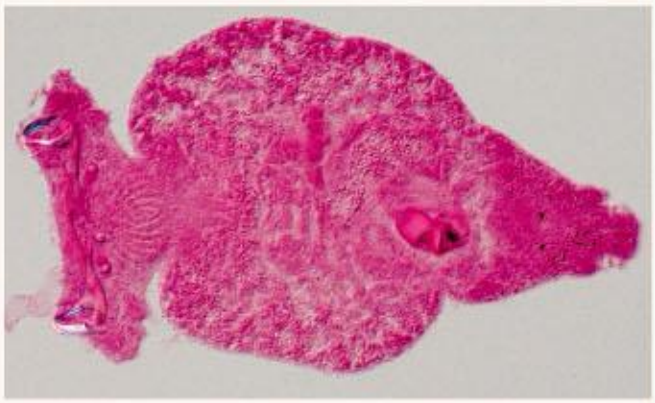
Gatunek	Postać wolno żyjąca	Żywiciel pośredni	Żywiciel ostateczny	Drogi zakażenia	Zapobieganie zakażeniom
bruzdogłowiec szeroki (*Diphyllobothrium latum*)	larwa – karacidium	pierwszy żywiciel – słodkowodny skorupiak, drugi żywiciel – ryby słodkowodne	człowiek, drapieżne ssaki	spożycie surowego mięsa ryb słodkowodnych lub ikry (kawioru) zawierających larwy	obróbka termiczna ryb lub ich solenie i mrożenie

* To gatunek rozdzielnopłciowy.

Przegląd płazińców

Płazińce wolno żyjące występują głównie w wodach słonych. Znane są także gatunki słodkowodne związane z jeziorami, stawami, źródłami, rzekami i strumieniami oraz lądowe występujące w wilgotnych obszarach stref tropikalnych. Natomiast płazińce pasożytnicze poprzez swoich żywicieli opanowały wszystkie środowiska. Płazińce liczą 23 000 gatunków, spośród których 18 000 stanowią pasożytnicze przywry i tasiemce.

Grupa płazińców	Charakterystyka	Przedstawiciele
wirki (*Turbellaria*)	• wolno żyjące drapieżniki • żyją w niezanieczyszczonych wodach słodkich • mają nieczłonowane ciało • orientację w środowisku ułatwia para oczu, rzęski po brzusznej stronie ciała, ruch falowy ciała dzięki mięśniom • do obrony i ataku służą **rabdity**, drobne struktury w komórkach nabłonka wyrzucane podczas podrażnienia	wypławek czarny (*Schmidtea lugubris*)  Wypławek biały (*Dendrocoelum lacteum*)  Wielooczka czarna (*Polycelis nigra*)
przywry (*Trematoda*)	• pasożyty zewnętrzne lub wewnętrzne innych zwierząt • mają nieczłonowane ciało • są związane ze środowiskiem wodnym, a ich żywicielami pośrednimi są głównie ślimaki i małże, rzadziej pierścienice • dorosłe przywry żyją w wielu narządach i układach, np. wątrobie, płucach, pęcherzu moczowym, moczowodach czy w układzie pokarmowym kręgowców	przywra kocia (*Opisthorchis felineus*), przywra krwi (*Schistosoma haematobium*), motyliczka (Dicrocoelium dendriticum)  Motylica wątrobowa (*Fasciola hepatica*)

Grupa płazińców	Charakterystyka	Przedstawiciele
przywry cd.	• przechodzą złożone cykle rozwojowe często z kilkoma stadiami larwalnymi i co najmniej dwoma żywicielami • niektóre larwy są zdolne do rozmnażania bezpłciowego (np. u motylicy wątrobowej) • przystosowaniem do pasożytniczego trybu życia jest **aparat czepny** (dwie, **przyssawki** – **gębowa** i **brzuszna**) • są obojnakami, a u niektórych występuje samozapłodnienie	 Przywry skrzelowe – pasożyty zewnętrzne ryb słodkowodnych
tasiemce (*Cestoda*)	• pasożyty wewnętrzne • formy dorosłe żyją w przewodzie pokarmowym wszystkich kręgowców, również człowieka • larwy bytują w różnych narządach kręgowców i bezkręgowców • ciało członowane podzielone na: **główkę** (**skoleks**) z **aparatem czepnym w postaci przyssawek**, **bruzd** i **haczyków**; **szyjkę** będącą miejscem powstawania nowych członów oraz **strobilę** – zbudowaną z członów, z których najstarsze praktycznie składają się z narządów rozrodczych męskich i żeńskich • brak układu pokarmowego (wchłanianie całą powierzchnią ciała) • skomplikowana przemiana pokoleń związana ze zmianą żywicieli	tasiemiec uzbrojony i nieuzbrojony, bruzdogłowiec szeroki  Tasiemiec bąblowcowy

Znaczenie płazińców

1. Wolno żyjące wirki jako drapieżniki są naturalnym regulatorem liczebności ofiar.
2. Stanowią pokarm większych drapieżników.
3. Przywry i tasiemce powodują duże szkody w pogłowiu zwierząt hodowlanych i przyczyniają się do osłabienia ich kondycji lub chorób.
4. Przywry i tasiemce są przyczyną chorób ludzi, zwłaszcza na obszarach o niskiej kulturze sanitarnej.

Wrotki

Wrotki (*Rotifera*) to zwierzęta trójwarstwowe, o dwubocznej symetrii, prowadzące w większości aktywny tryb życia. Tylko niektóre są osiadłe. Spotyka się także formy kolonijne. Posiadają drożny przewód pokarmowy. Ich narządy wewnętrzne znajdują się w **pseudocelomie**, w pierwotnej jamie ciała wypełnionej płynem. Są rozdzielnopłciowe, z wyraźnym dymorfizmem płciowym. Niektóre gatunki rozmnażają się partenogenetycznie.

Budowa ciała wrotków

– ciało ma kształt cylindryczny, kulisty, wydłużony lub tarczowaty;

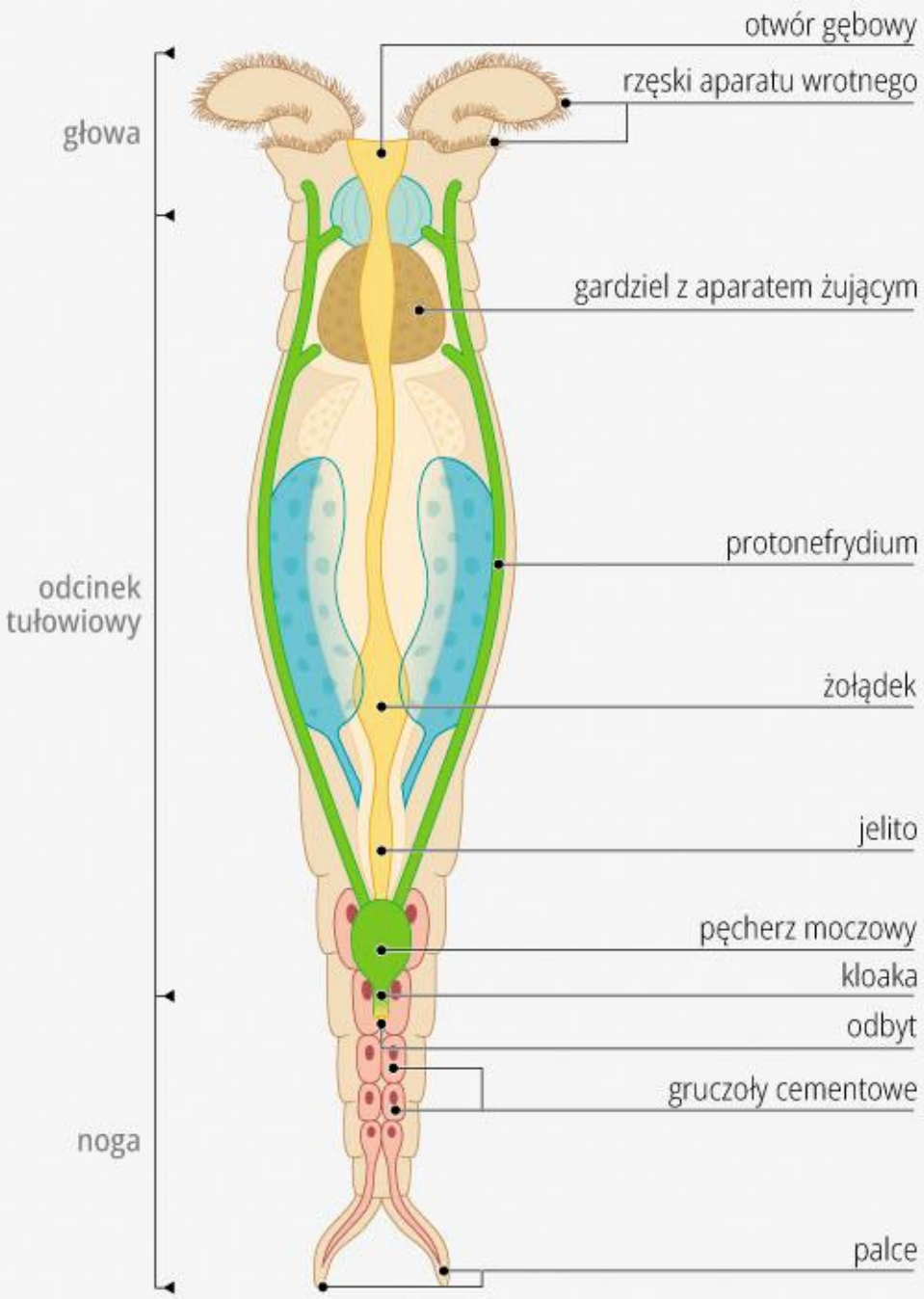
– płyn wypełniający pseudocelomę spełnia funkcję hydroszkieletu;

– ciało składa się z trzech odcinków: głowy z aparatem rzęskowym, odcinka tułowiowego z narządami wewnętrznymi oraz nogi zakończonej jednym lub dwoma wyrostkami – palcami (służącymi do poruszania się) z gruczołami cementowymi służącymi do przyczepiania się do podłoża;

– **aparat wrotny** składa się z dwóch pierścieni rzęsek, których ruch powoduje powstanie wirów wody napędzającej pokarm do otworu gębowego; umożliwia się poruszanie, uczestniczy w usuwaniu szkodliwych i zbędnych produktów przemiany materii oraz rozpoznawaniu osobników swojego gatunku;

– brak wora skórno-mięśniowego, ściana ciała zbudowana z syncytialnego nabłonka od zewnątrz okrytego naskórkiem, który u niektórych gatunków może wytwarzać sztywny pancerz w odcinku tułowiowym;

– układ mięśniowy tworzą pasma mięśni podłużnych i okrężnych.



Czynności życiowe wrotków

Układ pokarmowy

– Wrotki odżywiają się drobnymi organizmami jednokomórkowymi – wiciowcami, glonami.

– Mają drożny układ pokarmowy – otwór gębowy prowadzi do jamy gębowej, która rozszerza się w gardziel z charakterystycznym aparatem żującym służącym do rozcierania pokarmu; gardziel, do której uchodzą gruczoły ślinowe, przechodzi w przełyk, za którym znajduje się żołądek i jelito tylne zakończone **kloaką** (**stekiem** – końcowym odcinkiem jelita, do którego uchodzą przewody układów rozrodczego i wydalniczego).

Układ wydalniczy

Protonefrydialny.

Układ nerwowy

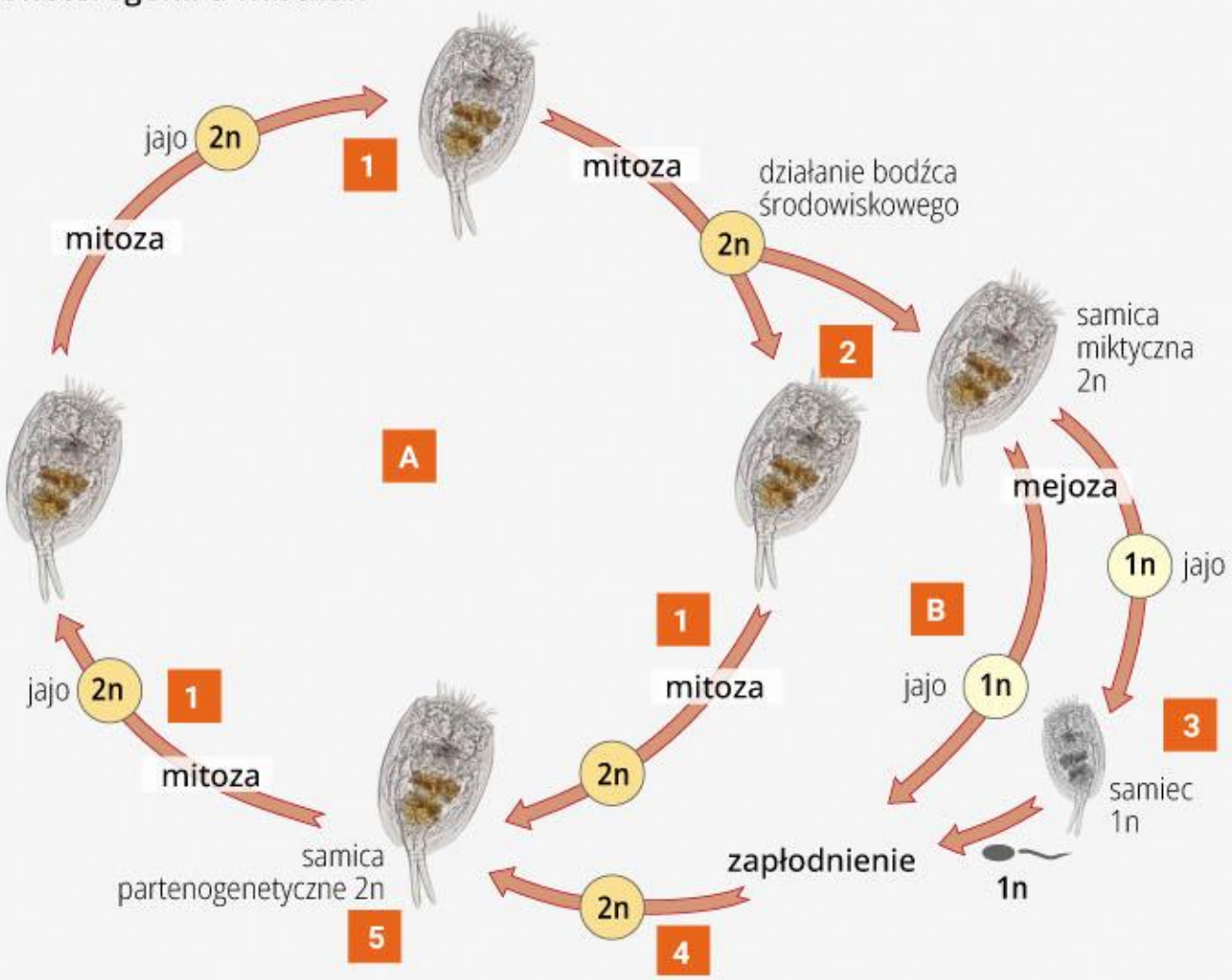
– Scentralizowany w odcinku głowowym – składa się z trzech zwojów: mózgowego, aparatu rzęskowego i zwoju nożnego; od zwojów odchodzą parzyste nerwy do narządów ciała.

– Narządy zmysłów dobrze rozwinięte u gatunków wolno żyjących – czułki z włoskami dotykowymi, chemoreceptory, fotoreceptory w postaci światłoczułych plamek.

Rozmnażanie i rozwój

- Bezpłciowo – na drodze partenogenezy (samice produkują następne pokolenie samic z niezapłodnionych jaj).
- Płciowo – są rozdzielnopłciowe z wyraźnie zaznaczonym dymorfizmem płciowym (samce są mniejsze od samic i giną po kopulacji).
- Układ rozrodczy żeński zbudowany jest z parzystych jajników (produkcja komórek jajowych) i odchodzących od nich jajowodów; układ rozrodczy męski składa się z jądra (produkcja plemników) oraz nasieniowodu (końcowego jego odcinka tworzącego narząd kopulacyjny).
- Zapłodnienie wewnętrzne.
- Występuje zjawisko heterogonii – następowanie po sobie pokoleń dwupłciowych (rozmnażających się płciowo) oraz pokoleń wyłącznie żeńskich (rozmnażających się partenogenetycznie).

Schemat heterogonii u wrotków



A. partenogeneza

B. rozmnażanie płciowe

1. Samice partenogenetyczne (amiktyczne) na drodze podziałów mitotycznych produkują diploidalne jaja, z których rozwija się następne pokolenie partenogenetycznych samic.
2. Działanie bodźca środowiskowego, np. braku pokarmu, powoduje rozwój miktycznych samic, które produkują haploidalne jaja (podział mejotyczny).
3. Z niektórych haploidalnych jaj powstają haploidalne samce produkujące plemniki.
4. Po zapłodnieniu haploidalnych jaj haploidalnymi plemnikami powstają diploidalne jaja spoczynkowe (mają charakter przetrwalnikowy).
5. Z jaj przetrwalnikowych rozwijają się partenogenetyczne samice (amiktyczne).

Znaczenie wrotków

1. Jako podstawowy składnik zooplanktonu zbiorników słodkowodnych stanowią istotny element łańcucha troficznego ekosystemów wodnych.
2. Są konsumentami (pierwszego rzędu i drapieżnikami) materii organicznej w zbiornikach wodnych.
3. Stanowią pokarm dla innych zwierząt, m.in. parzydełkowców, skorupiaków, larw owadów, ryb.
4. Niektóre gatunki, np. *Brachionus calyciflorus*, są hodowane jako pokarm jadalnych skorupiaków (np. krewetek) lub narybku.

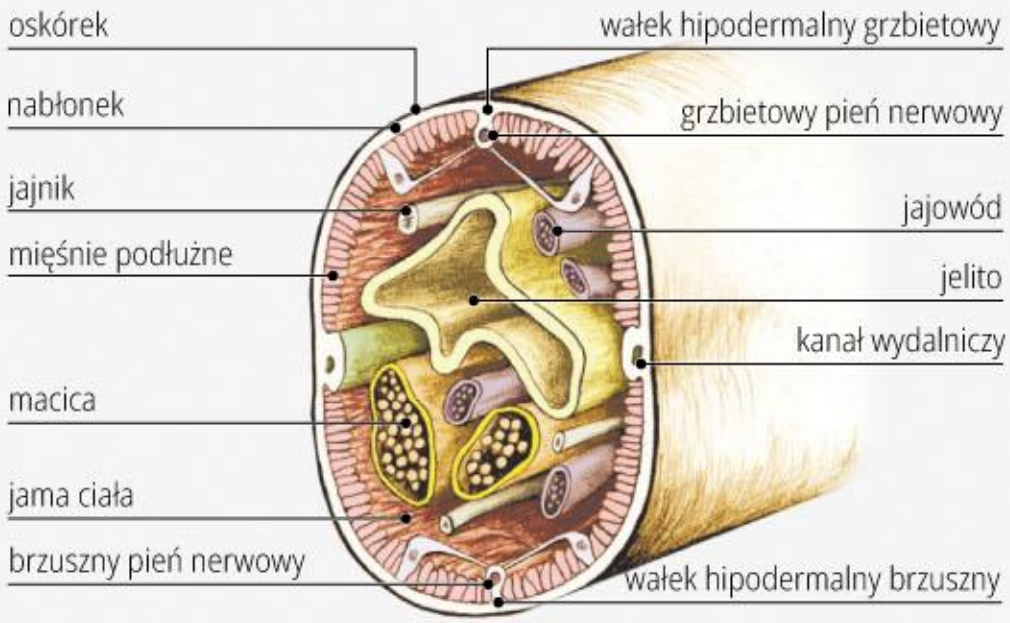
Nicienie

Nicienie (*Nematoda*) to trójwarstwowe, niesegmentowane, dwubocznie symetryczne zwierzęta **pseudocelomatyczne**, o wydłużonym, obłym i zwężonym na obu końcach ciele, których przewód pokarmowy kończy się otworem odbytowym. Ciało jest pokryte okresowo zrzucanym oskórkiem. Oprócz form wolno żyjących duża liczba gatunków to pasożyty roślin, zwierząt i człowieka.

Budowa ciała nicieni

- ciało okrywa wór powłokowo-mięśniowy zbudowany z oskórka (kutykula) będącego wytworem jednowarstwowego nabłonka hipodermalnego; pełni następujące funkcje:
  chroni ciało przed niekorzystnym wpływem czynników środowiska zewnętrznego;
  pozwala na wymianę substancji chemicznych między wnętrzem ciała a środowiskiem;
  razem z płynem wypełniającym jego wnętrze (o ciśnieniu wyższym od panującego na zewnątrz) pełni funkcję zewnętrznego szkieletu hydraulicznego;
- oskórek jest zbudowany z białek podobnych do kolagenu i keratyny (cieńszy u form wolno żyjących, grubszy u form pasożytniczych), okresowo zrzucany podczas **linienia, po czym następuje wzrost zwierzęcia;**
- nabłonek hipodermalny tworzy cztery zgrubienia – wałki hipodermalne biegnące wzdłuż całego ciała;
- pod hipodermą znajdują się pojedyncze pasma mięśni o podłużnych włóknach (brak okrężnych i skośnych);
- mięśnie pasm grzbietowych i brzusznych pracują antagonistycznie, co powoduje zginanie ciała w płaszczyźnie grzbietowo-brzusznej;
- bezbarwne ciało; wiele gatunków jest przezroczystych (u niektórych zabarwienie nadaje pokarm wypełniający przewód pokarmowy lub barwniki krwi żywiciela).

Schemat budowy wewnętrznej nicienia



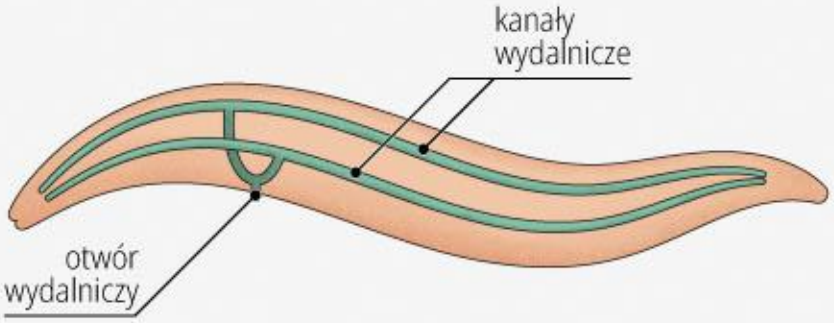
Czynności życiowe nicieni

Układ pokarmowy

- trawienie zewnątrzkomórkowe;
- drożny układ pokarmowy – jelito z otworem gębowym i odbytowym;
- układ pokarmowy składa się z trzech odcinków: jelita przedniego, środkowego i tylnego (jelito przednie i tylne są wyścielone oskórkiem pochodzenia ektodermalnego, a jelito środkowe – endodermalnego);
- jelito przednie rozpoczyna się otworem gębowym (otoczonym wargami z receptorami dotyku), który przechodzi w jamę gębową zaopatrzoną w kutykularne ząbki lub kłująco-ssące sztyleciki (u pasożytów do przebijania ciała ofiary); za jamą gębową znajduje się umięśniona gardziel, działająca jak pompa ssąco-tłocząca; do jelita przedniego wydzielane są enzymy produkowane przez gruczoły trawienne;
- jelito środkowe wytwarza mikrokosmki zwiększające powierzchnię wchłaniania substancji odżywczych.

Układ wydalniczy

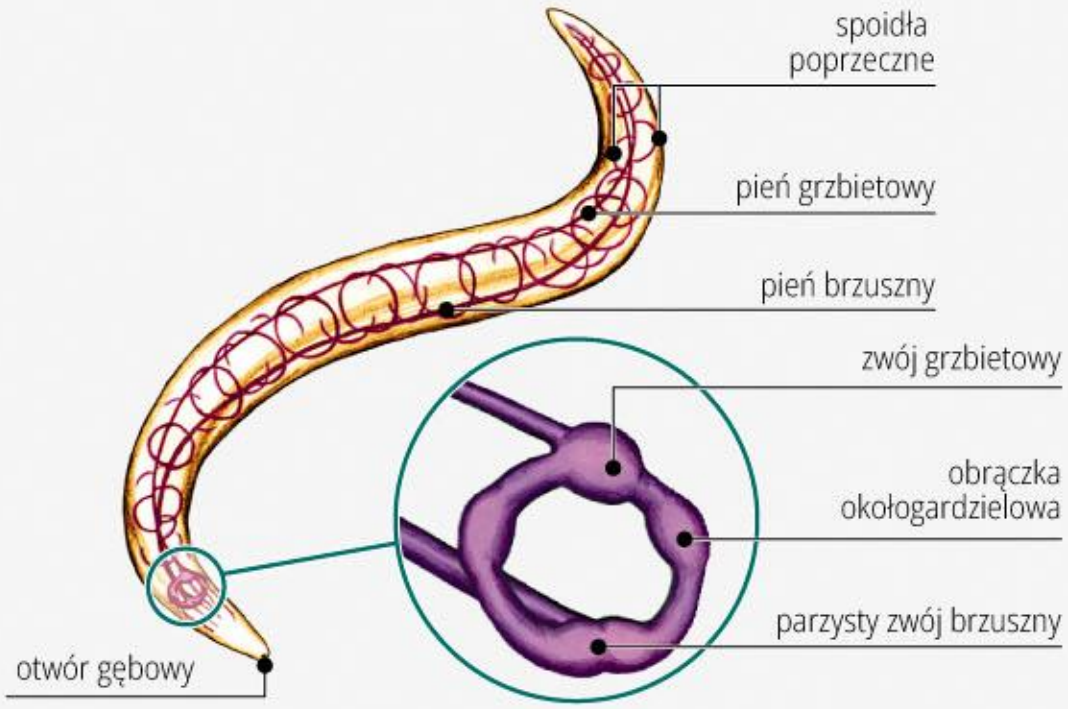
- typ protonefrydialny pozbawiony komórek płomykowych;
- pełni głównie funkcję osmoregulacyjną, a w mniejszym stopniu usuwa zbędne produkty przemiany materii;
- u większości gatunków ma kształt litery H, tworzą go dwa podłużne kanały wydalnicze biegnące wzdłuż całego ciała (w bocznych wałkach hipodermalnych), łączące się w przedniej części ciała, po jego brzusznej stronie w przewód wyprowadzający zakończony otworem wydalniczym;
- u niektórych komórki fagocytarne zatrzymujące i gromadzące na stałe nierozpuszczalne produkty przemiany materii oraz ciała stałe (np. bakterie).



Schemat układu wydalniczego glisty ludzkiej (*Ascaris lumbricoides*)

Układ nerwowy

- **pierścień okołogardzielowy** (kilka par zwojów nerwowych), od którego ku przodowi ciała odchodzą krótkie pnie nerwowe, a ku tyłowi – długie pnie nerwowe (dwa grube – grzbietowy i brzuszny – biegną w wałkach hipodrmalnych), są one połączone ze sobą półpierścieniowymi poprzecznymi spoidłami;
- narządy zmysłu nicieni to: mechanoreceptory w postaci brodawek czuciowych (wokół otworu gębowego), chemoreceptory w kształcie szczecinek, fotoreceptory (skupiska komórek w postaci oczek).

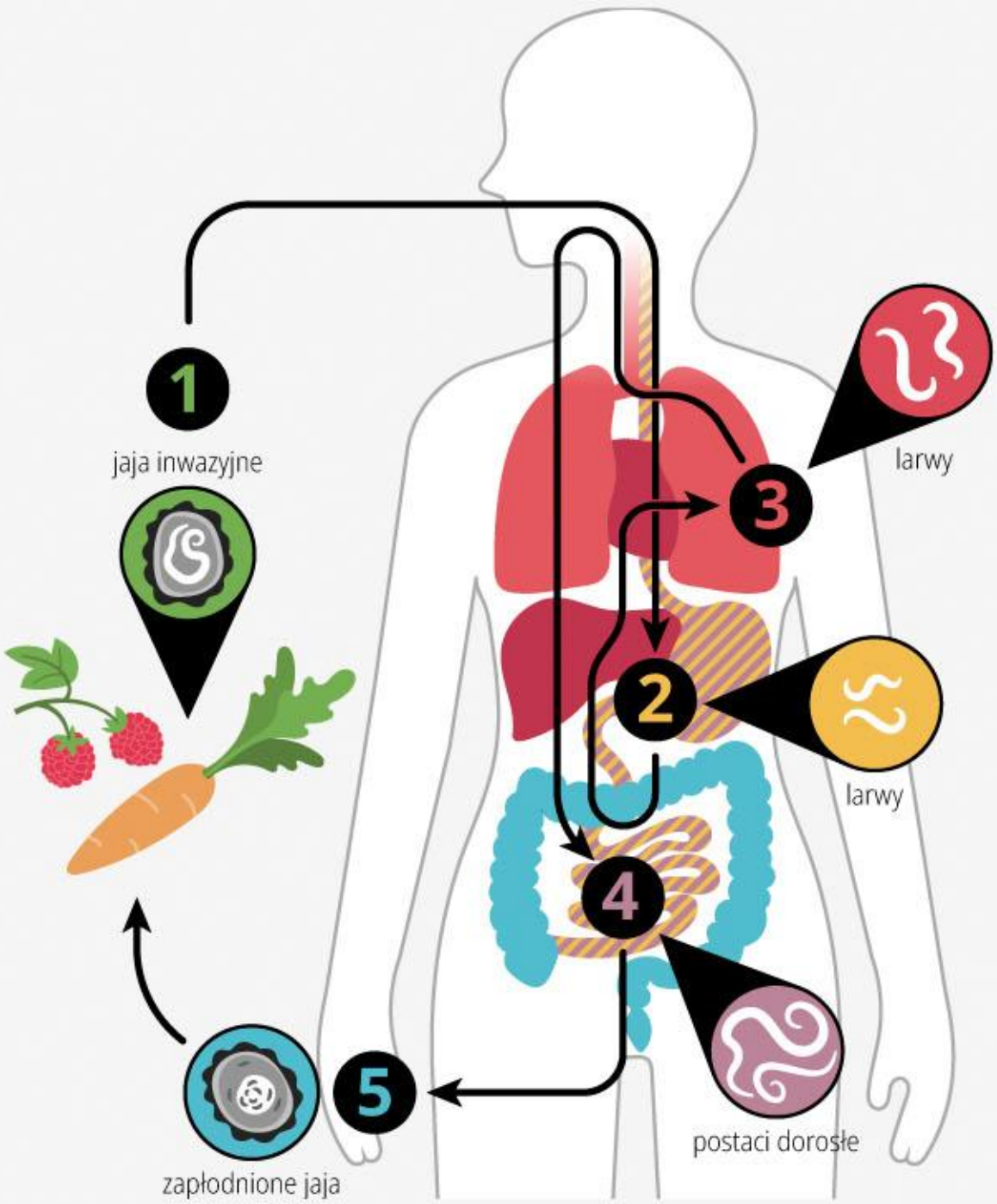


Schemat budowy układu nerwowego glisty ludzkiej

Układ rozrodczy i rozwój nicieni

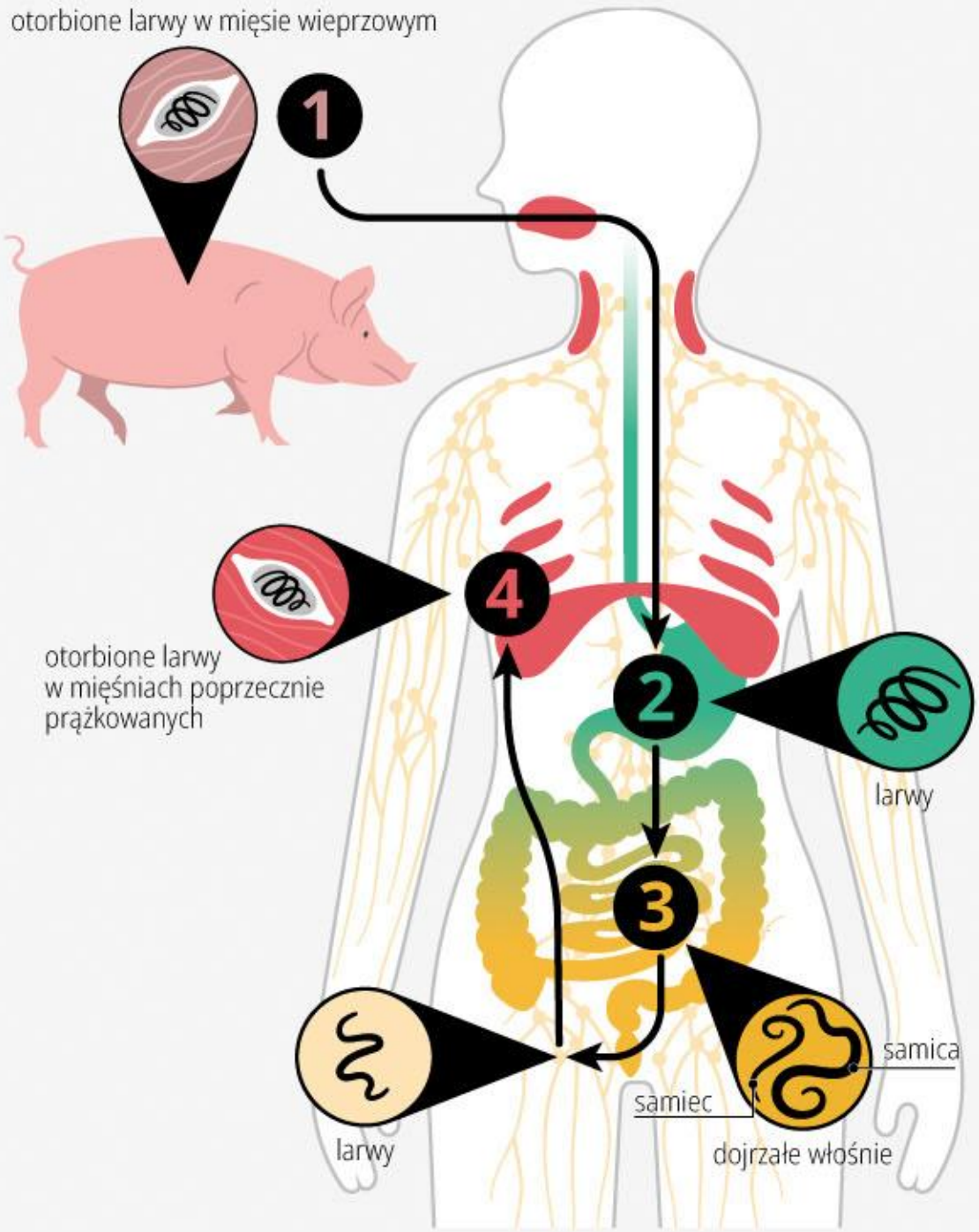
- w większości **rozdzielnopłciowe**, z dymorfizmem płciowym (samce są mniejsze od samic, ich tylna część ciała jest zagięta lub spiralnie zwinięta), partenogeneza występuje u nicieni będących pasożytami roślin;
- narządy rozrodcze o budowie cewkowatej: żeński składa się z jajnika, jajowodu, macicy, pochwy, a męski tworzą: jądro, nasieniowód, kanał wytryskowy otwierający się do jelita tylnego zwanego stekiem (kloaką), narząd kopulacyjny;
- zapłodnienie najczęściej wewnętrzne, samce niektórych gatunków po nim giną;
- w większości jajorodne, niektóre gatunki żyworodne (np. włosień);
- rozwój prosty lub złożony, większość nicieni przechodzi cykl rozwojowy bez żywicieli pośrednich (**pasożyty monokseniczne**), co zwiększa szanse na przeżycie kolejnych pokoleń pasożyta i ogranicza koszty związane z poszukiwaniem organizmu niezbędnego do kontynuowania dalszego rozwoju.

Cykl rozwojowy glisty ludzkiej (*Ascaris lumbricoides*)



1. Zakażenie następuje w wyniku połknięcia jaj inwazyjnych podczas spożycia nieumytych warzyw nawożonych odchodami ludzkimi lub podczas picia wody zanieczyszczonej gnojowicą.
2. Po połknięciu jaja inwazyjne dostają się do żołądka i jelita, a pod wpływem enzymów trawiennych z osłon jaj wydostają się larwy, które przebijają ściany naczyń krwionośnych jelita.
3. Wraz z krwią larwy wędrują przez wątrobę i serce do płuc, ponieważ do dalszego rozwoju potrzebują środowiska zasobnego w tlen; w pęcherzykach płucnych przechodzą dwukrotnie linienie i po osiągnięciu ok. 2 mm długości z płuc wędrują do tchawicy i gardła.
4. Po odruchowym połknięciu wędrują ponownie do żołądka i jelita cienkiego, gdzie linieją i osiągają dojrzałość płciową. Po kopulacji samica w ciągu doby składa ok. 200 tys. zapłodnionych jaj. Jaja wydostają się na zewnątrz z kałem żywiciela.
5. W środowisku zewnętrznym, przy odpowiedniej temperaturze, wilgotności i dostępie tlenu w ciągu kilku tygodni w jaju rozwija się larwa i powstaje jajo inwazyjne; w takiej postaci jaja zachowują zdolność do życia przez wiele lat.

Cykl rozwojowy włośnia krętego (*Trichinella spiralis*)



1. Zakażenie następuje po zjedzeniu surowego lub niedogotowanego mięsa świni domowej lub dzika, zawierającego otorbione larwy włośnia.
2. W żołądku pod wpływem enzymów trawiennych otorbione larwy zostają uwolnione z otoczek.
3. Larwy wędrują do jelita cienkiego, w którym po 2–3 dniach osiągają dojrzałość płciową i kopulują. Po kopulacji samce giną, a samice przedostają się do naczyń limfatycznych, następnie do węzłów limfatycznych, gdzie każda rodzi ok. 1500 larw.
4. Larwy przemieszczają się do krwi, a wraz z nią do mięśni poprzecznie prążkowanych (głównie mięśni szyi, języka, przepony, mięśni międzyżebrowych), w których rosną, zwijają się spiralnie i wytwarzają łącznotkankowe osłonki (otorbiają się); w tej postaci mogą przetrwać 50 lat, zachowując zdolność do rozwoju.

Najważniejsze nicienie pasożytnicze

	Żywiciele	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
glista ludzka (*Ascaris lumbricoides*)	człowiek	spożycie pokarmów lub wypicie wody zanieczyszczonej fekaliami	podczas migracji larw – gorączka, uporczywy kaszel, wysypka na skórze, podczas obecności w jelicie – bóle brzucha, brak łaknienia, nudności, wymioty, zaparcia lub biegunki, zawroty głowy, bezsenność, apatia, nadmierna pobudliwość; przy dużym zarażeniu może dojść do zaczopowania światła jelita lub przewodów żółciowych w wątrobie	zachowanie zasad higieny osobistej; dokładne mycie owoców i warzyw spożywanych w stanie surowym, ochrona sanitarna gleby i wody przed odchodami ludzkimi
włosień kręty (*Trichinella spiralis*)	drapieżne i wszystkożerne ssaki (niedźwiedź, świnia, szczur, lis) oraz człowiek	zjedzenie niezbadanego weterynaryjnie mięsa świni domowej lub dzika, w którym znajdują się otorbione larwy	do 7 dni po zarażeniu bezobjawowo lub nieżyty jelit i biegunka; następne 5 tygodni – bóle mięśni, zmęczenie, gorączka, obrzęk twarzy (głównie podczas wędrówki larw w układzie krążenia i podczas ich osadzania się w narządach wewnętrznych); obecność ponad 1 mln włośni może spowodować śmierć człowieka	kontrola weterynaryjna mięsa wieprzowego, spożywanie tylko mięsa poddanego kontroli weterynaryjnej, utrzymanie na właściwym poziomie stanu sanitarnego hodowli i higieny żywienia trzody chlewnej
owsik ludzki (*Enterobius vermicularis*)	człowiek	zapłodnione jaja składane przez samicę w odbycie żywiciela, co powoduje silne swędzenie – jaja są przenoszone na rękach, częste jest samozarażenie; najczęściej zakażają się dzieci	świąd okolicy odbytu, bóle brzucha, nudności, brak apatytu, nadmierna pobudliwość, obecność nitkowatych samic owsików widocznych gołych okiem w świeżym kale	zachowanie zasad higieny osobistej oraz pomieszczeń (wyschnięte jaja mogą się unosić w powietrzu), mycie owoców i jarzyn przed spożyciem
włosogłówka ludzka (*Trichuris trichiura*)	człowiek	jaja wraz z kałem żywiciela wydostają się na zewnątrz, zakażenie na skutek spożycia pokarmu lub wody zakażonych jajami	zapalenie wyrostka robaczkowego, anemia, choroby wrzodowe przewodu pokarmowego, zmiany alergiczne skóry	mycie warzyw i owoców przed spożyciem, ochrona sanitarna wody przed odchodami ludzkimi
filaria Bancrofta (*Wuchereria bancrofti*)	człowiek i małpy (żywiciel ostateczny), komar (żywiciel pośredni)	ukąszenie komara przenoszącego larwy	poszerzenie i pogrubienie naczyń chłonnych, zwolnienie przepływu limfy w naczyniach chłonnych, przerost różnych części ciała (np. waga przerośniętej nogi może dochodzić do 70 kg)	zwalczanie komarów, stosowanie środków chroniących przed ukąszeniem komarów (moskitiery, środki odstraszające komary)

	Żywiciele	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
tęgoryjec dwunastniczy (*Ancylostoma duodenale*)	człowiek	larwy wnikają najczęściej przez skórę w czasie brodzenia w wodzie lub chodzenia boso po wilgotnej glebie zanieczyszczonej larwami, spożywanie nieumytych warzyw i owoców	anemia, silne krwotoki, silne swędzenie skóry, objawy przypominające zapalenie płuc	unikanie chodzenia boso na obszarach, gdzie występuje tęgoryjec (kraje tropikalne i subtropikalne), mycie warzyw i owoców przed spożyciem, unikanie picia nieprzegotowanej wody

Znaczenie nicieni

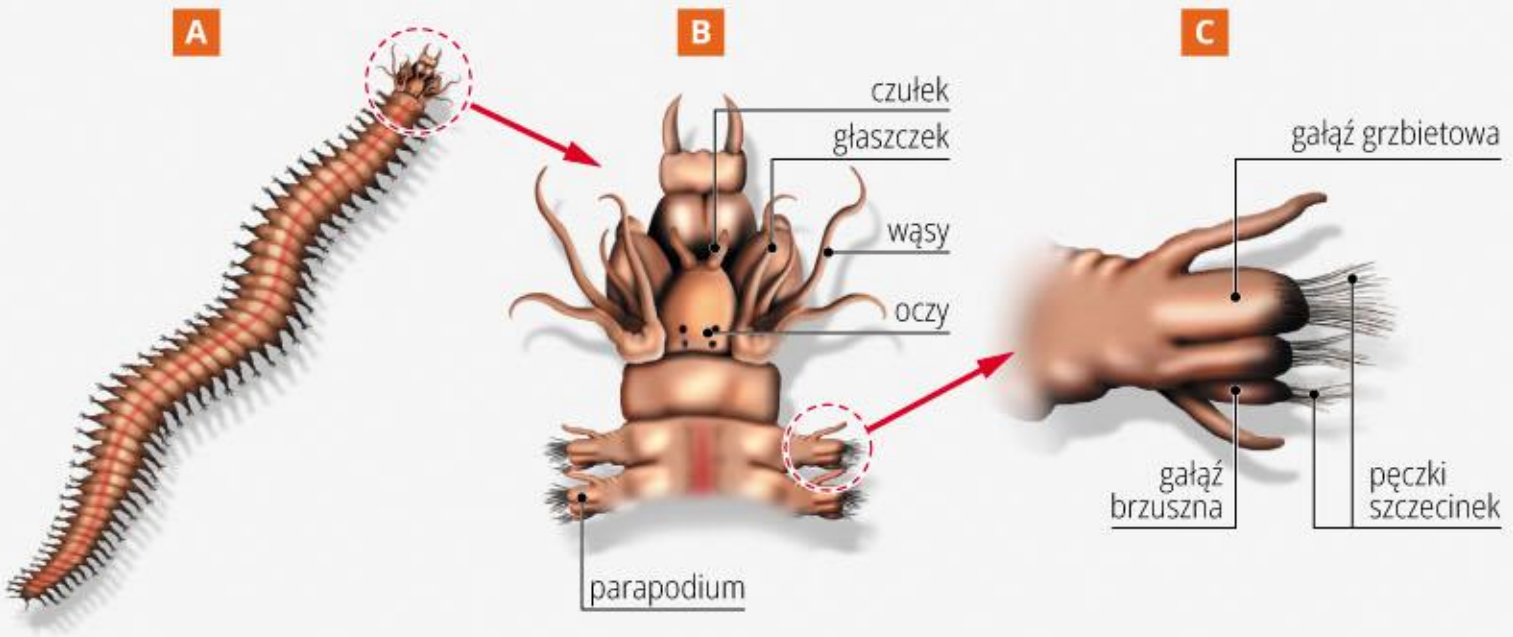
1. Nicienie wolno żyjące jako konsumenci mikroorganizmów i martwej materii organicznej uczestniczą w krążeniu pierwiastków w przyrodzie i procesach glebotwórczych.
2. Niektóre pasożytnicze gatunki nicieni żyjące w ciałach owadów szkodników roślin uprawnych, np. stonka ziemniaczana i bielinek kapustnik, mogą być wykorzystywane do walki z tymi szkodnikami (walka biologiczna).
3. Nicienie będące wektorami wirusów roślinnych wywołują skażenie gleby, co prowadzi do poważnych szkód w uprawach roślin.
4. Gatunki pasożytnicze roślin powodują duże straty, co prowadzi do obniżenia wartości roślin i zmniejszenia ich plonów, np. mątwik buraczany (*Heterodera schachtii*) – pasożyt buraków, brukwi, rzepaku; węgorek pszeniczny (*Anguillulina tritici*) – pasożyt pszenicy i żyta.
5. Gatunki pasożytnicze zwierząt hodowlanych obniżają wartość i wydajność hodowli. Gatunki pasożytnicze człowieka wywołują groźne choroby o różnym przebiegu i skutkach, mogące nawet doprowadzić do śmierci.
6. Niektóre gatunki służą jako organizmy modelowe do prowadzenia eksperymentów biologicznych, np. bakteriożerny nicień glebowy *Caenorhabditis elegans* (organizm modelowy w badaniach nad rozwojem, zachowaniem oraz ekspresją genów), węgorek octowy *Turbatrix aceti* (może żyć w środowisku o silnym zakwaszeniu, pH około 1 – stężony kwas octowy).

Pierścienice

Pierścienice (*Annelida*) są zwierzętami trójwarstwowymi, o wyraźnej segmentacji ciała (metamerii). Występuje u nich **wtórna jama ciała** – celoma wypełniona płynem (szkielet hydrauliczny), **zamknięty układ krwionośny** i **metanefrydialny układ wydalniczy**.

Budowa ciała pierścienic

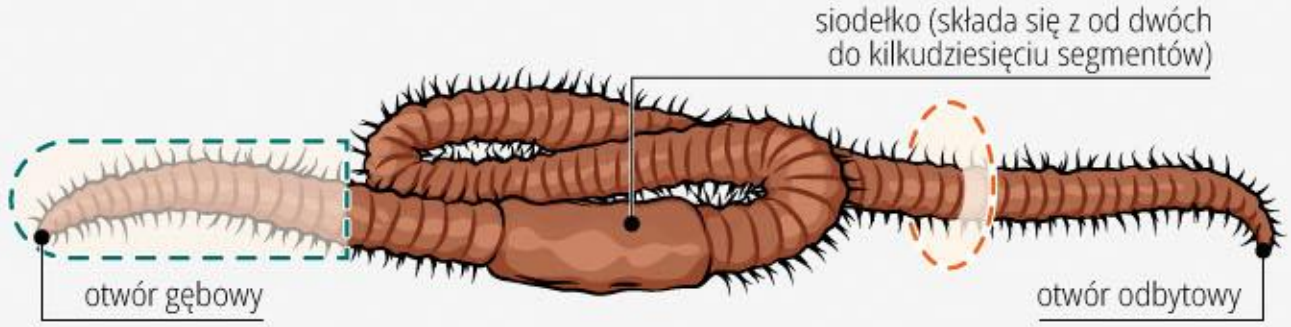
- ciało podzielone na odcinki zwane **segmentami** (metamerami) oddzielonymi przegrodami poprzecznymi; segmenty mogą być podobne do siebie i mieć podobny zestaw narządów (**segmentacja homonimiczna**) lub się różnić (**segmentacja heteronomiczna**);
- pierwszy segment (przedgębowy), drugi (gębowy) i ostatni (analny) różnią się budową niezależnie od rodzajów segmentacji;
- u niektórych gatunków wyodrębnił się odcinek głowowy (w **procesie cefalizacji**);
- u wieloszczetów na poszczególnych segmentach występują dwa **parapodia** (pranóża) – dwugałęziste boczne wyrostki ze szczecinkami, u gatunków wodnych zaopatrzone w skrzela, u skąposzczetów występują tylko szczecinki, a u pijawek brak;



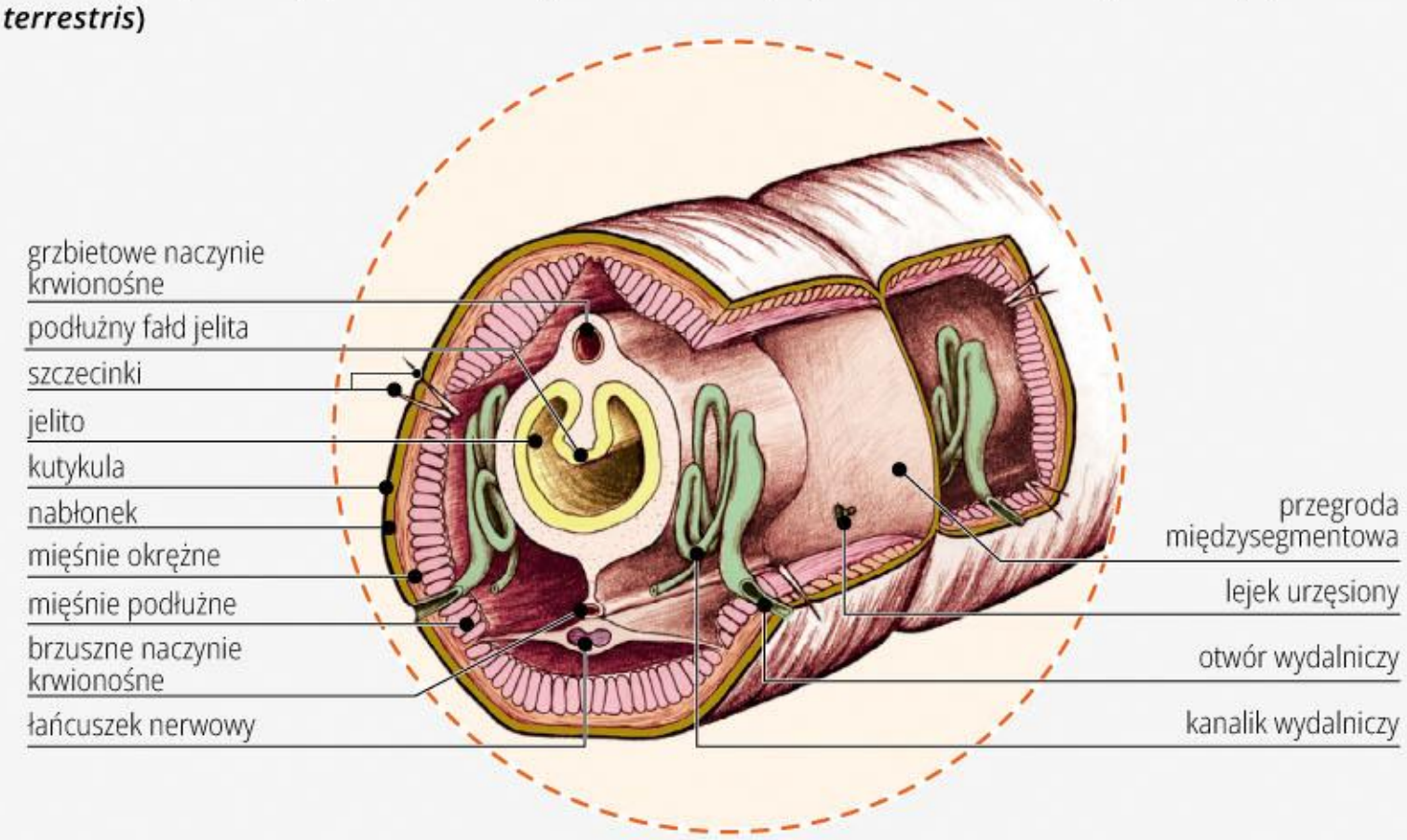
Budowa ciała pierścienic na przykładzie nereidy różnokolorowej (*Nereis diversicolor*): A. ogólny pokrój ciała, B. odcinek głowowy, C. budowa parapodium

- ciało pierścienic pokrywa wór powłokowo-mięśniowy zbudowany z jednowarstwowego nabłonka pokrytego kolagenowym oskórkiem oraz mięśni okrężnych i podłużnych;
- wytworem nabłonka u niektórych pierścienic są gruczoły śluzowe w siodełku (struktura zbudowana z kilku większych segmentów, uczestnicząca w rozmnażaniu); ich wydzielina tworzy kokon, w którym rozwijają się jaja.

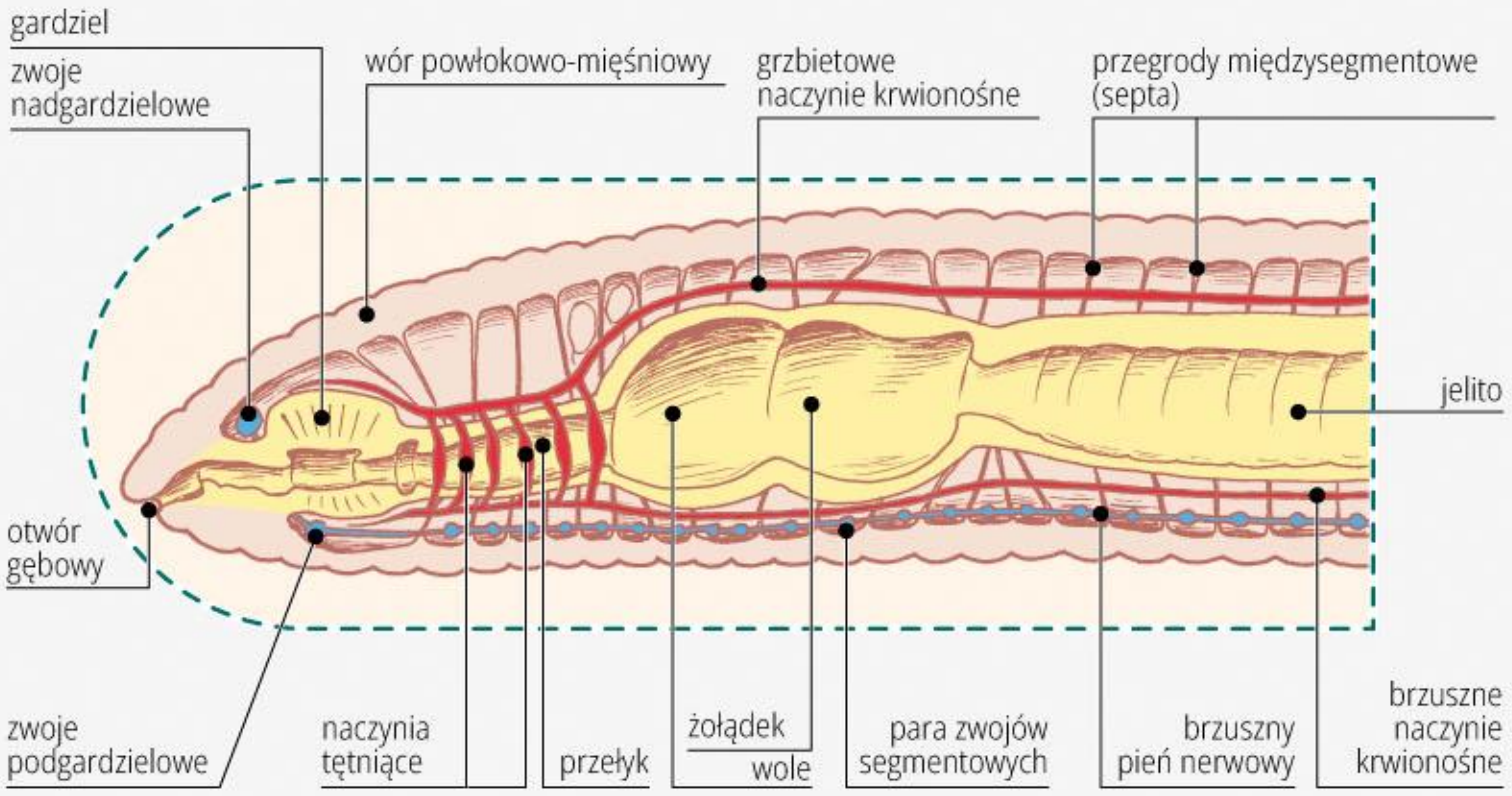
Budowa zewnętrzna skąposzczeta na przykładzie dżdżownicy ziemnej (*Lumbricus terrestris*)



Przekrój poprzeczny przez ciało skąposzczeta na przykładzie dżdżownicy ziemnej (*Lumbricus terrestris*)



Przekrój podłużny przez ciało skąposzczeta na przykładzie dżdżownicy ziemnej (*Lumbricus terrestris*)



Czynności życiowe pierścienic

Układ pokarmowy

- głównie zwierzęta drapieżne, część morskich gatunków odżywia się na drodze filtracji, a lądowe zjadają martwą materię organiczną – **detrytus;**
- drożny układ pokarmowy składa się z jelita przedniego, środkowego i tylnego; pokarm przesuwa się dzięki ruchom perystaltycznym;
- w jelicie przednim występuje silnie umięśniona gardziel, u gatunków drapieżnych zaopatrzona w kutykularne zęby lub szczęki;
- u skąposzczetów i pijawek przełyk w dolnej części tworzy rozszerzone **wole**, w którym jest gromadzony pokarm (u pijawek składa się z kilku par kieszeni do magazynowania krwi, której krzepnięciu zapobiega **hirudyna** – substancja białkowa wydzielana przez gruczoły ślinowe gardzieli);
- u glebożernych pierścienic, np. dżdżownicy, do przełyku otwierają się **gruczoły wapienne**, które zobojętniają treść pokarmową.

Układ oddechowy

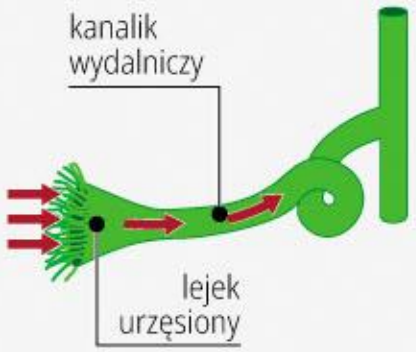
- wymiana gazowa u lądowych i słodkowodnych gatunków odbywa się całą powierzchnią ciała;
- morskie pierścienice mają narządy oddechowe w postaci **skrzeli zewnętrznych** (dobrze ukrwione wyrostki parapodiów).

Układ krwionośny

- układ zamknięty, składa się z dwóch naczyń: grzbietowego i brzusznego, które biegną wzdłuż ciała;
- krew płynie do przodu naczyniem grzbietowym, a do tyłu naczyniem brzusznym; są one w każdym segmencie połączone naczyniami okrężnymi, które w przedniej części pełnią funkcję serca;
- krew bezbarwna lub zawiera barwniki oddechowe: czerwoną hemoglobinę, różową hemoerytrynę, zieloną chlorokruorynę rozpuszczone w osoczu krwi.

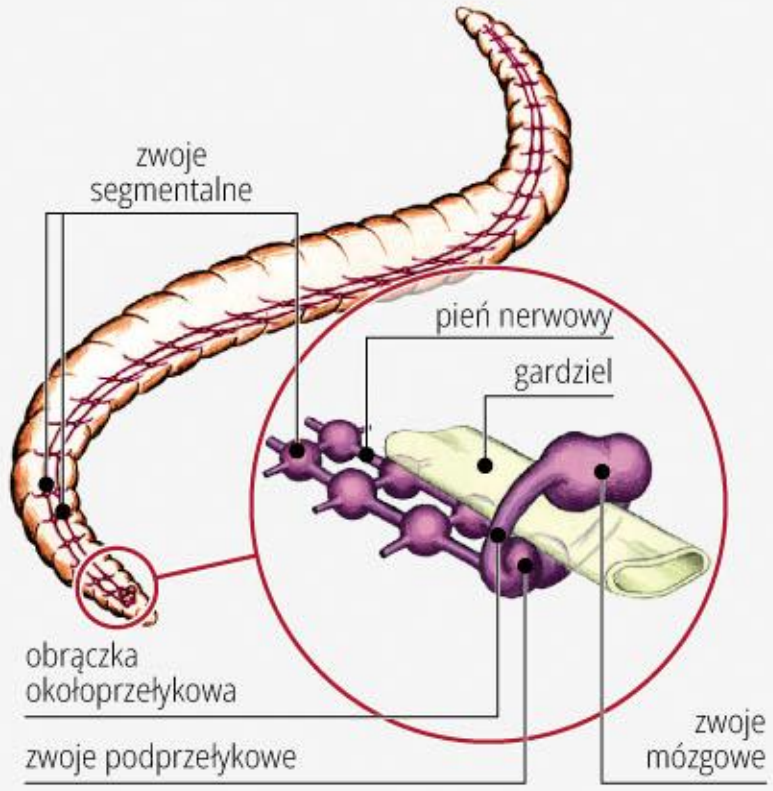
Układ wydalniczy

- **metanefrydialny**, pełniący funkcję osmoregulacyjną i wydalniczą;
- w każdym segmencie para metanefrydiów, pojedyncze metanefrydium składa się z orzęsionego leja otwierającego się do jamy ciała jednego segmentu i przewodu wydalniczego przechodzącego do następnego segmentu, w którym otwiera się otworem wydalniczym po bokach ciała;
- produktami przemiany materii u gatunków lądowych **jest mocznik**, a u wodnych – **amoniak**.



Budowa metanefrydium pierścienic

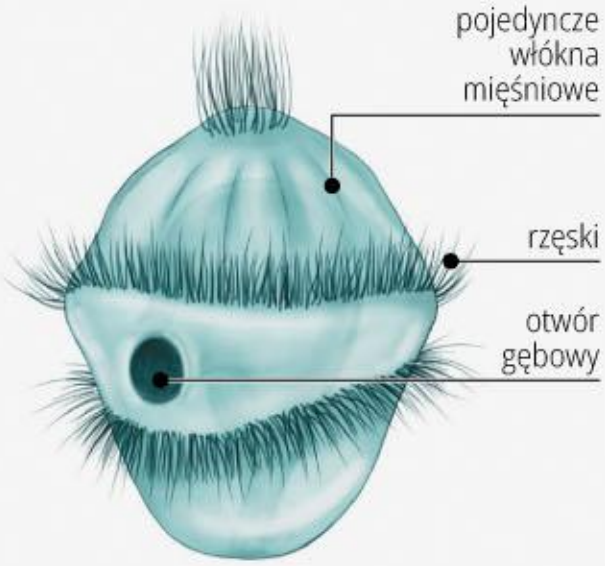
Układ nerwowy
- **typ drabinkowy** odzwierciedla budowę metameryczną ciała;
- zbudowany z dwóch zwojów nadprzełykowych i dwóch podprzełykowych połączonych w obrączkę okołoprzełykową; od zwojów podprzełykowych biegną dwa pnie nerwowe połączone poprzecznymi spoidłami w każdym segmencie;
- narządy zmysłu to receptory czuciowe (najwięcej na czułkach, wąsach, głaszczkach), fotoreceptory (w postaci komórek lub jednej lub kilku par oczu), u niektórych narządy równowagi.



Budowa układu nerwowego pierścienic

Rozmnażanie i rozwój
- są rozdzielnopłciowe (u niektórych dymorfizm płciowy) lub obojnacze;
- zapłodnienie zewnętrzne, u nielicznych wewnętrzne (pijawki), u skaposzczetów i pijawek **zapłodnienie krzyżowe** (wymiana plemników między dwoma kopulującymi osobnikami hermafrodytycznymi);
- rozwój może być prosty lub złożony z występującą wolno żyjącą, planktoniczną larwą **trochoforą;**
- niektóre skąposzczety i wieloszczety rozmnażają się bezpłciowo przez poprzeczny podział ciała i regenerację brakującego fragmentu ciała;
- niektóre pierścienice mogą rozmnażać się partenogenetycznie (nowe pierścienice rozwijają się z diploidalnych, niezapłodnionych jaj).

Budowa larwy pierścienic – trochofory



Larwa ma kulisty kształt, jest otoczona wieńcem rzęsek, dzięki którym porusza się w wodzie; po pewnym czasie z dolnego bieguna ciała wyrastają segmenty i kulisty kształt przekształca się w wydłużone ciało pierścienicy.

Zapłodnienie krzyżowe u dżdżownicy

Narządy rozrodcze znajdują się między 9. a 15. segmentem. Męskie narządy rozrodcze składają się z parzystych jąder, pęcherzyków nasiennych oraz nasieniowodów otwierających się na zewnątrz po brzusznej stronie ciała. Żeńskie narządy rozrodcze są zbudowane z parzystych jajników, woreczków jajowych i jajowodów. Do magazynowania obcego nasienia u większości gatunków służą zbiorniki nasienia.

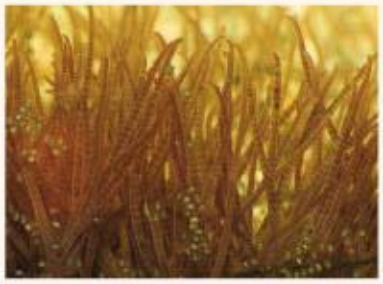

Kopulacja dżdżownic


Kokony dżdżownic

Osobniki stykają się przednimi odcinkami ciała i wymieniają między sobą nasienie, które zostaje zgromadzone w zbiornikach nasiennych. Z wydzieliny gruczołów siodełka powstaje kokon, który przesuwa się ku przodowi ciała i zbiera komórki jajowe oraz plemniki pochodzące od drugiego osobnika. Dochodzi do zapłodnienia. Kokon z zapłodnionymi jajami zsuwa się z ciała dżdżownicy i zamyka się na obu końcach. Dalszy rozwój przebiega w ziemi. W kokonie tylko jedno lub kilka zapłodnionych jaj rozwija się w młodego osobnika. Po pewnym czasie opuszcza kokon, rośnie i dojrzewa płciowo. Gdy dżdżownica wykształci siodełko, jest zdolna do rozmnażania płciowego.

Porównanie pierścienic

Cecha	Wieloszczety	Skąposzczety	Pijawki
ściana ciała	wór powłokowo-mięśniowy zbudowany z oskórka, jednowarstwowego nabłonka i mięśni okrężnych i podłużnych		
szkielet	wewnętrzny, hydrauliczny		
przegrody jamy ciała	obecne	obecne	zredukowane
budowa ciała	wyodrębniona głowa z czułkami, głaszczkami, segmenty z parapodiami z licznymi szczecinkami, metameria heteronomiczna	brak wyodrębnionej głowy, parapodiów i szczecinek, metameria homonomiczna	grzbieto-brzusznie spłaszczone ciało, bez wyodrębnionej głowy, szczecinek i parapodiów, przyssawka gębowa i tylna, otwór gębowy ze szczękami, wysuwana gardziel z ryjkiem, stała liczba segmentów, metameria heteronomiczna
odżywianie	drapieżniki (gardziel z chitynowymi ząbkami lub szczękami, saprofagi, filtratory	saprofagi, obecne wole	drapieżniki i pasożyty zewnętrzne, obecne wole
układ oddechowy	skrzela zewnętrzne na parapodiach lub oddychanie całą powierzchnią ciała	brak narządów oddechowych, oddychają całą powierzchnią ciała	
układ krążenia	zamknięty, brak serca, u części gatunków funkcję serca pełnią pulsujące naczynia okrężne		
układ nerwowy	drabinkowy – zwoje nadprzełykowe, obrączka okołoprzełykowa, zwoje podprzełykowe, pnie nerwowe		

Cecha	Wieloszczety	Skąposzczety	Pijawki
narządy zmysłów	fotoreceptory, oczy, narządy nuchalne (chemoreceptory) w pobliżu otworu gębowego odpowiedzialne za wybór pokarmu oraz uczestniczące w rozmnażaniu, mechanoreceptory na parapodiach i w odcinku głowowym, u gatunków ryjących i żyjących w rurkach narządy równowagi – statocysty	fotoreceptory, chemoreceptory na powierzchni ciała	fotoreceptory w postaci jednej lub kilku par oczu, brodawki czuciowe i chemoreceptory rozmieszczone na powierzchni ciała
układ wydalniczy	metanefrydialny, u niektórych wieloszczetów układ protonefrydialny		
rozmnażanie i rozwój	rozdzielnopłciowe, u niektórych słabo zaznaczony dymorfizm płciowy, zapłodnienie zewnętrzne, rozwój złożony z wolno pływającą larwą trochoforą, częste rozmnażanie bezpłciowe przez podział ciała	obupłciowe, obecne siodełko, zapłodnienie krzyżowe zewnętrzne, u wielu gatunków wodnych narząd kopulacyjny, rozwój prosty, u części rozmnażanie bezpłciowe przez podział ciała, u niektórych gatunków partenogeneza	obupłciowe, obecne siodełko, zapłodnienie krzyżowe wewnętrzne, rozwój prosty
środowisko życia	morskie	słodkowodne i lądowe	głównie słodkowodne, znane gatunki morskie i lądowe (w klimacie ciepłym i wilgotnym)
przedstawiciele	nereida różnokolorowa (*Nereis diversicolor*), mysz morska (*Aphrodita aculeata*), nalepian (*Arenicola marina*) pawi robak (*Sabella pavonina*)  Nereida	dżdżownica ziemna (*Lumbricus terrestris*), wazonkowce (*Enchytraeidae*), rureczniki (*Tubificidae*)  Rureczniki	pijawka końska (*Haemopis sanguisuga*), pijawka lekarska (*Hirudo medicinalis*), odlepka ślimacza (*Glossiphonia complanata*)  Pijawka końska

Znaczenie pierścienic

1. Skąposzczety (głównie dżdżownice i wazonkowce) uczestniczą w rozkładzie żywych i martwych tkanek roślinnych, degradacji ścieków i w procesach samooczyszczania wód.
2. Skąposzczety zapewniają właściwą cyrkulację powietrza i wody w glebie, spulchniają glebę, wzbogacają ją w składniki organicznie i użyźniają.
3. Dżdżownice podwyższają pH gleby poprzez substancje (wydzielane przez gruczoły wapienne), które neutralizują kwasy humusowe.
4. Stanowią pokarm dla wielu gatunków zwierząt wodnych i lądowych.
5. Gatunki pasożytnicze mogą być przyczyną chorób; jadowite wieloszczety mogą powodować oparzenia skóry, np. wieloszczet wędrujący (*Hermodice carunculata*) żujący w Morzu Śródziemnym.
6. Pijawki są przyczyną strat gospodarczych w stawach rybnych, są żywicielami pośrednimi innych pasożytów, a niektóre gatunki mogą być niebezpieczne dla ludzi.
7. Pijawka lekarska jest stosowana w medycynie do leczenia m.in. nadciśnienia tętniczego, dostarcza hirudyny wykorzystywanej do produkcji leków przeciwzakrzepowych.

Stawonogi

Stawonogi (*Arthropoda*) to tkankowe, trójwarstwowe zwierzęta pierwouste, których jamą ciała jest **miksocel** (połączenie pozostałości pierwotnej jamy ciała – blastocelu z wtórną jamą ciała – celomą). Segmentacja ciała jest heteronomiczna, segmenty mają wyraźną tendencję do zlewnia się w tagmy, czyli wyodrębnione odcinki ciała – głowa, tułów (głowotułów u niektórych skorupiaków i pajęczaków) i odwłok. Ciało skorupiaków porywa okresowo zrzucany chitynowy oskórek (kutykula) pełniący funkcję szkieletu zewnętrznego. Mają ruchome odnóża zbudowane z członów połączonych stawami. Są najliczniejszym typem zwierząt na świecie. Żyją we wszystkich dostępnych środowiskach wodnych i lądowych kuli ziemskiej. Jako jedyne bezkręgowce opanowały zdolność do aktywnego lotu.

Cechy stawonogów, które pozwoliły im osiągnąć sukces ewolucyjny

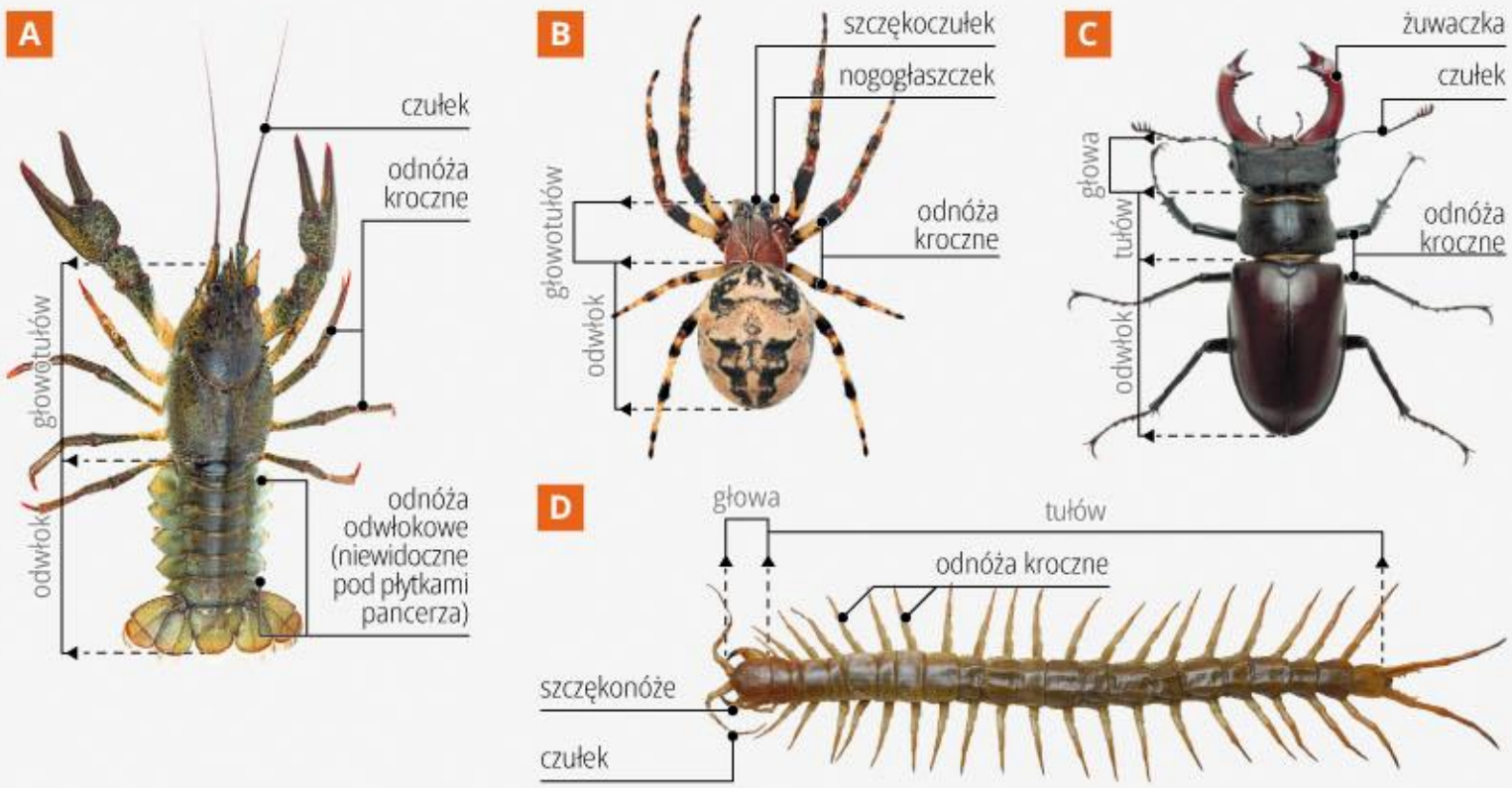
- **segmentacja heteronomiczna** – sąsiadujące segmenty łączą się ze sobą, tworząc odcinki ciała, czyli **tagmy – głowę, tułów oraz odwłok**;
- **chitynowy pancerz** pełniący funkcję:
  ochroną – nieprzepuszczalny dla wody i gazów;
  szkieletu zewnętrznego – stanowi miejsce przyczepu mięśni;

Wada – uniemożliwia nieograniczony wzrost, który jest możliwy tylko podczas linienia (okresowe zrzucanie pancerza – większe narażenia na ataki drapieżników lub negatywny wpływ czynników środowiska życia).

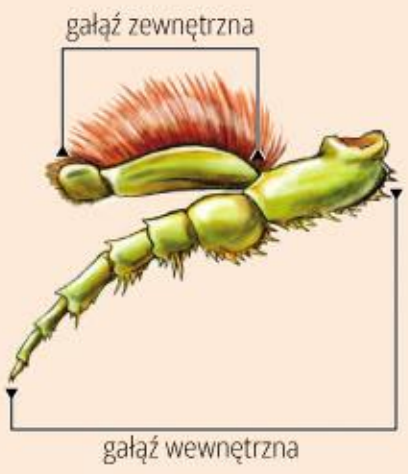
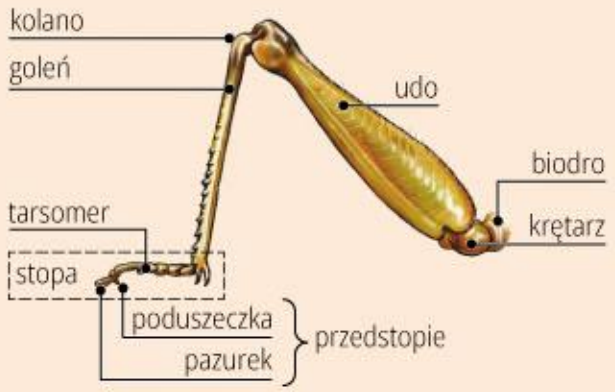
- **członowane odnóża** zbudowane z odcinków połączonych ruchomo stawami, przystosowane do pełnienia różnych funkcji (m.in. do pobierania i rozdrabniania pokarmu, kroczne, pływne, kopulacyjne);
- mięśnie poprzecznie prążkowane odpowiadające za pracę poszczególnych części szkieletu (brak wora powłokowo-mięśniowego), funkcjonowanie narządów wewnętrznych, odnóży;
- **układ oddechowy** w postaci skrzeli, **tchawek (u larw owadów skrzelotchawki), worków płucnych** i **płucotchawek**;
- **centralizacja układu nerwowego** – u form prymitywnych układ drabinkowy (parzysty zwój nerwowy – nadgardzielowy i podgardzielowy, obrączka okołogardzielowa, dwa pnie brzuszne zaopatrzone w parzyste zwoje segmentalne), u form wyżej uorganizowanych zlewanie się zwojów (silny rozwój zwojów nadgardzielowych) i utworzenie **mózgu** oraz brzusznego łańcuszka nerwowego, co pozwala na sprawne odbieranie bodźców ze środowiska przez wyspecjalizowane narządy zmysłów:

fotoreceptory – oczy proste lub złożone (zbudowane z omatidiów, zróżnicowane na apozycyjne i superpozycyjne);
chemoreceptory – narząd smaku i węchu (duża koncentracja na czułkach);
mechanoreceptory – włoski czuciowe, narządy tympanalne (odbierają dźwięki, są umieszczone na odnóżach lub odwłoku), narząd równowagi (statocysty).

Porównanie planu budowy stawonogów: skorupiaka (A), pajęczaka (B), owada (C), wija (D)



Porównanie budowy morfologicznej wybranych grup stawonogów

<table>
<tr><th colspan="2">Cechy</th><th>Skorupiaki</th><th>Pajęczaki</th><th>Owady</th><th>Wije</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">pokrycie ciała</td><td colspan="4">chitynowy oskórek</td></tr>
<tr><td colspan="2">grzbietowa część oskórka przekształcona w jednolitą okrywę głowotułowia – karapaks</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">tagmy</td><td>głowotułów i odwłok, u niektórych głowa, tułów i odwłok</td><td>głowotułów i odwłok</td><td>głowa, tułów, odwłok</td><td>głowa i tułów</td></tr>
<tr><td rowspan="2">odnóża głowowe</td><td>czułki</td><td>2 pary</td><td>brak</td><td colspan="2">1 para</td></tr>
<tr><td>odnóża gębowe</td><td>3 pary – 1 para żuwaczek, 2 pary szczęk</td><td>2 pary – 1 para szczękoczułek, 1 para nogogłaszczek</td><td>3 pary – 1 para żuwaczek, 2 pary szczęk</td><td>2–3 pary – 1 para żuwaczek, 1 lub 2 pary szczęk</td></tr>
<tr><td>tułowiowe</td><td>odnóża lokomocyjne</td><td>8 par – 3 pierwsze pary przekształcone w szczękonóża, pozostałe pary – odnóża kroczne</td><td>4 pary kroczne</td><td>3 pary krocznych</td><td>od 6 do kilkuset par krocznych (u niektórych gatunków pierwsza para tworzy szczękonóża a ostatnia – narządy czuciowe lub obronne)</td></tr>
<tr><td colspan="2">odwłokowe</td><td>6 par – tylko u skorupiaków wyższych; funkcje rozrodcze, pomagają w oddychaniu i poruszaniu</td><td>brak lub przekształcone w kędziołki przędne (służą do produkcji nici pajęczej)</td><td colspan="2">brak</td></tr>
<tr><td colspan="2">budowa odnóży</td><td>dwugałęziste

</td><td colspan="3">jednogałęziste (poza narządami gębowymi)


liczba elementów jest różna u poszczególnych grup (pajęczaki 7, owady 5, wije 6 elementów)</td></tr>
</table>

Budowa i modyfikacja odnóży stawonogów

Rodzaje odnóży

Odnóża są przystosowane do wykonywania określonych funkcji i występują na różnych segmentach ciała: głowa, tułów, odwłok.

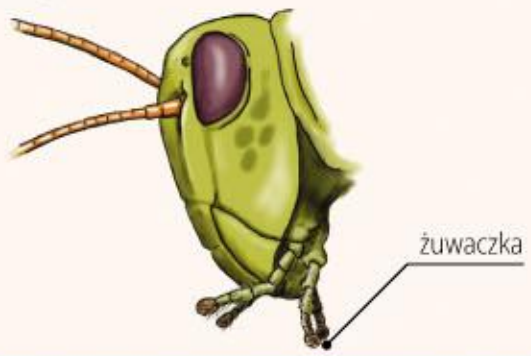
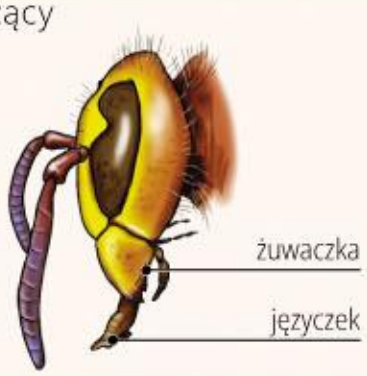
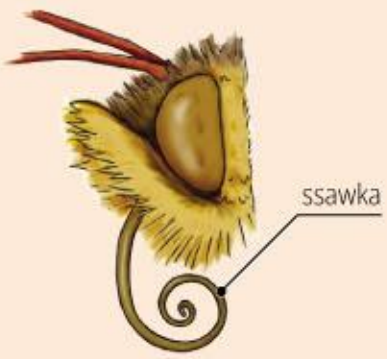
Głowowe	Tułowiowe	Odwłokowe
• stanowią narządy zmysłów, np. czułki • służą do pobierania pokarmu, np. szczęki	• narząd ruchu	• pełnią różne funkcje, np. związane z rozrodem (narządy kopulacyjne), z wytwarzaniem nici (kędziołki przędne)

Modyfikacje odnóży owadów

Odnóża w zależności od trybu życia i sposobu lokomocji uległy modyfikacjom.

Odnóża gębowe

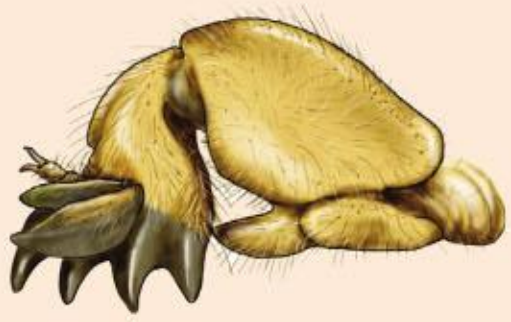
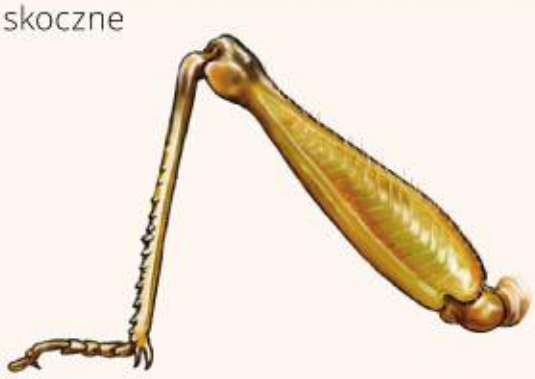
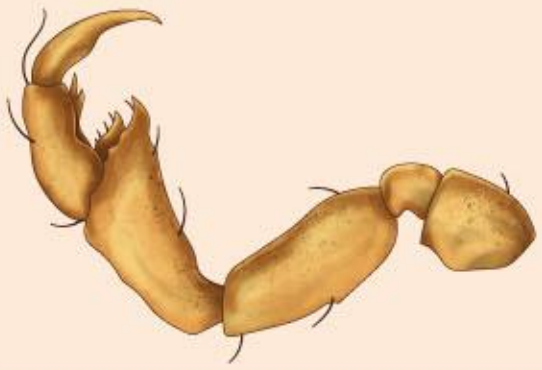
Trzy pary odnóży gębowych – jedna para żuwaczek i dwie pary szczęk – tworzą aparat gębowy. W zależności od rodzaju pokarmu i sposobu jego pobierania owady wykształciły różne typy aparatów gębowych na bazie aparatu podstawowego – gryzącego.

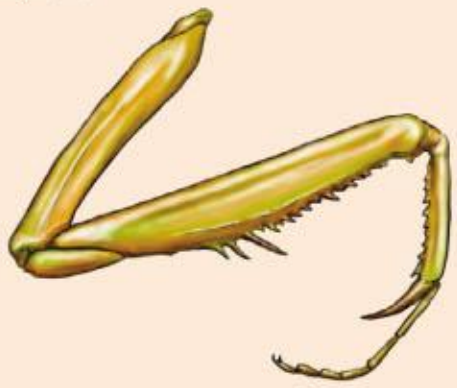
Typ aparatu	Funkcje
gryzący 	pobieranie i żucie pokarmu stałego; występuje u owadów drapieżnych oraz pobierających kęsy pokarmu stałego pochodzenia roślinnego, np. u owadów bezskrzydłych oraz u larw i postaci dorosłych wielu owadów uskrzydlonych, np. u chrząszczy (*Coleoptera*), karaczanów (*Blattodea*)
liżący 	zlizywanie pokarmu płynnego lub rozpuszczonego enzymami trawiennymi owada, np. mucha domowa (*Musca domestica*)
gryząco-liżący 	pobieranie pokarmu płynnego, np. nektaru, ale jednoczesne ugniatanie wosku do budowy plastrów w ulu, rozdrabnianie pyłku kwiatowego, charakterystyczny dla błonkówek, np. pszczoły (*Anthophila*), osy (*Vespula*)
ssący 	pobieranie pokarmu płynnego poprzez zasysanie, np. u motyli (*Lepidoptera*) pobieranie nektaru kwiatowego
kłująco-ssący 	nakłuwanie powłok ciała i wysysanie pokarmu – soków roślin czy płynów ciała zwierząt, np. mszyce (*Aphidomorpha*), komary (*Culicidae*), pchły (*Siphonaptera*), wszy (*Anoplura*)

Odnóża tułowiowe

Odnóże składa się z sześciu podstawowych członów: biodra, krętarza, uda, goleni, stopy i przedstopia.

Odnóża tułowiowe ulegają modyfikacjom w zależności od trybu życia i sposobu lokomocji.

Typ odnóży		Charakterystyka
kroczne 		• najczęściej spotykany typ odnóży, służy do kroczenia i biegania po różnych powierzchniach • występuje u większości chrząszczy (*Coleoptera*), muchówek (*Diptera*), pluskwiaków (*Hemiptera*) i błonkówek (*Hymenoptera*)
grzebne 		• silnie rozwinięte i grube udo oraz spłaszczona goleń z czterema kolcami, stopa ma dwa pierwsze człony w kształcie zębów • kształtem przypominają łopatki • występują u owadów kopiących i grzebiących korytarze w glebie, np. turkuciowate (*Gryllotalpidae*) czy chrabąszczowate (*Melolonthinae*)
skoczne 		• pozwalają na wykonywanie dalekich skoków • mają znacznie pogrubione udo, a pozostałe części odnóża są wydłużone • występują u prostoskrzydłych (*Orthoptera*), pcheł (*Siphonaptera*) oraz pluskwiaków (*Hemiptera*)
czepne 		• umożliwiają utrzymywanie się na sierści, włosach czy piórach • mają rozszerzoną goleń z wyrostkiem oraz stopę z ruchomym pazurkiem • występują u owadów żyjących w sierści, włosach i piórach, np. wesz ludzka (*Pediculus humanus*)
pływne 		• umożliwiają pływanie • mają pokryte elastycznymi włoskami spłaszczoną goleń i stopę tworzące powierzchnię pływną • kończyny mają kształt wioseł • występują u owadów żyjących w wodzie i aktywnie pływających, np. pływak żółtobrzeżek (*Dytiscus marginalis*) i pluskolec pospolity (*Notonecta glauca*)

Typ odnóży		Charakterystyka
chwytne 		• umożliwiają chwytanie i przytrzymywanie ofiary • mają wydłużone biodro, a udo i goleń tworzą aparat chwytny • występują u owadów drapieżnych, np. modliszki (*Mantodea*) lub płoszczycy (*Nepa*)

Skrzydła owadów

Skrzydła owadów to uwypuklenia powłok ciała. Są zbudowane z sieci chitynowych kanalików zwanych **żyłkami.** Stanowią one rusztowanie i wzmocnienie dla skrzydeł oraz pozwalają wytrzymać opór powietrza podczas lotu owadów.

Z tułowiem skrzydła są połączone błoną stawową, w której znajdują się specjalne struktury wzmacniające – płytki grzbietowa i brzuszna nadające giętkość skrzydłom i decydujące o sposobie poruszania skrzydłami. Pozwalają na składanie i rozkładanie skrzydeł. Skurcz mięśni grzbietowo-brzusznych przyciąga płytki do pancerza chitynowego owada, co powoduje podnoszenie skrzydeł. Skurcz mięśni podłużnych unosi płytkę grzbietową, a tym samym powoduje opuszczenie skrzydeł. Podczas naprzemiennego skurczu mięśni następuje opuszczanie i unoszenie skrzydeł.

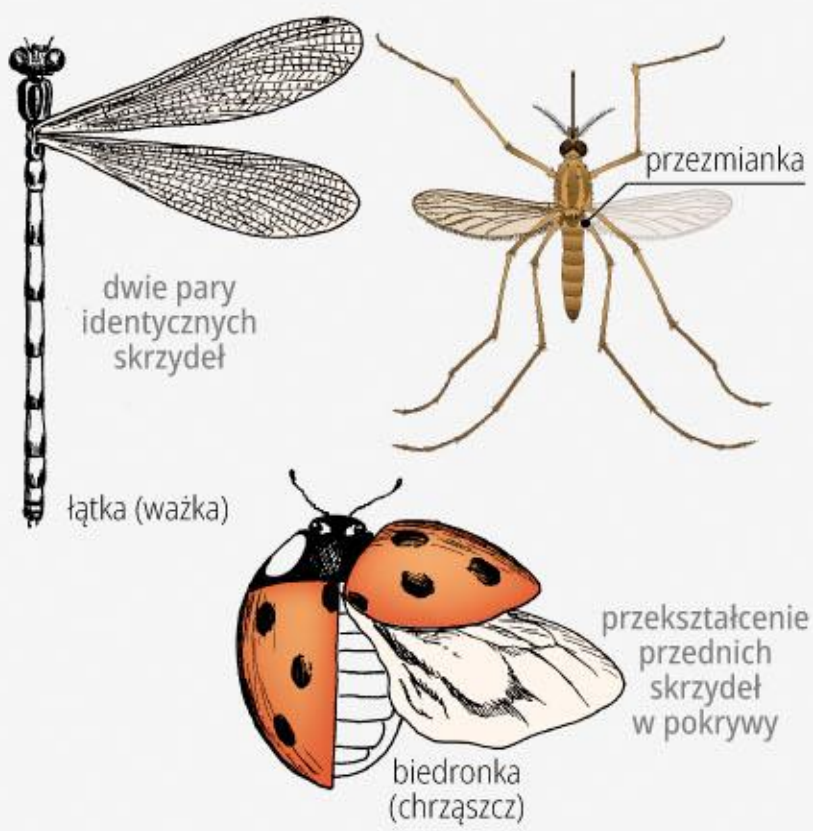
Większość owadów jest uskrzydlonych. Pierwotnie bezskrzydłymi owadami są np. rybiki (*Lepismatidae*), a wtórnie bezskrzydłymi – owady pasożytnicze, np. wszy i pchły.

Skrzydła różnią się wielkością, kształtem i ubarwieniem.

Skrzydła błoniaste występują np. u pszczół, ważek czy motyli. Obie pary mogą być jednakowej wielkości; niekiedy pierwsza para jest większa.

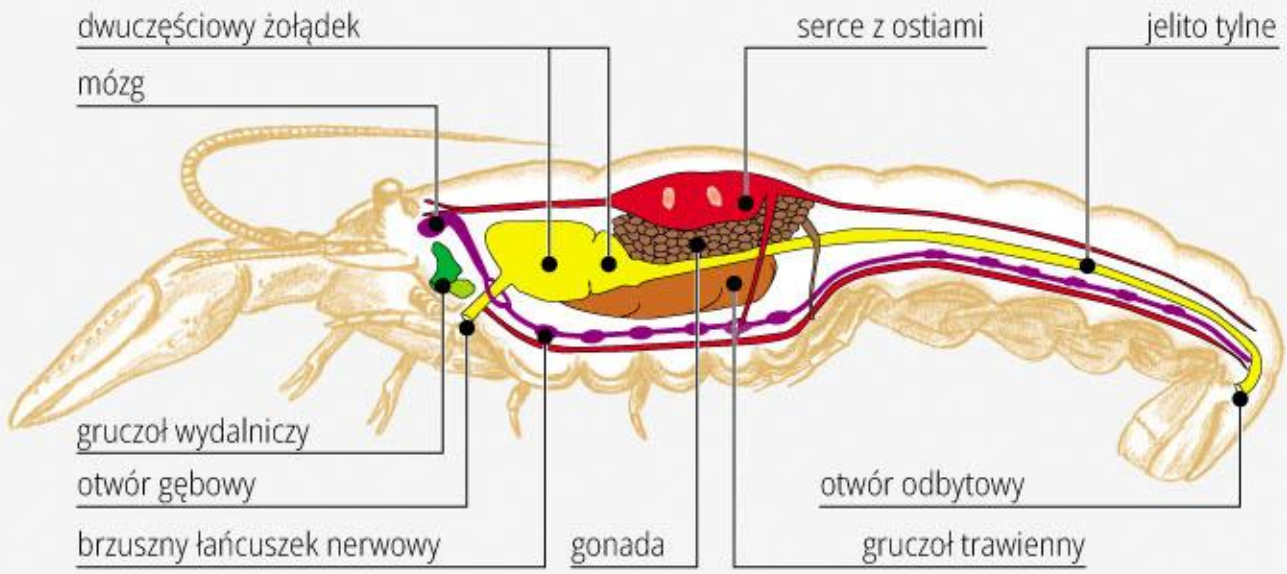
U niektórych owadów, np. komarów i much, druga para skrzydeł przekształca się w tzw. **przezmianki,** które pełnią funkcję narządu równowagi.

U chrząszczy pierwsza para skrzydeł jest przekształcona w **pokrywy**, osłaniające ciało owada w spoczynku. Druga para **skrzydeł błoniastych** służy do lotu.

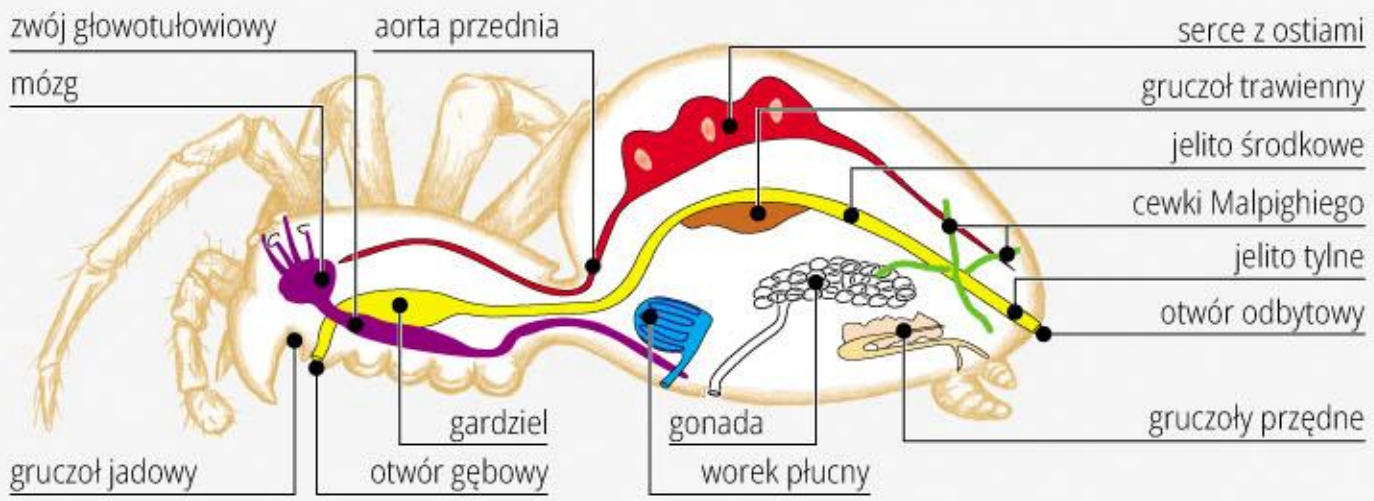


Budowa wewnętrzna stawonogów

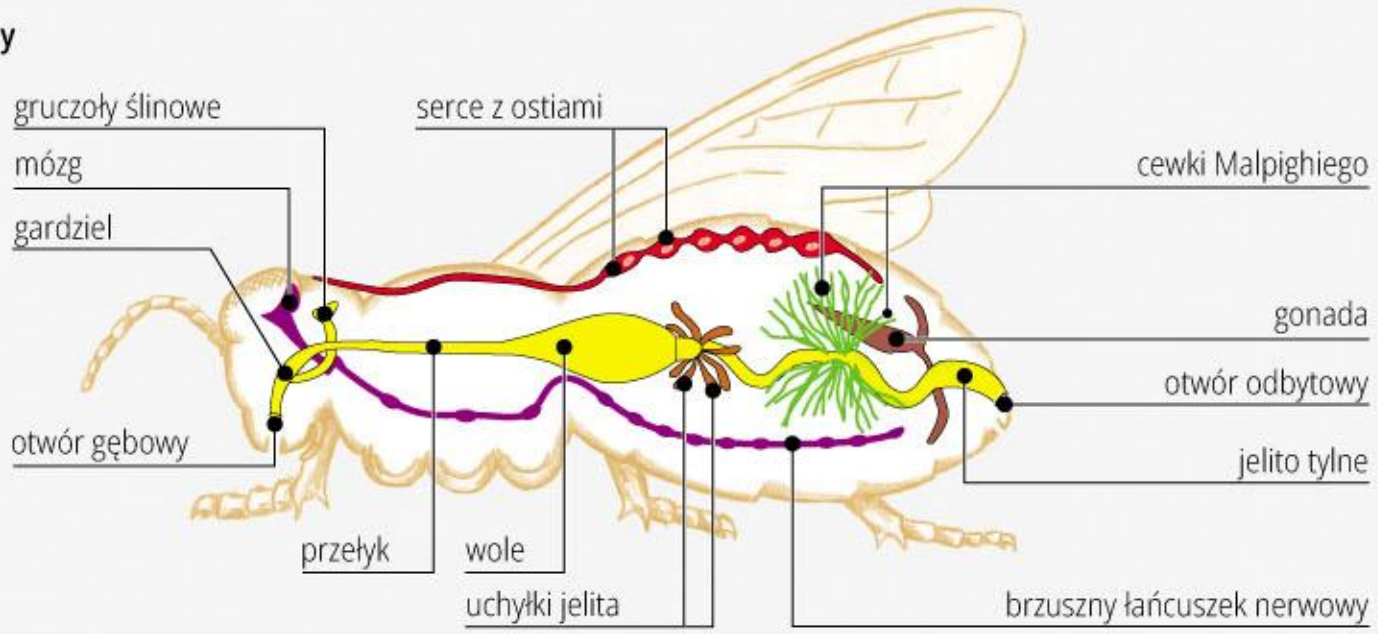
Skorupiaki



Pajęczaki



Owady



Układ pokarmowy

– składa się z jelita przedniego, środkowego i tylnego; obecny jest otwór odbytowy.

Jelito		
przednie	**środkowe**	**tylne**
• wyścielone **chitynową kutykulą** • składa się z jamy gębowej, gardzieli, przełyku, u niektórych z wola i żołądka • otwór gębowy z odnóżami gębowymi do pobierania pokarmu • umięśniona gardziel u pajęczaków działa na zasadzie pompy ssącej (ułatwia zasysanie pokarmu trawionego poza przewodem pokarmowym) • wole u owadów służy do magazynowania i wstępnego trawienia pokarmu • żołądek żujący u skorupiaków (z chitynowymi listewkami ułatwiającymi rozcieranie pokarmu), za nim żołądek cedzący pełniący **funkcję filtrującą**	• enzymatyczne trawienie pokarmu • uchodzi **gruczoł wątrobowo-trzustkowy** odpowiedzialny m.in. za produkcję enzymów trawiennych	• wyścielone **chitynową kutykulą**

Układ krwionośny

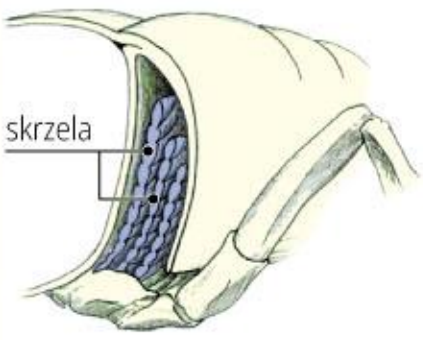
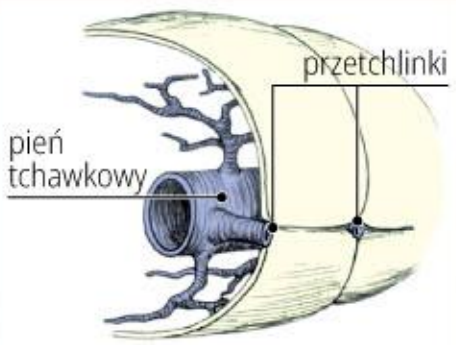
– otwarty, występuje serce (otoczone workiem osierdziowym) z otworami, tzw. **ostiami** z zastawkami.

Układ wydalniczy

– funkcje wydalniczą i osmoregulacyjną pełnią:
zmodyfikowane metanefrydia – **gruczoły czułkowe i szczękowe** u skorupiaków (woreczki z kanalikami uchodzącymi u nasady szczęk i czułków), **gruczoły biodrowe** (woreczki z kanalikami uchodzącymi u podstawy odnóży krocznych) u pajęczaków;
cewki Malpighiego – uchodzące do przewodu pokarmowego na granicy jelita środkowego i tylnego, mają postać ślepo zakończonych w jamie ciała rurek, którymi zbierają z hemolimfy szkodliwe produkty przemiany materii, ujściem otwierają się do końcowego odcinka jelita, którym wraz z niestrawionymi resztkami pokarmowymi są usuwane na zewnątrz (owady, wije i niektóre pajęczaki);
– stawonogi wodne wydalają głównie amoniak, a lądowe – kwas moczowy.

Układ oddechowy

Narządami wymiany gazowej u stawonogów wodnych są **skrzela**, a lądowych – **tchawki**, **worki płucne** i **płucotchawki**. W wymianie gazowej za pomocą skrzeli, worków płucnych i płucotchawek gazy oddechowe rozprowadza układ krwionośny. Tchawki pozwalają na wymianę gazową i transport gazów oddechowych bez udziału układu krwionośnego.

Skrzela	Tchawki	Płucotchawki
• cienkościenne, blaszkowate, silnie ukrwione wyrostki na tułowiu, u nasady odnóży lub odwłoku, często okryte brzegiem pancerza • występują u gatunków wodnych, np. skorupiaków (rozwielitka – skrzela zewnętrzne, rak – skrzela wewnętrzne)	• systemy rozgałęziających się w ciele rurek chitynowych • przez najcieńsze z nich, tzw. **tracheole**, tlen dociera bezpośrednio do komórek ciała • kontakt ze środowiskiem zewnętrznym przez **przetchlinki** położone po bokach ciała • występują u części pajęczaków, owadów i wijów	• system tchawek powstałych ze zwinięcia się równolegle blaszek płucnych, w których krąży hemolimfa • umiejscowione w odwłoku • prowadzą do nich przetchlinki • występują u części pajęczaków
 Skrzela raka	 Tchawka owada	 Płucotchawki pająka

U pajęczaków, np. skorpionów, występują **worki płucne** rozmieszczone w odwłoku w liczbie od 1 do 4 par. Mają kształt workowatych komór wypełnionych blaszkowatymi uwypukleniami oblewanymi hemolimfą. Prowadzą do nich przetchlinki.

U larw niektórych owadów wodnych, np. ważek, narządem oddechowym są **skrzelotchawki** – blaszkowate, nitkowate lub workowate wyrostki, do których wnikają tchawki. Znajdują się na tułowiu lub odwłoku, są pozbawione przetchlinek, a tlen dostaje się na drodze dyfuzji.



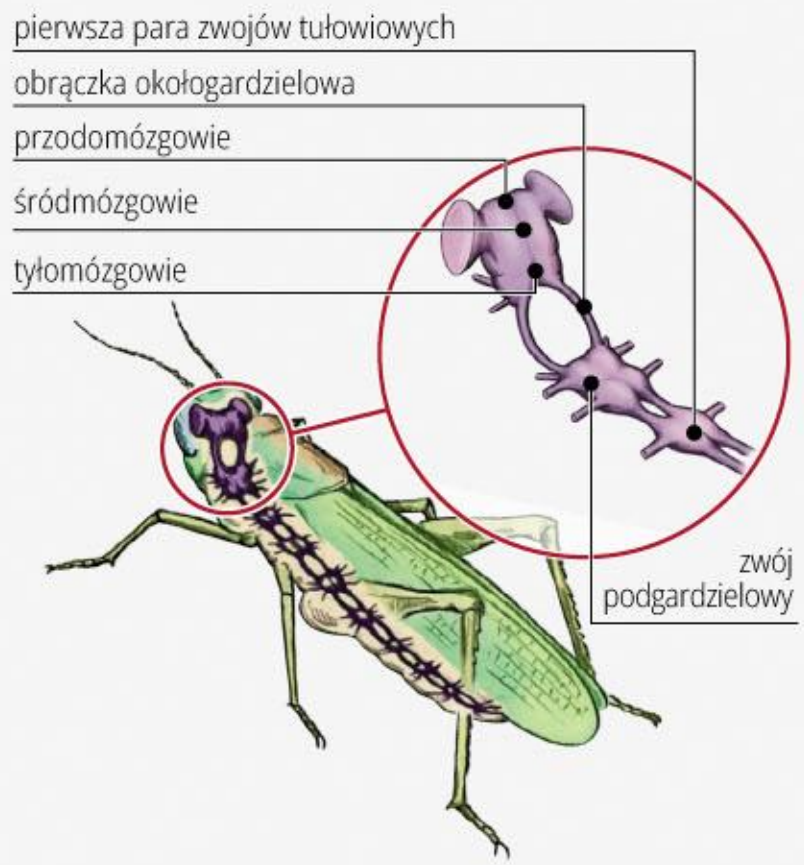
Skrzelotchawki larwy ważki

U niektórych owadów wodnych występują **skrzela fizyczne** (pęcherze wypełnione powietrzem atmosferycznym wciągane do wody podczas nurkowania, wymiana gazowa następuje na drodze dyfuzji, ułatwiają oddychanie pod powierzchnią wody).

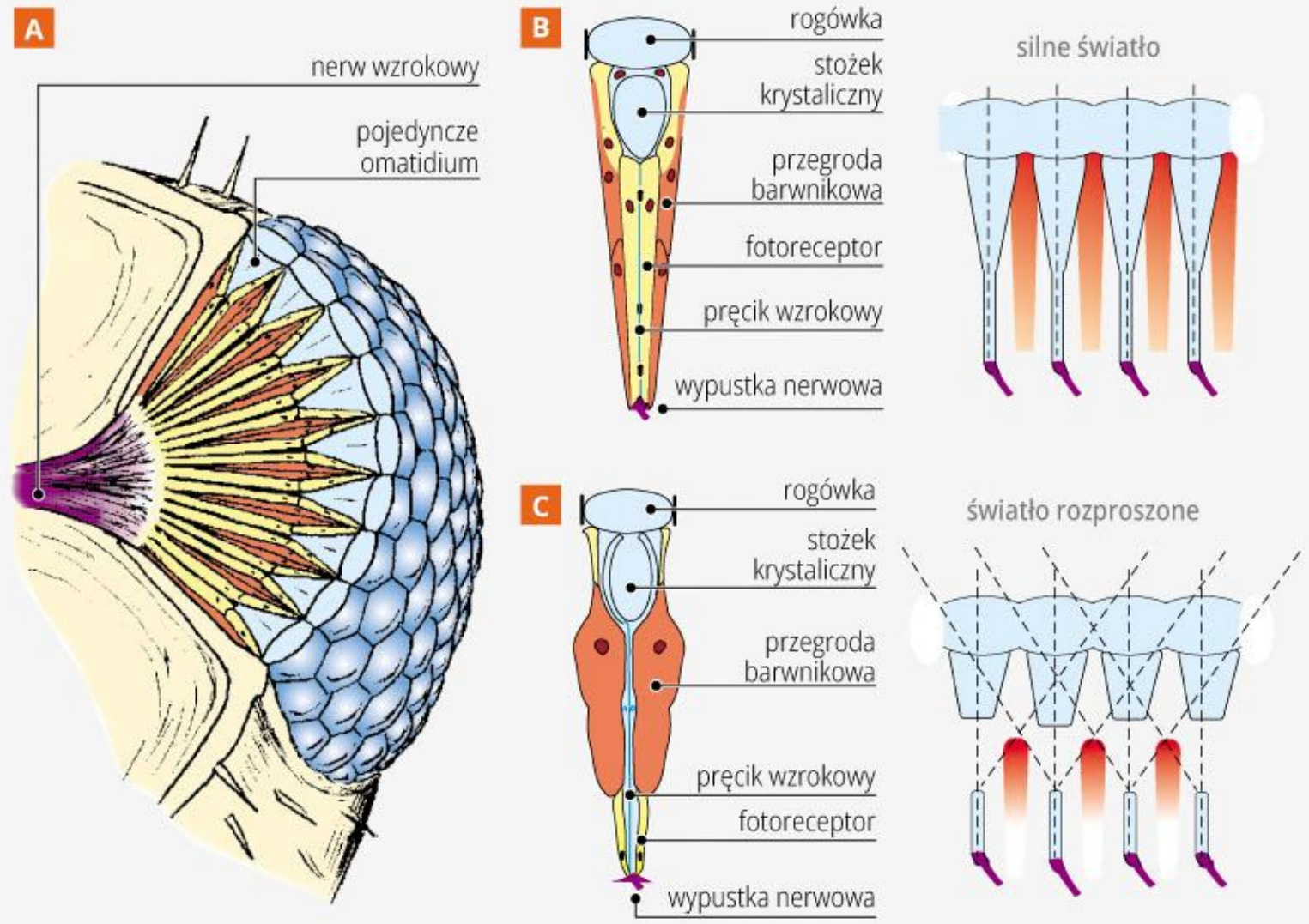
Układ nerwowy i narządy zmysłów

Komplikacja budowy zwojów głowowych doprowadziła do utworzenia mózgu, który u najbardziej aktywnych stawonogów dzieli się **na przodomózgowie, śródmózgowie i tyłomózgowie**. Owady społeczne w przodomózgowiu mają **ciałka grzybkowate**, które pełnią funkcję ośrodków kojarzeniowych.

Części mózgu	Funkcja
przodomózgowie	analiza bodźców wzrokowych
śródmózgowie	unerwienie zmysłu węchu i dotyku
tyłomózgowie	odpowiedzialne za funkcje wegetatywne



Schemat budowy układu nerwowego owada



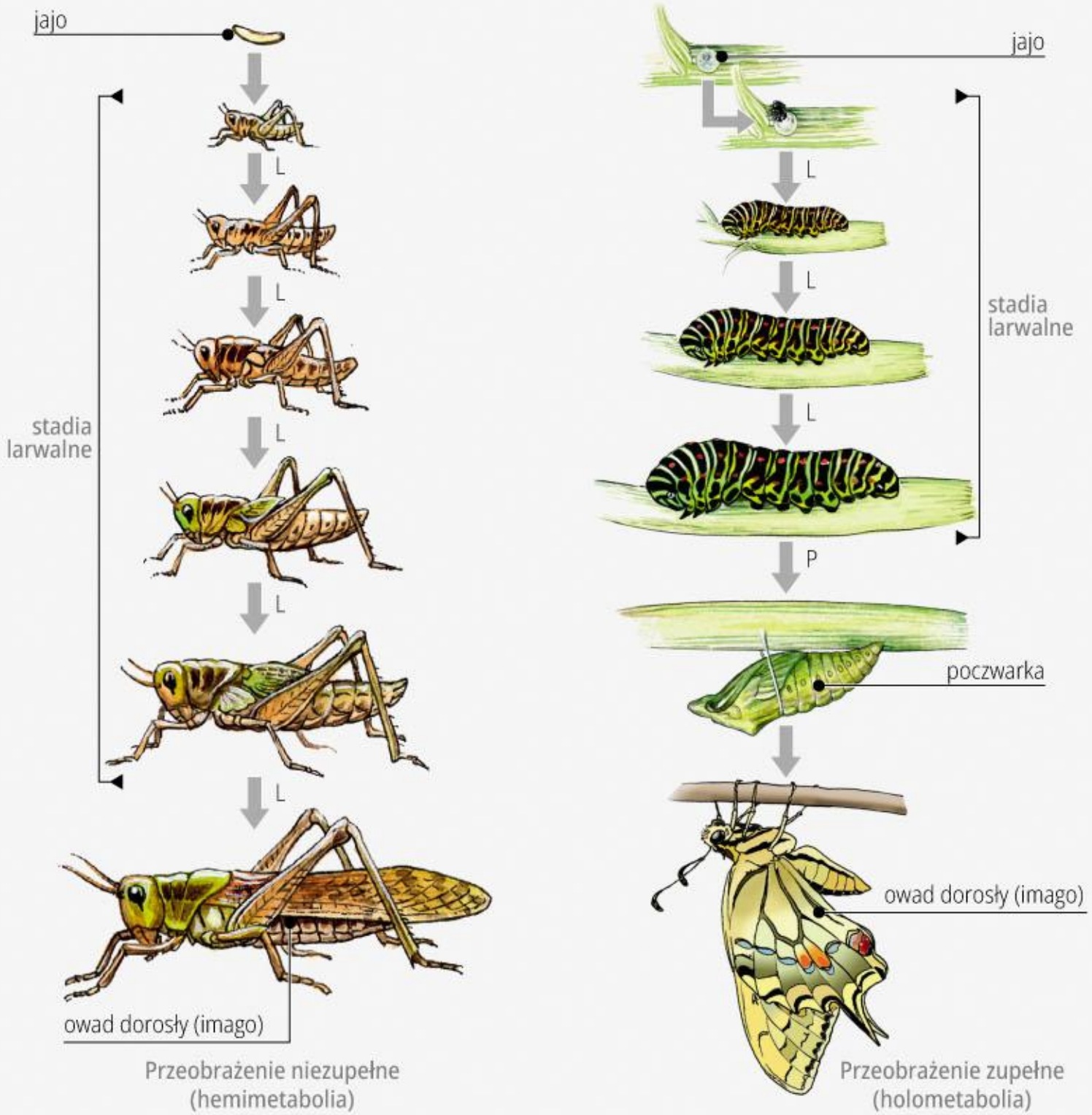
Schemat budowy oka złożonego (A), oka apozycyjnego (B) i oka superpozycyjnego (C). Soczewkę pojedynczego omatidium tworzą rogówka i stożek krystaliczny.

Oko złożone – może odbierać długość fali świetlej w zakresie od czerwieni do ultrafioletu

Apozycyjne	Superpozycyjne
• występuje u owadów dziennych • każde z omatidiów jest otoczone komórkami barwnikowymi, które pochłaniają większość promieni świetlnych, a przepuszczają tylko prostopadłe • każde omatidium wymaga indywidualnego pobudzenia • częściowe wykorzystanie światła • obraz mozaikowy jest ciemniejszy, ale o dużej ostrości, co ułatwia widzenie dzienne	• występuje u owadów nocnych • omatidia nie na całej długości są izolowane komórkami barwnikowymi • światło może pobudzić jednocześnie wiele omatidiów • maksymalne wykorzystanie światła • obraz mozaikowy jest jasny, ale nieostry

Rozmnażanie i rozwój stawonogów

- rozmnażanie wyłącznie płciowe;
- są rozdzielnopłciowe i jajorodne, często z dymorfizmem płciowym (różnice w budowie niektórych narządów, np. odnóży odwłokowych niektórych skorupiaków czy czułków owadów); niektóre gatunki osiadłe i pasożytnicze są obojnakami;
- u większości stawonogów zapłodnienie wewnętrzne, rzadko występuje zewnętrzne, samice wielu owadów składają jaja za pomocą tzw. **pokładełka**;
- **jaja** w różny sposób zabezpieczone przed wysychaniem (m.in. otoczone nieprzepuszczalną osłonką, złożone: w kokonie, w specjalnych komorach lęgowych pod pancerzem, w glebie czy nawet w ciałach; innych organizmów; przyklejone do odnóży);
- rzadko występuje żyworodność (niektóre owady i roztocza, skorpiony – opieka nad potomstwem);
- przechodzą rozwój prosty lub złożony, u niektórych gatunków występuje partenogeneza (np. patyczaki) i heterogonia (np. mszyce);
- u niektórych muchówek i chrząszczy występuje **pedogeneza** – zdolność larw do rozmnażania przez partenogenezę, a u pasożytniczych błonkówek – **poliembrionia** (wytwarzanie z jednej komórki jajowej wielu zarodków);
- w rozwoju złożonym występuje **przeobrażenie niezupełne i zupełne**.



L – linienie
P – przeobrażenie

Przeobrażenie	
niezupełne	**zupełne**

• larwy (zwane nimfami) z nieaktywnymi skrzydłami, niedojrzałe płciowo, podobne do postaci dorosłej (imago)
• 3 stadia rozwojowe (brak poczwarki)
  • jajo
  • larwa
  • imago
Występuje m.in. u karaczanów (*Blattodea*), pluskwiaków (*Hemiptera*), prostoskrzydłych (*Orthoptera*), ważek (*Odonata*), wszy (*Anoplura*), termitów (*Isoptera*)
	• larwy niepodobne do postaci dorosłych (imago), bez widocznych zawiązków skrzydeł, o aparacie gębowym typu gryzącego
	• 4 stadia rozwojowe:
	  • jajo
	  • larwa
	  • poczwarka
	  • imago
	• larwy żyją w innym środowisku i żywią się innym pokarmem niż postacie imago, aby uniknąć konkurencji o pokarm
	• całkowita przebudowa układów poczwarki (nie odżywia się i jest mało ruchliwa) z materiałów zgromadzonych podczas stadium larwalnego
	Występuje m.in. u chrząszczy (*Coleoptera*), motyli (*Lepidoptera*), błonkówek (*Hymenoptera*), muchówek (*Diptera*), pcheł (*Siphonaptera*)

Różne typy larw stawonogów

Typ larwy	Występowanie	Przykład
pływik (łac. *nauplius*)	skorupiaki, m.in. u małżoraczków (*Ostracoda*), wąsonogów (*Cirripedia*), widłonogów (*Copepoda*) i skrzelonogów (*Branchiopoda*)	 Pływik krewetki (*Caridea*)
żywik (ang. *Zoea*)	skorupiaki – pancerzowce (m.in. homary – *Nephropidae*, kraby – *Brachyura*)	 Żywik kraba
czerw	owady – błonkówki i muchówki	 Czerw pszczół (*Anthophila*)
gąsienica	motyle (*Lepidoptera*)	 Gąsienica motyla
pędrak	chrząszcze (*Coleoptera*)	 Pędrak chrząszcza majowego (*Melolontha melolontha*)

Poczwarka – larwalne narządy wewnętrzne ulegają rozpuszczeniu (histolizie) i fagocytozie z wyjątkiem serca, układu nerwowego i narządów wydzielania wewnętrznego, które są stopniowo przekształcane; po przebudowie ciało poczwarki pęka i uwalnia się w pełni ukształtowany owad, który nie linieje i nie rośnie.

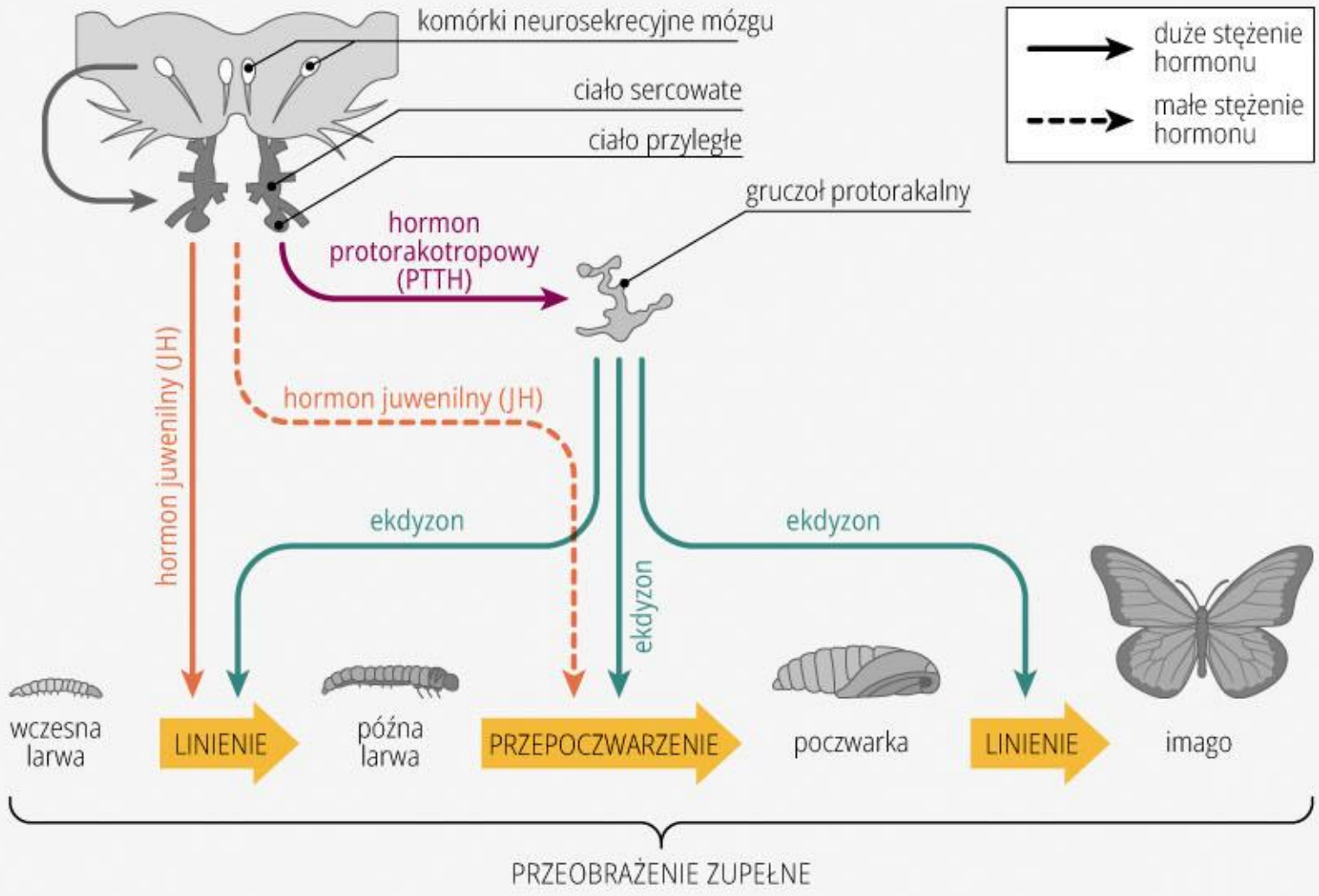
wolna	zamknięta	baryłkowata (bobówka)
		
Poczwarka wolna i ruchliwa komara (*Culicidae*)	Poczwarka zamknięta motyla	Bobówki muszki owocowej (*Drosophila melanogaster*)

Regulacja hormonalna rozwoju owadów

Przeobrażenie u owadów jest regulowane hormonalnie. Za przeobrażenie są odpowiedzialne: **hormon juwenilny** oraz **ekdyzon**. Hormony te są wydzielane przez ciała sercowate i ciała przyległe położone w pobliżu mózgu oraz gruczoł protorakalny znajdujący się w segmentach tułowiowych. Ciała sercowate produkują **hormon protorakotropowy (PTTH)**, który działa na gruczoł protorakalny i pobudza go do wydzielania **hormonu linienia larwalnego** i przeobrażenia – **ekdyzonu**.

Ciała przyległe wydzielają **hormon juwenilny**, który reguluje przeobrażenie owadów. Wysokie stałe stężenie hormonu juwenilnego powoduje kolejne linienia larwy stymulowane ekdyzonem (hamuje metamorfozę), a niskie – kolejne linienie stymulowane ekdyzonem daje postać poczwarki, która przeobraża się w postać imago.

Regulacja hormonalna przeobrażenia owadów



Porównanie głównych grup stawonogów

Cechy	Skorupiaki	Pajęczaki	Owady	Wije
układ oddechowy	skrzela	płucotchawki, tchawki, worki płucne	tchawki, skrzelotchawki (larwy owadów wodnych)	tchawki
układ nerwowy	drabinkowy		drabinkowy, zlewanie zwojów nadprzełykowych w mózg	drabinkowy
narządy wydalnicze	gruczoły szczękowe lub czułkowe	gruczoły biodrowe	cewki Malpighiego	
rozwój	prosty lub złożony	prosty	prosty lub złożony	prosty
środowisko życia	wody słone i słodkowodne, ląd	lądowe, wtórnie przystosowane do wodnego	lądowe, wtórnie przystosowane do wodnego	lądowe
przedstawiciele	wodne – rozwielitki (*Daphnia*), oczliki (*Cyclopidae*) raki (*Astacoidea*), pąkle (*Balanus*), kraby (*Brachyura*), krewetki (*Caridea*), langusty (*Palinurus*), homary (*Nephropidae*), lądowe – prosionki (*Porcellionidae*), stonogi (*Oniscidae*)	pająki (*Araneae*), kosarze (*Opiliones*), skorpiony (*Scorpionidae*), roztocze (*Acari*)	rybiki (*Zygentoma*), ważki (*Odonata*), motyle (*Lepidoptera*), pchły (*Siphonaptera*), błonkoskrzydłe (*Hymenoptra*), chrząszcze (*Coleoptra*), muchówki (*Diptera*), prostoskrzydłe (*Orthoptera*)	pareczniki (*Chilopoda*), krocionogi (*Diplopoda*)

Znaczenie stawonogów

W przyrodzie

1. Jako podstawowy składnik zooplanktonu w wodach słodkich i morskich są ważnym składnikiem sieci pokarmowych (należą do konsumentów I rzędu – roślinożercy oraz wyższych rzędów – drapieżniki, np. skorpiony, pająki, wije, wiele gatunków chrząszczy).
2. Drapieżne stawonogi wpływają na liczebność swoich ofiar, a tym samym – na równowagę biocenotyczną.
3. Niektóre owady (np. żuk gnojowy *Geotrupes stercorarius* odżywiający się odchodami zwierząt) oraz roztocza biorą udział w rozkładzie martwej materii organicznej.
4. Owady odżywiające się pyłkiem i nektarem kwiatowym są bardzo ważne w zapylaniu roślin, np. pszczoły (*Anthophila*).

W gospodarce człowieka

1. Stanowią źródło pokarmu dla człowieka, np. krewetki.
2. Owady zapylają rośliny uprawne (drzewa i krzewy owocowe, warzywa), dostarczają miodu, wosku (pszczoły) oraz nici jedwabnej do produkcji tkanin (jedwabnik morwowy *Bombyx mori*).
3. Szkodniki roślin powodują poważne straty gospodarcze w uprawach, np. szarańcza wędrowna (*Locusta migratoria*), wołek zbożowy (*Sitophilus granarius*), stonka ziemniaczana (*Leptinotarsa decemlineata*), a także niszczenie żywności, tkanin, drewna, np. kołatek wrężyk (*Anobium punctatum*).
4. Liczne pasożyty człowieka, np. komary (*Culicidae*), pchły (*Siphonaptera*), kleszcze (*Ixodida*), pluskwy (*Cimicidae*) wywołują groźne choroby zwierząt i człowieka, są często wektorami chorób (przenoszą patogeny z żywiciela na żywiciela), np. malarii, dżumy, tyfusu, boreliozy czy kleszczowego zapalenia opon mózgowych.
5. Roztocza kurzu domowego mogą być przyczyną alergii.
6. Gatunki jadowite stawonogów, głównie pajęczaki, mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia człowieka.
7. Owady pasożytnicze są sprzymierzeńcami człowieka w walce biologicznej z owadami roślinożernymi, np. kruszynki (*Trichogrammatidae*), owadziarki (*Terebrantes*).

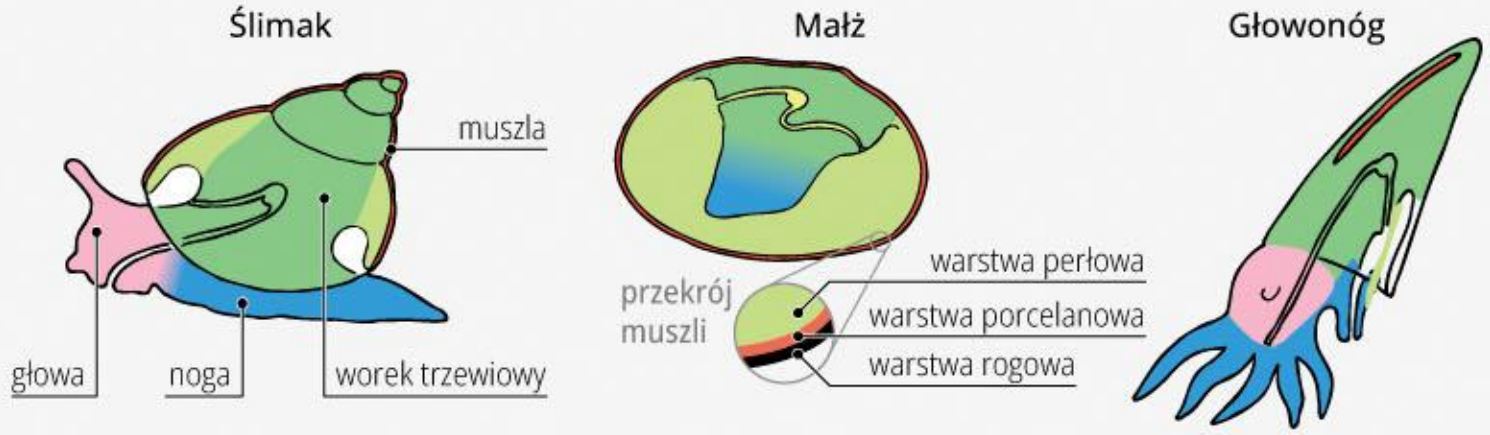
Przykłady wektorów groźnych chorób wśród stawonogów

Wektor	Choroba
wesz ludzka (*Pediculus humanus*)	tyfus plamisty
pluskwa domowa (*Cimex lectularius*)	gorączka Q
komar widliszek (*Anopheles*)	malaria
mucha tse-tse (*Glossina palpalis*)	śpiączka afrykańska
pchła szczurza (*Xenopsylla cheopis*)	dżuma
kleszcz pospolity (*Ixodes ricinus*)	zapalenie opon mózgowych, borelioza

Mięczaki

Mięczaki (*Mollusca*) to zwierzęta tkankowe, pierwouste i celomatyczne, o niesegmentowanym ciele i dwubocznej symetrii (z wyjątkiem ślimaków, które są wtórnie asymetryczne). Ich ciało jest podzielone na **głowę** (u małży jej brak), **nogę** oraz **worek trzewiowy**, w którym mieści się większość narządów wewnętrznych. Ciało jest zwykle okryte **muszlą**, która u wielu gatunków jest szkieletem zewnętrznym. Głowonogi są najlepiej rozwiniętą grupą mięczaków – mają najlepiej rozwinięty układ nerwowy i osiągają największe rozmiary ze wszystkich bezkręgowców.

Budowa zewnętrzna mięczaków

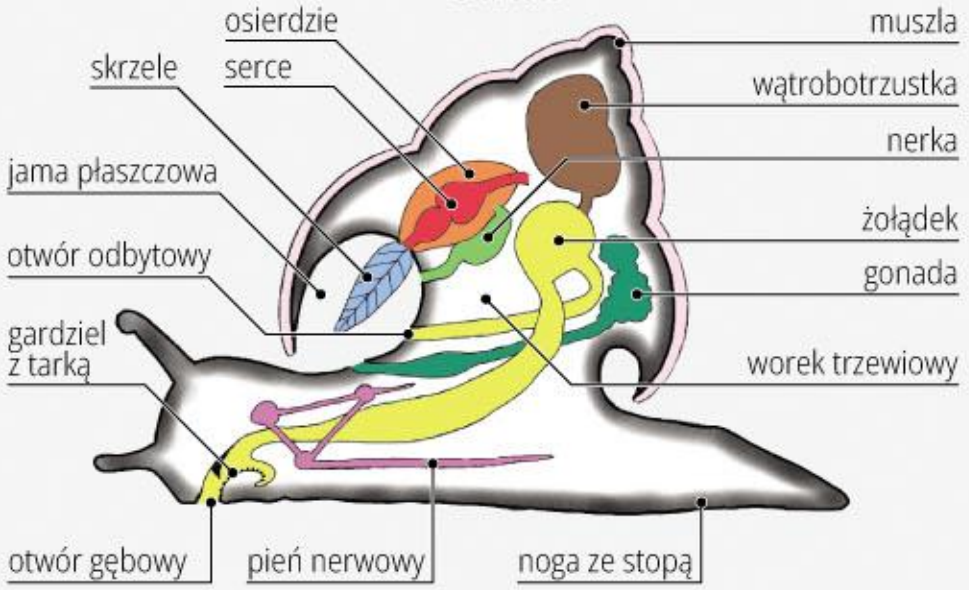


Części ciała	Funkcje
głowa	• zaopatrzona jest w narządy zmysłów (oczy i czułki) oraz otwór gębowy
noga	• silnie umięśniona, jest narządem ruchu (pozwala na pełzanie, pływanie lub zagrzebywanie się w podłożu) • u głowonogów przekształcona w ramiona (z okrągłymi przyssawkami z chitynowymi pierścieniami, ząbkami i haczykami będącymi narządami chwytnymi ułatwiającymi polowanie) i lejek (funkcje lokomotoryczne)
worek trzewiowy	• zawiera większość narządów wewnętrznych, okryty fałdem ściany ciała • jego ściana tworzy fałd zwany płaszczem, który ogranicza przestrzeń określaną mianem jamy płaszczowej
jama płaszczowa	• tworzy ją przestrzeń między płaszczem a workiem trzewiowym • znajdują się w niej narządy wymiany gazowej (skrzela lub płuca), ujście układu pokarmowego, rozrodczego i wydalniczego
muszla	• wytwór płaszcza zbudowany z substancji organicznej (białka konchioliny) oraz węglanu wapnia • na przekroju poprzecznym wyróżniamy warstwę zewnętrzną (rogową), środkową (porcelanową) i wewnętrzną (perłową) • u głowonogów (poza łodzikiem) zredukowana, położona wewnątrz ciała • chroni ciało przed uszkodzeniami mechanicznymi i termicznymi oraz wysychaniem • pełni funkcję szkieletu zewnętrznego, jest miejscem przyczepu mięśni • różnorodność kształtów, barwy, wielkości i liczby skrętów jest uwzględniana przy klasyfikacji

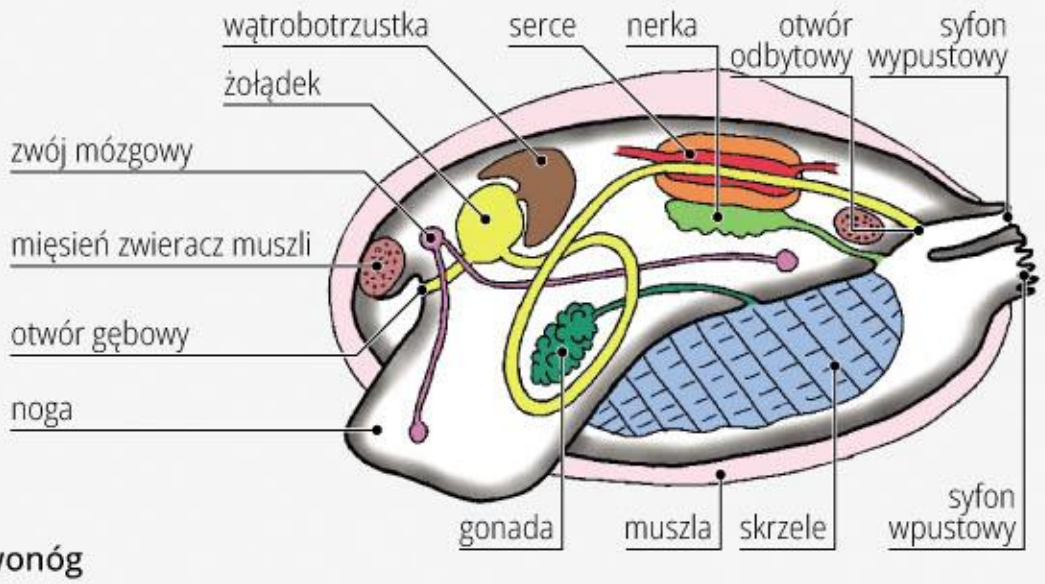
Budowa wewnętrzna mięczaków

Mięczaki mają wyłącznie mięśnie gładkie, które stanowią element wora powłokowego (nabłonek, tkanka łączna i mięśnie), występują u nich również mięśnie poruszające poszczególnymi narządami, np. mięśnie wciągające nogę do muszli.

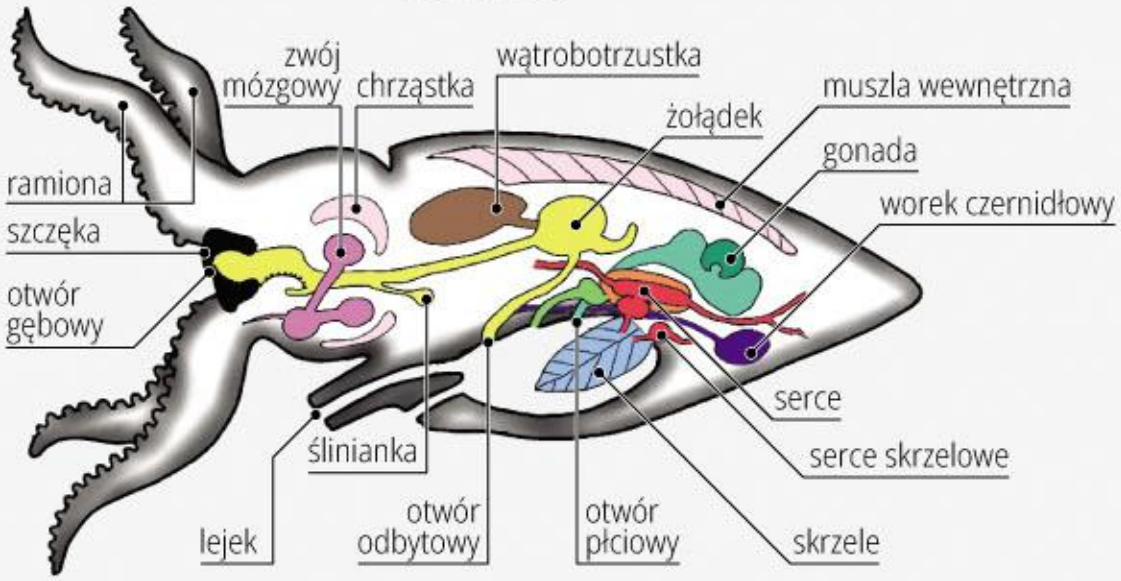
Ślimak



Małż



Głowonóg

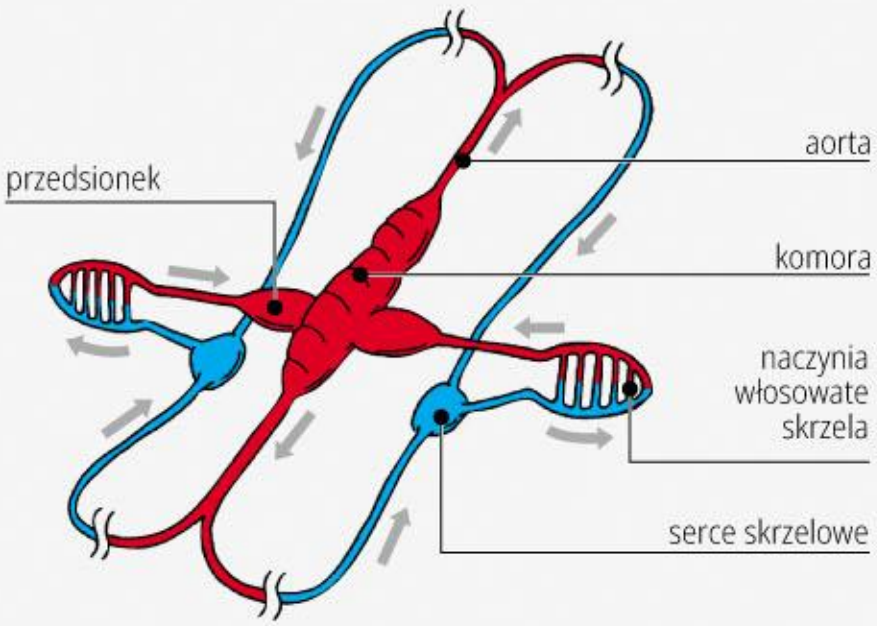


Układ pokarmowy

- jest zbudowany z trzech odcinków: jelita przedniego, środkowego i tylnego; w jelicie przednim występuje gardziel, do której uchodzą gruczoły ślinowe i u niektórych gatunków jadowe;
- gardziel jest zaopatrzona w chitynowe szczęki i język pokryty kilkoma rzędami ostrych chitynowych ząbków tworzących **tarkę** (służy do rozcierania pokarmu lub zbierania z twardych powierzchni, np. glonów), u małży brak elementów rozdrabniających pokarm (odżywiają się zawiesiną odfiltrowaną w skrzelach);
- głowonogom na zdobywanie i rozdrabnianie pokarmu pozwala chitynowy dziób;
- gardziel przechodzi w przełyk, za którym znajduje się żołądek z enzymami trawiennymi produkowanymi przez **gruczoł wątrobowo-trzustkowy.**

Układ oddechowy
- u mięczaków wodnych silnie ukrwione **skrzela** znajdują się w jamie skrzelowej; u niektórych gatunków zaniknęły, a ich funkcję przejęły **skrzela skórne** – rozgałęzione wyrostki ciała;
- u gatunków lądowych występuje **płuco** – sieć naczyń krwionośnych jamy płaszczowej; niektóre gatunki słodkowodne oddychają płucami, np. błotniarki i zatoczki (wynurzają się nad powierzchnię wody, aby zaczerpnąć powietrza atmosferycznego; wykazują wtórnie przystosowane do środowiska wodnego).

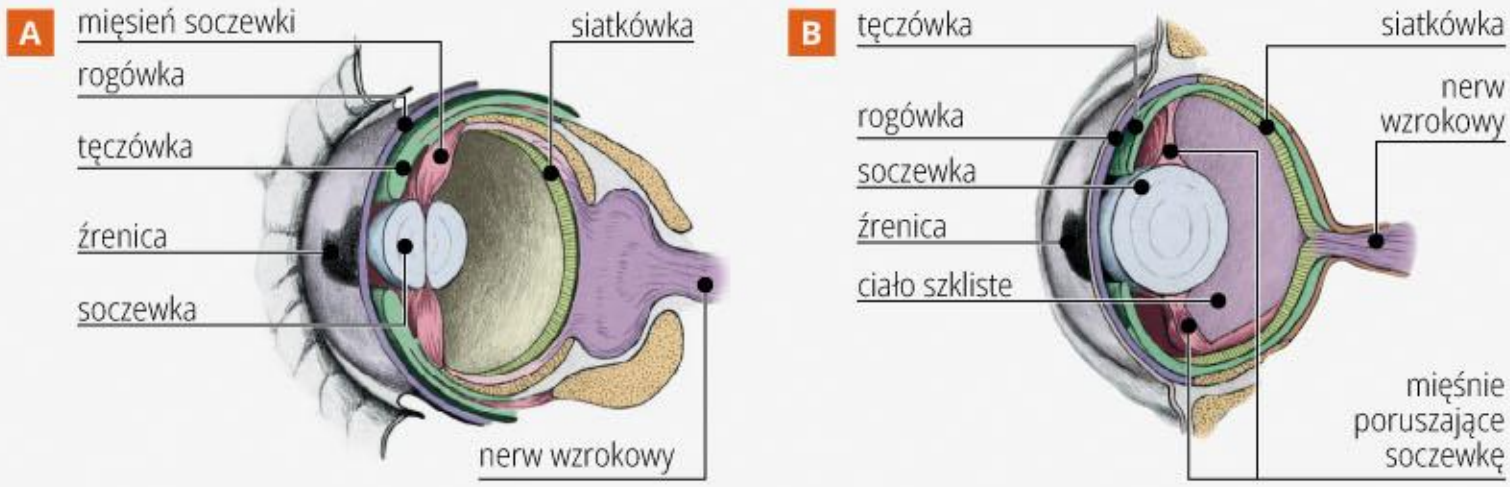
Układ krwionośny
- otwarty, zbudowany z **serca** oraz w różnym stopniu rozwiniętej sieci naczyń i zatok pierwotnej jamy ciała;
- serce jest umieszczone w **worku osierdziowym**, składa się komory oraz z jednego lub więcej przedsionków (tyle ile skrzeli);
- krew – hemolimfa najczęściej bezbarwna (u niektórych ślimaków i głowonogów niebieska ze względu na obecność hemocyjaniny, rzadziej czerwona), przepływa przez serce i naczynia krwionośne, a następnie wylewa się do jamy płaszczowej i po wymianie gazowej wraca do serca;
- u głowonogów układ krwionośny zamknięty (lub półzamknięty) o dwóch obiegach krwi, serce składa się z komory i dwóch lub czterech przedsionków, krew płynie w naczyniach krwionośnych i w bardzo małym stopniu wylewa się do zatok krwionośnych, występują dodatkowo **serca skrzelowe**, które ułatwiają wtłoczenie krwi do skrzeli.



U głowonogów występują dwa obiegi krwi: duży (serce-ciało-serce) oraz mały (serce-skrzela-serce)

Układ nerwowy
- jest zbudowany z obrączki okołogardzielowej i par zwojów obsługujących części ciała, połączonych poprzecznymi spoidłami – głowowych, nożnych, płaszczowych i trzewiowych;
- u głowonogów nastąpiło **scentralizowanie układu nerwowego**, zwoje nerwowe zlewają się w mózg, chroniony **chrzęstną puszką mózgową**, który pozwala wykazywać złożone formy zachowań.

Narządy zmysłów
- narząd dotyku (receptory wokół otworu gębowego, na czułkach i ramionach, na brzegach płaszcza i nogi);
- narząd równowagi (statocysty);
- chemoreceptory;
- oczy – od oczek prostych (na szczycie lub u podstawy drugiej pary czułków) do wysoko rozwiniętych oczu głowonogów, ich budowa przypomina oczy kręgowców, są zdolne do akomodacji, czyli dostrajania ostrości widzenia do odległości od obserwowanego przedmiotu (na skutek przesuwania soczewki względem siatkówki).



Porównanie oka ośmiornicy (A) z okiem kręgowca (B)

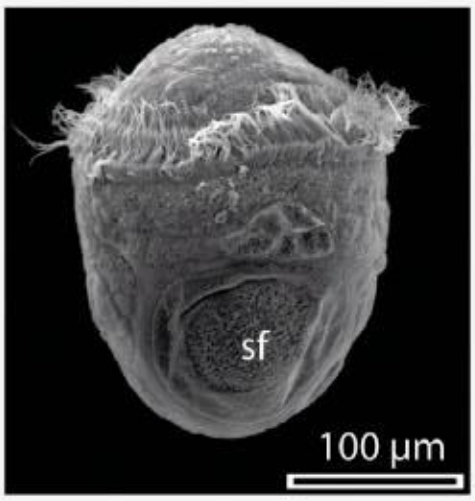
Układ wydalniczy

- parzyste **nerki** będące przekształconymi metanefrydiami, orzęsionymi lejkami (znajdującymi się w worku osierdziowym); zbierają produkty przemiany materii z jamy płaszczowej; z nerki odchodzą moczowody zakończone otworem wydalniczym;
- mięczaki lądowe wydalają kwas moczowy, a wodne – amoniak i mocznik.

Rozmnażanie i rozwój

- rozmnażają się wyłącznie płciowo;
- są rozdzielnopłciowe (chitony, jednotarczowce, głowonogi, łódkonogi i część ślimaków) i obojnacze (większość ślimaków i część głowonogów);
- u mięczaków morskich zapłodnienie jest zewnętrzne lub w jamie płaszczowej, a u głowonogów i ślimaków lądowych – wewnętrzne (krzyżowe – ślimaki lądowe);
- większość mięczaków to zwierzęta jajorodne, tylko niektóre są jajożyworodne;
- rozwój może być prosty (głowonogi, ślimaki płucodyszne) lub złożony (małże, niektóre skrzelodyszne ślimaki), w rozwoju występuje planktonowa larwa – **trochofora**, z której rozwija się następne stadium wolno żyjące – **żeglarek (veliger)**; u niektórych słodkowodnych małży larwa – glochidium;
- jaja są składane w postaci galaretowatej masy, sznurów, kapsuł przytwierdzanych do roślin wodnych lub skał, u niektórych gatunków pozostają w ciele samicy, gdzie rozwijają się w młode ślimaki, które są wydalane do środowiska.

Larwy mięczaków



Trochofora



Veliger



Glochidium

Porównanie najważniejszych grup mięczaków

Cecha	Ślimaki	Małże	Głowonogi
budowa ciała	głowa, worek trzewiowy, noga	brak głowy, obecny worek trzewiowy i noga (u niektórych gatunków produkuje bisior – szybko krzepnącą wydzielinę służącą do przymocowywania się do podłoża)	głowa, worek trzewiowy, noga przekształcona w ramiona i lejek
szkielet	zewnętrzny – muszla jednoczęściowa, asymetryczna, spiralnie skręcona, u niektórych gatunków zredukowana do niewielkiej wapiennej płytki lub całkowicie zanika (ślimaki nagie)	zewnętrzny – muszla złożona z dwóch symetrycznych części	zredukowany do wewnętrznej płytki, chrzęstna puszka mózgowa
odżywianie	filtratory, roślinożerne i drapieżniki	filtratory i drapieżniki	drapieżniki
wymiana gazowa	skrzela – przodoskrzelne – 1 lub 2 skrzela skierowane do przodu ciała i położone przed sercem; tyłoskrzelne – 1 skrzele skierowane do tyłu ciała i położone przed sercem	skrzela w jamie płaszczowej	
	unaczyniona jama płaszczowa – płuco		
układ krwionośny	otwarty		zamknięty (lub półzamknięty)
	serce składa się z komory i jednego lub dwóch przedsionków	serce składa się z komory i dwóch przedsionków	serce składa się z komory i dwóch lub czterech przedsionków, dwa obiegi krwi
układ nerwowy	obrączka okołogardzielowa, zwoje głowowe, nożne, płaszczowe i trzewiowe	uproszczony w związku z brakiem odcinka głowowego, trzy pary zwojów połączonych spoidłami poprzecznymi i podłużnymi	zwoje nerwowe zlewają się w mózg
narządy zmysłów	oczy na wierzchołkach czułków, statocysty (narząd równowagi), zmysł dotyku, smaku i węchu – czułki, okolice otworu gębowego, krawędzie stopy, brzeg płaszcza, chemoreceptory w jamie płaszczowej	słaby rozwój narządów zmysłów, zmysł dotyku na płatach gębowych, krawędziach syfonów, brzegach płaszcza, chemoreceptory w obrębie jamy płaszczowej, narząd równowagi – statocysty	oczy o złożonej budowie podobnej do oczu kręgowców, zmysł czucia na ramionach (głównie na przyssawkach), chemoreceptory
układ wydalniczy	zmodyfikowane metanefrydia, tzw. nerki		

Cecha	Ślimaki	Małże	Głowonogi
rozmnażanie i rozwój	obojnaki lub rozdzielnopłciowe (u niektórych dymorfizm płciowy – różnice w budowie i rozmiarach muszli), u niektórych gatunków partenogeneza, zapłodnienie wewnętrzne lub zewnętrzne, rozwój prosty lub złożony (larwy planktoniczne – trochofora i veliger – żeglarek)	obojnaki lub rozdzielnopłciowe (u niektórych dymorfizm płciowy – różnice w budowie muszli), zapłodnienie zewnętrzne, najczęściej rozwój złożony (larwy – trochofora, veliger u większości małży wodnych, u słodkowodnych, np. skójek czy szczeżui, glochidia – larwy pasożytujące na skrzelach ryb)	rozdzielnopłciowe, zapłodnienie wewnętrzne, rozwój prosty
środowisko życia	lądowe, morskie i słodkowodne	morskie i słodkowodne	morskie
przedstawiciele	• lądowe muszlowe – winniczek (*Helix pomatia*), wstężyk ogrodowy (*Cepaea hortensis*) • lądowe bezmuszlowe – pomrów wielki (*Limax maximus*), ślinik luzytański (*Arion lusitanicus*) • słodkowodne – rozdepki (*Theodoxus*), zagrzebki (*Bithynia*), żyworódki (*Viviparus*) • morskie – porcelanki (*Cypracea*), rozkolce (*Murex*)	• słodkowodne – szczeżuja pospolita (*Anodonta anatina*), skójka zaostrzona (*Unio tumidus*), skójka malarska (*U. pictorum*), racicznica zmienna (*Dreisesena polymorpha*) • morskie – omułek jadalny (*Mytilus edulis*), sercówka pospolita (*Cardium glaucum*), małgiew (*Mya arenaria*)	• łodzik (*Nautilus pompilius*), mątwy (*Sepioida*), wampirzyce (*Vampyroida*), ośmiornice (*Octopoda*), kałamarnice (*Theutoidea*)


Wstężyk ogrodowy


Zatoczek rogowy (*Planorbarius corneus*)


Błotniarka stawowa (*Lymnaea stagnalis*)


Szczeżuja pospolita


Skójka zaostrzona


Racicznica zmienna


Ośmiornica


Kałamarnica

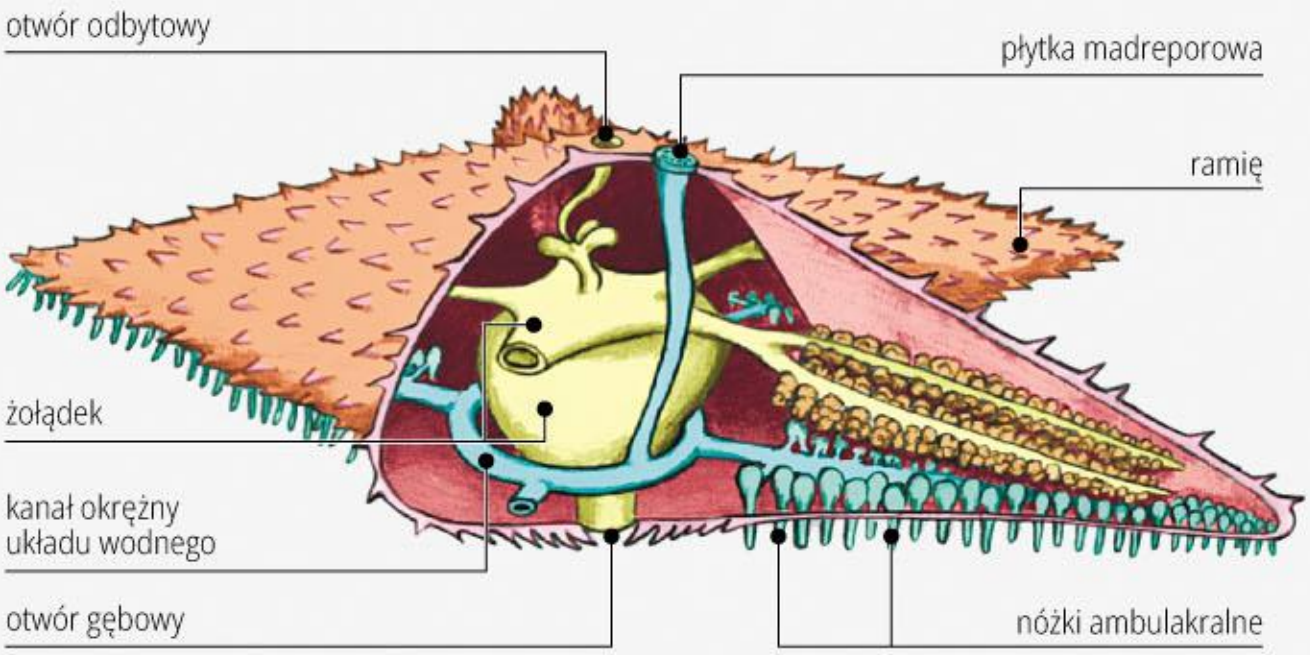
Znaczenie mięczaków

1. Stanowią ważny składnik sieci pokarmowych ekosystemów wodnych i lądowych, są konsumentami i pokarmem wielu zwierząt, np. ryb, ptaków i ssaków.
2. Jako konsumenci są ważnym ogniwem w krążeniu materii w zbiornikach wodnych.
3. Są pokarmem dla człowieka, np. ślimak winniczek, małże – ostrygi, omułki, głowonogi – kałamarnice, ośmiornice i mątwy.
4. Drapieżne gatunki mięczaków regulują liczebność organizmów, którymi się żywią.
5. Odżywiają się na drodze filtracji. Dzięki temu przyczyniają się do oczyszczania wody z zawiesiny i **ograniczają procesy eutrofizacji wód**, np. duże małże mogą w sprzyjających warunkach filtrować nawet 1,5 litra wody dziennie.
6. Niektóre gatunki ślimaków są **żywicielami pośrednimi** pasożytów zwierząt domowych i człowieka, m.in. przywr i tasiemców (błotniarka stawowa *Lymnaea stagnalis* i błotniarka moczarowa *Galba truncatula* są żywicielami pośrednimi motylicy wątrobowej, małże są żywicielami pośrednimi przywr wnętrzniaków).
7. Muszle mięczaków i perły wytwarzane przez małże perłopławy (*Pteriidae*) stanowią materiał do wytwarzania ozdób, m.in. biżuterii.
8. Niektóre gatunki wrażliwe na zanieczyszczenia środowiska, takie jak przytulik strumieniowy (*Ancylus fluviatilis*) i racicznica zmienna, są stosowane jako wskaźniki stanu czystości wód – bioindykatory.
9. Małż skójka zaostrzona *Unio tumidus* jest wykorzystywany do wczesnego ostrzegania przed zanieczyszczeniami w systemie SYMBIO – w ocenie jakości wód wodociągowych (małże reagują na wzrost zanieczyszczeń wody zamykaniem muszli).
10. Belemnity i amonity odgrywają ważną rolę w ocenie wieku warstw skał jako skamieniałości przewodnie.
11. Roślinożerne ślimaki lądowe, np. nagie pomrowy żerujące na uprawach rolnych, są przyczyną poważnych strat gospodarczych.
12. Niektóre gatunki małży, np. racicznica zmienna, osiedlają się na urządzeniach hydrotechnicznych i mogą utrudniać ich działanie.
13. Niektóre gatunki małży, np. świdrak okrętowiec *Teredo navalis*, są przyczyną uszkodzeń drewnianych urządzeń portowych czy jednostek pływających.
14. Niektóre gatunki mięczaków mają gruczoły jadowe, które mogą być niebezpieczne dla zdrowia człowieka, np. stożek geograficzny (*Conus geographus*) żyjący w tropikalnych morzach.

Szkarłupnie

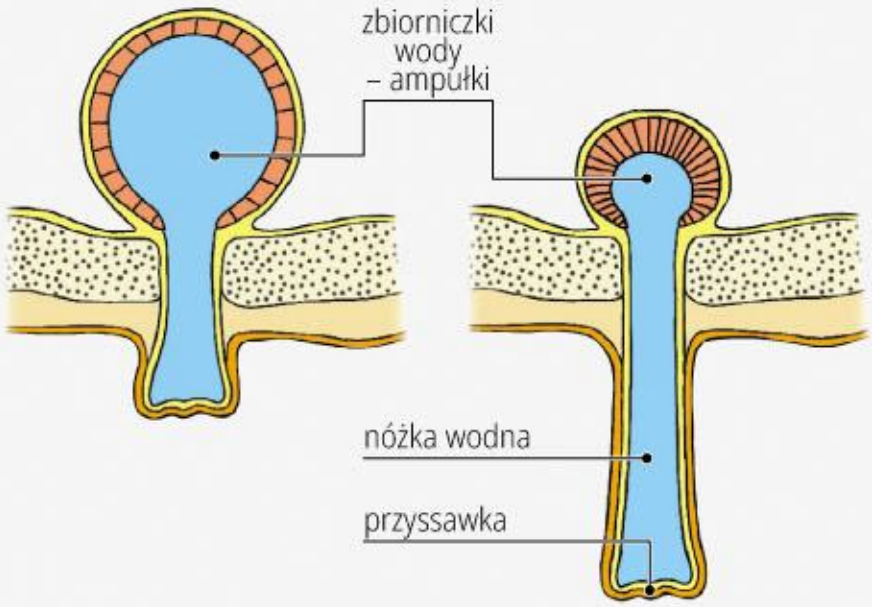
Szkarłupnie (*Echinodermata*) to tkankowe, trójwarstwowe, **wtórouste**, celomatyczne zwierzęta o wtórnie pięciopromiennej symetrii ciała. **Mają układ wodny i wapienny szkielet wewnętrzny.** Dorosłe są pozbawione głowy, larwy są dwubocznie symetryczne.

Budowa ciała szkarłupni



- grzbieto-brzusznie spłaszczone ciało o zróżnicowanym kształcie okryte jednowarstwowym nabłonkiem, pod którym znajduje się tkanka łączna wytwarzająca wapienny, sztywny szkielet zbudowany z płytek lub igieł (u strzykw szkielet jest zredukowany);
- ciało większości szkarłupni składa się z centralnej części – **tarczy** oraz pięciu lub większej liczby ramion; w ciele wyróżnia się część górną – **aboralną** z otworem odbytowym oraz dolną – **oralną** zwróconą do podłoża otworem gębowym (u liliowców jest on zwrócony ku górze).

Układ wodny (ambulakralny)



- powstaje z wtórnej jamy ciała;
- kontaktuje się ze środowiskiem zewnętrznym za pomocą płytki madreporowej (zawierającej liczne otworki) oraz kanału kamiennego;
- składa się z jednego kanału okrężnego otaczającego przełyk i odchodzących od niego promieniście pięciu kanałów;
- woda dostaje się przez otworki płytki madreporowej do kanału kamiennego, z którego płynie do kanału okrężnego i kanałów promienistych prowadzących do ramion;
- kanały promieniste mają liczne boczne odgałęzienia zaopatrzone w ampułki, z których wychodzą na zewnątrz ciała **nóżki wodne** (ambulakralne) zaopatrzone w przyssawki;
- skurcz ampułki powoduje wypełnienie wodą nóżki, powstająca siła ssąca przyciąga nóżkę do podłoża, skurcz mięśni powoduje odpływ wody do ampułki i oderwanie nóżki od podłoża;
- nóżki wodne pełnią funkcję narządów ruchu i dotyku, ułatwiają zdobywanie pokarmu (np. otwieranie przez rozgwiazdy szczelnie zamkniętych muszli małży), biorą udział w wymianie gazowej (liliowce, rozgwiazdy, jeżowce i wężowidła).

Czynności życiowe

Układ pokarmowy
- układ pokarmowy składa się z jelita przedniego (przełyk i żołądek), jelita środkowego i tylnego zakończonego odbytem;
- u jeżowców występuje specjalny aparat gębowy (tzw. latarnia Arystotelesa) zbudowany z pięciu płytek (zębów) wapiennych umożliwiających zeskrobywanie glonów z twardej powierzchni.

Układ oddechowy
- brak układu oddechowego, oddychają głównie przez powierzchnię ciała, nóżki ambulakralne (liliowce), drobne wyrostki skrzelowe (skrzela skórne u jeżowców, wężowideł i rozgwiazd), u strzykw występują tzw. **płuca wodne** (silnie unaczynione dwa worki leżące w jamie ciała i uchodzące do kloaki).

Układ krążenia (zwany hemalnym)
- otwarty, zredukowany, **brak serca**; składa się z kanału okrężnego oraz odchodzących od niego promieniście kanałów bocznych i zatok przechodzących do narządów ciała;
- główną funkcją jest rozprowadzanie substancji odżywczych (odpowiednikiem krwi jest płyn jamy ciała powstający z wchłoniętych przez ściany przewodu pokarmowego substancji odżywczych), u niektórych gatunków obecne są komórki zawierające hemoglobinę.

Układ wydalniczy i osmoregulacja
- brak układu wydalniczego, produkty przemiany materii są zbierane przez specjalne komórki – amebocyty znajdujące się w płynie jamy ciała i usuwane przez układ wodny;
- brak zdolności osmotycznych; szkarłupnie zachowują równowagę ze środowiskiem wodnym, w którym żyją (morza o dużym i stałym zasoleniu).

Układ nerwowy
- prosta budowa ze względu na brak cefalizacji;
- składa się z pierścienia nerwowego otaczającego przełyk, od którego do ramion odchodzi pięć pni nerwowych;
- narządy zmysłu są bardzo słabo rozwinięte – nóżki ambulakralne pełnią funkcję narządu dotyku i reagują na bodźce chemiczne; rozgwiazdy i jeżowce mają fotoreceptory w postaci oczu prostych, u strzykw i jeżowców występuje narząd równowagi – statocysty.

Rozmnażanie i rozwój szkarłupni
- rozdzielnopłciowe, brak dymorfizmu płciowego, rzadko występują formy obojnacze;
- zapłodnienie zewnętrzne, jajorodność, rozwój złożony z obecnością dwubocznie symetrycznych, wolnopływających larw (u poszczególnych grup szkarłupni występują różne larwy).

Porównanie poszczególnych grup szkarłupni

Grupa	Cechy		
	tryb życia	sposób pobierania pokarmu	inne
liliowce (*Crinoidea*)	osiadły, przytwierdzają się do podłoża za pomocą stylika	filtratory (filtracja za pomocą nóżek ambulakralnych), odżywiają się detrytusem (martwą materią organiczną)	• ciało ma kształt kielicha z pięcioma ramionami • kielich na łodyżce przytwierdzającej zwierzę do podłoża • otwór gębowy na górnej stronie ciała • brak płytki madreporowej w układzie wodnym
rozgwiazdy (*Asteroidea*)	mało ruchliwe, poruszają się po dnie za pomocą nóżek wodnych	drapieżniki (pokarm to bezkręgowce wodne – małże, morskie ślimaki, pierścienice, a nawet ryby, korona cierniowa zjada polipy koralowców), niektóre żywią się padliną	• ciało o kształcie pięciopromiennej gwiazdy • otwór gębowy skierowany do dołu • bardzo duża zdolność do regeneracji
wężowidła (*Ophiuroidea*)	poruszają się skokami za pomocą silnych ramion	pobierają pokarm na drodze filtracji cząsteczek z mułu, mogą być drapieżnikami (polują na drobne zwierzęta wodne), a także padlinożercami	• ciało zbudowane z tarczy centralnej i pięciu długich ramion osiągających do 20 cm długości • brak otworu odbytowego – niestrawione resztki pokarmowe usuwają przez otwór gębowy położony na dolnej stronie ciała • zdolność do **autotomii** – w momencie zagrożenia mogą odrzucić ramiona
jeżowce (*Echinoidea*)	poruszają się dzięki nóżkom wodnym	– aparat gębowy – latarnia Arystotelesa zbudowana z pięciu promieniście ułożonych zębów wapiennych (zeskrobywanie z podłoża roślin i zwierząt)	• kształtem przypominają półkulę • otoczone twardym, wapiennym pancerzem i gęsto rozmieszczonymi kolcami • nie mają ramion

Grupa	Cechy		
	tryb życia	sposób pobierania pokarmu	inne
strzykwy (*Holothuroidea*)	mało aktywne, żyją na dnie morskim	mułożercy	• dwubocznie symetryczne • ciało walcowate, przypomina kształtem i wielkością ogórek • szkielet zredukowany do drobnych, wapiennych igiełek tkwiących w ciele • otwór gębowy otoczony wieńcem czułków • duża zdolność do regeneracji • w sytuacji zagrożenia wyrzucają narządy wewnętrzne przez otwór odbytowy – zjawisko autotomii
kołonice (*Peripoda*)	żyją w zatopionym drewnie, poruszają się za pomocą nóżek ambulakralnych	filtracja substancji pokarmowych przez błonę otaczającą ciało	• ciało w kształcie spłaszczonego krążka, z kolcami szkieletowymi na brzegach

Przykłady szkarłupni



Liliowce



Rozgwiazdy



Wężowidła



Jeżowce



Strzykwy



Kołonice

Cechy szkarłupni

Charakterystyczne dla szkarłupni	Typowe dla poprzednich grup – regresywne	Wspólne z następnymi grupami – progresywne
• układ wodny • wapienny szkielet wewnętrzny	• symetria promienista • zanik odcinka głowowego • brak centralizacji układu nerwowego • brak układu oddechowego i wydalniczego	• bruzdkowanie równoległe • przekształcenie pragęby w otwór odbytowy i powstanie wtórnego otworu gębowego • szkielet wewnętrzny pochodzenia mezodermalnego okryty ektodermalnym nabłonkiem

Znaczenie szkarłupni

1. Stanowią ważny składnik sieci pokarmowych ekosystemów morskich, są konsumentami i pokarmem dla wielu zwierząt, np. morskich ślimaków, ryb, ptaków i ssaków morskich.
2. Gatunki odżywiające się mułem i detrytusem uczestniczą w obiegu materii w przyrodzie.
3. Gatunki drapieżne regulują liczebność organizmów, którymi się żywią – innych bezkręgowców, głównie małży i wieloszczetów, a także polipów koralowców tworzących rafy koralowe (korona cierniowa).
4. Są wykorzystywane jako biologiczne wskaźniki czystości wody ze względu na wąski zakres tolerancji ekologicznej.
5. Niektóre gatunki rozgwiazd, jeżowców i strzykw (trepang królewski *Stichopus regalis* w Chinach jest traktowany jako przysmak) stanowią dla człowieka źródło pokarmu.
6. Niektóre jadowite gatunki szkarłupni są niebezpieczne dla człowieka, np. jeżowce należące do rodzaju *Tripneustes* oraz rodzin *Echinothuridae* i *Diadematidae*, których ukłucia mogą doprowadzić do śmierci.
7. Substancje chemiczne wytwarzane przez niektóre gatunki szkarłupni są wykorzystywane do produkcji leków przeciwzapalnych i przeciwzakrzepowych.
8. Jeżowce stanowią organizmy modelowe w badaniach nad przebiegiem procesu zapłodnienia i bruzdkowania.

7.3. Różnorodność i przegląd systematyczny kręgowców

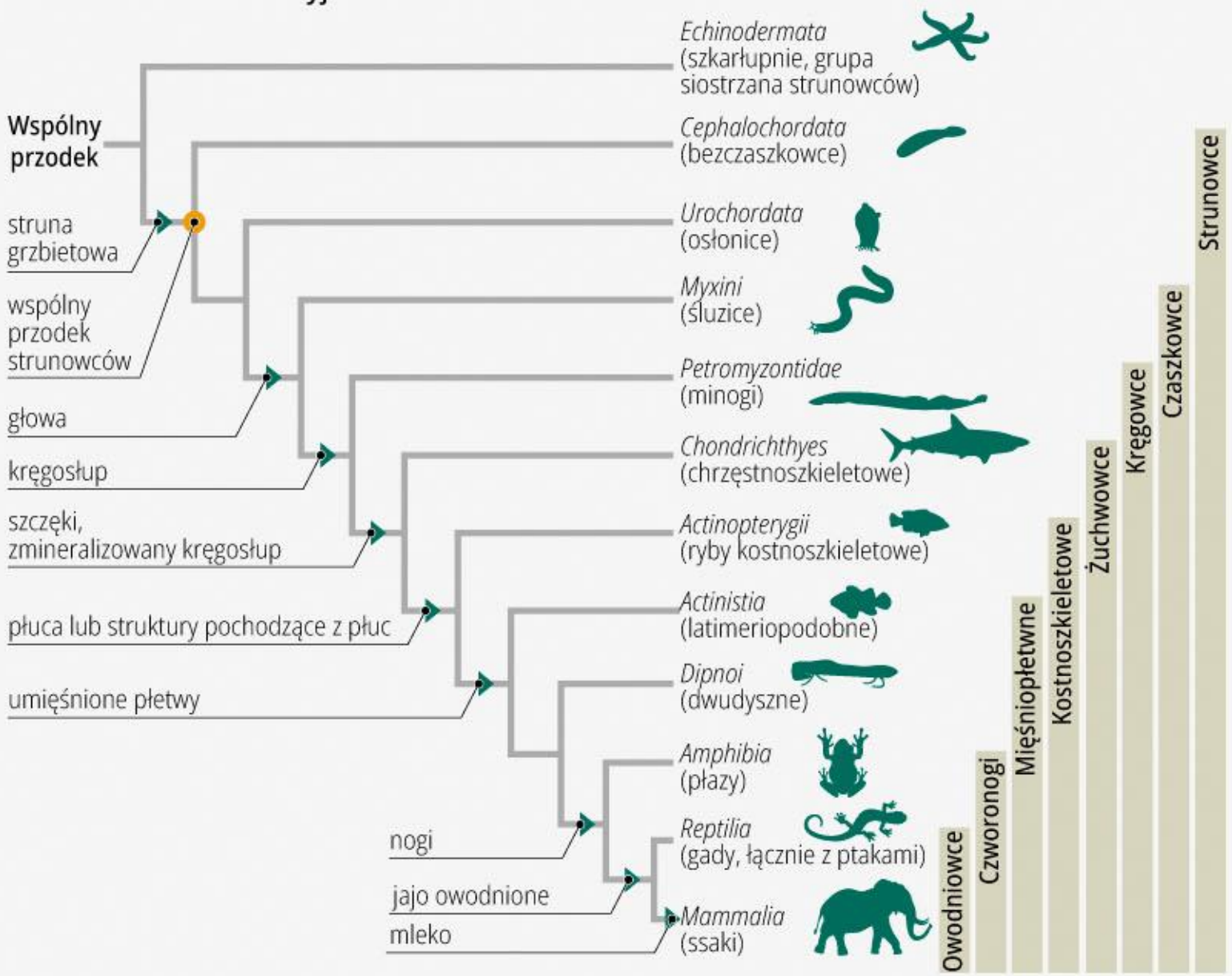
Charakterystyka strunowców

Strunowce to zwierzęta trójwarstwowe, dwubocznie symetrycznie wtórouste. Postaci larwalne, a czasami dorosłe mają **strunę grzbietową**, **cewkowaty układ nerwowy** oraz umięśniony **ogon**.

Podział strunowców

Strunowce niższe		Kręgowce
bezczaszkowce	osłonice	krągłouste, ryby, płazy, gady, ptaki, ssaki
np. lancetnik	np. żachwy	

Pokrewieństwo ewolucyjne strunowców



Cechy charakterystyczne strunowców

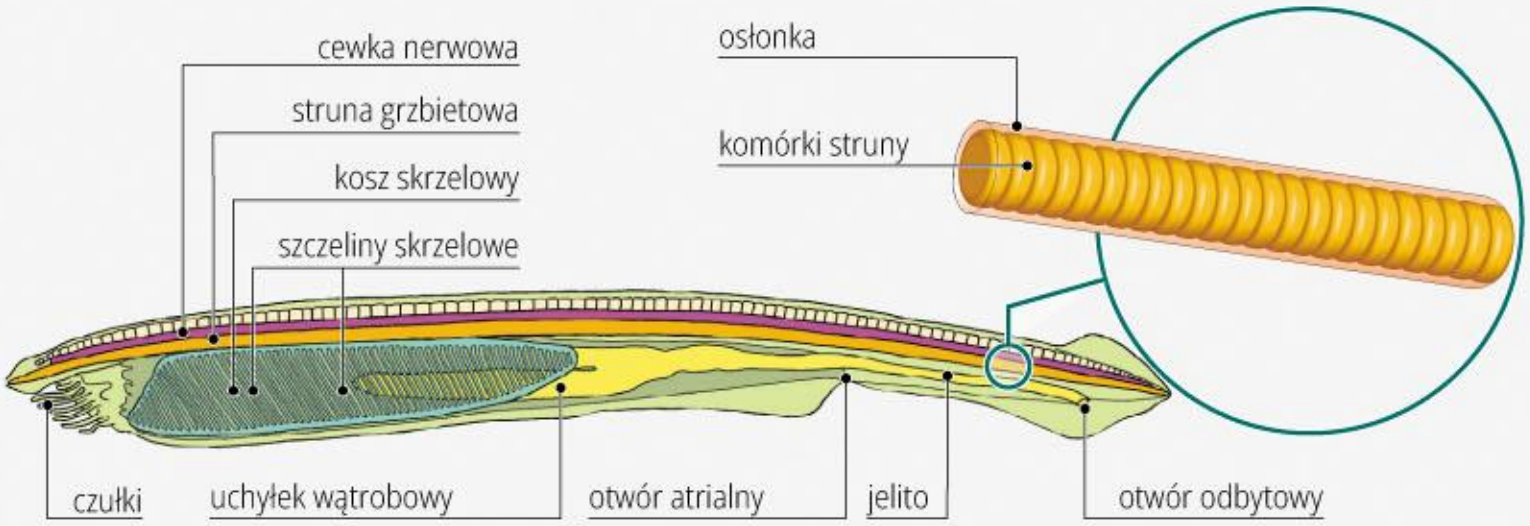
Struna grzbietowa – to wewnętrzny szkielet osiowy, który ma postać walcowatego pręta zbudowanego z tkanki łącznej. U dorosłych ryb i płazów ma postać szczątkową, a u ptaków i ssaków jest zastępowany przez kręgosłup.

Cewka nerwowa – położona jest grzbietowo wzdłuż struny grzbietowej. Cewka nerwowa zarodka strunowców rozwija się w ośrodkowy układ nerwowy: mózg i rdzeń kręgowy (u kręgowców).

Szczeliny skrzelowe gardzieli – gardziel, czyli odcinek położony tuż za otworem gębowym u zarodków, ma na bocznych ścianach szereg wgłębień oddzielonych bruzdami (szpary skrzelowe). U lądowych strunowców część szpar zanika, a część zostaje przekształcona w inne struktury.

Endostyl – to rowek na dnie gardzieli, który wydziela śluz. Przyczepiają się do niego cząstki pokarmu wpływające do gardzieli wraz z wodą. Występuje u osłonic, lancetnika oraz larw minogów. U pozostałych strunowców przekształcił się w tarczycę.

Ogon znajduje się za otworem odbytowym i służy do poruszania się (czasem zanika, np. u człowieka).

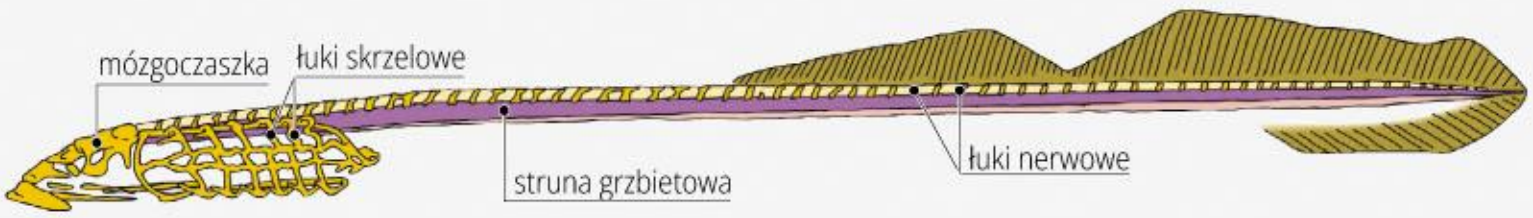


Strunowce niższe

Bezczaszkowce

Przedstawicielem bezczaszkowców jest **lancetnik.** Żyje w płytkich, ciepłych morzach. Zagrzebuje się w piasku. Przez całe życie **zachowuje wszystkie cechy strunowców**. Jego ciało jest wydłużone (5–7 cm), półprzezroczyste. Charakterystycznymi cechami lancetnika są:

- ciało pokryte miękką skórką zbudowaną z jednowarstwowego nabłonka oraz położonej pod nim warstwy tkanki łącznej;
- ciało podzielone na **część gębową** (z czułkami i otworem gębowym), **gardzielową** (z gardzielą ze szczelinami skrzelowymi) oraz **ogonową**;
- szkielet utworzony ze **struny grzbietowej**, która ciągnie się wzdłuż całego ciała;
- segmentowane mięśnie; **segmenty** (miomery) oddzielne pasmami tkanki łącznej (mioseptami);
- obecność na dnie gardzieli orzęsionej rynienki, czyli **endostylu**, który wyłapuje i zlepia pokarm;
- wymiana gazowa zachodzi w koszu skrzelowym (**gardziel skrzelowa**);
- **brak mózgu**; w przedniej części cewki nerwowej występuje pęcherzykowate rozszerzenie z komórkami światłoczułymi (narząd wzroku);
- **układ krwionośny zamknięty** o jednym obiegu; **brak serca**; krew nie zawiera barwników oddechowych;
- **układ wydalniczy** w postaci metamerycznie ułożonych **protonefrydiów**;
- **rozdzielnopłciowość** – gonady są ułożone parzyście przy ścianie gardzieli, gamety uwalniane są do jamy okołogardzielowej;
- **zapłodnienie zewnętrzne**, w rozwoju występuje asymetryczna larwa.



Osłonice

Osłonice, których przedstawicielem są żachwy, zachowują strunę grzbietową i cewkę nerwową, a także segmentację mięśni i ogon tylko w stadium larwalnym. Postać dorosła ma beczułkowaty, nieregularny kształt i jest otoczona organiczną osłonka – **tuniką.** W tunice występują dwa otwory (syfony): **wpustowy**, przez który do wnętrza ciała wpływa woda z pokarmem, oraz **wyrzutowy**, którym niestrawione resztki wydostają się na zewnątrz.



Żachwa – tryskawka złotogłowa należąca do osłonic.

Kręgowce

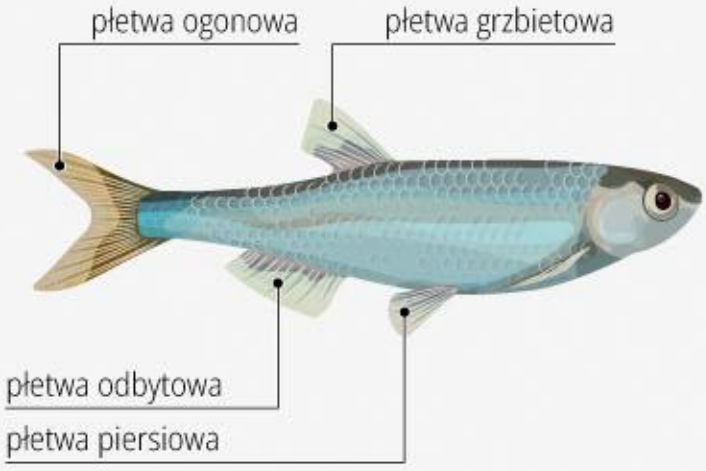
Kręgowce (ok. 70 tys. opisanych gatunków) to grupa bardzo zróżnicowana morfologicznie. Wszystkie kręgowce są zwierzętami trójwarstwowymi, wtóroustymi, celomatycznymi, o dwubocznej symetrii ciała. U kręgowców występuje szkielet osiowy (chrzęstny lub kostny), ośrodkowy układ nerwowy (mózg i rdzeń kręgowy) oraz układ krwionośny z sercem.

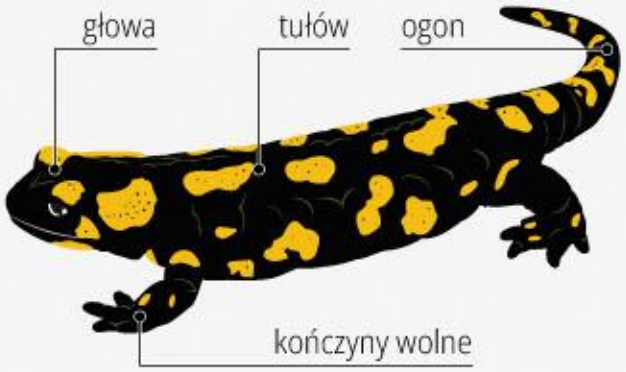
Ewolucja kręgowców

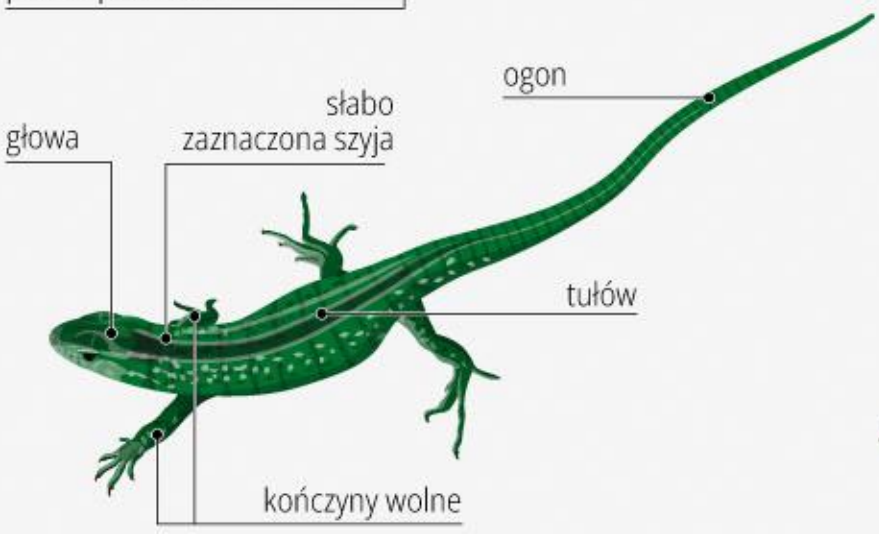
Kręgowce pojawiły się ponad pół miliarda lat temu w kambrze. Wywodzą się od bezżuchwowców pancernych. Ich ewolucja obejmowała kilka ważnych etapów.

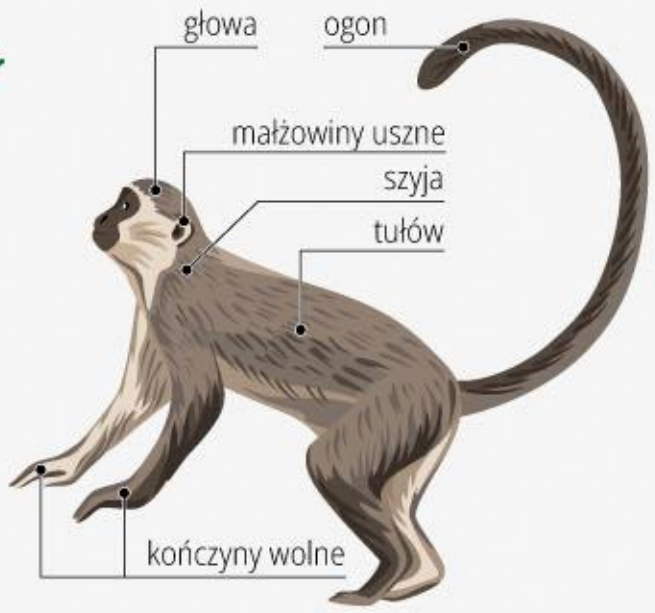
Kolejne cechy kręgowców w trakcie ewolucji	Grupa zwierząt kręgowych reprezentująca cechę	Przykłady gromad kręgowców, u których występuje
pojawienie się głowy złożonej z mózgu, oczu i innych narządów zmysłu	czaszkowce	krągłouste, ryby, płazy, gady, ptaki, ssaki
pojawienie się szczęk (umożliwiają chwytanie i rozdrabnianie pokarmu)	żuchwowce	ryby, płazy, gady, ptaki, ssaki
rozwój kończyn i opanowanie środowisk lądowych	czworonogi (pierwotnie lądowe)	płazy, gady, ptaki, ssaki
powstanie jaja wyposażonego w błony płodowe (uniezależnienie rozmnażania od wody)	owodniowce	gady, ptaki, ssaki
stałocieplność (utrzymywanie stałej temperatury ciała niezależnie od temperatury otoczenia)	stałocieplne	ptaki, ssaki

Porównanie budowy i czynności życiowych kręgowców









Budowa wewnętrzna kręgowców

Na **układ pokarmowy** kręgowców składa się przewód pokarmowy z otworem gębowym i odbytem oraz gruczołami dodatkowymi (wątrobą, trzustką). Układy pokarmowe poszczególnych grup kręgowców wyróżniają się modyfikacjami i przystosowaniami, dzięki którym zwierzęta te mogą trawić różnorodny pokarm (roślinny, mięsny).

Narządami oddechowymi kręgowców są skrzela i płuca. Skrzela zwykle składają się z licznych blaszek skrzelowych rozmieszczonych po bokach gardzieli. Wspierają się na szkieletowych łukach skrzelowych, między którymi znajdują się szczeliny skrzelowe. U kręgowców lądowych występują płuca, które rozwinęły się z parzystego pęcherza pławnego – narządu służącego rybom do regulacji wyporności.

Układ krwionośny – dzięki obecności hemoglobiny krew kręgowców ma kolor czerwony. Jej transport odbywa się w **zamkniętym układzie krążenia**. Krew tłoczona jest żyłami i tętnicami dzięki skurczom mięśnia sercowego położonego po stronie brzusznej.

Układ nerwowy – obejmuje ośrodkowy (centralny) układ nerwowy (OUN), czyli **mózgowie** i **rdzeń kręgowy**, oraz **nerwy**, które tworzą obwodowy układ nerwowy. OUN ciągnie się wzdłuż struny grzbietowej, a u bardziej zaawansowanych organizmów – w kanale rdzeniowym kręgosłupa. Kręgowce mają dobrze rozwinięte narządy zmysłów. W czaszce znajdują się trzy pary narządów: opuszki węchowe, oczy oraz narządy równoważno-słuchowe (błędnik i ślimak). U kręgowców wodnych występuje linia naboczna, odbierająca drgania ośrodka.

Układ wydalniczy kręgowców stanowią **nerki**, zbudowane z nefronów (pranercze u ryb i płazów oraz nerka ostateczna u owodniowców). Przez nefron spływa przesącz krwi, czyli mocz pierwotny, który podlega dalszym przemianom w mocz ostateczny. Mocz ostateczny zawiera produkty odpadowe metabolizmu, w szczególności produkty rozpadu związków azotowych. Niektóre kręgowce wydalają głównie amoniak (zwierzęta **amoniotoleiczne**), a inne – mocznik (zwierzęta **ureoteliczne**) lub kwas moczowy (zwierzęta **urykoteliczne**).

Rozmnażanie – większość kręgowców jest **rozdzielnopłciowa**. Samice produkują komórki jajowe, a samce – plemniki. U ryb i płazów zapłodnienie jest najczęściej zewnętrzne. U kręgowców lądowych (jajorodnych i żyworodnych) zapłodnienie jest wewnętrzne.

Krągłouste

Krągłouste zamieszkują wody słone i słodkie. Nazwa tych zwierząt wywodzi się od okrągłego otworu gębowego, otoczonego lejkiem przyssawkowym, za pomocą którego zwierzęta te przyczepiają się do ryb i wysysają z nich krew.

Cechy charakterystyczne krągłoustych:
- brak żuchwy i szczęk;
- brak parzystych płetw;
- dobrze rozwinięta, obecna przez całe życie struna grzbietowa;
- czaszka zbudowana z chrząstki; słabo wykształcony kręgosłup chrzęstny;
- naga, pokryta śluzem skóra;
- narząd wymiany gazowej w postaci workowatych skrzeli wewnętrznych;
- jednoobiegowy układ krwionośny; serce zbudowane z zatoki żylnej, przedsionka i komory;
- pranercza jako narządy wydalnicze.

Podział krągłoustych

Śluzice

Śluzice są morskimi padlinożercami. Mają ostry język z rogowymi wypustkami, za pomocą którego wyrywają kęsy pokarmu. Mechanizm obronny śluzic przed drapieżnikami polega na wydzielaniu ogromnej ilości śluzu, który ułatwia wyswobodzenie się i ucieczkę.



Minogi

Minogi są reprezentowane przez 35 gatunków. W Polsce występują 4 gatunki. Są one w większości pasożytnicze. Zwierzęta te za pomocą lejka przyssawkowego pobierają krew od żywiciela (ryby). W ich cyklu rozwojowym obecna jest larwa zwana **ślepicą**.



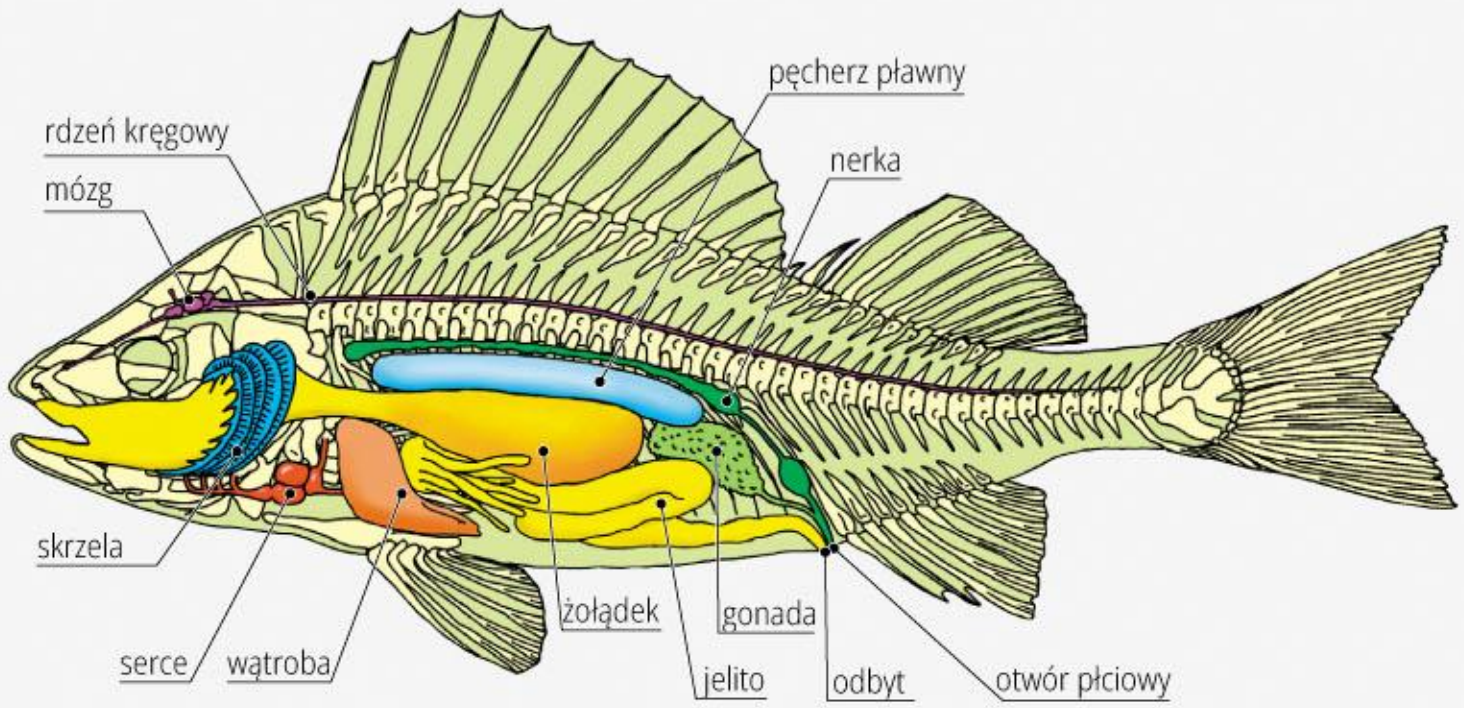
Ryby

Charakterystyka ryb

Ryby są zwierzętami doskonale przystosowanymi do środowiska wodnego (zwierzęta pierwotnie wodne). Mają chrzęstny lub kostny układ szkieletowy. Występują u nich szczęki i parzyste płetwy.

Cechy charakterystyczne ryb:
- opływowy kształt ciała i brak szyi;
- występowanie **płetw** (nieparzystych i parzystych);
- oddychanie **skrzelami** i przez skórę;
- u wielu gatunków obecność **pęcherza pławnego** – narządu hydrostatycznego, który zmniejsza ciężar właściwy ciała, może też umożliwiać wydawanie dźwięków i wymianę gazową;
- skóra pokryta łuskami i śluzem;
- obecność **linii nabocznej** (narządu zmysłu, który służy do wyczuwania ruchów wody);
- występowanie **jednego obiegu krwi** (brak obiegu płucnego);
- serce wyłącznie żylne, zbudowane z **jednego przedsionka i jednej komory**;
- obecność tylko ucha wewnętrznego (sprawnie odbiera dźwięki rozchodzące się w wodzie).

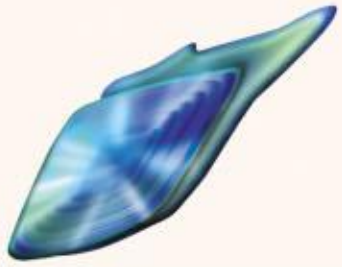
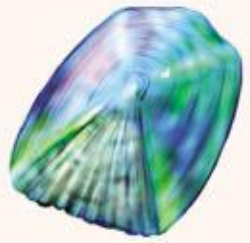
Budowa i czynności życiowe ryb



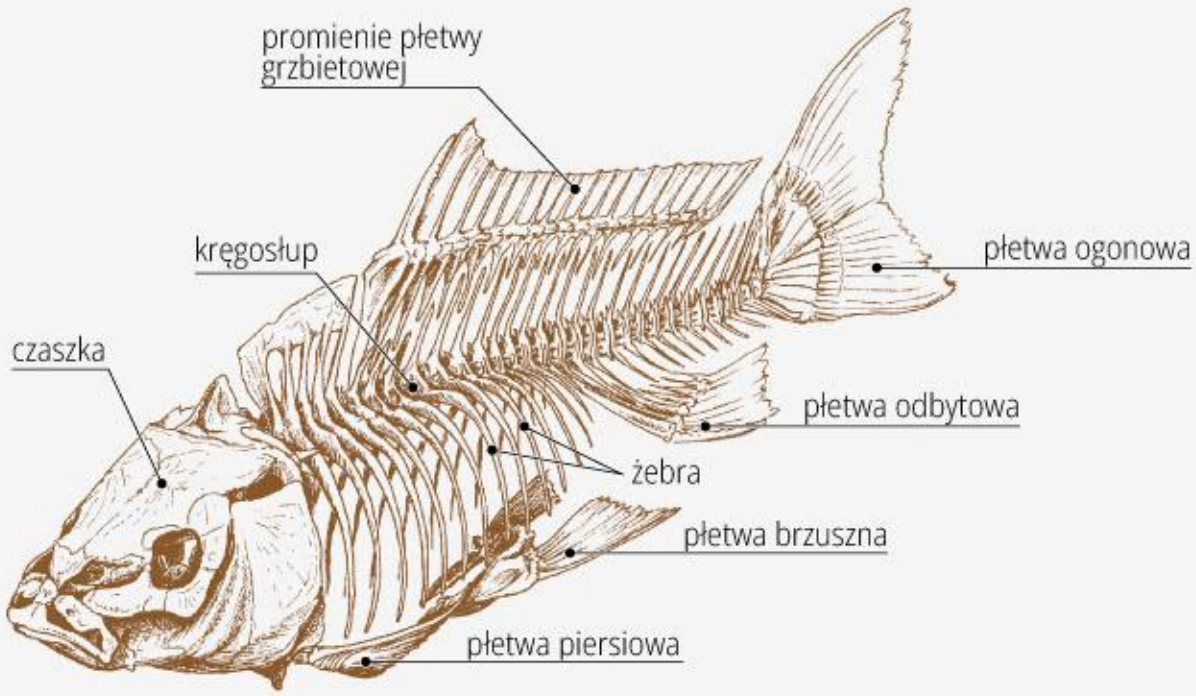
Pokrycie ciała

Skóra ryb jest zbudowana z wielowarstwowego naskórka i skóry właściwej. W naskórku obecne są **gruczoły śluzowe** (wytwarzają śluz zmniejszający opór wody) i **komórki barwnikowe** (warunkują ubarwienie ciała). Ciało ryb pokrywają ochronne łuski, które są wytworem skóry właściwej.

Rodzaje łusek ryb

Plakoidalne	Ganoidowe	Elastyczne
		
• składają się z płytki i wystającego nad skórę ząbka • homologiczne z zębami kręgowców • w miarę wzrostu ryby przybywa łusek, ich wielkość się nie zmienia • występują u ryb chrzęstno-szkieletowych	• romboidalne płytki z warstwą ganoiny • występują u prymitywnych ryb kostnoszkieletowych	• elastyczne płytki ułożone dachówkowato w skórze właściwej • mają wyraźne pierścienie przyrostu • w zależności od kształtu dzielimy je na okrągłe (cykloidalne) i zgrzebłowate (ktenoidalne) • występują u większości ryb kostnoszkieletowych

Układ szkieletowy



Na **szkielet** ryb składa się **szkielet osiowy** (czaszka i kręgosłup), **szkielet obręczy** barkowej i miednicznej oraz **szkielet płetw**. Dodatkowym elementem u wielu gatunków ryb są ości, czyli skostniałe ścięgna występujące w mięśniach. Czaszka ryb łączy się nieruchomo z kręgosłupem. Jest podzielona na mózgoczaszkę i trzewioczaszkę, w której występują kości szczęki i żuchwa.

Układ pokarmowy

Pierwszym odcinkiem układu pokarmowego ryb jest **jama gębowa**, w której często obecne są stożkowate zęby. Za jamą gębową znajduje się odcinek skrzelowy układu pokarmowego, a dalej przełyk, który uchodzi do żołądka. Za żołądkiem jest jelito cienkie, do którego mają ujście przewody trzustki i wątroby. Za jelitem cienkim znajduje się jelito grube, które kończy się otworem odbytniczym (u ryb kostnoszkieletowych) lub uchodzi do kloaki (u ryb chrzęstnoszkieletowych).

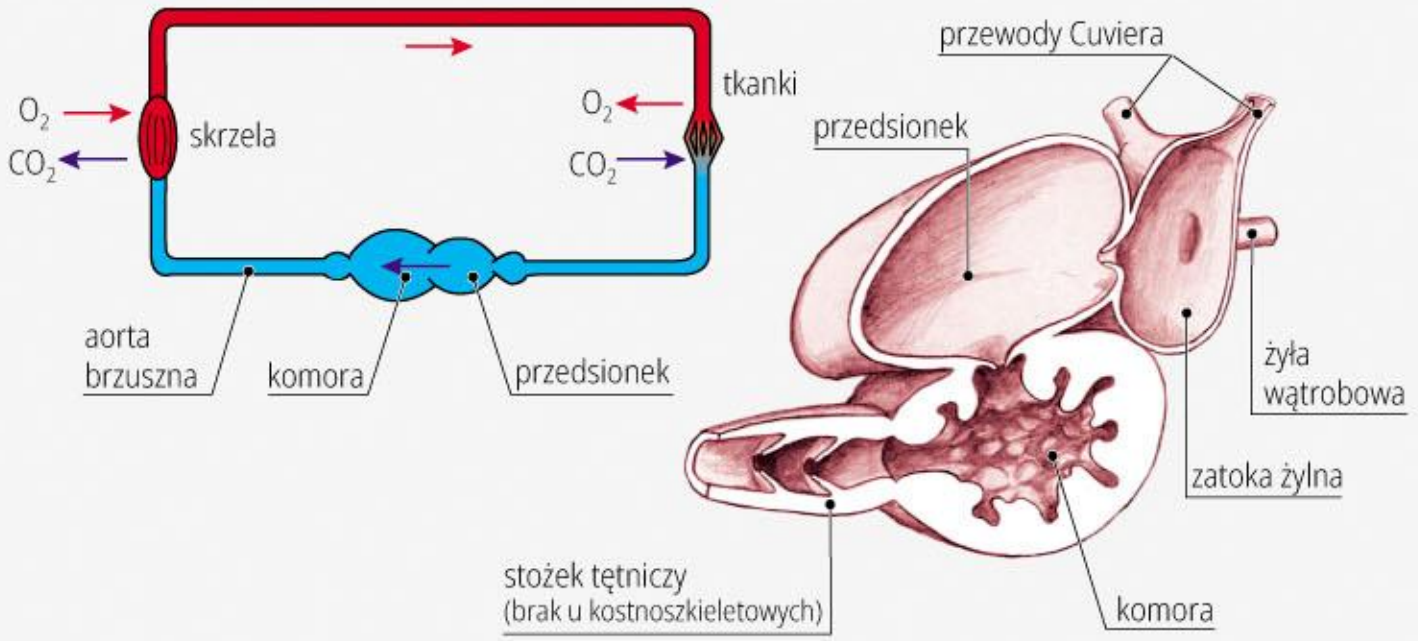
U wielu gatunków ryb kostnoszkieletowych do przełyku otwiera się **ujście pęcherza pławnego**.

Układ oddechowy

Narządem oddechowym ryb są **skrzela wewnętrzne**, które mieszczą się w komorach skrzelowych. Każde skrzele zbudowane jest z łuku skrzelowego i osadzonych na nich **listków skrzelowych**. Powierzchnia tych listków jest pokryta blaszkami skrzelowymi. Funkcję wspomagającą oddychanie u ryb pełni skóra.

Układ krwionośny

Układ krwionośny ryb jest **zamknięty** i składa się tylko z jednego obiegu krwi. Serce jest żylne (wyjątek stanowią ryby dwudyszne), co oznacza, że płynie przez nie krew odtlenowana. U ryb chrzęstnoszkieletowych serce jest czteroczęściowe – tworzą je: zatoka żylna, przedsionek, komora i stożek tętniczy. U ryb kostnoszkieletowych serce jest trzyczęściowe (zatoka żylna, przedsionek i komora). Wypływająca z serca krew jest doprowadzana tętnicami do skrzeli, gdzie ma miejsce wymiana gazowa między krwią i wodą opływającą skrzela. Utlenowana krew jest następnie rozprowadzana do wszystkich tkanek.



Układ wydalniczy i osmoregulacja

Narządami wydalniczymi ryb są **pranercza** (inaczej śródnercza). Mocz w nich produkowany poprzez moczowody dociera do pęcherza moczowego. Wydalanie u ryb chrzęstnoszkieletowych i mięśniopłetwych odbywa się za pomocą **kloaki**, a u pozostałych kostnoszkieletowych – poprzez otwór moczowo-płciowy. Końcowym produktem przemian metabolicznych jest **mocznik** (u ryb chrzęstnoszkieletowych) lub **amoniak** (u ryb kostnoszkieletowych). Usuwanie zbędnych produktów metabolicznych wspomagają skrzela. Układ wydalniczy odgrywa także rolę osmoregulacyjną.

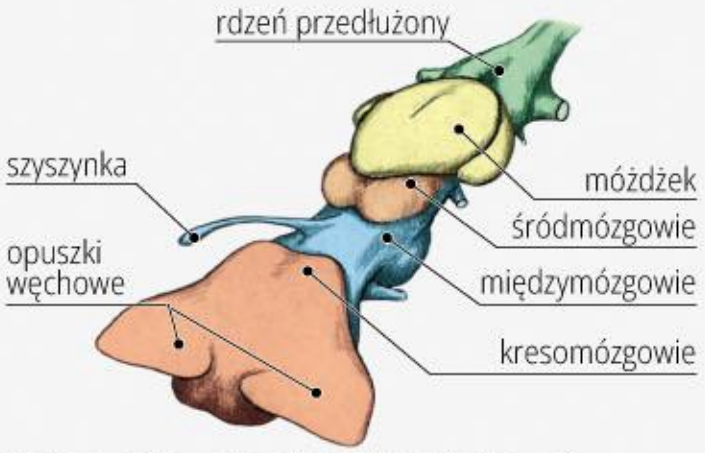
Osmoregulacja ryb uzależniona od toniczności środowiska

Środowisko morskie (hipertoniczne)	Środowisko słodkowodne (hipotoniczne)
Ryby kostnoszkieletowe: • piją wodę i wydalają nadmiar soli przez skrzela • produkują silnie zagęszczony mocz Ryby chrzęstnoszkieletowe: • gromadzą we krwi substancje osmotycznie czynne, np. mocznik (ich płyny ustrojowe mają ciśnienie osmotyczne zbliżone do ciśnienia wody morskiej)	Ryby kostnoszkieletowe: • nie piją wody • aktywnie pobierają jony przez skrzela • produkują duże ilości rozcieńczonego moczu

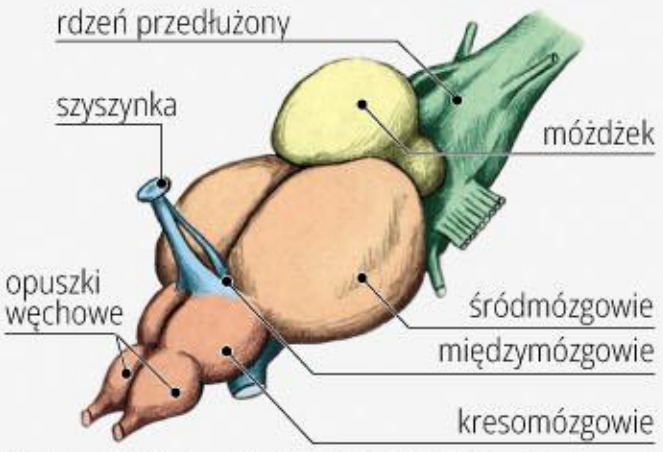
Układ nerwowy i narządy zmysłów

Centralny układ nerwowy ryb składa się z **mózgowia, rdzenia kręgowego i 10 par nerwów czaszkowych**. Mózgowie składa się z pięciu liniowo ułożonych pęcherzyków. Stopień ich rozwoju uzależniony jest od warunków i trybu życia związanego z dominacją danego narządu zmysłu.

Części mózgu są u ryb ustawione **liniowo**.



Budowa mózgu ryby chrzęstnoszkieletowej



Budowa mózgu ryby kostnoszkieletowej

Narząd zmysłu	Funkcja
linia naboczna	Składa się z receptorów umiejscowionych pod powierzchnią skóry. Służy do rejestrowania ruchów wody.
oczy	Dobrze rozwinięte, akomodacja następuje poprzez zmianę położenia niemal kulistej soczewki względem siatkówki. Część ryb odróżnia barwy.
dołki węchowe	Zawierają receptory węchu.
ucho wewnętrzne	Narząd słuchu i równowagi, w którym obecne są trzy kanały półkoliste.
narząd elektryczny	Obecny u niektórych ryb, wytwarza pole elektryczne wokół ciała i wykrywa jego zaburzenia związane z bliskością innych organizmów lub obiektów.

Rozmnażanie i rozwój ryb

Znaczna część ryb jest **rozdzielnopłciowa**, z wyraźnie zaznaczonym **dymorfizmem płciowym**. U ryb występują trzy formy rozrodu: jajorodność, jajożyworodność i żyworodność. Zapłodnienie może być zewnętrzne lub wewnętrzne (u ryb chrzęstnoszkieletowych). Okres rozrodu u ryb nazywamy **tarłem**. Często są z nim związane zmiany w zachowaniu, a także dalekie wędrówki.

Porównanie ryb chrzęstnoszkieletowych i kostnoszkieletowych

	Chrzęstnoszkieletowe	Kostnoszkieletowe
szkielet	chrzęstny	głównie kostny
mózg i narządy zmysłów	kresomózgowie z dużymi opuszkami węchowymi – dominującym zmysłem jest węch	duże śródmózgowie – dominującym zmysłem jest wzrok
skrzela	każde z osobną szczeliną (pierwsza często przekształcona w tryskawkę), bez wspólnej pokrywy	skrzela z wieczkiem skrzelowym, z jednym wspólnym ujściem
łuski	plakoidalne	głównie elastyczne (cykloidalne i ktenoidalne)
środowisko życia	morza pełnosłone, wyjątkowo słodkowodne	morskie i słodkowodne

Znaczenie ryb

1. Regulują stosunki troficzne w ekosystemach wodnych.
2. Stanowią pożywienie dla człowieka i innych zwierząt.
3. Są źródłem cennych substancji odżywczych: białka o wysokiej wartości, tłuszczów (np. tran rybi), witamin.
4. Są bioindykatorami środowiska (stanu wód).
5. Mają znaczenie gospodarcze (wędkarstwo, gospodarstwa rybne) i akwarystyczne.

Przegląd systematyczny ryb

Chrzęstnoszkieletowe		Kostnoszkieletowe	
Rekiny	**Płaszczki**	**Kostnopromieniste**	**Mięśniopłetwe**
• planktonożerne filtratory lub mięsożerne • dobrze rozwinięty mózg, rdzeń kręgowy otoczony kręgami • zapłodnienie wewnętrzne; jajorodne lub żyworodne	• gatunki przydenne • ciało spłaszczone z dwiema płetwami piersiowymi i ogonem • u niektórych gatunków obecny kolec jadowy	• płetwy osadzone na kostnych promieniach	• kości w płetwach piersiowych i brzusznych otoczone grubą warstwą mięśni
żarłacz tygrysi, żarłacz biały, rekin wielorybi	ogończa, manta	dorsz, jesiotr, węgorz, łosoś, śledź, karp, tuńczyk, halibut, flądra	latimeria, rogoząb, prapłetwiec
			
Żarłacz biały	Manta	Kaługa	Rogoząb

Płazy

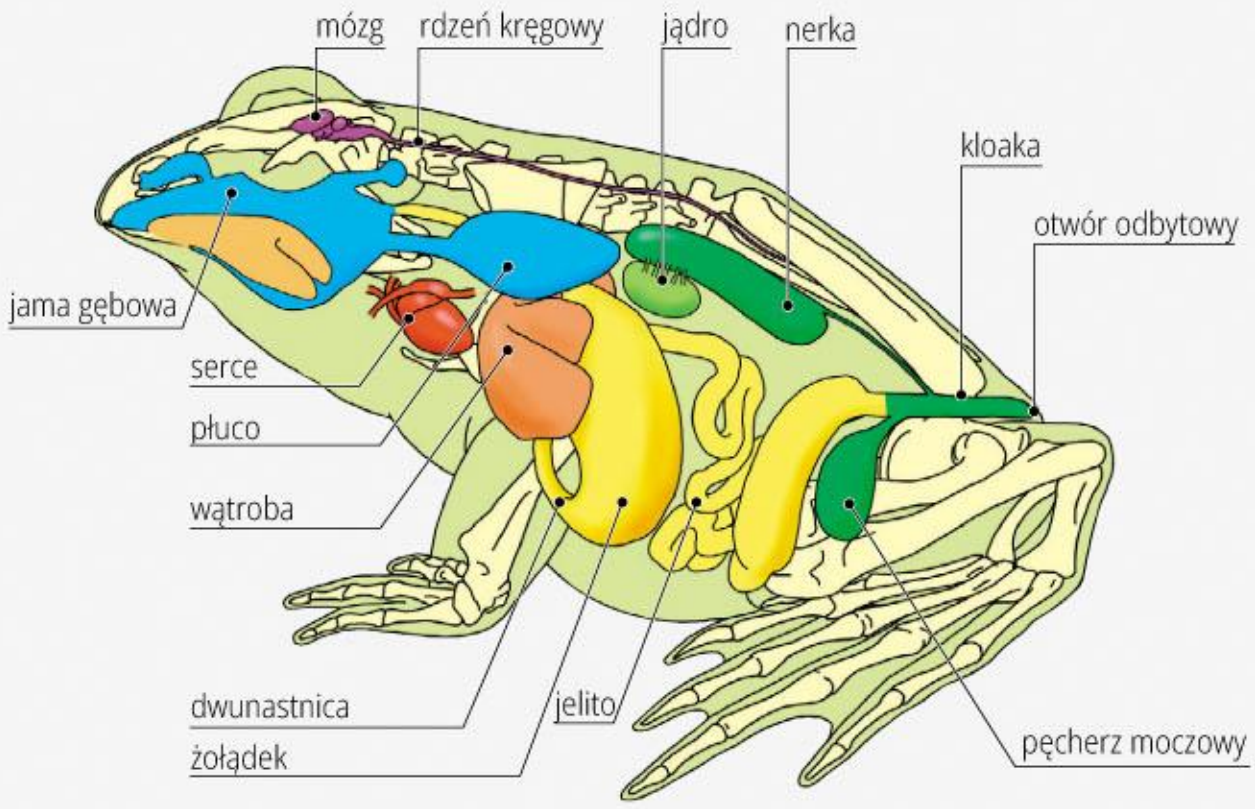
Charakterystyka płazów

Płazy to organizmy **wodno-lądowe**. Należą do żuchwowców, są **zmiennocieplne**. Ich ciało pokrywa cienka skóra z warstwą śluzu. Płazy oddychają za pomocą **płuc**, mają serce zbudowane z **dwóch przedsionków i komory**. Czaszka jest ruchoma – łączy się z kręgosłupem za pomocą **dwóch kłykci potylicznych**. U większości gatunków płazów ma miejsce złożony cykl rozwojowy.

Przystosowania płazów do życia wodno-lądowego

Przystosowania do życia w wodzie	Przystosowania do życia w wodzie
• silnie ukrwiona i pokryta śluzem skóra (służy jako dodatkowy organ oddychania; śluz ułatwia pływanie) • palce z błonami pławnymi (u płazów bezogonowych) • ogon ułatwiający pływanie (płazy ogoniaste) • wysoko osadzone oczy umożliwiają obserwację otoczenia spod powierzchni wody	• cztery kończyny umożliwiają chodzenie i skakanie (u płazów bezogonowych) • obręcze: barkowa i biodrowa połączone z kręgosłupem • obecność palców • lekka, ażurowa czaszka połączona ruchomo z kręgosłupem • obecność płuc umożliwia oddychanie powietrzem • dwa obiegi krwi (duży i mały, czyli płucny) • wydalanie mocznika • obecność błony bębenkowej i strzemiączka w uchu środkowym pozwala na odbieranie dźwięków rozchodzących się w powietrzu • ochrona oczu w postaci powiek

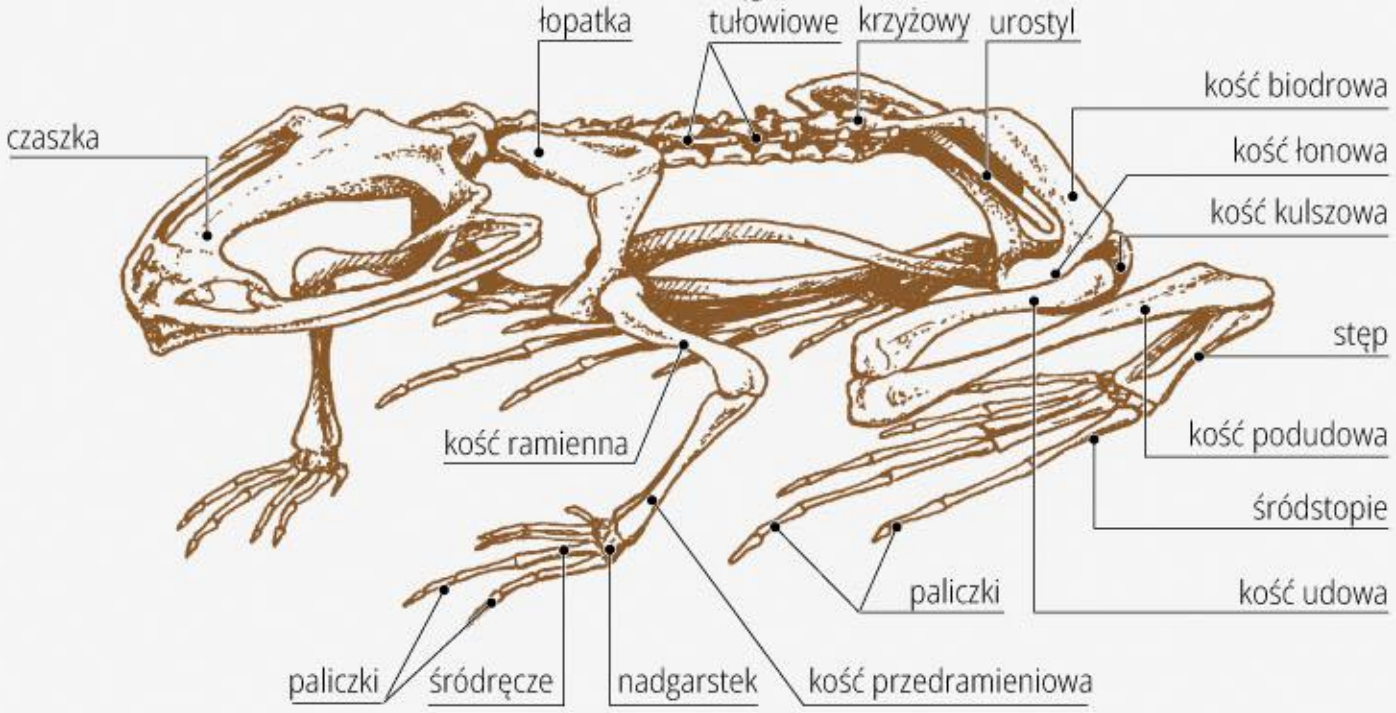
Budowa i czynności życiowe płazów



Pokrycie ciała

Skóra płazów jest zbudowana z cienkiego naskórka i pokryta śluzem wydzielanym przez liczne, wielokomórkowe **gruczoły śluzowe** obecne w silnie ukrwionej skórze właściwej. Śluz pokrywający ciało ułatwia pływanie i zapobiega wysychaniu skóry. Oprócz gruczołów śluzowych w skórze płazów występują **gruczoły jadowe** (np. u ropuch) oraz komórki barwnikowe, które warunkują ubarwienie ostrzegawcze lub maskujące.

Układ szkieletowy i mięśniowy



Na **szkielet** płazów składa się **szkielet osiowy** (czaszka i kręgosłup) oraz **szkielet kończyn** (wyjątek stanowią płazy beznogie). Czaszka płazów jest lekka i ażurowa: spłaszczona grzbieto-brzusznie i dużymi oczodołami. W szczękach występują liczne stożkowate zęby (wyjątek stanowią bezogonowe). Na kościach potylicznych występują **dwa kłykcie potyliczne**, dzięki czemu czaszka połączona jest ruchomo z kręgosłupem i może się poruszać góra – dół. Górna część kości gnykowo-żuchwowej przekształciła się w **strzemiączko** – kosteczkę słuchową w uchu środkowym. Kręgosłup składa się z czterech odcinków: szyjnego, tułowiowego, krzyżowego i ogonowego. U płazów bezogonowych kręgi ogonowe zrosły się w **kość ogonową**, czyli **urostyl**. U płazów nie występuje klatka piersiowa, a żebra są silnie zredukowane. W odcinku tułowiowym zachowała się segmentacja mięśni. U płazów bezogonowych silnie rozwinęły się mięśnie kończyn.

Układ pokarmowy

Układ pokarmowy płazów rozpoczyna się **otworem gębowym**, za którym znajduje się jama gębowo-gardzielowa, w której często są obecne stożkowate zęby i umięśniony język. Za jamą gębową jest krótki przełyk, który uchodzi do słabo zaznaczonego żołądka. Za żołądkiem znajduje się jelito cienkie i dalej jelito grube, które uchodzi do kloaki. Dorosłe płazy chwytają pokarm i połykają go w całości.

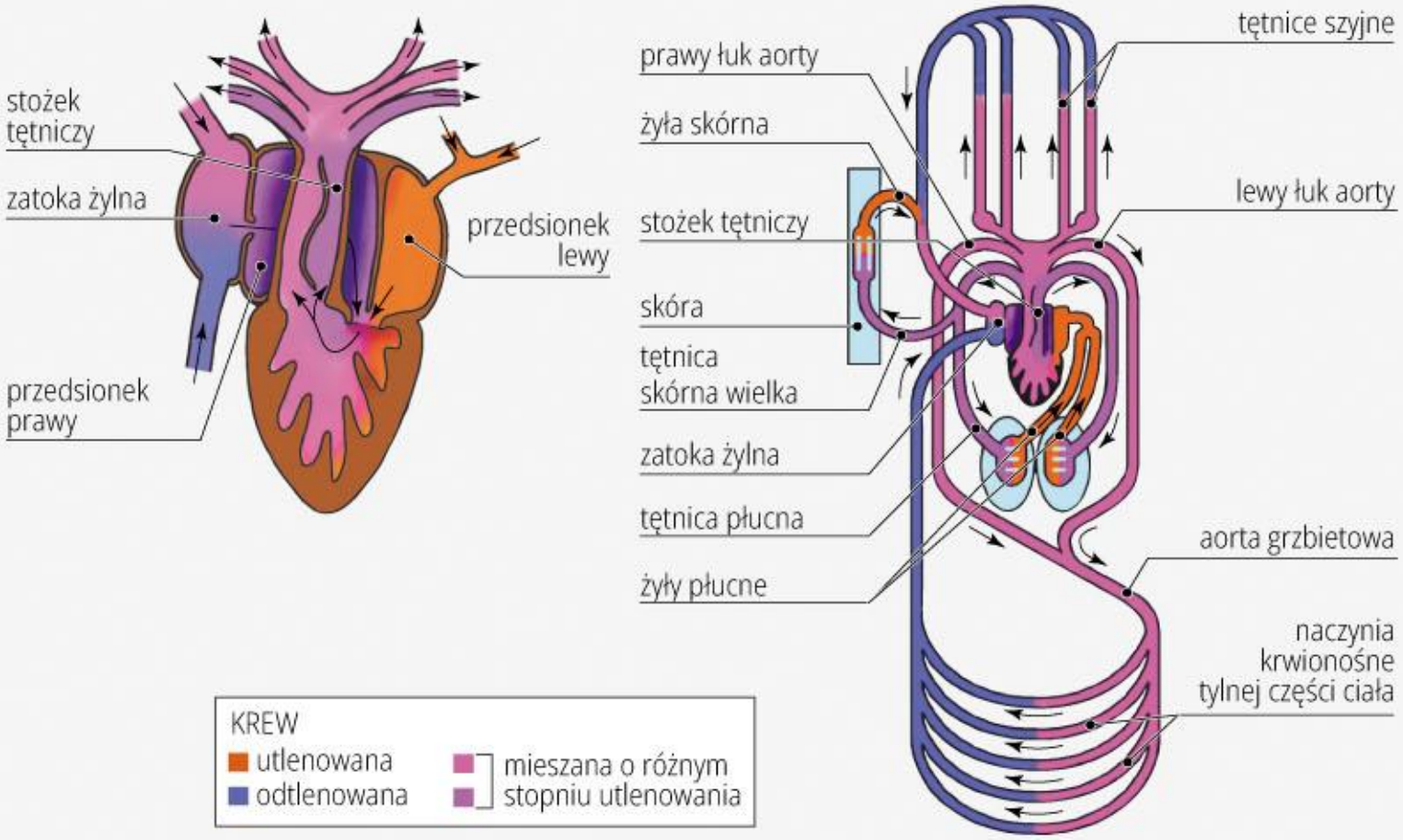
Układ oddechowy

Narządem oddechowym płazów są parzyste, workowate **płuca**. Dodatkową funkcję oddechową pełni skóra oraz nabłonek jamy gębowo-gardzielowej. Brak klatki piersiowej uniemożliwia zmianę objętości płuc, dlatego pobieranie powietrza odbywa się poprzez ruchy dna jamy gębowo-gardzielowej. Mechanizm wentylacji płuc (na przykładzie żaby) obejmuje:

- zamknięcie krtani, obniżenie dna jamy gębowo-gardzielowej i zassanie świeżego powietrza przez otwory nosowe do jej wnętrza,
- zamknięcie nozdrzy zewnętrznych, otwarcie krtani i podniesienie jamy gębowo-gardzielowej wtłacza świeże powietrze do płuc,
- kilkukrotne ruchy dna jamy gębowo-gardzielowej prowadzą do wymiany powietrza w płucach,
- zamknięcie krtani, otwarcie nozdrzy zewnętrznych i podniesienie dna jamy gębowo-gardzielowej prowadzi do usunięcia zużytego powietrza na zewnątrz.

Układ krwionośny

Układ krwionośny płazów jest zamknięty i składa się z **dwóch obiegów krwi** (dużego i płucnego). Serce jest zbudowane z **dwóch przedsionków, pojedynczej komory** i dodatkowo zatoki żylnej oraz stożka tętniczego. Stożek tętniczy jest wspólną strukturą dla obu krwiobiegów. Ze względu na brak przegrody w komorze krew natlenowana i odtlenowana częściowo mieszają się ze sobą. Natlenowanie krwi u płazów jest podwójne: w wyniku przepływu krwi w małym obiegu w płucach oraz podczas przepływu przez duży obieg w naczyniach włosowatych skóry.



Układ wydalniczy i osmoregulacja

Narządami wydalniczymi płazów są **pranercza**. Mocz tam produkowany poprzez moczowody dociera do pęcherza moczowego, który stanowi uchyłek kloaki. Końcowym produktem przemian metabolicznych jest **mocznik** (u larw płazów – **amoniak**).

Układ nerwowy i narządy zmysłów

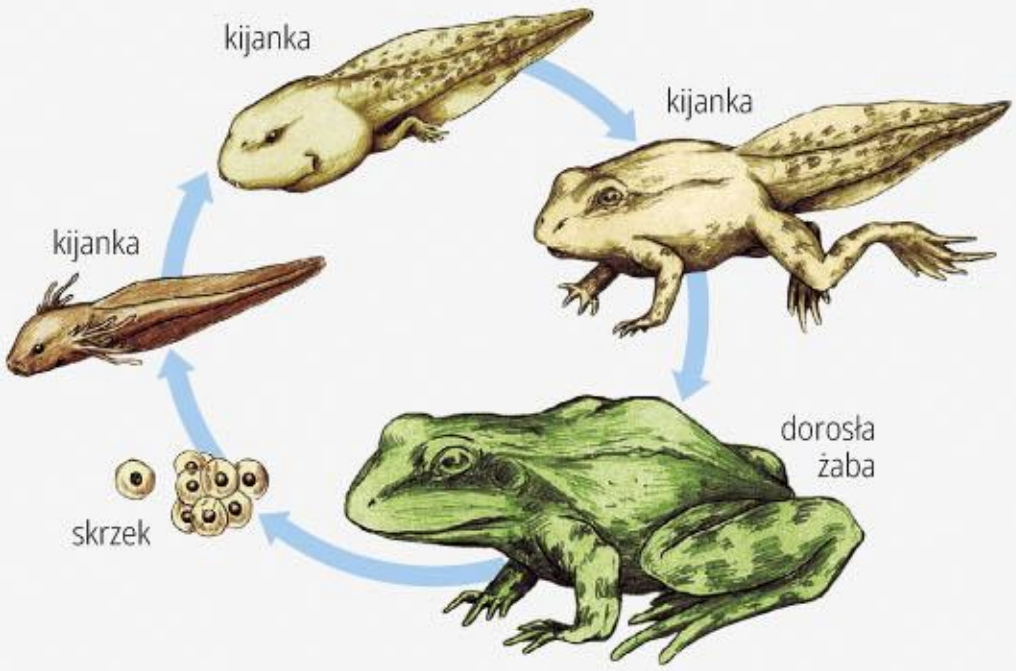
Centralny układ nerwowy płazów składa się z **mózgowia, rdzenia kręgowego i 10 par nerwów czaszkowych**. Części mózgowia są ułożone **liniowo**. W porównaniu z rybami płazy mają lepiej rozwinięte kresomózgowie (z dwiema półkulami).

Narządy zmysłów płazów

Narząd zmysłu	Funkcja
węch	Funkcje węchowe pełni nabłonek wyścielający parzystą jamę węchową.
narząd Jacbsona	Zlokalizowany w uchyłku jamy węchowej, odbiera bodźce smakowe i węchowe.
wzrok	Mała i spłaszczona soczewka; ochronę oka stanową powieki i gruczoły łzowe.
narządy czucia skórnego	Zawierają receptory dotyku, zimna, gorąca i bólu.
ucho środkowe	Narząd słuchu i równowagi. W uchu środkowym znajduje się strzemiączko, które poprawia jakość słyszenia. Jama ucha środkowego jest połączona z odcinkiem gardzielowym przewodem (trąbką Eustachiusza). Ucho środkowe od środowiska zewnętrznego oddziela błona bębenkowa. W uchu wewnętrznym obecne są trzy kanały półkoliste.

Rozmnażanie i rozwój płazów

Płazy są **rozdzielnopłciowe,** u części występuje **dymorfizm płciowy**. Rozród zachodzi w środowisku wodnym i jest związany z różnymi zachowaniami godowymi. U płazów bezogonowych występuje zapłodnienie zewnętrzne, a u części płazów ogoniastych i beznogich – wewnętrzne. Płazy są w większości jajorodne (niektóre są jajożyworodne, np. salamandra). Płazy przechodzą **złożony cykl rozwojowy** (z przeobrażeniem), w którym występuje larwa rozwijająca się w wodzie i oddychająca skrzelami. U niektórych płazów zachodzi zjawisko **neotenii**, czyli osiągnięcie dojrzałości płciowej w stadium larwalnym (np. u aksolotla).



Znacznie płazów

1. Jako drapieżniki regulują stosunki troficzne w ekosystemach (ograniczają liczebność szkodników).
2. Stanowią pożywienie dla zwierząt.
3. Są wykorzystywane w badaniach biomedycznych (np. jako modele naukowe).

Przegląd systematyczny płazów

Ogoniaste	Bezogonowe	Beznogie
• organizmy przeważnie wodne, nieliczne lądowe • poruszają się, wyginając ciało na boki • kończyny przednie i tylne tej samej długości • u form dorosłych występuje ogon	• poruszają się skokami za pomocą długich i silnych kończyn tylnych • u postaci dorosłych brak ogona (występuje urostyl) • długi i lepki język umożliwia chwytanie pokarmu • w cyklu rozwojowym występuje larwa – kijanka	• zamieszkują wilgotne lasy, płytkie wody strumieni • zredukowane odnóża • są prawie ślepe • ciało pokryte łuskami • zapłodnienie wewnętrzne • jajorodność lub żyworodność
aksolotl meksykański, traszka zwyczajna, salamandra plamista	żaba trawna, ropucha szara, kumak górski, żaba śmieszka, rzekotka drzewna	marszczelec pierścieniowy


Traszka zwyczajna


Żaba śmieszka


Marszczelec pierścieniowy

Gady

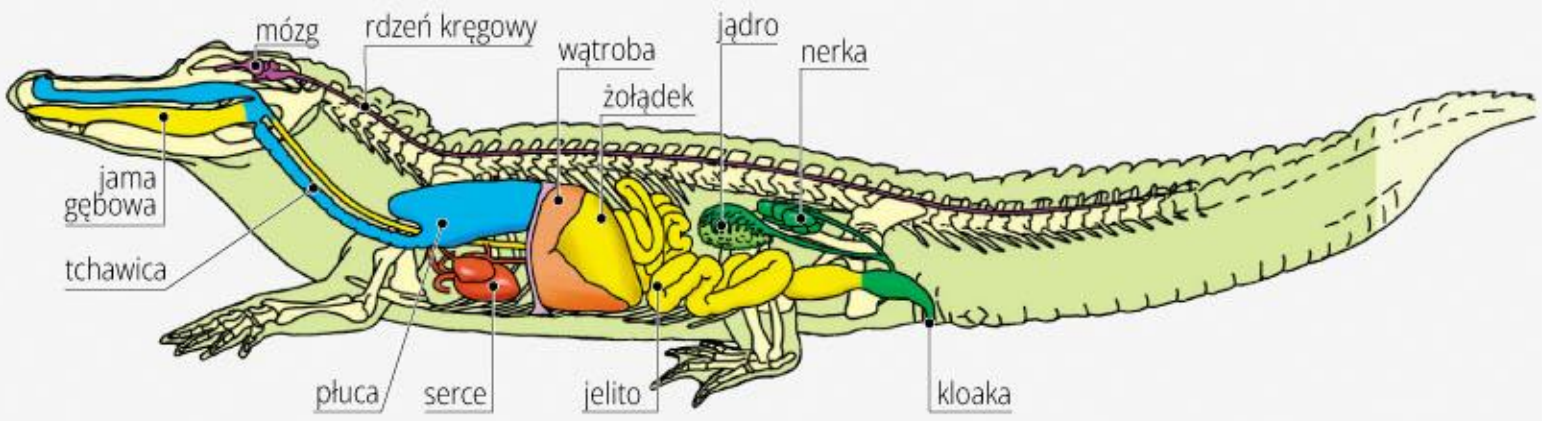
Charakterystyka gadów

Gady to zwierzęta lądowe, żuchwowe. Opanowały wiele skrajnych środowisk i wykazują związane z tym przystosowania. Ich ciało pokryte jest **rogowymi łuskami**. Oddychają **płucami**, a w komorze serca jest obecna **częściowa przegroda**. Czaszka gadów łączy się z kręgosłupem za pomocą **jednego kłykcia potylicznego**. W rozwoju embrionalnym gadów wykształciły się **błony płodowe**.

Przystosowania gadów do życia na lądzie

- sucha, pozbawiona gruczołów skóra jest nieprzepuszczalna dla wody, dodatkowo jest pokryta rogowymi łuskami lub tarczkami;
- oddychanie za pomocą gąbczastych płuc – wentylacja płucna zachodzi przy udziale klatki piersiowej;
- rozbudowany pasy barkowy i miednicowy usprawniające poruszanie się;
- ruchliwa szyja, która ułatwia orientację w otoczeniu;
- wydalanie kwasu moczowego;
- rozmnażanie całkowicie niezależne od wody – w jajach występują błony płodowe.

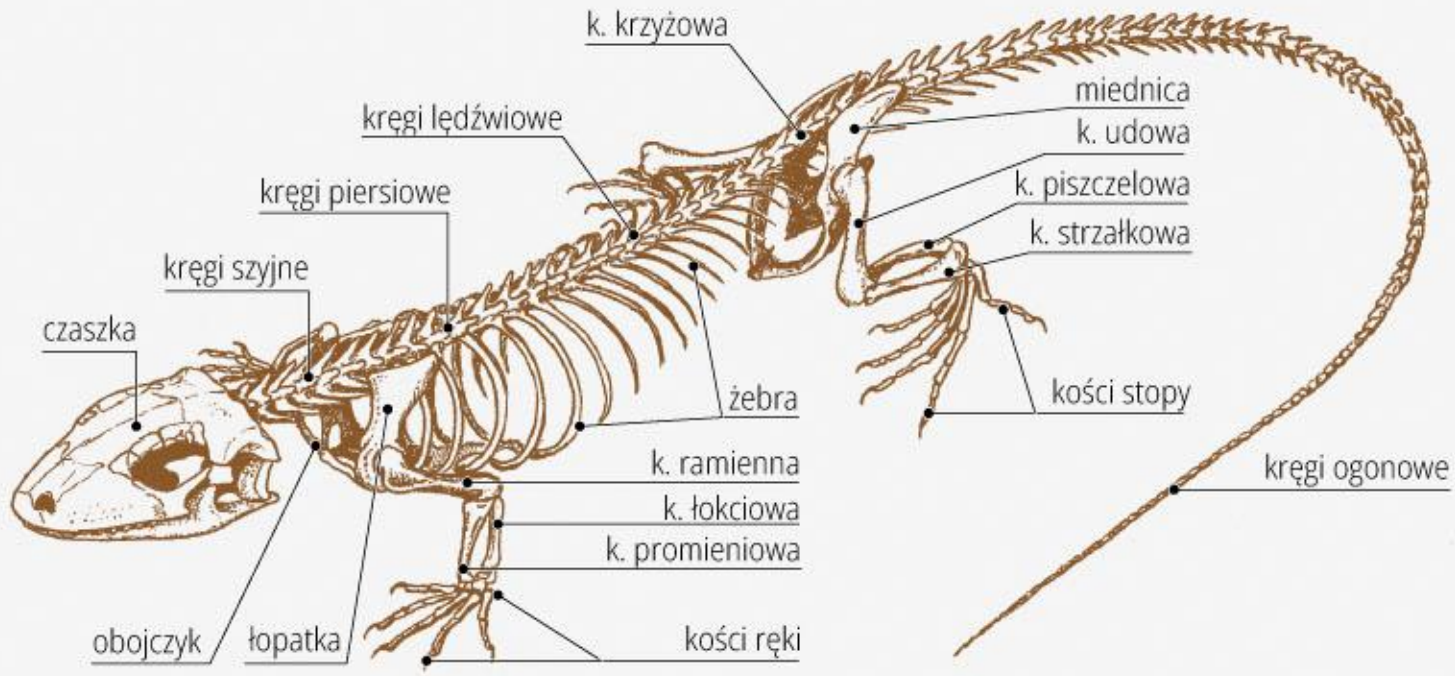
Budowa i czynności życiowe gadów



Pokrycie ciała

Skórę gadów pokrywa wielowarstwowy nabłonek, który ulega rogowaceniu i tworzy zachodzące na siebie łuski, tarczki lub płyty rogowe. Naskórek co jakiś czas jest zrzucany (wylinka) i zastępowany przez nowy. W skórze gadów brak gruczołów śluzowych, a gruczoły zapachowe i jadowe są nieliczne. Występują także komórki barwnikowe, które warunkują ubarwienie gadów.

Układ szkieletowy i mięśniowy



Na **szkielet** gadów składa się **szkielet osiowy** (czaszka i kręgosłup) oraz **szkielet obręczy i kończyn**. Czaszka gadów jest wydłużona i bardziej skostniała w porównaniu z czaszką płazów. W szczękach niektórych gadów (np. krokodyli) występują liczne stożkowate zęby. U innych, np. żółwi, na obu szczękach występują rogowe okrywy zwane dziobem. Duża ruchomość głowy gadów wynika z połączenia czaszki z kręgosłupem za pomocą **jednego kłykcia potylicznego** oraz z modyfikacji dwóch kręgów odcinka szyjnego kręgosłupa (**dźwigacza i obrotnika**). Kręgosłup gadów składa się z pięciu odcinków. Kręgi odcinków piersiowego i lędźwiowego mają miejsca przyczepu żeber, które u gadów są dobrze rozwinięte i łącząc się z mostkiem, tworzą **klatkę piersiową**. U gadów doszło do zwiększenia masy mięśniowej kończyn i szczęk. Pojawiły się także **mięśnie oddechowe**, które umożliwiają ruchy klatki piersiowej.

Układ pokarmowy

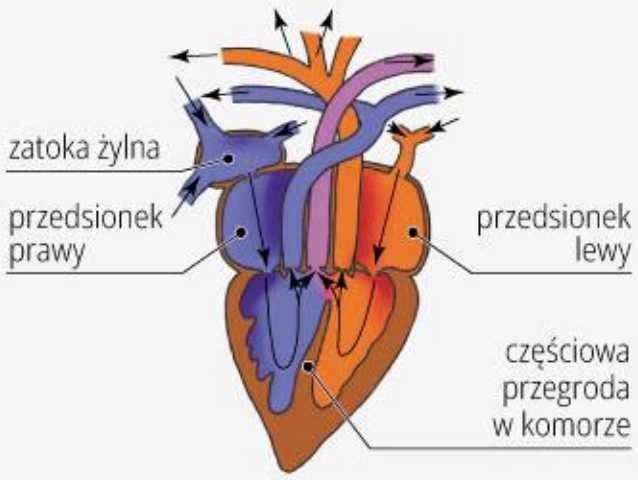
Gady są w większości mięsożerne, tylko nieliczne odżywiają się pokarmem roślinnym. Układ pokarmowy gadów rozpoczyna się jamą gębową, w której często obecne są zęby (wyjątek stanowią żółwie) i długi język (spełnia funkcję narządu czucia, smaku i węchu). Do jamy gębowej uchodzą gruczoły ślinowe i gruczoły jadowe (u węży). Za jamą gębową znajduje się przełyk, który uchodzi do żołądka. Za żołądkiem jest jelito cienkie i dalej jelito grube, które uchodzi do kloaki. U gadów roślinożernych dobrze rozwinęło się jelito ślepe.

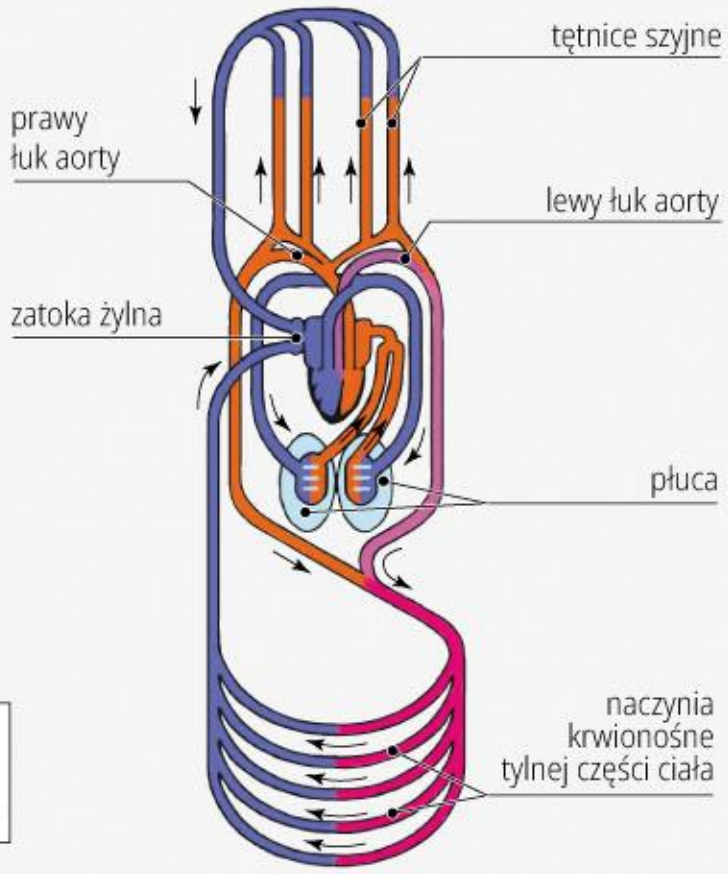
Układ oddechowy

Narządem oddechowym gadów są wyłącznie gąbczaste **płuca** o dużej powierzchni wymiany gazowej. Powietrze jest zasysane przez nozdrza zewnętrze do jamy nosowej. Stamtąd przechodzi przez nozdrza wewnętrzne, jamę gębową, gardziel, krtań, tchawicę i oskrzela do płuc. Wentylacja jest możliwa dzięki rytmicznym ruchom klatki piersiowej powodowanym przez skurcze mięśni żebrowych i brzusznych.

Układ krwionośny

Układ krwionośny gadów składa się z **dwóch obiegów krwi** (dużego i płucnego). Serce jest zbudowane z **dwóch przedsionków oraz komory** z niecałkowitą przegrodą (u krokodyli przegroda jest całkowita). Minimalizuje to mieszanie się krwi żylnej z tętniczą i zwiększa sprawność wymiany gazowej. We krwi gadów, w porównaniu z krwią płazów, występuje większa liczba erytrocytów w jednostce objętości, co usprawnia transport gazów oddechowych.





KREW
- utlenowana
- odtlenowana
- mieszana o różnym stopniu utlenowania

Układ wydalniczy

Narządami wydalniczymi gadów są **zanercza** (nerki ostateczne). Mocz tam produkowany przez moczowody dociera do kloaki. U węży i jaszczurek występuje uchyłek kloaki – pęcherz moczowy. Końcowym produktem przemian metabolicznych jest **kwas moczowy.** Gady żyjące w wodzie (np. żółwie) wydalają głównie mocznik, a krokodyle – amoniak.

Układ nerwowy i narządy zmysłów

Centralny układ nerwowy gadów składa się z **mózgowia, rdzenia kręgowego i 12 par nerwów czaszkowych**. Mózgowie składa się z pięciu części. W porównaniu z płazami lepiej rozwinięte jest kresomózgowie, w którego obrębie rozwija się obszar istoty szarej (**kora nowa**), zawierający wyspecjalizowane neurony.

Narządy zmysłów gadów

Narząd zmysłu	Funkcja
wzrok	Akomodacja odbywa się poprzez zmianę kształtu elipsoidalnej soczewki; oko osłaniają trzy powieki (górna, dolna i pionowa, tzw. migotka). W siatkówce obecne są pręciki i czopki, większość gadów dobrze odróżnia kolory.
węch	Węch jest doskonale rozwinięty; bardzo silnie rozwinięty jest także narząd Jacobsona w jamie węchowej (u węży i jaszczurek).
narząd słuchu i równowagi	Zbudowany z ucha wewnętrznego i ucha środkowego. W uchu środkowym znajduje się dwuczęściowe strzemiączko.
narząd smaku	Dobrze rozwinięty, utworzony przez komórki smakowe zlokalizowane na języku i podniebieniu.

Rozmnażanie i rozwój gadów

Gady są **rozdzielnopłciowe**, u wielu gatunków występuje **dymorfizm płciowy**. Rozwój gadów jest prosty – **brak stadium larwalnego**. U większości gadów występuje zapłodnienie wewnętrzne i jajorodność. Nieliczne gady są jajożyworodne (np. żmija zygzakowata). Rozród gadów odbywa się całkowicie niezależnie od środowiska wodnego dzięki obecności błon płodowych (owodni, omoczni i kosmówki), które odżywiają i chronią rozwijający się zarodek.

Przegląd systematyczny gadów

Gady			
Węże	**Jaszczurki**	**Krokodyle**	**Żółwie**
beznogie, krótki ogon, oczy o zrośniętych powiekach, ruchliwa szczęka	dobrze wykształcone kończyny, długi ogon, w uchu obecna błona bębenkowa	serce z pełną przegrodą, obecne wtórne podniebienie	czaszka bez dołów skroniowych, ciało pokryte rogowym i kostnym pancerzem, brak zębów
żmija zygzakowata, zaskroniec, gniewosz plamisty, wąż Eskulapa, grzechotnik, anakonda	padalec zwyczajny, jaszczurka zwinka, gekon, waran	krokodyl nilowy, gawial, aligator	żółw błony, żółw czerwonolicy, żółw skórzasty



Żmija zygzakowata



Gekon leśny



Gawial



Żółw skórzasty

Ptaki

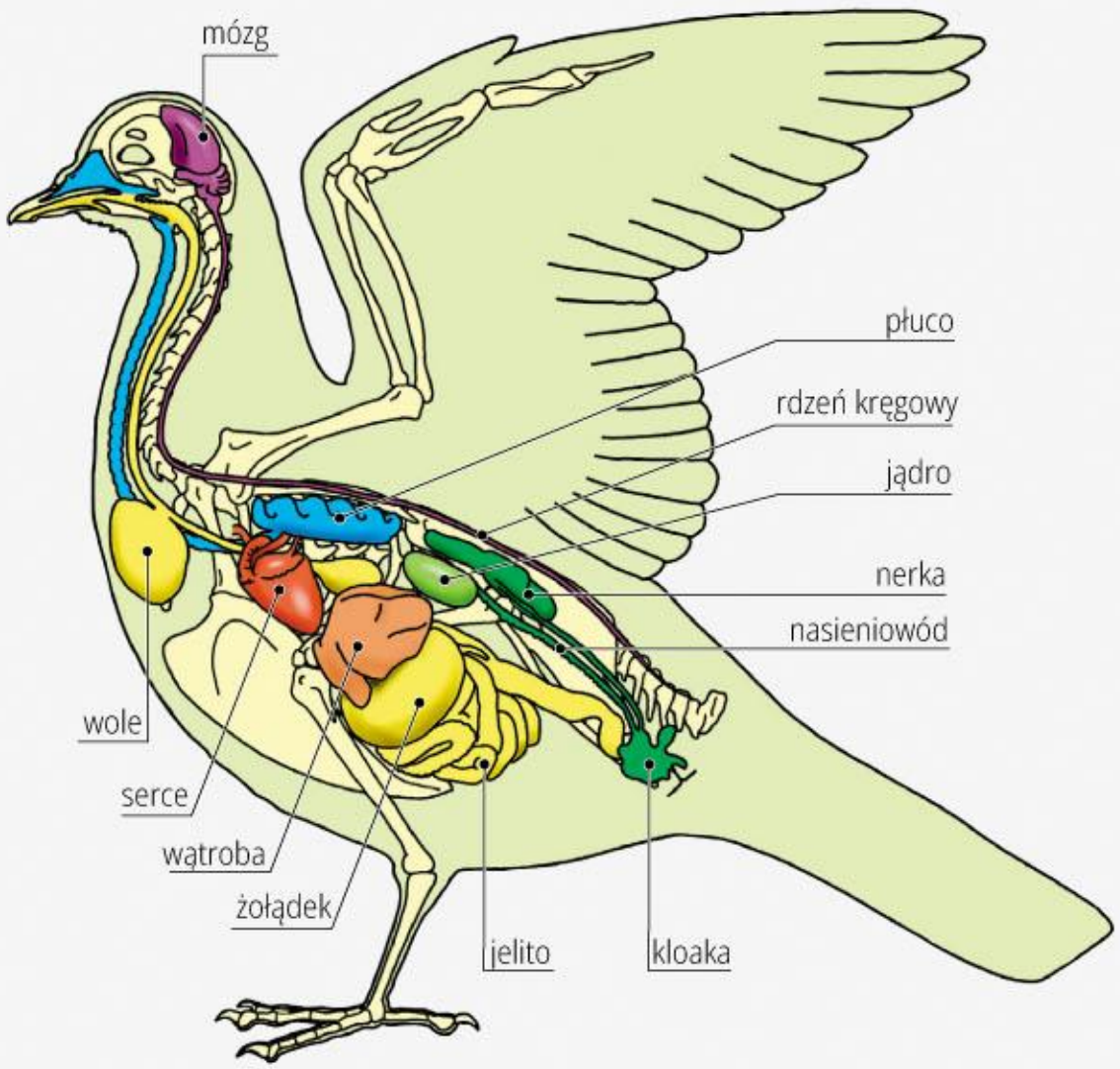
Charakterystyka ptaków

Ptaki to zwierzęta **stałocieplne**. Ich ciało pokryte jest **piórami**. Wykazują wiele anatomicznych i fizjologicznych przystosowań do aktywnego lotu. Ptaki oddychają płucami (płuca z workami powietrznymi), występuje u nich mechanizm **podwójnego oddychania** (wentylacji płuc). Serce jest zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór. Czaszka ptaków jest połączona z kręgosłupem za pomocą **jednego kłykcia potylicznego**. Ptaki są wyłącznie jajorodne.

Przystosowania ptaków do aktywnego lotu

- przednie kończyny przekształcone w skrzydła; skrzydła pokryte piórami, które tworzą powierzchnię lotną;
- aerodynamiczna sylwetka z małą i lekką głową oraz krępym korpusem;
- skostniały i usztywniony szkielet;
- obecność dużego **grzebienia** na mostku;
- redukcja masy ciała dzięki **pneumatycznym kościom**, brak zębów, brak pęcherza moczowego, obecność tylko jednej części układu rozrodczego u samic, brak narządów kopulacyjnych u samców;
- szybki i wydajny metabolizm;
- stałocieplność;
- podwójne oddychanie;
- silny rozwój mózgu i narządów zmysłów (głównie wzroku).

Budowa i czynności życiowe ptaków



Pokrycie ciała

Skórę ptaków tworzy cienki, wielowarstwowy i zrogowaciały naskórek oraz znajdująca się pod nim niezbyt gruba skóra właściwa. Izolację termiczną i mechaniczną ochronę skóry zapewniają pióra. Gruby zrogowaciały naskórek pokrywa jedynie końcowe odcinki kończyn i dziób. W skórze brak gruczołów potowych, obecny jest **gruczoł kuprowy**, którego tłusta wydzielina służy do natłuszczania piór i zawiera witaminę D. W skórze ptaków nie ma gruczołów śluzowych, nieliczne są gruczoły zapachowe i jadowe. Występują także komórki barwnikowe, które warunkują ubarwienie ptaków.

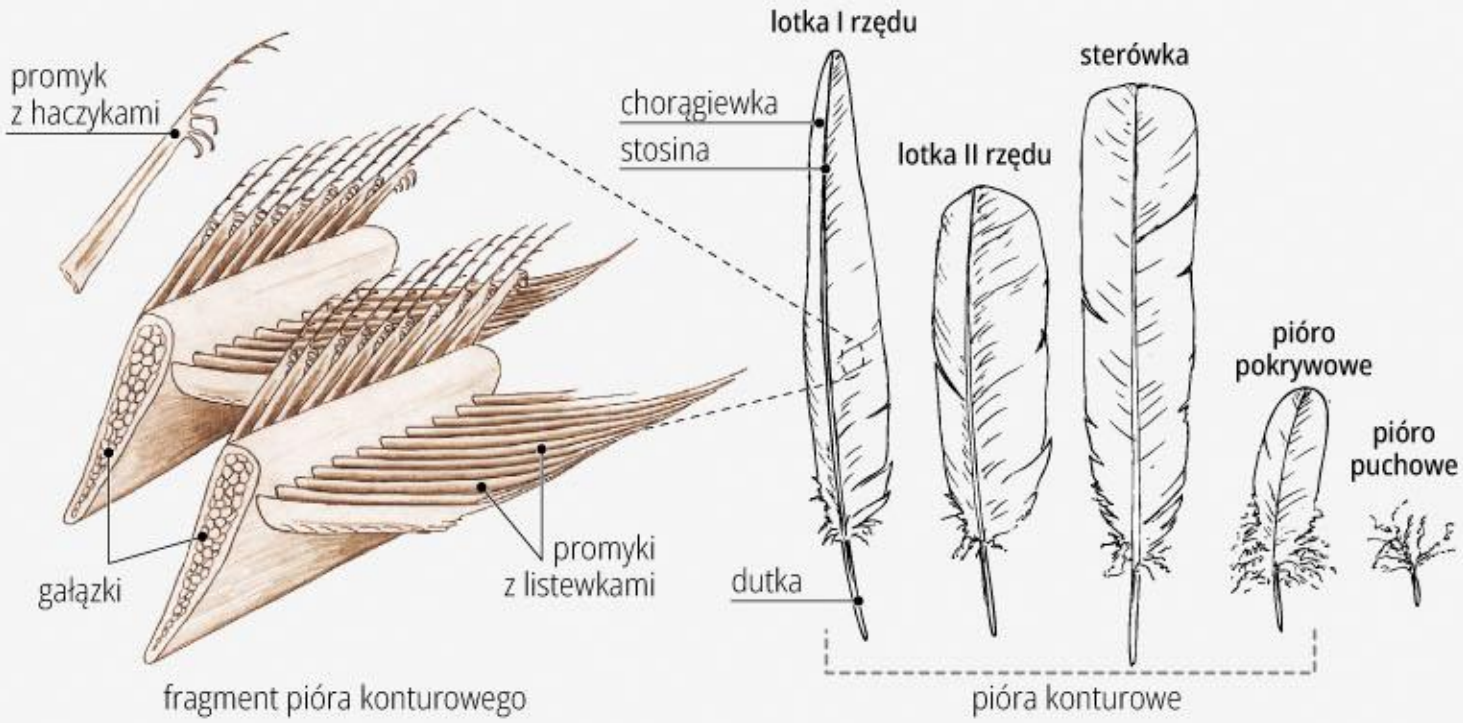
Pióra

Pióra ptaków są zbudowane z **osi** oraz **chorągiewki.** Oś pióra składa się z **dutki** (części zagłębionej w skórze) i **stosiny** (części wolnej). Chorągiewka jest rozpięta na stosinie i zbudowana z **promieni**, od których odchodzą **promyki** zaopatrzone w listewki i haczyki. Listewki i haczyki sąsiednich piór zachodzą na siebie i tworzą bardzo zwartą i elastyczną strukturę. Pióra pełnią następujące funkcje:
- termoregulacyjną – pióra puchowe i okrywowe chronią przed zmianami temperatury;
- ochronną (maskującą) – ich ubarwienie chroni przed drapieżnikami lub umożliwia zdobycie partnera w czasie godów;
- umożliwiają ptakom aktywny lot.

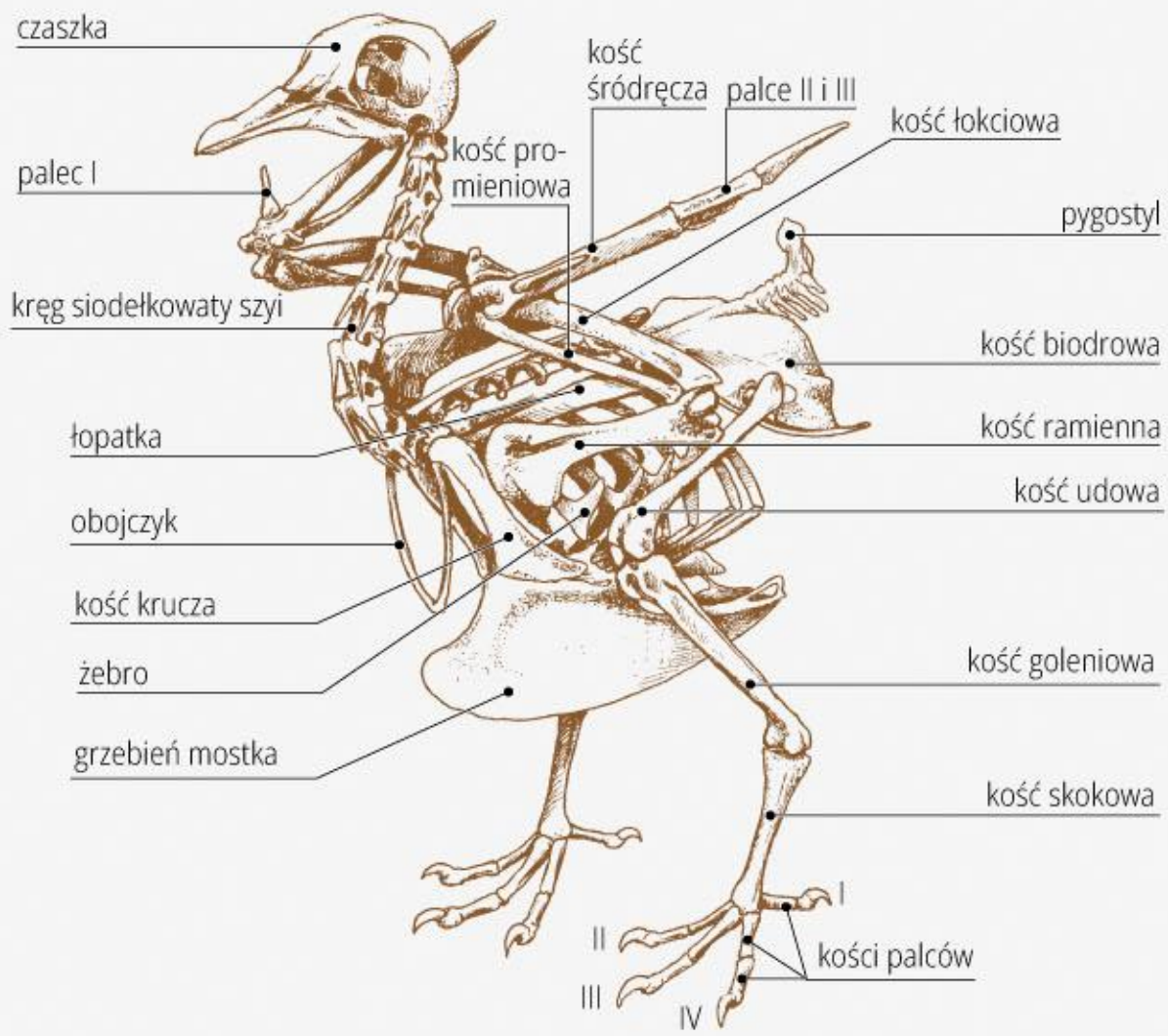
Podział piór

<table>
<tr><th>Puchowe</th><th colspan="3">Konturowe</th></tr>
<tr><td rowspan="2">nitkowate wypustki, z delikatnymi gałązkami; położone pod piórami konturowymi; pełnią funkcję termoizolacyjną</td><td colspan="3">pióra z osią wyznaczoną przez dutkę i stosinę; na osi rozpięta chorągiewka</td></tr>
<tr><td>lotki
(stanowią część skrzydeł, tworzą powierzchnię lotną)</td><td>sterówki
(stanowią część ogona, umożliwiają sterowanie lotem)</td><td>pióra okrywowe
(okrywają ciało, nadają opływowy kształt, stanowią warstwę izolacyjną)</td></tr>
</table>

Rodzaje i budowa piór ptaków



Układ szkieletowy i mięśniowy



Szkielet ptaków jest lekki i **pneumatyczny**, co oznacza, że jamy szpikowe kości wypełnia powietrze. Na **szkielet** ptaków składa się **szkielet osiowy** (czaszka i kręgosłup) oraz **szkielet obręczy i kończyn**. Trzewioczaszka ptaków jest wydłużona i tworzy szkielet dziobu. Mózgoczaszka jest większa niż u gadów, szeroka, z dużymi oczodołami. Otwór potyliczny wielki, przez który przechodzi rdzeń kręgowy, jest przesunięty na spodnią stronę mózgoczaszki. Kręgosłup składa się z 5 odcinków. Odcinek szyjny jest bardzo ruchliwy, zbudowany z **siodełkowatych kręgów**. Pierwsze kręgi odcinka piersiowego zrastają się w **kość grzbietową**, a ostatnie kręgi piersiowe, lędźwiowe, krzyżowe i pierwsze ogonowe – w potężną kość lędźwiowo-krzyżową, która jest zespolona z miednicą. Ostatnie kręgi odcinaka ogonowego zrastają się w płytkę kostną zwaną **pygostylem**, na której są osadzone sterówki. Klatkę piersiową tworzą dwuczęściowe żebra, zestawione kątem rozwartym do przodu, co ma duże znaczenia dla wentylacji płuc. Obręcz barkowa zbudowana jest z łopatek, kości kruczych i obojczyków (skierowanych dośrodkowo w dół i podłączonych w kształt litery „V"). Mostek jest duży i płaski, z dużym grzebieniem, do którego przyczepione są mięśnie skrzydeł. Mięśnie ptaków – mięśnie skrzydeł u ptaków latających i mięśnie kończyn dolnych u ptaków biegaczy – są silnie rozwinięte. Ptaki **nie mają przepony**.

Układ pokarmowy

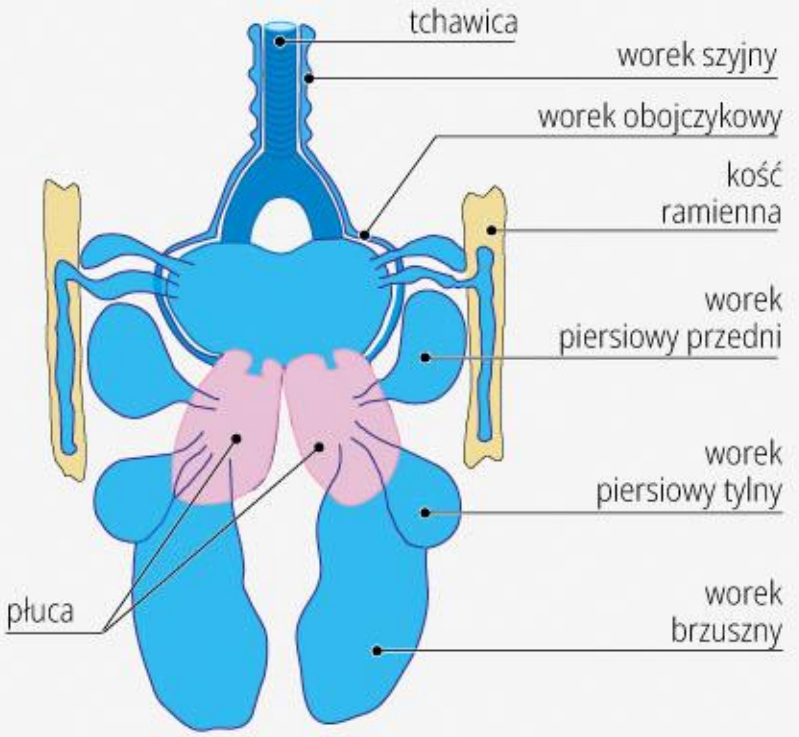
Ptaki **nie mają zębów** w szczęce. Pokarm pobierają za pomocą dzioba w całości i przekazują go do przełyku, który rozszerza się, tworząc **wole**. W wolu ma miejsce wstępne rozmiękczanie pokarmu. Żołądek ptaków ma budowę dwuczęściową i dzieli się na żołądek gruczołowy i żołądek mięśniowy. W części gruczołowej ma miejsce intensywne wydzielanie soków trawiennych, a w części mięśniowej – miażdżenie i rozcieranie pokarmu. Za żołądkiem znajduje się jelito cienkie i dalej jelito grube, które uchodzi do **kloaki.** Długość jelita ptaków zależy od rodzaju pobieranego przez niego pokarmu. Ptaki wykazują bardzo szeroki zakres przystawań do rodzaju pożywienia. Wyróżniamy m.in. ziarnojady, odcedzające, owadożerne, nektarojady, rybożerców, mięsożerców.



dziób drapieżnika | dziób do łowienia ryb z powietrza | dziób do pobierania nektaru | dziób do skubania szyszek | dziób ziarnożercy | dziób do filtracji

Układ oddechowy

Narządem oddechowym ptaków są niewielkie **płuca** o dużej powierzchni czynnej wymiany gazowej oraz **worki płucne**. Do każdego płuca prowadzi oskrzele główne, od którego odchodzą oskrzela II rzędu i oskrzeliki. Powierzchnia płuc jest mocno unaczyniona. Objętość płuc nie zmienia się w trakcie oddychania. Worki płucne, zwykle 9 (4 parzyste i 1 nieparzysty) są cienkościenne i słabo unaczynione. Odgrywają rolę **pomp ssąco-tłoczących** – wtłaczają powietrze do płuc i wypychają je na zewnątrz. Dodatkowo pełnią funkcję ochronną w stosunku do kości i narządów, wyrównują temperaturę i nawilżają zasysane powietrze, a także zmniejszają ciężar właściwy ptaka.

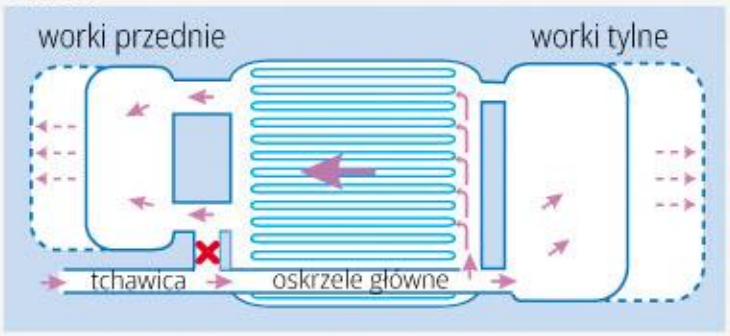


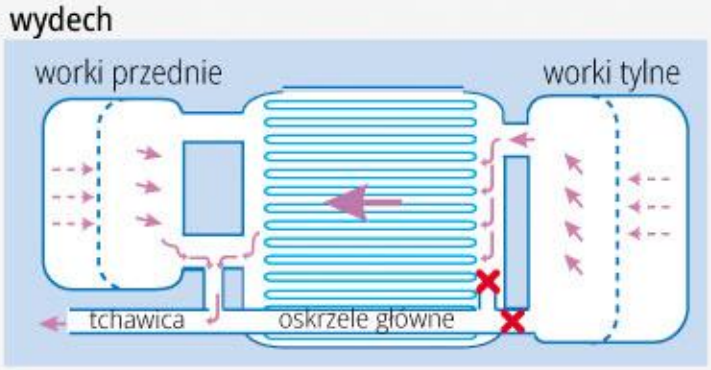
Wentylacja płuc

Mechanizm wentylacji płuc polega na **podwójnym oddychaniu**. Istotą tego zjawiska jest to, że zarówno podczas wdechu, jak i wydechu przez płuca przepływa świeże powietrze.

Podwójne oddychanie u ptaków

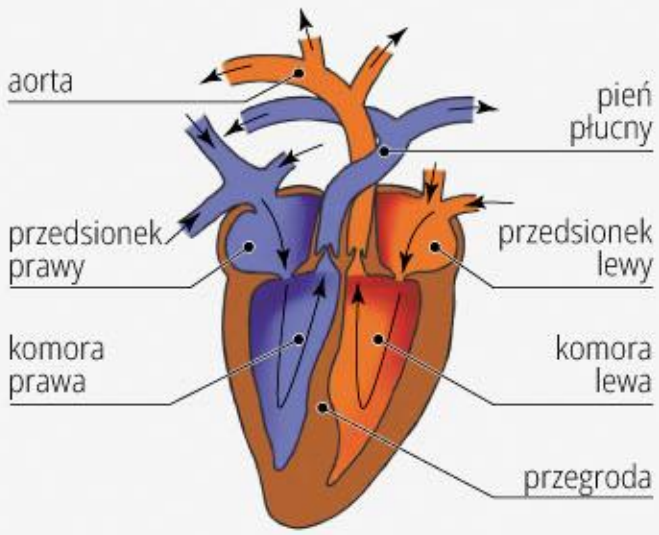
Wdech	Wydech
• Powietrze jest zasysane przez worki tylne i jamą nosową, tchawicą, krtanią dolną i oskrzelami głównymi wpada do płuc. • Wejście do oskrzeli głównych jest zamknięte. • Zużyte powietrze przechodzi z płuc do worków przednich. • Worki powietrzne przednie i tylne wypełniają się powietrzem.	• Droga z oskrzeli brzusznych do worków płucnych zostaje otwarta. • Świeże powietrze z worków tylnych przepływa przez płuca do worków przednich. • Zużyte powietrze z worków przednich jest usuwane do oskrzela głównego i dalej na zewnątrz. • Worki powietrzne przednie i tylne są puste.

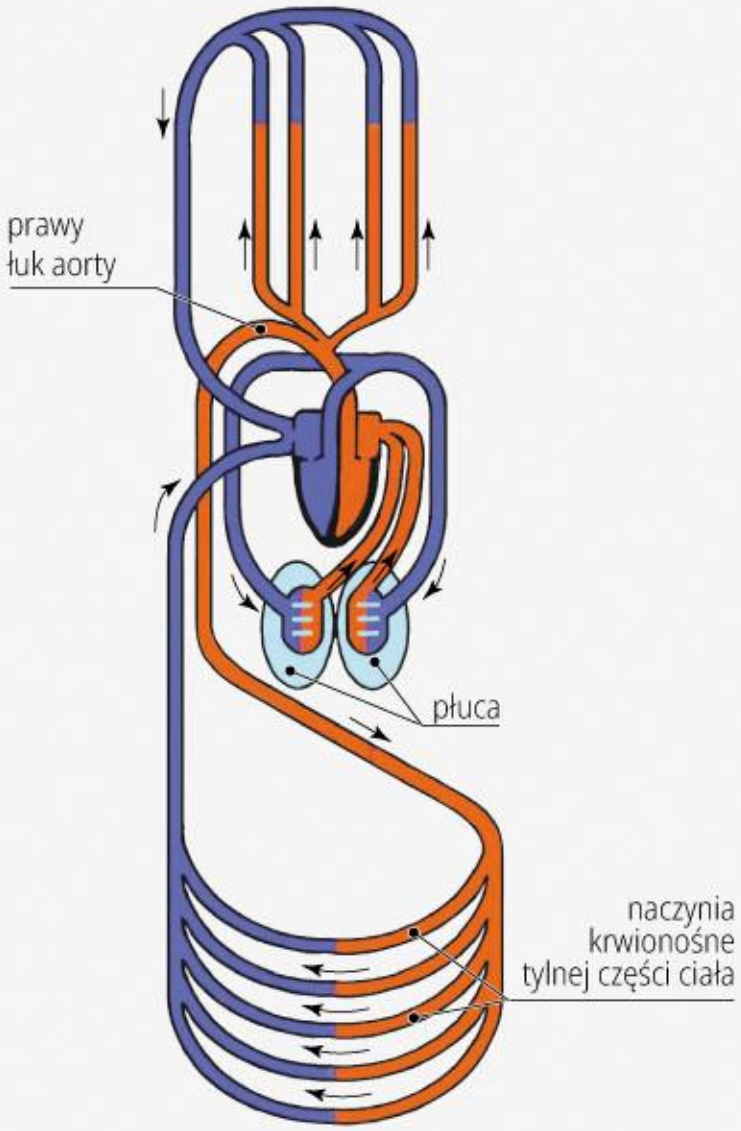




Układ krwionośny

Układ krwionośny ptaków składa się z **dwóch obiegów krwi**: dużego i małego (płucnego). Duże serce zbudowane jest z **dwóch przedsionków i dwóch komór**. Całkowicie podzielone serce zapobiega mieszaniu się krwi natlenowanej i odtlenowanej oraz zapewnia wysoką sprawność układu krążenia. Duża wydajność układu krążenia ptaków wynika także z redukcji zatoki żylnej, obecności **tylko prawego łuku aorty** oraz małych, krótko żyjących erytrocytów.





KREW
utlenowana odtlenowana

Układ wydalniczy

Narządami wydalniczymi ptaków są **zanercza** (nerki ostateczne). Mocz tam produkowany przez moczowody dociera do kloaki i jest usuwany wraz z kałem. U ptaków nie występuje pęcherz moczowy. Końcowym produktem przemian metabolicznych jest **kwas moczowy**. Ptaki morskie regulują czynność nerek za pomocą **gruczołów solnych** zlokalizowanych u nasady dzioba (zwierzęta te piją wodę morską, a przez gruczoły wydalają nadmiar soli).

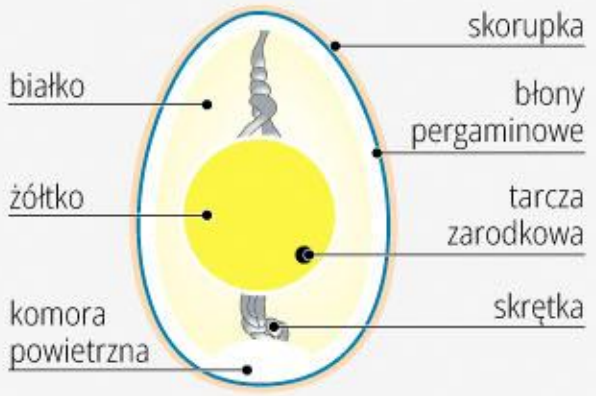
Układ nerwowy i narządy zmysłów

Centralny układ nerwowy ptaków składa się z **mózgowia, rdzenia kręgowego i 12 par nerwów czaszkowych**. Mózgowie składa się z pięciu części ułożonych **nieliniowo**. Silnie rozwinięte jest kresomózgowie (z ośrodkami kojarzeniowymi) i móżdżek (odpowiada za koordynację ruchów konieczną do długiego i aktywnego lotu).

Narząd zmysłu	Funkcja
wzrok	Bardzo dobrze rozwinięty zmysł wzroku umożliwia ostre widzenie z dużej odległości; duże oczy; gałka oczna może być spłaszczona, kulista lub cylindryczna. Akomodacja zachodzi na dwa sposoby: 1) przez zmianę krzywizny soczewki, 2) przez zmianę krzywizny całej gałki ocznej.
narząd słuchu i równowagi	Dobrze rozwinięte ucho; obecna błona bębenkowa i jedna kosteczka słuchowa – strzemiączko; w uchu wewnętrznym trzy kanały półkoliste.

Rozmnażanie i rozwój ptaków

Ptaki są **rozdzielnopłciowe**, u wielu gatunków występuje **dymorfizm płciowy**. Zapłodnienie jest zawsze wewnętrzne. U samic funkcjonuje tylko lewy jajnik i jajowód, a u samców brak narządów kopulacyjnych. Wszystkie ptaki są **jajorodne**. Po zapłodnieniu, które ma miejsce w jajowodzie, powstaje jajo otoczone błonami płodowymi i wapienną skorupką. Liczba znoszonych jaj jest cechą gatunkową. Jaja muszą być wysiadywane w celu zapewnienia temperatury optymalnej dla rozwoju zarodka.



W zależności od zachowania się piskląt po wykluciu ptaki dzielimy na:
- **gniazdowniki** – pisklęta są niedołężne, ślepe i długo pozostają w gnieździe pod opieką rodziców (np. wróblowate, dzięciołowate, papugi, gołębie);
- **zagniazdowniki** – pisklęta po wykluciu są samodzielne i mogą opuszczać gniazdo w celu poszukiwania pożywienia (np. kuraki, perkozy, żurawie).

Przegląd systematyczny ptaków

Ptaki bezgrzebienowe	Ptaki grzebieniowe
• Nie potrafią latać (nieloty). • Brak grzebienia na mostku. • Często uwstecznione skrzydła.	• Potrafią sprawnie latać. • Obecność silnie rozwiniętego grzebienia na mostku. • Bardzo dobrze wykształcone skrzydła. • Obejmują wiele gatunków podzielonych na ponad 20 rzędów.
strusie, emu, kiwi, nandu, kazuary	pingwiny, siewkowe (np. mewa), brodzące (np. bocian), blaszkodziobe (np. kaczki), drapieżne (np. orzeł), grzebiące (np. kury), sowy (np. puchacz), jerzykowe (np. koliber), dzięciołowe, wróblowe (np. sikorka)


Sikora modra


Dudek


Struś czerwonoskóry


Pingwin cesarski

Znacznie ptaków

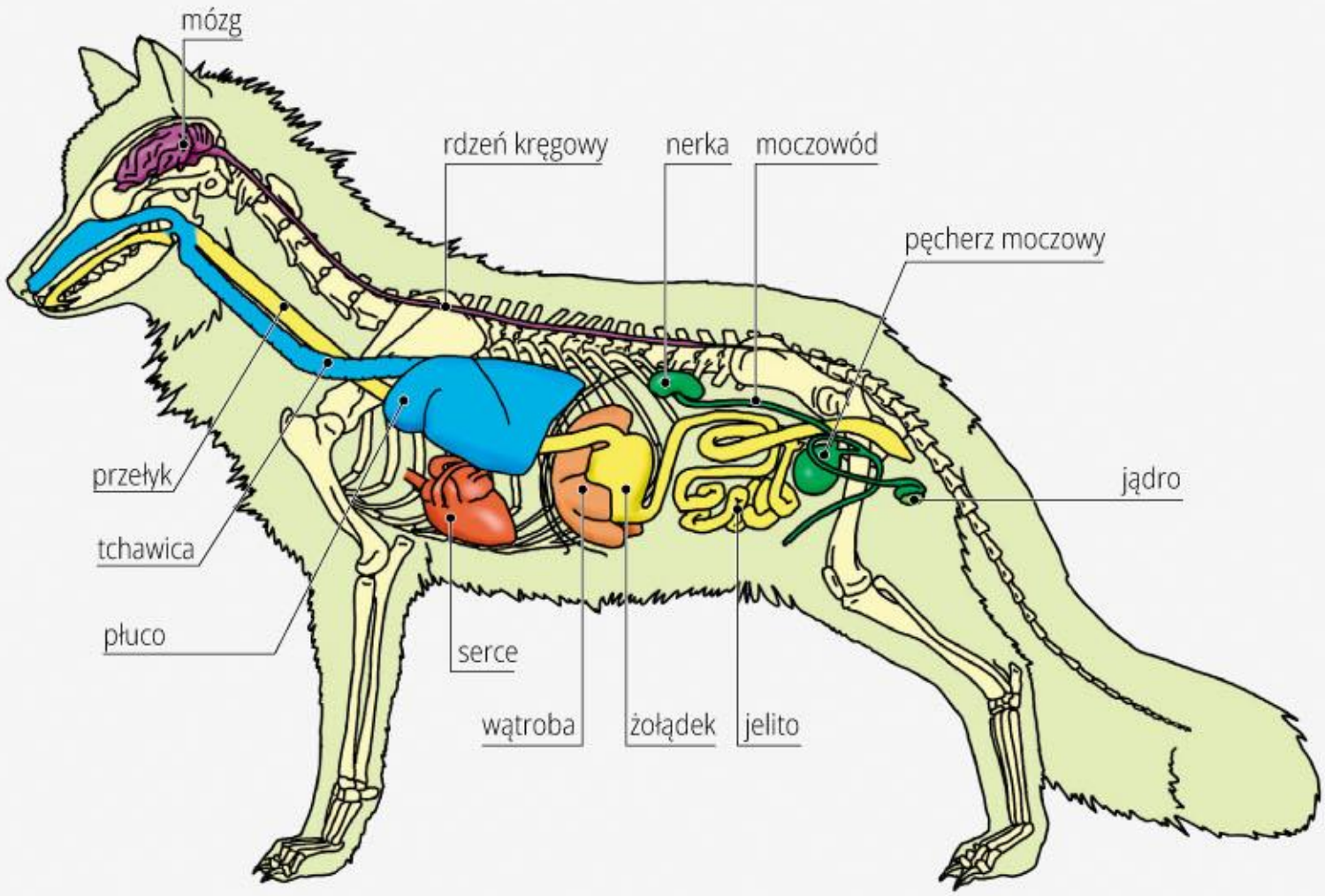
1. Jako drapieżniki ograniczają populację owadów i gryzoni (myszy, szczurów).
2. Biorą udział w zapylaniu kwiatów.
3. Niektóre gatunki są hodowane przez człowieka i stanowią pożywienie (mięso, jaja) – kury, gęsi, kaczki, indyki.

Ssaki

Charakterystyka ssaków

Ssaki to **stałocieplne** kręgowce, o zróżnicowanych kształtach, rozmiarach i przystosowaniach do rozmaitych środowisk, w których żyją. Ciało ssaków pokryte jest **włosami**. Ssaki są żyworodne i młode po urodzeniu karmią mlekiem. Ssaki oddychają płucami, mają serce zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór. Kresomózgowie ssaków jest najlepiej rozwinięte spośród wszystkich kręgowców.

Budowa i czynności życiowe ssaków

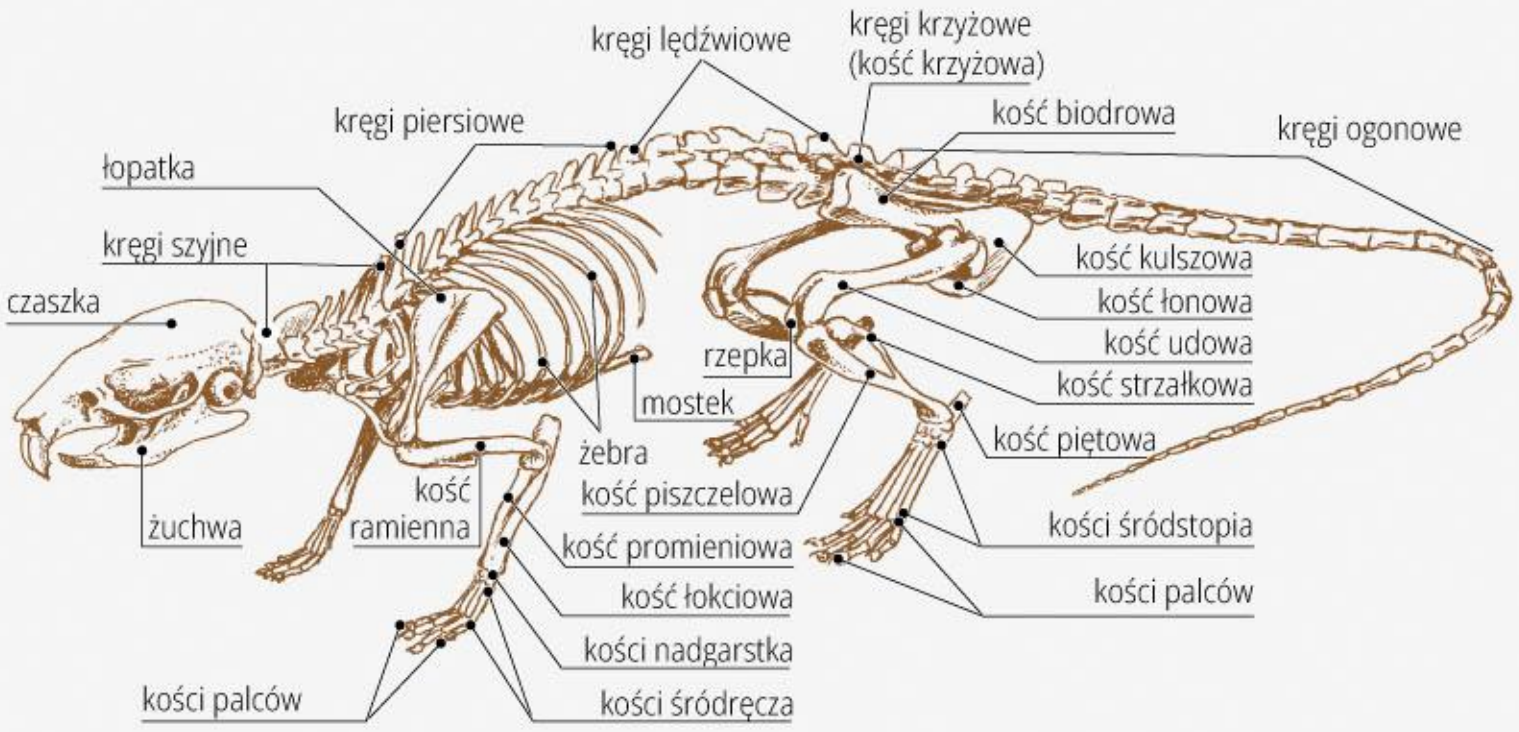


Pokrycie ciała

Skóra ssaków jest gruba i utworzona z **naskórka**, **skóry właściwej** oraz **tkanki podskórnej**. Naskórek zbudowany z nabłonka wielowarstwowego płaskiego podlega złuszczaniu. Naskórek wytwarza **włosy, pazury, kopyta, rogi i łuski** (np. u gryzoni). Skóra właściwa jest dobrze unerwiona i ukrwiona. Są w niej **gruczoły**: mlekowe, łojowe, potowe i zapachowe. Tkanka podskórna zawiera dużo tłuszczu i pełni funkcję termoizolacyjną.

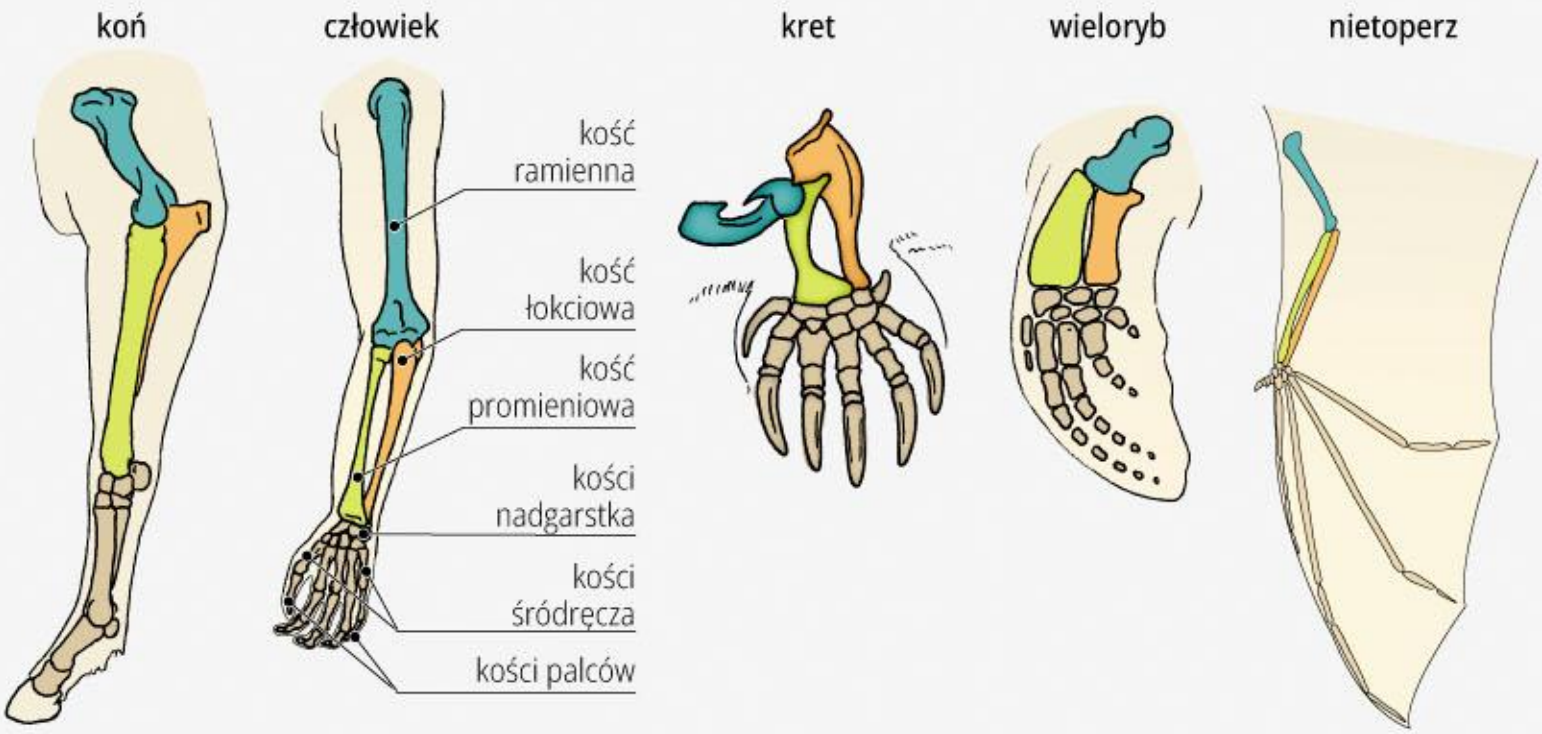
Do najważniejszych funkcji skóry ssaków zaliczamy:
- ochronę przez utratą ciepła (związane z obecnością włosów);
- regulowanie ubytków wody;
- ochronę przed urazami mechanicznymi i zmianami temperatur;
- ochronę immunologiczną przed mikroorganizmami chorobotwórczymi i pasożytami;
- ochronę przed szkodliwym promieniowaniem (UV) dzięki obecności melanin.

Układ szkieletowy i mięśniowy



Szkielet ssaków jest całkowicie skostniały, tylko w niektórych miejscach połączony za pomocą chrząstki. Na **szkielet** ssaków składa się **szkielet osiowy** (czaszka i kręgosłup) oraz **szkielet obręczy i kończyn**. Kości czaszki są połączone nieruchomo za pomocą **szwów** i tworzą puszkę, która ochrania mózg. W skład kości głowy wchodzą **trzy kosteczki słuchowe**: młoteczek, kowadełko i strzemiączko. W trzewioczaszce znajduje się mocna żuchwa zbudowana z kości żuchwowej. W żuchwie i szczęce znajdują się **zębodoły**, w których osadzone są zęby. U ssaków występuje **wtórne podniebienie kostne** oddzielające jamę gębową od nosowej (to umożliwia oddychanie w czasie żucia pokarmu). Czaszka jest połączona z kręgosłupem za pomocą **dwóch kłykci potylicznych**. Odcinek szyjny kręgosłupa u większości ssaków składa się z 7 kręgów. W odcinku piersiowym kręgi łączą się z żebrami i płaskim mostkiem, tworząc **klatkę piersiową**. Kręgi odcinka krzyżowego zrastają się w kość krzyżową. Liczba kręgów odcinka ogonowego jest zmienna. W zależności od trybu i środowiska życia kończyny ulegają licznym przekształceniom (np. palcochodność, stopochodność, kończyny chwytne, płetwy ssaków wodnych, skrzydła ssaków latających).

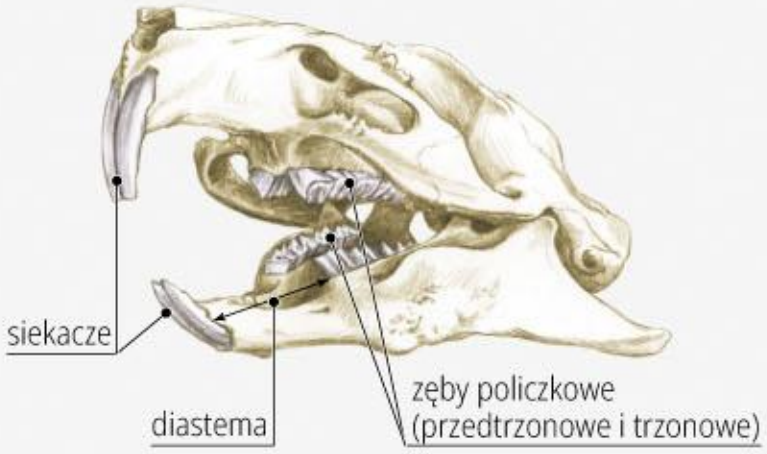
Przekształcenia szkieletu kończyn ssaków



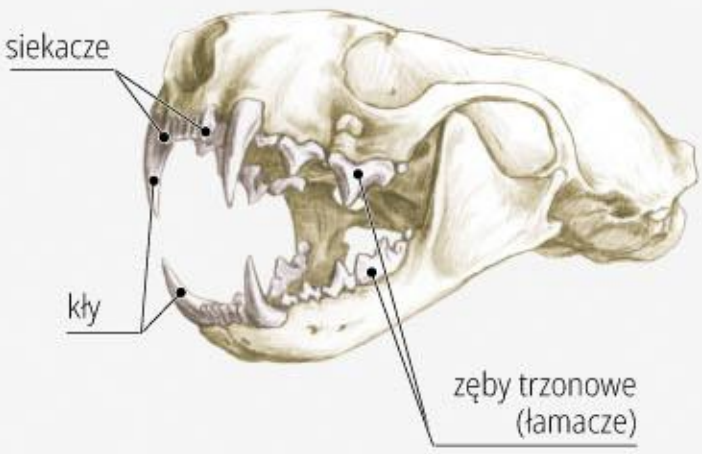
Układ pokarmowy

Przewód pokarmowy rozpoczyna się jamą gębową (otoczoną wargami), w której znajdują się zęby, umięśniony język i ujścia gruczołów ślinowych. **Zęby** ssaków są **zróżnicowane** na siekacze, kły, przedtrzonowe i trzonowe (**heterodontyzm**), co znacznie ułatwia rozdrabnianie pokarmu. Z jamy gębowej pokarm trafia do przełyku, a stamtąd do żołądka, dwunastnicy, jelita cienkiego, jelita grubego zakończonego otworem odbytniczym. W zależności do rodzaju pobieranego pokarmu (roślinożercy, mięsożercy) układ pokarmowy ssaków ma modyfikacje (np. różna długość jelita, czterokomorowy żołądek przeżuwaczy).

Uzębienie ssaków roślinożernych i mięsożernych



ssaki mięsożerne



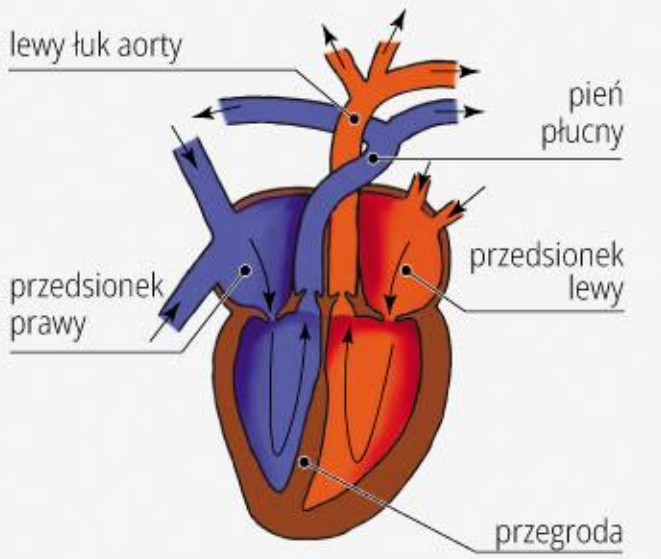
ssaki roślinożerne

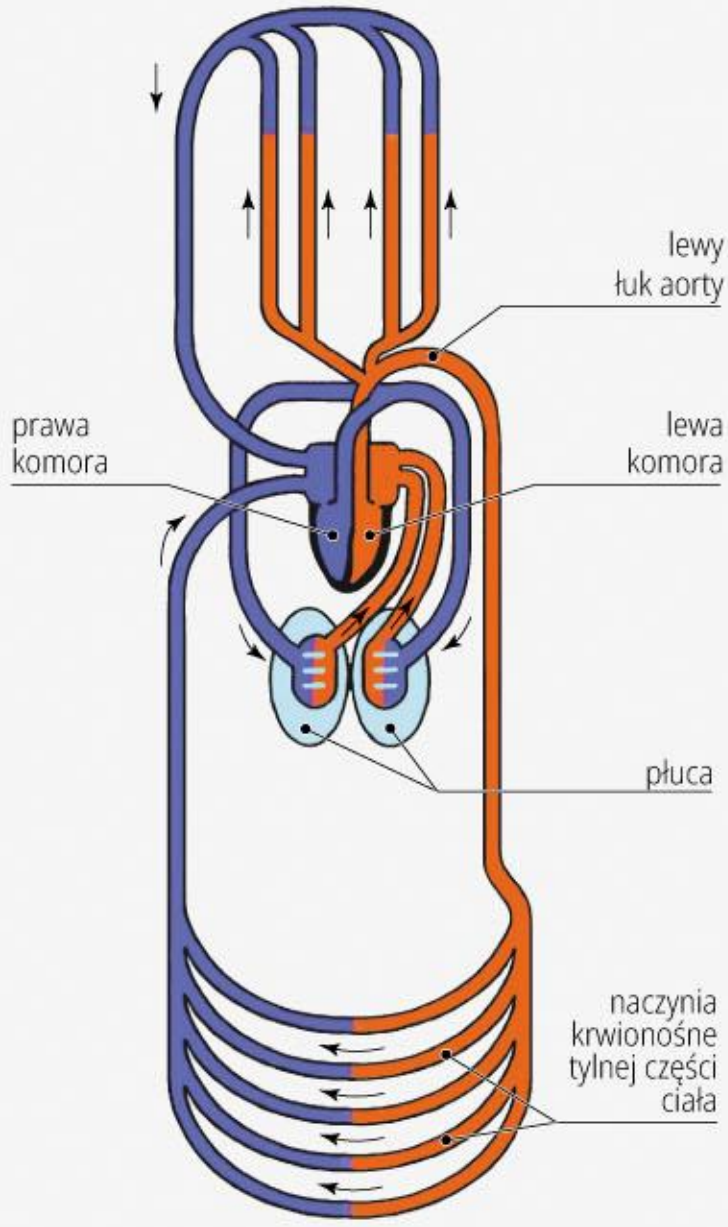
Układ oddechowy

Narządem oddechowym ssaków są pęcherzykowate **płuca** (zbudowane z pęcherzyków płucnych), o dużej powierzchni czynnej wymiany gazowej. Powietrze przez jamę nosową dostaje się do krtani górnej (w jej obrębie znajdują się **struny głosowe**) i potem do tchawicy, która rozgałęzia się na dwa oskrzela główne. Oskrzela rozgałęziają się wielokrotnie i kończą pęcherzykami płucnymi. Wentylacja płuc ssaków opiera się na rytmicznych ruchach klatki piersiowej. Skurcz mięśni oddechowych prowadzi do odsunięcia mostka i zwiększenia objętości płuc. Wydech jest fazą bierną warunkowaną przez elastyczność klatki piersiowej. U ssaków oddychanie jest wspomagane **przeponą**, czyli mięśniem, który oddziela klatkę piersiową od jamy brzusznej.

Układ krwionośny

Układ krwionośny ssaków składa się z **dwóch obiegów krwi**: dużego i małego (płucnego). Duże serce zbudowane jest z **dwóch przedsionków i dwóch komór**. U ssaków zatoka żylna uległa całkowitej redukcji i funkcjonuje tylko lewy łuk aorty. Krew ssaków zawiera liczne, bezjądrzaste erytrocyty, które zwiększają wydajność transportu gazów oddechowych.





Układ wydalniczy

Narządami wydalniczymi ssaków są **zanercza** (nerki ostateczne). Nerki są zbudowane z licznych **nefronów**, których budowa umożliwia resorpcję niektórych składników (np. wody, glukozy, soli mineralnych). Mocz produkowany w nerkach przez moczowody, pęcherz moczowy i cewkę moczową jest usuwany na zewnątrz (u stekowców do kloaki). Końcowym produktem przemian metabolicznych jest **mocznik.**

Układ nerwowy i narządy zmysłów

Centralny układ nerwowy ssaków składa się z **mózgowia, rdzenia kręgowego i 12 par nerwów czaszkowych.** W mózgowiu bardzo silnie rozwinięte są kresomózgowie i móżdżek, co ma związek z rozwojem zdolności kojarzenia, zapamiętywania i analizy oraz bardzo sprawną lokomocją. Kresomózgowie jest zbudowane z dwóch półkul pokrytych korą nową i o silnie pofałdowanej powierzchni. Móżdżek ssaków jest również silnie rozwinięty i zbudowany z dwóch półkul połączonych robakiem.

Narząd zmysłu	Funkcja
wzrok	Dobrze rozwinięty zmysł wzroku. Oczy chronione są przez powieki i rzęsy.
węch	Dobrze rozwinięty, obejmuje nabłonek węchowy w jamie węchowej.
narząd słuchu i równowagi	Dobrze rozwinięty, składa się z ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego. W uchu zewnętrznym jest obecna małżowina uszna i trzy kosteczki słuchowe; mocno skręcony ślimak; trzy kanały półkoliste w uchu wewnętrznym.
narząd smaku	Dobrze rozwinięty, tworzą go kubki smakowe rozmieszczone w brodawkach smakowych, głównie na języku.

Rozmnażanie i rozwój ssaków

Ssaki są **rozdzielnopłciowe**, u wielu gatunków występuje silny **dymorfizm płciowy**. Zapłodnienie jest zawsze **wewnętrzne**, a rozwój jest prosty. Ujście układu moczowo-płciowego jest oddzielone od ujścia układu pokarmowego. Większość ssaków jest żyworodna (wyjątek stanowią jajorodne stekowce). Młode są karmione mlekiem matki; występuje długa opieka nad potomstwem.

Cechy charakterystyczne stekowców, torbaczy i łożyskowców

Stekowce	Torbacze	Łożyskowce
• jajorodne • brak sutków • obecna kloaka (stek) • ograniczona zdolność termoregulacji • w obręczy barkowej obecna kość krucza • brak grzebienia łopatki • szeroko rozstawione kończyny	• żyworodne • sutki obecne • brak kloaki • brak typowego łożyska • młode rodzą się bardzo małe, dalszy rozwój w torbie na brzuchu matki	• żyworodne • sutki obecne • brak kloaki • obecne łożysko i pępowina • młode rodzą się w pełni ukształtowane

Przegląd systematyczny ssaków

Stekowce	Torbacze	Łożyskowce
Zwierzęta prymitywne, jajorodne. Obecny stek (wspólne ujęcie układów pokarmowego, rozrodczego i wydalniczego).	Zwierzęta żyworodne, samice mają torbę lęgową, w której rozwijają się młode.	Zwierzęta żyworodne. Mają liczne przystosowania do środowisk, w których żyją (lądowych, wodnych i w powietrzu). Najliczniejsza grupa ssaków, podzielona na wiele rzędów.

Stekowce	Torbacze	Łożyskowce
dziobak, kolczatkia	kangury, wombaty, dydelfy	owadożerne (np. krety), nietoperze, naczelne (np. szympans, człowiek), drapieżne (np. lew), szczerbaki (np. mrówkojad), gryzonie (np. wiewiórka), nieparzystokopytne (np. koń), parzystokopytne (np. świnia), walenie (np. płetwal błękitny)



Dziobak australijski



Kangur olbrzymi



Gacek brunatny



Szympans zwyczajny

Znacznie ssaków

1. Ssaki roślinożerne stanową pokarm dla drapieżników.
2. Drapieżniki lądowe wpływają na liczebność populacji będących ich ofiarami.
3. Podstawowe zwierzęta hodowlane – dostarczają mięsa, mleka, wełny, skóry (bydło, trzoda chlewna, owce).
4. Zwierzęta udomowione (koty, psy) i wykorzystywane do pracy (konie, wielbłądy, woły).
5. Biorą udział w zapylaniu kwiatów i rozsiewaniu nasion.
6. Stanowią modele w badaniach naukowych (mysz, szczur, świnka morska).

8

Funkcjonowanie zwierząt i organizmu człowieka

8.1. Organizacja budowy ciała zwierząt

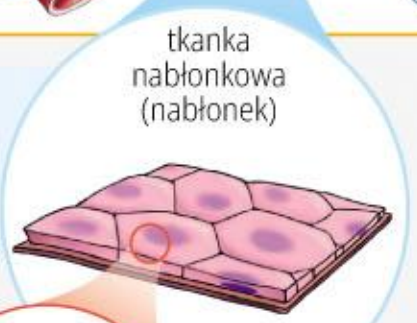
Hierarchiczna struktura ciała zwierząt

POZIOMY ORGANIZACJI CIAŁA CZŁOWIEKA (TKANKI, NARZĄDY, UKŁADY NARZĄDÓW)

narząd
– zespół tkanek współpracujących ze sobą w pełnieniu określonych funkcji



tkanka
– zespół komórek o podobnej budowie, funkcji i pochodzeniu



komórka
– podstawowa jednostka strukturalna i funkcjonalna organizmu



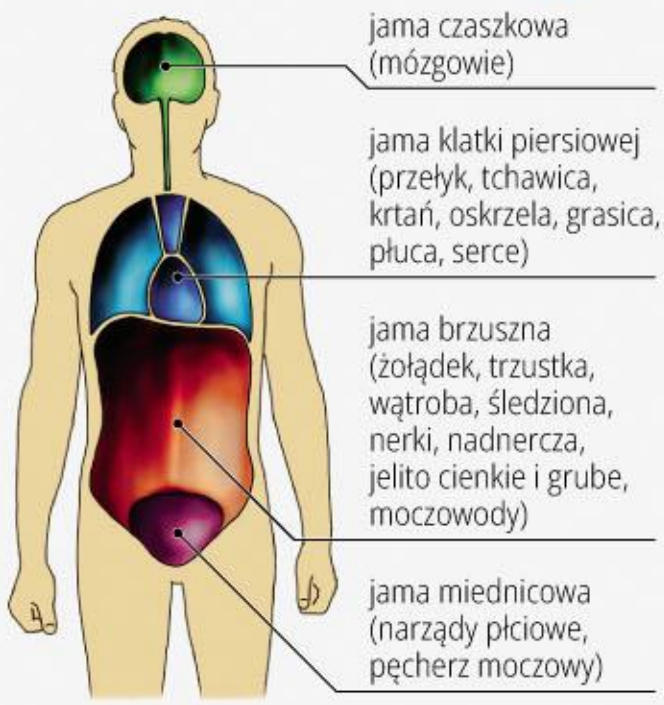


organizm
– układ krwionośny całego człowieka

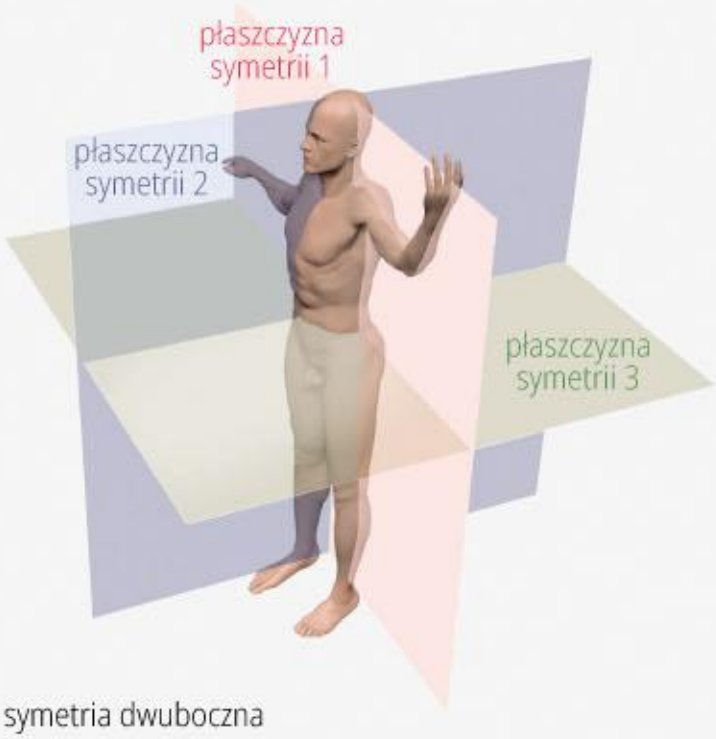
Narządy wewnętrzne (trzewia), są rozmieszczone w czterech jamach ciała: czaszkowej, klatki piersiowej, brzusznej i miednicowej.

Oś ciała człowieka, dzieląca ciało na połowy: prawą i lewą, wyznacza dwuboczną symetrię ciała. Dotyczy ona przede wszystkim budowy zewnętrznej i niektórych narządów wewnętrznych (np. płuc, nerek, narządów płciowych).

Część z narządów leżących po obu stronach płaszczyzny symetrii wykazuje asymetrię. W prawą stronę są przesunięte wątroba i dwunastnica, w lewą żołądek, trzustka i serce.

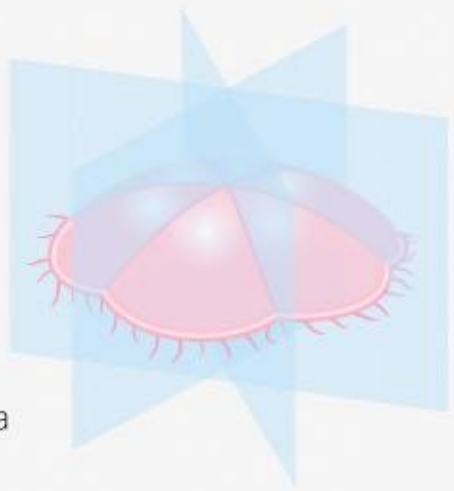


rozmieszczenie narządów wewnętrznych w obrębie jam ciała



symetria dwuboczna

kierunki i płaszczyzny symetrii ciała



symetria promienista

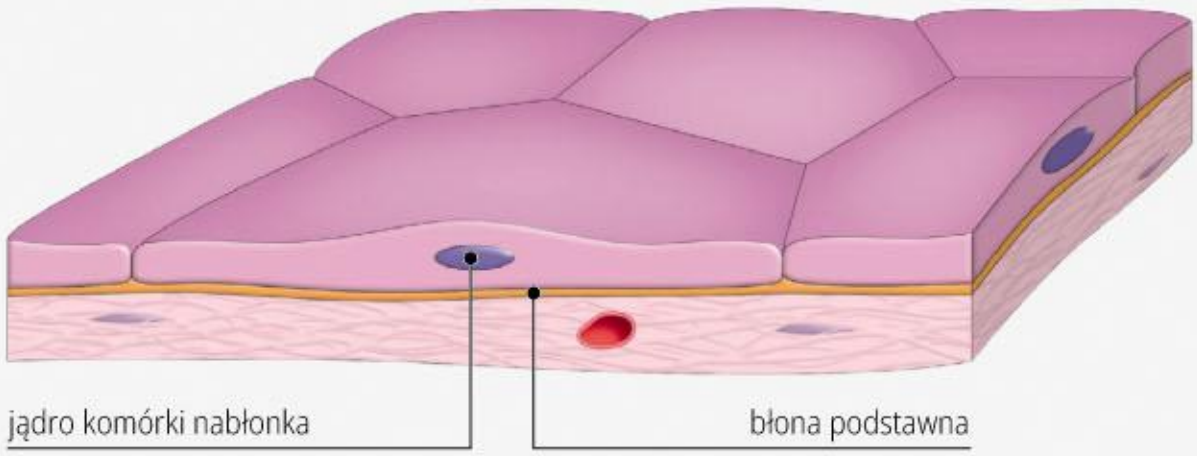
Listki zarodkowe

We wczesnych etapach rozwoju zarodkowego człowieka wykształcają się **listki zarodkowe**: ektoderma, endoderma i mezoderma, z których formują się tkanki.

Typ tkanki	Listki zarodkowe		
	ektoderma	endoderma	mezoderma
nabłonkowa	X	X	X
łączna (w tym krew i limfa)		X	X
mięśniowa			
nerwowa	X		

Tkanka nabłonkowa

– może się formować ze wszystkich listków zarodkowych;
– zwarty układ komórek dzięki desmosomom i połączeniom zamykającym;
– komórki osadzone na błonie podstawnej.



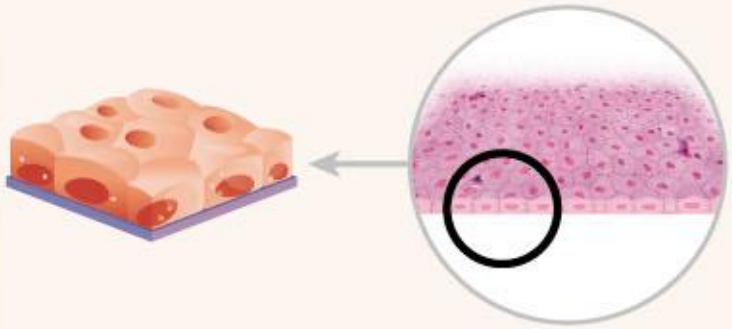
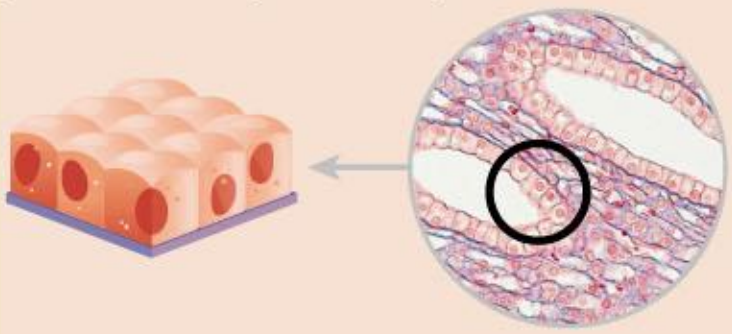
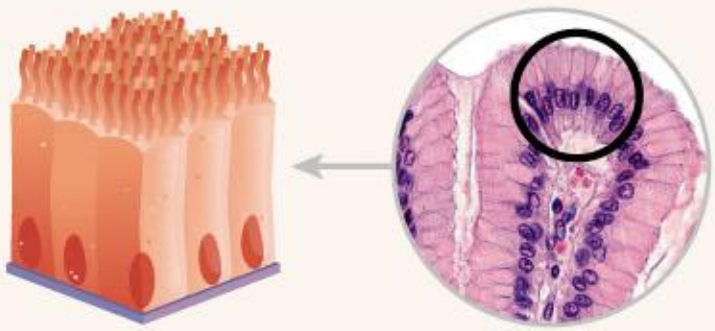
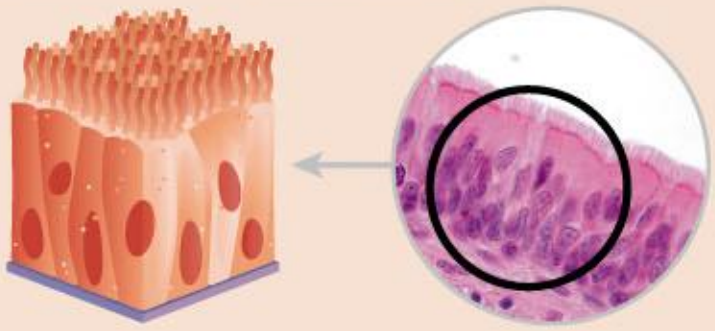
Model budowy błony podstawnej

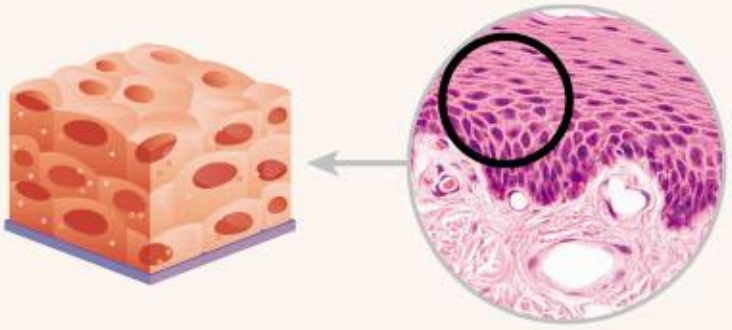
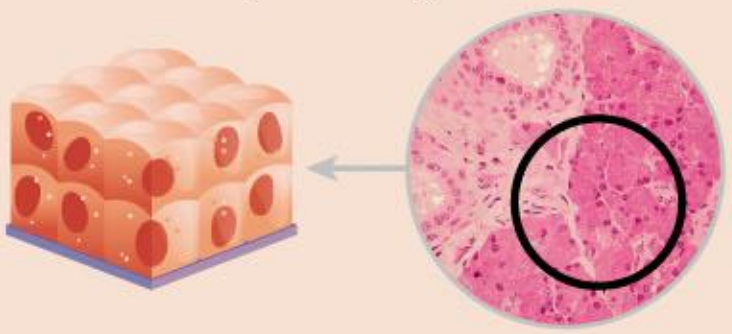
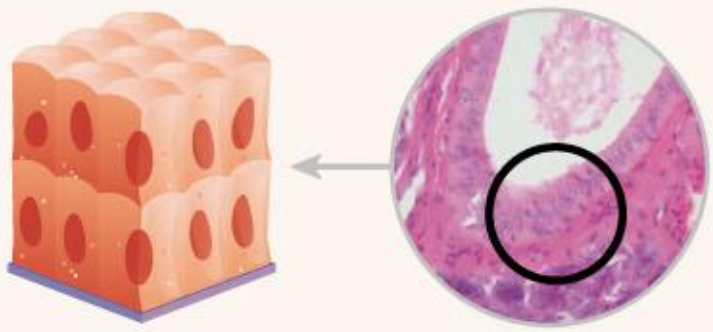
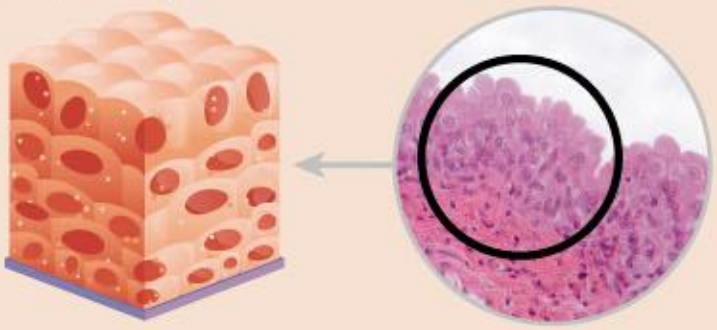
Błona podstawna umożliwia zachowanie kształtu komórkom nabłonka i pozwala na transport substancji między nim a leżącą pod nim tkanką łączną. Dzięki temu następuje odżywianie nabłonka, który nie jest unaczyniony.

Kryteria podziału tkanki nabłonkowej

Kryterium podziału	Rodzaj nabłonka
liczba warstw komórek	jednowarstwowy, wielowarstwowy
kształt komórek	płaski, sześcienny, walcowaty
funkcje	ochronny, transportujący, wydzielniczy, czuciowy, rozrodczy

Charakterystyka wybranych rodzajów tkanki nabłonkowej

Rodzaj nabłonka	Główne cechy
jednowarstwowy płaski 	• szerokie, spłaszczone komórki, ponieważ nabłonek występuje w tej części organizmu, gdzie odbywa się wymiana substancji przez dyfuzję • jądra komórkowe umieszczone centralnie **Przykłady występowania:** • w organizmie człowieka wyścieła naczynia krwionośne i limfatyczne, pęcherzyki płucne, jamy serca • znajduje się na powierzchni błon surowiczych (opłucnej, osierdzia, otrzewnej) oraz współtworzy torebki ciałek nerkowych w nerce • tworzy powłoki ciała większości bezkręgowców • u zwierząt skrzelodysznych pokrywa powierzchnię skrzeli
jednowarstwowy sześcienny 	• komórki o kształcie sześcianu (przypominają kształtem kostki do gry) • jądra komórkowe umieszczone centralnie • występuje u człowieka w miejscach intensywnego wchłaniania i wydzielania (liczne w komórkach nabłonka mitochondria, aparaty Golgiego oraz siateczka śródplazmatyczna) **Przykłady występowania:** • w przewodach wyprowadzających gruczołów wydzielania zewnętrznego, np. w śliniankach, gruczołach mlecznych, a także w ścianach kanalików nerkowych
jednowarstwowy walcowaty 	• komórki o kształcie wydłużonym (nieregularne graniastosłupy) • jądra znajdują się blisko błony podstawnej **Przykłady występowania:** • u człowieka wyściela przewód pokarmowy (od żołądka do odbytnicy), gdzie odpowiada za wydzielanie soków trawiennych (liczne w komórkach nabłonka aparaty Golgiego oraz siateczka śródplazmatyczna) • w jelicie cienkim komórki nabłonka mają liczne cienkie wypustki cytoplazmatyczne mikrokosmki, które zwiększają powierzchnię wchłaniania składników pokarmowych • w jajowodzie dzięki licznym rzęskom ułatwiają przemieszczanie komórki jajowej (lub zygoty) w kierunku macicy • tworzy powłoki ciała niektórych bezkręgowców, np. pierścienic i mięczaków
jednowarstwowy wielorzędowy 	• komórki o różnej wysokości o kształcie graniastosłupów (wysokie) i klinowate (niskie) • jądra komórkowe znajdują się na różnych poziomach, co podczas obserwacji mikroskopowych daje wrażenie wielorzędowości **Przykłady występowania:** • u człowieka wyścieła drogi oddechowe (część oddechową i węchową jamy nosowej, górną część gardła, tchawicę, oskrzela) • dzięki obecności mikrokosmków na wolnej powierzchni komórek pomaga usuwać zanieczyszczenia, np. cząstek kurzu i pyłu

Rodzaj nabłonka	Główne cechy
wielowarstwowy płaski 	• kilka warstw komórek, których warstwa zewnętrzna jest spłaszczona • występuje na powierzchniach narażonych na ścieranie • ma zdolności regeneracyjne dzięki intensywnym podziałom mitotycznym zachodzącym w głębszych jego warstwach • występuje w postaci nabłonka rogowaciejącego i nierogowaciejącego **Przykłady występowania:** • nabłonek rogowaciejący tworzy zewnętrzną warstwę skóry (naskórek) u większości kręgowców, komórki wierzchniej warstwy naskórka rogowacieją (tracą jądra) i wypełniają się rogową substancją keratyną • nabłonek nierogowaciejący występuje w jamie ust, w części środkowej i dolnej gardła, wyścieła większą część przełyku i pochwę, a także tworzy przednią powierzchnię rogówki oka
wielowarstwowy sześcienny 	• trzy warstwy komórek sześciennych **Przykłady występowania:** • wyścieła ślinianki i gruczoły potowe
wielowarstwowy walcowaty 	• kilka warstw komórek, których warstwa zewnętrzna jest walcowata **Przykłady występowania:** • wyścieła cewkę moczową męską, spojówkę oka
przejściowy 	• komórki zmieniają kształt od sześciennych do płaskich wraz ze stopniem wypełnienia pęcherza moczem **Przykłady występowania:** • pęcherz moczowy • moczowody

Funkcje tkanek nabłonkowych

Nabłonki	Funkcje	Przykłady
pokrywająco-ochronne	• chronią powierzchnię ciała przed niekorzystnym wpływem czynników środowiska • chronią narządy wewnętrzne przed urazami mechanicznymi, utratą płynów ciała oraz szkodliwymi czynnikami chemicznymi	• wielowarstwowy złuszczający się naskórek czy nabłonek jednowarstwowy płaski wyścielający serce i naczynia krwionośne • budują różne struktury zwierząt, jak łuski, pióra, sierść, włosy, pazury, paznokcie, kopyta, pokrywy dziobów u ptaków czy pochwy rogowe pustorożców
wydzielnicze (gruczołowe)	• uczestniczą w syntezie i wydzielaniu różnych związków chemicznych, np. enzymów, hormonów, śluzu; budują gruczoły, które je produkują • mogą być rozmieszczone pojedynczo wśród innych komórek nabłonka (**gruczoły jednokomórkowe**) lub w zespołach (**gruczoły wielokomórkowe**) • gruczoły mogą wyprowadzać wydzielinę przewodem na powierzchnię nabłonka (**gruczoły zewnątrzwydzielnicze** lub **światła narządu**) lub bezpośrednio do płynów ustrojowych (**gruczoły wewnątrzwydzielnicze – dokrewne**)	• nabłonek jednowarstwowy sześcienny • nabłonek jednowarstwowy walcowaty
transportujące	• umożliwiają przekazywanie substancji między warstwą zewnętrzną a wewnętrzną nabłonka	• nabłonek jednowarstwowy płaski – transport gazów oddechowych • nabłonek jednowarstwowy sześcienny – transport jonów w kanalikach nerkowych • nabłonek jednowarstwowy walcowaty – transport produktów trawienia w jelicie cienkim • nabłonek jednowarstwowy walcowaty – przesuwanie komórki jajowej (zygoty) w jajowodzie czy przemieszczanie się larw bezkręgowców
zmysłowe	• umożliwiają odbieranie bodźców ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego	• nabłonki kubków smakowych, siatkówki oka, komórki receptorowe ucha wewnętrznego

Sposoby wydzielania komórkowego

Wydzielanie merokrynowe – A
– zachodzi w szczytowej części komórki, co nie powoduje jej zniszczenia (większość gruczołów).

Wydzielanie apokrynowe – B
– podczas wydzielania zostaje oderwana szczytowa część komórki (np. gruczoły mlekowe ssaków).

Wydzielanie holokrynowe – C
– cała zawartość komórki przekształca się w wydzielinę, co prowadzi do zniszczenia całej komórki podczas wydzielania (np. gruczoły łojowe skóry ssaków).



Tkanka łączna

– powstaje z mezodermy;

– jest odpowiedzialna za wiele funkcji: wypełniającą, odżywczą, transportową, szkieletotwórczą oraz obronną.

Budowa tkanek łącznych

Substancja międzykomórkowa		Komórki
istota podstawowa	białkowe elementy włókniste	elementy morfotyczne krwi: • erytrocyty • leukocyty • trombocyty chondrocyty chondroblasty chondroklasty osteocyty osteoblasty osteoklasty
• rodzaj żelu z dużą zawartością wody w tkankach łącznych właściwych • twarda zmineralizowana substancja w tkankach łącznych oporowych	• **włókna kolagenowe** zbudowane z nierozpuszczalnego białka **kolagenu** • nadają dużą wytrzymałość i odporność na rozerwanie (liczne w ścięgnach, chrząstkach i kościach)	
chondryna osseina osocze	**włókna sprężyste** zbudowane z białka **elastyny**, tworzącego nieregularną, sprężystą sieć, która nadaje giętkość i sprężystość	
	włókna retikulinowe – zbudowane z białka **retikuliny**, które jest składnikiem delikatnych włókien stanowiących rusztowania zrębów niektórych narządów wewnętrznych, np. węzłów chłonnych	
	fibrynogen – białko osocza krwi produkowane w wątrobie, niezbędne w procesie krzepnięcia krwi	

Klasyfikacja tkanek łącznych



Tkanka łączna właściwa

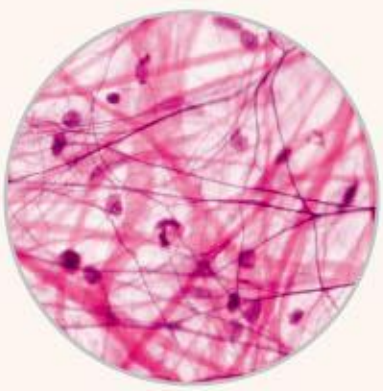
– w substancji międzykomórkowej brak substancji twardych i zmineralizowanych;

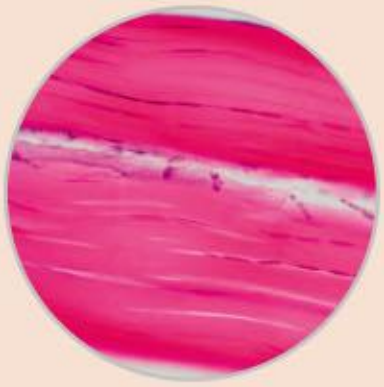
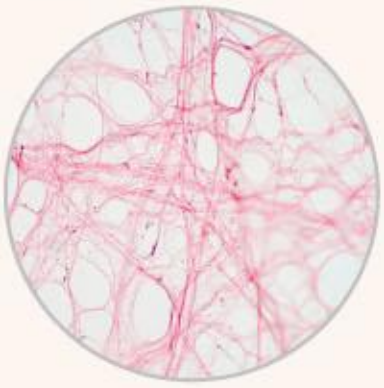
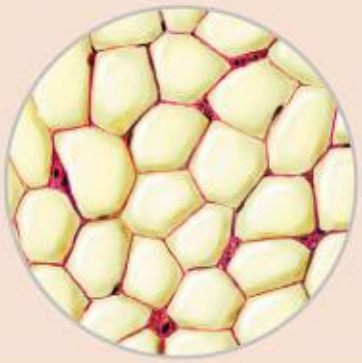
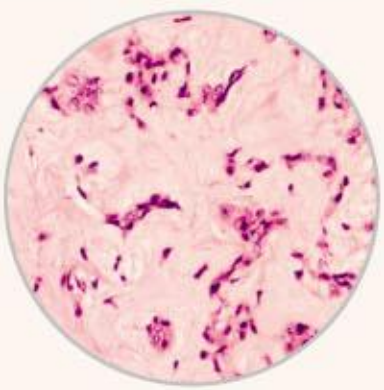
– substancja podstawowa zbudowana głównie z białek i cukrów złożonych;

– komórki zróżnicowane morfologicznie, fizjologicznie, duże zdolności regeneracyjne;

– wyróżnia się kilka rodzajów tkanki łącznej właściwej o odmiennej budowie i funkcjach.

Charakterystyka rodzajów tkanki łącznej właściwej

Rodzaj tkanki łącznej właściwej	Charakterystyka	Przykłady występowania
wiotka (luźna) 	• złożona z różnych rodzajów komórek i dużej ilości substancji podstawowej, zawierającej nieregularnie ułożone włókna kolagenowe, sprężyste i retikulinowe	• stanowi rusztowanie dla innych tkanek i narządów, utrzymuje je we właściwym miejscu • razem z tkanką tłuszczową tworzy przyczep skóry do mięśni, dzięki czemu powstaje elastyczna podpora • wypełnia wolne przestrzenie między narządami • otacza naczynia krwionośne

Rodzaj tkanki łącznej właściwej	Charakterystyka	Przykłady występowania
zwarta (zbita) 	• składa się z komórek, niewielkiej ilości substancji podstawowej i dużej ilości włókien, głównie kolagenowych (duża wytrzymałość, a mała elastyczność w porównaniu z tkanką wiotką) ułożonych regularnie (odporne na rozciąganie) lub nieregularnie (umożliwiają odkształcenie)	• buduje skórę właściwą kręgowców (włókna nieregularne) • występuje w ścięgnach, które łączą mięśnie z kośćmi, i więzadłach – połączeniach między kośćmi (włókna regularne)
siateczkowa 	• składa się z komórek o kształcie gwiaździstym, których wypustki łączą się ze sobą, tworząc przestrzenną sieć • wolne miejsca są wypełnione substancją podstawową bogatą m.in. w delikatne włókna kolagenowe	• tworzy zręby niektórych narządów, np. śledziony, szpiku kostnego, węzłów chłonnych
tłuszczowa	• pozbawiona substancji międzykomórkowej • występuje w dwóch postaciach: tkanki tłuszczowej żółtej (białej) i brunatnej	
– żółta (biała) 	• komórki mają jedną dużą wakuolę, w której jest magazynowany tłuszcz	• u zwierząt przede wszystkim pod skórą i w torebkach tłuszczowych wokół narządów wewnętrznych • pełni funkcję termoizolacyjną i odżywczą oraz amortyzuje wstrząsy
– brunatna 	• komórki mają liczne wakuole tłuszczowe	• u człowieka pojawia się w życiu płodowym i utrzymuje się w okresie niemowlęcym (gromadzenie ciepła) • u zwierząt występuje u gatunków zapadających w sen zimowy, które szybko tracą ciepło z powodu dużej powierzchni ciała w stosunku do objętości
zarodkowa (mezenchyma) 	• komórki o kształcie gwiaździstym mają charakter totipotencjalny, czyli mogą przekształcać się w dowolny typ komórek • komórki łączą się za pomocą cienkich wypustek, a przestrzenie między nimi wypełnia galaretowata substancja podstawowa pozbawiona włókien białkowych	• występuje w okresie zarodkowym

Tkanka łączna oporowa

- stanowi podporę ciała zwierząt oraz ochronę przed urazami mechanicznymi;
- występuje u kręgowców, u bezkręgowców – tylko u głowonogów (chrzęstna puszka osłaniającą mózg);
- ze względu na różnice w budowie i pełnionych funkcjach wyróżnia się **tkankę chrzęstną** (budującą chrząstkę) oraz **kostną** (budującą kość).

Tkanka chrzęstna

- tworzy szkielet wszystkich kręgowców w okresie zarodkowym;
- w późniejszym okresie zostaje on zastąpiony tkanką kostną (u ryb chrzęstnoszkieletowych i dwudysznych tkanka chrzęstna buduje szkielet dorosłych);
- nie jest unerwiona i unaczyniona;
- odżywianie odbywa się na drodze dyfuzji;
- jest zbudowana z **komórek chrzęstnych** (chondrocytów) oraz substancji międzykomórkowej (chondryny), w której są zanurzone włókna białkowe produkowane przez **komórki chrząstkotwórcze** (chondroblasty);
- komórki chrzęstne znajdują się pojedynczo lub po kilka w jamkach chrzęstnych i tworzą jednostkę funkcjonalną – **chondron**;
- w miejscach uszkodzenia mechanicznego chondrocyty przekształcają się w **komórki chrząstkogubne** – chondroklasty, które rozpuszczają chrząstkę.

Rodzaje tkanki chrzęstnej

W organizmie zwierząt wyróżnia się tkankę chrzęstną szklistą, sprężystą i włóknistą.

Cecha	Tkanka chrzęstna		
	szklista	sprężysta	włóknista
budowa	• w substancji podstawowej między cienkimi ułożonymi równomiernie włóknami kolagenowymi znajdują się liczne skupiska komórek chrzęstnych	• w istocie podstawowej duża ilość włókien sprężystych ułożonych nieregularnie	• w substancji podstawowej liczne grube włókna kolagenowe ułożone równolegle z niewielką ilością włókien sprężystych
właściwości	• odporna na ścieranie • stopniowo ulega kostnieniu (mineralizacji)	• giętka i elastyczna • nie ulega kostnieniu (mineralizacji)	• wytrzymała na rozerwanie i zgniatanie
występowanie	• szkielet wszystkich kręgowców w okresie zarodkowym • u ryb chrzęstnoszkieletowych buduje szkielet • powierzchnie stawowe i przymostkowe części żeber – część chrzęstna nosa, nagłośnia, oskrzela	• małżowina uszna • współtworzy część chrząstek krtani i nagłośni • część chrzęstna nosa	• miejsce przyczepu mięśni do kości • spojenie łonowe • dyski międzykręgowe

Tkanka kostna

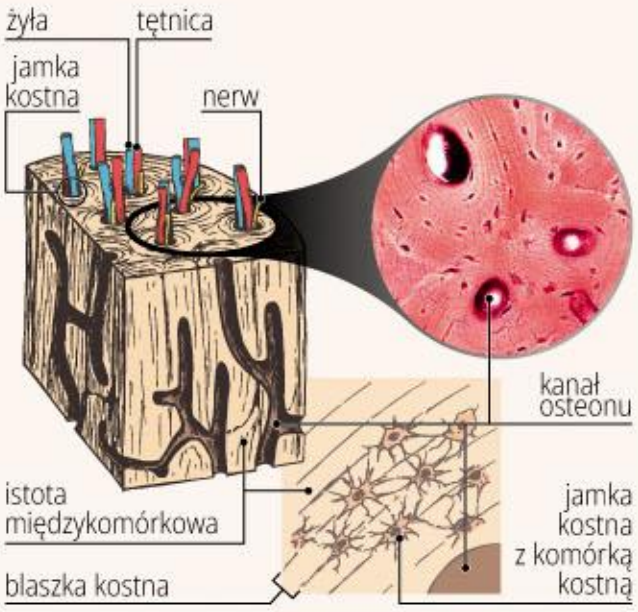
- pełni funkcję podporową, osłaniającą narządy miękkie, zapasową dla jonów (głównie wapniowych), a także krwiotwórczą;
- powstaje na drodze kostnienia tkanki chrzęstnej szklistej lub w nieznacznym stopniu tkanki łącznej właściwej (np. kość czołowa i ciemieniowa czaszki);
- u większości kręgowców buduje szkielet ostateczny;
- jest dobrze ukrwiona i unaczyniona;

– substancja międzykomórkowa – osseina (białkowy składnik nadający elastyczność) jest przesycona solami mineralnymi (m.in. fosforanem wapnia i magnezu, węglanem wapnia), które zapewniają twardość i wytrzymałość mechaniczną;

– w budowie tkanki kostnej wyróżniamy trzy rodzaje komórek:
  • komórki **kościotwórcze (osteoblasty)** – komórki budujące kości, mające zdolność do rozmnażania i odpowiadające za ich regenerację;
  • komórki **kostne (osteocyty)** – dojrzałe komórki kostne powstałe z przekształconych komórek kościotwórczych, zaopatrzone w liczne wypustki, za pomocą których mogą się łączyć ze sobą;
  • komórki **kościogubne (osteoklasty)**, które rozpuszczają martwą tkankę kostną i biorą udział w przebudowie kości.

Rodzaje tkanki kostnej

Wyróżnia się dwa rodzaje tkanki kostnej: zbitą i gąbczastą.

Porównywana cecha	Tkanka kostna	
	zbita	**gąbczasta**
budowa	• podstawową jednostką strukturalną i funkcjonalną jest **osteon** • blaszki kostne układają się koncentrycznie wokół centralnie położonego kanału osteonu (tzw. kanału Haversa), przez który przechodzą naczynia krwionośne, limfatyczne i nerwy • pomiędzy blaszkami kostnymi występują komórki kostne 	• nie ma osteonów • blaszki kostne tworzą **beleczki kostne** ułożone w luźną sieć przestrzenną o strukturze gąbczastej • amortyzuje przeciążenia i wstrząsy 
występowanie	• trzony kości długich • zewnętrzne warstwy kości płaskich	• nasady kości długich • wnętrze kości płaskich

Tkanka łączna płynna – krew i limfa

Krew w organizmie zwierząt spełnia następujące funkcje:

– **oddechową** – poprzez transport tlenu z płuc do wszystkich komórek ciała;

– **odżywczą** – zaopatruje wszystkie komórki w substancje budulcowe i energetyczne;

– **wydalniczą** – poprzez transport zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii: dwutlenku węgla i związków azotu;

– **immunologiczną** – uczestniczy w reakcjach odpornościowych organizmu;

– **termoregulacyjną** – rozprowadza ciepło po organizmie i pozwala na utrzymanie stałej temperatury ciała.

Składniki krwi

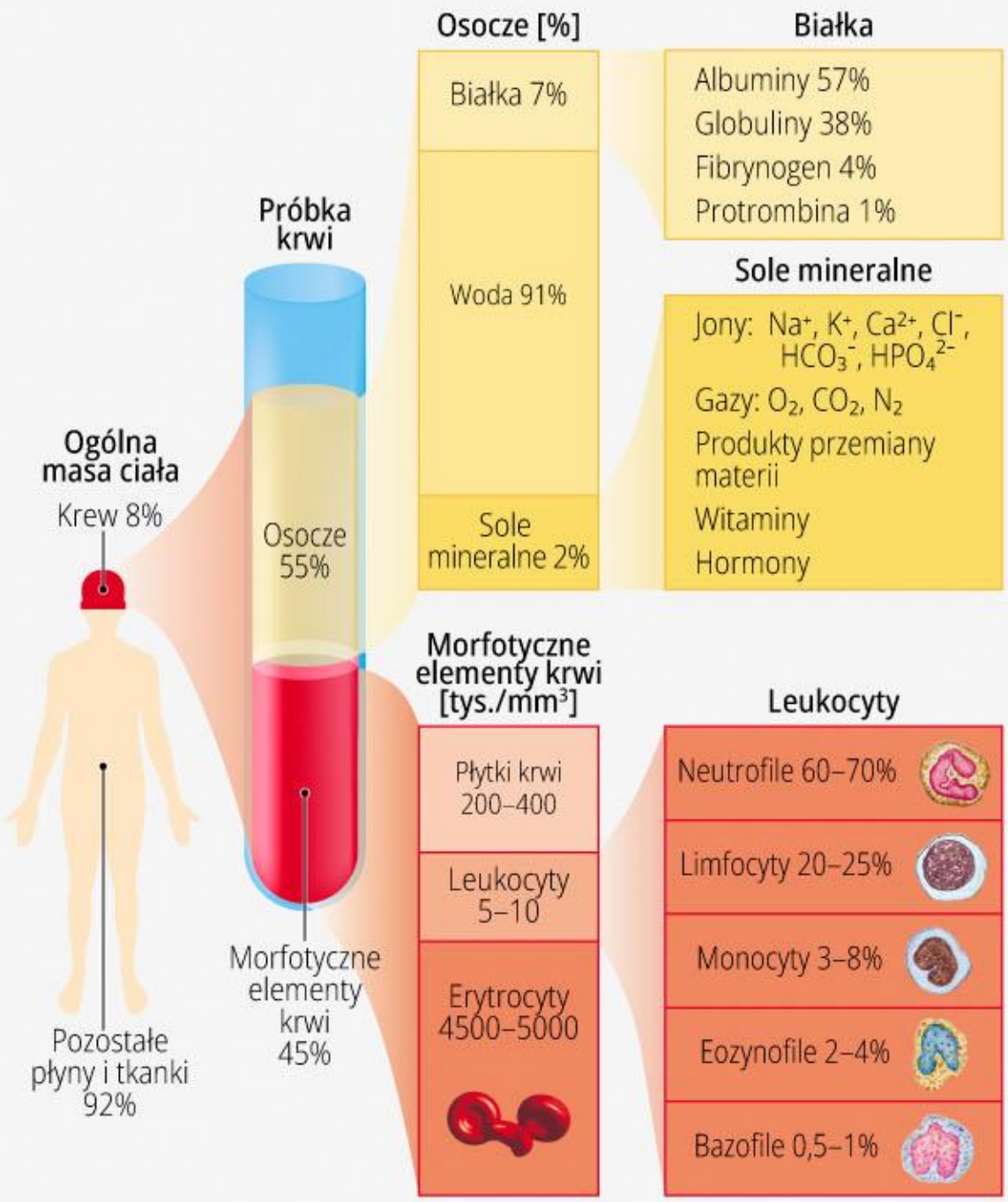
Krew składa się z substancji podstawowej – nieupostaciowanego **osocza** (ok. 55% objętości krwi) oraz zawieszonych w nim komórek – **elementów morfotycznych krwi** (ok. 45% objętości krwi).

W skład osocza – lekko żółtej cieczy – wchodzą: woda (ok. 91%), związki nieorganiczne (ok. 2%) oraz związki organiczne (ok. 7%). **Związki nieorganiczne** to głównie jony sodu, potasu, magnezu, wapnia i chloru oraz wodorowęglany. Odpowiadają one za utrzymanie równowagi osmotycznej i stałego pH krwi. Wśród **związków organicznych** osocza występują przede wszystkim białka:

- **albuminy** – utrzymują ciśnienie osmotyczne, pH płynów ustrojowych, transportują jony wapnia, barwniki żółciowe oraz kwasy tłuszczowe;
- **globuliny** – wiążą glukozę i tłuszcze, **immunoglobuliny** uczestniczą w reakcjach odpornościowych organizmu przez wytwarzanie przeciwciał;
- **fibrynogen i protrombina (proenzym)** – uczestniczą w krzepnięciu krwi.

Oprócz białek w skład osocza wchodzą m.in. substancje odżywcze dostarczane do komórek (np. glukoza, aminokwasy, witaminy) oraz zbędne produkty przemiany materii, m.in. mocznik i kwas moczowy, a także hormony.

Osocze pozbawione fibrynogenu nosi nazwę **surowicy krwi**.



Składniki morfotyczne krwi

Krwinki	Cechy charakterystyczne	Miejsce powstania	Miejsce degradacji	Funkcje	Parametry ilościowe
erytrocyty	• kształt dwuwklęsłych krążków (u ssaków) • brak jądra i innych organelli (tylko u ssaków, u innych kręgowców obecne) • czerwone zabarwienie wynika z obecności **hemoglobiny (białko globina i czerwony barwnik krwi hem)** • stanowią 38–48% całkowitej objętości krwi	• czerwony szpik kostny niektórych kości (kręgi, łopatki, mostek, żebra, kości czaszki), a rozkładają się w śledzionie i wątrobie • żyją około 120 dni	śledziona, wątroba	transport tlenu i częściowo (ok. 20%) dwutlenku węgla	we krwi mężczyzny wynosi ok. 5,4 mln/mm^3, u kobiety – ok. 4,5 mln/mm^3, u noworodka ok. 7 mln/mm^3
leukocyty	• kształt kulisty lub owalny • bezbarwne (widoczne w mikroskopie po odpowiednim barwieniu • zawierają jądro komórkowe oraz organelle komórkowe • niektóre mają zdolność pełzakowatego ruchu (mogą opuszczać światło naczyń krwionośnych)	• czerwony szpik kostny, układ limfatyczny (grasica, śledziona, grudki chłonne) • żyją od kilku dni do kilku lat (w przypadku komórek pamięci immunologicznej)	komórki układu siateczkowo-śródbłonkowego	uczestniczą w reakcjach odpornościowych organizmu	5–10 tys./mm^3
trombocyty	• bezbarwne, różnokształtne fragmenty cytoplazmy • megakariocyty – komórki macierzyste płytek pozbawione jądra komórkowego u ssaków nazywane płytkami krwi (u pozostałych zwierząt duże, owalne jądro, wrzecionowaty kształt komórek)	• czerwony szpik kostny • żyją dość krótko 8–10 dni	wątroba, śledziona	uczestniczą w krzepnięciu krwi	200–400 tys./mm^3

Leukocyty

Granulocyty – mają ziarnistości w cytoplazmie (o specyficznych zdolnościach do barwienia) oraz duże płatowate jądro. Ziarnistości wchodzą w reakcje z barwnikami i z tego względu granulocyty dzieli się na **granulocyty obojętnochłonne, kwasochłonne oraz zasadochłonne**.	
obojętnochłonne (neutrofile)	• stanowią 60–70% ogólnej liczby leukocytów • mogą opuszczać światło naczyń krwionośnych • wychwytują i przeprowadzają fagocytozę różnych czynników chorobotwórczych (głównie bakterii)
kwasochłonne (eozynofile)	• stanowią 2–4% ogólnej liczby leukocytów • poruszają się ruchem pełzakowatym • na drodze fagocytozy niszczą obce białka • zwalczają pasożyty jelitowe (np. owsiki)
zasadochłonne (bazofile)	• stanowią 0,5–1% ogólnej liczby leukocytów • mają niewielkie zdolności do poruszania się ruchem pełzakowatym • uczestniczą w reakcjach alergicznych (**uwalniają histaminę, serotoninę**) • mają działanie przeciwzakrzepowe (**uwalniają heparynę**)
Agranulocyty nie mają ziarnistości w cytoplazmie. Mają duże, wypełniające prawie całą cytoplazmę jądro komórkowe kształtu kulistego lub nerkowatego. Agranulocyty dzieli się na **limfocyty** i **monocyty**.	
Limfocyty stanowią 25–35% ogólnej liczby leukocytów, zawierają duże kuliste jądro i mało cytoplazmy.	limfocyty T • powstają w czerwonym szpiku kostnym, a dojrzewają w grasicy • na powierzchni mają receptory TCR rozpoznające antygeny • odpowiadają za odpowiedź immunologiczną typu komórkowego • po dojrzeniu różnicują się na limfocyty **cytotoksyczne Tc** i **limfocyty pomocnicze Th** • żyją do kilku lat
	limfocyty B • powstają i dojrzewają w czerwonym szpiku kostnym • na powierzchni mają receptory BCR rozpoznające antygeny • są prekursorami plazmocytów wytwarzających przeciwciała • odpowiadają za **odpowiedź immunologiczną typu humoralnego** • różnicują się w komórki plazmatyczne (produkujące przeciwciała) i komórki pamięci • żyją dość krótko – do 10 dni (z wyjątkiem komórek pamięci immunologicznej)
Monocyty	• są największymi komórkami krwi • stanowią 3–8% ogólnej liczby leukocytów • mają jądra kształtu nerkowatego • mają zdolność ruchu i fagocytozy • przekształcają się w makrofagi pochłaniające drobnoustroje lub ich fragmenty • produkują **interferon** – białko hamujące namnażanie się wirusów • żyją od 3 do 5 dni

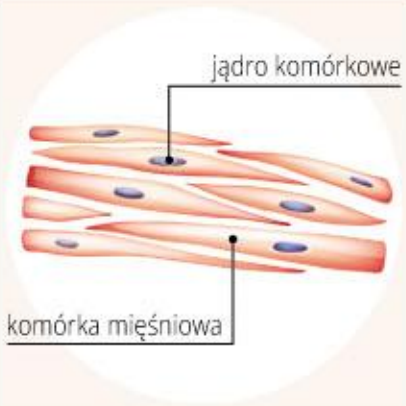
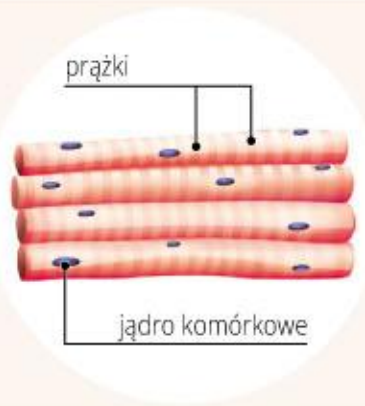
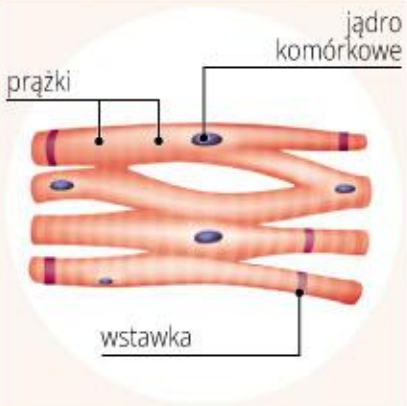
Limfa (chłonka)

Limfa powstaje jako przesącz składników krwi przez naczynia krwionośne do przestrzeni międzykomórkowych innych tkanek. Skład limfy jest bardzo zbliżony do osocza krwi, zawiera jednak mniej substancji wielkocząsteczkowych, takich jak białka. W limfie znajdują się duże ilości limfocytów oraz tłuszczów pokarmowych, nadających jej żółtawe zabarwienie. Naczynia, przez które przepływa limfa, nazywamy naczyniami limfatycznymi. Limfa bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu oraz transporcie substancji.

Tkanka mięśniowa

- powstaje z mezodermy;
- ma zdolność do kurczenia się, co umożliwia ruch organizmu i pracę wielu narządów;
- w cytoplazmie oprócz typowych organelli komórki eukariotycznej znajdują się elementy cytoszkieletu – kurczliwe białka tworzące filamenty – cienkie, zbudowane z białka **aktyny**, oraz grube, które tworzy białko **miozyna**.

W zależności od budowy i funkcjonowania włókien mięśniowych u kręgowców wyróżnia się tkankę **mięśniową gładką, poprzecznie prążkowaną szkieletową** i **tkankę poprzecznie prążkowaną serca**.

Cecha	Tkanka mięśniowa		
	gładka	**poprzecznie prążkowana szkieletowa**	**poprzecznie prążkowana serca**
			
występowanie	• ściany narządów wewnętrznych, m.in. żołądka, jelit, ścian naczyń krwionośnych • u bezkręgowców – płazińców, nicieni i pierścienic umożliwia poruszanie się oraz współtworzy m.in. wory powłokowo-mięśniowe	mięśnie szkieletowe człowieka i pozostałych kręgowców	ściany przedsionków i komór serca
jednostka strukturalna	komórka (miocyt)	włókno	komórka (zwana kardiomiocytem lub włóknem mięśniowym)
prążkowanie	brak	występuje	występuje
kształt komórek/włókien	wrzecionowaty, ostro zakończony	cylindryczny	cylindryczny, rozgałęziony
liczba jąder komórkowych i ich ułożenie	jedno położone centralnie	wiele położonych peryferycznie	jedno lub dwa położone centralnie
ułożenie filamentów	filamenty cienkie i grube ułożone nieregularnie	filamenty cienkie i grube ułożone na przemian	filamenty cienkie i grube ułożone na przemian
obecność wstawek	brak	brak	obecne
liczba mitochondriów	mało	różna liczba	dużo
unaczynienie	słabe	silne	silne
unerwienie	autonomiczne (niezależne od woli)	motoryczne (zależne od woli)	autonomiczne (niezależne od woli)
szybkość skurczu	powolne	szybkie	szybkie, ale słabsze od mięśni szkieletowych
szybkość męczenia się	powoli	szybko	odporne na zmęczenie

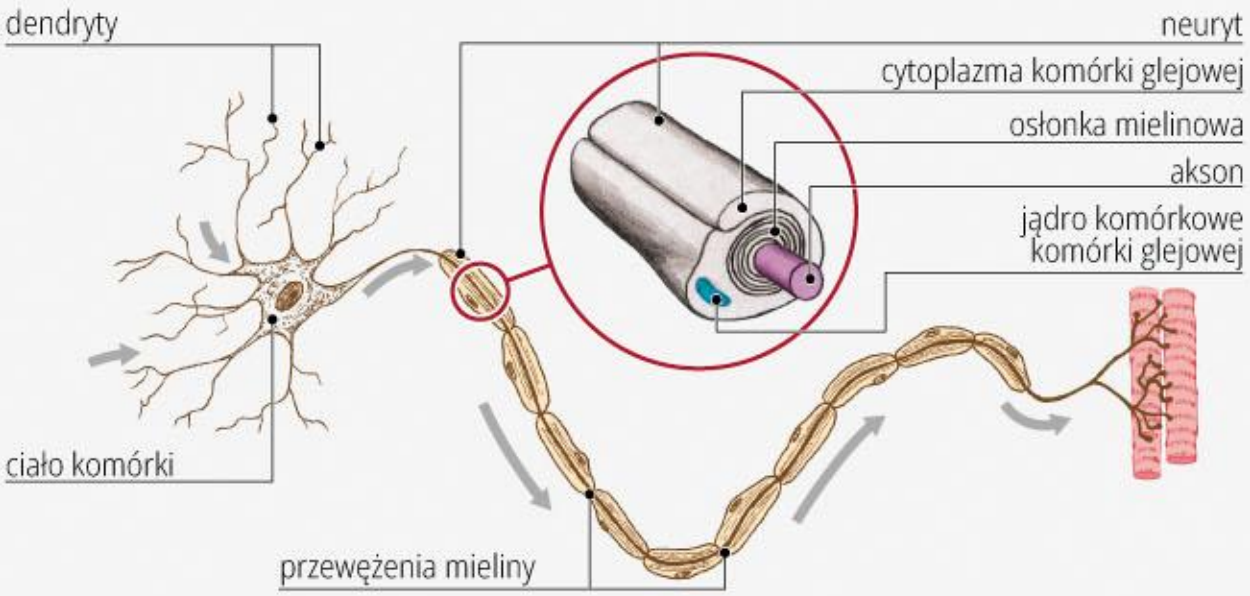
Tkanka nerwowa i glejowa

Tkanka nerwowa zbudowana jest z komórek nerwowych – **neuronów i komórek glejowych**:

- oba typy komórek powstają z ektodermy;
- neurony odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego, przetwarzają je na impulsy nerwowe, które docierają do komórek mięśniowych i gruczołów, powodując ich skurcz lub wydzielanie substancji;
- komórki glejowe odżywiają neurony, izolują je od innych tkanek i narządów, uczestniczą w procesach ich regeneracji, tworzą osłonki mielinowe wokół włókien nerwowych (**astrocyty** – największe komórki glejowe o funkcji podporowej i odżywczej, **lemocyty** czyli komórki Schwanna oraz oligodendrocyty tworzące osłonkę mielinową w obwodowym układzie nerwowym).

Budowa neuronu

Typowy **neuron** jest zbudowany z **ciała komórki** (perykarionu) oraz dwóch wypustek cytoplazmatycznych – **dendrytów** i **neurytów** (aksonów).



Element neuronu		Budowa	Funkcje
ciało komórki (perykarion)		cytoplazma z rozmieszczonymi wszystkimi organellami komórkowymi, w tym kulistym i pojedynczym jądrem komórkowym (szczególnie rozbudowana jest siateczka śródplazmatyczna szorstka, aparat Golgiego, liczne mitochondria)	• błona perykarionu przyspiesza albo hamuje impulsy nerwowe przechodzące do aksonów i z dendrytów • synteza makrocząsteczek i większości cząsteczek (np. lipidów)
tigroidy (ciałka Nissla)		ziarnistości zawierające RNA (specyficzna postać szorstkiej siateczki śródplazmatycznej), występuje w ciałach komórek nerwowych	miejsce intensywnej syntezy białek
wypustki	dendryty	liczne, krótkie i rozgałęzione wypustki protoplazmatyczne	przewodzą impulsy w stronę ciała komórki nerwowej
	akson (neuryt)	pojedyncza, długa, nierozgałęziona wypustka protoplazmatyczna, której końcowa część może tworzyć rozgałęzienia zakończone kolbką synaptyczną	przewodzą impulsy od ciała komórki nerwowej do innych neuronów lub efektorów (narządów wykonawczych)
osłonka mielinowa (rdzenna)		wewnętrzna osłonka komórki glejowej (lemocytu) bogata w substancje białkowe i lipidowe w obrębie nerwów, w centralnym układzie nerwowym tworzą ją wypustki innych komórek glejowych – oligodendrocytów	funkcja ochronna, izolacja elektryczna, zwiększenie szybkości przewodzenia impulsu nerwowego (do ok. 120 m/s)
osłonka komórkowa		z cytoplazmą i jądrem komórki glejowej	wiąże aksony, nie pozwalając na ich stykanie
przewężenie mieliny (przewężenie Ranviera)		przerwy w osłonce mielinowej	wzmocnienie impulsu sygnału nerwowego

Rodzaje neuronów

Kryterium podziału	Rodzaj neuronu	Charakterystyka	Przykłady
liczba wypustek	jednobiegunowy	pozbawiony dendrytów	podwzgórze
	rzekomojednobiegunowy	akson i dendryt odchodzą od neuronu wspólnym pniem	mózg, rdzeń kręgowy
	dwubiegunowy	jeden akson i jeden dendryt	siatkówka oka
	wielobiegunowy	jeden akson i wiele dendrytów	ośrodkowy układ nerwowy
rodzaj osłonek wokół aksonu	nagie	pozbawione osłonek	neuron węchowy
	bezmielinowe (bezrdzenne)	pokryte tylko osłonką utworzoną przez komórki glejowe wokół aksonu	włókna czuciowe i włókna zazwojowe autonomicznego układu nerwowego
	mielinowe (rdzenne)	pokryte osłonką z komórek glejowych i osłonką mielinową	nerwy mózgowe i rdzeniowe
funkcje	czuciowe (sensoryczne)	przewodzenie dośrodkowe impulsów od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego	łuki odruchowe, neurony rzekomojednobiegunowe
	ruchowe (motoryczne)	przewodzenie impulsów odśrodkowe od ośrodkowego układu nerwowego do efektorów (narządów wykonawczych)	łuki odruchowe, neurony wielobiegunowe z długim aksonem
	pośredniczące (kojarzeniowe)	przekazują impulsy między neuronami czuciowymi i ruchowymi	łuki odruchowe, neurony wielobiegunowe z krótkim aksonem

Układy narządów i ich funkcje

Układ	Elementy budowy	Funkcja
układ pokarmowy	przewód pokarmowy i gruczoły trawienne	• odpowiada za pobieranie pokarmów i ich trawienie za pomocą enzymów trawiennych, a także za wchłanianie cząstek pokarmowych i usuwanie niestrawionych resztek
układ odpornościowy	naczynia limfatyczne, węzły chłonne i komórki: granulocyty i agranulocyty	• chroni organizm wspólnie z **układem limfatycznym** przed zakażeniami drobnoustrojami chorobotwórczymi
układ oddechowy	drogi oddechowe i płuca	• uczestniczy w wymianie gazowej między krwią a środowiskiem zewnętrznym • odpowiada za dostarczenie do organizmu tlenu niezbędnego do oddychania wewnątrzkomórkowego
układ krwionośny	serce i naczynia krwionośne	• odpowiada za transport do komórek substancji i gazów oddechowych oraz odprowadzanie ich z komórek • uczestniczy w termoregulacji

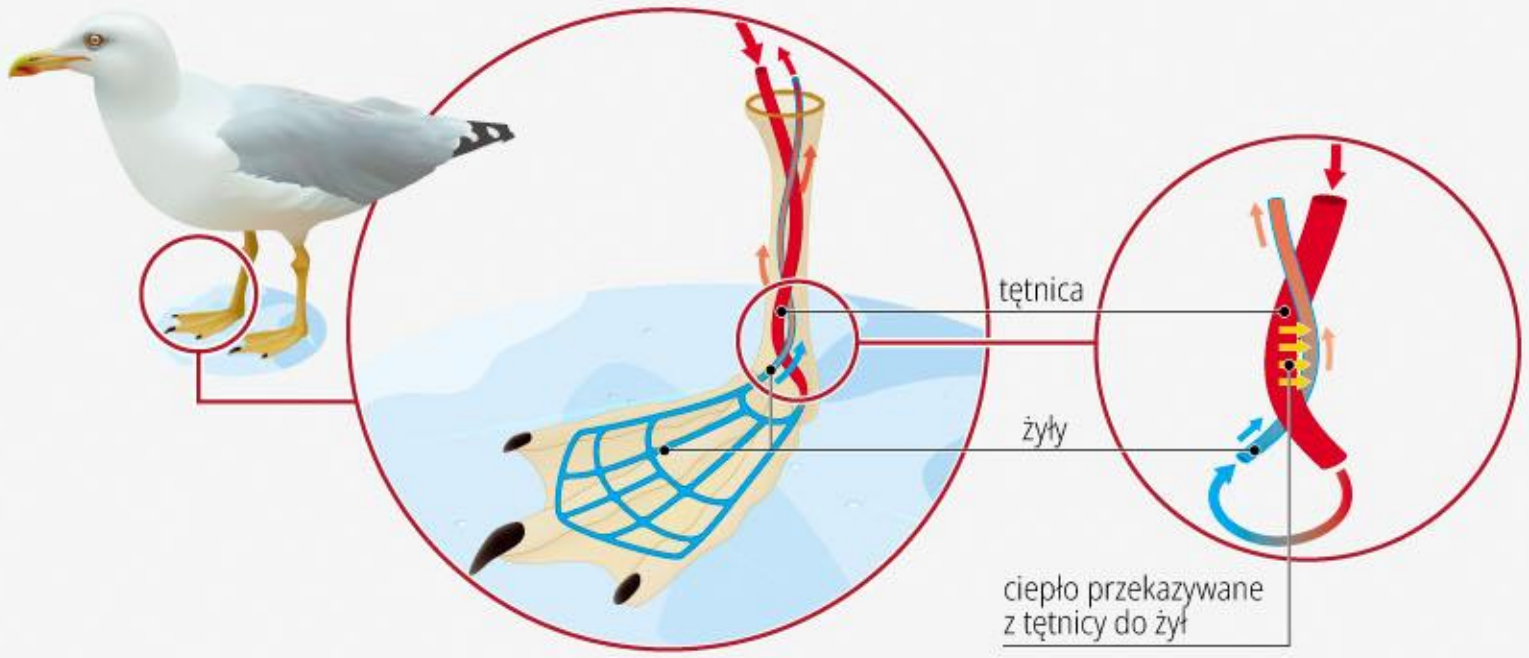
Układ	Elementy budowy	Funkcja
układ wydalniczy	nerki i drogi moczowe	• służy on do usuwania zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii z krwi • odpowiada za utrzymanie równowagi wodnomineralnej w organizmie
układ hormonalny (wydzielania wewnętrznego)	bezprzewodowe gruczoły wydzielające hormony bezpośrednio do krwi	• kontrola procesów metabolicznych • wspólnie z układem nerwowym nadzoruje wszystkie czynności życiowe organizmu
układ nerwowy	mózg, rdzeń kręgowy, narządy zmysłów, nerwy	• odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego, przekształca je w impulsy nerwowe oraz uczestniczy w dalszym ich przekazywaniu • odpowiada za koordynację pracy całego organizmu
układ szkieletowy (bierna część układu ruchu)	kości szkieletu czaszki i kręgosłupa, kończyn i obręczy oraz chrząstki i więzadła	• stanowi osłonę i podporę dla narządów wewnętrznych, a także jest miejscem przyczepu mięśni
układ mięśniowy (czynna część układu ruchu)	mięśnie szkieletowe	• umożliwia ruch zarówno całego ciała, jak i jego poszczególnych części
układ powłokowy	skóra i jej wytwory: włosy, paznokcie, pazury, gruczoły skórne	• chroni organizm przed urazami zewnętrznymi i stanowi barierę przed czynnikami chorobotwórczymi • bierze udział w termoregulacji oraz usuwaniu zbędnych produktów przemiany materii i odbieraniu bodźców ze środowiska
układ rozrodczy	gruczoły płciowe (jądra i jajniki) oraz związane z nimi struktury	• odbywa się produkcja komórek rozrodczych, które w procesie zapłodnienia tworzą nowy organizm

Mechanizm homeostazy

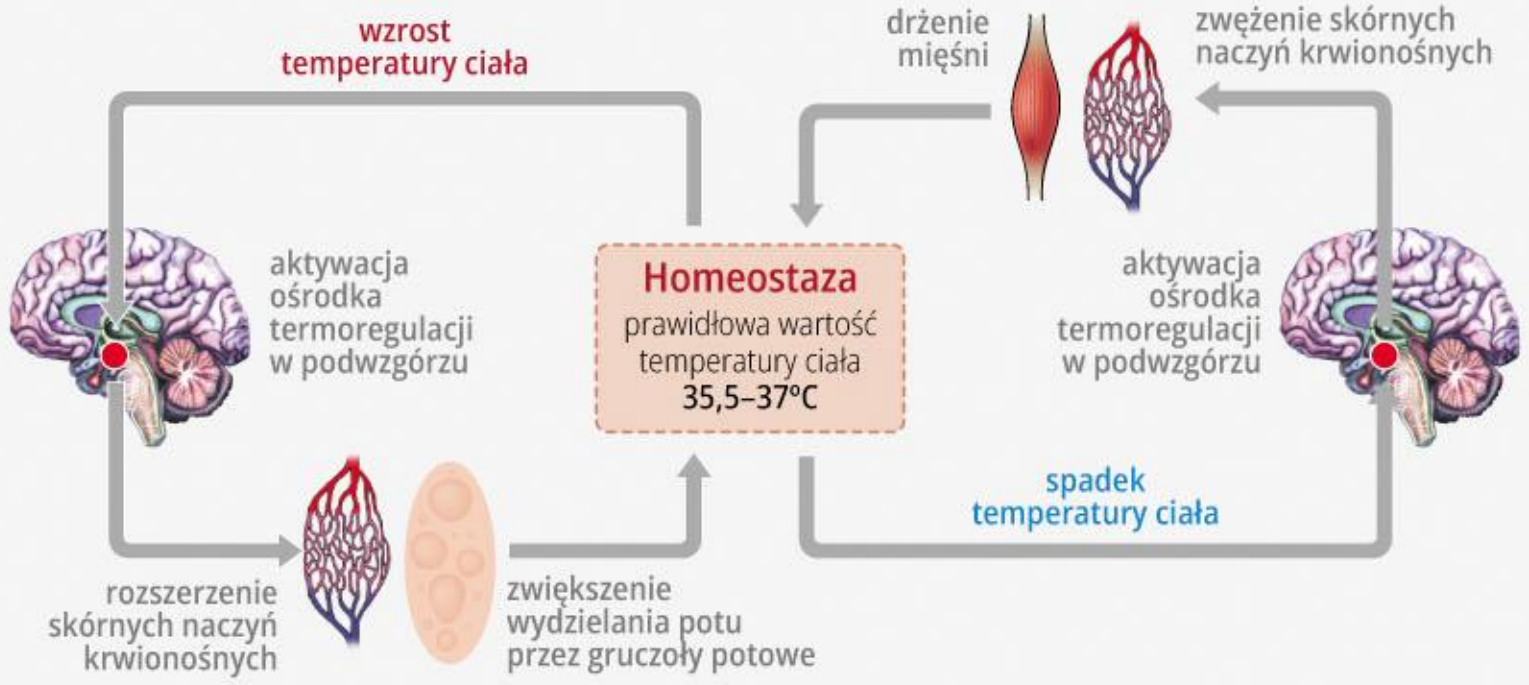
Współpraca tkanek, narządów i układów pozwala na utrzymanie stabilnych warunków wewnętrznych, czyli **homeostazy**. Za utrzymanie równowagi wewnętrznej zwierząt odpowiada wiele czynników, m.in. utrzymanie odpowiedniej temperatury ciała, stężenia składników odżywczych, tlenu i innych gazów, ciśnienia i składu chemicznego krwi. Utrzymanie homeostazy organizmu zachodzi na zasadzie sprzężeń zwrotnych ujemnych i dodatnich – zobacz rozdz. 8.12.



Przeciwprądowy wymiennik ciepła u ptaków



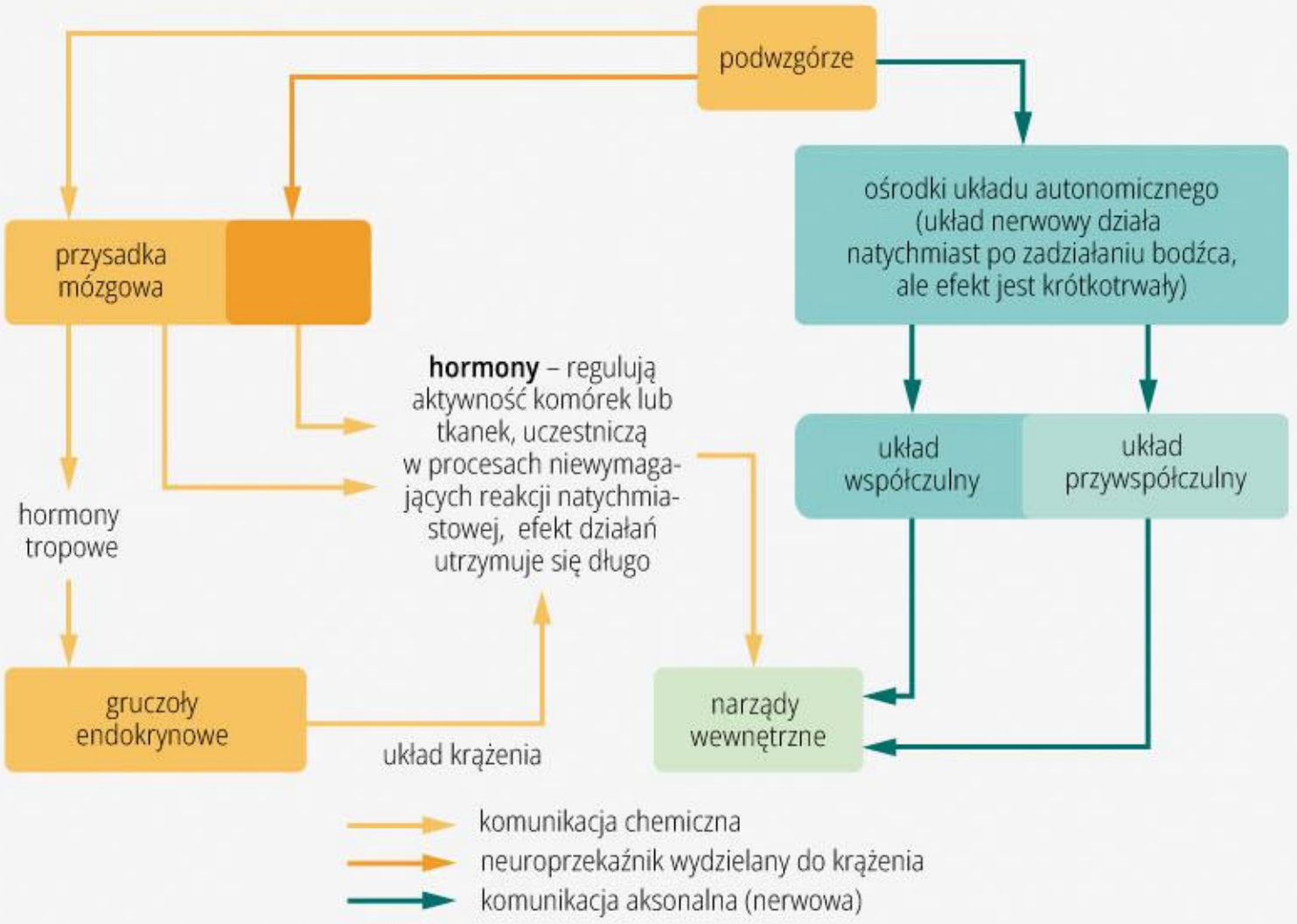
Regulacja temperatury ciała u człowieka



Wzrost temperatury ciała	Spadek temperatury ciała
• rozszerzenie naczyń krwionośnych skóry • zmniejszenie aktywności mięśni • zwiększenie aktywności gruczołów potowych • obniżenie tempa procesów metabolicznych • przyspieszenie pracy serca • pogłębienie oddechów	• obkurczenie naczyń krwionośnych skóry • zwiększona aktywność mięśni (dreszcze, gęsia skórka tzw. termogeneza drżeniowa) • spadek aktywności gruczołów potowych • zwiększenie tempa procesów metabolicznych mięśni szkieletowych, komórek tkanki tłuszczowej (tzw. termogeneza bezdrżeniowa) • zwiększenie spalania glukozy w wątrobie, komórkach mięśni szkieletowych

Termogeneza – procesy fizjologiczne i metaboliczne zwierząt stałocieplnych prowadzące do wytworzenia ciepła w celu utrzymania stałej temperatury ciała.

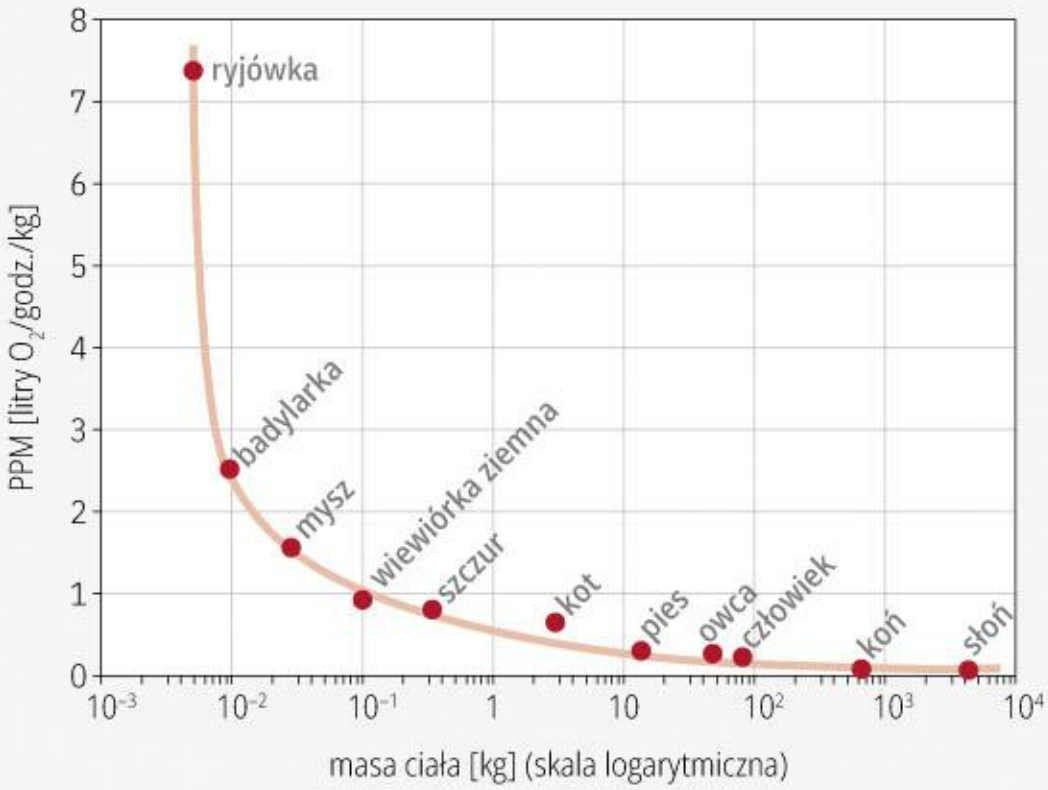
Kontrola i regulacja pracy narządów wewnętrznych u człowieka



Potrzeby energetyczne

Szybkość produkcji ciepła przez zwierzę w jednostce czasu określamy **tempem metabolizmu**.

Tempo metabolizmu zależy od wieku zwierzęcia, jego płci, wielkości ciała, aktywności oraz temperatury otoczenia. Młode organizmy, u których przeważają procesy anaboliczne (syntezy) nad katabolicznymi (rozkładu), mają wyższe tempo metabolizmu. Większym metabolizmem charakteryzują się osobniki płci żeńskiej ze względu na znaczną ilość nieaktywnej tkanki tłuszczowej. Zwierzęta większe (o większej masie ciała) do swojego funkcjonowania wymagają więcej energii chemicznej w porównaniu do zwierząt małych (o mniejszej masie ciała).

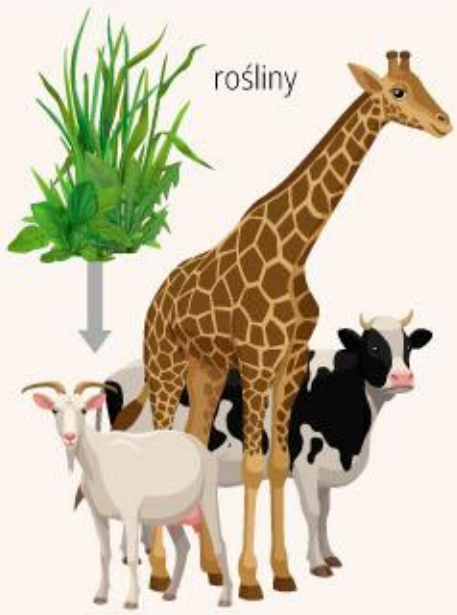
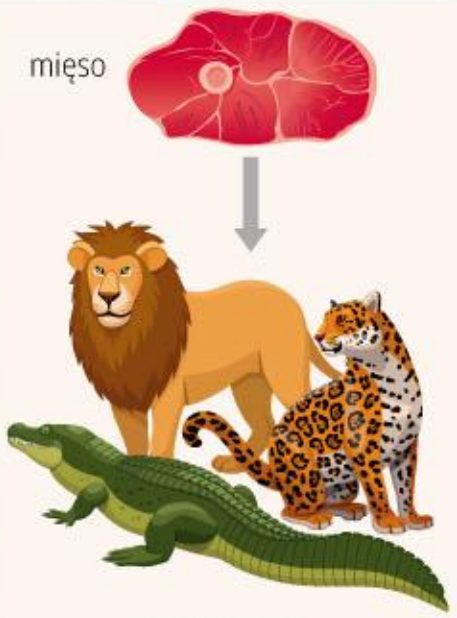


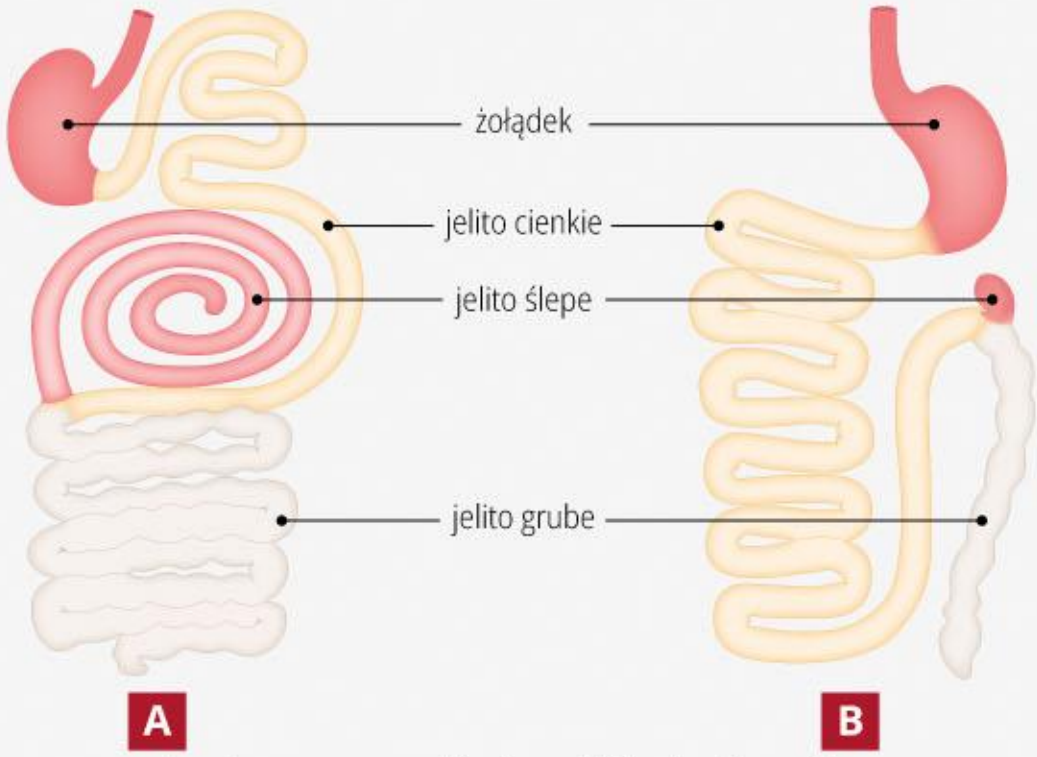
Zależność między tempem metabolizmu (zużycie tlenu na jednostkę ciała) a rozmiarami ciała ssaków (PPM – podstawowa przemiana materii). Im większa masa zwierzęcia, tym wolniejszy metabolizm.

8.2. Odżywianie się zwierząt

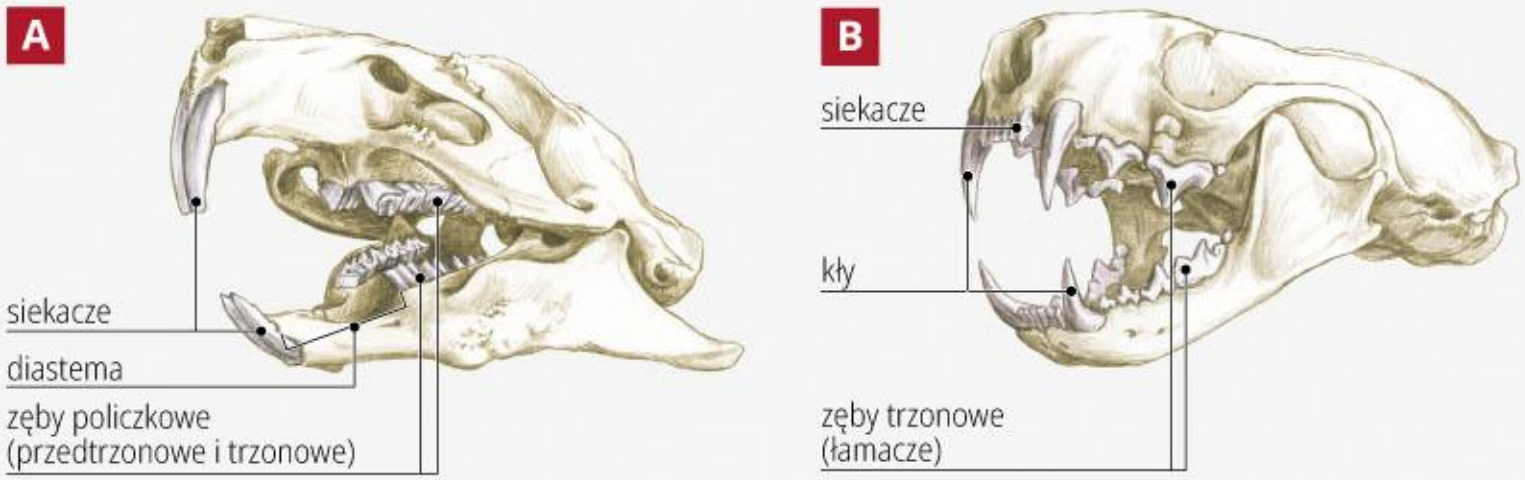
Pokarm warunkuje zachodzenie procesów życiowych u zwierząt, stanowi źródło substancji budulcowych, jest niezbędny do wzrostu i rozwoju. Rodzaj i sposób pobieranego pokarmu związane są z różnego rodzaju adaptacjami w budowie układu pokarmowego.

Podział zwierząt ze względu na rodzaj pobieranego pokarmu

Sposoby odżywiania się zwierząt		
 roślinożercy	 mięsożercy	 wszystkożercy
Żywią się producentami (roślinami) i są konsumentami I rzędu. Pobierają ogromne ilości pokarmu, z których tylko niewielka część zostaje strawiona. Reszta jest wydalana na zewnątrz. Zwierzęta te wykorzystują energię zawartą w celulozie budującej ściany komórek roślinnych. Aby było to możliwe, żyją w symbiozie z mikroorganizmami zasiedlającymi ich przewód pokarmowy.	Zwierzęta te są drapieżnikami (konsumentami II rzędu i wyższych rzędów). Żywią się roślinożercami i innymi drapieżnikami. Ich przewód pokarmowy jest krótszy niż zwierząt roślinożernych. Wiele z nich ma przystosowania do chwytania, paraliżowania i zabijania oraz rozrywania ciała ofiary. Służą do tego macki, pazury, kły, gruczoły jadowe i zęby obecne u tych zwierząt.	Te organizmy odżywiają się zarówno pokarmem roślinnym, jak i zwierzęcym. W wyborze różnego rodzaju pokarmów pomagają im przystosowania, m.in. do rozróżniania smaków i zapachów.



Porównanie budowy przewodu pokarmowego roślinożercy (A) i mięsożercy (B)



Budowa czaszki zwierząt roślinożernych (A) i mięsożernych (B)

Adaptacje zwierząt do pobierania różnego typu pokarmu

Rodzaj pokarmu	Sposób pobierania i adaptacje układu pokarmowego	Przykład zwierząt
małe cząstki pokarmowe	Wchłanianie pokarmu bezpośrednio do komórki i trawienie za pomocą wodniczki tętniącej. Odfiltrowywanie pokarmu z użyciem narządów filtracyjnych, np. za pomocą skrzeli lub fiszbin.	ameba (odżywia się glonami) filtratory (makrela, śledź, rekiny, walenie fiszbinowe)
duże masy pokarmowe	Połykanie dużych ilości gleby i pobieranie zawartej w niej materii organicznej (np. dżdżownica). Pobieranie dużych ilości pokarmu roślinnego wspomagane przez żucie (zwierzęta przeżuwające) lub zeskrobywanie. Ofiary chwytane są i połykane w całości. Chwytanie ofiar przez drapieżniki za pomocą masywnych szczęk i rozdrabnianie pokarmu za pomocą ostrych zębów.	dżdżownica krowy, bawoły, jelenie, żyrafy, owce węże, jaszczurki, ptaki lew, tygrys, wilk
płynny pokarm	Obecność specjalnych struktur umożliwiających wysysanie płynnego pokarmu (ssawek, haczyków). Należą tu zwierzęta odżywiające się nektarem, sokiem roślinnym oraz krwią.	wiele owadów, komary, pijawki, kleszcze

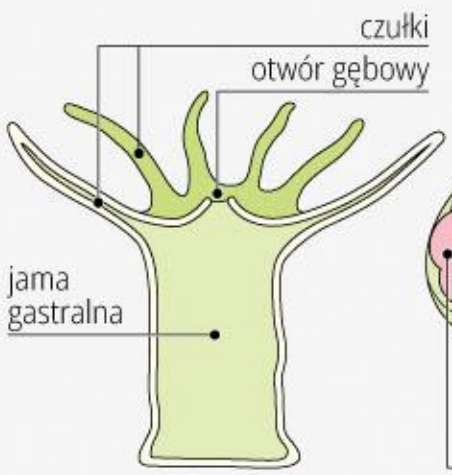
Rodzaje procesów trawienia u zwierząt

Obróbka pobranego pokarmu polega na jego **trawieniu**, czyli rozkładzie dużych makrocząsteczek na proste związki organiczne: aminokwasy, kwasy tłuszczowe i cukry proste. Trawienie odbywa się z udziałem enzymów trawiennych i może przebiegać:

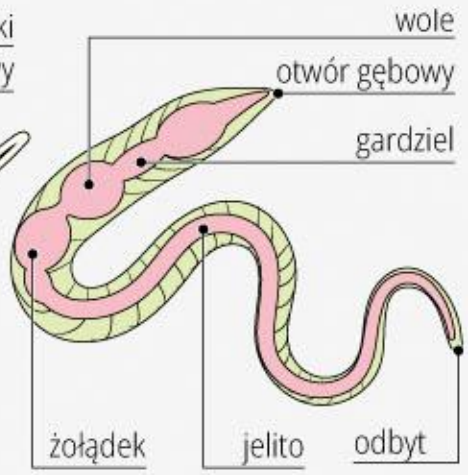
- **wewnątrzkomórkowo**, kiedy pokarm jest pobierany do komórek i trawiony przez enzymy zlokalizowane w wodniczce trawiennej; np. u gąbek, ameby;
- **zewnątrzkomórkowo**, które ma miejsce w obrębie odcinków układu pokarmowego przez obecne tam enzymy trawienne. Trawienie zewnątrzkomórkowe jest rozłożone na etapy. Po rozłożeniu pokarmu na związki proste następuje ich wchłanianie do komórek.

Układ pokarmowy zwierząt jest bardzo zróżnicowany – u jamochłonów czy płazińców istnieje pojedynczy otwór, przez który następuje pobieranie pokarmu i wydalanie niestrawionych resztek. U wyżej uorganizowanych zwierząt układ pokarmowy ma dwa otwory – gębowy i odbytowy.

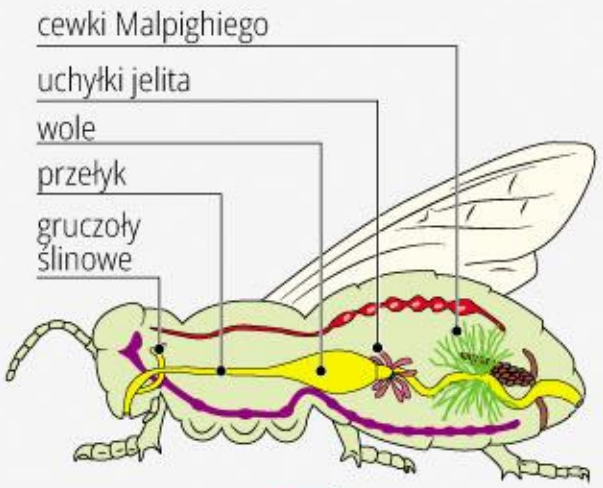
Zróżnicowanie budowy układów pokarmowych



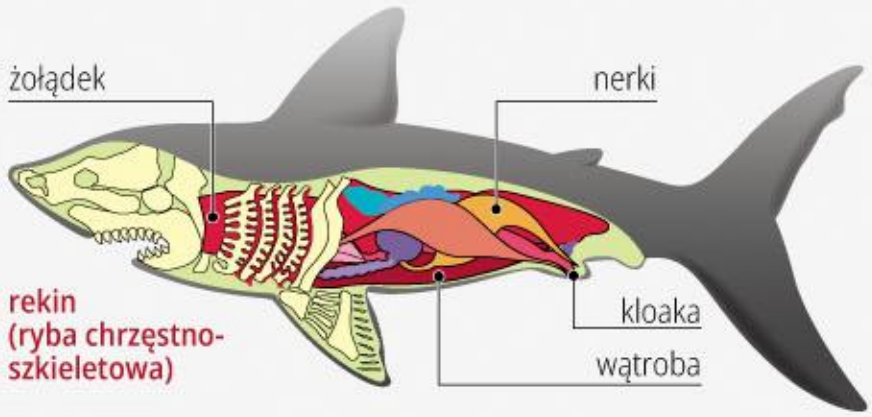
jamochłon



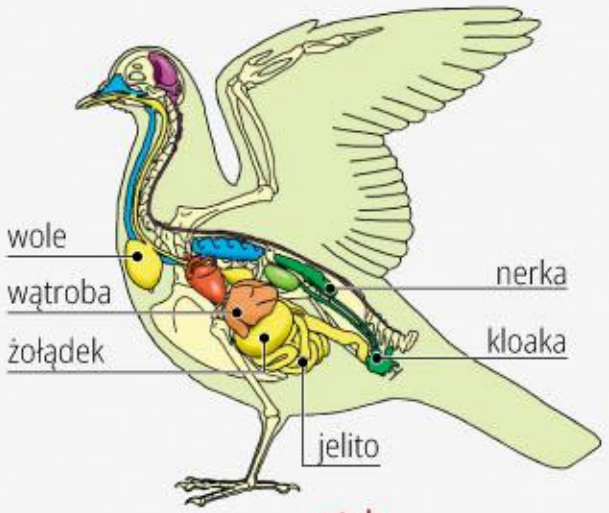
pierścienica



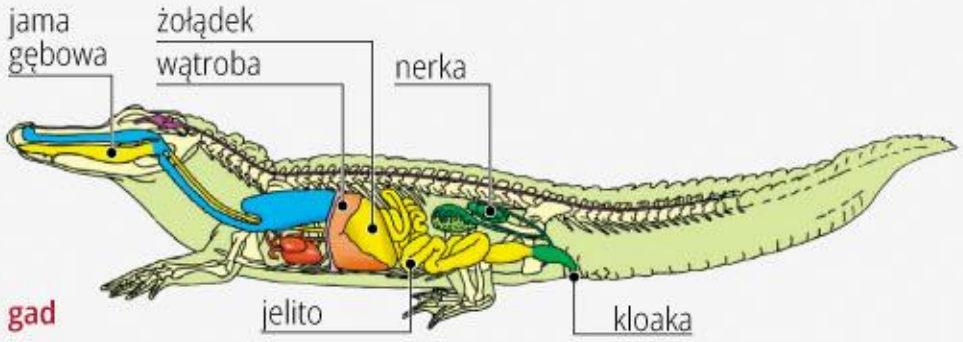
owad



rekin (ryba chrzęstno-szkieletowa)



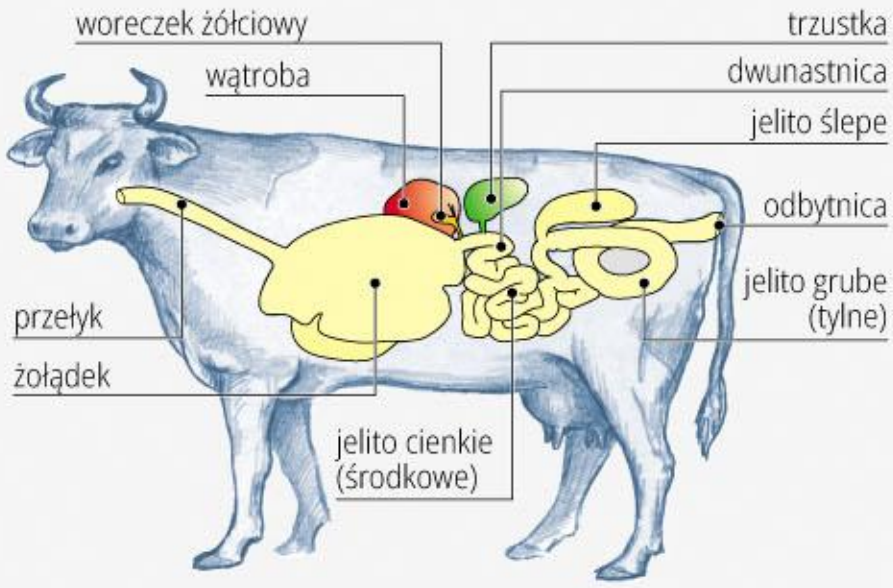
ptak

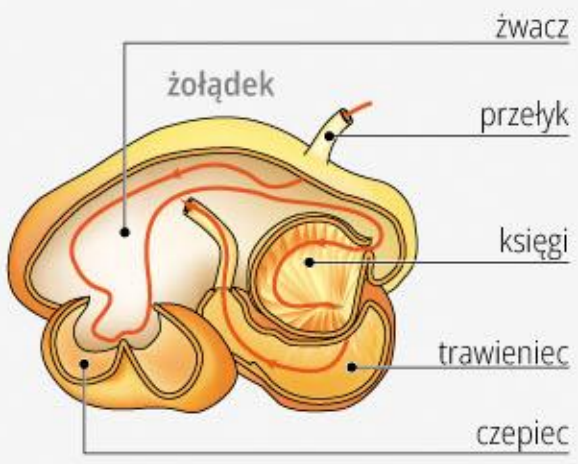


gad

Budowa układu pokarmowego przeżuwaczy

Przeżuwacze odżywiają się wyłącznie pokarmem roślinnym. Obecny u nich wyspecjalizowany układ pokarmowy umożliwia trawienie celulozy z udziałem **symbiotycznych mikroorganizmów**. Żołądek przeżuwaczy składa się z **czterech komór** (żwacz, czepiec, księgi i trawieniec). W żwaczu znajduje się ogromna liczba bakterii i pierwotniaków, które przeprowadzają proces **fermentacji** pobranego pokarmu. Rozłożona częściowo masa pokarmowa, podatna na dalsze trawienie, jest zwracana do jamy gębowej, w czasie przeżuwania ponownie rozdrobniona i znów połykana. W żwaczu zostaje poddana dalszej fermentacji, a następnie przechodzi do kolejnych komór żołądka, gdzie podlega dalszemu trawieniu.

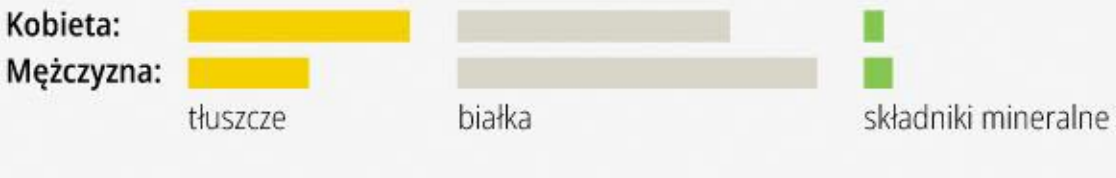




8.3. Rola składników organicznych i nieorganicznych w funkcjonowaniu organizmu

Skład organizmu człowieka

Skład	Kobieta	Mężczyzna
Woda	60	62
Białka	10	17
Tłuszcze	27	17
Składniki mineralne i inne	7	8
Węglowodany	1	2





Podział organicznych składników odżywczych i ich rola w organizmie

O wartości spożywanego pożywienia decyduje zawartość, proporcje i biodostępność niezbędnych dla organizmu **składników odżywczych**: białek, tłuszczów i węglowodanów. Bardzo duże znaczenie ma także odpowiednia podaż wody, witamin i soli mineralnych. Ilość składników koniecznych do zaspokojenia potrzeb żywieniowych u zdrowych ludzi określają **normy żywieniowe**.

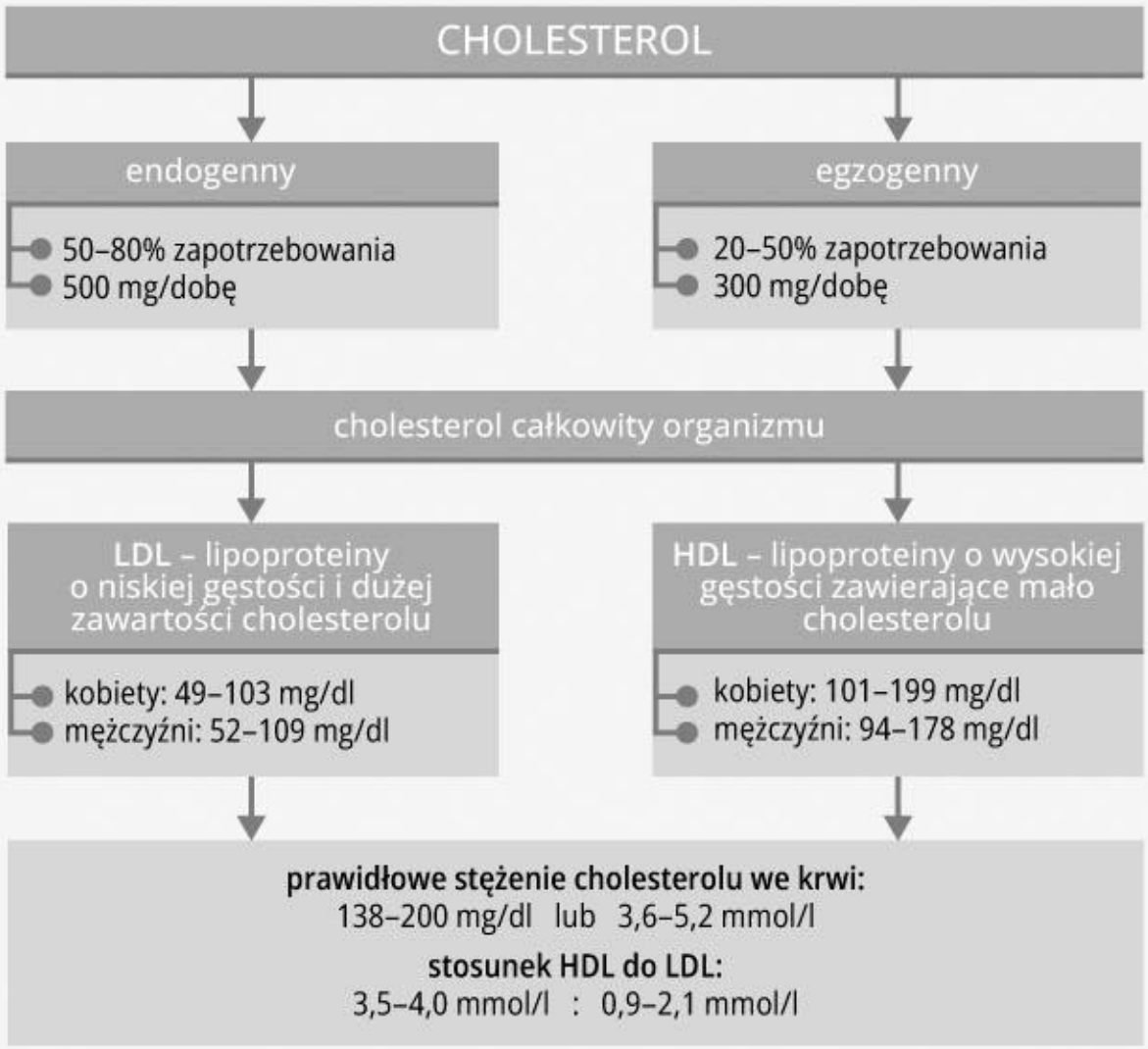
Białka

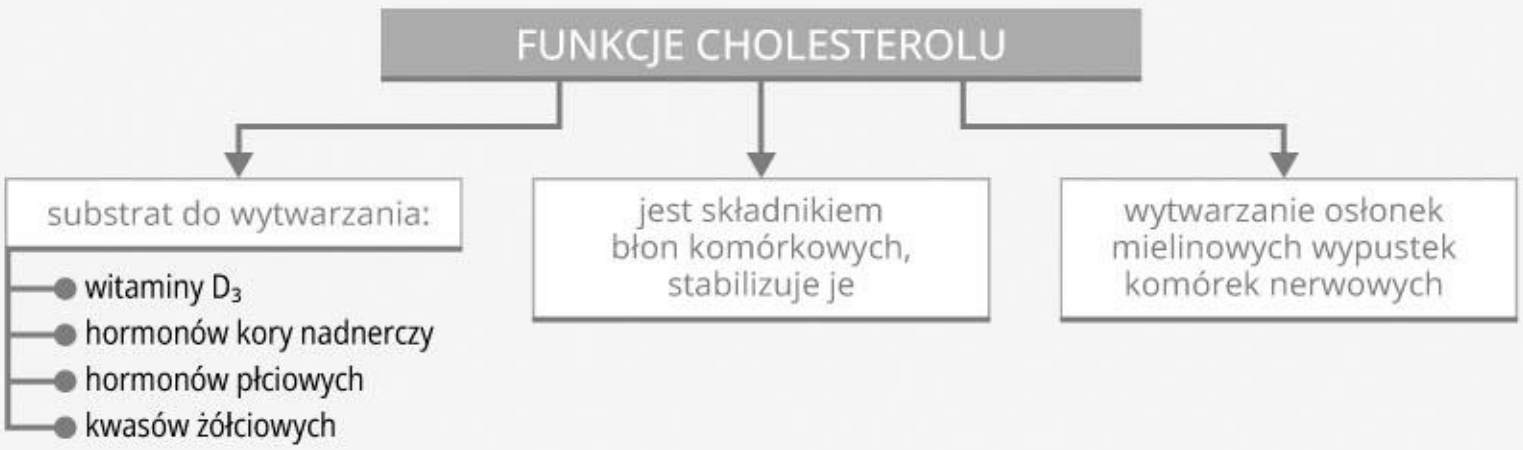
Formy spożywanych białek	
Białka pełnowartościowe	**Białka niepełnowartościowe**
Dostarczają wszystkich aminokwasów egzogennych* we właściwych proporcjach **Źródło**: jajka, mleko i jego przetwory, mięso, ryby, produkty zbożowe, nasiona roślin strączkowych, orzechy	Dostarczają części aminokwasów egzogennych w mniejszych ilościach i w niewłaściwych proporcjach **Źródło**: pokarm roślinny

**Aminokwasy egzogenne*: arginina, fenyloalanina, izoleucyna, leucyna, lizyna, metionina, treonina, tryptofan, walina.

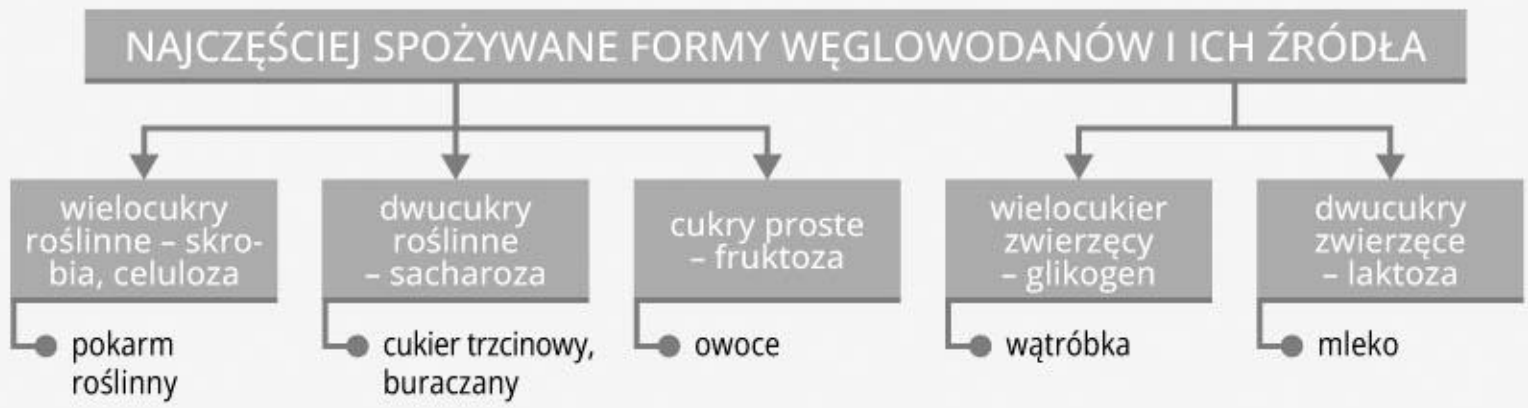
Tłuszcze pokarmowe







Węglowodany



Błonnik pokarmowy

Błonnik pokarmowy	
skład	W skład błonnika pokarmowego wchodzą **węglowodany nieprzyswajalne** (nie ulegają enzymatycznemu trawieniu w jelicie cienkim, a w jelicie grubym podlegają fermentacji przez mikroorganizmy). W skład błonnika wchodzą: **celuloza, pektyny, inulina i skrobia oporna**.
funkcje	• nadaje treści pokarmowej odpowiednią konsystencję – ułatwia jej przesuwanie się i trawienie • reguluje perystaltykę jelit • ułatwia trawienie trójglicerydów • obniża poziom cholesterolu • wiąże i usuwa toksyny oraz metale ciężkie • reguluje mechanizmy związane z odczuwaniem głodu i sytości (daje uczucie sytości) • podczas bakteryjnej fermentacji błonnika w jelicie grubym powstaje kwas masłowy, który zostaje wchłonięty i wykorzystany przez komórki

Organiczny składnik odżywczy i dobowe zapotrzebowanie	Rola w organizmie	Źródła pokarmowe
białka (10–15%; 0,9 g/kg masy ciała)	• jako enzymy biorą udział w większości reakcji metabolicznych komórki • uczestniczą w reakcjach immunologicznych • transportują substancje (np. żelazo, tlen) • dostarczają aminokwasów egzogennych, czyli tych, których organizm nie syntetyzuje • są substratami w syntezie wielu związków (np. hormonów) • są konieczne do prawidłowego wzrostu i rozwoju człowieka, w tym do budowy nowych tkanek (u dzieci) i ich regeneracji	jajka, mleko, przetwory mleczne, mięso, ryby, rośliny strączkowe (fasola, bób, soja)
tłuszcze (25–30%)	• są źródłem energii niezbędnej do funkcjonowania organizmu • warunkują prawidłową pracę mózgu • są składnikami budulcowymi komórek (m.in. błon biologicznych) • są substratami dla substancji biologicznie czynnych (np. hormonów) • stanowią nośnik witamin i ułatwiają ich wchłanianie • wchodzą w skład tkanki tłuszczowej, która pełni funkcję termoizolacyjną i zapasową	oleje roślinne, mleko, przetwory mleczne, mięso, ryby, jadalne, skorupiaki, jaja, orzechy, nasiona, zielone warzywa
węglowodany (50–65%) *błonnik (25 g/doba)	• stanowią podstawowe źródło energii dla większości komórek – głównie komórek nerwowych i erytrocytów • pełnią funkcję zapasową (glikogen jest formą zapasową glukozy) • cukry proste są składnikami makrocząsteczek komórkowych (RNA, DNA, ATP) • są składnikami błonnika pokarmowego, który reguluje pracę jelit, obniża poziom cholesterolu i oczyszcza organizm	przetwory zbożowe, pieczywo, produkty skrobiowe (ziemniaki, kasze, ryż), owoce, orzechy, nasiona strączkowe, mleko, przetwory mleczne, soki, cukier, miód

Witaminy

Witaminy to organiczne, egzogenne dla człowieka związki o zróżnicowanej budowie chemicznej oraz funkcjach. Są niezbędne w niewielkich ilościach do właściwego wzrostu i rozwoju człowieka. Ich brak (**awitaminoza**), niedobór (**hipowitaminoza**) lub nadmiar (**hiperwitaminoza**) może prowadzić do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu. Witaminy dzielimy na rozpuszczalne w wodzie i rozpuszczalne w tłuszczach.

Charakterystyka witamin rozpuszczalnych w tłuszczach

Witamina i dobowe zapotrzebowanie*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru i nadmiaru
A (retinol) 800 µg	• niezbędna w procesie widzenia • warunkuje prawidłowy wzrost i rozwój kości • warunkuje prawidłowy stan skóry	• tran • wątroba • masło • mleko • owoce i warzywa	Niedobór: • sucha skóra • rogowaciejący naskórek • kurza ślepota • zahamowanie wzrostu • infekcje Nadmiar: • przebarwienia skóry • wypadanie włosów • powiększenie wątroby
D (kalcyferol) 5 µg	• warunkuje wchłanianie wapnia i fosforu z jelit • wzbogaca zęby i kości w sole wapnia	• tran • wątroba • masło • mleko • jaja • drożdże • powstaje w skórze pod wpływem promieniowania UV	Niedobór: • wypadanie zębów • osłabienie mięśni • rozmiękczenie kości • krzywica u dzieci Nadmiar: • nadmierne odkładanie wapnia w ścianach naczyń krwionośnych • depresja
E (tokoferol) 12 mg	• chroni przed chorobami sercowo-naczyniowymi, nowotworami, schorzeniami neurodegeneracyjnymi • antyoksydant, który przeciwdziała utlenianiu lipidów błonowych i witamin	• oleje roślinne • orzechy • nasiona • kiełki pszenicy • warzywa i owoce	Niedobór: • plamy starcze i zły stan skóry Nadmiar: • brak
K (filochinon) 75 µg	• bierze udział w procesie krzepnięcia krwi oraz w przemianach kostnych	• ciemnozielone warzywa • wątroba • syntetyzowana przez bakterie jelitowe	Niedobór: • zaburzenia pracy jelit • zaburzenia krzepnięcia krwi • utrudnione gojenie się ran Nadmiar: • niedokrwistość i podwyższony poziom bilirubiny we krwi

* Zapotrzebowanie organizmu na witaminy różni się dla poszczególnych grup wiekowych i jest uzależnione od płci, stopnia aktywności fizycznej oraz stanu fizjologicznego.

Charakterystyka witamin rozpuszczalnych w wodzie

Witamina i dobowe zapotrzebowanie*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
B_1 (tiamina) 1,1 mg	• warunkuje prawidłową pracę układu nerwowego i pokarmowego • wpływa na metabolizm węglowodanów • bierze udział w utlenianiu komórkowym (jako składnik enzymów)	• pełne ziarna • drożdże • wątroba • pełnoziarniste pieczywo	• pobudliwość nerwowa • choroba beri-beri (drżenie i osłabienie mięśni, niewydolność układu krążenia) • brak apetytu • apatia

Witamina i dobowe zapotrzebowanie*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
B_2 (ryboflawina) 1,4 mg	• składnik enzymów • bierze udział w metabolizmie węglowodanów i tłuszczów • niezbędna do wzrostu organizmu i produkcji krwinek czerwonych	• mleko • przetwory mleczne • mięso • ryby • wątroba • pełne ziarna • warzywa	• pęknięcia kącików ust • zaczerwienie oczu • wrażliwość na światło • brak koncentracji
B_6 (pirydoksyna) 1,4 mg	• uczestniczy w przemianie aminokwasów • stymuluje zaopatrywanie komórek nerwowych w glukozę • warunkuje prawidłową syntezę przeciwciał i erytrocytów	• drożdże • wątroba • warzywa • owoce • rośliny strączkowe	• zmęczenie • stany depresyjne i lękowe • matowa skóra • rozdrażnienie
kwas foliowy 200 µg	• niezbędny w syntezie kwasów nukleinowych • warunkuje prawidłowy rozwój układu nerwowego u płodu • stymuluje pracę układu odpornościowego	• warzywa liściaste • wątroba • drożdże • syntetyzowany w jelitach przez bakterie	• anemia • wady wrodzone płodu (wady cewy nerwowej) • poronienia
B_{12} (kobalamina) 2,5 µg	• uczestniczy w przemianach białek, tłuszczów, cukrów • bierze udział w syntezie białych i czerwonych krwinek	• wątroba • żółtko jaja • kiełki • ryby • syntetyzowana przez bakterie jelitowe	• anemia złośliwa • zaburzenia na tle nerwowym
PP (niacyna) 16 mg	• obniża poziom cholesterolu • rozszerza naczynia krwionośne • jest składnikiem enzymów	• mięso • wątroba • ryby • warzywa liściaste • ziemniaki	• pelagra (zmiany zapalne skóry, zmęczenie, osłabienie mięśni)
C (kwas askorbinowy) 80 mg	• stymuluje układ odpornościowy • niezbędna do syntezy kolagenu • poprawia wchłanianie żelaza • wzmacnia zęby i dziąsła	• świeże i kiszone owoce oraz warzywa (m.in. dzika róża, papryka, kiwi, cytrusy)	• krwawienie z dziąseł • kruchość naczyń krwionośnych • obniżenie odporności • szkorbut

Woda i sole mineralne

Woda stanowi ok. 60% masy ciała człowieka. Najwięcej wody w organizmie znajduje się w płynie mózgowo-rdzeniowym, szpiku, osoczu krwi i w mózgu. Źródłem wody dla organizmu są pokarmy (m.in. warzywa i owoce) oraz napoje.

Najważniejsze **funkcje wody** to:

– utrzymanie stałej temperatury ciała,

– prawidłowy przebieg procesów metabolicznych,

– prawidłowy proces trawienia i wchłaniania składników odżywczych,

– zapewnienie skutecznego wydalania produktów przemiany materii i toksyn,

– regulacja gospodarki kwasowo-zasadowej organizmu.

Podział składników mineralnych

Składniki mineralne		
Makroelementy	**Mikroelementy**	**Ultraelementy**
Stanowią powyżej 0,01% masy ciała. np. węgiel, tlen, wodór, azot, siarka	Stanowią poniżej 0,01% masy ciała. np. żelazo, cynk, jod	Są to pierwiastki śladowe. np. złoto, selen

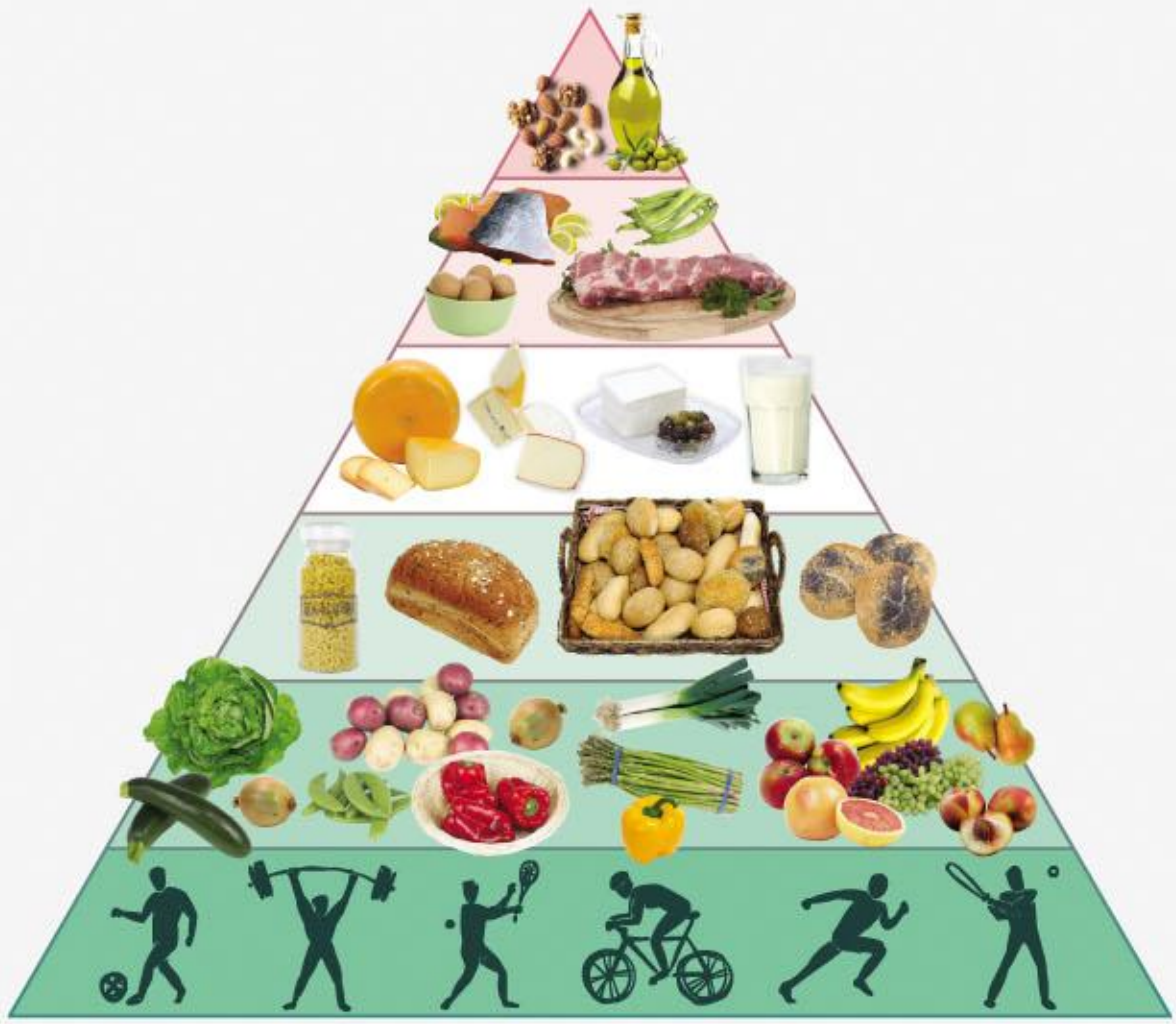
Znacznie i źródła składników mineralnych w organizmie

	Pierwiastek	Rola w organizmie	Skutki niedoboru	Główne źródła
Makroelementy	węgiel wodór tlen	podstawowe elementy związków organicznych składające się na budowę organizmu żywego	śmierć organizmu	wszystkie produkty pokarmowe
	azot	element budulcowy aminokwasów, białek, kwasów nukleinowych, witamin	obniżenie masy ciała, ograniczenie wzrostu	pokarmy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego
	wapń	składnik zębów, kości, płynów ustrojowych; bierze udział w skurczu mięśni i procesach krzepnięcia krwi	łamliwość kości, krzywica, wypadanie zębów, zaburzenia procesu krzepnięcia krwi oraz funkcjonowania układu mięśniowego i nerwowego	mleko i jego przetwory, warzywa liściaste, jaja
	magnez	bierze udział w wytwarzaniu energii przez komórki oraz w trawieniu tłuszczów; składnik zębów i kości; aktywator enzymów; ułatwia przyswajanie witaminy C i wapnia	rozdrażnienie, skurcze mięśni, nieprawidłowa praca serca, migreny	orzechy, gorzka czekolada, banany, rośliny strączkowe
	potas	usprawnia przewodzenie impulsów nerwowych; wpływa na prawidłowe kurczenie się mięśni; wpływa na ciśnienie osmotyczne płynów wewnątrzustrojowych	zwolnienie reakcji na bodźce, suchość skóry, skurcze mięśni	brokuły, rośliny strączkowe, czekolada, ziemniaki, szpinak, pomidory
	sód	bierze udział w polaryzacji błon komórkowych i przewodnictwie impulsów nerwowych; reguluje ciśnienie płynów pozakomórkowych i gospodarkę wodną organizmów	zaburzenia w przewodzeniu impulsów nerwowych; wzrost ciśnienia krwi, matowienie włosów	sól kuchenna, owoce morza, ryby
	fosfor	składnik zębów, kości, kwasów nukleinowych, ATP	zaburzenia w procesach metabolicznych	mleko i jego przetwory, ziarna zbóż i ryby
	siarka	składnik niektórych aminokwasów i białek; wpływa na właściwe nawilżenie i natłuszczenie skóry	zaburzenia (zahamowanie) wzrostu i równowagi ustrojowej	rośliny strączkowe, orzechy, warzywa, mleko
	chlor	aktywuje enzymy soku żołądkowego; ułatwia uwalnianie O_2 z erytrocytów	zaburzenia procesów oddechowych i trawiennych	sól kuchenna, sery

Pierwiastek		Rola w organizmie	Skutki niedoboru	Główne źródła
Mikroelementy	żelazo	składnik hemoglobiny i mioglobiny oraz wielu enzymów	anemia, zaburzenie wchłaniania witamin z grupy B, arytmia serca	wątroba, żółtko jaja, ciemne pieczywo, rośliny strączkowe, orzechy
	cynk	niezbędny w funkcjonowaniu układu odpornościowego, do podziału i wzrostu komórek w gojeniu się ran; odpowiada za ostrość smaku i słuchu, bierze udział w utlenianiu i syntezie tłuszczów	łamliwość włosów, paznokci, powolne gojenie się ran, choroby nowotworowe	wątroba, owoce morza, ziarna zbóż, orzechy
	jod	składnik hormonów tarczycy; niezbędny do prawidłowej przemiany materii	powiększenie tarczycy, niedorozwój umysłowy	sód jodowana, ryby morskie
	fluor	składnik zębów i kości	próchnica zębów	wątroba, ryby, soja

Zasady zdrowego żywienia

Zrównoważona dieta polega na dostarczeniu organizmowi w ciągu doby niezbędnych związków: białek, tłuszczów, węglowodanów, witamin, soli mineralnych i wody we właściwych proporcjach. Ideę zrównoważonego żywienia przedstawia **piramida zdrowego żywienia**.



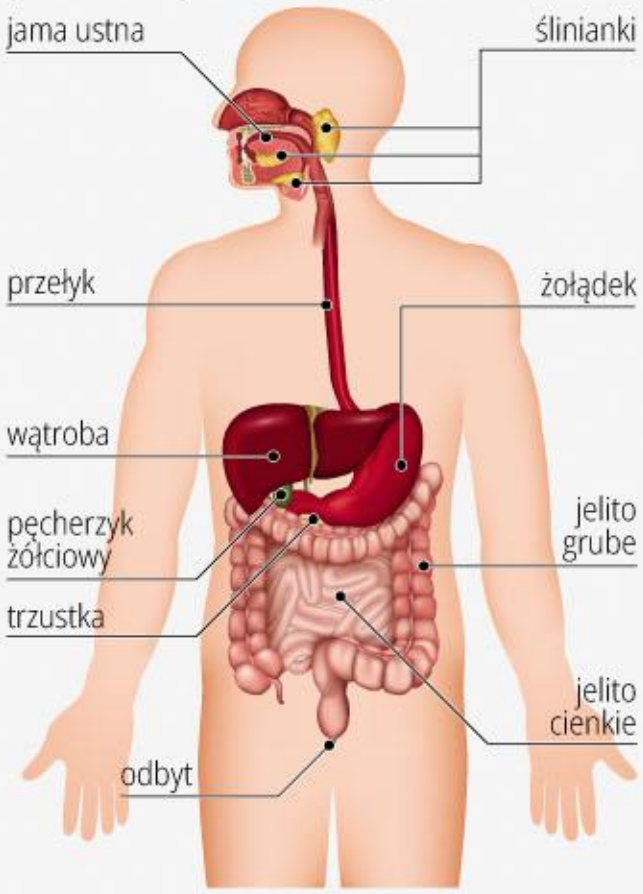
Zasady zrównoważonego żywienia przedstawione za pomocą **piramidy zdrowego żywienia**:

- spożywanie regularnych posiłków;
- dieta bogata w warzywa i owoce, produkty zbożowe, pełnoziarniste (źródło witamin, soli mineralnych, błonnika);
- dieta powinna zawierać mleko i jego przetwory (źródło białka, wapnia, witamin);
- dieta powinna uwzględniać ryby, nasiona roślin strączkowych, jajka, chude mięso (źródło pełnowartościowego białka, witamin i niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych NNKT);
- ograniczenie spożycia produktów przetworzonych, tłuszczów zwierzęcych, cukru, słodyczy, słodkich napojów, soli i słonych przekąsek;
- dieta powinna być uzupełniana odpowiednią ilością wody oraz aktywnością fizyczną.

8.4. Budowa i funkcje układu pokarmowego człowieka

Układ pokarmowy tworzą elementy przewodu pokarmowego oraz towarzyszące mu narządy pomocnicze, które umożliwiają podbieranie, rozdrabnianie, trawienie i wchłanianie substancji odżywczych z pokarmu.

Budowa i funkcje odcinków przewodu pokarmowego



Odcinek przewodu pokarmowego	Budowa	Rola
jama ustna	Pierwszy odcinek przewodu pokarmowego, ograniczony wargami, podniebieniem i policzkami. Na dnie jamy ustnej znajduje się **język**, na którego powierzchni są zlokalizowane brodawki z kubkami smakowymi. W szczęce i żuchwie osadzone są **zęby**. Do jamy ustnej uchodzą przewody gruczołów ślinowych (**ślinianek**).	Wstępna obróbka mechaniczna pokarmu (żucie, rozdrabnianie). Wstępne trawienie węglowodanów.
gardło	Wspólna, licząca ok. 12 cm część układów pokarmowego i oddechowego. Gardło jest zbudowane z mięśni poprzecznie prążkowanych.	Przełykanie pokarmu. Zabezpieczanie przed dostaniem się pokarmu do tchawicy.
przełyk	Rura o długości ok. 25 cm. Przełyk jest zbudowany z mięśni gładkich i pokryty podłużnymi fałdami śluzówki. Dolna jego część jest oddzielona od żołądka za pomocą mięśnia – zwieracza przełyku, który zapobiega cofaniu się pokarmu z żołądka.	Przesuwanie pokarmu do żołądka. Zabezpieczenie przed cofaniem się pokarmu z żołądka.
żołądek	Rozszerzona część przewodu pokarmowego o pojemności ok. 1,5 l (u dorosłych). Zbudowany z kilku części: dna, trzonu i odźwiernika. Błona wyścielająca żołądek jest silnie pofałdowana – zawiera gruczoły żołądkowe wydzielające sok żołądkowy, komórki wydzielnicze uwalniające do krwi gastrynę oraz komórki śluzowe wydzielające śluz i wodorowęglany.	Okresowe przetrzymywanie pokarmu. Obróbka mechaniczna i trawienie pokarmu (głównie białek). Neutralizacja drobnoustrojów zawartych w pokarmie.

Odcinek przewodu pokarmowego	Budowa	Rola
jelito cienkie	Ma długość ok. 3 m i składa się z trzech części: dwunastnicy, jelita czczego i jelita krętego. Do dwunastnicy uchodzą przewody trzustkowe i wątrobowe. Na powierzchni błony śluzowej jelita znajdują się wypustki – **kosmki jelitowe** pokryte drobniejszymi mikrokosmkami, które zwiększają powierzchnię wchłaniania substancji odżywczych. W błonie śluzowej znajdują się komórki kubkowe (wydzielające śluz) oraz gruczoły jelitowe (wydzielające sok jelitowy).	Przesuwanie treści pokarmowej dzięki ruchom perystaltycznym. Wydzielanie soku jelitowego. Enzymatyczne trawienie węglowodanów, białek, tłuszczów. Wchłanianie substancji odżywczych. Wydzielanie hormonów.
jelito grube	Ma ok. 1,5 m długości i składa się z kątnicy (miejsca ujścia wyrostka robaczkowego), okrężnicy i esicy zakończonej odbytnicą.	Wchłanianie wody, soli mineralnych i niektórych witamin. Formowanie i oddawanie kału. Tworzenie środowiska życia bakterii jelitowych (mikrobiomu), który przeprowadza m.in. fermentację błonnika.

Zróżnicowanie budowy błony śluzowej w obrębie odcinków przewodu pokarmowego

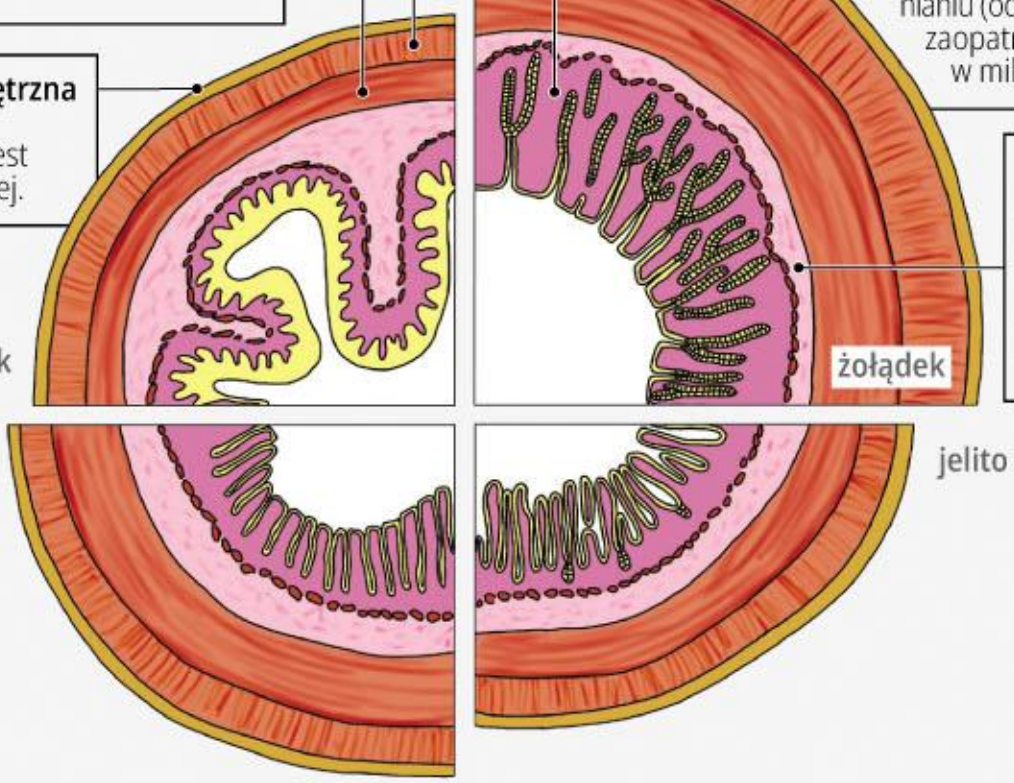
Błona mięśniowa zbudowana jest głównie z tkanki mięśniowej gładkiej, która, kurcząc się, wywołuje ruchy perystaltyczne. W jamie ustnej (język, podniebienie), gardle, górnej części przełyku i końcowym odcinku odbytnicy błona mięśniowa zbudowana jest z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej szkieletowej.

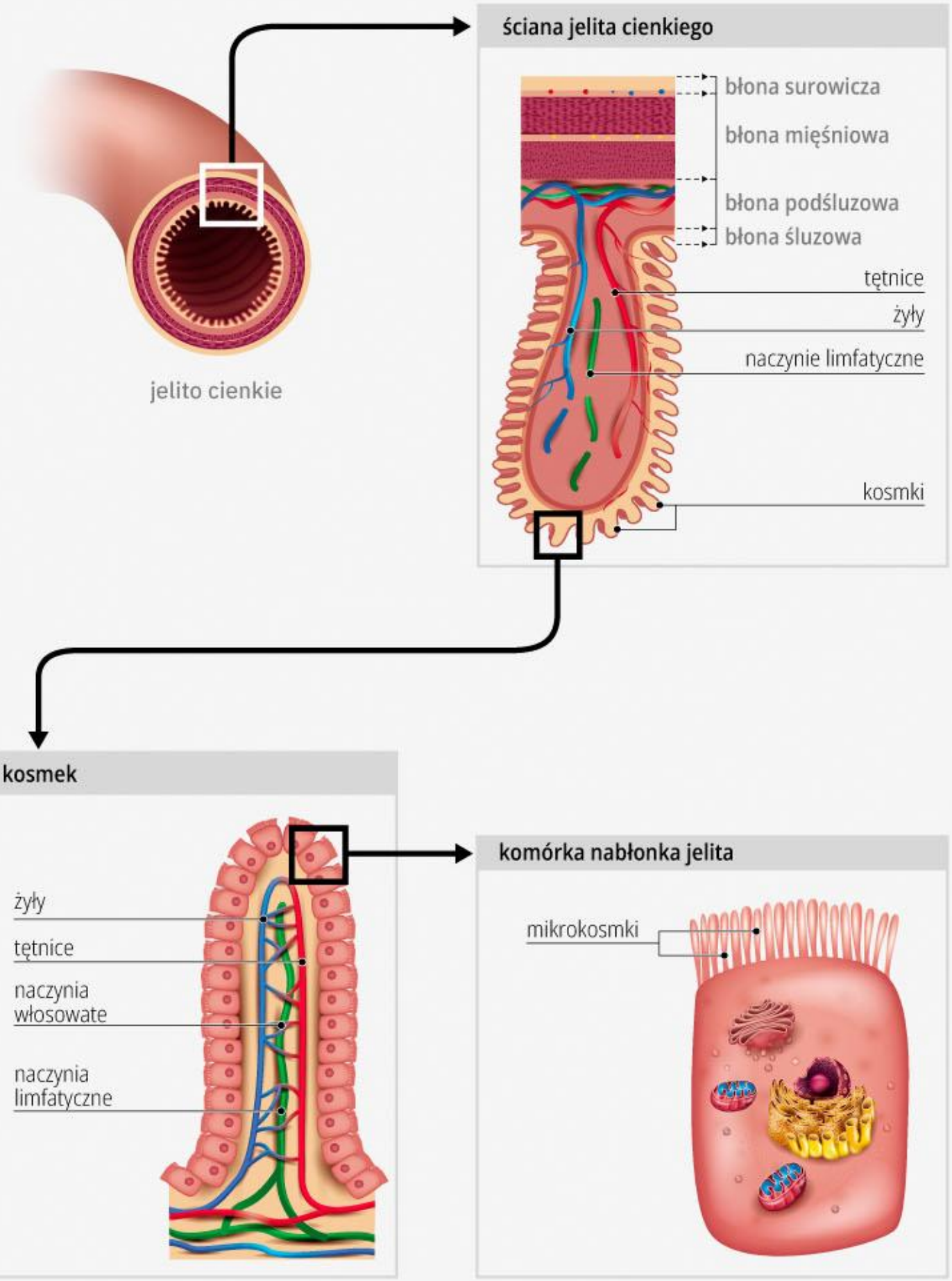
Błona zewnętrzna (surowicza) zbudowana jest z tkanki łącznej.

Błona śluzowa przykryta jest nabłonkiem, którego komórki wydzielają śluz. W zależności od odcinka przewodu pokarmowego nabłonek może być:

- wielowarstwowy płaski, odporny na urazy mechaniczne (jama ustna, gardło, przełyk, odbytnica);
- jednowarstwowy walcowaty, biorący udział w wydzielaniu i wchłanianiu (od żołądka do odbytnicy), zaopatrzony w jelicie cienkim w mikrokosmki.

Podśluzówka zawiera gęstą sieć naczyń włosowatych krwionośnych i limfatycznych, skupienia tkanki chłonnej oraz włókna nerwowe.

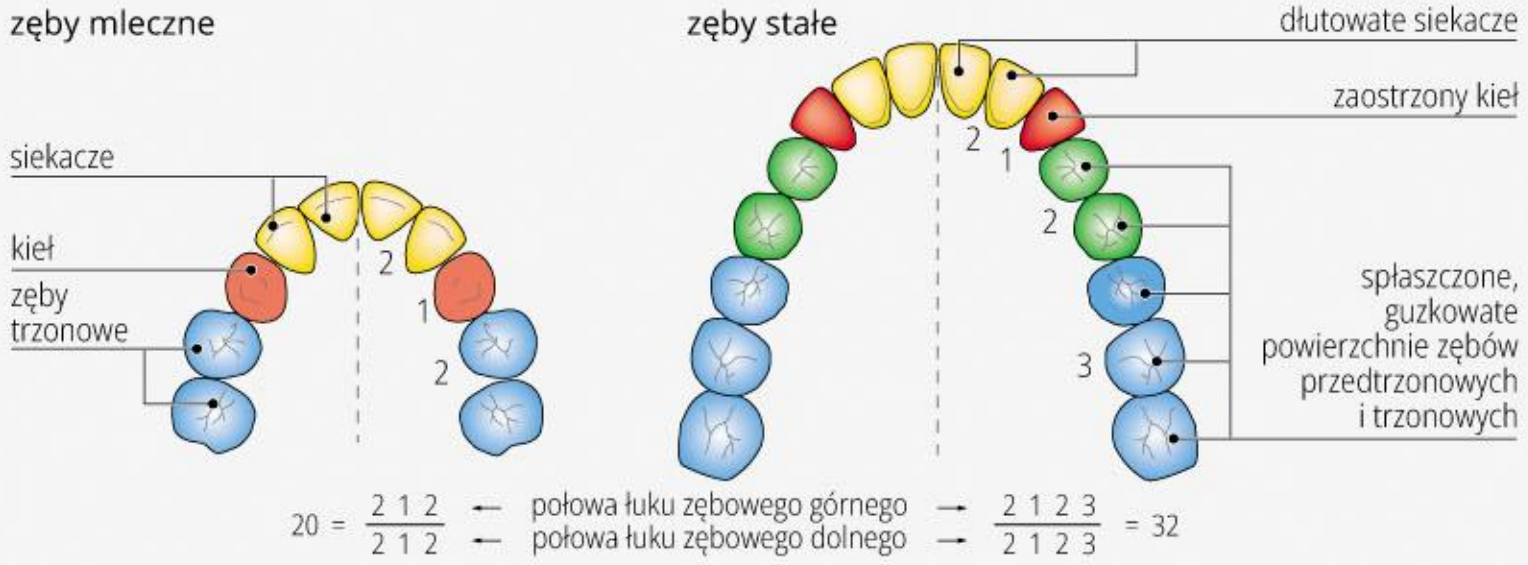


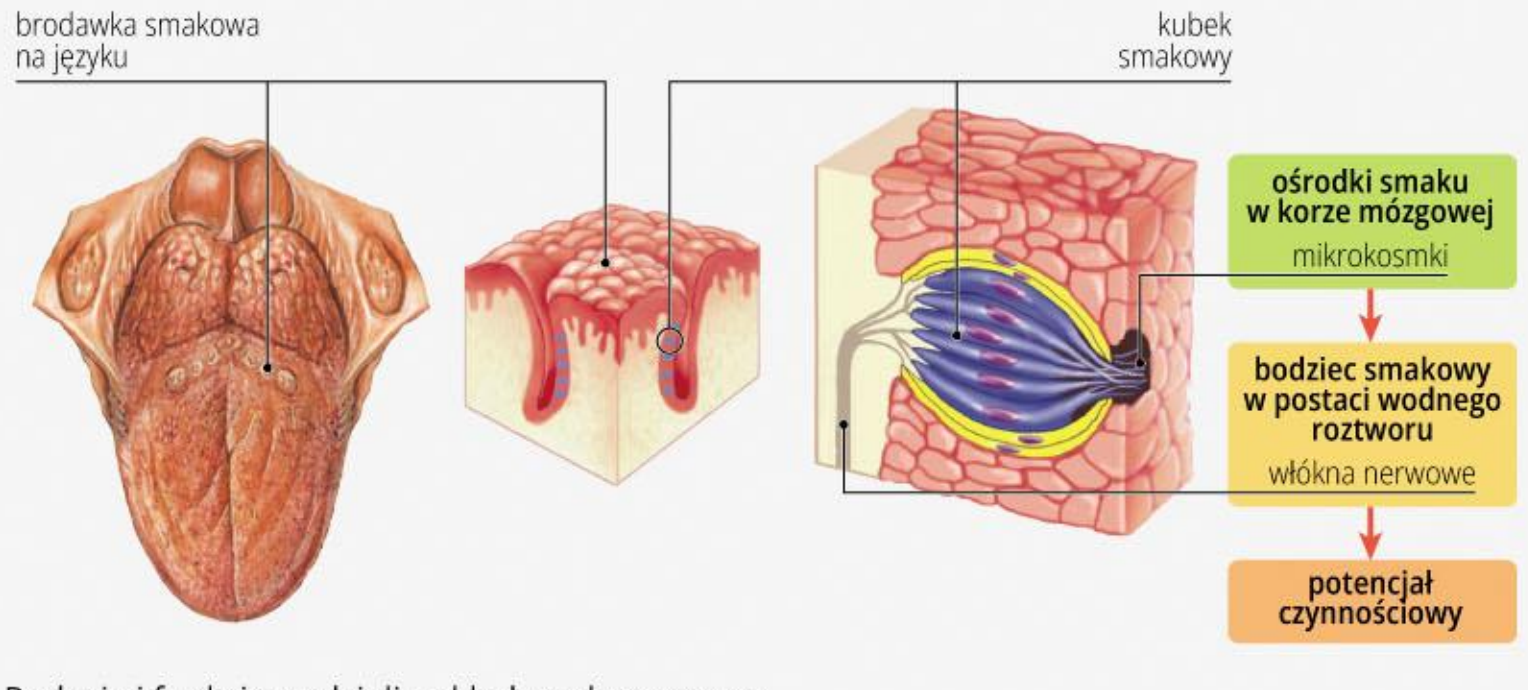


Struktury pomocnicze przewodu pokarmowego

Zęby

U człowieka zęby osadzone są w zębodołach w szczęce i w żuchwie. Człowiek ma dwa komplety zębów: **mleczne** (tymczasowe) i **trwałe** (stałe). Zęby mleczne (jest ich 20) pojawiają się ok. 6. miesiąca życia. Około 6. roku życia zęby mleczne zaczynają być zastępowane przez zęby stałe (32). Zęby są zróżnicowane pod względem rozmiaru, kształtu oraz funkcji. Dzielą się na **siekacze** i **kły** (rozdrabnianie pokarmu) oraz **trzonowe** i **przedtrzonowe** (żucie i rozcieranie). Ząb jest zbudowany z korony, szyjki i korzenia. W komorze zęba mieszczą się naczynia krwionośne i nerwy.





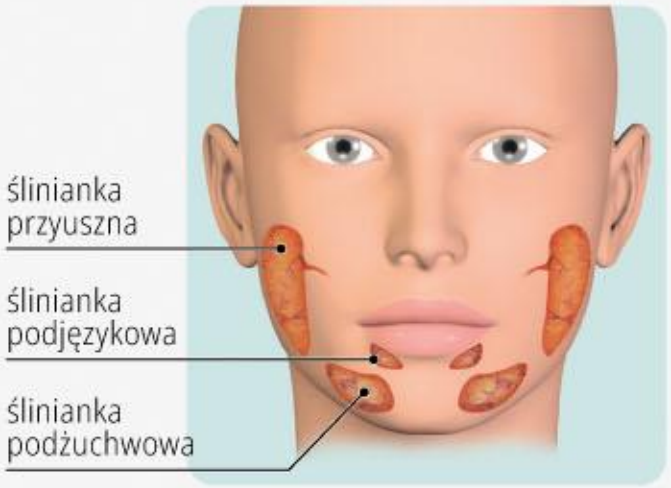
Rodzaje i funkcje wydzielin układu pokarmowego

Wydzielina	Skład	Funkcje
ślina	Roztwór wodny o pH 5,8–7,4. Zawiera sole mineralne, enzymy (amylazę ślinową), śluz, lizozym, przeciwciała.	Trawienie węglowodanów (amylaza rozkłada skrobię do maltozy). Ochrona przed drobnoustrojami. Nadanie kęsom pokarmu poślizgu i ułatwianie jego przesuwania.
sok żołądkowy	Roztwór wodny o pH 1–2. Zawiera wodę, sole mineralne, śluz, enzymy trawienne, kwas solny.	Mieszanie i przesuwanie pokarmu do dalszych części przewodu pokarmowego. Zakwaszanie pokarmu, hamowanie aktywności amylazy ślinowej i zbijanie drobnoustrojów połkniętych wraz z jedzeniem. Pierwszy etap trawienia białek (pepsyna) oraz części trójglicerydów (lipaza żołądkowa). Zawiera białko konieczne do wchłaniania witaminy B_{12} w jelicie.
sok trzustkowy	Roztwór wodny zawierający enzymy: amylazy, lipazy, proteazy, nukleazy, wodorowęglan sodu.	Trawienie składników odżywczych przez enzymy. Zmiana odczynu treści pokarmowej na zasadowy, co stwarza optymalne środowisko dla aktywności enzymów.
żółć	Sole kwasów żółciowych, woda, sole mineralne, śluz, barwniki żółciowe (np. bilirubina), cholesterol.	Emulgacja tłuszczów polegająca na ich rozdrobnieniu, zwiększaniu rozpuszczalności i ułatwieniu kontaktu z enzymami (lipazami).
sok jelitowy	Roztwór wodny o pH ok. 8,0. Zawiera wodę, enzymy, sole mineralne.	Ostateczne trawienie składników pokarmowych.

Dodatkowe narządy układu pokarmowego

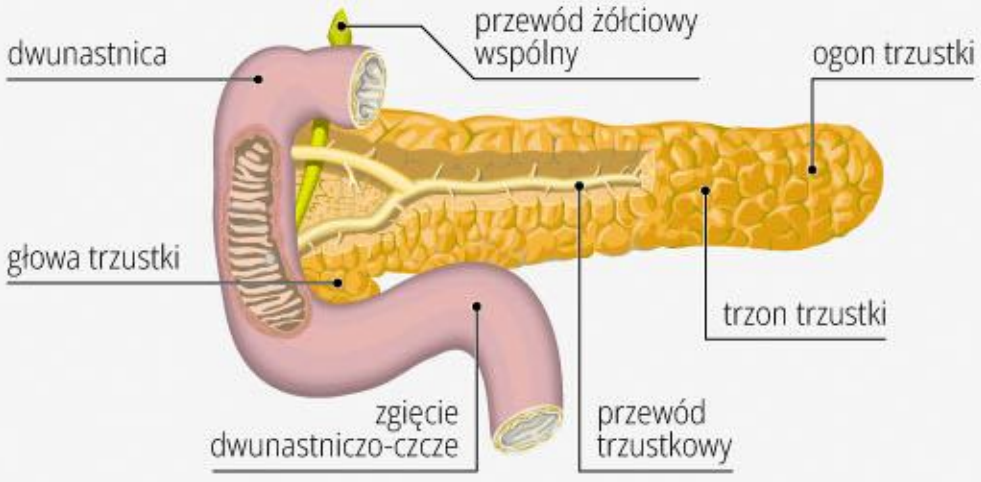
Ślinianki

Gruczoły ślinowe (ślinianki) to parzyste gruczoły, które wydzielają **ślinę**. Ich przewody mają ujście w jamie ustnej. Wyróżniamy trzy pary ślinianek: przyuszne, podżuchwowe, podjęzykowe.



Trzustka

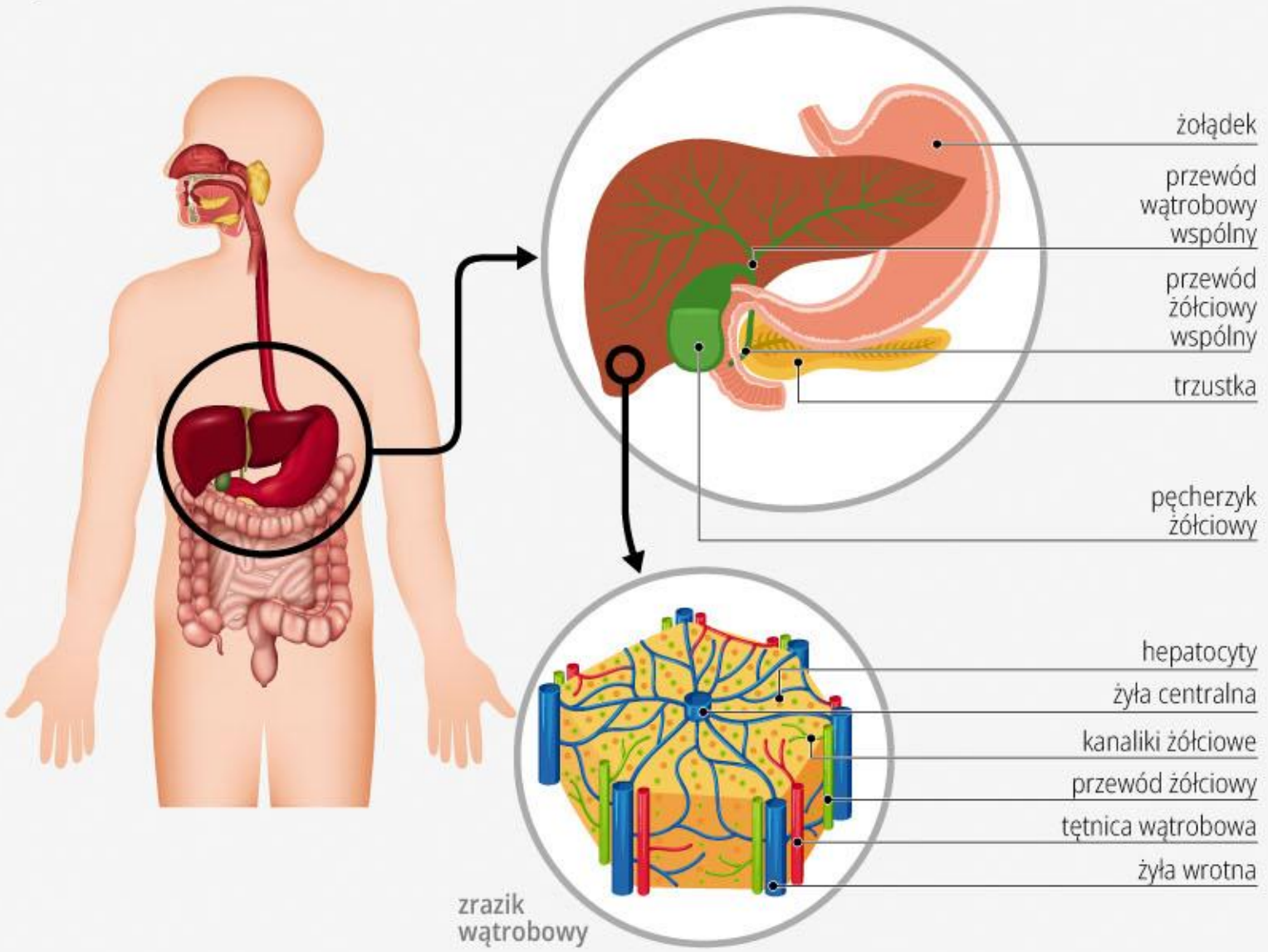
Trzustka (ok. 60 g i 12 cm długości) składa się głowy, trzonu i ogona. W budowie anatomicznej trzustki wyróżniamy część zbudowaną z płatów zwanych **pęcherzykami trzustkowymi** (ich funkcją jest wydzielanie enzymów trawiennych) oraz część utworzoną z wysp trzustkowych (komórki wysp wytwarzają i wydzielają hormony).



Funkcje trzustki:

- wydzielanie enzymów trawiących białka (proteazy), węglowodany (amylazy), tłuszcze (lipazy), kwasy nukleinowe (nukleazy);
- wydzielanie wodorowęglanów, które alkalizują kwaśną treść przechodzącą z żołądka do jelita;
- wydzielanie hormonów: insuliny i glukagonu.

Wątroba



Wątroba jest największym gruczołem w organizmie, zbudowanym z czterech płatów, które są złożone ze zrazików. Zraziki są utworzone z hepatocytów, które wydzielają żółć. Żółć zbiera się w kanalikach żółciowych i przewodem żółciowym trafia do dwunastnicy.

Funkcje wątroby:
- wydzielanie żółci i emulgacja tłuszczów;
- utrzymanie właściwego stężenia glukozy we krwi poprzez regulację syntezy i rozkładu glikogenu;
- synteza mocznika;
- rozkład erytrocytów;
- odtruwanie organizmu poprzez rozkład substancji niebezpiecznych (np. alkoholu, leków, toksyn);
- termoregulacja – wytwarzanie ciepła;
- magazynowanie substancji, np. glikogenu, witamin, żelaza, miedzi.

Trawienie i wchłanianie w układzie pokarmowym

Trawienie – mechaniczny i chemiczny proces rozkładu pokarmu na proste związki, które mogą przez nabłonek przedostać się do wnętrza organizmu. Trawienie mechaniczne obejmuje procesy pobierania i rozdrabniania pokarmu: żucie, mieszanie, połykanie i przesuwanie. Trawinie chemiczne odbywa się z udziałem enzymów, których aktywność prowadzi do rozkładu złożonych związków organicznych na związki proste, dostępne dla komórek. Węglowodany zostają rozłożone do cukrów prostych, białka – do aminokwasów, a tłuszcze – do glicerolu i kwasów tłuszczowych.

Przebieg trawienia związków organicznych

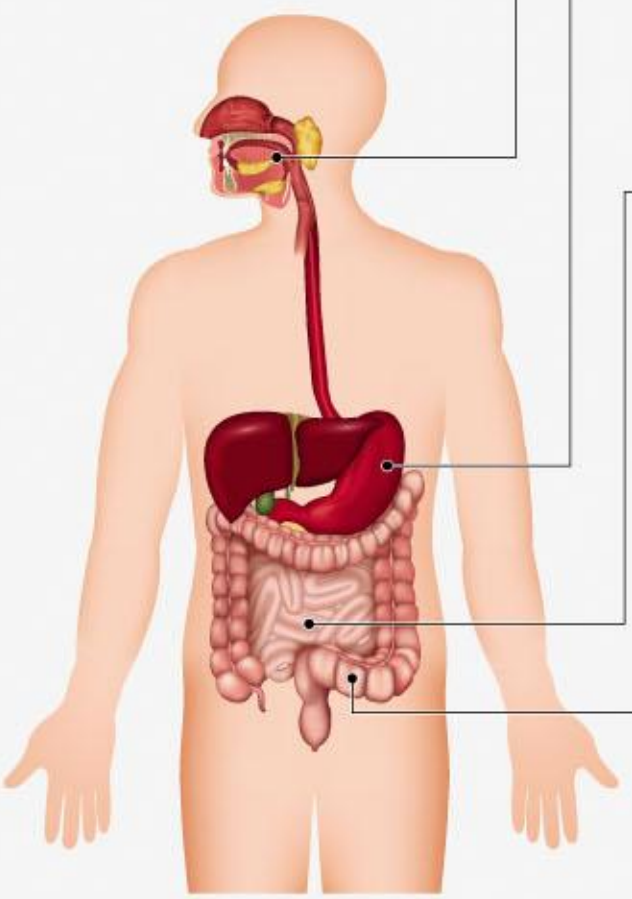
Związki ulegające trawieniu		Miejsce trawienia	Enzymy trawienne	Produkty trawienia
węglowodany	skrobia glikogen	jama ustna	amylaza ślinowa	dekstryny (oligosacharydy) i maltoza
	dekstryny	dwunastnica	amylaza trzustkowa	maltoza
	dekstryny	jelito cienkie	amylaza jelitowa	maltoza
	maltoza	jelito cienkie	disacharydazy (np. maltaza, sacharoza, laktaza)	cukry proste (np. glukoza, galaktoza, fruktoza)
białka	białka (np. kolagen)	żołądek	pepsyna (wydzielana w formie nieaktywnego pepsynogenu) podpuszczka	peptydy
	białka	dwunastnica	trypsyna chymotrypsyna	peptydy, oligopeptydy
	peptydy	jelito cienkie	aminopeptydazy karboksypeptydazy dipeptydazy	aminokwasy
tłuszcze	trójglicerydy	żołądek	lipaza żołądkowa	diglicerydy monoglicerydy
	tłuszcze (fosfolipidy)	dwunastnica	lipaza trzustkowa	glicerol, wolne kwasy tłuszczowe
	tłuszcze	jelito cienkie	lipaza jelitowa	glicerol, wolne kwasy tłuszczowe
kwasy nukleinowe		dwunastnica	nukleazy trzustkowe	nukleotydy
		jelito cienkie	nukleazy jelitowe	nukleotydy, ryboza, deoksyryboza, zasady azotowe, reszta fosforanowa

Wchłanianie i transport produktów trawienia

Wchłanianie polega na przejściu prostych substancji organicznych ze światła jelita cienkiego za pośrednictwem komórek mikrokosmków do krwi. Cukry proste, aminokwasy oraz nukleotydy przechodzą do krwi na drodze dyfuzji, osmozy lub czynnego transportu i są rozprowadzane przez układ krążenia. Wchłanianie kwasów tłuszczowych i glicerydów poprzedza ich połączenie z cholesterolem i białkami w pęcherzyki zwane **chylomikronami**. Chylomikrony są wchłanianie do naczyń limfatycznych i przez układ limfatyczny trafiają do krwi.

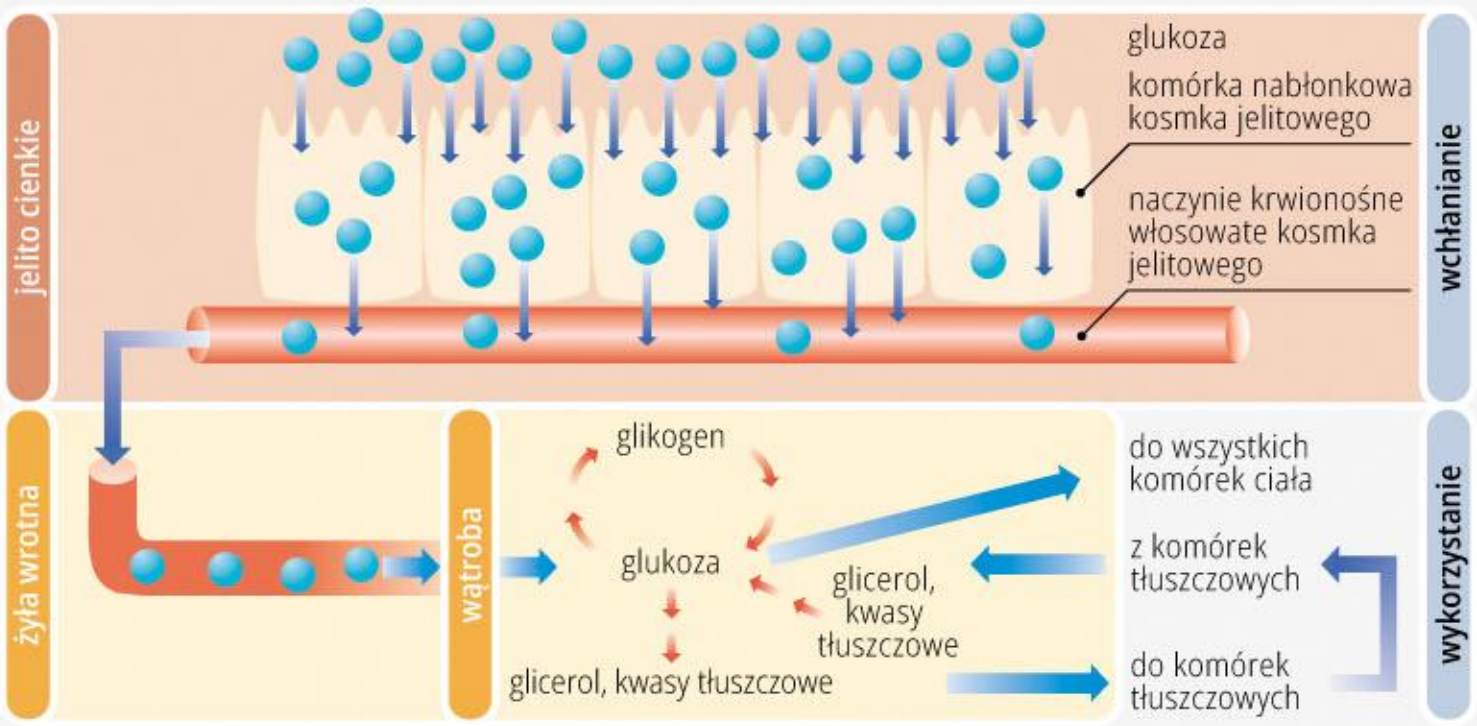
Jama ustna i przełyk	
Wydzielanie:	ślina (gruczoły ślinowe)
Trawienie:	węglowodany
Wchłanianie:	–

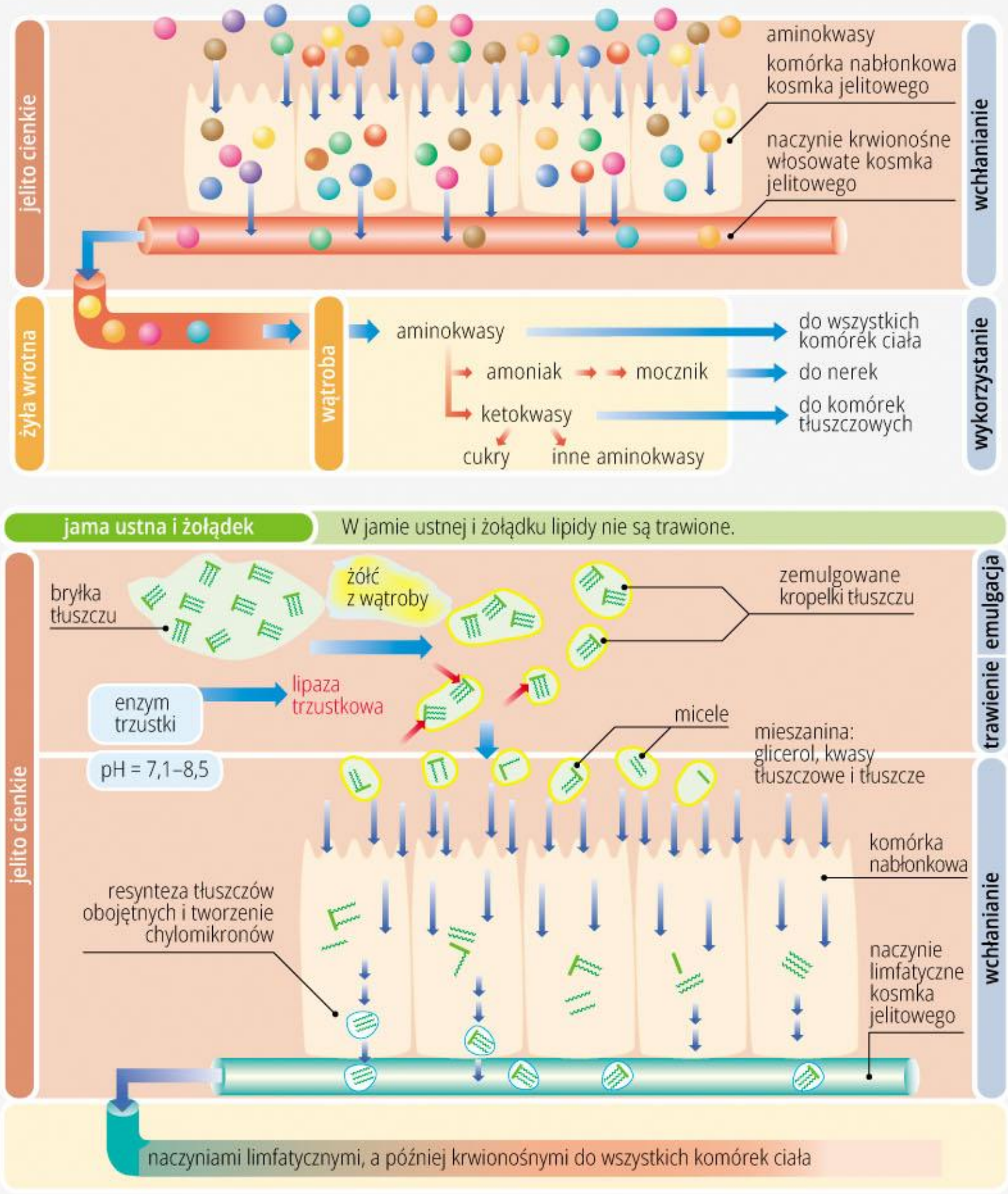
Żołądek	
Wydzielanie:	HCl (komórki okładzinowe), pepsynogen i lipaza żołądkowa (komórki główne), śluz i wodorowęglany, gastryna, histamina
Trawienie:	białka, tłuszcze (w minimalnym stopniu)
Wchłanianie:	substancje rozpuszczalne w tłuszczach (np. alkohol i aspiryna)



Jelito cienkie	
Wydzielanie:	enzymy (enterocyty), śluz (komórki kubkowe), hormony, enzymy i wodorowęglany (trzustka), żółć (wydzielana przez wątrobę, a magazynowana w pęcherzyku żółciowym)
Trawienie:	białka, węglowodany, tłuszcze, kwasy nukleinowe
Wchłanianie:	aminokwasy, monosacharydy, kwasy tłuszczowe, cholesterol, zasady azotowe, woda, jony, minerały, witaminy

Jelito grube	
Wydzielanie:	śluz (komórki kubkowe)
Trawienie:	–
Wchłanianie:	jony, minerały, witaminy, woda, małe cząsteczki organiczne produkowane przez bakterie jelitowe





Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego

Otyłość

Otyłość to zwiększenie masy ciała w wyniku nadmiernego nagromadzenia tkanki tłuszczowej. Do wyznaczenia prawidłowej masy ciała i oceny stopnia otyłości stosuje się **wskaźnik BMI** (z ang. *body mass index*). Podłoże otyłości może mieć charakter **endogenny** (np. uszkodzenie ośrodków podwzgórza, uwarunkowania genetyczne) lub **egzogenny** (np. niewłaściwa dieta, brak aktywności fizycznej). Przyrost masy ciała ma miejsce w sytuacji **dodatniego bilansu energetycznego**. Otyłość zwiększa ryzyko wystąpienia wielu **chorób**, m.in. cukrzycy typu II, chorób sercowo-naczyniowych, niektórych nowotworów.

Potrzeby energetyczne organizmu

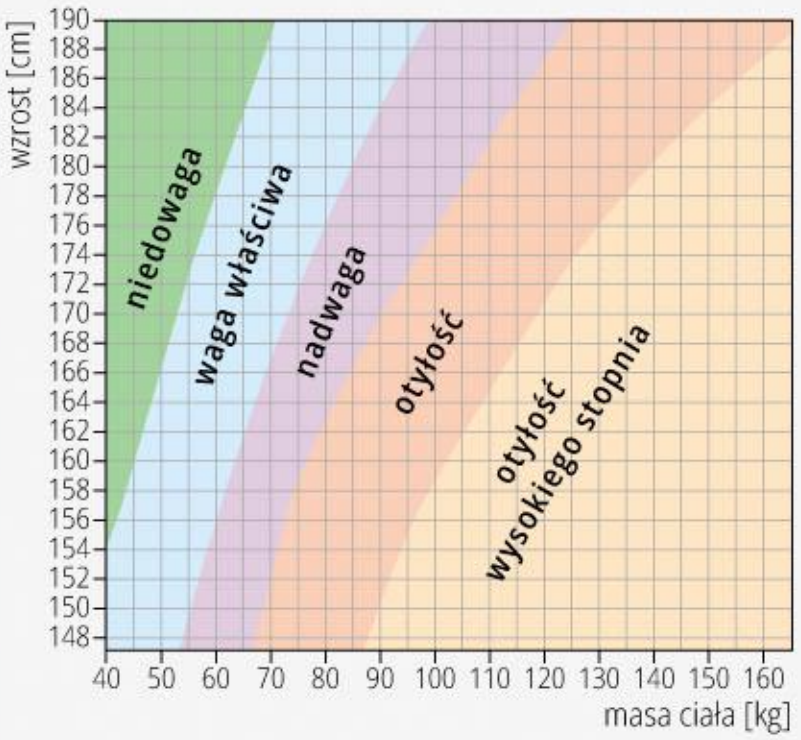
Grupa wiekowa	Zapotrzebowanie energetyczne organizmu człowieka w kcal na dobę	
	Dziewczęta	Chłopcy
1–3 lata	1300	
4–6 lat	1700	
7–9 lat	2100	
10–12 lat	2300	2600
13–15 lat	2600–2800	3000–3300
16–20 lat	2500–2700	3200–3700
Grupa wiekowa	**Kobiety**	**Mężczyźni**
21–60 lat	2100 (praca lekka) – 3200 (praca ciężka)	2400 (praca lekka) – 4500 (praca ciężka)
60–75 lat	2200	2300
powyżej 75 lat	2000	2100

Ocena masy ciała

BMI, wskaźnik masy ciała, obliczamy według wzoru:

$$BMI = \frac{\text{masa ciała w kg}}{[\text{wzrost w metrach}]^2}$$

Wartość BMI	Ryzyko chorób towarzyszących otyłości
< 18,5 niedowaga	małe
18,5–24,9 prawidłowa masa ciała	przeciętne
25–29,9 nadwaga	umiarkowane
30–34,9 otyłość I stopnia	znaczne
35–39,9 otyłość II stopnia	poważne
> 40 otyłość III stopnia	olbrzymie



Zaburzenia odżywiania

Zaburzenie odżywiania	Przyczyny	Objawy	Leczenie
anoreksja	złożone: czynnik psychiczny, genetyczny, społeczny (relacje z otoczeniem), stres, napięcie emocjonalne	brak łaknienia, obsesyjny lęk przed otyłością, utrata masy ciała, zaburzenia hormonalne i metaboliczne	leczenie specjalistyczne, kompleksowe wsparte psychoterapią
bulimia		ataki wzmożonego apetytu, przejadanie się w krótkim czasie, prowokowanie wymiotów, lewatywy	

Choroby układu pokarmowego

Odcinek układu pokarmowego	Choroba	Przyczyna
jama ustna	pleśniawki jamy ustnej	Zakażenie grzybicze nabłonka jamy ustnej pojawia się przy osłabionej odporności, niedożywieniu i antybiotykoterapii.
	opryszczka	Wywołuje ją wirus opryszczki *Herpes simplex*. Stosuje się leczenie objawowe.
	próchnica zębów	Powodują ją bakterie. Objawia się zniszczeniem struktury zęba. Nieleczona może prowadzić do poważnych powikłań.
gardło	zapalenie migdałków	Choroba bakteryjna przenoszona drogą kropelkową.
żołądek	choroba wrzodowa	Uszkodzenie błony śluzowej żołądka i dwunastnicy powstające najczęściej po zakażeniu bakterią *Helicobacter pylori*.
	rak żołądka	To nowotwór złośliwy wywodzący się z nabłonka błony śluzowej żołądka. Występuje częściej u mężczyzn niż u kobiet.
jelita	zapalenie wyrostka robaczkowego	Zapalenie najczęściej jest wywoływane zatrzymaniem się treści pokarmowej w wyrostku, powodującej jego niedrożność.
	zatrucia bakteryjne (salmonelloza, listerioza, zatrucia jadem kiełbasianym)	Zatrucia bakteryjne przyczyniają się do powstania ostrych objawów żołądkowo-jelitowych (biegunki, wymiotów, nudności, gorączki). Występują po spożyciu nieświeżych produktów (nieumytych owoców, lodów) zawierających toksyny bakteryjne.
	choroba Leśniowskiego-Crohna	To przewlekły proces zapalny ściany przewodu pokarmowego. Najczęściej jest zlokalizowany w końcowej części jelita cienkiego i początkowej jelita grubego. Nie ma skutecznej metody leczenia tej choroby.
	celiakia	Jej przyczyną jest nadwrażliwość układu pokarmowego na gluten (białka zbożowe) zawarty w pokarmach. Leczenie polega na stosowaniu diety bezglutenowej.
trzustka	zapalenie trzustki	To przewlekła choroba trzustki prowadząca do zaburzenia jej funkcji. Powikłaniem może być cukrzyca.
	rak trzustki	Ten nowotwór złośliwy ma pochodzenie nabłonkowe. Ryzyko zachorowania na niego wzrasta u palaczy, osób otyłych i chorych na cukrzycę typu II.
wątroba	ostre zapalenie wątroby – wirusowe zapalenie wątroby (WZW)	Dochodzi do niego w drodze zakażenia wirusowego. Prowadzi do uszkodzenia wątroby. Wyróżniamy WZW typu A (zakażenie następuje drogą pokarmową), WZW typu B oraz WZW typu C (zakażenie następuje przez kontakt z zakażoną krwią).
	marskość wątroby	To postępująca degeneracja miąższu wątroby spowodowana działaniem toksyn (np. alkoholu), infekcjami wirusowymi lub chorobami autoimmunizacyjnymi.
	kamica żółciowa	Polega na gromadzeniu się złogów w przewodach żółciowych, co prowadzi do ich zatkania. Wywołuje żółtaczkę mechaniczną i może prowadzić do ostrego zapalenia trzustki.

Profilaktyka chorób układu pokarmowego

Działanie profilaktyczne	Przykłady
higiena	Częste mycie rąk w celu ograniczenia zakażeń pokarmowych (bakteryjnych i wirusowych).
unikanie używek	Ograniczenie picia kawy, eliminacja alkoholu i niepalenie papierosów.
zrównoważone odżywianie się	Regularne i pełnowartościowe posiłki, dieta bogata w warzywa i owoce z ograniczonym spożyciem tłuszczów i pokarmów przetworzonych; picie odpowiedniej ilości wody i zwiększenie aktywności fizycznej; utrzymywanie odpowiedniej wagi.
regularne badania diagnostyczne	Morfologia krwi, badanie aktywności enzymów wątrobowych, badanie moczu i kału; badania ultrasonograficzne (USG) odcinków układu pokarmowego, badania endoskopowe: gastroskopia i kolonoskopia; rezonans magnetyczny, tomografia komputerowa.

8.5. Budowa i funkcjonowanie układu odpornościowego człowieka

Układ odpornościowy (immunologiczny) pełni następujące funkcje:
- zwalcza infekcje wywołane przez drobnoustroje chorobotwórcze;
- usuwa nieprawidłowe komórki, np. nowotworowe;
- odróżnia własne komórki od obcych, przez co bierze udział m.in. w odrzucaniu przeszczepów.

Antygeny

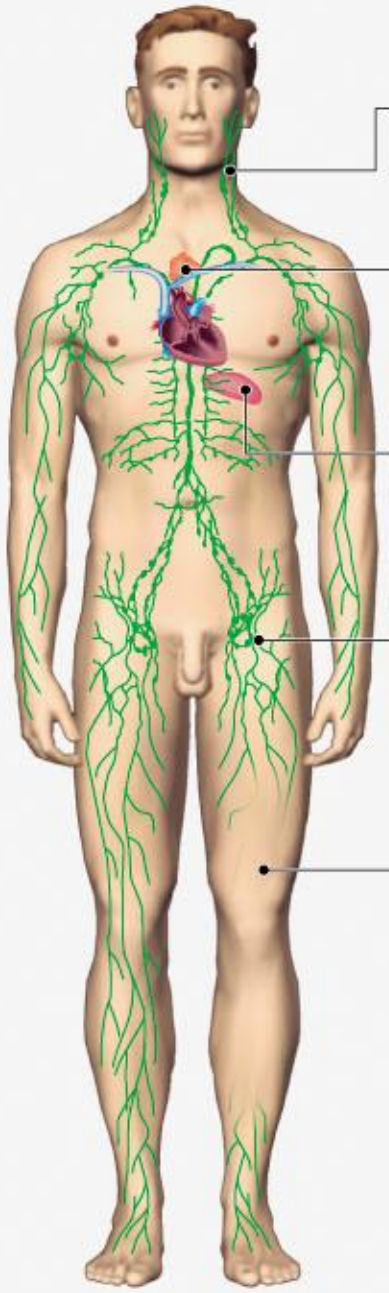
Antygeny to substancje obce, które pobudzają układ odpornościowy do **odpowiedzi immunologicznej**. Antygenami są najczęściej **cząsteczki białek** lub **polisacharydów** występujące na powierzchni drobnoustrojów lub toksyny bakteryjne, wirusowe i grzybowe, które przedostały się do wnętrza organizmu. Antygeny swoiście wiążą się z przeciwciałami.

Odpowiedź immunologiczna – obejmuje procesy rozpoznawania obcych cząstek oraz reakcje prowadzące do ich eliminacji z organizmu.

Skład układu odpornościowego

Układ odpornościowy		
narządy limfatyczne	komórki odpornościowe	substancje odpornościowe

Narządy limfatyczne



Migdałki

– biorą udział w obronie organizmu przed zakażeniami drogą pokarmową i oddechową.

Grasica

– miejsce dojrzewania limfocytów T i unieszkodliwiania wadliwych limfocytów T.

Śledziona

– miejsce wytwarzania limfocytów, uczestniczy w fagocytozie i unieszkodliwianiu zużytych elementów morfotycznych krwi.

Węzły chłonne

– filtracja limfy i zatrzymywanie patogenów; miejsce wytwarzania przeciwciał przez limfocyty B.

Szpik kostny czerwony

– miejsce powstawania limfocytów.

Komórki limfatyczne

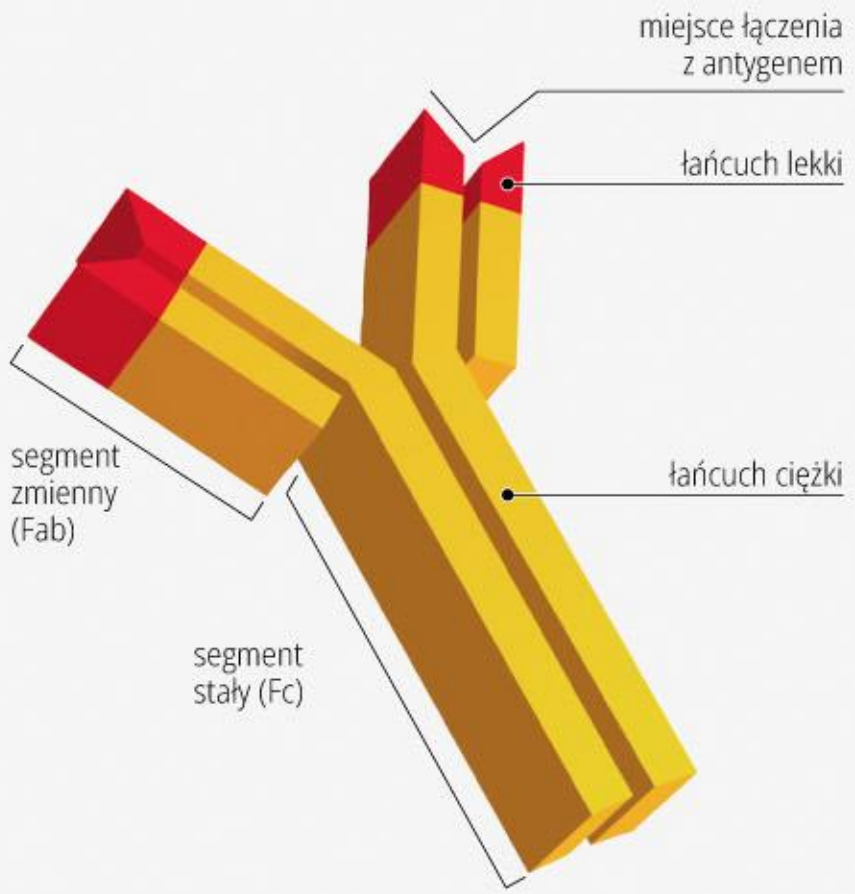
Rodzaj komórek	Funkcja
limfocyty B	Wytwarzają przeciwciała; są komórkami prezentującymi antygen.
limfocyty T	Limfocyty T cytotoksyczne (Tc) rozpoznają antygeny i niszczą patogeny w miejscu infekcji; niszczą komórki nowotworowe. Limfocyty T pomocnicze (Th) regulują (wzmacniają lub osłabiają) odpowiedzi obronne organizmu.
makrofagi	Ich prekursorami są monocyty; komórki fagocytujące, które wędrują w kierunku miejsca infekcji, wchłaniają i trawią drobnoustroje lub ich fragmenty; są komórkami prezentującymi antygen.
granulocyty	Biorą udział w fagocytozie i odczynie zapalnym organizmu (patrz niżej). Do granulocytów należą: • **bazofile** (granulocyty zasadochłonne) – biorą udział w reakcji zapalnej, magazynują histaminę, heparynę i cytokiny; • **eozynofile** (granulocyty kwasochłonne) – odgrywają rolę w zakażeniach pasożytniczych oraz reakcjach alergicznych; są fagocytami; • **neutrofile** (granulocyty obojętnochłonne) – pochłaniają i niszczą bakterie; uwalniają cytokiny.
komórki dendrytyczne	Pobudzają limfocyty poprzez prezentację antygenu. Rozwijają się z komórek prekursorowych w szpiku kostnym oraz z monocytów. Są rozmieszczone we wszystkich tkankach kontaktujących się ze środowiskiem (np. skórze).
komórki NK (z ang. *natural killer*)	Jeden z rodzajów limfocytów; szybko rozpoznają komórki zakażone wirusem i stymulują ich apoptozę, zanim wirus zacznie się rozwijać.

Substancje odpornościowe

Najważniejszymi substancjami odpornościowymi są **przeciwciała**, **cytokiny** i **białka ostrej fazy**. W tej grupie znajdują się także inne związki pomocnicze, np. **defensyny** (peptydy występujące w skórze i ślinie), **lizozym** (enzym antybakteryjny obecny w ślinie i we łzach) czy **układ dopełniacza**.

Przeciwciała

Przeciwciała (**immunoglobuliny**) to białka, które wiążą antygeny i aktywują procesy odpornościowe. Składają się z **czterech łańcuchów** polipeptydowych (dwóch lekkich i dwóch ciężkich). Na ramionach przeciwciała (fragment Fab) znajduje się **miejsce wiązania antygenu**, ściśle do niego dopasowane i warunkujące swoistość **przeciwciał**. Fragment stały przeciwciała (fragment Fc) jest miejscem wiązania do receptorów komórek odpornościowych. Ze względu na budowę i reakcje, w których uczestniczą, wyróżniamy pięć klas przeciwciał.



Do najważniejszych funkcji przeciwciał należą:

- zlepianie i opłaszczanie antygenów,
- inaktywacja toksyn bakteryjnych,
- wiązanie antygenów przeznaczonych do fagocytozy przez neutrofile i makrofagi,
- aktywacja białek odpornościowych,
- aktywacja limfocytów B.

Klasa przeciwciał	Funkcja
IgG	Są obecne w surowicy krwi w największym stężeniu. Powstają we wtórnych odpowiedziach immunologicznych. IgG matczyne przenikają przez łożysko i zapewniają odporność noworodkom w pierwszych miesiącach życia.
IgA	Znajdują się w ślinie, łzach, śluzie oskrzeli i jelit, mleku matki. Łączą się z patogenami i opłaszczają je, a w ten sposób znakują je dla fagocytów.
IgE	Zwalczają pasożyty przewodu pokarmowego i biorą udział w reakcjach alergicznych.
IgM	Biorą udział w pierwotnej odpowiedzi immunologicznej. Są wytwarzane jako pierwsze w czasie reakcji odpornościowej.
IgD	Występują na powierzchni limfocytów B. Biorą udział w ich dojrzewaniu i aktywacji.

Cytokiny – białka i peptydy wydzielane przez leukocyty. Wpływają na aktywność innych komórek, w tym komórek odpornościowych. Służą do komunikacji międzykomórkowej, regulują przebieg reakcji odpornościowej oraz biorą udział w powstawaniu stanu zapalnego. Do cytokin należą m.in.:

- **interferony** – interferon alfa i interferon beta wydzielane są przez komórki zakażone wirusami; hamują replikację wirusów i pobudzają produkcję białek przeciwwirusowych; interferon gamma aktywuje makrofagi do niszczenia komórek nowotworowych;
- **interleukiny** – wydzielane głównie przez makrofagi i limfocyty; biorą udział w reakcji zapalnej;
- **chemokiny** – przyciągają i aktywują komórki odpornościowe; biorą udział w reakcjach zapalnych.

Białka ostrej fazy – biorą udział w procesie zapalnym natychmiast po infekcji lub urazie. Są produkowane w wątrobie. Należą tu białka opłaszczające patogeny czy inhibitory enzymów. Przykładem białek ostrej fazy jest białko C-reaktywne (CRP), którego wysoki poziom występuje w ostrych stanach zapalnych oraz w chorobach przewlekłych.

Rodzaje odpowiedzi immunologicznej

Odpowiedź nieswoista	Odpowiedź swoista
• bardzo szybka (natychmiastowa), nie wymaga aktywacji • receptory rozpoznające mikroorganizmy są niezmienne i dziedziczne • działa niewybiórczo • nie pozostawia pamięci immunologicznej • zachodzi niezależnie od odpowiedzi swoistej	• rozwija się powoli, czasami wiele dni • receptory rozpoznające antygeny powstają na nowo (wiele razy w ciągu życia osobnika) i nie są dziedziczone • działa specyficznie • pozostawia pamięć immunologiczną • współdziała z odpowiedzią nieswoistą

Nieswoiste mechanizmy obrony immunologicznej

Nieswoiste mechanizmy odpornościowe są wrodzone, stanowią pierwszą linię obrony skierowaną przeciwko wielu rodzajom drobnoustrojów. Ich zadaniem jest zapobieganie rozprzestrzenianiu się obcych cząsteczek w organizmie.

Nieswoisty mechanizm odpornościowy	Opis
skóra i błony śluzowe	Ochrona mechaniczna przed drobnoustrojami. Złuszczanie się wierzchnich warstw naskórka, co pozwala usuwać patogeny z powierzchni skóry. Łój i pot zawierają substancje bakteriobójcze i przeciwgrzybiczne. Śluz unieruchamia drobnoustroje i obce cząsteczki.
mikroflora układu pokarmowego	Wytwarzanie substancji bakteriobójczych i przeciwgrzybiczych.
mechanizmy fizjologiczne	Kaszel, kichanie, łzawienie, wymioty, biegunka – to mechanizmy, za pomocą których organizm pozbywa się toksyn i drobnoustrojów.
fagocytoza	Zabijanie drobnoustrojów lub ich składników przez wyspecjalizowane komórki (np. makrofagi, granulocyty). Makrofagi po strawieniu obcych cząsteczek prezentują antygen innym komórkom odpornościowym i uruchamiają dalsze reakcje.
naturalne substancje bakteriobójcze	Kwas solny w żołądku unieszkodliwia drobnoustroje połknięte wraz z jedzeniem. Lizozym obecny w ślinie, łzach, pocie ma właściwości bakteriobójcze. Białka układu dopełniacza niszczą bakterie i aktywują fagocytozę.
stan zapalny	Reakcja organizmu na uszkodzenie tkanek i infekcję. Stan zapalny prowadzi do uwalniania cytokin, które pobudzają makrofagi. Jego celem jest przyciągnięcie komórek odpornościowych, fizyczne odizolowanie miejsca infekcji oraz pobudzenie procesu odbudowy tkanek po infekcji.

Istota stanu zapalnego



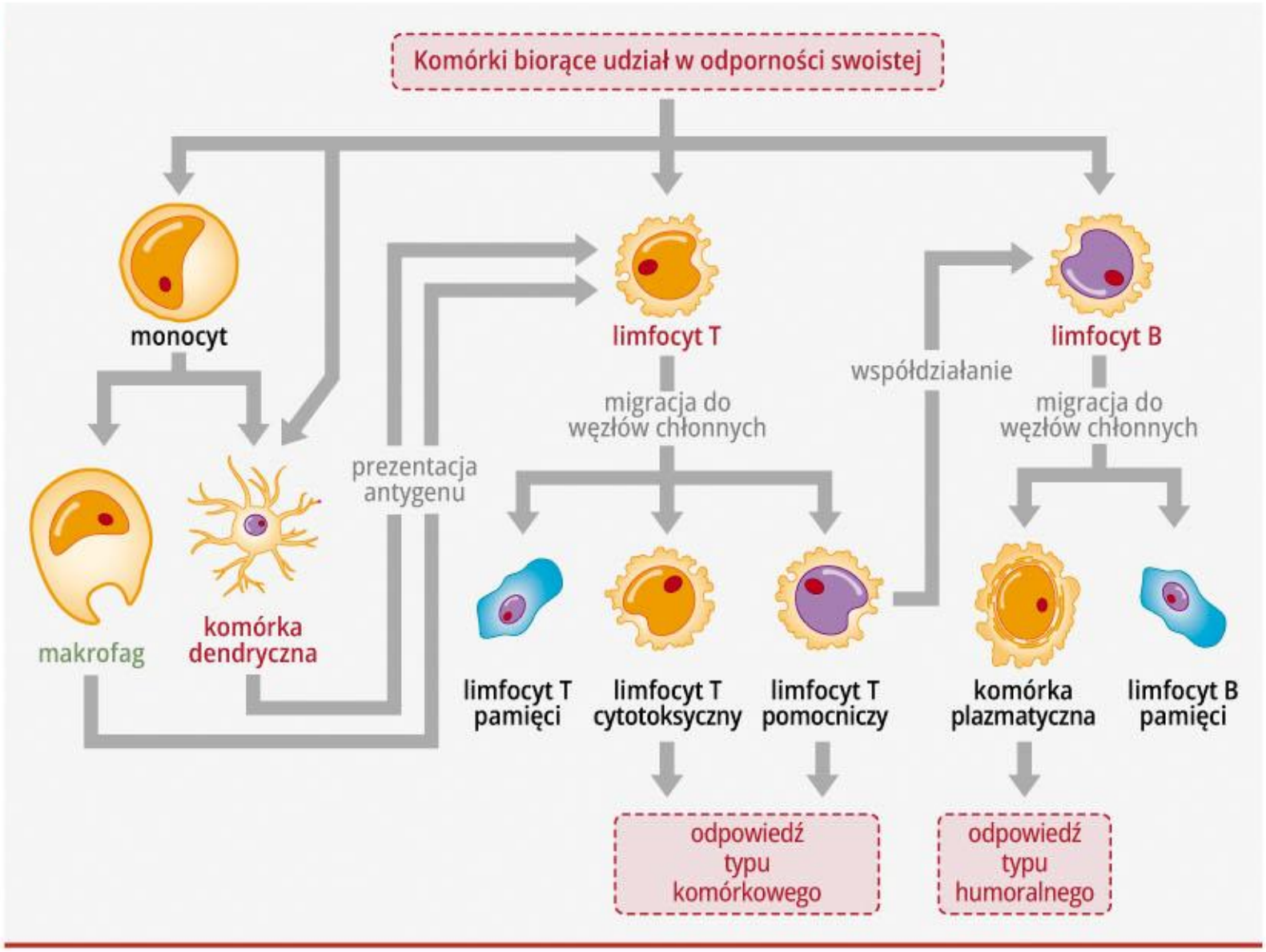
Swoiste mechanizmy obrony immunologicznej

Mechanizmy odporności swoistej są nabyte i skierowane przeciwko określonym patogenom lub cząsteczkom. Odporność swoista jest oparta na działaniu limfocytów.

Mechanizm odporności swoistej	Opis
aktywacja limfocytów B	Limfocyty B rozpoznają antygeny i przyłączają je do przeciwciał, które są obecne na jego powierzchni. Aktywny limfocyt B zaczyna się intensywnie dzielić i różnicować w komórki plazmatyczne zdolne do odpowiedzi na ten rodzaj antygenu. Aktywacja limfocytów B przebiega z udziałem limfocytów Th.
aktywacja limfocytów T	Aktywacja limfocytów T następuje w wyniku prezentacji antygenu przez inne komórki, które uległy aktywacji w wyniku reakcji nieswoistych. Aktywowane limfocyty T pomocnicze (Th) wydzielają cytokiny, przez co aktywują inne komórki odpornościowe. Aktywowane limfocyty T cytotoksyczne (Tc) wydzielają enzymy, które niszczą zaatakowaną komórkę, co prowadzi do jej apoptozy.

Rodzaje odporności swoistej

Odporność swoista	
komórkowa	**humoralna**
Bazuje na aktywowanych limfocytach T cytotoksycznych, które niszczą zaatakowane komórki (komórki zakażone, nowotworowe).	Zależy od przeciwciał krążących we krwi i w limfie oraz opiera się na niszczeniu antygenów przez pobudzenie fagocytozy i cytotoksyczności zależnych od przeciwciał.

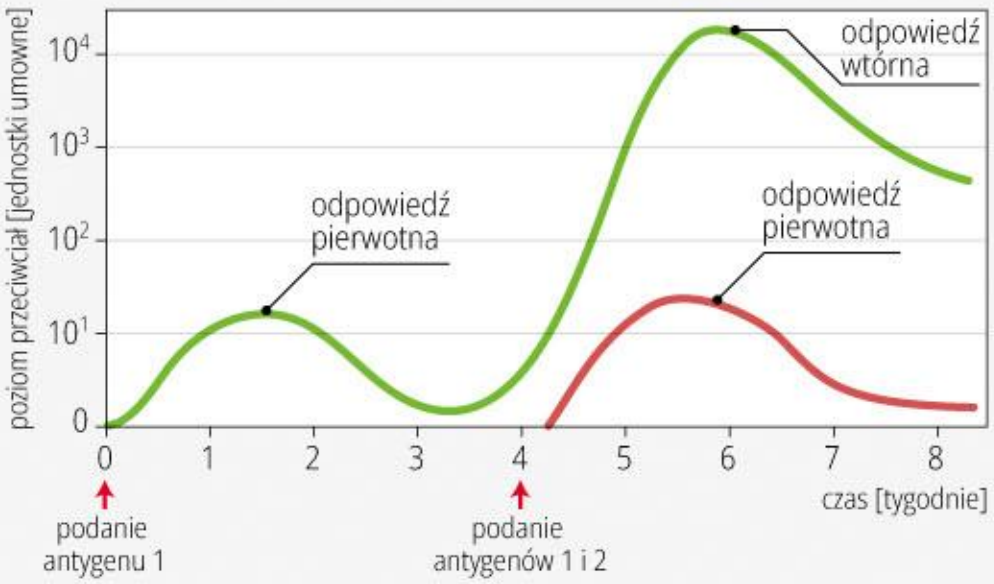


Pamięć immunologiczna

Pamięć immunologiczna to zdolność organizmu do szybkiej i skutecznej odpowiedzi immunologicznej na powtórny kontakt z określonym antygenem.

Pierwszy kontakt z antygenem nazywamy **pierwotną odpowiedzią immunologiczną**, a przy ponownym kontakcie dochodzi do **wtórnej odpowiedzi immunologicznej**, która jest szybsza i bardziej skuteczna. We wtórnej odpowiedzi immunologicznej biorą udział limfocyty i przeciwciała wytworzone podczas pierwszego kontaktu z antygenem:

- **limfocyty B pamięci** – ich receptory silniej wiążą się z antygenem i łatwiej ulegają aktywacji;
- **limfocyty T pamięci** – łatwej łączą się z komórkami prezentującymi antygen;
- **przeciwciała** – obecne we krwi jako pozostałość pierwotnego kontaktu z antygenem.



Odporność swoista czynna i bierna

	naturalna	sztuczna
bierna		
	przeciwciała matki przekazywane dziecku przez łożysko lub mleko	surowice odpornościowe (np. przeciwtężcowa, przeciwjadowa) pochodzenia ludzkiego lub zwierzęcego
czynna		
	odporność zyskana po przebytych chorobach i zakażeniach	szczepienia ochronne

Szczepienia

Szczepienie to celowe wprowadzenie do organizmu człowieka osłabionych lub zabitych drobnoustrojów, ich fragmentów lub kwasów nukleinowych (mRNA), które mają na celu wywołanie odpowiedzi immunologicznej. W wyniku tej odpowiedzi organizm produkuje przeciwciała i komórki pamięci. W razie ponownego kontaktu z antygenem organizm reaguje szybciej i bardziej skutecznie zwalcza drobnoustroje.

Szczepienia	
obowiązkowe	**nieobowiązkowe**
Prowadzone zgodnie z obowiązującym programem szczepień od narodzin do 19 r.ż., np. szczepienia przeciwko gruźlicy, błonicy, polio, krztuścowi, odrze, śwince, różyczce, pneumokokom.	Umożliwiają szerszą ochronę przed chorobami zakaźnymi, np. szczepienia przeciwko rotawirusom, meningokokom, ospie wietrznej, grypie, COVID-19.

Główny układ zgodności tkankowej

Komórki własne organizmu na powierzchni błon komórkowych mają kompleksy białkowe zwane cząsteczkami MHC, **autoantygenami**. Cząsteczki MHC wiążą antygeny i prezentują je limfocytom T. Zestaw autoantygenów całego organizmu nazywamy **głównym układem zgodności tkankowej, MHC** lub **HLA**. Układ odpornościowy rozpoznaje antygeny zgodności tkankowej jako swoje lub obce (wtedy kieruje przeciwko nim reakcje odpornościowe). Każda osoba ma charakterystyczny zestaw antygenów zgodności tkankowej. Wysoka zgodność tkankowa jest warunkiem **przeszczepów (transplantacji)** narządów, ponieważ zmniejsza ryzyko odrzucenia przeszczepu.

Rodzaje cząsteczek MHC

Cząsteczki MHC I	Występują na wszystkich komórkach ludzkich mających jądro komórkowe. Wiążą antygeny bakteryjne lub wirusowe i prezentują je limfocytom T cytotoksycznym.
Cząsteczki MHC II	Obecne w komórkach prezentujących antygen (np. makrofagach, komórkach dendrytycznych, limfocytach B). Indukują wydzielanie cytokin przez limfocyty T pomocnicze.

Transplantacja

Transplantacja to metoda leczenia polegająca na przeszczepianiu narządów (np. serca, nerki, wątroby, płuc) lub ich fragmentów (np. skóry) czy szpiku kostnego. Dawca i biorca muszą być zgodni pod względem antygenów układu MHC. W celu zmniejszenia ryzyka odrzucenia przeszczepu stosuje się zabiegi **immunosupresji**, czyli osłabienia lub zahamowania odpowiedzi immunologicznej u biorcy. Immunosupresji dokonuje się za pomocą leków immunosupresyjnych, przeciwciał, napromieniowania lub zabiegu chirurgicznego (usunięcie niektórych narządów limfatycznych).

Rodzaje przeszczepów

przeszczep autogeniczny	Odbywa się w obrębie jednego organizmu. Taki sam zestaw antygenów transplantacyjnych daje 100% szanse na przyjęcie przeszczepu, np. przeszczep skóry.
przeszczep izogeniczny	Odbywa się w obrębie dwóch osobników mających ten sam zestaw antygenów transplantacyjnych (np. bliźnięta jednojajowe). Podobny zestaw antygenów zgodności tkankowej sprawia, że szanse na przyjęcie przeszczepu wynoszą 100%.
przeszczep allogeniczny	Dawca należy do tego samego gatunku, ale ma odmienne antygeny zgodności tkankowej. Gdy organizm biorcy rozpozna geny transplantacyjne jako obce, przeszczep może zostać odrzucony.
przeszczep ksenogeniczny	Dawcą jest organizm należący do innego gatunku.

Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

Choroby autoimmunizacyjne – choroby wynikające z autoagresji, czyli skierowania reakcji odpornościowej przeciwko własnym komórkom organizmu. Choroby autoimmunizacyjne dzielimy na:

- **narządowo-swoiste** – ograniczają się do danego narządu lub grupy komórek,
- **układowe** – zmiany chorobowe dotyczą wielu narządów.

Rodzaje chorób immunizacyjnych

Choroby autoimmunizacyjne		
narządowo-swoiste	cukrzyca typu I	Komórki odpornościowe niszczą komórki trzustki, które wytwarzają insulinę.
	choroba Hashimoto	Komórki odpornościowe niszą komórki tarczycy, co powoduje zmiany zapalne w jej obrębie i zmniejszenie wydzielania hormonów tarczycowych.
	choroba Addisona	Długotrwały niedobór hormonów kory nadnerczy wywołany autoimmunologicznym niszczeniem komórek nadnerczy.
	stwardnienie rozsiane	Przewlekła choroba zapalna ośrodkowego układu nerwowego, w której dochodzi do niszczenia przez komórki odpornościowe osłonek mielinowych neuronów.
układowe	niedokrwistość autohemolityczna	Przeciwciała skierowane przeciwko własnym erytrocytom, które prowadzą do ich zniszczenia.
	toczeń układowy rumieniowaty	Przewlekła choroba tkanki łącznej prowadząca do uszkodzenia wielu tkanek i narządów (m.in. skóry, stawów, nerek).

Alergia (nadwrażliwość)

Alergia to nieprawidłowa i silna odpowiedź układu immunologicznego na antygen (tzw. alergen), który u zdrowych osób jest na ogół nieszkodliwy. Alergeny wiążą się z przeciwciałami klasy IgE na powierzchni leukocytów i powodują ich degranulację, czyli uwolnienie histaminy, cytokin i innych substancji odpowiedzialnych za objawy alergii.

Rodzaje alergenów i objawy reakcji alergicznej



Niedobory odporności

Niedobór odporności – stan, który przejawia się skłonnością do nawracających, częstych infekcji o ciężkim przebiegu. Niedobór odporności wynika z braku lub osłabienia zdolności organizmu do odpowiedzi immunologicznej.

Rodzaje niedoborów odporności

	Niedobory odporności	
	pierwotne (wrodzone)	**wtórne (nabyte)**
podłoże	Zwykle ma podłoże genetyczne, skutkujące brakiem lub znikomą aktywnością komórek odpornościowych.	Złożone przyczyny: ostre zakażenie, usunięcie śledziony, niewydolność nerek. Zwykle pojawia się w późniejszym okresie życia.
przykłady	Ciężki złożony niedobór odporności SCID – występuje u niemowląt, objawia sią częstymi chorobami, np. zapaleniem płuc, zapaleniem opon mózgowo-rdzeniowych. Leczenie polega na przeszczepie szpiku kostnego lub terapii genowej.	Zespół nabytego niedoboru odporności (AIDS) – wywołany przez wirus HIV, który niszczy limfocyty T pomocnicze, co skutkuje spadkiem odporności i następującymi w wyniku tego zakażeniami (powodują zapalenie płuc, biegunki, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych) oraz rozwojem nowotworów (chłoniaka i mięsaka Kaposiego). **Objawy** choroby mogą wystąpić nawet kilka lat po zakażeniu wirusem HIV. Jedną z **metod leczenia** jest wysokoreaktywna terapia antyretrowirusowa (HAART). **Profilaktyka** AIDS: unikanie ryzykownych zachowań seksualnych, wykonywanie badań diagnostycznych, unikanie kontaktu z zakażoną krwią.
	Agammaglobulinemia Burtona – całkowity brak przeciwciał i mała ilość limfocytów B u chłopców, objawia się m.in. częstymi infekcjami górnych dróg oddechowych, biegunkami. Leczenie polega na dożylnym podawaniu gammaglobulin.	

8.6. Wymiana gazowa u zwierząt

Wymianę gazową między organizmem a środowiskiem nazywamy **oddychaniem**. Wyróżniamy **oddychanie zewnętrzne** (ustrojowe) oraz **komórkowe**. Podczas **oddychania zewnętrznego** zwierzę pobiera ze środowiska tlen, który jest wykorzystywany w komórkach ciała, a w zamian uwalnia powstający podczas oddychania komórkowego dwutlenek węgla. **Oddychanie komórkowe** to zachodzące w komórkach procesy biochemiczne, podczas których energia zawarta w związkach pokarmowych zostaje związana w cząsteczkach ATP.

Porównanie środowiska oddychania

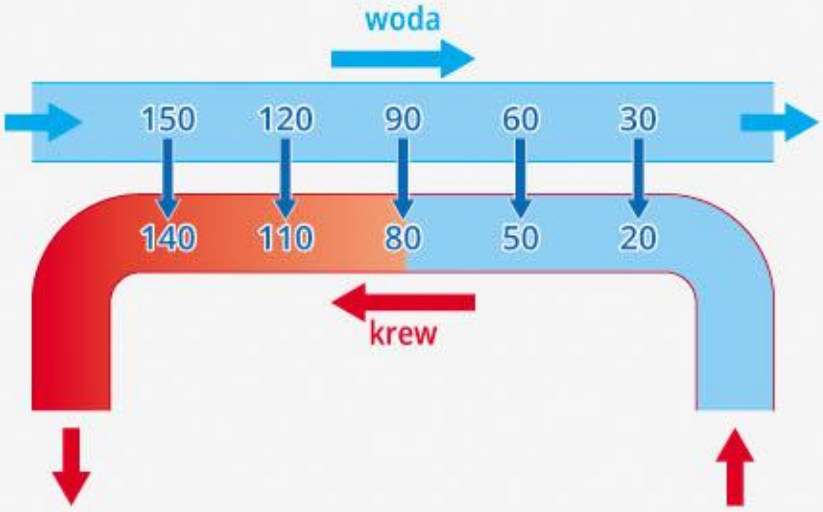
Cecha	Środowisko	
	lądowe	wodne
zawartość tlenu	duża, stabilna	mała, o dużych wahaniach – zależy od warunków panujących w danym środowisku; maleje wraz ze wzrostem głębokości, zasolenia
gęstość i lepkość środowiska	mała – powietrze może przepływać dwukierunkowo (oszczędność energii do ruchów powietrza)	duża – powoduje jednokierunkowy ruch wody wokół narządów wymiany gazowej
szybkość dyfuzji gazów	większa	mniejsza

Narządy wymiany gazowej u zwierząt

Narząd	Środowisko	Charakterystyka	Występowanie
powierzchnia ciała (nabłonek, skóra)	wodne i lądowe	• małe organizmy o niskim metabolizmie • może uzupełniać pracę innych narządów oddechowych (płuc lub skrzeli)	• parzydełkowce, płazińce, nicienie, szkarłupnie, część pierścienic • uzupełnia oddychanie u ryb i płazów
skrzela	wodne	• zewnętrzne na powierzchni ciała, np. odnóżach • wewnętrzne pokryte pokrywami skrzelowymi	• wieloszczety, skorupiaki i mięczaki wodne • kręgowce wodne • larwy płazów • larwy niektórych owadów, np. ważek (skrzelotchawki – blaszkowate wyrostki, wewnątrz których znajdują się tchawki)
płuca	lądowe	• unaczynione worki o różnym stopniu pofałdowania	• pajęczaki (płucotchawki) • ślimaki lądowe i niektóre gatunki słodkowodne (płuca dyfuzyjne) • kręgowce lądowe (płuca wentylowane)
tchawki	lądowe	• cienkie rurki rozgałęziające się bezpośrednio do narządów • brak powiązania z układem krwionośnym	• część pajęczaków, wije, owady

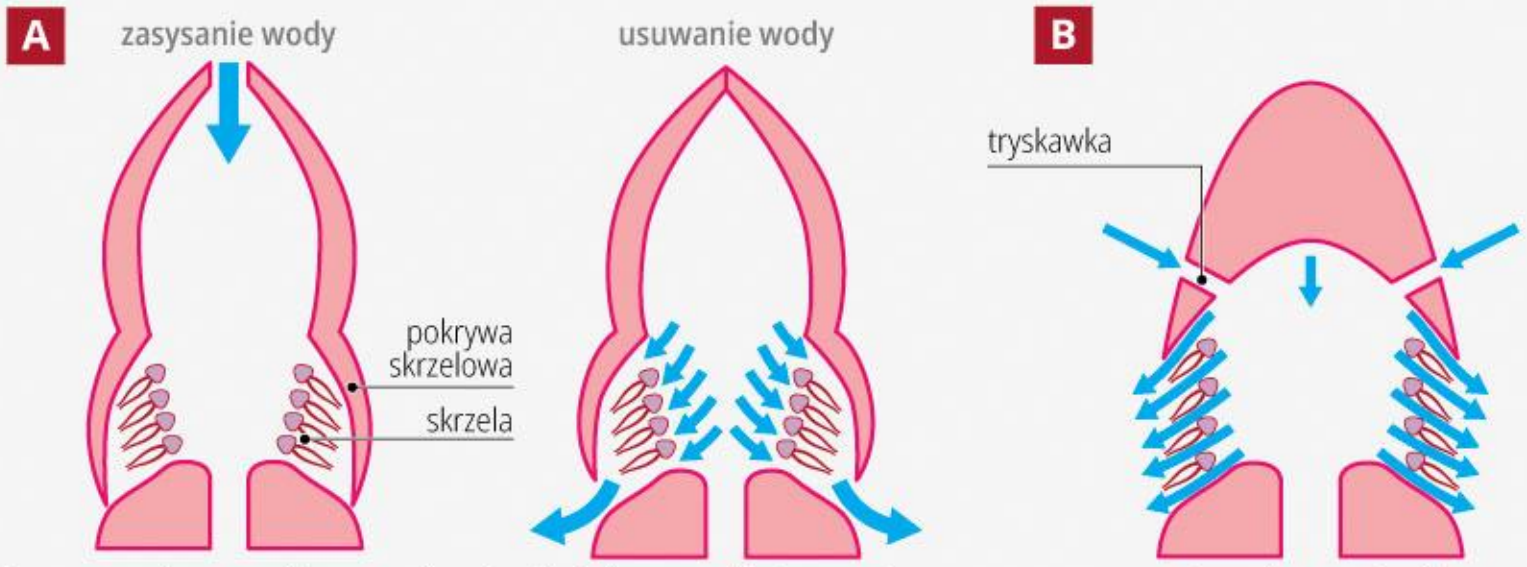
Przykłady wymiany gazowej u kręgowców

Środowisko wodne



Ryby wysoką wydajność wymiany gazowej uzyskują dzięki przeciwnemu kierunkowi przepływu krwi i wody – zasadzie **przepływu przeciwprądowego** – oraz działaniu pokryw skrzelowych. Krew przepływająca w kierunku przeciwnym do kierunku wody omywającej blaszki skrzelowe jest mniej nasycona tlenem niż woda. Utrzymująca się różnica stężeń na całej długości kontaktu naczyń włosowatych z wodą sprzyja dyfuzji. Ciśnienie cząstkowe tlenu we krwi stopniowo wzrasta, ale zawsze jest nieznacznie mniejsze niż w wodzie. Mechanizm ten powoduje, że ok. 80% tlenu dostępnego w wodzie dostaje się do krwi. W odwrotnym kierunku zachodzi dyfuzja dwutlenku węgla z krwi do wody obmywającej skrzela.

Przepływ wody przez **skrzela ryb kostnoszkieletowych** jest wymuszony przez ruch pokryw skrzelowych i pyska. Mechanizm ten można porównać do działania pompy. U niektórych ryb chrzęstnoszkieletowych żyjących na dnie, np. płaszczek, dodatkowo wykształcił się otwór po stronie grzbietowej ciała – **tryskawka**. Gdy ryby się nie poruszają, woda z tlenem dostaje się przez tryskawkę do skrzeli.

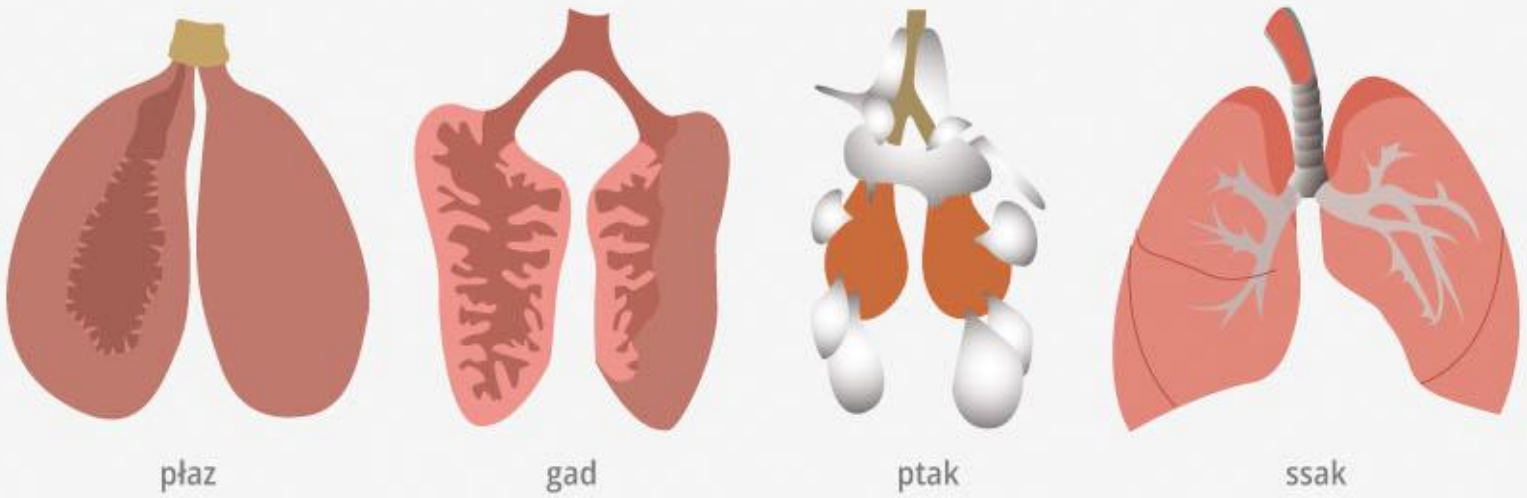


Etapy przepływu wody przez skrzela ryb: A. kostnoszkieletowych – przy otwartym pysku pokrywy skrzelowe ściśle przylegają do ciała i zamykają szczeliny skrzelowe, dzięki temu woda wpływa do pyska i obmywa skrzela; odchylenie pokryw skrzelowych zamyka pysk i następuje wypchnięcie wody ze skrzeli; B. ryb chrzęstnoszkieletowych.

Środowisko lądowe

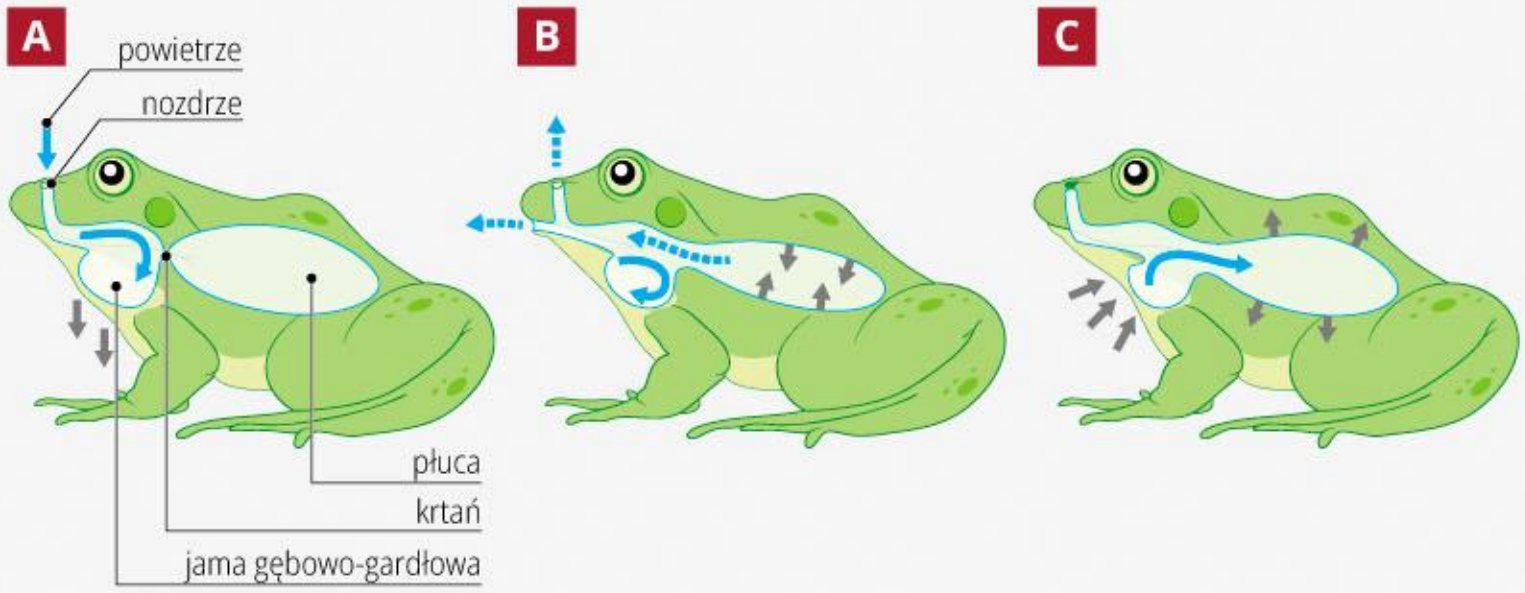
U kręgowców lądowych występują **płuca wentylowane**. Rozwinęły się z przekształconych uchyłków przewodu pokarmowego ryb. Od płazów zaczęła się ewolucja płuc w kierunku zwiększania wymiany gazowej.

Mechanizm wymiany gazowej zachodzi dzięki pracy odpowiednich mięśni na zasadzie **pompy tłoczącej**, jak u płazów, czy **pompy ssącej**, jak u większości gadów, ptaków i ssaków (dzięki wykształceniu klatki piersiowej i mięśni międzyżebrowych).



Porównanie budowy płuc u kręgowców

U płazów wymiana gazowa zachodzi przez dobrze ukrwioną i wilgotną skórę, ściany jamy gębowo-gardłowej oraz narządy oddechowe – płuca lub skrzela zewnętrzne u larw. Płazy wentylują płuca dzięki ruchom **dna jamy gębowo-gardłowej**.



Etapy wentylacji płuc u płazów: A. zamknięta krtań i obniżone dno jamy gębowo-gardłowej, wciągnięcie powietrza przez otwarte nozdrza zewnętrzne; B. otwarta krtań, skurcz mięśni ciała i ściany płuc, usunięcie części zużytego powietrza z płuc przez jamę gębową i nozdrza; C. zamknięte nozdrza zewnętrzne, podniesienie dna jamy gębowej, wtłoczenie do płuc wcześniej zgromadzonego powietrza

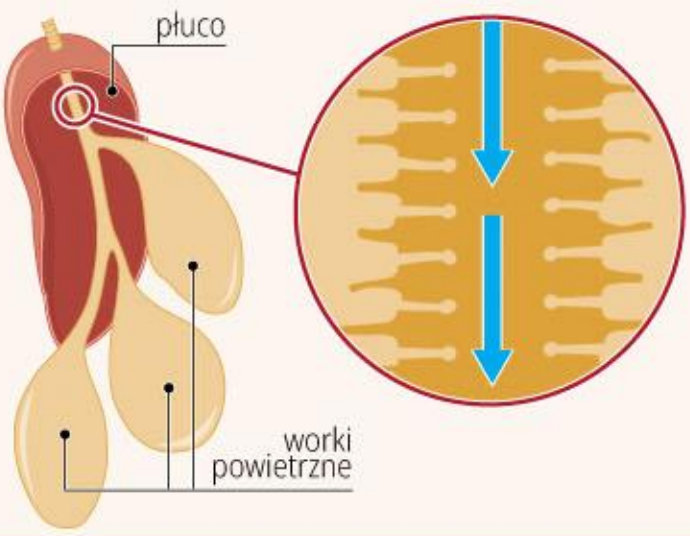
U ptaków rurkowate, sztywne płuca są połączone z ośmioma lub dziewięcioma workami powietrznymi przednimi i tylnymi. Nie biorą one bezpośredniego udziału w oddychaniu, ale pełnią funkcję magazynów powietrza. Dzięki workom powietrznym przez płuca przechodzi świeże powietrze podczas wdechu i wydechu.

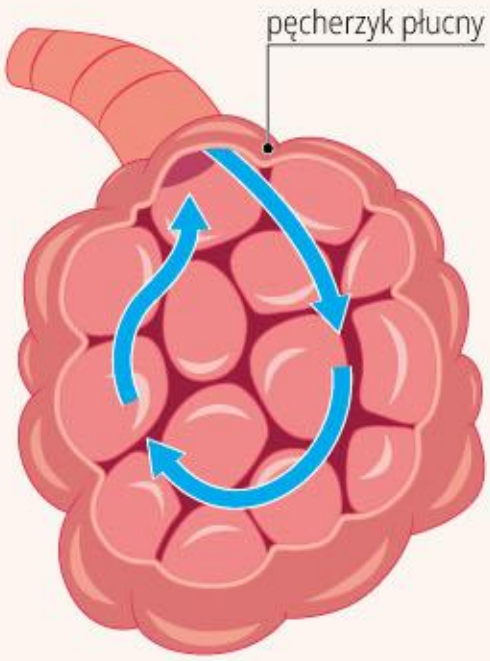
Wentylacja płuc u ssaków

U ssaków dzięki wytworzeniu **pęcherzyków płucnych** płuca osiągnęły największą powierzchnię wymiany gazowej w porównaniu z płucami płazów, gadów i ptaków.

Kierunek przepływu powietrza w płucach ptaków i ssaków

Płuca ptaków	Płuca ssaków
• przepływ powietrza jest jednokierunkowy i zachodzi od tyłu do przodu • jest wspomagany pracą mięśni międzyżebrowych w spoczynku, a podczas lotu ptaka – pracą skrzydeł • maksymalne ciśnienie cząstkowe tlenu w płucach ptaków jest wyższe niż w przypadku ssaków (wynika z wymiany powietrza u ptaków podczas każdego wydechu)	• przepływ powietrza zachodzi naprzemiennie – powietrze napływa do płuc i tą samą drogą z płuc wypływa • w płucach powietrze wpływające miesza się z powietrzem zużytym



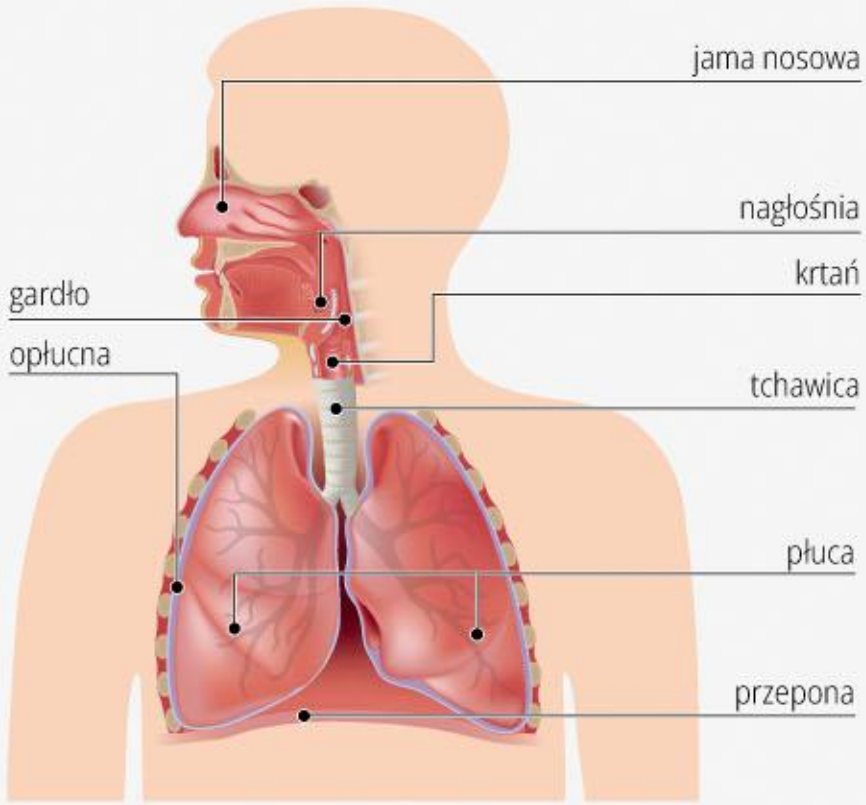


8.7. Budowa i funkcje układu oddechowego człowieka

Za wymianę gazową między organizmem a środowiskiem u człowieka odpowiada układ oddechowy. Jest także odpowiedzialny za wytwarzanie artykułowanych dźwięków oraz stanowi ochronę organizmu przed wnikaniem zanieczyszczeń powietrza i drobnoustrojów.

Układ oddechowy		
drogi oddechowe		płuca
transport do płuc świeżego powietrza i odprowadzanie zużytego		właściwy narząd wymiany gazowej między pęcherzykami płucnymi a krwią
górne drogi oddechowe	dolne drogi oddechowe	
jama nosowa z zatokami, gardło	krtań, tchawica, oskrzela	

Budowa układu oddechowego człowieka



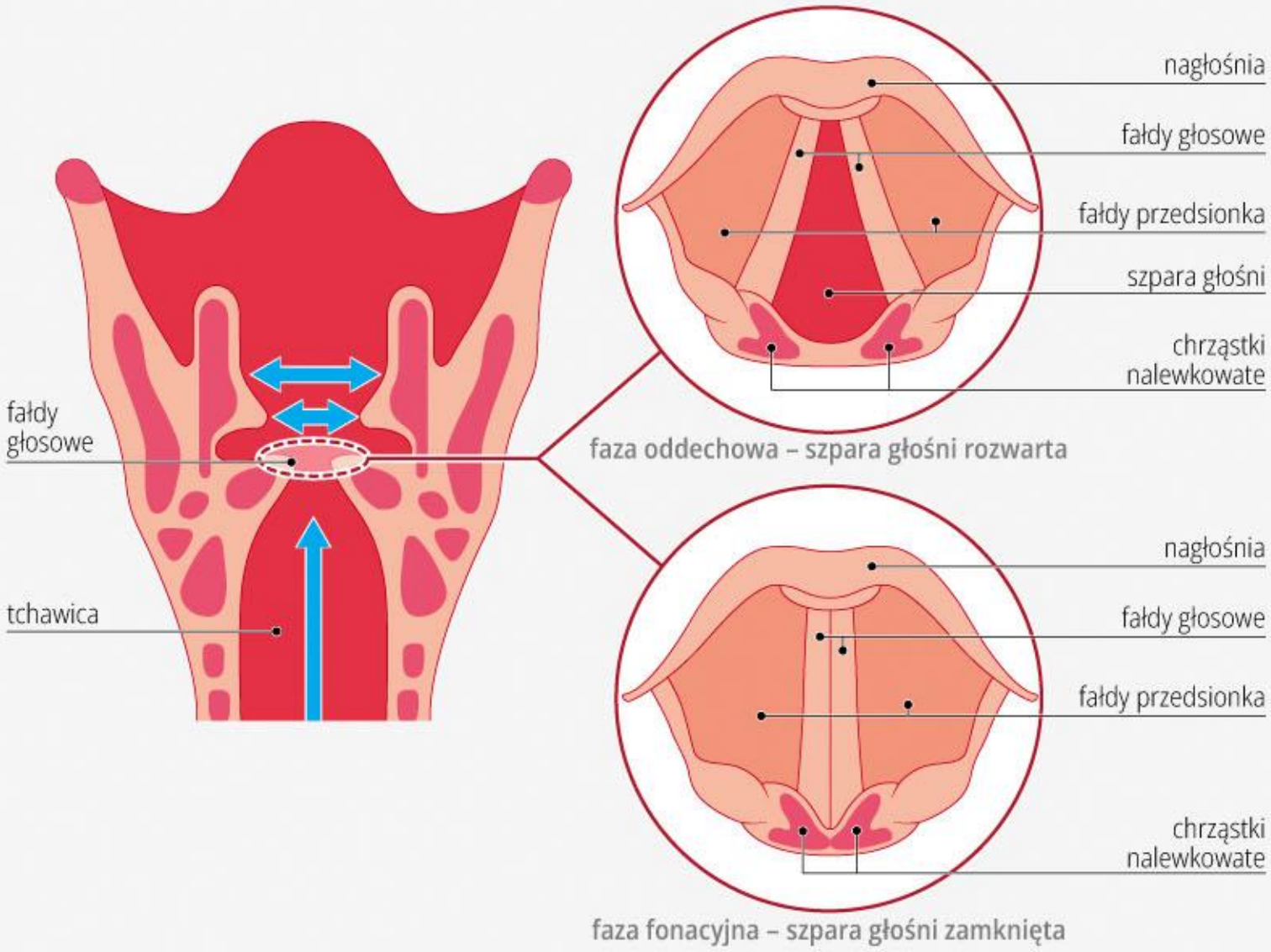
Elementy układu oddechowego człowieka

Elementy budowy	Budowa	Funkcja
jama nosowa	• **część górna węchowa** (nabłonek węchowy z chemoreceptorami)	• odbieranie bodźców zapachowych
	• **część dolna oddechowa** silnie ukrwiona, pokryta nabłonkiem z rzęskami i licznymi komórkami wydzielającymi śluz	• ogrzanie, nawilżanie, oczyszczanie powierza
gardło	• wspólny odcinek układu oddechowego i pokarmowego • w bocznych ścianach leżą zakończenia trąbki słuchowej, łączące gardło z jamą ucha środkowego	• transport powierza z jamy nosowej do krtani • wyrównanie ciśnień powietrza po dwóch stronach błony bębenkowej
krtań	• zbudowana z 9 chrząstek połączonych za pomocą więzadeł i mięśni • głośnia (zbudowana z fałdów głosowych i szpary głośni) – najwęższa część krtani • ruchoma chrząstka nagłośnia podczas połykania zamyka wejście do tchawicy	• transport powietrza do dalszych odcinków dróg oddechowych • ochrona przed dostaniem się cząsteczek pokarmowych do dróg oddechowych (nagłośnia) • narząd wydawania głosu (głośnia)

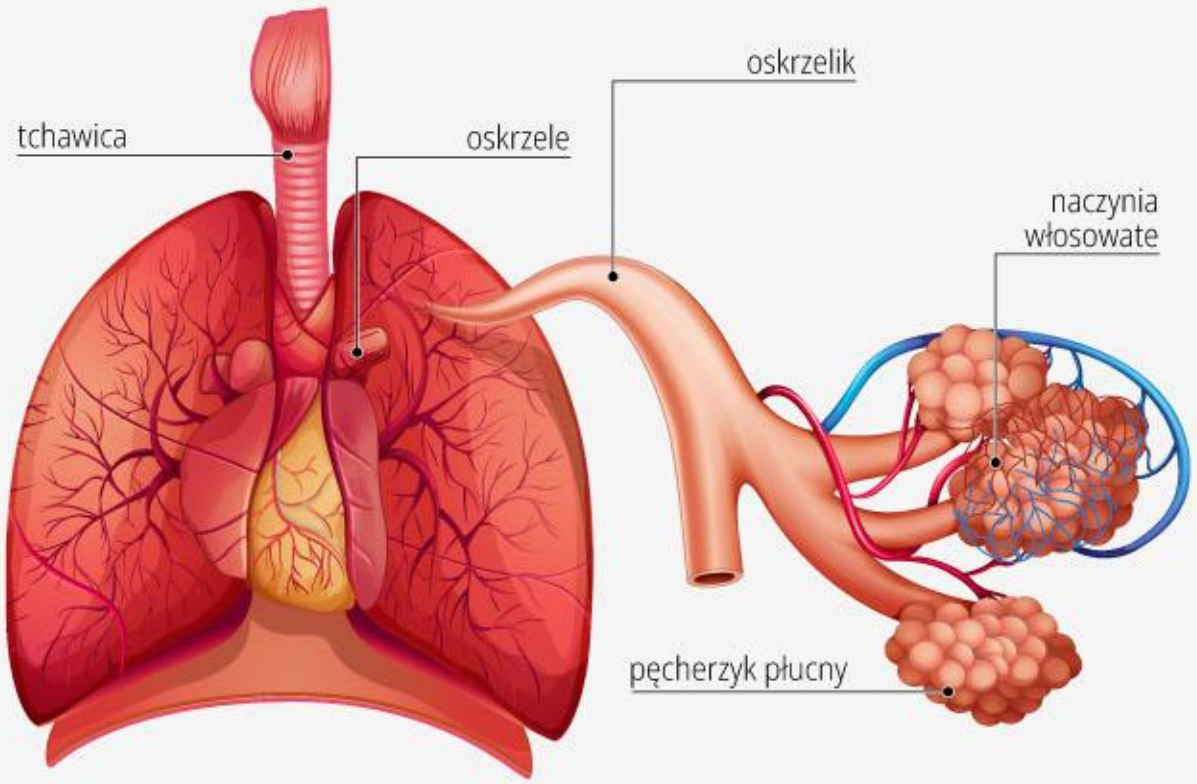
Elementy budowy	Budowa	Funkcja
tchawica	• kanał (o długości ok. 12 cm) zbudowany z podkowiastych chrząstek, biegnący w przedniej części przełyku aż do klatki piersiowej • wnętrze tchawicy wyścieła błona śluzowa z nabłonkiem jednowarstwowym urzęsionym	• łączy krtań z oskrzelami • usuwa zanieczyszczenia z powietrza do górnych dróg oddechowych • zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń do płuc
oskrzela główne	• prawe grubsze i krótsze od lewego • wzmocnione pierścieniami chrzęstnymi, które dzielą się wielokrotnie na oskrzela o coraz mniejszej średnicy, tworząc tzw. **drzewo oskrzelowe** • mniejsze przewody – oskrzeliki końcowe (niezawierające chrząstek) – dzielą się na oskrzeliki oddechowe (w ich ścianach znajdują się pęcherzyki płucne)	• oczyszczanie i transport powietrza do pęcherzyków płucnych
płuca	• mają budowę pęcherzykową i płatową • płuco prawe składa się z trzech płatów, a lewe – z dwóch	• zachodzi w nich wymiana gazowa

Mechanizm powstawania głosu

Podczas wydechu szpara głośni jest zamknięta i fałdy głosowe ściśle do siebie przylegają. Powietrze wydychane z płuc wprawia w drgania fałdy głosowe. W wyniku tego następuje wzrost ciśnienia poniżej fałdów głosowych i otwarcie szpary głośni, przez którą przepływa powietrze. Przepływ powietrza skutkuje spadkiem ciśnienia i zwarciem fałdów głosowych. Powtarzające się cykle rozwierania i zwierania fałdów głosowych prowadzą do powstania drgań powietrza, czyli dźwięku. Wielkość dźwięku jest modyfikowana przez mięśnie krtani, a szczególnie przez mięsień głosowy.



Właściwy narząd oddechowy – płuca



Płuca ochrania klatka piersiowa. Wewnętrzna powierzchnia klatki piersiowej jest pokryta cienką błoną – **opłucną**, zbudowaną z dwóch błon.

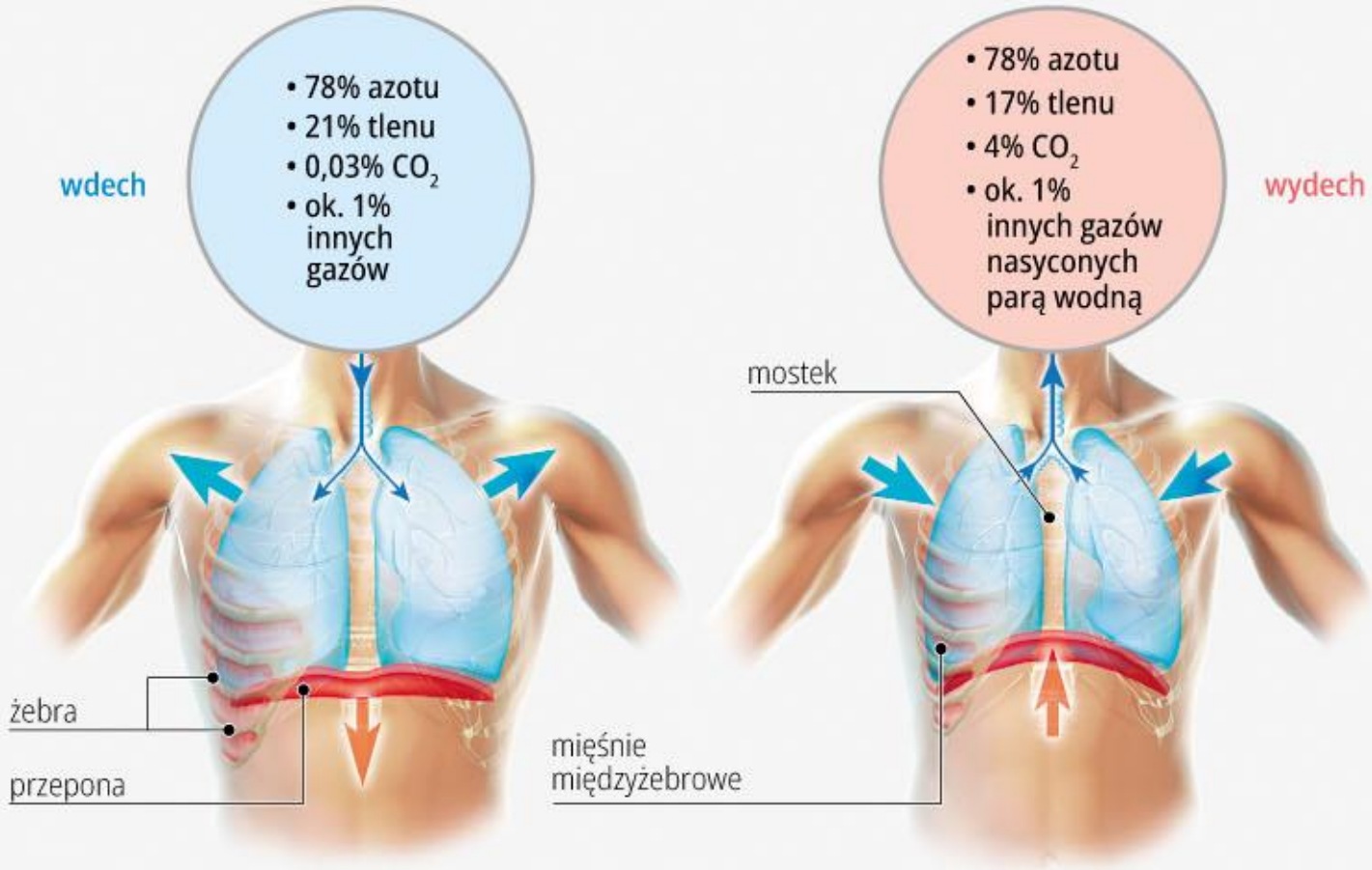
Opłucna

Opłucna płucna	Opłucna ścienna
wewnętrzna błona bezpośrednio okrywająca płuca i wchodząca w jego płaty	błona zewnętrzna wyścielająca klatkę piersiową
przestrzeń między błonami – **jama opłucna**, wypełniona płynem surowiczym (produkowanym przez komórki nabłonka jednowarstwowego płaskiego pokrywającego obie błony) zmniejszającym tarcie między powierzchnią płuc a ścianami klatki piersiowej podczas wykonywania ruchów oddechowych, panuje w niej ujemne ciśnienie (od –5 mm Hg do –10 mm Hg) powstałe podczas wykonania pierwszego wdechu	

Pęcherzyki płucne są miejscem wymiany gazów oddechowych – tlenu i dwutlenku węgla. Każdy pęcherzyk jest opleciony gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych, przez które zachodzi wymiana gazowa między pęcherzykami płucnymi a krwią. Pęcherzyki płucne tworzą **grono** – podstawową jednostkę czynnościową i strukturalną płuc. Na wewnętrznej powierzchni pęcherzyków znajduje się tzw. **surfaktant** (mieszanina fosfolipidów, wielocukrów i białek), który zmniejsza napięcie powierzchniowe pęcherzyków, zapobiegając ich zlepianiu się.

Wentylacja płuc

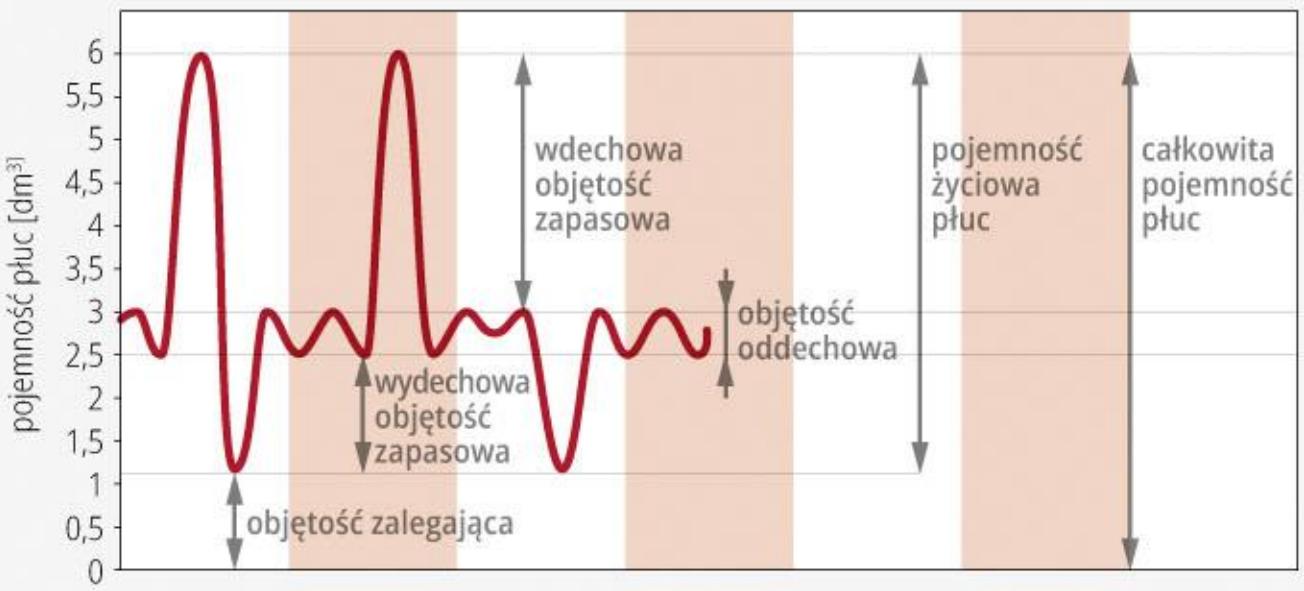
Wentylacja płuc to wymiana powietrza w płucach dzięki następującym naprzemiennym wdechom i wydechom. Zachodzą one na skutek **pracy mięśni międzyżebrowych i przepony**. Przepona jest **płaskim mięśniem** szkieletowym oddzielającym jamę klatki piersiowej od jamy brzusznej.



Porównanie wdechu i wydechu

	Wdech – akt czynny	Wydech – akt bierny
przepona	kurczy się i spłaszcza	rozkurcza się i wygina się w kierunku jamy płucnej
mięśnie międzyżebrowe	kurczą się	rozkurczają się
żebra	unoszą się ku górze i na boki	opadają
mostek	unosi się i wysuwa do przodu	opada
ściany klatki piersiowej	rozciągają się	zmniejszają się
objętość klatki piersiowej	zwiększa się	zmniejsza się
ciśnienie w jamie opłucnowej i pęcherzykach płucnych	obniża się poniżej ciśnienia atmosferycznego (do 2–3 mm Hg)	wzrasta powyżej ciśnienia atmosferycznego (do 2–3 mm Hg)
kierunek przepływu powietrza	przechodzi do płuc	jest usuwane z płuc

Pojemność płuc



Całkowita pojemność płuc to objętość powietrza, jaka może się pomieścić w płucach. U dorosłego człowieka wynosi od 4 do 6 litrów (dm^3). Zależy od płci, wieku, rozmiarów ciała, aktywności fizycznej oraz stanu zdrowia.

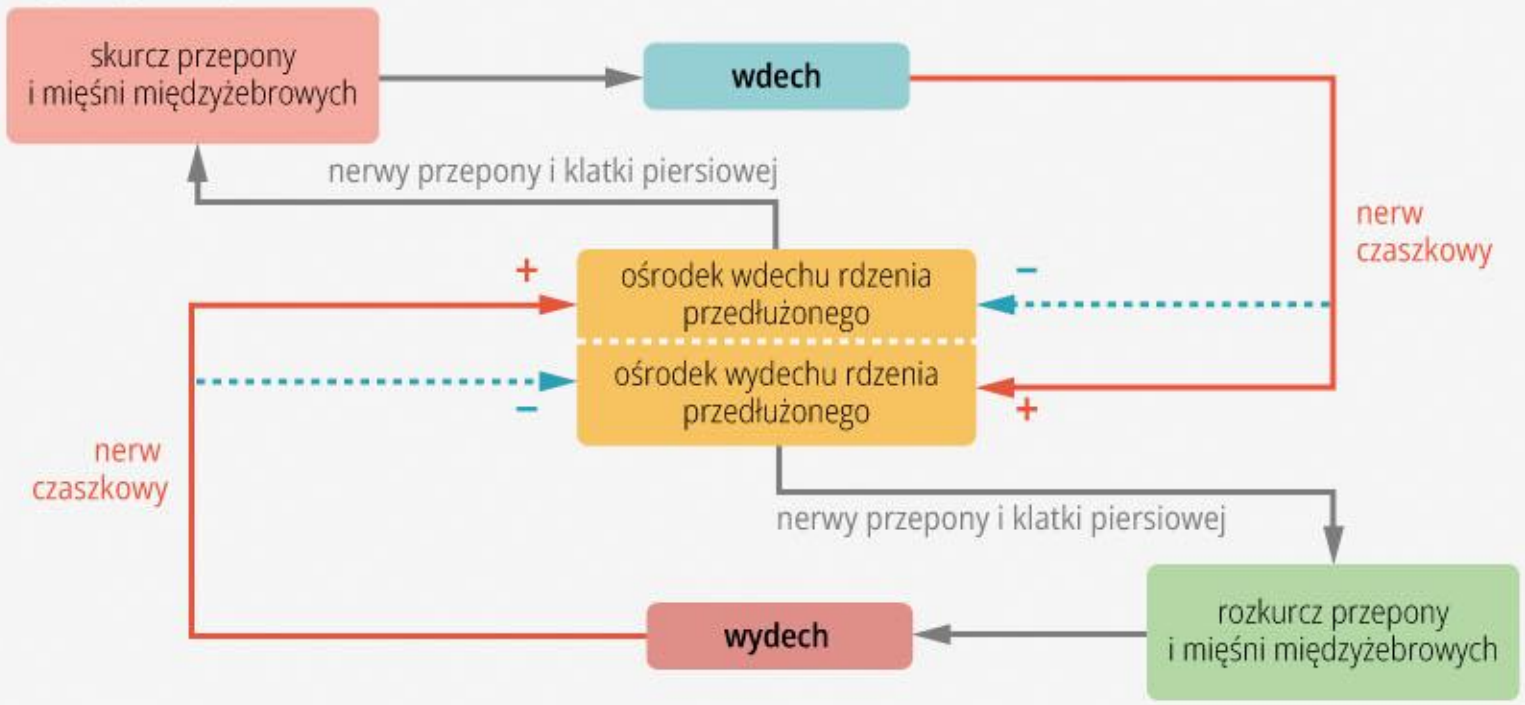
Pojemność		Opis
pojemność życiowa płuc		największa objętość powietrza, jaką można usunąć z płuc po maksymalnym wdechu (suma objętości oddechowej, uzupełniającej i zapasowej – ok. 4,2 dm^3)
	objętość oddechowa	ilość powietrza, którą wymieniamy podczas normalnego wdechu i wydechu (ok. 0,5 dm^3)
	wdechowa objętość zapasowa (objętość uzupełniająca)	dodatkowe powietrze, które dostaje się do płuc podczas pogłębionego wdechu (ok. 2,5 dm^3)
	wydechowa objętość zapasowa (objętość uzupełniająca)	dodatkowe powietrze, które zostaje usunięte z płuc podczas pogłębionego wydechu (ok. 1,2 dm^3)
objętość zalegająca		objętość powietrza pozostająca w płucach, której nie można usunąć nawet podczas maksymalnego wydechu (ok. 1,2 dm^3), maleje wraz z wiekiem, zależy od sprężystości tkanek płuc

Regulacja częstości oddechów

Za regulację wentylacji płuc odpowiada **ośrodek oddechowy** położony w rdzeniu kręgowym, który składa się z ośrodka wdechu, ośrodka wydechu oraz ośrodka pneumotaksycznego.

Ośrodek		
wdechu	**wydechu**	**pneumotaksyczny**
• neurony wysyłają impulsy pobudzające mięśnie wdechowe do skurczu • odbiera sygnały od receptorów położonych w ścianach dużych tętnic: aorty i tętnic szyjnych wrażliwych na wzrost stężenia dwutlenku węgla i spadek poziomu tlenu we krwi	• neurony wysyłają impulsy pobudzające mięśnie wydechowe podczas aktywnych wydechów	• odpowiada za naprzemienne wykonywanie wdechów i wydechów

Regulacja oddychania



Wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie człowieka

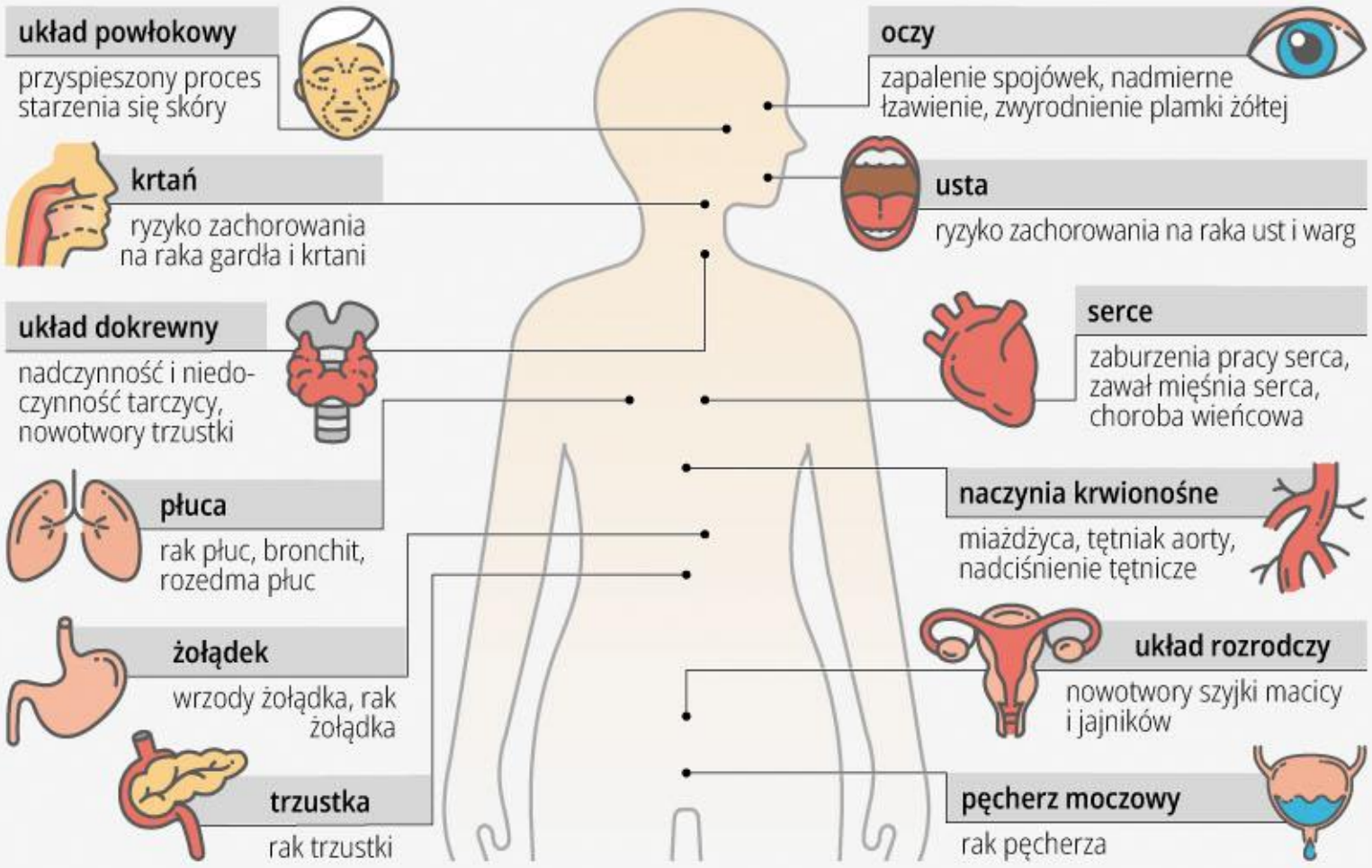
Na pracę układu oddechowego mają wpływ czynniki zewnętrzne: zanieczyszczenia ze źródeł naturalnych i antropogenicznych.

Rodzaj zanieczyszczeń	Przykłady źródeł	
źródła naturalne	• pyłki traw i kwiatów • sierść zwierząt • bakterie, zarodniki grzybów, naskórek	• pyły wulkaniczne • pyły z pożarów lasów
źródła antropogeniczne	• spalanie paliw kopalnych • motoryzacja i transport • rolnictwo	• cementownie • przemysł metalurgiczny • przemysł chemiczny

Szczególnie niebezpieczne dla zdrowia człowieka są następujące związki:
- tlenki azotu, siarki i węgla – powodują uszkodzenie płuc, zmniejszają zdolność krwi do przenoszenia tlenu i często są przyczyną chorób nowotworowych płuc
- dwutlenek siarki w powietrzu utlenienia się do SO_3, który łączy się z wodą i tworzy kwas siarkowy, będący główną przyczyną kwaśnych deszczów
- azbest – włóknisty minerał, do niedawna stosowany w budownictwie, prowadzący do pylicy azbestowej, nowotworów krtani i płuc
- benzopiren – produkt przeróbki węgla, składnik spalin samochodowych i dymu papierosowego, o silnych właściwościach rakotwórczych
- smog fotochemiczny – mgła zawierająca zanieczyszczenia (mieszanina dwutlenku siarki, tlenku azotu i benzopirenu oraz drobin pyłów), która powoduje podrażnienia oczu i skóry, kaszel, bóle w klatce piersiowej oraz bóle głowy, duszności, astmę, bronchit, zaostrzenie przewlekłego zapalenia oskrzeli, a także zwiększa ryzyko zapadalności na nowotwory płuc
- tlenek węgla (czad) – bezwonny i bezbarwny gaz, który powstaje w procesie spalania węgla i innych paliw, podczas pożarów, gdy brakuje wystarczającej ilości tlenu, a także w domowych urządzeniach grzewczych; zdolność do łączenia się z hemoglobiną wynosi ok. 200 razy więcej w porównaniu z tlenem, powoduje niedotlenienie organizmu, a nawet śmierć

Dym tytoniowy

Bardzo niebezpieczne dla zdrowia jest palenie papierosów. W dymie tytoniowym znajduje się ok. 400 związków chemicznych, z których większość jest toksyczna, kilkadziesiąt ma działanie rakotwórcze, a kilkanaście to pierwiastki metali ciężkich (m.in. ołowiu, kobaltu, niklu, kadmu, rtęci).



Skutki biernego palenia

– zwiększenie prawdopodobieństwa zachorowania na raka płuc, chorobę niedokrwienną serca, przewlekłe zapalenie ucha środkowego;

– podrażnienie błony śluzowej nosa, pieczenie i łzawienie oczu, kaszel, astma, uczulenia, nawracające infekcje układu oddechowego.

Wybrane choroby układu oddechowego

Nazwa choroby	Przyczyny	Objawy	Profilaktyka
grypa	zobacz rozdz. 4.2.		
przeziębienie	• zakażenie przez liczne i różne gatunki wirusów głównie drogą kropelkową	• objawy nasilają się stopniowo • intensywny katar • temperatura powyżej 38°C • ogólne zmęczenie • bóle głowy i gardła • kaszel	• unikanie kontaktu z chorym • zdrowe odżywianie • aktywny tryb życia • wzmacnianie układu odpornościowego
angina (zapalenie migdałków podniebiennych)	• zakażenie bakteriami, najczęściej paciorkowcami lub wirusami drogą kropelkową	• temperatura powyżej 38°C • ból gardła (często podczas połykania) • ból głowy, mięśni i stawów • kaszel, chrypka • powiększone i bolesne węzły chłonne szyjne	• unikanie kontaktu z chorym • unikanie spożywania zimnych potraw i płynów
zapalenie oskrzeli	• wirusowe lub rzadziej bakteryjne, drogą kropelkową	• gorączka, bóle mięśni, dreszcze • kaszel z wykształtuszaniem ropnej lub śluzowej wydzieliny	• unikanie silnie zanieczyszczonego środowiska • niepalenie papierosów • leczenie przeziębienia i grypy • zdrowe odżywianie • aktywny tryb życia • wzmacnianie układu odpornościowego
astma oskrzelowa (dychawica oskrzelowa)	• alergeny (np. pyłki roślin i zarodniki grzybów, sierść zwierząt, odchody roztoczy), dym papierosowy • zanieczyszczenia powietrza i gleby • czynniki genetyczne	• trudności w oddychaniu wywołane zwężaniem światła oskrzeli • ataki duszności, zwłaszcza w godzinach nocnych, silny kaszel, świszczący oddech, uczucie ściskania w klatce piersiowej	• unikanie czynników powodujących ataki duszności • niepalenie papierosów • stosowanie leków antyalergicznych i rozszerzających oskrzela
pylica płuc	• wieloletnie wdychanie pyłu, np. węglowego, azbestu, krzemionki, aluminium	• duszność • uciążliwy kaszel • stan podgorączkowy • ból w klatce piersiowej • rozedma płuc • częste zapalenie oskrzeli	• stosowanie odzieży i masek ochronnych u osób narażonych na działanie pyłów • częste badania kontrolne u osób narażonych na działanie pyłów • niepalenie papierosów • usuwanie ze środowiska szkodliwego pyłu

Nazwa choroby	Przyczyny	Objawy	Profilaktyka
zapalenie płuc	• bakteryjne, wirusowe drogą kropelkową	• gorączka, osłabienie, bóle mięśni • kaszel suchy, a następnie z odksztuszaniem śluzowej lub ropnej wydzieliny • duszności • ból w klatce piersiowej przy oddychaniu	• zdrowe odżywianie • aktywny tryb życia • wzmacnianie układu odpornościowego • wietrzenie pomieszczeń • regularne szczepienia przeciw grypie oraz paciorkowcom
przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP)	• palenie papierosów • zanieczyszczone powietrze • przewlekły stan zapalny dróg oddechowych • bierne palenie • astma • czynniki genetyczne	• przewlekły kaszel • duszność podczas wysiłku • odksztuszanie śluzowatej plwociny, często przechodzącej w ropną • świsty i furczenia podczas oddechu	• niepalenie papierosów, także bierne • unikanie przebywania w miejscach o dużym zanieczyszczeniu powietrza • szczepienia ochronne zapobiegające infekcjom dróg oddechowych (grypa, pneumokoki, COVID-19)
rak płuc	• czynniki genetyczne • palenie tytoniu (w tym bierne) • zanieczyszczenie środowiska • inne choroby, np. gruźlica, przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP)	• kaszel, chrypka, duszności • krwioplucie • bolesność w klatce piersiowej • nawracające zapalenie oskrzeli lub płuc • obrzęk szyi i twarzy • brak apetytu, chudnięcie	• niepalenie papierosów, także bierne • unikanie przebywania w miejscach o dużym zanieczyszczeniu powietrza • okresowe prześwietlenia klatki piersiowej

Profilaktyka chorób układu oddechowego

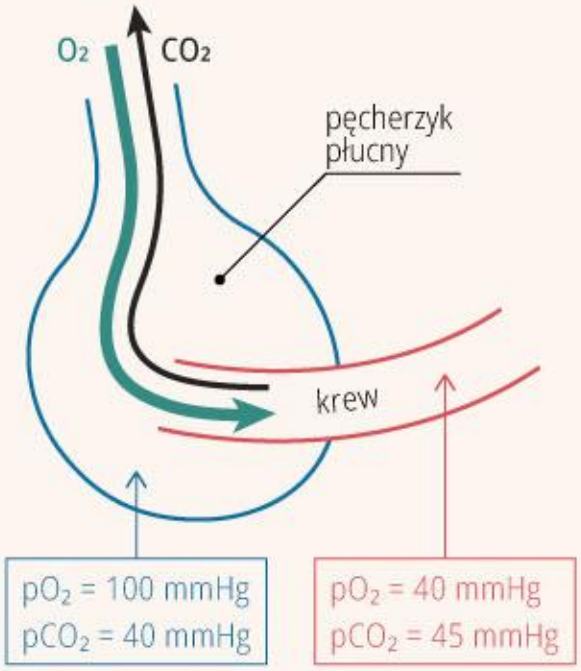
W profilaktyce chorób układu oddechowego bardzo duże znaczenie mają badania, takie jak prześwietlenie klatki piersiowej (RTG), spirometria i bronchoskopia.

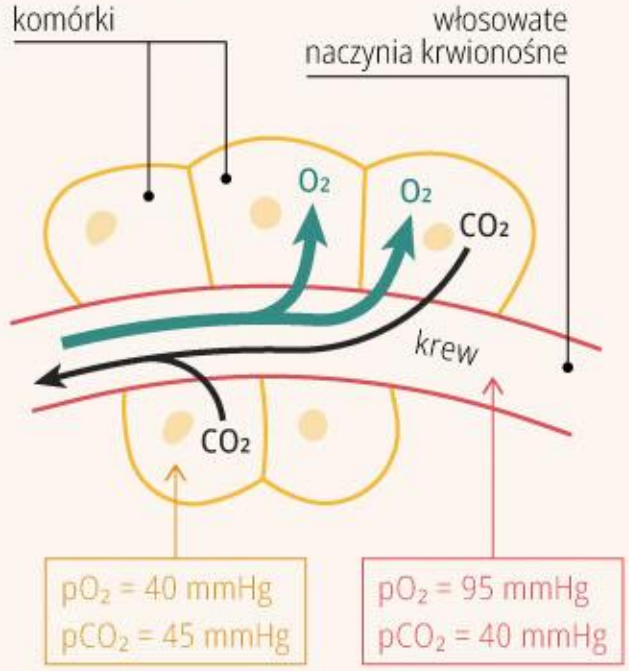
RTG klatki piersiowej	Spirometria	Bronchoskopia
• prześwietlenie promieniami rentgenowskim klatki piersiowej • **wskazania** – zapalenie płuc i gruźlica płuc, choroby nowotworowe układu oddechowego	• pomiar pojemności płuc i szybkości przepływu powietrza przez drogi oddechowe • **wskazania** – astma oskrzelowa i przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP)	• badanie endoskopowe wnętrza dróg oddechowych • pozwala usunąć wydzielinę, krew, obce ciała, pobrać wycinki tkanek do badania histopatologicznego, bakteriologicznego • **wskazania** – wykrywanie nowotworów dróg oddechowych, usuwanie wydzieliny zalegającej w drogach oddechowych lub przedmiotów, które dostały się przypadkowo do dróg oddechowych

Transport gazów oddechowych

Wymiana gazowa jest wynikiem różnicy ciśnień cząstkowych (parcjalnych) gazów oddechowych i zachodzi ze środowiska o wyższym ciśnieniu cząstkowym do środowiska o niższym ciśnieniu cząstkowym w celu wyrównania ciśnień.

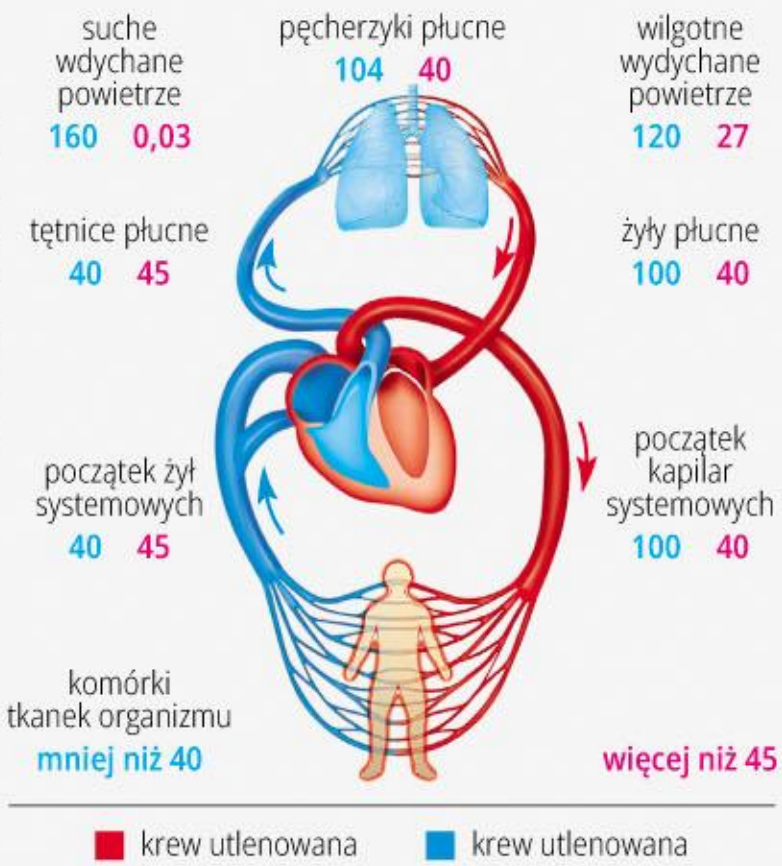
Wymiana gazowa	
zewnętrzna	**wewnętrzna**
• zachodzi między pęcherzykami płucnymi a krwią • tlen z powietrza wypełniającego pęcherzyki płucne dyfunduje do krwi płynącej w naczyniach włosowatych oplatających pęcherzyki płucne, a dwutlenek węgla – w kierunku przeciwnym	• zachodzi między komórkami a krwią • krew z płuc po wysyceniu tlenem zostaje odprowadzona do lewej komory serca, skąd jest kierowana do tkanek ciała, gdzie oddaje tlen niezbędny do oddychania komórkowego, a pobiera powstający podczas tego procesu dwutlenek węgla



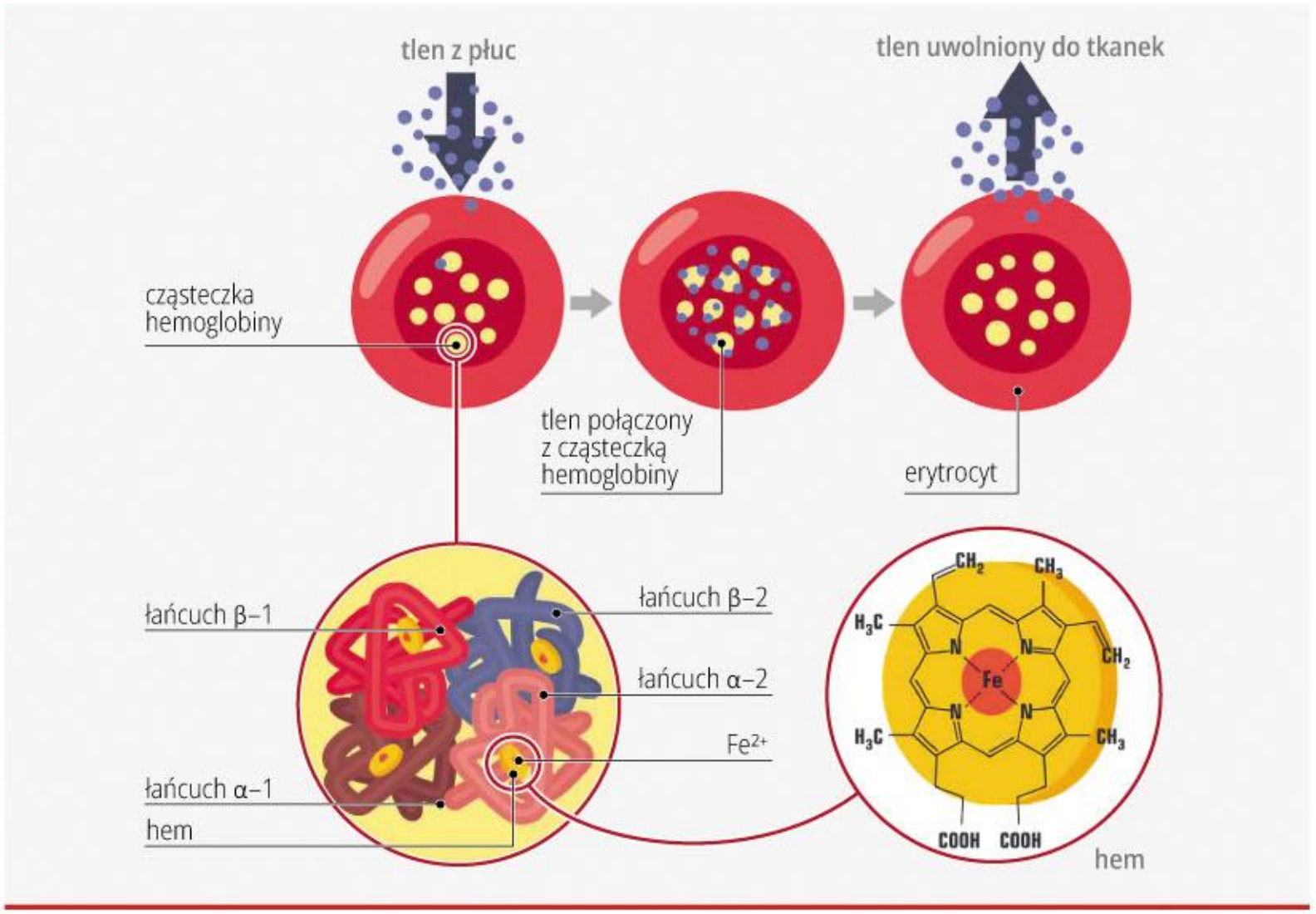


Wymiana gazowa w tkankach i pęcherzykach płucnych

Transport gazów oddechowych zachodzi w organizmie przy udziale osocza krwi oraz zawartego w erytrocytach barwnika oddechowego – hemoglobiny (Hb). **Cząsteczka hemoglobiny** (Hb) jest zbudowana z dwóch par białkowych podjednostek. Każda z nich zawiera niebiałkową grupę hem, w której centrum znajduje się jon żelaza (Fe^{2+}) umożliwiający wiązanie cząsteczki tlenu. Cząsteczka hemoglobiny może przyłączyć od 1 do 4 cząsteczek tlenu.



Procentowy udział gazów oddechowych wyznacza ich ciśnienie cząstkowe. Od różnicy ciśnienia cząstkowego między pęcherzykiem płucnym, krwią a komórką ciała zależy wewnętrzna wymiana gazowa.



Transport tlenu

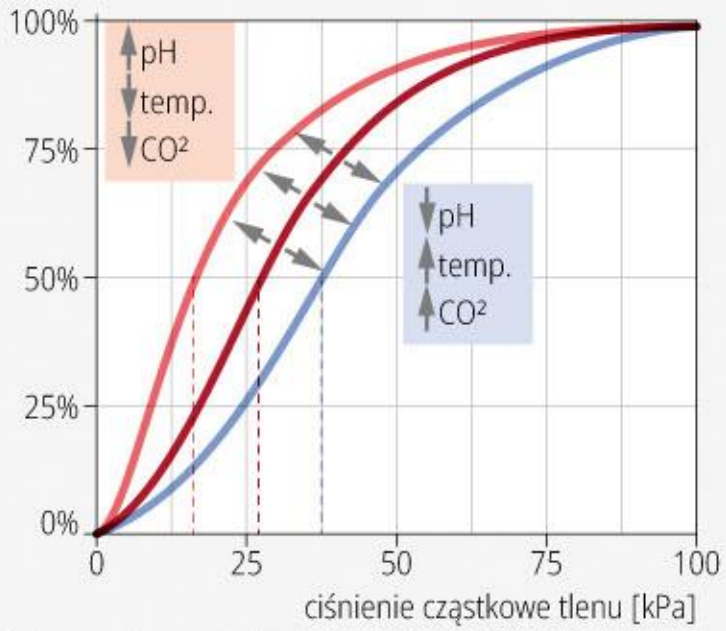
Ciśnienie cząstkowe tlenu jest większe w pęcherzyku płucnym niż we krwi naczyń włosowatych. W związku z tym cząsteczki tlenu łatwiej przenikają przez ścianę pęcherzyka płucnego, rozpuszczając się w osoczu i dyfundując do erytrocytów.

Hemoglobina nietrwale łączy się z tlenem w procesie zwanym **utlenowaniem** (dla odróżnienia od trwałego utleniania ze zmianą wartościowości żelaza zawartego w centrum aktywnym hemoglobiny).

Połączenie hemoglobiny z tlenem nazywamy **oksyhemoglobiną** (HbO_2).

$Hb + 4O_2 \rightarrow Hb(O_2)_4$

Oksyhemoglobina wiąże 97% tlenu. Zdolność wiązania hemoglobiny z tlenem zależy od **pH**, **temperatury** i **stężenia dwutlenku węgla**.

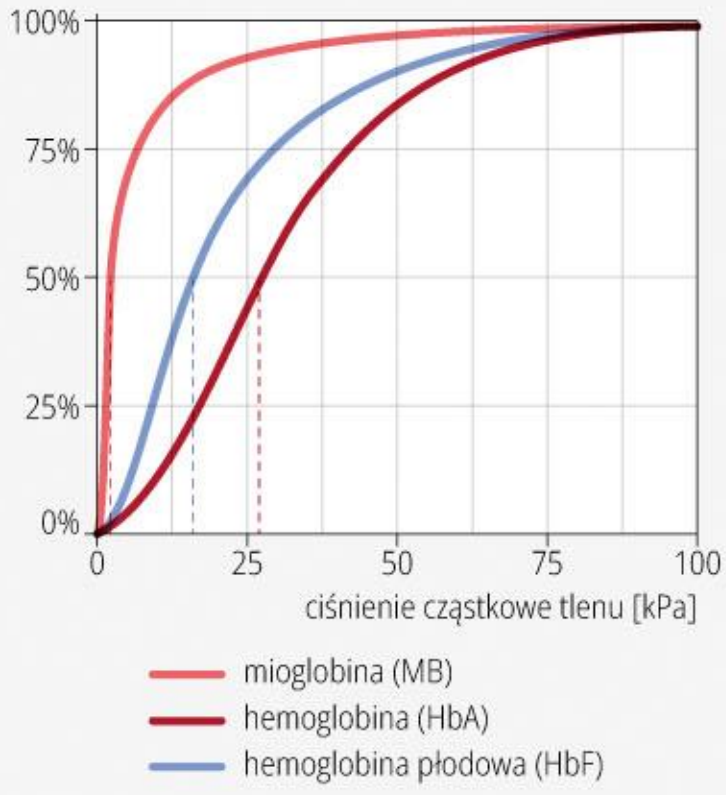


Porównanie tempa uwalniania tlenu z hemoglobiny w zależności od pH, temperatury i stężenia dwutlenku węgla. Dwutlenek węgla łączy się w osoczu krwi z wodą, tworząc kwas węglowy, który powoduje zakwaszenie krwi (spadek pH). W takim środowisku hemoglobina łatwiej oddaje tlen. Prawa strona wykresu przedstawia czynniki sprzyjające wiązaniu tlenu, a lewa strona – czynniki sprzyjające oddawaniu tlenu przez hemoglobinę (↑ – wzrost, ↓ – spadek). Zależność między poziomem pH krwi a zdolnością hemoglobiny do dysocjacji nazywamy efektem Bohra.

W komórkach mięśni występuje **mioglobina**, która wiąże się odwracalnie z tlenem i stanowi jego zapas przy intensywnej pracy mięśni. Mioglobina ma większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina. Kiedy krew z tlenem przepływa przez mięśnie, następuje odłączenie tlenu od hemoglobiny i wiązanie z mioglobiną. Odwrotna reakcja jest możliwa w warunkach niskiego ciśnienia cząstkowego tlenu w mięśniach.

Porównanie wiązania tlenu przez różne rodzaje hemoglobiny

Podczas wzrostu ciśnienia cząstkowego tlenu więcej tlenu wiąże się z hemoglobiną. Hemoglobina występująca u płodu ma duże powinowactwo do tlenu i przenosi go w większej ilości niż hemoglobina matki. Największe powinowactwo do tlenu ma mioglobina.



Transport dwutlenku węgla

Cząsteczki dwutlenku węgla dyfundują odwrotnie z osocza krwi do pęcherzyka płucnego, skąd są usuwane z powietrzem wydychanym. Większe ciśnienie cząstkowe dwutlenku węgla w tkankach niż w osoczu krwi sprawia, że dwutlenek węgla przenika do krwi. Dwutlenek węgla jest transportowany w różnych postaciach:

1. Około 20% dwutlenku węgla przechodzi do erytrocytów, w których łączy się z hemoglobiną i tworzy **karbaminohemoglobinę ($HbCO_2$)**.

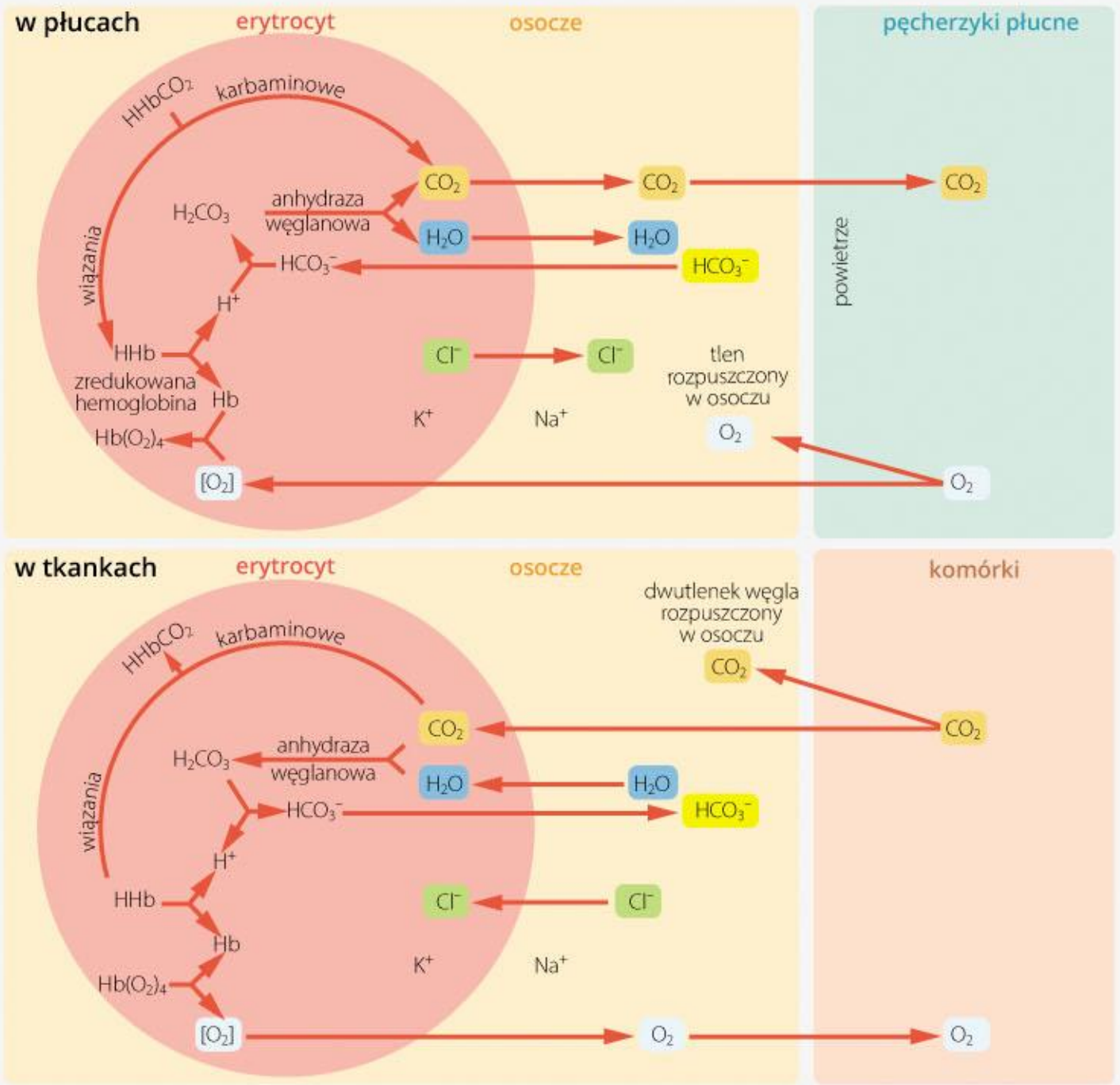
$$Hb + CO_2 \rightarrow HbCO_2$$

2. Około 70% dwutlenku węgla gromadzi się w postaci **jonów wodorowęglanowych**, które są efektem dysocjacji kwasu węglowego. Kwas węglowy powstaje po wniknięciu dwutlenku węgla do erytrocytu i połączeniu z wodą, a powstałe aniony wodorowęglanowe przenikają do osocza. Reakcja syntezy kwasu węglowego zachodzi dzięki enzymowi – **anhydrazie węglanowej** – zawartemu w cytoplazmie erytrocytów.

$$CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H^+$$

W płucach z jonów wodorowęglanowych i protonów wodorowych powstaje nietrwały kwas węglowy, który natychmiast się rozpada, uwalniając dwutlenek węgla i wodę, a z cząsteczki karbaminohemoglobiny są uwalniane dwutlenek węgla i woda. W wyniku tych reakcji dwutlenek węgla wydostaje się z powietrzem wydychanym z płuc na zewnątrz.

3. Około 10% dwutlenku węgla jest **rozpuszczone fizycznie w osoczu krwi**.



Transport tlenku węgla

Hemoglobina wykazuje wyższe powinowactwo do tlenku węgla (czadu) niż do tlenu. W wyniku takiego połączenia powstaje **karboksyhemoglobina (HbCO)**, która nie może dalej wiązać tlenu. Prowadzi to do niedotleniania i może spowodować śmierć.

Wpływ zmian ciśnienia zewnętrznego na wymianę gazową

Ciśnienie zewnętrzne		
Spadek	**Wzrost**	**Nagły spadek**
• warunki wysokogórskie • zwiększanie częstości oddechów i skurczów serca w celu poprawienia wentylacji płuc jako adaptacja do warunków • zwiększona produkcja erytrocytów i hemoglobiny przy dłuższym niedotlenieniu • przy spadku wysycenia krwi tętniczej hemoglobiną do poziomu 40–50% następuje utrata świadomości	• podczas nurkowania na dużych głębokościach • wzrost rozpuszczalności gazów zawartych w powietrzu oddechowym, szczególnie azotu • działanie azotu na głębokościach od 30 m można powodować tzw. **narkozę azotową** – stan porównywany do upojenia alkoholowego (uczucie radości, dobrego samopoczucia, euforii, senności)	• podczas nagłego wynurzania się z wody • zmniejszenie rozpuszczalności azotu we krwi i płynach tkankowych powoduje wydzielanie się z płynów jego pęcherzyków, które uszkadzają tkanki • zatory gazowe blokują przepływ krwi w naczyniach krwionośnych – tzw. **choroba dekompresyjna** lub **kesonowa** (ból i zawroty głowy, utrata świadomości, paraliż ciała, a nawet śmierć) • zatory w naczyniach krwionośnych ośrodkowego układu nerwowego mogą prowadzić do paraliżu

8.8. Transport wewnętrzny u zwierząt

Płyny ciała

W układach krwionośnych zwierząt znajdują się następujące płyny:
- hemolimfa – krąży w jamach ciała części zwierząt bezkręgowych z otwartym układem krążenia (pełni funkcję limfy oraz krwi);
- krew – występuje u zwierząt z zamkniętym układem krążenia – wszystkich kręgowców i części bezkręgowców;
- limfa – krąży w naczyniach limfatycznych wszystkich kręgowców.

Funkcje płynów ciała

- tworzą środowisko wewnętrzne ciała;
- u części zwierząt pełnią funkcję szkieletu hydraulicznego;
- odpowiadają za transport substancji odżywczych, tlenu i dwutlenku węgla (dzięki zawartości barwników oddechowych), produktów przemiany materii, substancji regulatorowych (np. hormonów);
- wyrównują temperaturę w różnych częściach ciała;
- zawierają komórki odpowiedzialne za odporność organizmu.

W hemolimfie i krwi zwierząt są rozpuszczone **barwniki oddechowe**. Są to substancje białkowe odpowiedzialne za wiązanie gazów oddechowych, zawierające grupy związane z jonami żelaza lub miedzi. U bezkręgowców (pierścienic, mięczaków i części stawonogów) występują w osoczu, a u kręgowców – w krwinkach czerwonych. Do barwników oddechowych zwierząt należą:
- **hemocyjanina** (niebieska) – zawiera miedź, występuje u mięczaków i skorupiaków;
- **hemoerytryna** (różowa) – zawiera żelazo, występuje u wieloszczetów;
- **chlorokruoryna** (zielona) – zawiera żelazo, występuje u niektórych wieloszczetów;
- **hemoglobina** (czerwona) – zawiera żelazo, występuje u kręgowców i niektórych bezkręgowców (niektóre mięczaki, skorupiaki i szkarłupnie);
- **mioglobina** (czerwona) – zawiera żelazo, występuje w mięśniach ssaków.

Porównanie typów układów krążenia

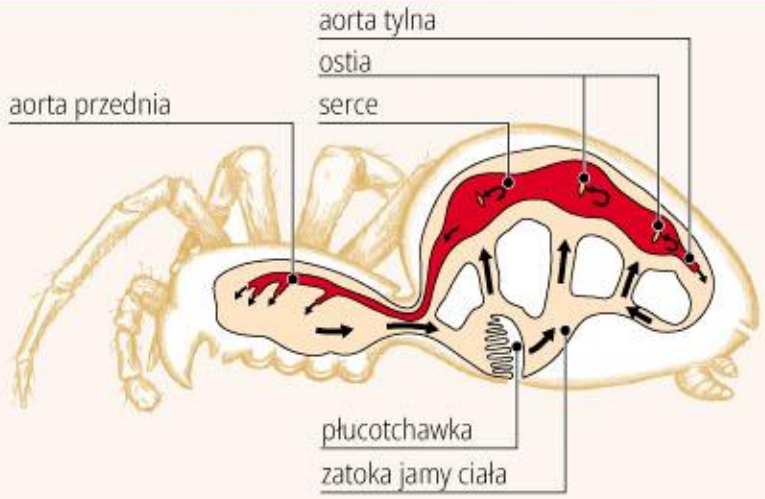
Stopień rozwoju układu krążenia zwierząt jest związany ze sposobem oddychania:
- zwierzęta o małych rozmiarach ciała i mało aktywne, oddychające całą powierzchnią ciała, często nie wykształciły układu krwionośnego;
- zwierzęta oddychające tchawkami mają zredukowany układ krwionośny, ponieważ tchawki bezpośrednio dostarczają tlen do tkanki bez udziału krwi;
- zwierzęta duże, aktywne oddychające skrzelami lub płucami, mają zwykle dobrze rozwinięty układ krwionośny, w którym krew pośredniczy pomiędzy układem oddechowym i tkankami.

U zwierząt występują dwa typy układów krwionośnych: otwarty i zamknięty

Układ krwionośny	
otwarty	**zamknięty**
• serce położone zwykle po grzbietowej stronie ciała • serce oraz naczynia krwionośne otwierają się do jamy ciała • hemolimfa – płyn krążący w układzie krążenia i jamie ciała • ciśnienie hemolimfy – niskie, a jej przepływ – powolny • skurcze serca naczyniami krwionośnymi do jamy ciała tłoczą hemolimfę, która obmywa narządy wewnętrzne, gdzie następuje wymiana substancji między hemolimfą a komórkami • rozkurcz serca wciąga hemolimfę do serca, a ruchy ciała zwierzęcia uciskają na jamy, co ułatwia krążenie hemolimfy • **ograniczone dostarczanie tlenu do tkanek ciała** • występuje u zwierząt bezkręgowych – stawonogów, mięczaków (z wyjątkiem głowonogów – prawie zamknięty) i szkarłupni	• serce położone zwykle po brzusznej stronie ciała • krew – płyn wypełniający układ krwionośny • krew krąży wyłącznie w naczyniach krwionośnych, różni się od płynu tkankowego • ciśnienie krwi – wysokie, a jej przepływ – szybki • serce pompuje krew do dużych naczyń krwionośnych, które rozgałęziają się na mniejsze w narządach, gdzie następuje wymiana między krwią a komórkami ciała • **bardzo ważny w rozprowadzaniu tlenu po organizmie** • występuje u pierścienic oraz wszystkich kręgowców

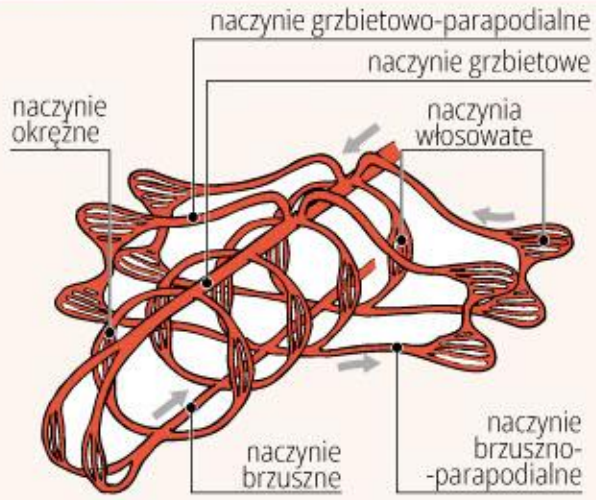
Układ krwionośny

otwarty



Układ krwionośny otwarty – pająk

zamknięty



Układ krwionośny zamknięty – wieloszczet

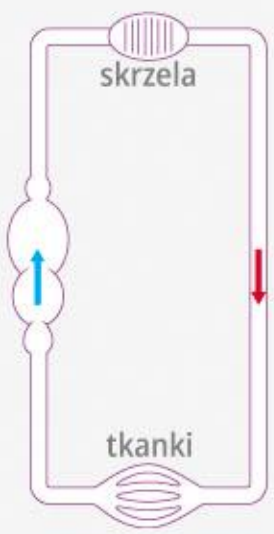
Układy krwionośne zwierząt

Typ układu	Grupa zwierząt	Charakterystyka
otwarty	stawonogi	serce z ostami zaopatrzonymi w zastawki, przepływ hemolimfy następuje w wyniku skurczów serca
	mięczaki	serce zbudowane z komory i przedsionków, krew przepływa w wyniku skurczu serca
	szkarłupnie	brak serca, u niektórych funkcję układu pełni układ wodny
zamknięty	pierścienice	brak serca, przepływ krwi w wyniku skurczu ścian niektórych naczyń
	ryby	serce zbudowane z zatoki żylnej, przedsionka, komory – przepływa przez nie tylko krew odtlenowana (tzw. serce żylne), jeden obieg krwi
	płazy	serce zbudowane z jednej komory i dwóch przedsionków, krew wzbogacana w tlen w naczyniach włosowatych skóry, dwa obiegi krwi
	gady	serce zbudowane z jednej komory z niepełną przegrodą i dwóch przedsionków (u krokodyli pełna przegroda), dwa obiegi krwi
	ptaki	serce zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór, dwa obiegi krwi
	ssaki	serce zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór, dwa obiegi krwi

Ewolucja układu sercowo-naczyniowego u kręgowców

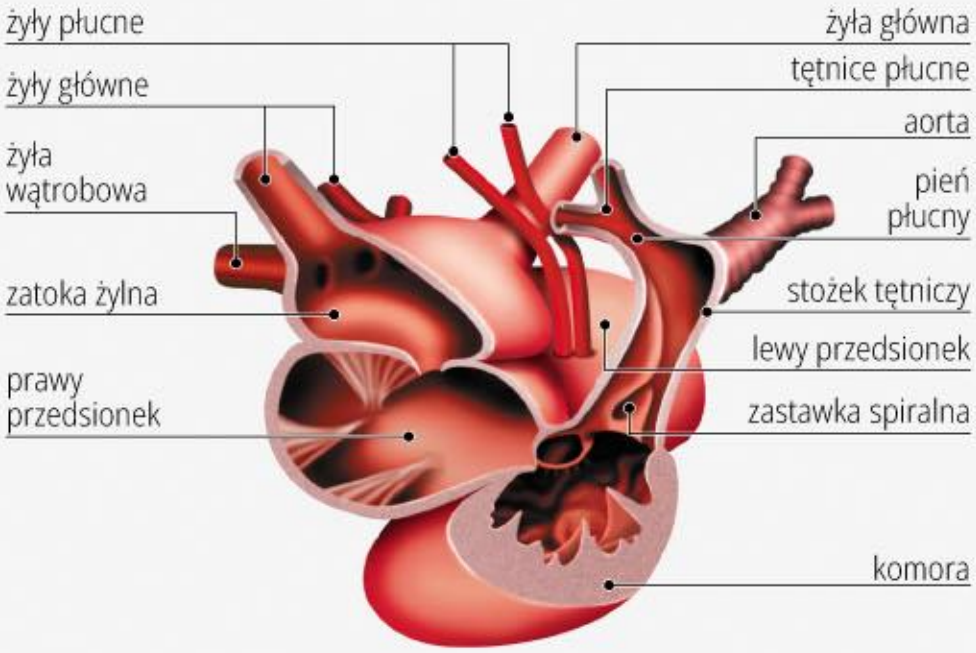
Ryby

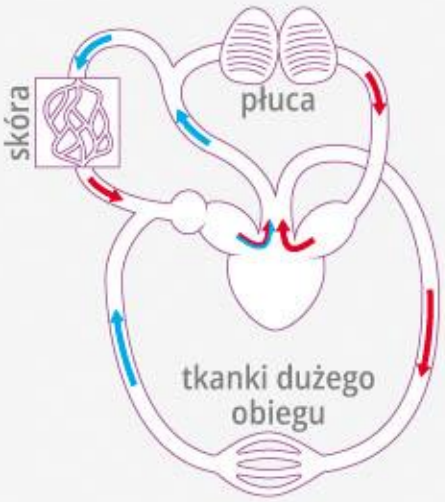




Krew w wyniku skurczu przedsionka przepływa do komory, z której płynie do skrzeli. Tam ulega utlenieniu i następnie przepływa do poszczególnych narządów ryby. Po wymianie gazowej krew powraca do serca do zatoki żylnej, z której przepływa do przedsionka serca.

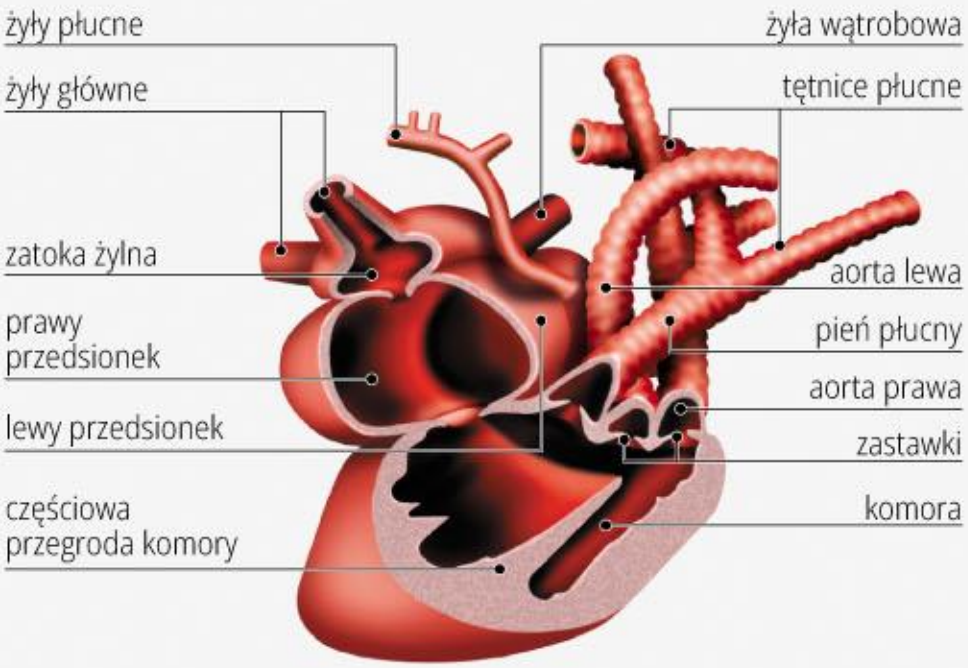
Płazy

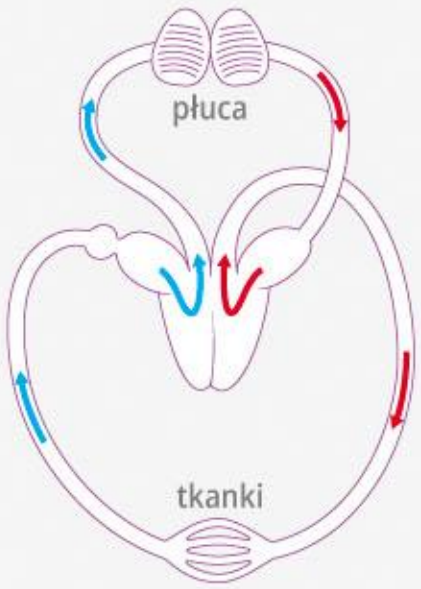




U płazów krew krąży w **dwóch obiegach**: **płucnym** (małym) i **ustrojowym** (dużym). Krew utlenowana i odtlenowana zostają częściowo rozdzielone. W obiegu płucnym krew z komory serca tętnicą płucną przepływa do płuc, gdzie natlenia się i wraca żyłami płucnymi do lewego przedsionka, a z niego przepływa do komory. W obiegu dużym krew z komory płynie do aorty, która rozgałęzia się na mniejsze naczynia docierające do poszczególnych części ciała. Po wymianie gazowej żyłami wraca do zatoki żylnej, skąd jest prowadzona do prawego przedsionka, a następnie do komory. Krew odtlenowana opuszcza komorę pierwsza i dostaje się do stożka tętniczego, w którym znajduje się zastawka zapobiegająca mieszaniu się krwi. Krew odtlenowana płynie do obiegu płucnego w płucach i w skórze.

Gady



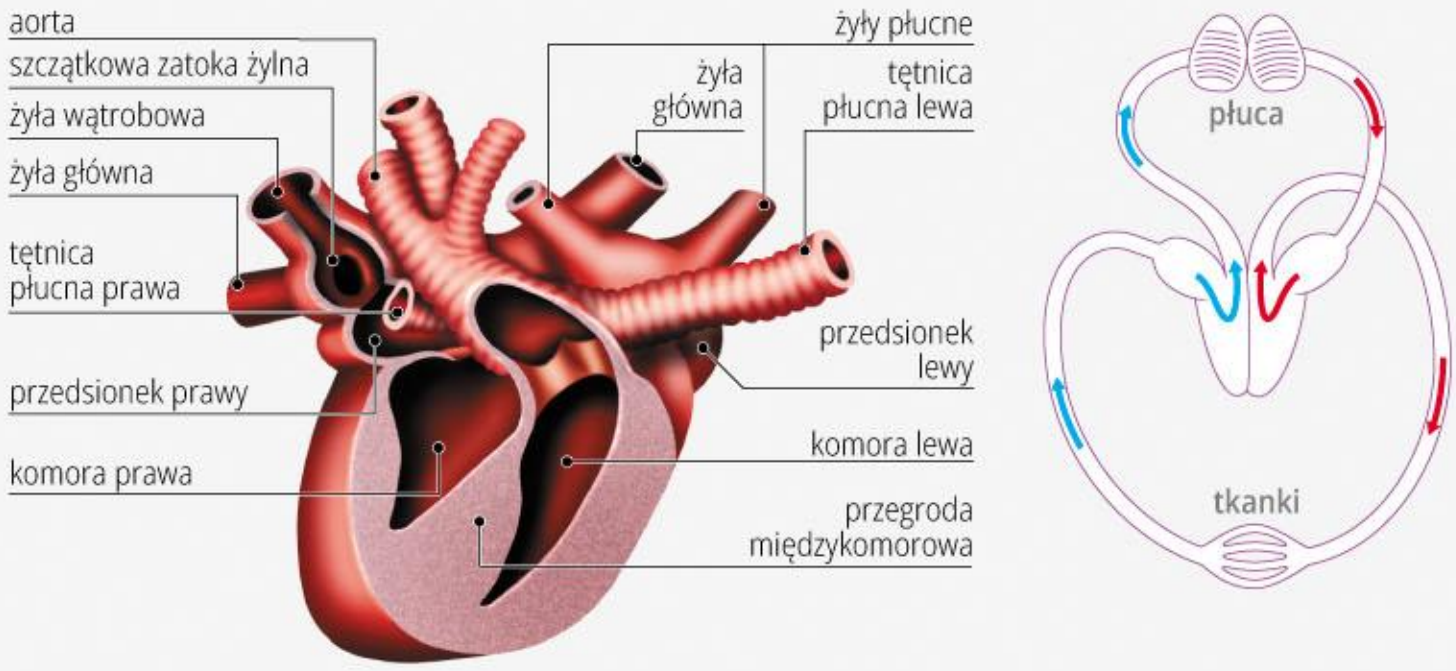


U gadów zatoka żylna jest bardzo zmniejszona i wpływa do niej krew wracająca z dużego obiegu krwi. Stożek tętniczy rozdzielił się na dwa naczynia: tętnicę płucną i aortę. Aorta dzieli się na łuki prawy i lewy. W łuku prawym płynie krew utlenowana, a w lewym – krew mieszana. U niektórych gadów, np. aligatorów i kajmanów, przegroda w komorze serca jest całkowita, jednak mieszanie krwi utlenowanej i odtlenowanej zachodzi w miejscu, w którym tętnice opuszczają serce.

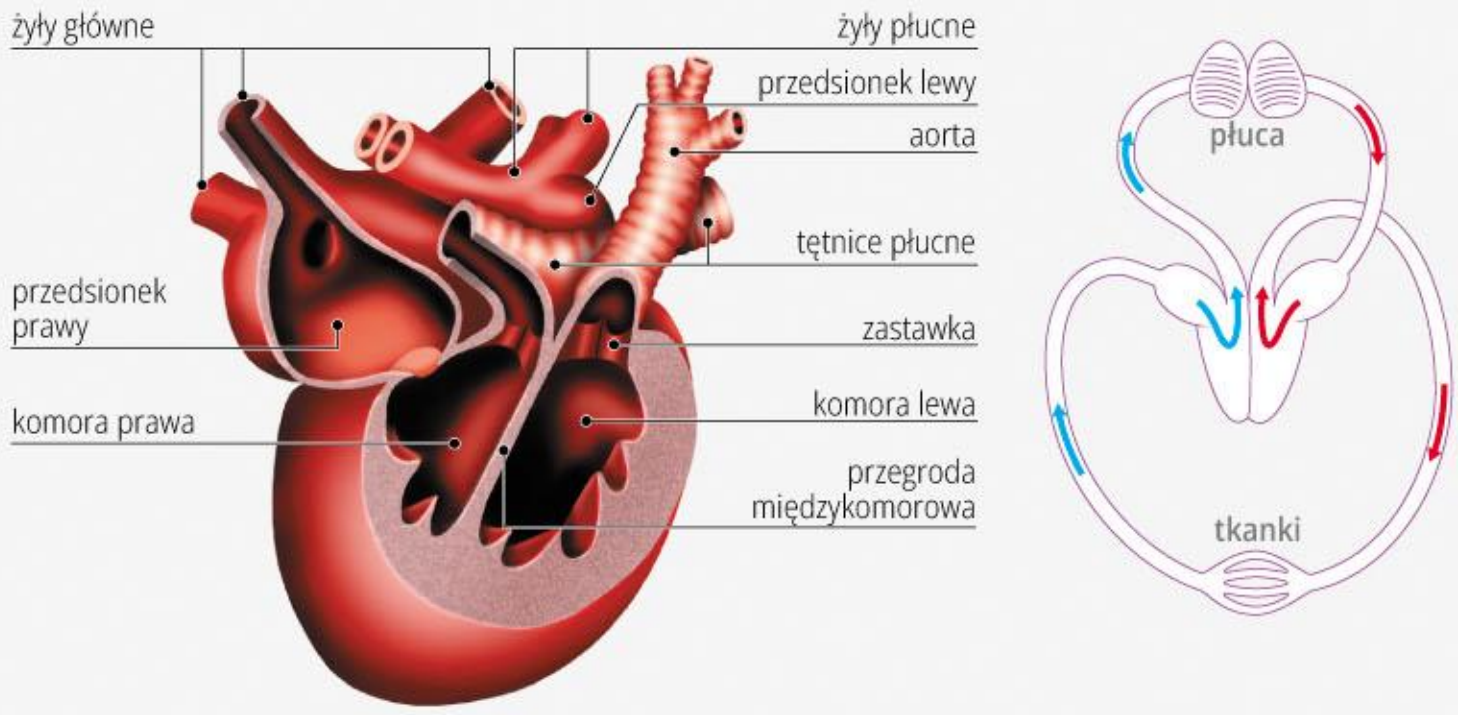
Ptaki i ssaki

U ptaków i ssaków przegroda w komorze serca jest pełna. Obecność przegrody międzykomorowej zapobiega mieszaniu się krwi tętniczej z krwią żylną. Do lewej strony serca dopływa krew utlenowana i taka krew zostaje tam przepompowana, a prawa strona serca otrzymuje krew odtlenowaną i taką dalej przepompowuje. **Stożek tętniczy** w sercu uległ rozdzieleniu – dał początek największej tętnicy – aorcie – i pniowi płucnemu. Z dwóch łuków aorty występujących w sercu gadów u ptaków pozostał tylko **łuk prawy**, a u ssaków – **lewy**. W sercu ptaków i ssaków zanika zatoka żylna – pozostałością po niej jest **węzeł zatokowo-przedsionkowy**. U ssaków u nasady aorty i tętnicy płucnej występują zastawki półksiężycowate: w prawej części serca znajduje się zastawka trójdzielna, a w lewej – dwudzielna. Zapewniają one jednostronny ruch krwi w sercu. Duża wydajność układu krążenia ssaków wynika także z małych rozmiarów erytrocytów, które są pozbawione jądra komórkowego, co usprawnia transport tlenu. Dzięki rozdzieleniu serca pełną przegrodą krew dwukrotnie przepływa przez narząd podczas obiegu. Ze względu na taką budowę serca ptaki i ssaki mają wyższe ciśnienie w obiegu ustrojowym niż w płucnym. Usprawnia to transport gazów oddechowych i substancji odżywczych po całym organizmie oraz pozwala osiągnąć **wysokie tempo metabolizmu i utrzymać stałocieplność**.

Ptaki



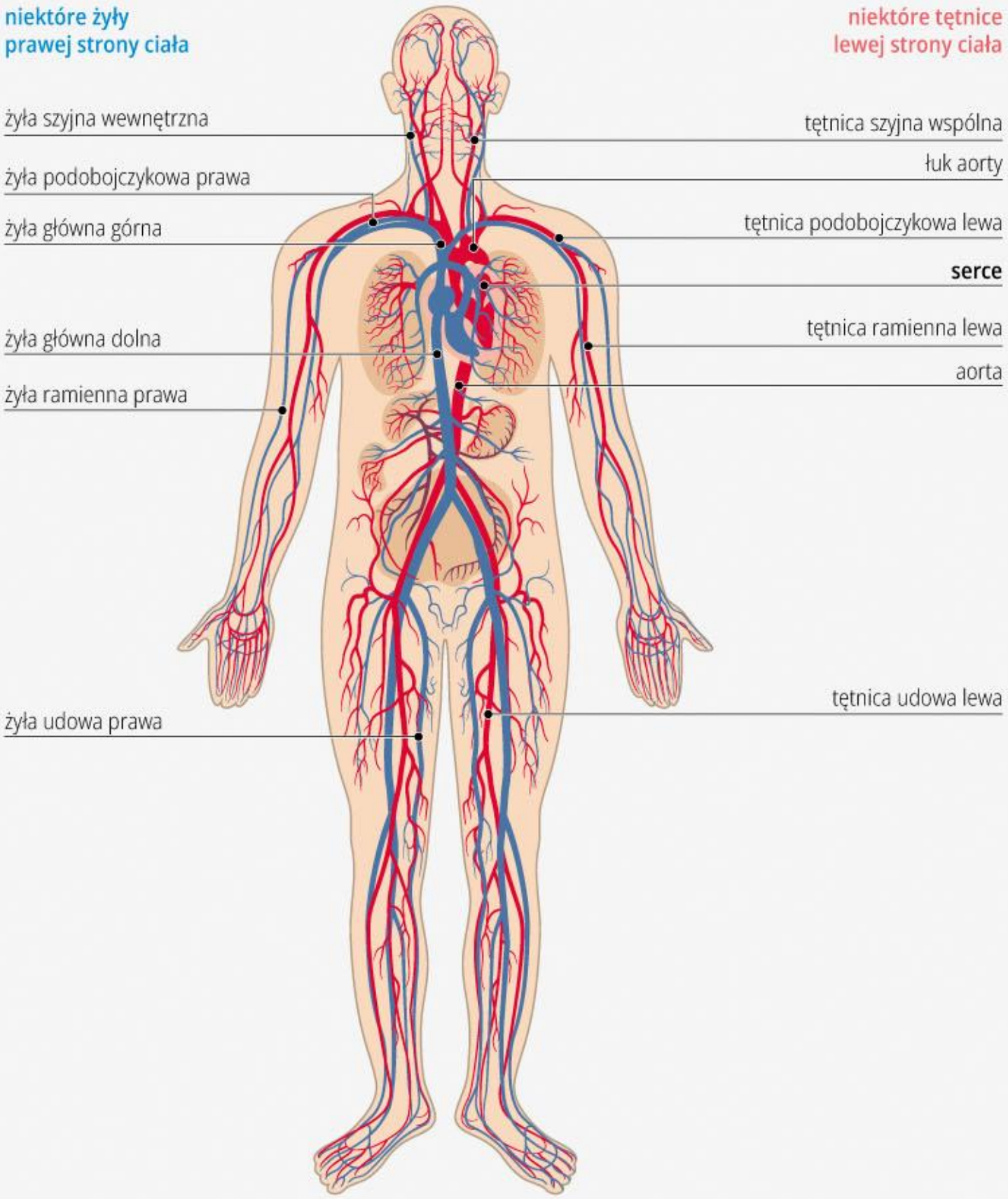
Ssaki



8.9. Budowa i funkcje układu krwionośnego u człowieka

Budowa układu krwionośnego

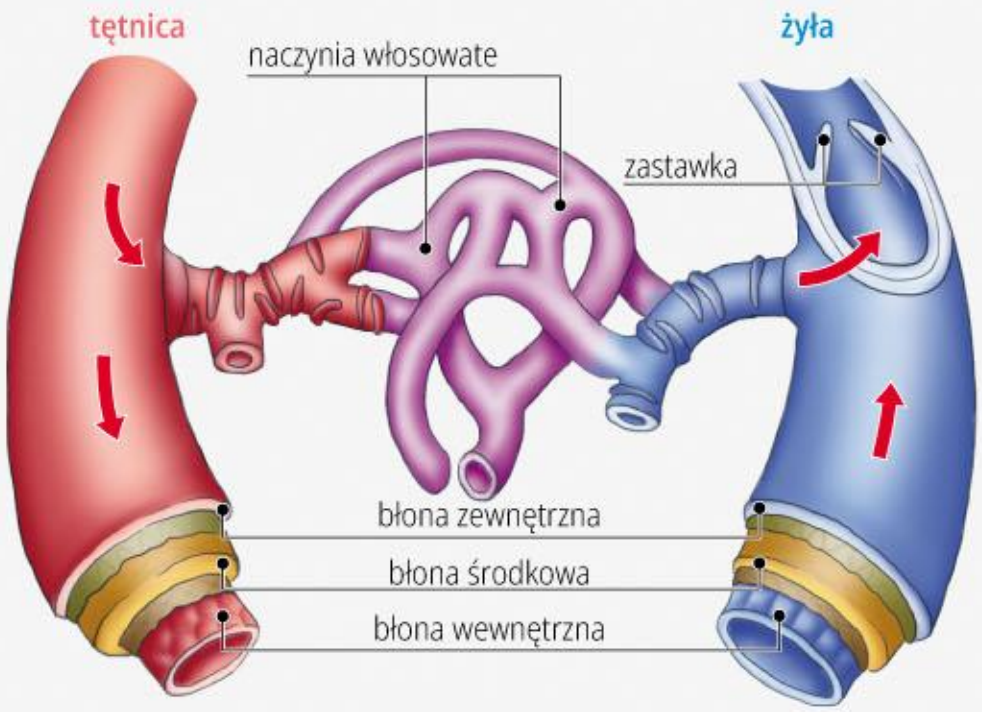
Układ krwionośny jest zbudowany z **serca i naczyń krwionośnych**: **tętnic, żył i naczyń włosowatych** (kapilarnych). Ponieważ krew krąży tylko w sercu i naczyniach krwionośnych, układ krwionośny jest układem zamkniętym.



Naczynia krwionośne

Wyróżnia się trzy rodzaje naczyń krwionośnych: **żyły**, **tętnice** i **naczynia włosowate**. Ściany naczyń są zbudowane z według podobnego schematu, a różnice w wykształceniu ich warstw wynikają z funkcji, jaką pełnią poszczególne naczynia, oraz panującego w nich ciśnienia krwi. Wyróżnia się:

- **błonę zewnętrzną** – zbudowaną z tkanki łącznej, zaopatrzonej w liczne włókna kolagenowe umożliwiające rozciąganie naczyń;
- **błonę środkową** – zbudowaną z włókien mięśni gładkich oraz włókien sprężystych, co pozwala na regulację światła naczyń i przepływu krwi;
- **błonę wewnętrzną** – zbudowaną z nabłonka jednowarstwowego płaskiego (tzw. śródbłonka), który ułatwia wymianę substancji oraz zapobiega powstawaniu przyściennych zakrzepów.



Porównanie naczyń krwionośnych

Cecha	Tętnice	Żyły	Naczynia włosowate
kierunek transportu krwi	z serca do narządów i tkanek (wychodzą z komór serca)	do serca z narządów i tkanek (wchodzą do przedsionków serca)	wymiana substancji między krwią a tkankami
ciśnienie krwi	wysokie	niskie	najniższe
budowa ścian	trzy warstwy, środkowa najgrubsza zbudowana z mięśni gładkich i włókien sprężystych	trzy warstwy, środkowa cienka, zawiera mało mięśni gładkich, a więcej tkanki łącznej	• jedna warstwa komórek • zaopatrzone w liczne pory umożliwiające wymianę substancji między krwią a tkankami
przekrój	okrągły	wąski, liczne zakręty sieci, co zmniejsza szybkość przepływu krwi i ułatwia przenikanie substancji przez śródbłonek	owalny
obecność zastawek	brak, ściany nie zapadają się	obecne, ściany zapadają się	brak
funkcje	transportują krew utlenowaną (wyjątek – tętnica płucna)	transportują krew odtlenowaną (wyjątek – żyła płucna)	• przekazują komórkom substancje energetyczne (np. glukozę), budulcowe (np. aminokwasy), regulujące (np. hormony) • zabierają z komórek dwutlenek węgla, produkty przemiany materii oraz energię cieplną

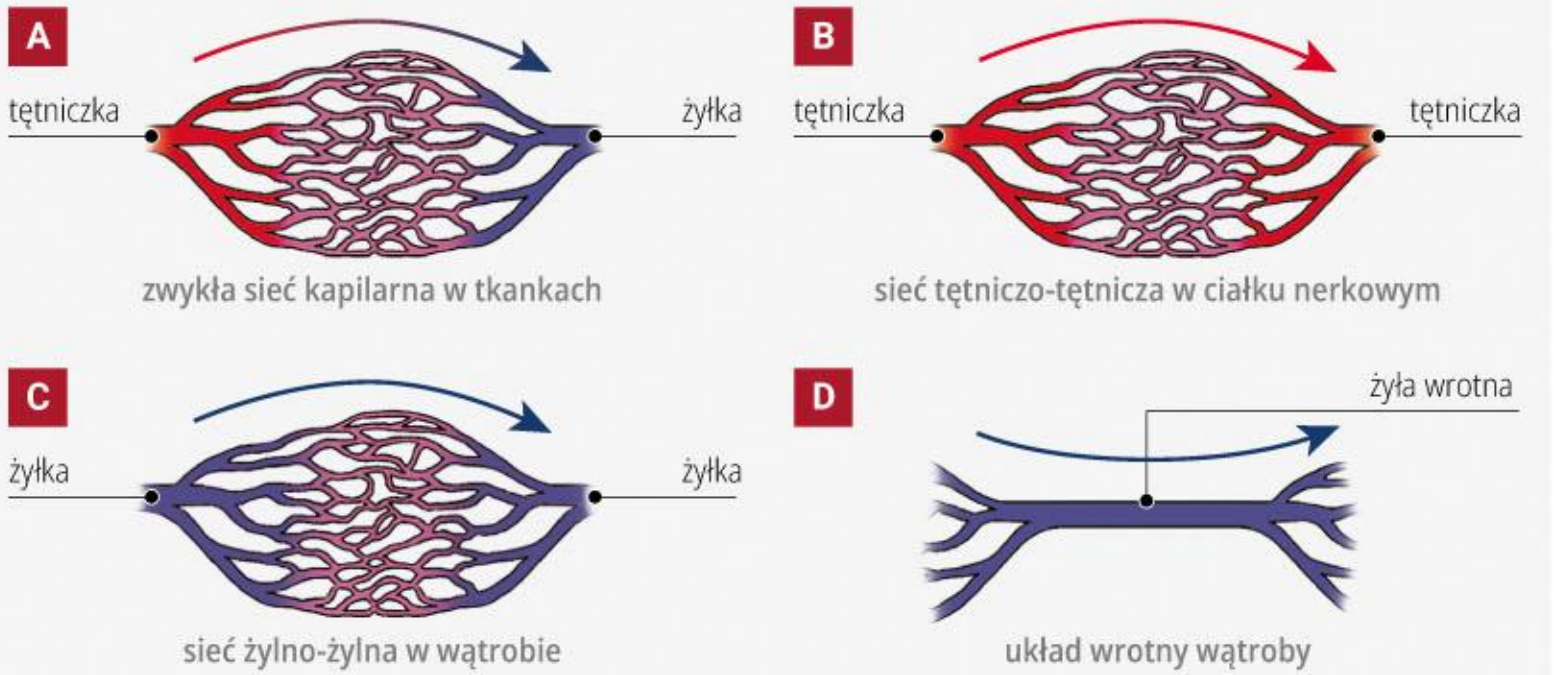
Sieci naczyń włosowatych

A. **Tętniczo-żylne**, występują między tętniczkami a żyłkami, to najczęściej występujące połączenia naczyniowe.

B. **Tętniczo-tętnicze** (sieć dziwna), łączą dwie tętniczki w niektórych narządach, np. nerkach.

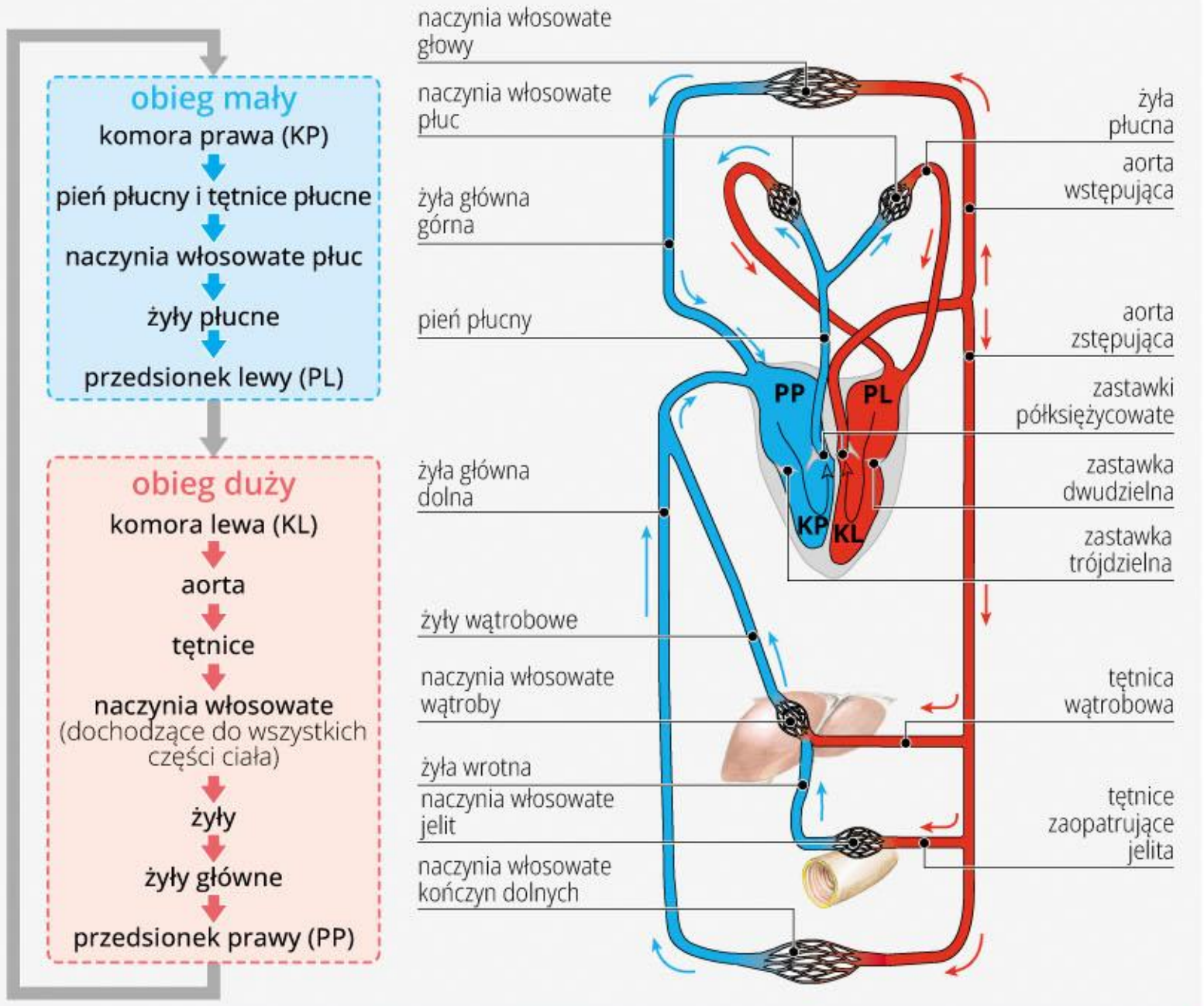
C. **Żylno-żylne** (sieć dziwna), łączą dwie żyłki w niektórych narządach, np. w wątrobie.

D. **Układ wrotny**, sieć naczyń włosowatych połączona jednym większym naczyniem, np. sieć jelita cienkiego łączy się żyłą wrotną z siecią wątroby.



Krążenie krwi w naczyniach

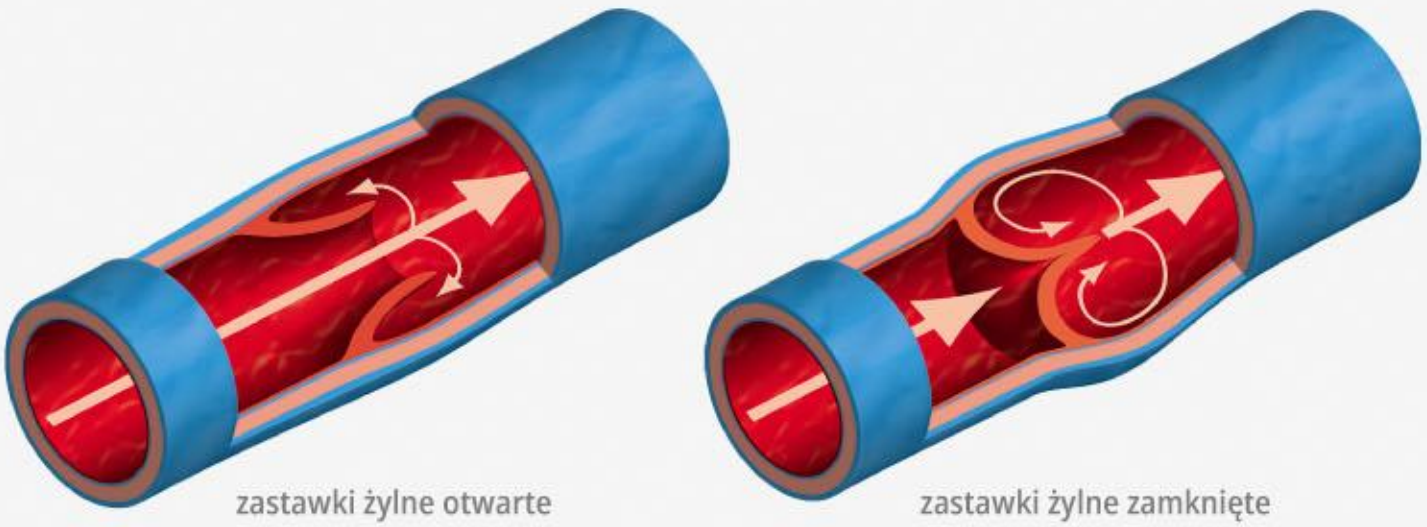
Krew w układzie krwionośnym krąży w dwóch obiegach: **ustrojowym** (dużym, obwodowym) i **płucnym** (małym). **W obiegu ustrojowym** krew utlenowana tętnicami przepływa z serca do wszystkich komórek organizmu, a z powrotem odtlenowana wraca żyłami z tkanek do serca. **Przepływ krwi** następuje w wyniku różnicy ciśnień między aortą (średnio 100 mm Hg) a żyłą główną (średnio 10 mm Hg) – różnica wynosi ok. 90 mm Hg. **W obiegu płucnym** krew odtlenowana systemem tętnic płucnych dociera do płuc i po wymianie gazowej – utlenowana – wraca żyłami płucnymi z płuc do serca. Przepływ krwi następuje w wyniku różnicy ciśnień między pniem płucnym (średnio 15 mm Hg) a żyłą płucną (średnio 7 mm Hg) – różnica wynosi ok. 8 mm Hg.



Przepływ krwi w żyłach

Krew powracająca do serca żyłami z niektórych partii ciała jest transportowana do góry, np. krew płynąca do serca z kończyn dolnych. Wymaga to dodatkowych czynników wspomagających, do których należą:

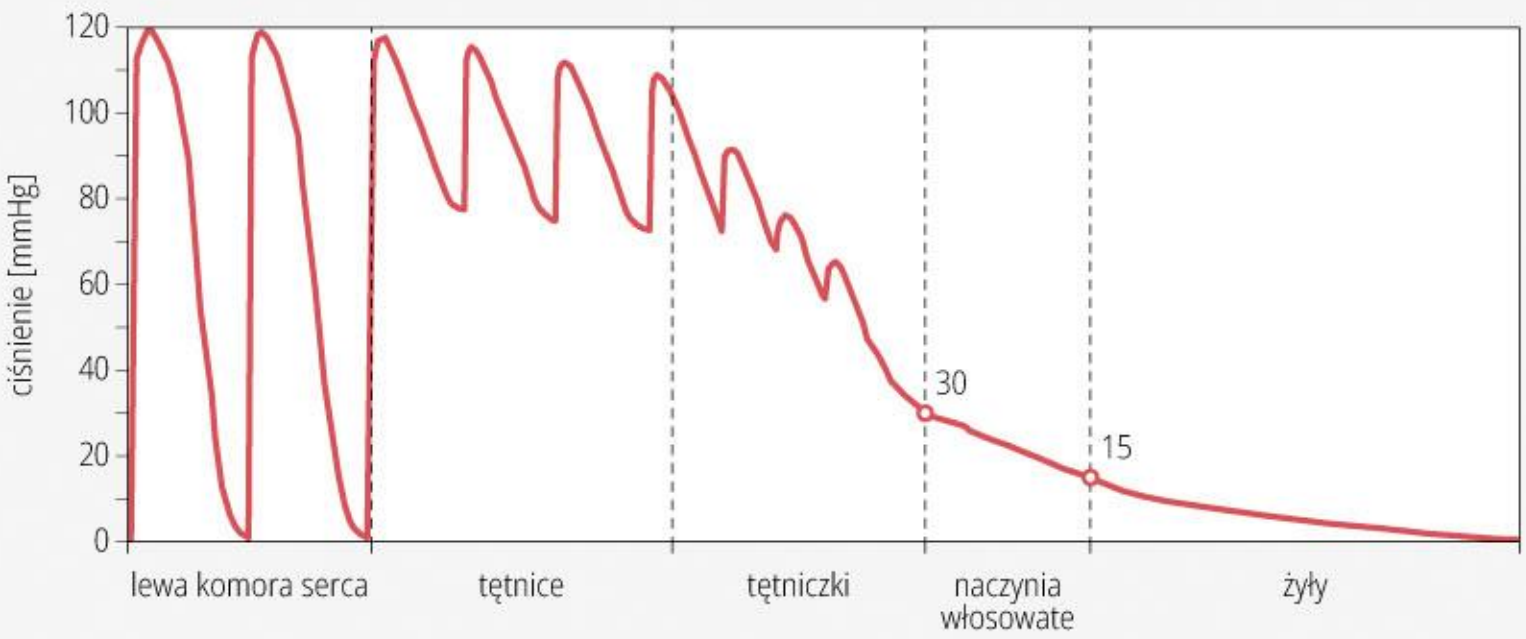
- siła ssąca przedsionków serca (niewielki gradient ciśnień od małych żył do prawego przedsionka serca, powstający dzięki skurczom lewej komory serca);
- pompa oddechowa (zmiany objętości klatki piersiowej i jamy brzusznej podczas oddychania) – podczas wdechu ciśnienie w klatce piersiowej obniża się, a ciśnienie w jamie brzusznej wzrasta, co ułatwia przepływ krwi do serca;
- pompa mięśniowa regulująca przepływ krwi żylnej w kończynach dolnych (wbrew sile grawitacji); skurcze mięśni szkieletowych powodują nacisk na ściany żył i przepływ krwi w kierunku serca i w kierunku naczyń włosowatych; kiedy mięśnie się rozluźniają, zastawki zapobiegają cofaniu się krwi w kierunku naczyń włosowatych;
- pompa jelitowa, na którą składają się skurcze żołądka i jelit, ułatwiające powrót krwi żylnej z przewodu pokarmowego.



zastawki żylne otwarte

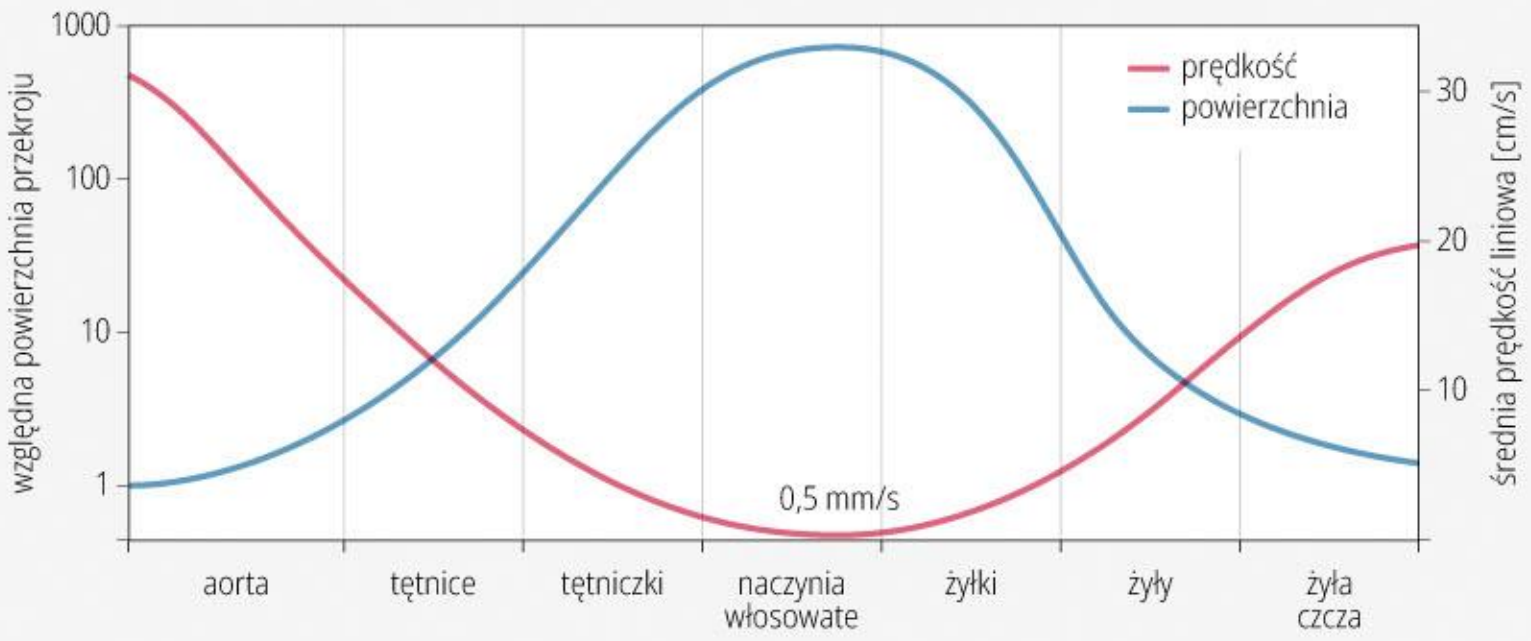
zastawki żylne zamknięte

Średnie wartości ciśnienia krwi w poszczególnych rodzajach naczyń



Powierzchnia przekroju naczynia a prędkość przepływu krwi w krążeniu obwodowym

- Łączna powierzchnia przekroju naczyń wzrasta wraz ze spadkiem ich średnicy (jest największa w naczyniach włosowatych).
- Średnia prędkość przepływu krwi jest odwrotnie proporcjonalna do powierzchni przekroju naczynia (największa zmiana w tętniczkach).



Budowa serca

Serce zbudowane jest z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej. Ma kształt stożka i wielkość zaciśniętej pięści. Jest otoczone **osierdziem** (**workiem zbudowanym** z tkanki **łącznej**). Ściana zewnętrzna osierdzia to **nasierdzie**, środkowa, tworząca mięsień serca – **śródsierdzie**, a wewnętrzna – **wsierdzie**. Wnętrze serca składa się z czterech jam: prawego i lewego przedsionka oraz prawej i lewej komory. Przedsionki oddziela od siebie **przegroda międzyprzedsionkowa**, a komory – **przegroda międzykomorowa**.

Do przedsionków uchodzą naczynia doprowadzające krew do serca:

- do prawego przedsionka żyły główne: górna i dolna transportujące krew odtlenowaną z całego ciała;
- do lewego przedsionka cztery żyły płucne transportujące krew utlenowaną (dwie żyły z płuca prawego i dwie z lewego).

Z komór wychodzą dwa główne naczynia wyprowadzające krew z serca:

- z lewej komory – aorta,
- z prawej komory – pień płucny.

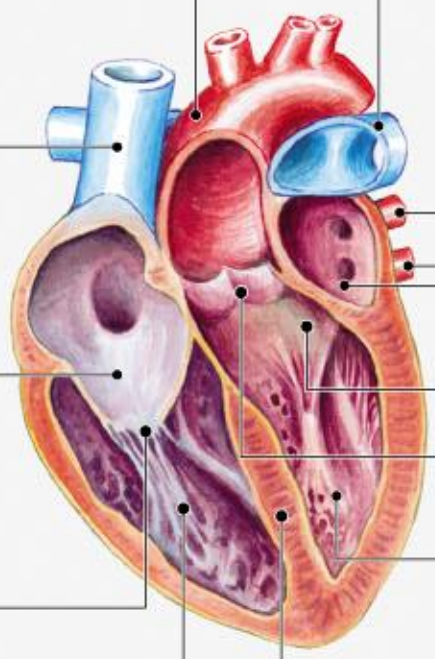
Aorta
Największa tętnica wychodząca z serca, która rozgałęzia się na mniejsze tętnice doprowadzające krew utlenowaną do głowy i reszty ciała.

Żyła główna górna
Transportuje odtlenowaną krew z głowy i ciała do prawego przedsionka.

Prawy przedsionek
Transportuje odtlenowaną krew z żył głównych do prawej komory serca.

zastawka trójdzielna

Prawa komora
Transportuje odtlenowaną krew do pnia płucnego.



Pień płucny
Rozdziela się na dwie tętnice płucne, którymi krew odtlenowana płynie do płuc.

Żyły płucne lewe
Transportują krew z lewego płuca do lewego przedsionka.

Lewy przedsionek
Tłoczy krew do lewej komory.

zastawka mitralna (dwudzielna)

zastawka aortalna

Lewa komora
Transportuje utlenowaną krew przez aortę do głowy i ciała pod bardzo dużym ciśnieniem i dlatego jej ściana jest trzy razy grubsza (ok. 15 mm) od ściany prawej komory.

przegroda międzykomorowa

Zastawki

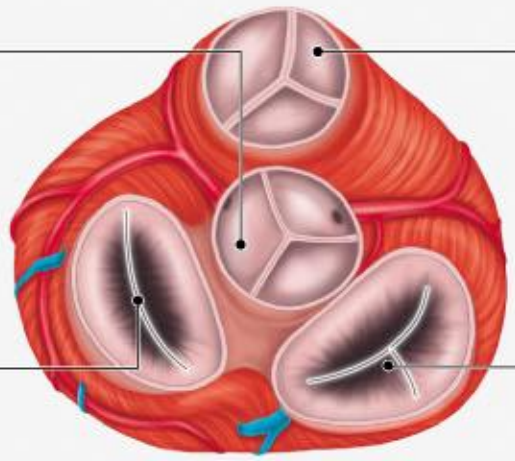
Na granicy między komorami serca a wychodzącymi z nich naczyniami krwionośnymi znajdują się **zastawki**, które zapobiegają cofaniu się krwi do komór w czasie rozkurczu.

Zastawka aorty

Zbudowana jest z trzech płatków półksiężycowatych, zapobiega cofaniu się krwi do lewej komory.

Zastawka dwudzielna (przedsionkowo-komorowa lewa, mitralna)

Zbudowana jest z dwóch płatków, zapobiega cofaniu się krwi z lewej komory do lewego przedsionka.



Zastawka tętnicy płucnej

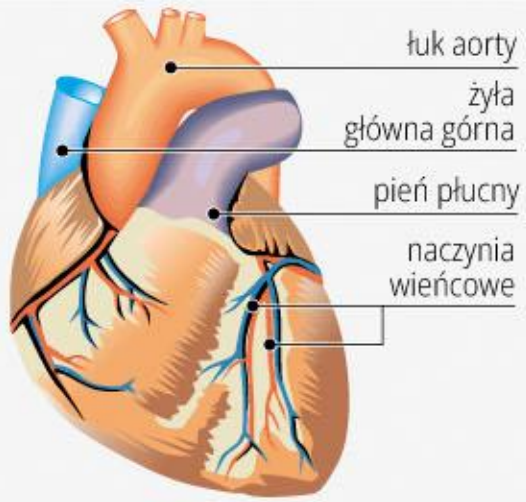
Zbudowana jest z trzech płatków półksiężycowatych (dawna nazwa: zastawka półksiężycowata), zapobiega cofaniu się krwi z pnia płucnego do prawej komory.

Zastawka trójdzielna (przedsionkowo-komorowa lewa)

Zbudowana jest z trzech płatków, zapobiega cofaniu się krwi z prawej komory do prawego przedsionka.

Układ wieńcowy

Serce ma własny system naczyń krwionośnych na powierzchni i we wnętrzu, tzw. **system naczyń wieńcowych**, który zaopatruje serce w krew. Tętnice wieńcowe odgałęziające się od aorty w postaci drobnych naczyń doprowadzają krew utlenowaną i substancje odżywcze (takie jak glukoza i wolne kwasy tłuszczowe) w głąb mięśnia serca. Natomiast żyły wieńcowe odprowadzają krew odtlenowaną i zbędne produkty przemiany materii do prawego przedsionka serca.

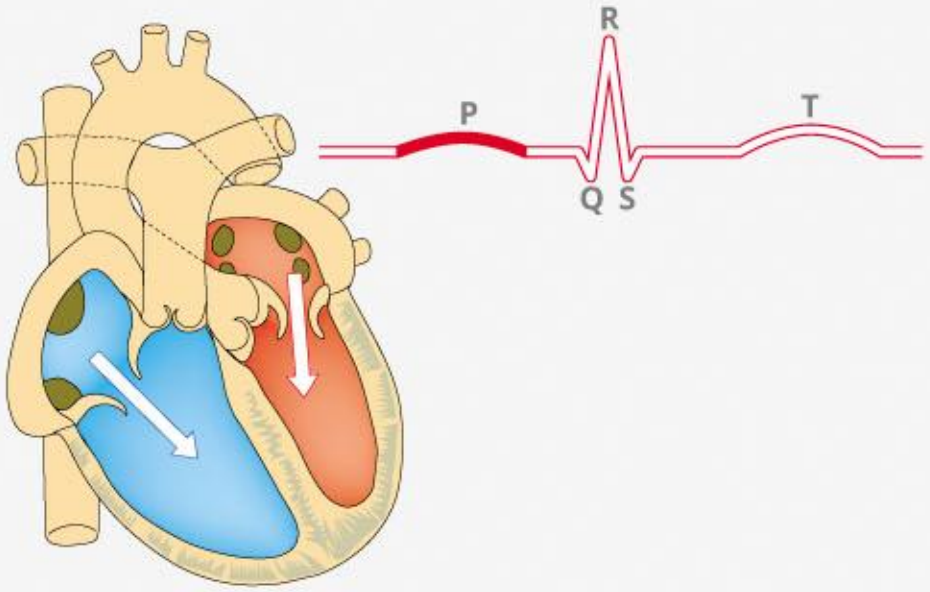


Praca serca

Cykl pracy serca to cyklicznie następujące skurcze i rozkurcze rozdzielone od siebie krótkim okresem spoczynku. U dorosłego człowieka w stanie spoczynku **pojedynczy cykl trwa ok. 0,85 s** i składa się z trzech etapów.

I etap **skurcz przedsionków** i **rozkurcz komór** (0,15 s):

– krew z przedsionków przepływa do komór przez otwarte zastawki przedsionkowo-komorowe.

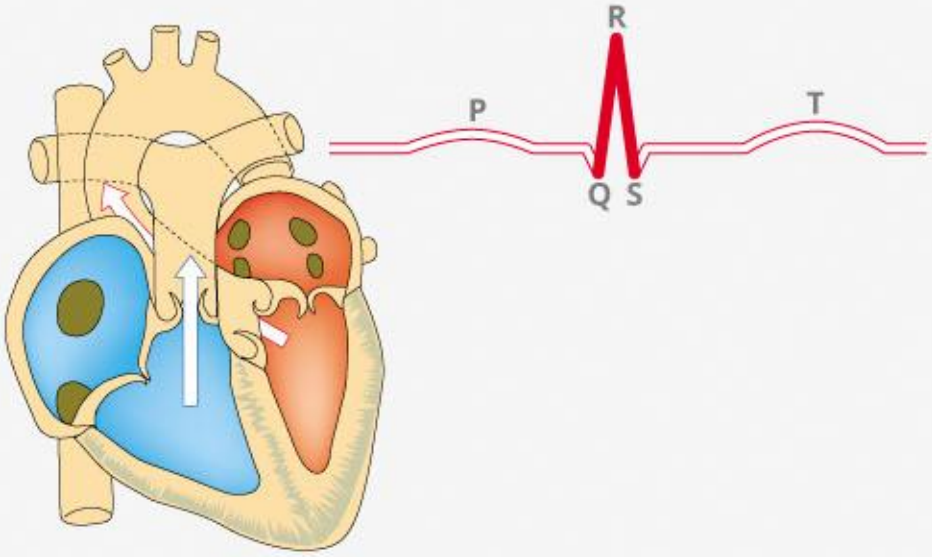


II etap **skurcz komór i rozkurcz przedsionków** (0,3 s):

– wzrasta ciśnienie w komorach i zamykają się zastawki przedsionkowo-komorowe (**pierwszy ton serca**);

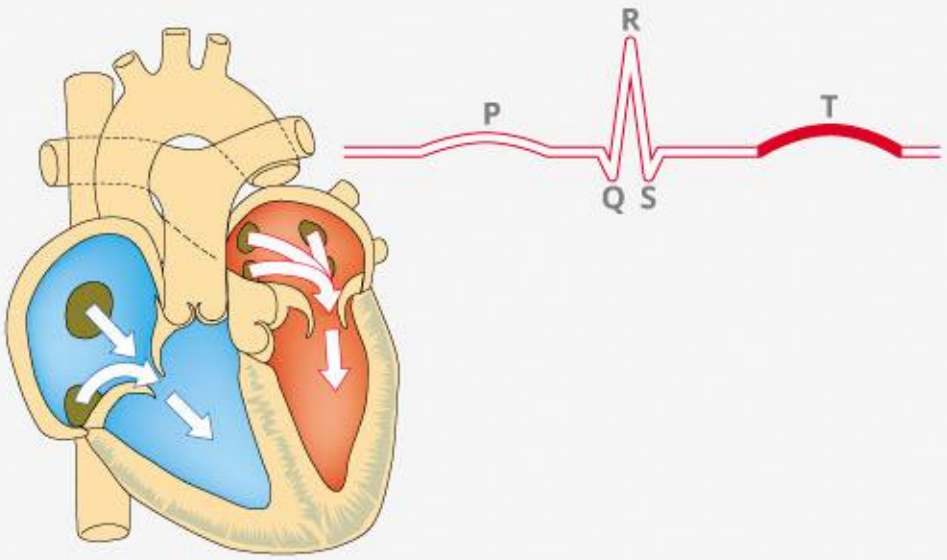
– kiedy ciśnienie krwi w komorach osiągnie większą wartość niż w tętnicach, otwierają się zastawki półksiężycowate i krew opuszcza serce;

– komory rozkurczają się, a gdy ciśnienie spadnie poniżej wartości ciśnienia krwi w tętnicach, następuje zamykanie zastawek półksiężycowatych (**drugi ton serca**).



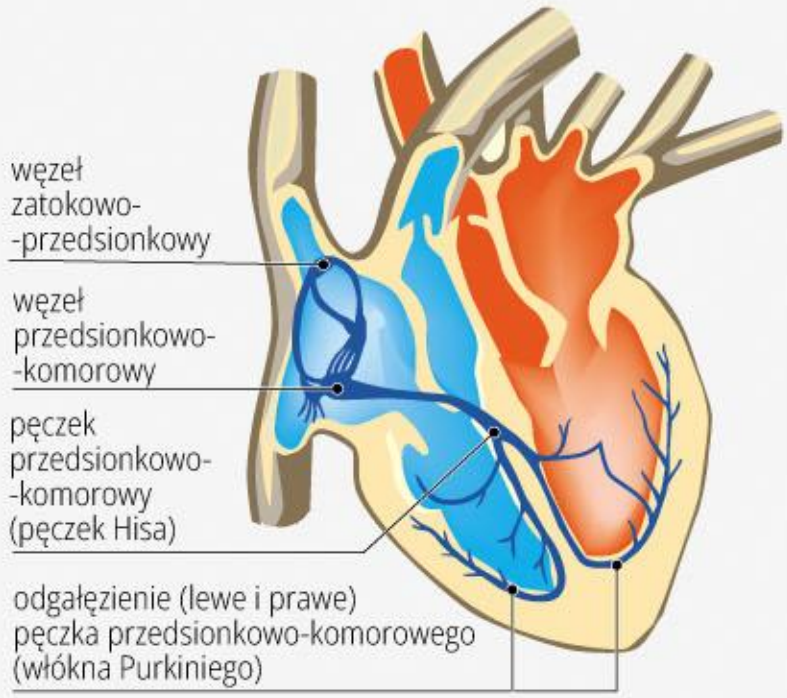
III etap rozkurcz serca

– rozkurczają się przedsionki i komory;
– zastawki przedsionkowo-komorowe otwierają się i krew napływa do przedsionków i komór;
– trzeci ton serca – szmer wywoływany napływem krwi do serca (jest najsłabiej wyczuwalny).



Układ przewodzący serca

Swoistą cechą serca jest zdolność do wykonywania samoistnych, rytmicznych skurczów. Są one wynikiem powstających w sercu impulsów niezwiązanych z pobudzeniem nerwowym. Zjawisko to nosi nazwę **automatyzmu serca**. Jest ono możliwe dzięki układowi bodźco-przewodzącemu serca, który tworzą specjalnie zmodyfikowane włókna mięśniowe. Włókna tworzą ośrodki automatyzmu serca: **węzeł zatokowo-przedsionkowy, węzeł przedsionkowo-komorowy i pęczek przedsionkowo-komorowy**. Nadrzędną funkcję spełnia węzeł **zatokowo-przedsionkowy** (u ujścia żyły głównej górnej do prawego przedsionka), który określa rytm serca; to w nim znajduje się rozrusznik serca. Wytworzone pobudzenie powoduje skurcz przedsionków, a następnie przechodzi do węzła znajdującego się między prawym przedsionkiem a prawą komorą i dalej rozchodzi się do **pęczka przedsionkowo-komorowego** (pęczka Hisa) rozdzielającego się na prawą i lewą gałąź biegnącą wzdłuż przegrody międzykomórkowej do koniuszka serca. W ścianach komór gałęzie rozdzielają się na drobne **włókna Purkiniego**, które pobudzają komory do skurczu. Uszkodzenia ośrodków automatyzmu lub ich zaburzenia można niwelować dzięki wszczepieniu **rozrusznika serca** (elektryczne urządzenie wszczepione pod skórę w klatce piersiowej).

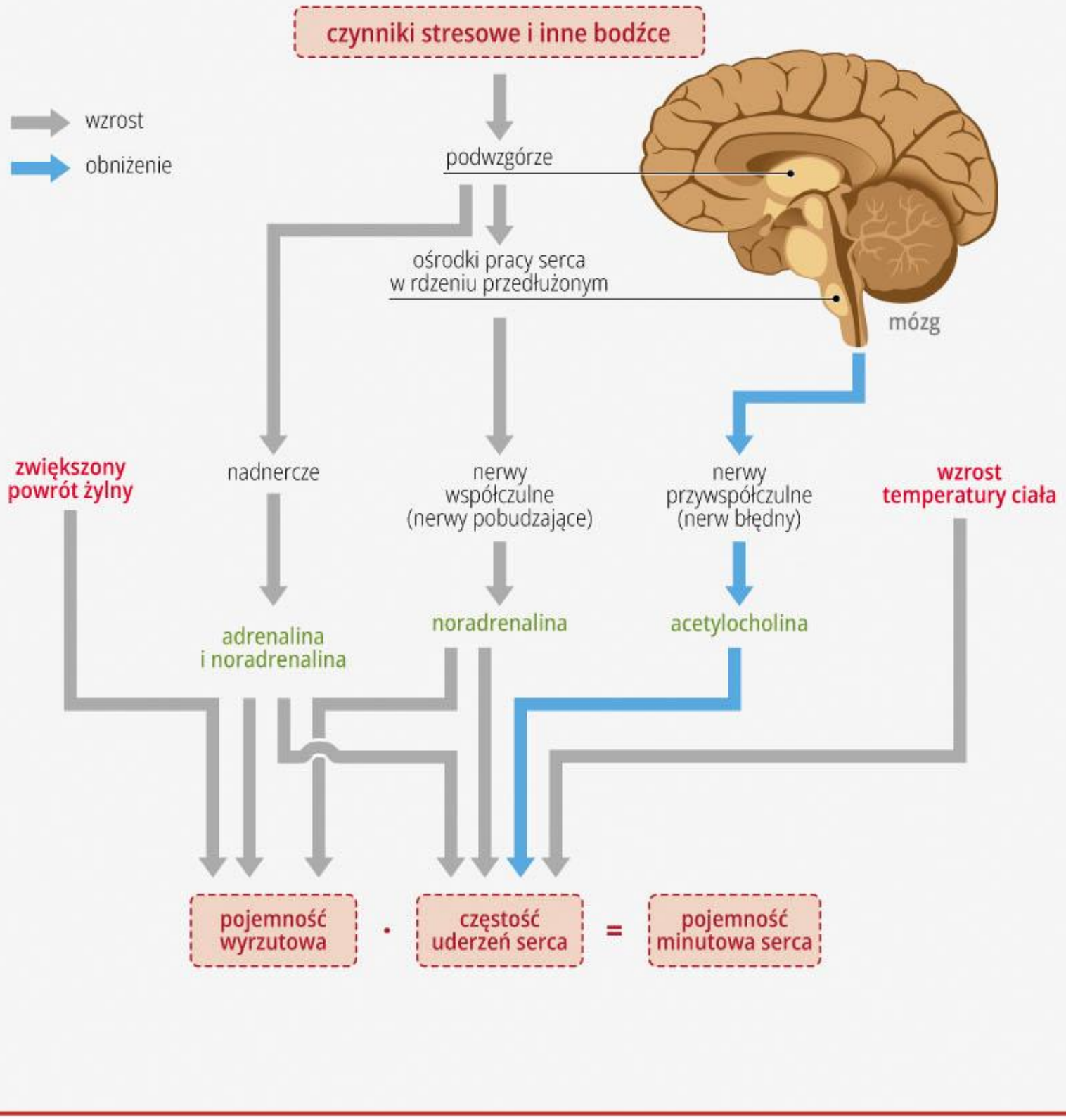


Rozmieszczenie ośrodków bodźco-przewodzących w sercu

Regulacja nerwowa i hormonalna pracy serca

Mimo że serce pracuje niezależnie i samodzielnie, jest regulowane przez **układ nerwowy i hormonalny**.

Ośrodek regulacji pracy serca w **rdzeniu przedłużonym** jest pobudzany przez receptory w niektórych ścianach naczyń krwionośnych (baroreceptory w łuku aorty, tętnicach szyjnych, naczyniach płucnych) i serca, odbierające zmiany ciśnienia krwi. Ośrodek steruje pracą układu autonomicznego – części współczulnej i przywspółczulnej. Gdy ciśnienie krwi jest zbyt wysokie, zakończenia nerwów przywspółczulnych wydzielają **acetylocholinę**, która spowalnia pracę serca, a naczynia krwionośne się rozszerzają. Gdy ciśnienie krwi jest zbyt niskie, zakończenia nerwów współczulnych uwalniają **noradrenalinę**, która przyspiesza pracę serca, a naczynia krwionośne się kurczą. Na częstotliwość pracy serca wpływają też hormony. W sytuacjach stresowych **nadnercza** uwalniają hormony – adrenalinę i noradrenalinę, a **tarczyca** – **tyroksynę**, które przyśpieszają akcję serca. Podobnie działa wysoka temperatura.



Pojemność serca i ciśnienie krwi

Ilość krwi wyrzucanej z lewej komory w ciągu minuty nosi nazwę **pojemności minutowej**. Jest ona zależna od **pojemności wyrzutowej serca** (ilości krwi wyrzucanej podczas jednego skurczu) oraz **częstości akcji serca** (liczby uderzeń serca w ciągu minuty):

pojemność minutowa serca = pojemność wyrzutowa serca x częstość akcji serca

Pojemność minutowa serca może ulegać zmianie, np. wzrasta podczas wykonywania intensywnej pracy lub ćwiczeń fizycznych (do 70%), w stanach emocjonalnych (do 100%), przy wysokiej temperaturze otoczenia, po posiłku czy po wypiciu kawy.

Tętno powstaje przez rozciąganie ścian tętnic podczas ich wypełniania krwią wyrzucaną z serca w czasie skurczu komór. Na wzrost wartości tętna mają wpływ wysiłek lub stres. Wartość tego parametru zależy także od wieku, stylu życia czy obciążenia chorobami. Siłę, z jaką krew uderza w naczynie krwionośne, przez które płynie, nazywamy **ciśnieniem krwi**. Wartość ciśnienia wyrażamy w milimetrach słupa rtęci (mm Hg). Ciśnienie aortalne uzyskuje średnią wartość **ok. 120 mm Hg** w czasie skurczu lewej komory (**ciśnienie skurczowe**), a następnie spada stopniowo do **ok. 80 mm Hg** podczas rozkurczu komory (**ciśnienie rozkurczowe**).



Przeciętna częstotliwość tętna:

- niemowlęta **139** uderzeń/min
- dzieci **100** uderzeń/min
- młodzież **85** uderzeń/min
- dorośli **75** uderzeń/min
- osoby starsze **60** uderzeń/min

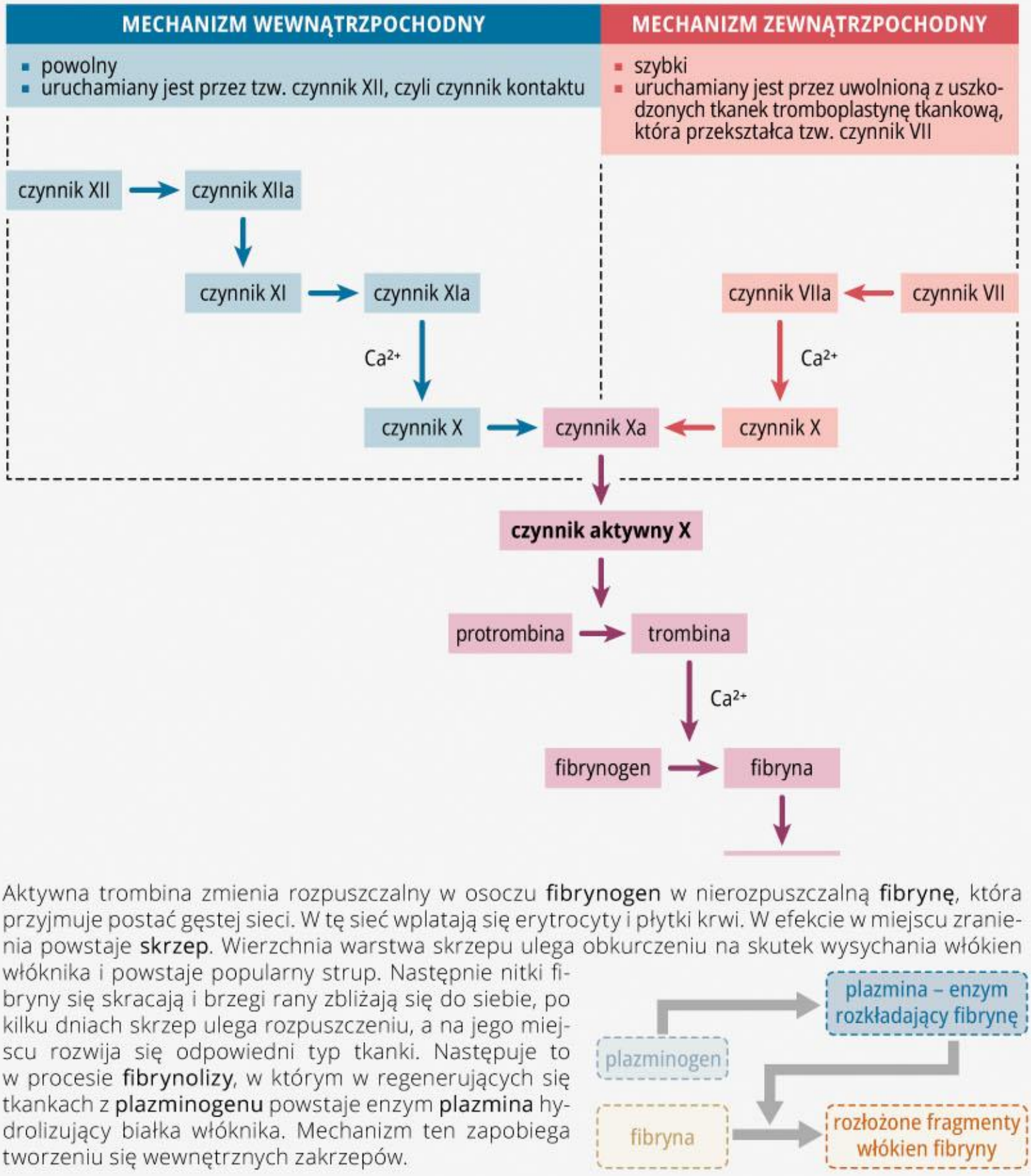
Krzepnięcie krwi

Ciągłość ścian naczyń krwionośnych umożliwia utrzymanie równowagi składu i objętości krwi. Uszkodzenie naczynia krwionośnego uruchamia proces krzepnięcia krwi. W tym procesie podstawową rolę odgrywają płytki krwi, które uwalniają z cytoplazmy szereg substancji warunkujących krzepnięcie. Przede wszystkim **serotoninę** – tkankowy hormon, który wzmacnia obkurczenie ścian naczyń krwionośnych i hamuje krwawienie. Proces krzepnięcia jest skomplikowany i składa się z szeregu reakcji, w których uczestniczą **różne czynniki krzepnięcia krwi** – 12 czynników osoczowych (I–V oraz VII–XIII, czynnika VI nie oznaczono, wszystkie są białkami, poza czynnikiem IV – wapniem). Brak któregoś z nich powoduje zaburzenia krzepnięcia krwi – **hemofilię**. Czynnik białkowy powstający w pierwszym etapie służy do uruchomienia kolejnego czynnika i zajścia następnego etapu. W efekcie powstaje układ włókien zasklepiających ranę, zapobiegających wniknięciu drobnoustrojów chorobotwórczych i chroniących przed infekcją.

Jeśli w krzepnięciu krwi biorą udział wyłącznie składniki osocza i płytki krwi (uszkodzenie naczynia i płytek jest spowodowane czynnikiem wewnętrznym, np. przez zmiany miażdżycowe naczyń krwionośnych), wówczas ten mechanizm nazywamy **wewnątrzpochodnym mechanizmem krzepnięcia krwi**.

Jeśli krzepnięcie krwi zachodzi z udziałem składników osocza i czynnika tkankowego (uwolnionego z uszkodzonych tkanek, np. przez pęknięcie naczynia), wówczas mechanizm nazywamy **zewnątrzpochodnym mechanizmem krzepnięcia krwi**.

Oba mechanizmy niezależnie od siebie prowadzą do uaktywnienia **czynnika X**, pod którego wpływem nieaktywny enzym – **protrombina** – przechodzi w aktywną **trombinę**. Proces ten zachodzi w obecności jonów wapnia.



Aktywna trombina zmienia rozpuszczalny w osoczu **fibrynogen** w nierozpuszczalną **fibrynę**, która przyjmuje postać gęstej sieci. W tę sieć wplatają się erytrocyty i płytki krwi. W efekcie w miejscu zranienia powstaje **skrzep**. Wierzchnia warstwa skrzepu ulega obkurczeniu na skutek wysychania włókien włóknika i powstaje popularny strup. Następnie nitki fibryny się skracają i brzegi rany zbliżają się do siebie, po kilku dniach skrzep ulega rozpuszczeniu, a na jego miejscu rozwija się odpowiedni typ tkanki. Następuje to w procesie **fibrynolizy**, w którym w regenerujących się tkankach z **plazminogenu** powstaje enzym **plazmina** hydrolizujący białka włóknika. Mechanizm ten zapobiega tworzeniu się wewnętrznych zakrzepów.

Witamina K wpływa stymulująco na powstanie protrombiny i innych osoczowych czynników krzepnięcia krwi. Niedobory witaminy K osłabiają krzepnięcie krwi.

Rola układu krwionośnego

- transportuje tlen z płuc do komórek ciała, a dwutlenek węgla – w kierunku przeciwnym;
- transportuje substancje odżywcze, budulcowe, sole mineralne, witaminy z układu pokarmowego do komórek ciała;
- transportuje zbędne produkty przemian metabolicznych do narządów wydalniczych;
- transportuje hormony z gruczołów wydzielniczych do komórek ciała;
- uczestniczy w reakcjach obronnych organizmu przed drobnoustrojami chorobotwórczymi;
- wspomaga utrzymanie równowagi płynów ustrojowych;
- wspomaga rozprowadzanie ciepła po organizmie, przenosząc nadmiar ciepła z cieplejszych partii ciała, np. wątroby, do miejsc chłodniejszych, np. skóry;
- pomaga w utrzymaniu stałego pH płynów ustrojowych oraz stałego ciśnienia osmotycznego;
- zapewnia homeostazę organizmu.

Wybrane choroby układu krwionośnego

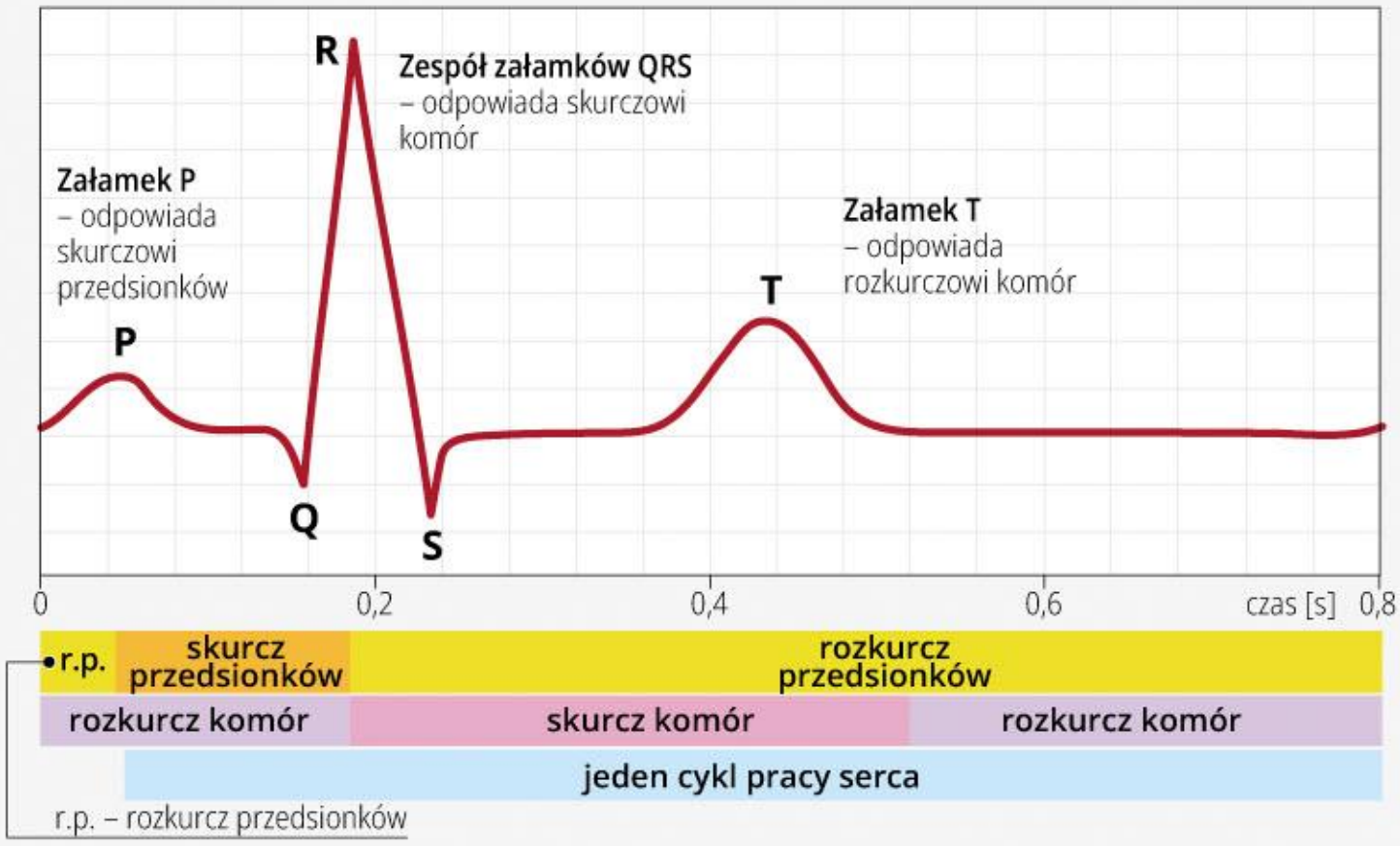
Choroba	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
anemia (niedokrwistość)	• niedobór żelaza, witaminy B_{12} lub kwasu foliowego • upośledzenie produkcji krwinek czerwonych lub ich zbyt duże niszczenie	• zmęczenie, bladość skóry, bóle i zawroty głowy	• spożywanie produktów bogatych w żelazo i witaminę B_{12} • wykonywanie okresowych badań krwi
białaczka	złożone: • podłoże genetyczne • działanie promieniowania jonizującego lub substancji chemicznych na organizm • niektóre wirusy onkogenne	• nadmierna produkcja krwinek białych lub ich nieprawidłowe dojrzewanie	• unikanie działania czynników mutagennych (promieniowania jonizującego, substancji chemicznych) • wykonywanie okresowych badań krwi • chemioterapia • przeszczep szpiku kostnego
miażdżyca naczyń krwionośnych (arteriioskleroza)	• dieta bogata w nasycone kwasy tłuszczowe i cukry • palenie tytoniu • starszy wiek • płeć męska • długotrwały stres • niektóre choroby, takie jak cukrzyca, nadciśnienie tętnicze, otyłość	• powstawanie pokładów lipidów (zwłaszcza cholesterolu) i wapnia na wewnętrznych ścianach tętnic, w postaci tzw. złogów, inaczej nazywanych blaszkami miażdżycowymi, które zwężają i usztywniają ściany tętnic, najczęściej wieńcowych serca, szyjnych zaopatrujących mózg w krew oraz doprowadzających krew do nóg • do powikłań wynikających z miażdżycy należą zakrzepy, martwica tkanek, zawał mięśnia serca i udar mózgu • ból w klatce piersiowej, zadyszka, bóle i zawroty głowy	• ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych i cukrów • aktywność fizyczna • niepalenie papierosów
choroba niedokrwienna serca (choroba wieńcowa)	• zmiany miażdżycowe zwężające naczynia wieńcowe • czynniki genetyczne (zawały w rodzinie)	• ból w klatce piersiowej po przebytym wysiłku (tzw. bóle wieńcowe) • zaburzenie cyklu pracy serca, np. migotanie przedsionków • całkowite zatkanie naczynia wieńcowego prowadzi do zawału mięśnia sercowego (bezpośrednie zagrożenie życia)	• ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych i cukrów (czerwone mięso, fast foody, słodycze, smażone potrawy) • zrównoważona dieta bogata w witaminy i sole mineralne • aktywność fizyczna, niepalenie papierosów

Choroba	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
zawał mięśnia sercowego	• oderwanie blaszki miażdżycowej i przesuwanie się jej do naczynia wieńcowego • niedokrwienie mięśnia serca • otyłość • palenie tytoniu • dieta wysokotłuszczowa • nadciśnienie tętnicze • wysoki poziom cholesterolu	• piekący lub kłujący ból w klatce piersiowej za mostkiem, czasami promieniujący do jednej z kończyn górnych lub żuchwy, nasilający się przy oddychaniu i trwający ponad 20 minut (nieustępujący po odpoczynku czy podaniu nitrogliceryny) • kołatanie serca, duszności • nieuzasadniony niepokój i lęk przed śmiercią • u kobiet objawy sugerujące grypę lub przeziębienie: bóle brzucha z wymiotami, ból ramienia lub karku promieniujący do pleców lub żuchwy, nagłe poczucie osłabienia, duszności oraz nadmierna potliwość	• ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych i cukrów (czerwone mięso, fast foody, słodycze, smażone potrawy), • zrównoważona dieta bogata w witaminy i sole mineralne • aktywność fizyczna, niepalenie papierosów • regularne badanie ciśnienia krwi
udar mózgu	• miażdżyca, nadciśnienie tętnicze, zator jednej z tętnic mózgu (udar niedokrwienny, zawał mózgu) czy wylew krwi z pękniętego naczynia krwionośnego (udar krwotoczny) • cukrzyca • nadmierne spożycie alkoholu • palenie papierosów	• nagłe, silne bóle głowy połączone z zaburzeniami równowagi, czucia i ruchu po jednej stronie ciała • zaburzenia mowy • wykrzywienie twarzy po jednej stronie, widoczne opadanie kącika ust	• zrównoważona dieta bogata w witaminy i sole mineralne • aktywność fizyczna • niepalenie papierosów • regularne badanie ciśnienia krwi
nadciśnienie tętnicze	• uwarunkowania genetyczne • otyłość, dieta wysokotłuszczowa • spożywanie zbyt dużej ilości soli • stres, mała aktywność fizyczna, wiek	• bóle i zawroty głowy • zmniejszona wydolność fizyczna • zwiększa ryzyko wystąpienia zawału serca, udaru mózgu, zaburzeń pracy nerek, nieodwracalnych zmian wzroku prowadzących do ślepoty	• aktywność fizyczna • niepalenie papierosów • dieta uboga w sól • unikanie stresu • regularny pomiar ciśnienia krwi i tętna
żylaki	• utrudniony przepływ krwi w naczyniach żylnych • ściany żył stają się wiotkie i ulegają odkształceniu – powstają wyczuwalne i widoczne pod powierzchnią skóry rozszerzenia żył w postaci balonowatych nabrzmień • długotrwałe przebywanie w pozycji stojącej, u osób z nadwagą, kobiet w ciąży czy pracujących w zawodach wymagających ciągłego przebywania w pozycji stojącej	• uczucie ciężkości nóg • piekący ból, opuchlizna, nabrzmienia • bolesne skurcze mięśni	• czynny wypoczynek • aktywność fizyczna • stosowanie zasad zdrowego żywienia • utrzymanie prawidłowej masy ciała, a także regularne masaże nóg odprowadzające krew w stronę serca

Diagnostyka chorób układu krążenia

Rodzaj badania	Opis
EKG – elektrokardiografia	• wykrywanie zmian potencjałów elektrycznych podczas pracy serca • graficzny zapis badania nazywa się elektrokardiogramem • pozwala na ocenę prawidłowości rytmu serca, wykrycie wad i uszkodzeń mięśnia serca u osób, które przeszły lub przechodzą zawał serca
pomiar tętna	• przeprowadza się na wyczuwalnych tętnicach biegnących pod powierzchnią skóry – najczęściej na tętnicy promieniowej (po wewnętrznej stronie nadgarstka); uciska się tętnicę czubkami dwóch palców (bez udziału kciuka) i liczy się liczbę uderzeń przez 1 minutę.
echo serca (USG serca, echokardiografia)	• badanie serca wykorzystujące zjawisko echa ultradźwięków (USG) • umożliwia ocenę struktury anatomicznej serca, kurczliwości mięśnia sercowego, budowy i pracy zastawek, przepływu krwi w obrębie przedsionków i komór serca oraz dużych naczyń krwionośnych • pozwala na wykrycie przebytego zawału, obecności skrzepliny czy płynu w osierdziu
USG dopplerowskie	• rejestracja zmian częstotliwości fali dźwiękowej odbitej od przepływającej krwi • pozwala na ocenę przepływu krwi przez naczynie krwionośne oraz stopnia ukrwienia narządu
badanie Holtera	• rejestracja pracy serca lub ciśnienia krwi przez całą dobę • wskazaniem do badania są zaburzenia rytmu serca (kołatania, szybkie lub nierówne bicie), choroba niedokrwienna serca, omdlenia i zasłabnięcia, a także sprawdzenie pracy wszczepionego rozrusznika serca
angiokardiografia	• w badaniu wykorzystuje się promienie rentgenowskie i środek kontrastowy pochłaniający promienie RTG • uzyskany obraz pozwala na ocenę kurczliwości mięśnia sercowego, zmian w tętnicach wieńcowych oraz stopień zaawansowania choroby niedokrwiennej serca
scyntygrafia	• badanie mięśnia serca z wykorzystaniem izotopu, który przepływa z krwią przez tętnice wieńcowe i jest wychwytywany przez serce, a miejsca jego braku wskazują na upośledzenia
morfologia krwi	• cena elementów morfotycznych krwi (erytrocytów, leukocytów, płytek krwi) w mm^3 krwi oraz składu osocza • pozwala określić poziom cholesterolu, zawartość makroelementów i mikroelementów, a także hormonów czy enzymów • uzyskane wyniki są porównywane z normami, a ich interpretacja powala na ocenę stanu zdrowia pacjenta przez lekarza, np. zwiększona ilość leukocytów wskazuje na procesy zapalne, zakażenia bakteryjne czy wirusowe; wysokie stężenie glukozy wskazuje na występowanie cukrzycy • wartości poszczególnych parametrów zależą m.in. od wieku, płci czy przyjmowanych leków

EKG



Leczenie miażdżycy

Angnioplastyka (balonikowanie) – rozpychanie i kruszenie złogów cholesterolu w tętnicach wieńcowych balonikiem ze stentem (krótka proteza naczyniowa w kształcie walca zapobiegającego odkładaniu się blaszki miażdżycowej), pompowanie balonika rozszerza średnicę tętnicy i pozwala na wprowadzenie stentu, który wzmacnia tętnicę i utrzymuje jej światło.

Pomostowanie tętnic wieńcowych (by-passy) – połączenie pomostami naczyniowymi (tzw. by-passami) aorty z naczyniami wieńcowymi, co pozwala ominąć tętnice wieńcowe, które są częściowo lub całkowicie zablokowane przez blaszkę miażdżycową. Do tworzenia pomostów wykorzystuje się fragmenty zdrowych żył lub tętnic pacjenta lub sztuczne materiały.

Układ limfatyczny

Funkcje układu limfatycznego:

- uczestniczy w utrzymaniu równowagi płynów ustrojowych ciała, gromadzi i zwraca do krwi płyn tkankowy w postaci limfy;
- transport do obiegu krwi wody i substancji organicznych i mineralnych oraz krwinek białych i białek osocza;
- dostarczenie do krwiobiegu tłuszczów wchłoniętych z jelita cienkiego.

Układ limfatyczny jest zbudowany z **narządów limfatycznych i naczyń limfatycznych**, w których płynie limfa. Do narządów limfatycznych należą: **grasica, śledziona, czerwony szpik kostny**, migdałki i **węzły chłonne**. Sieć naczyń limfatycznych rozpoczyna się w przestrzeniach międzykomórkowych narządów i tkanek ciała. Następnie naczynia łączą się, tworząc żyły limfatyczne uchodzące do dwóch przewodów limfatycznych, którymi limfa wraca do obiegu krwi.

Źródłem limfy jest **przesącz osocza krwi** – płyn tkankowy, wydzielina komórek i przewodu pokarmowego. W naczyniach limfatycznych występują zastawki, które są gęściej rozmieszczone w porównaniu z zastawkami żył. Dzięki zastawkom limfa płynie tylko w jednym kierunku – od przestrzeni międzykomórkowej, przez włosowate naczynia limfatyczne, węzły chłonne i przewody limfatyczne do żył.

Różnice między układem krwionośnym a limfatycznym

Układ	
krwionośny	**limfatyczny**
• zamknięty • serce, naczynia: tętnice, żyły, naczynia włosowate • naczynia transportują krew • zastawki występują tylko w żyłach • krew składa się z elementów morfotycznych (erytrocyty, leukocyty, płytki krwi) oraz z osocza (woda, białka, substancje mineralne)	• otwarty • brak serca, naczynia limfatyczne • naczynia transportują limfę • obecność zastawek • limfa ma skład podobny do składu osocza krwi, ale zawiera mniejszą ilość białek i większą limfocytów

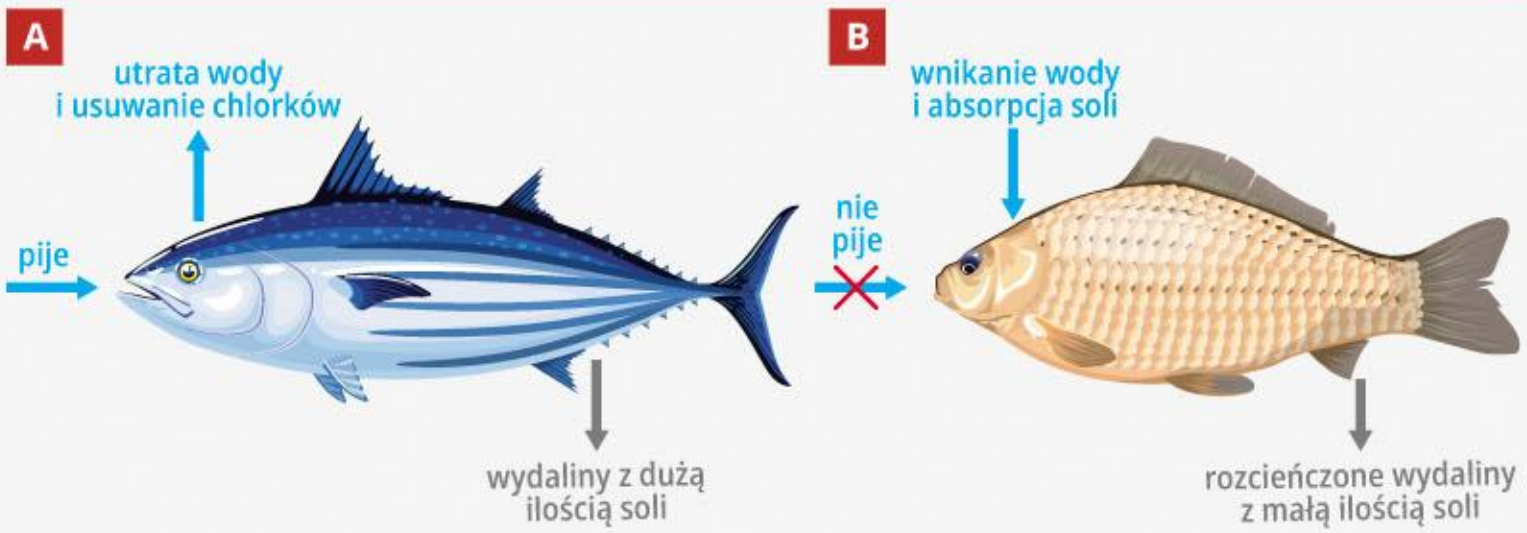
8.10. Rodzaje narządów wydalniczych u zwierząt

Aby zwierzęta prawidłowo funkcjonowały, muszą utrzymać stały skład środowiska wewnętrznego organizmu – homeostazę. Procesami, które utrzymują równowagę płynów ciała zwierząt, są osmoregulacja i wydalanie końcowych produktów metabolizmu.

Osmoregulacja reguluje stężenie związków rozpuszczonych w płynach ustrojowych zwierząt i utrzymuje równowagę wodną organizmu.

Osmoregulacja u zwierząt wodnych

Zwierzęta		
izoosmotyczne	**hiperosmotyczne**	**hiposmotyczne**
stężenie płynów ustrojowych jest w równowadze ze stężeniem soli w wodzie **występowanie** – bezkręgowce wodne	stężenie płynów ustrojowych jest wyższe od stężenia soli w wodzie **występowanie** – głównie ryby słodkowodne	stężenie płynów ustrojowych jest niższe od stężenia soli w wodzie **występowanie** – większość ryb słonowodnych



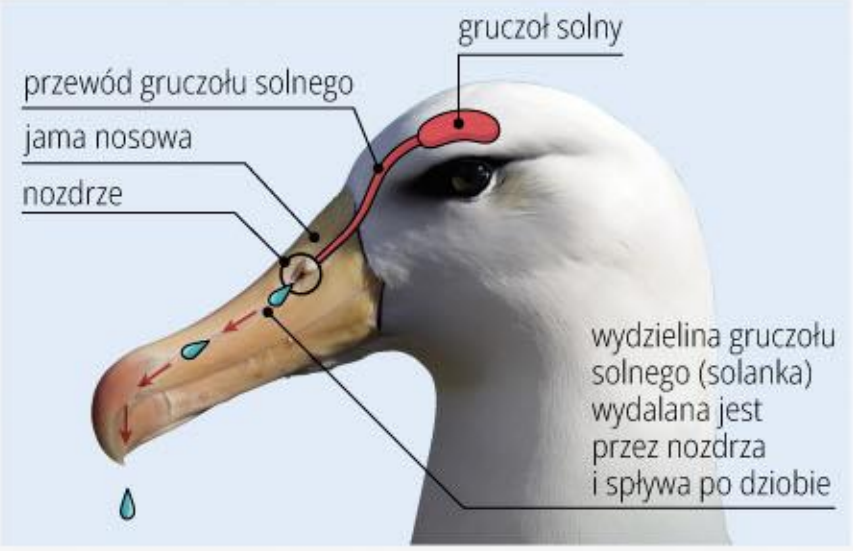
Osmoregulacja u ryb morskich (A) i słodkowodnych (B)

Osmoregulacja ryb w zależności od toniczności środowiska

Ryby morskie		Ryby słodkowodne
kostnoszkieletowe	• piją wodę • wydalają nadmiar soli przez skrzela • produkują silnie zagęszczony mocz	• nie piją wody • aktywnie pobierają jony przez skrzela • produkują duże ilości rozcieńczonego moczu
chrzęstnoszkieletowe	• gromadzą we krwi substancje osmotycznie czynne, np. mocznik	

Zwierzęta żyjące w okresowo wysychających zbiornikach, np. niektóre bezkręgowce takie jak niesporczaki, przechodzą w stan anhydrobiozy – odwodnienia, podczas którego tracą wodę.

U ptaków morskich do nadmiaru soli służą gruczoły solne, położone nad oczami.



Osmoregulacja u zwierząt lądowych

Dla zwierząt lądowych zagrożeniem równowagi osmotycznej jest utrata wody. Wytworzyły przystosowania chroniące ciało przed odwodnieniem:

- warstwy wosku pokrywające zewnętrzne szkielety owadów i muszle ślimaków lądowych;
- warstwy martwego naskórka pokrywającego ciało kręgowców lądowych;
- aktywność nocą, kiedy temperatura i wilgotność powietrza są niższe od wartości w ciągu dnia;
- tracą wodę z kałem i moczem, a uzupełniają jej niedobory, jedząc pokarmy wilgotne, pijąc wodę i produkując wodę metaboliczną.

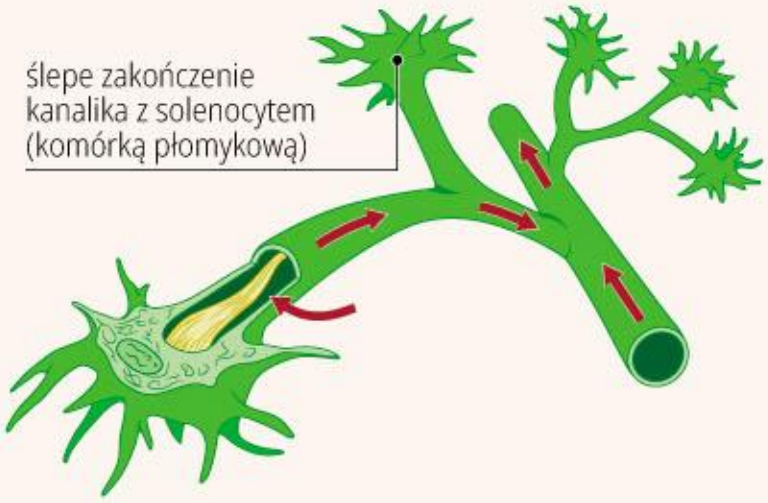
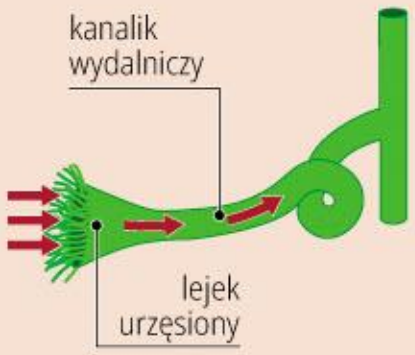
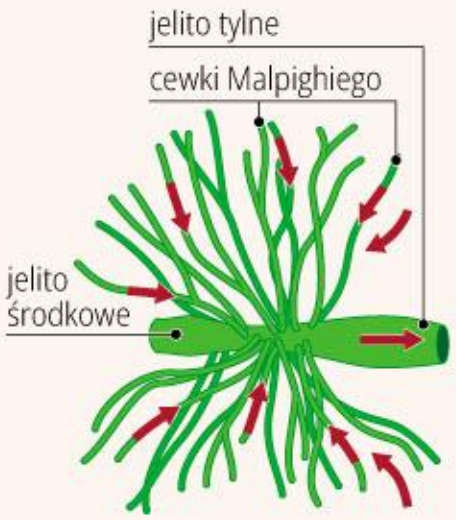
Źródła wody	Drogi utraty wody
• pokarm • woda pitna • woda metaboliczna • z zagęszczonego moczu i kału • pobierana przez całą powierzchnię ciała	• z moczem • parowanie z powierzchni ciała (pocenie się, zianie) • parowanie z powierzchni narządów wymiany gazowej • z mlekiem u samic ssaków

Podział zwierząt ze względu na rodzaj azotowego produktu przemiany materii

W czasie wydalania z organizmu są usuwane zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii. Należą do nich woda z solami mineralnymi, dwutlenek węgla i produkty przemian azotowych – amoniak, mocznik i kwas moczowy.

Związek azotowy	Charakterystyka	Typ zwierząt	Środowisko	Grupa zwierząt
amoniak	silnie toksyczny, bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie	amoniotoliczne	wodne	większość ryb, larwy płazów, krokodyle, niektóre gatunki węży i żółwi wodnych, większość bezkręgowców wodnych (np. skorupiaki)
mocznik	słabo toksyczny, dobrze rozpuszczalny w wodzie, do wytworzenia wymaga dużo energii	ureotoliczne	lądowe	ssaki, dorosłe płazy, ryby chrzęstnoszkieletowe, niektóre bezkręgowce lądowe, np. skąposzczety
kwas moczowy	słabo toksyczny, trudno rozpuszczalny w wodzie, do wytworzenia wymaga bardzo dużo energii	urikotoliczne	lądowe	zwierzęta prowadzące oszczędną gospodarkę wodną – owady, gady (węże i jaszczurki), ptaki, większość lądowych bezkręgowców

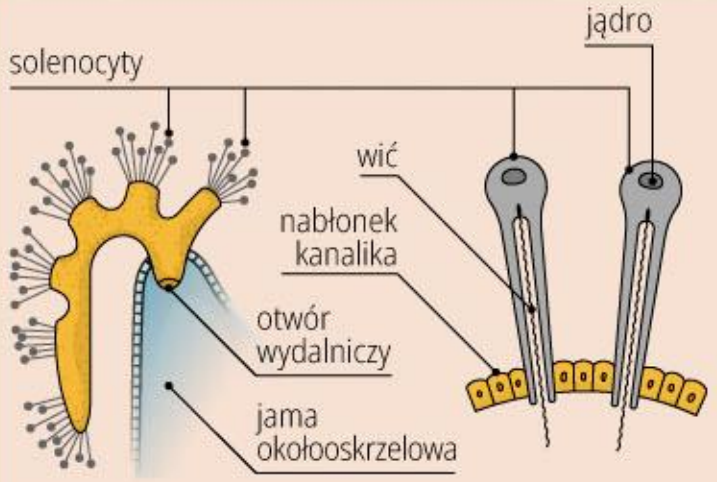
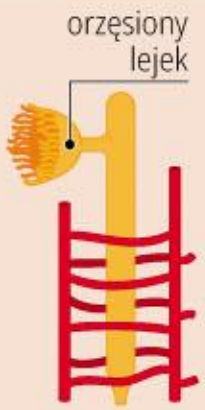
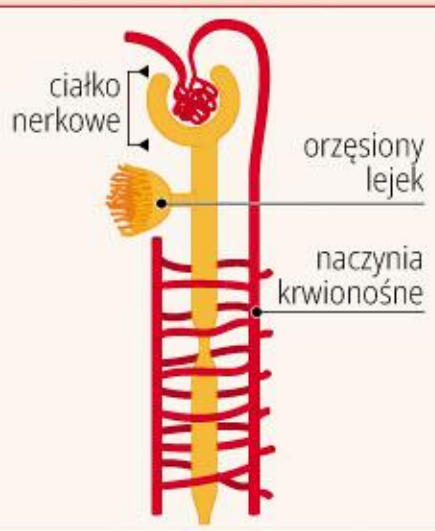
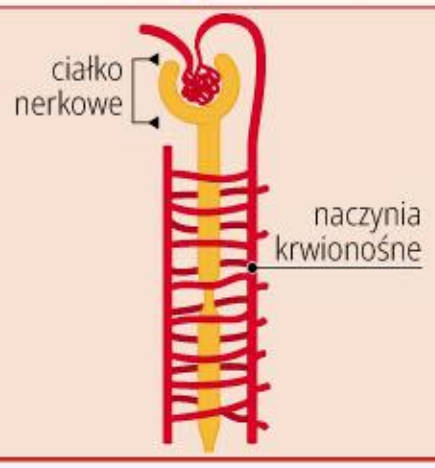
Ewolucja narządów wydalniczych bezkręgowców

Narząd	Funkcjonowanie	Występowanie
Protenefrydia – układ rozgałęziających się kanalików zanurzonych w płynie tkankowym, zakończonych komórkami płomykowymi z rzęskami. 	Płyn tkankowy wnika do kanalika i jest przesuwany ruchem rzęsek. Wewnątrz kanalika ulega modyfikacjom i następnie zostaje usunięty na zewnątrz.	płazińce, niektóre pierścienice, larwy mięczaków
Metanefrydia – para w każdym segmencie nierozgałęzionych kanalików otwartych na obu końcach – jednym do wnętrza ciała zakończonym orzęsionym lejkiem, a drugim otworem wydalniczym w następnym segmencie. 	Płyn z jamy ciała przepływa do kanalika i podlega modyfikacjom. Potrzebne związki, np. glukoza i woda, są resorbowane przez naczynia krwionośne oplatające kanaliki. Produkty zbędne są usuwane na zewnątrz.	pierścienice
Cewki Malpighiego – kanaliki powstałe jako uwypuklenia jelita na pograniczu jelita środkowego i tylnego, ślepe końce leżą w jamie ciała, a ujścia otwierają się do wnętrza jelita. 	Brak w nich filtracji. Do cewek z hemolimfy na drodze transportu aktywnego przechodzą kwas moczowy i jony potasu. Woda i inne rozpuszczone substancje są transportowane na drodze dyfuzji. Płyn przechodzi do jelita tylnego, gdzie następuje resorpcja wody i wytracanie kryształków kwasu moczowego.	owady, wije, niektóre pajęczaki

Modyfikacje metanefrydium

- **gruczoły czułkowe i szczękowe występują** u skorupiaków, a u pajęczaków noszą nazwę **gruczołów biodrowych;**
- **nerka mięczaków** zbudowana z orzęsionych lejków zakończonych kanalikiem oplecionym naczyniami krwionośnymi (z naczyń następuje przesączanie produktów przemiany materii do wnętrza kanalików, których ujście znajduje się w jamie płaszczowej).

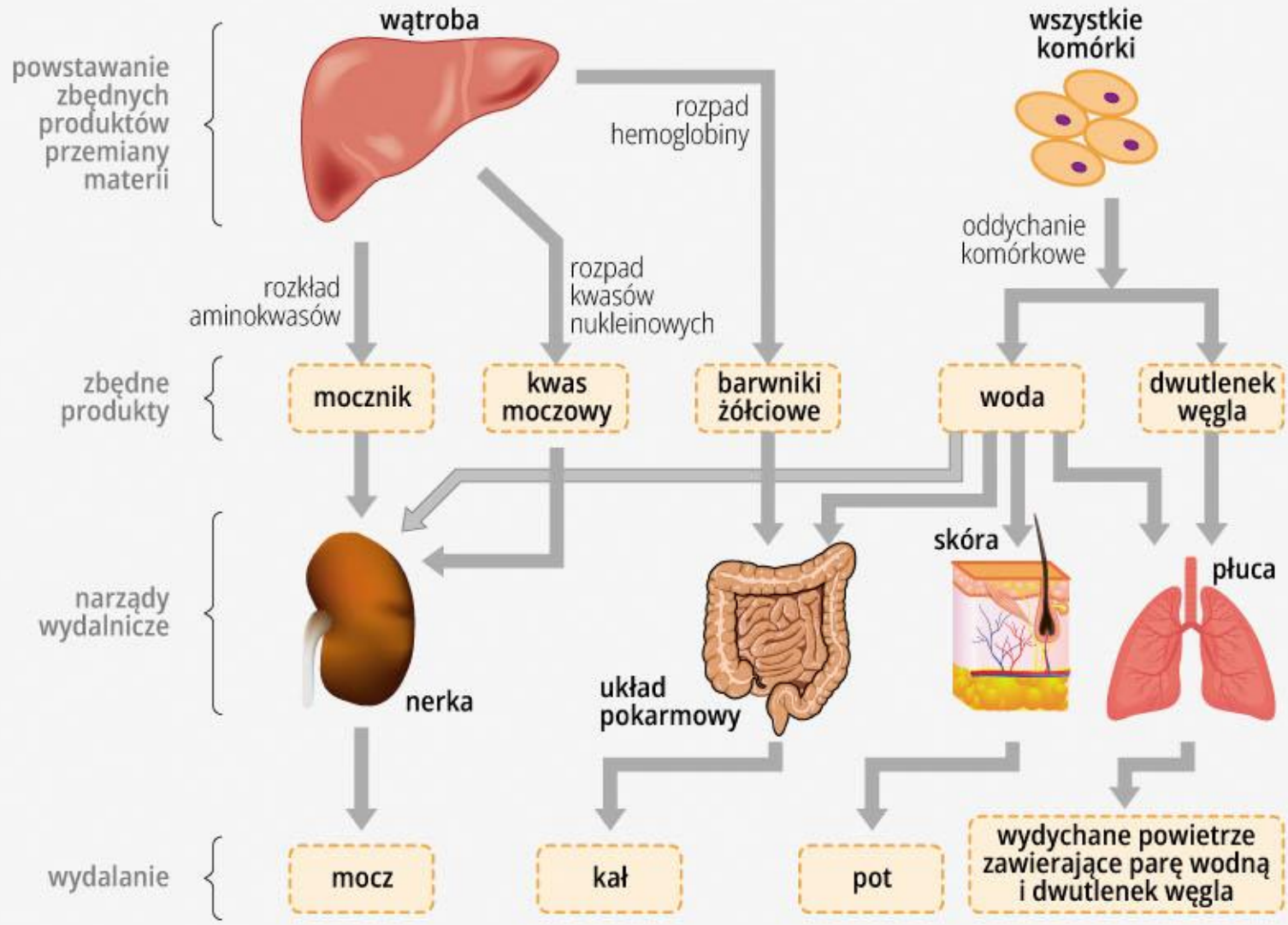
Ewolucja narządów wydalniczych strunowców

Grupa	Narząd wydalniczy	Przykłady
osłonice	brak, wydalają całą powierzchnią ciała	
bezczaszkowce	protonefrydia ułożone metamerycznie w ścianie gardzieli, w postaci wygiętych ślepo zakończonych kanalików zaopatrzonych w **pęczki solenocytów** (przypominające komórki płomykowe płazińców) wychwytujące metabolity, które kanalikami przez otwory wydalnicze dostają się do jamy okołoskrzelowej, z której wraz z wodą usuwane są na zewnątrz ciała	
Kręgowce • u kręgowców podstawową jednostką morfologiczną i funkcjonalną jest ślepo zakończony kanalik – **nefron** • w ewolucji nefronu stopniowo zanikają orzęsione lejki i następuje rozwój kłębuszków nerkowych • zespoły nerfonów tworzą narząd wydalniczy – **nerkę**		
• czynne u larw krągłoustych i płazów ogonowych oraz u niektórych ryb • u pozostałych zwierząt zanika we wczesnych etapach życia zarodkowego	**przednercze** – nefrony otwierają się do jamy ciała orzęsionymi lejkami – tzw. **nefrostomami**; lejki wychwytują z jamy ciała szkodliwe lub zbędne produkty przemiany materii	
• dorosłe krągłouste, ryby i płazy • zarodki gadów, ptaków i ssaków	**pranercze (śródnercze)** – nefrony zbudowane z orzęsionych lejków otwartych do jamy ciała, obok których występuje **ciałko nerkowe** zbudowane z kłębuszka nefronu (sieci naczyń włosowatych) oraz otaczającej go torebki kłębuszka; zbierają szkodliwe lub zbędne produkty przemiany materii z jamy ciała i krwi	
dorosłe gady, ptaki i ssaki	**zanercze (nerka ostateczna) – nefrony bez orzęsionych lejków, ciałko nerkowe** zbudowane z kłębuszka nefronu (sieci naczyń włosowatych) oraz otaczającej go torebki kłębuszka; zbierają szkodliwe lub zbędne produkty przemiany materii z krwi	

8.11. Budowa i funkcje układu moczowego człowieka

Wydalanie to proces, w którym z organizmu usuwane są zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii: woda z solami mineralnymi, dwutlenek węgla i produkty przemian azotowych (amoniak, kwas moczowy oraz mocznik). W usuwaniu tych produktów przemiany materii biorą udział: skóra, płuca, układ pokarmowy i moczowy (inaczej układ wydalniczy).

Niestrawione resztki pokarmowe (nie są produktami przemiany materii) są usuwane w procesie **defekacji**.

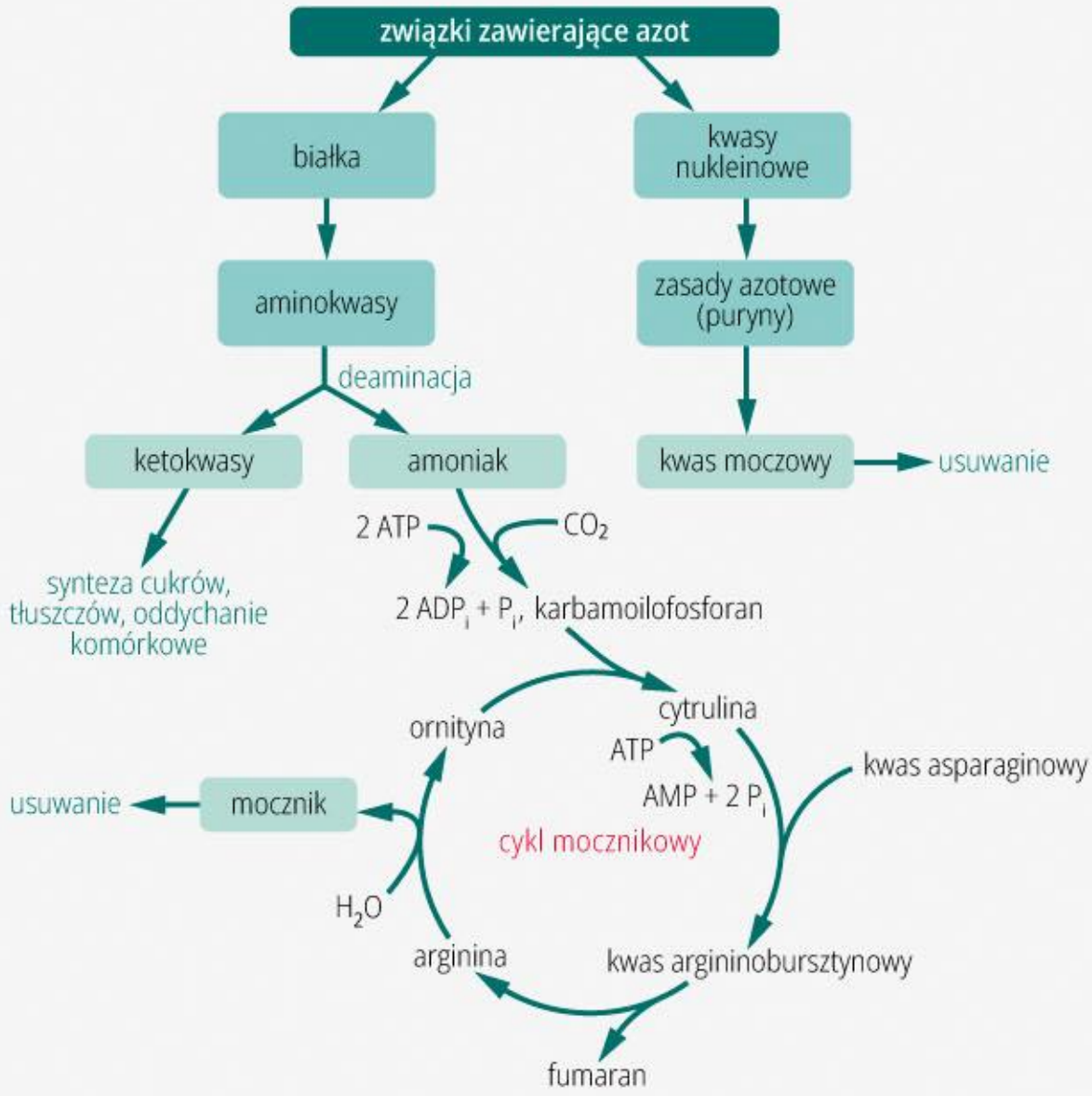


Produkty przemiany materii związków zawierających azot

Końcowe produkty przemian azotowych (białek i kwasów nukleinowych) to **amoniak**, **mocznik** i **kwas moczowy**. Amoniak powstaje podczas rozkładu aminokwasów – **deaminacji**. Jako związek toksyczny jest przekształcany w **cyklu mocznikowym** (komórki wątroby u człowieka i innych ssaków) w słabo toksyczny **mocznik**, który wędruje z krwią do nerek i jest usuwany jako składnik moczu na zewnątrz ciała.

W cyklu mocznikowym bierze udział karbamoilofosforan, powstający z amoniaku i dwutlenku węgla. Do tej reakcji jest potrzebna energia w postaci dwóch cząsteczek ATP. Synteza mocznika zachodzi w mitochondriach, w których jest łatwy dostęp do dwutlenku węgla i energii niezbędnej do wiązania amoniaku. W mitochondriach znajdują się także enzymy cyklu mocznikowego, co łączy częściowo cykl mocznikowy z cyklem Krebsa. U zwierząt, które nie mają wątroby, np. u bezkręgowców, cykl zachodzi w mitochondriach komórek całego ciała.

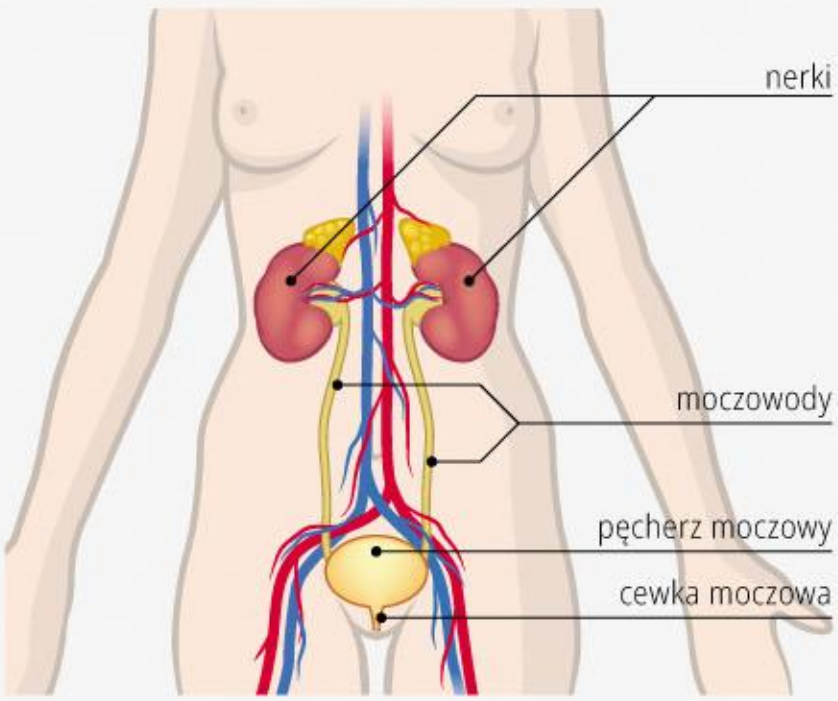
Kwas moczowy powstaje z przemian zasad purynowych (budujących kwasy nukleinowe). Jest usuwany przez nerki i częściowo przez skórę.



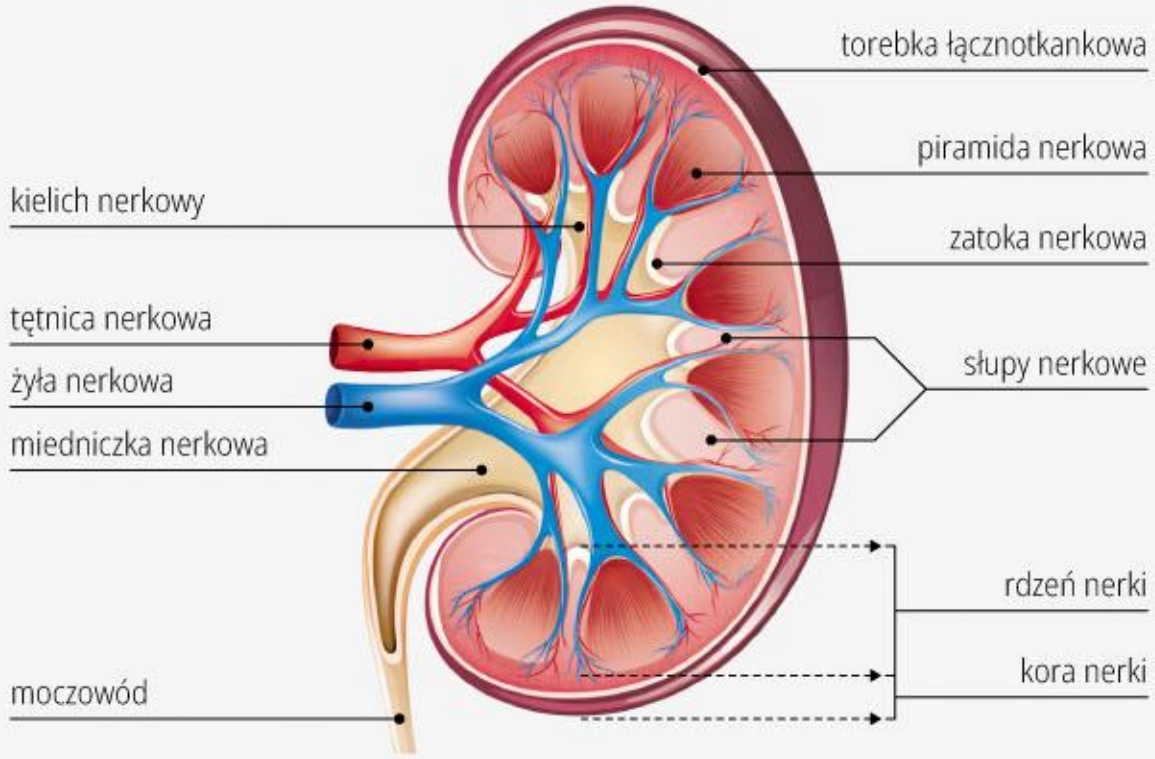
Budowa układu moczowego człowieka

Układ wydalniczy zbudowany jest z nerek oraz dróg wyprowadzających mocz: moczowodów, pęcherza moczowego oraz cewki moczowej.

Schemat budowy układu moczowego człowieka



Budowa nerek



Element budowy	Budowa		Funkcje
nerki	• parzyste narządy położone w jamie brzusznej po obu stronach kręgosłupa na wysokości odcinka lędźwiowego • wielkość zbliżona do pięści, wymiary: 10–12 cm długości, 5–7 cm szerokości, ok. 3–4 cm grubości • otacza je torebka zbudowana z tkanki łącznej		• oczyszczanie krwi ze zbędnych lub szkodliwych produktów przemiany materii i wytwarzanie moczu
	kora nerki	zewnętrzna warstwa	
	rdzeń nerki	wewnętrzna warstwa zbudowana z piramid nerkowych	
	piramidy nerkowe	• struktury o kształcie stożków, które podstawą są skierowane do kory, a wierzchołkami do warstwy rdzenia • zbudowane z kanalików nerkowych	
	kielichy nerkowe	• struktury miedniczek nerkowych o kształcie lejków • zbierają mocz płynący z piramid nerkowych	
	miedniczki nerkowe	• początek dróg wyprowadzających mocz • gromadzi się w nich mocz ostateczny	
	słupy nerkowe	• fragmenty kory wnikające do rdzenia	
	tętnica nerkowa	• dostarcza krew i substancje odżywcze do nerki	
	żyła nerkowa	• odprowadza z nerek odfiltrowaną krew	
drogi wyprowadzające mocz			
	moczowody	• parzyste przewody o długości ok. 20 cm	• odprowadzają mocz do pęcherza moczowego
	pęcherz moczowy	• nieparzysty narząd o ścianach zbudowanych z mięśni gładkich, które rozciągają się w miarę napełniania pęcherza • może pomieścić 400–700 cm^3 moczu	• okresowe gromadzenie i wydalanie moczu

Element budowy	Budowa		Funkcje
	cewka moczowa	• przewód ok. 5 cm długości u kobiet, u mężczyzn – ok. 20 cm długości • w ścianie ma dwa mięśnie zwieracze, które odpowiadają za jej zamykanie: – na granicy z pęcherzem – mięsień gładki – zwieracz pęcherza, którego skurcz nie podlega naszej woli – przy ujściu cewki na zewnątrz zwieracz zbudowany z mięśni poprzecznie prążkowanych, których praca jest świadomie kontrolowana (świadome oddawanie moczu rozwija się ok. 2.–3. roku życia, kiedy jest prawidłowo rozwinięta kora mózgowa)	• wyprowadza u kobiet mocz na zewnątrz • wyprowadza u mężczyzn mocz i nasienie na zewnątrz

Rola nerek w organizmie

Funkcja wydalnicza

– biorą udział w usuwaniu zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii z organizmu.

Funkcja regulacyjna

– utrzymują w równowadze bilans wodny i prawidłowe stężenie jonów wodorowych i elektrolitów w organizmie.

Funkcja wydzielnicza

– **renina** – powstaje w **aparacie przykłębuszkowym**, reguluje równowagę jonową w organizmie oraz objętość i ciśnienie krwi. Sygnałem do wydzielenia reniny jest spadek ciśnienia tętniczego krwi, co może spowodować niedokrwienie nerek. Renina rozpoczyna przekształcenie jednego z białek osocza krwi – **angiotensynogenu** – w aktywną postać – **angiotensynę II** – wywołującą skurcze naczyń krwionośnych, co podnosi ciśnienie krwi i reguluje wydzielanie wazopresyny i aldosteronu;

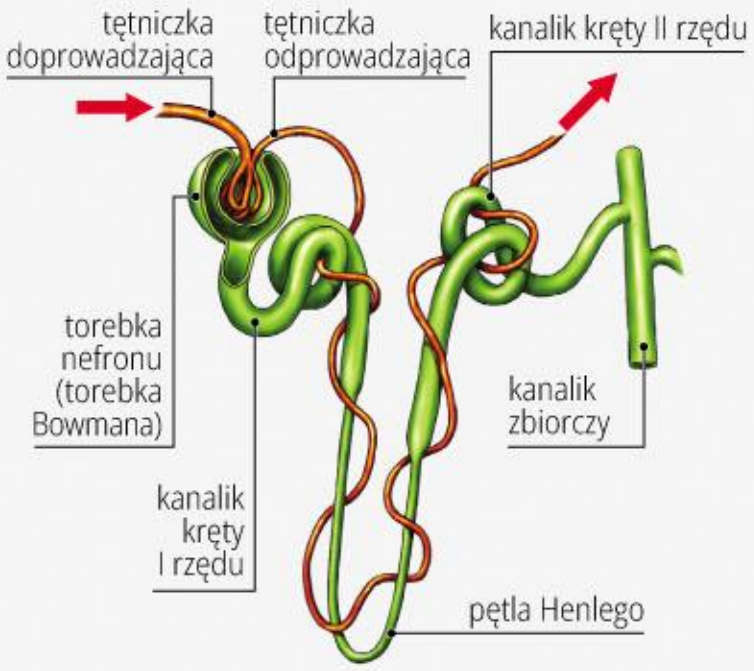
– **erytropoetyna** – hormon tkankowy pobudzający proces wytwarzania krwinek czerwonych;

– **dihydroksykalcyferol** (pochodna witaminy D_3) – reguluje gospodarkę wapniowo-fosforanową.

Przedsionkowy peptyd natriuretyczny (ANP) jest hormonem wydzielanym przez komórki przedsionka serca. Wzrost ciśnienia krwi uwalnia ANP do układu krążenia. Hormon pobudza wydalanie jonów sodu i hamuje wydzielanie aldosteronu. Skutkiem tego jest zwiększone wydalanie moczu i spadek ciśnienia krwi.

Budowa nefronu

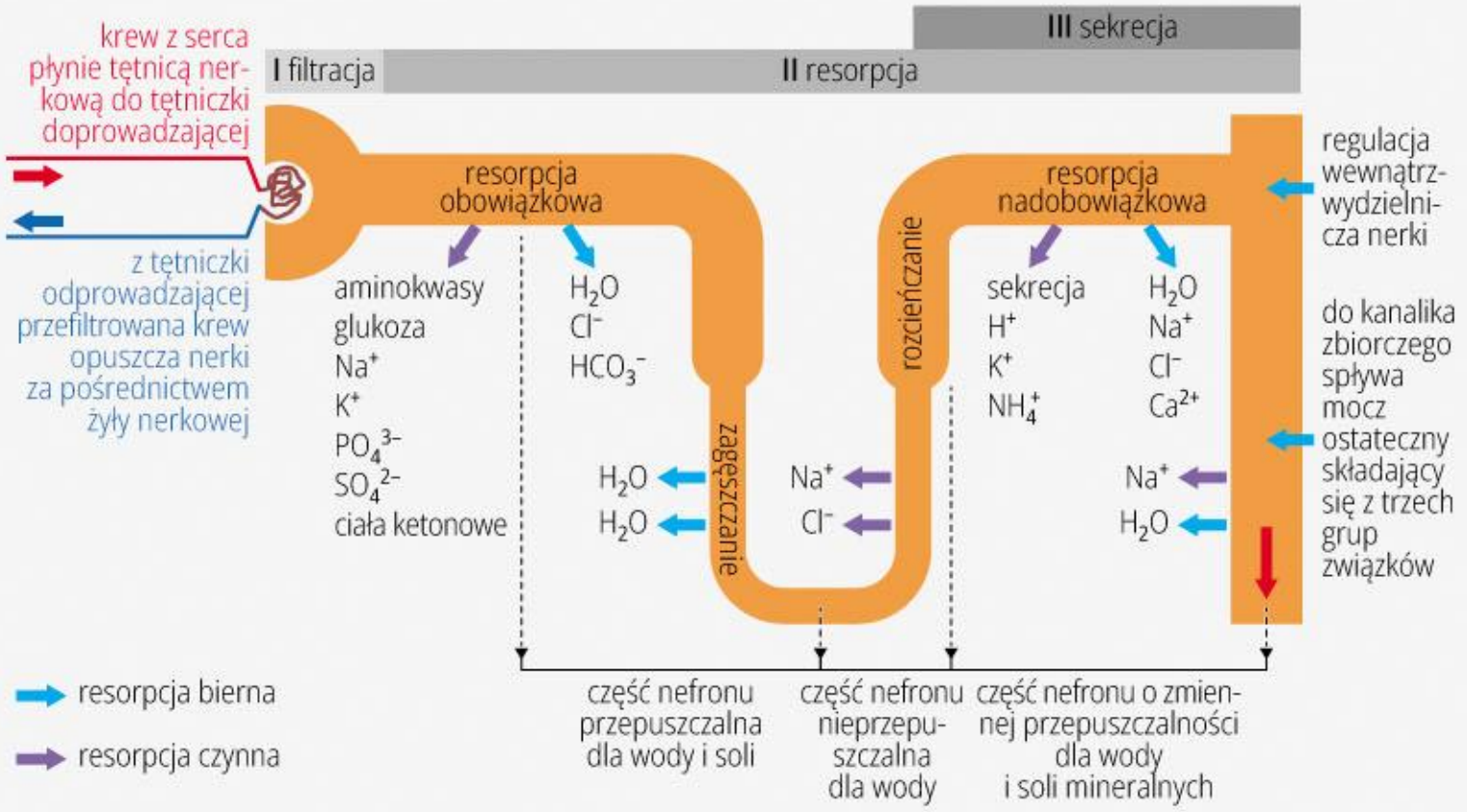
Podstawową jednostką funkcjonalną i strukturalną nerki jest **nefron**. Jest odpowiedzialny za wytworzenie moczu. W jednej nerce znajduje się ok. 1,5 mln nefronów.



Elementy nefronu		Budowa
ciałko nerkowe (ciałko Malpighiego)	torebka kłębuszka (torebka Bowmana)	• zbudowana z nabłonka jednowarstwowego płaskiego tworzącego podwójne ściany: zewnętrzną i wewnętrzną, pomiędzy którymi znajduje się jama torebki • zewnętrzna ściana przechodzi w ścianę kanalika nerkowego, a jama torebki – w światło kanalika
	kłębuszek nerkowy	• gęsta sieć włosowatych naczyń krwionośnych (ok. 30–40 pętli; sieć dziwna tętniczo-tętnicza) • są odgałęzieniami tętniczki nerkowej doprowadzającej wchodzącej do torebki, naczynia włosowate wychodzące z torebki łączą się w tętniczkę odprowadzającą
kanalik nerkowy	kanalik kręty bliższy (proksymalny, I rzędu)	• zbudowany z nabłonka jednowarstwowego sześciennego z mikrokosmkami • obejmuje wychodzący z torebki kanalik kręty oraz gruby odcinek zstępującej pętli nefronu • poszczególne elementy kanalika są oplecione przez tętniczkę odprowadzającą
	pętla nefronu (pętla Henlego)	• zbudowana z nabłonka jednowarstwowego sześciennego z mikrokosmkami oraz z nabłonka jednowarstwowego płaskiego • w kształcie litery „U", na który składają się dwa ramiona: zstępujące i wstępujące
	kanalik kręty dalszy (dystalny, II rzędu)	• zbudowany z nabłonka jednowarstwowego sześciennego z mikrokosmkami • obejmuje gruby odcinek wstępujący pętli nefronu oraz kanalik kręty, opleciony przez tętniczkę odprowadzającą
kanalik zbiorczy		• zbudowany z nabłonka jednowarstwowego sześciennego z mikrokosmkami • uchodzi do miedniczki nerkowej i ostatecznie do moczowodu

Powstawanie moczu

Na proces powstania i wydalania moczu składają się trzy etapy: filtracja, resorpcja i sekrecja.



I etap – filtracja

Zachodzi w ciałkach nerkowych nefronu. Polega na przenikaniu z naczyń włosowatych kłębuszka do torebki niektórych substancji z osocza krwi. Jest to możliwe dzięki:

- różnicy ciśnień – w kłębuszku ciśnienie hydrostatyczne krwi ma wyższą wartość niż ciśnienie w torebce kłębuszka wywołane różnicą wielkości światła między tętniczkami doprowadzającą i odprowadzającą;
- ściany naczyń włosowatych kłębuszka odznaczają się dużą przepuszczalnością dzięki obecności perforacji między komórkami (przechodzą woda i substancje drobnocząsteczkowe);
- dużej powierzchni filtracji wynikającej z silnie rozbudowanej sieci naczyń włosowatych kłębuszka (dla obu nerek wynosi ok. 1,5 m^2).

Ciśnienie w kłębuszku zależy od ogólnego ciśnienia tętniczego (spadek poniżej 80 mm Hg powoduje spadek filtracji) oraz oporu tętniczek (skurcz naczynia doprowadzającego i rozkurcz odprowadzającego powoduje spadek ciśnienia w kłębuszku).

Przez mikroskopijne pory z krwi oprócz wody przedostają się także większe cząsteczki, takie jak **aminokwasy**, **glukoza**, **witaminy**, **mocznik**, **kwas moczowy**. Około 20% objętości osocza krwi przepływającego przez naczynia kłębuszka przechodzi do powstającego **moczu pierwotnego** (tzw. ultraprzesączu). Pozostała część jest odprowadzana tętniczką odprowadzającą. Skład tego płynu przypomina składem osocze krwi. Zawiera wodę, jony soli mineralnych (np. sodu, potasu, chlorkowe, wodorowęglanowe), a także drobnocząsteczkowe związki organiczne (np. aminokwasy, witaminy, glukozę, mocznik). W moczu pierwotnym brak jest substancji, które nie mogą się przedostać przez błonę kłębuszka, takich jak białka. Podczas doby w nerkach po wstaje ok. **150–180 l moczu pierwotnego**.

II etap – resorpcja

Polega na odzyskiwaniu potrzebnych substancji w sposób czynny (z wykorzystaniem energii) lub bierny (bez wykorzystania energii). Zachodzi w kanalikach nerkowych. W kanaliku bliższym następuje wchłonięcie ok. 65% moczu pierwotnego, m.in. glukozy, aminokwasów, witamin, jonów soli mineralnych – tzw. **wchłanianie zwrotne obowiązkowe**. W kanalikach dalszych i kanaliku zbiorczym następuje dalsza resorpcja **zwrotna nieobowiązkowa** wody i jonów sodu, regulowana hormonalnie i zależna od poziomu uwodnienia płynów ustrojowych.

Przystosowaniem do resorpcji są:

- **mikrokosmki nabłonka** kanalików nerkowych, które zwiększają powierzchnię wchłaniania;
- **liczne mitochondria** w komórkach ścian kanalików, które są źródłem energii niezbędnej do aktywnego transportu jonów.

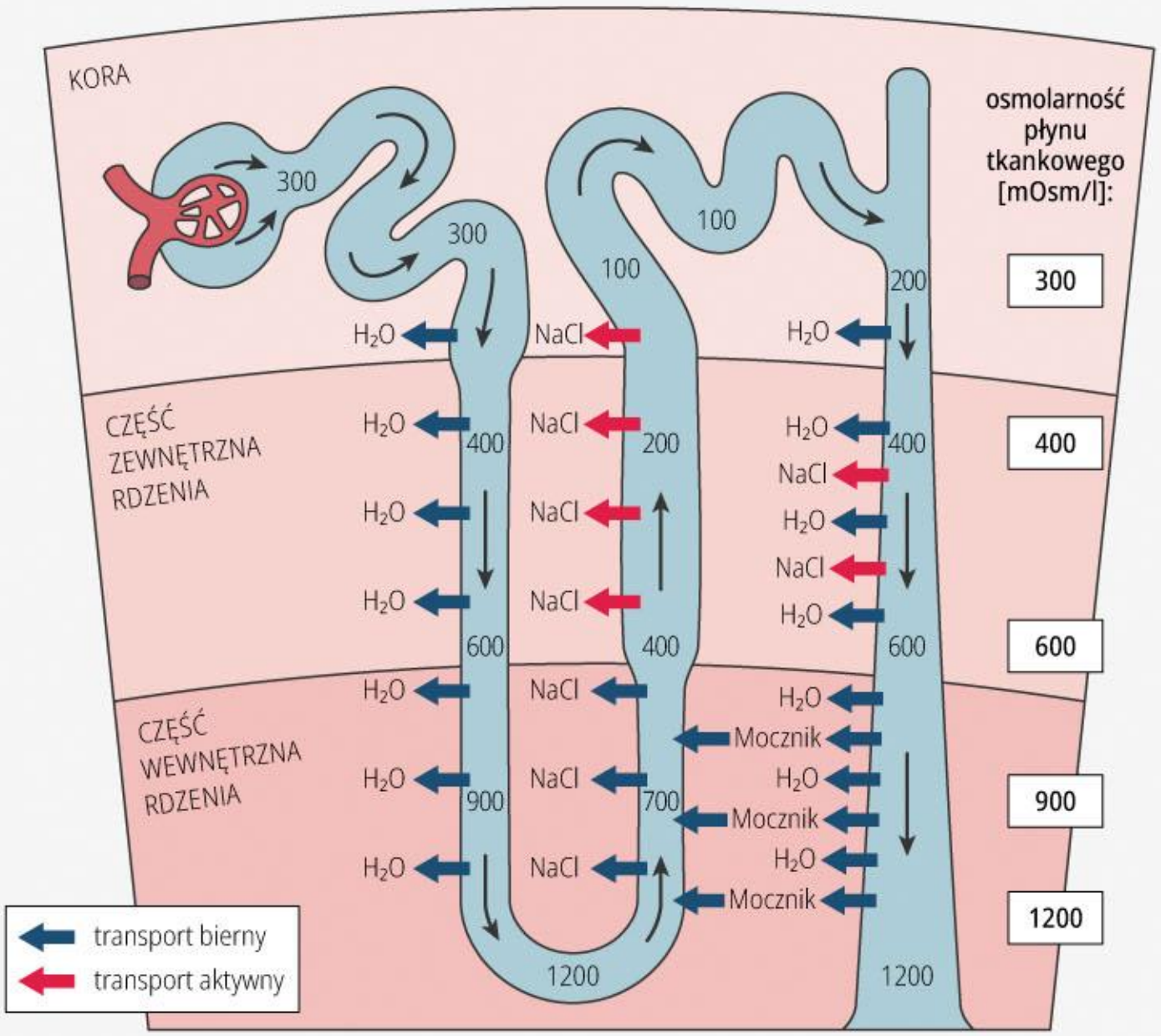
III etap – sekrecja

Zachodzi w kanaliku dalszym. Jest procesem odwrotnym do resorpcji. Polega na wydzielaniu do światła kanalików różnych substancji, np. soli amonowych, jonów wodorowych, jonów potasowych, hormonów steroidowych, kreatyniny oraz leków przyjmowanych podczas choroby, np. penicyliny i sulfonamidów. Przesącz po przejściu resorpcji i sekrecji spływa do kanalika zbiorczego, który otwiera się do kielicha nerkowego. Kielichy nerkowe łączą się w miedniczki nerkowe, którymi mocz ostateczny spływa moczowodem do pęcherza moczowego.

Zagęszczanie moczu

W pętli nefronu zachodzi zagęszczanie moczu na drodze **mechanizmu przeciwprądowego**. Ramię zstępujące jest przepuszczalne dla wody, a wstępujące – nieprzepuszczalne dla wody; zachodzi w nim aktywne wchłanianie jonów sodu i jonów chlorkowych do płynu śródmiąższowego.

Izotoniczny mocz z ciałka nefronu spływa do kanalika krętego I rzędu. Jony sodu i jony chlorkowe są aktywnie transportowane z ramienia wstępującego pętli neuronu do przestrzeni okołokanalikowej. Płyn kanalikowy w zgięciu pętli nefronu staje się bardziej stężony (**hipertoniczny**). Powoduje to osmotyczny odpływ wody w ramieniu zstępującym i zagęszczenie moczu. Mocz dopływający z ramienia wstępującego pętli nefronu do kanalika dalszego jest nieprzepuszczalny dla wody, pozbawiony jonów sodowych i chlorkowych (**hipotoniczny**).

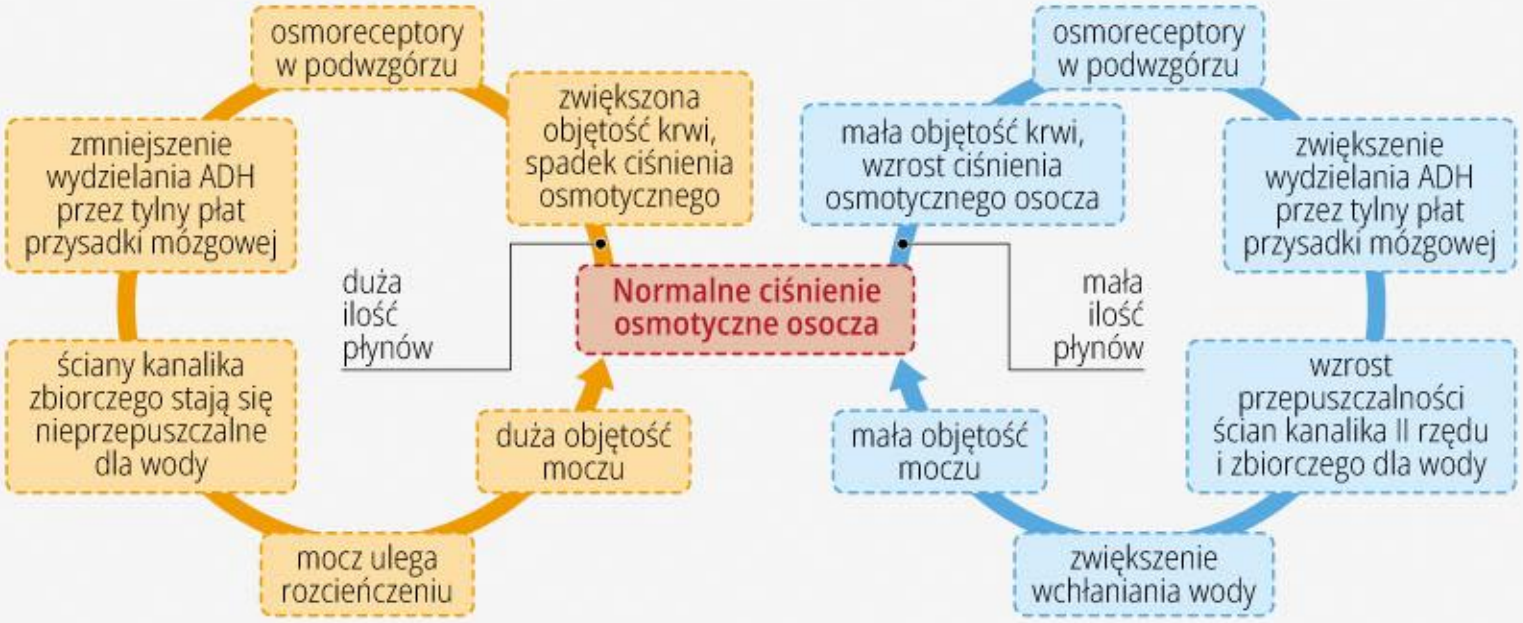


Porównanie wybranych składników moczu pierwotnego i ostatecznego

Składniki	Mocz pierwotny	Mocz ostateczny
woda	180 l	1,8 l
glukoza	180 g	–
mocznik	53 g	25 g
chlorki	630	5 g
białko	10–20 g	–

Kontrola hormonalna pracy nerek

Ilość produkowanego moczu i jego skład są regulowane przez hormony. Wchłanianie wody reguluje **wazopresyna – hormon antydiuretyczny (ADH)**, **aldosteron** i **parathormon (PTH)**.



Wazopresyna zwiększa wchłanianie zwrotne wody z kanalików nerkowych, co powoduje zwiększeniem objętości płynów ustrojowych i zmniejszeniem objętości moczu.

Za prawidłowe wchłanianie (resorpcję) jonów sodu odpowiada hormon kory nadnerczy – **aldosteron**. Stymuluje on kanaliki dalsze i zbiorcze do ich wzmożonego wchłania zwrotnego, co prowadzi do wzrostu ciśnienia krwi. Wchłanianie jonów wapnia reguluje hormon wydzielany przez przytarczyce – **parathormon**.

Odruch wydalania moczu jest sterowany niezależnie od woli przez ośrodek w części krzyżowej rdzenia kręgowego oraz zależnie od woli przez w korze mózgu (płat czołowy kory mózgowej).

Kiedy pęcherz moczowy jest wypełniony, rozciągnięcie jego ścian pobudza odpowiednie receptory i informacja dostaje się do ośrodka w części krzyżowej rdzenia kręgowego. Cewka moczowa w swojej ścianie zawiera dwa mięśnie zwieracze, które odpowiadają za jej zamykanie. Następuje rozluźnienie mięśnia zwieracza cewki, pęcherz się kurczy i mocz jest wydalany na zewnątrz.

Badanie moczu

Parametry	Prawidłowy wynik	Zmiana	Przyczyny/choroba
fizykochemiczne			
ciężar właściwy	1005–1025 g/l (zależy m.in. od objętości wypitych płynów)	wzrost	• w moczu obecne białko i cukier
		spadek	• częstomocz • przewlekła niewydolność nerek
barwa	odcienie żółci (w zależności od spożywanych pokarmów i przyjmowanych płynów)	intensywne	• duże zagęszczenie moczu • spożywanie zbyt małej ilości płynów
		ciemne (brunatne)	• stany zapalne wątroby, pęcherzyka żółciowego • przyjmowanie niektórych leków • odwodnienie organizmu
		czerwone	• krwiomocz
przejrzystość	klarowny	mętny	• infekcje, podczas których następuje wytrącanie się soli mineralnych lub pojawienie się śluzu

Parametry	Prawidłowy wynik	Zmiana	Przyczyny/choroba
pH (odczyn)	od lekko kwaśnego do lekko zasadowego	wzrost kwasowości	• dieta bogata w pokarmy zwierzęce (białko) • kamica nerkowa • wymioty • astma
		wzrost zasadowości	• dieta bogata w pokarmy roślinne • odwodnienie • głodówka
dobowa ilość	ok. 2–3 litrów	poniżej normy (skąpomocz)	• ograniczone pobieranie płynów • spadek ciśnienia krwi • biegunka • wysoka gorączka • niewydolność nerek
		powyżej normy (wielomocz)	• zwiększone pobieranie płynów • wzrost ciśnienia krwi • wychłodzenie organizmu • dieta wysokobiałkowa
związki chemiczne			
białko	brak (lub ok. 100 mg/l)	obecność	• białkomocz powyżej 300 mg/dobę • uszkodzenie nerek • obecność bakterii, śluzu
glukoza	brak (lub ok. 3,9–6,1 mmol/l)	obecność	• cukromocz (glikozuria) powyżej 10–11 mmol/l • cukrzyca • nadciśnienie tętnicze • gorączka • wysiłek fizyczny
bilirubina	brak	obecność	• niedrożność dróg żółciowych • uszkodzenie wątroby
urobilinogen	0,05–4 mg/dobę	powyżej normy	• zapalenie wątroby • krwawienie z przewodu pokarmowego
ciała ketonowe	brak	obecne	• cukrzyca • anoreksja • bulimia
osad			
nabłonki	nieliczne w polu widzenia	liczne w polu widzenia	• zakażenia układu moczowego
leukocyty	brak lub pojedyncze (1–5 w polu widzenia)	więcej niż 5 w polu widzenia	• stan zapalny układu moczowego
erytrocyty	brak lub pojedyncze (1– 3 w polu widzenia)	więcej niż 3 w polu widzenia	• stan zapalny nerek • kamica nerkowa • zapalenie kłębuszka
bakterie	brak	obecne	• zakażenia
szczawiany	brak	obecne	• kamica nerkowa

Wybrane choroby układu wydalniczego

Choroba	Przyczyna	Objawy	Profilaktyka i leczenie
zapalenie pęcherza moczowego i cewki moczowej	• zakażenie bakteriami przez cewkę moczową • zaleganie moczu w pęcherzu moczowym	• bolesne i częste oddawanie mętnego moczu o przykrym zapachu • uczucie parcia na pęcherz moczowy	• higiena układu moczowo-płciowego • picie dużej ilości płynów • regularne oddawanie moczu • leczenie antybiotykami
zapalenie miedniczek nerkowych	• zakażenie bakteriami wnikającymi z dróg moczowych • kamica nerkowa	• ostry ból w okolicy lędźwiowej • gorączka • częste oddawanie moczu w małych ilościach, czemu towarzyszy ból i pieczenie	• higiena układu moczowo-płciowego • picie dużej ilości płynów • ogrzewanie okolic nerek • leczenie antybiotykami
kamica nerkowa	• powstawanie kamieni (złogów wapnia, szczawianów, fosforanów) w nerkach lub drogach moczowych spowodowane m.in. piciem małych ilości płynów, dietą wegetariańską, powikłaniami po infekcjach bakteryjnych, przetrzymywaniem moczu • częściej występuje u mężczyzn niż u kobiet	• silny ból w okolicy nerek (tzw. kolka nerkowa) • nudności, wymioty • podwyższona temperatura ciała	• picie dużych ilości płynów • dieta uboga w sól, wapń • leczenie środkami rozszerzającymi drogi moczowe • rozkruszanie kamieni za pomocą ultradźwięków lub zabieg chirurgiczny
kłębuszkowe zapalenie nerek	• przebyte i niedoleczone zapalenie górnych dróg oddechowych, zapalenie zatok, migdałków, ropiejące zapalenie zęba • infekcje bakteryjne i wirusowe	• cukromocz • białkomocz • obrzęki ciała • nadciśnienie tętnicze • brak łaknienia, wymioty • wysoka temperatura • czasami początek przebiega bezobjawowo • nieleczone prowadzi do niewydolności nerek	• dokładne leczenie chorób górnych dróg oddechowych i stanów zapalnych zębów • dieta uboga w białka • leczenie antybiotykami
niewydolność nerek	• następstwo chorób nerek (np. zapalenia miedniczek nerkowych czy kamicy nerkowej) • nadciśnienie tętnicze • cukrzyca	• zmiana ilości wydalanego moczu w ciągu doby • osłabienie, obrzęki • brak apetytu • zaburzenia rytmu serca • niedokrwistość • skłonność do krwawień z przewodu pokarmowego • zakwaszenie organizmu • zatrucie organizmu produktami przemiany materii	• picie dużych ilości płynów • dieta uboga w sól i białka • mierzenie ciśnienia tętniczego • wykonywanie badań moczu • w stadium zaawansowanym – dializa, a w późniejszym rozwoju choroby – przeszczep nerki
moczówka prosta	• niedobór wazopresyny	• nieustanne pragnienie • oddawanie bardzo dużych ilości moczu (nawet do 10 litrów w ciągu doby) • zmęczenie, osłabienie • wysoka temperatura	• odpowiednie nawodnienie • leczenie przez podawanie syntetycznej wazopresyny lub jej farmakologicznego odpowiednika

Diagnostyka chorób układu wydalniczego

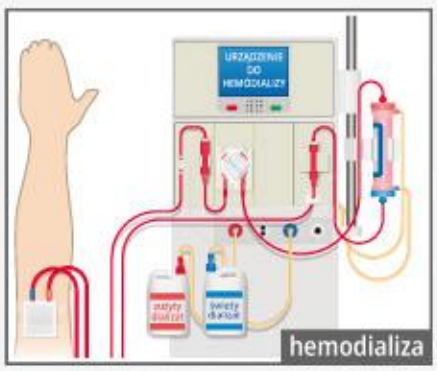
Rodzaj badania	Opis
analiza składu moczu	• ocena parametrów fizykochemicznych (dobowej ilości wydalanego moczu, przejrzystości, pH, barwy) moczu oraz obecności w nim związków chemicznych (białka, cukru, bilirubiny, urobilinogenu, ciał ketonowych) oraz osadu (nabłonki, erytrocyty, leukocyty, bakterie) • uzyskane wyniki są porównywane z normami, a ich interpretacja pozwala na ocenę stanu zdrowia pacjenta przez lekarza
USG jamy brzusznej	• stosowane w diagnostyce nieprawidłowej budowy narządów układu moczowego: nerek, moczowodów, pęcherza moczowego (obrazowanie za pomocą fal ultradźwiękowych) • pozwala na wykrycie guzów i torbieli narządów układu moczowego, a także kamieni nerkowych
urografia	• badanie uzupełniające, pozwala na obserwację pracy nerek i przepływu moczu przez moczowody, pęcherz i cewkę moczową • wskazaniem jest podejrzenie wad wrodzonych układu moczowego • badanie z użyciem promieni rentgenowskich po wcześniejszym podaniu kontrastu, który przechodzi przez nerki i zostaje wydalony z moczem • wykonuje się kilka zdjęć rentgenowskich przed podaniem kontrastu, a następnie po jego podaniu oraz kolejne w odstępach kilkunastominutowych

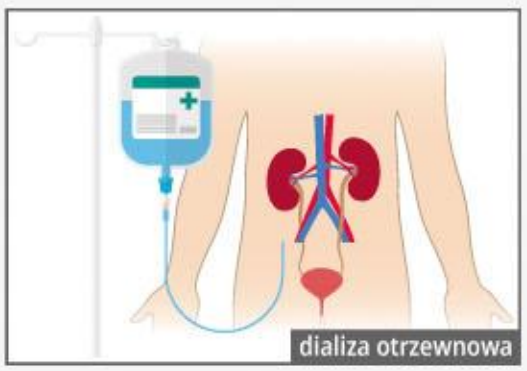
Dializa

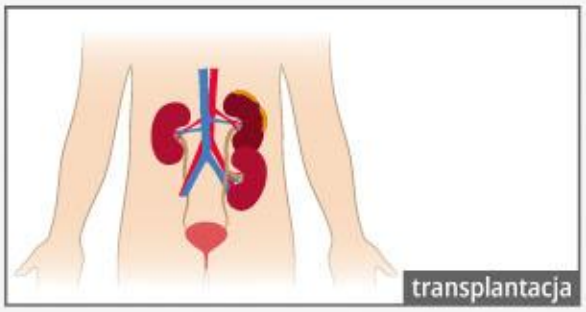
Ostry stan niewydolności nerki wymaga interwencji medycznej – **przeszczepu nerki** lub **dializy**. Najczęściej stosuje się dwie metody dializy: **hemodializę i dializę otrzewnową**.

Hemodializa	Dializa otrzewnowa
• usuwanie produktów przemiany materii i wody lub leków oraz toksyn z krwi pacjenta poprzez sztuczną błonę półprzepuszczalną • krew jest wielokrotnie przepompowywana na zewnątrz ciała do dializatora (tzw. sztucznej nerki) • krew krąży między dializatorem a pacjentem, zostaje oczyszczona, a następnie wraca do organizmu chorego • wykonywana wyłącznie w warunkach szpitalnych i najczęściej odbywa się kilka razy w tygodniu	• funkcję półprzepuszczalnej błony dializacyjnej pełni otrzewna, która wyściela jamę brzuszną i pokrywa znajdujące się w niej narządy • do jamy brzusznej pacjenta wprowadza się specjalnie przygotowany płyn dializacyjny (zawierający m.in. wodę, glukozę, NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$, octan sodu) przez cewnik umieszczony na dnie jamy otrzewnej • cewnik pozwala na swobodne wprowadzanie i wyprowadzanie płynu z otrzewnej • szkodliwe produkty przemiany materii przechodzą z naczyń krwionośnych przez błonę otrzewnej do płynu dializacyjnego • można przeprowadzać przez kilka godzin w ciągu doby w domu pacjenta (najczęściej w nocy)

Najskuteczniejszą metodą leczenia ostrej niewydolności nerek jest **przeszczep**. Zabieg ten wymaga znalezienia odpowiedniego dawcy o takiej samej grupie krwi i zgodności tkankowej. Czas oczekiwania na taką operację jest dość długi. Pacjent po przeszczepie musi przyjmować leki **immunosupresyjne**, zapobiegające odrzuceniu przeszczepu. Niekiedy po wielu latach mimo stosowania takiej terapii organizm sam odrzuca przeszczepioną nerkę, a wówczas następuje powrót do dializoterapii.





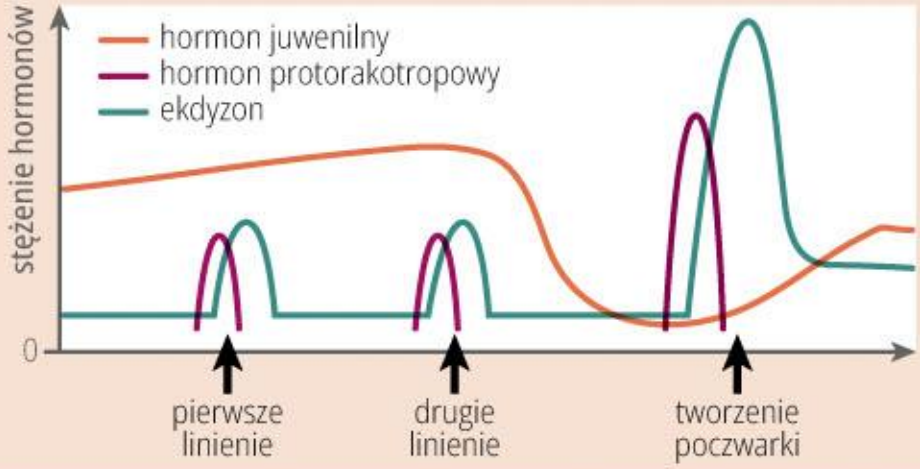


8.12. Regulacja dokrewna u zwierząt

Regulacja hormonalna u owadów

Rozwój złożony u owadów jest regulowany przez trzy hormony: **juwenilny, protorakotropowy i ekdyzon** (tzw. hormon linienia).

Hormony regulujące przeobrażenie u owadów	
Ekdyzon i hormon protorakotropowy	**Hormon juwenilny**
• regulują częstotliwość linienia • uwalnianie hormonu protorakotropowego jest kontrolowane m.in. przez zmiany długości dnia i nocy, temperatury i pożywienia • hormon protorakotropowy stymuluje gruczoły do wydzielania ekdyzonu • ekdyzon powoduje linienie	• reguluje stadium rozwoju w czasie wylinki • duże jego stężenie wpływa na przyspieszenie linienia i wzrost bez przeobrażenia • stężenie spada w czasie rozwoju larwy • spadek jego stężenia powoduje przekształcenie larwy w poczwarkę (w poczwarce dochodzi do przeobrażenia w postać dorosłą, czyli imago)



8.13. Budowa i funkcje układu hormonalnego u człowieka

Układ hormonalny (dokrewny, wydzielania wewnętrznego) obejmuje komórki, tkanki i gruczoły dokrewne zlokalizowane w różnych częściach organizmu. Układ dokrewny działa za pośrednictwem **hormonów**, które regulują większość procesów fizjologicznych (wzrost i rozwój, metabolizm, rozmnażanie, odpowiedź na czynniki stresowe).

Hormony

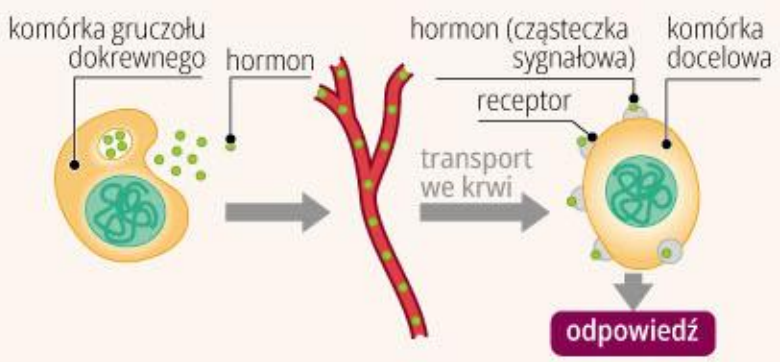
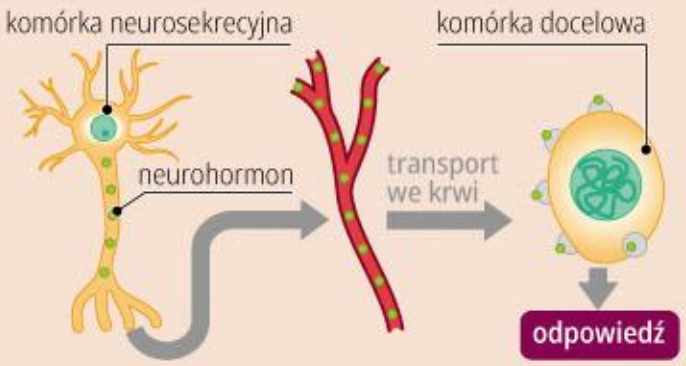
Hormony to endogenne związki organiczne, które koordynują i regulują pracę innych tkanek i narządów zwanych docelowymi. Wspólne cechy hormonów:
– są produkowane przez gruczoły dokrewne oraz komórki;
– są wydzielane do krwi lub limfy i transportowane przez płyny ustrojowe;
– oddziałują na funkcje innych narządów, tkanek, komórek.

Podział hormonów

Klasyfikacja hormonów			
I kryterium: budowa chemiczna			
zbudowane z aminokwasów lub związków pochodnych			sterydowe
pochodne aminokwasów	peptydowe	glikoproteinowe	
• adrenalina • noradrenalina • tyroksyna • trójodotyronina • melatonina	• wazopresyna • oksytocyna • hormon wzrostu • hormony podwzgórza • hormon luteinizujący	• tyreotropina • folikulotropina	• testosteron • estrogen • kortykoidy

Klasyfikacja hormonów			
II kryterium: miejsce produkcji i wydzielania (działania)			
gruczołowe: wytwarzane w gruczołach dokrewnych	**tkankowe:** komórki wydzielnicze różnych tkanek i narządów	**neurohormony:** wydzielane przez komórki nerwowe (neurosekrecyjne) OUN (podwzgórza i przysadki)	**mediatory lokalne:** wydzielane przez komórki ciała
• adrenalina • testosteron • tyroksyna • insulina	• renina • sekretyna • cholecystokinina • gastryna	• statyny • liberyny • wazopresyna	• histamina
III kryterium: budowa i funkcje tkanki wydzielniczej			
czyste: zbudowane są z tkanki wydzielniczej, której komórki produkują i wydzielają prawie wyłącznie hormony		**mieszane:** oprócz hormonów wydzielają również inne substancje, które pełnią różnorodne funkcje w organizmie	
• przysadka mózgowa • tarczyca • nadnercza		• komórki trzustki • gonady	

Rodzaje sygnalizacji hormonalnej

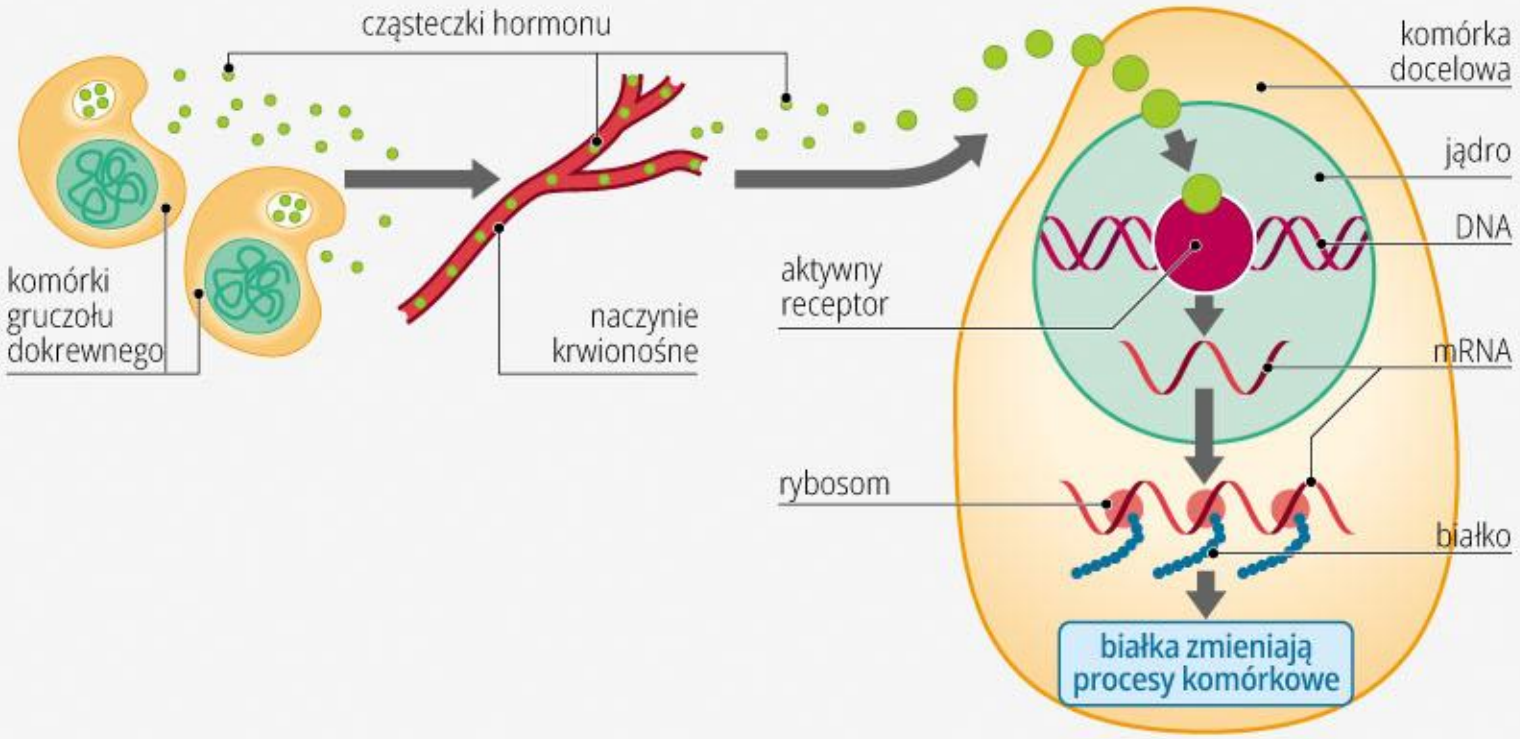
Sygnalizacja hormonalna		
klasyczna endokrynna	Hormony są wydzielane przez gruczoły dokrewne i transportowane przez krew do komórek docelowych.	
neuroendokrynna	Uwalnianie neurohormonów przez neurony endokrynne, które przez płyn międzykomórkowy trafiają do krwi, np. hormony wydzielane przez podwzgórze oddziałują na przysadkę.	
autokrynna	Hormony działają na komórki, które go wytwarzają.	
parakrynna	Hormony przenikają do płynu międzykomórkowego i działają na sąsiednie komórki docelowe.	

Mechanizm regulacji hormonalnej

Regulacja hormonalna polega na związaniu hormonu ze specyficznym, ściśle dopasowanym dla niego białkiem receptorowym w komórce docelowej. Receptory hormonów znajdują się zarówno wewnątrz komórki, jak i na powierzchni błony komórkowej.

Mechanizm działania hormonów steroidowych

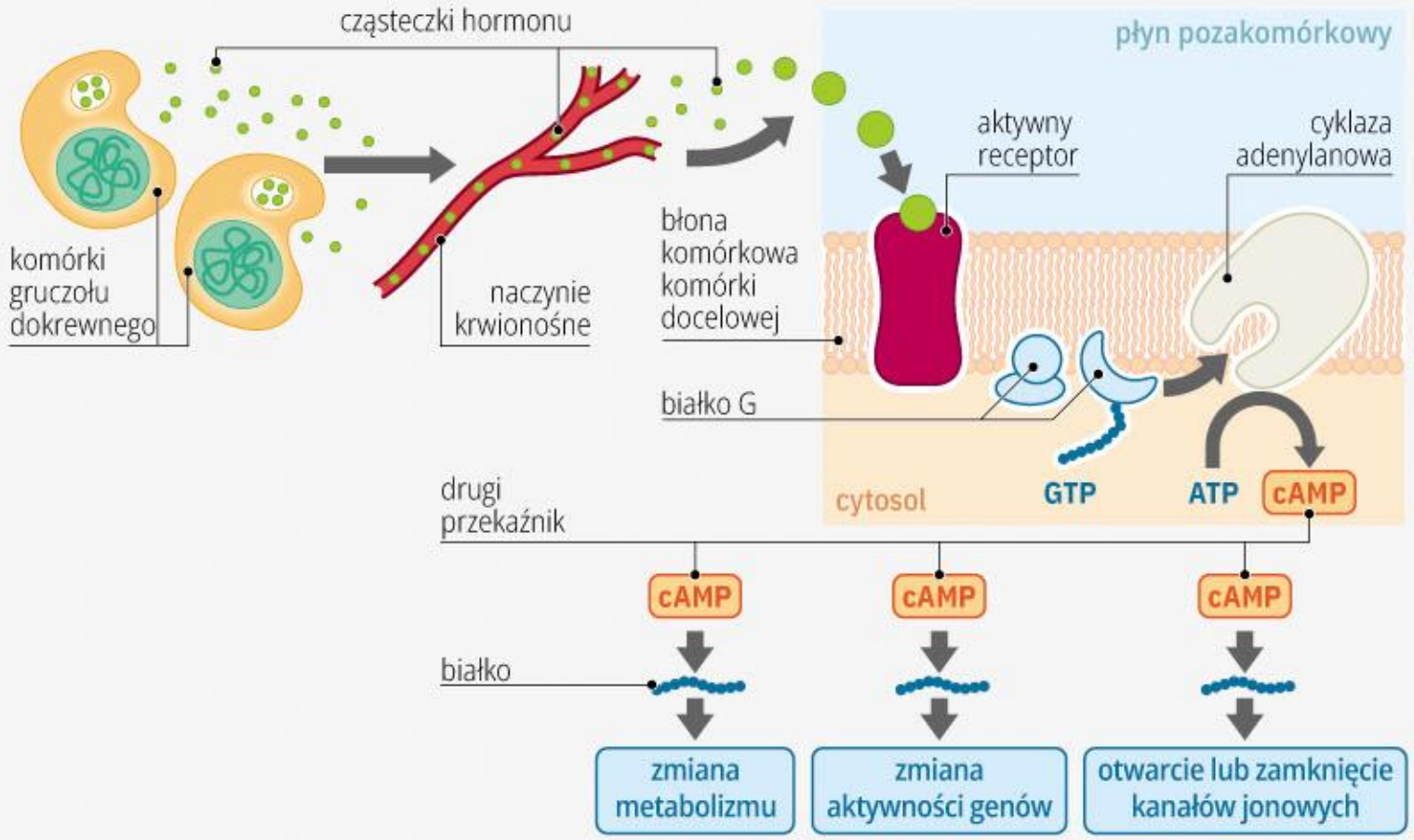
Hormony steroidowe są rozpuszczalne w tłuszczach, dlatego przenikają przez błonę komórkową i łączą się ze swoistymi białkami receptorowymi w cytoplazmie lub w jądrze komórkowym.



Mechanizm działania hormonów białkowych i peptydowych

Hormony białkowe łączą się ze swoistymi receptorami znajdującymi się w błonie komórkowej. Połączenie z receptorem rozpoczyna **szlak przekazywania sygnału**, w czasie którego informacja przez elementy pośrednie jest przekazywana do docelowego miejsca w komórce. Szlak ten obejmuje:

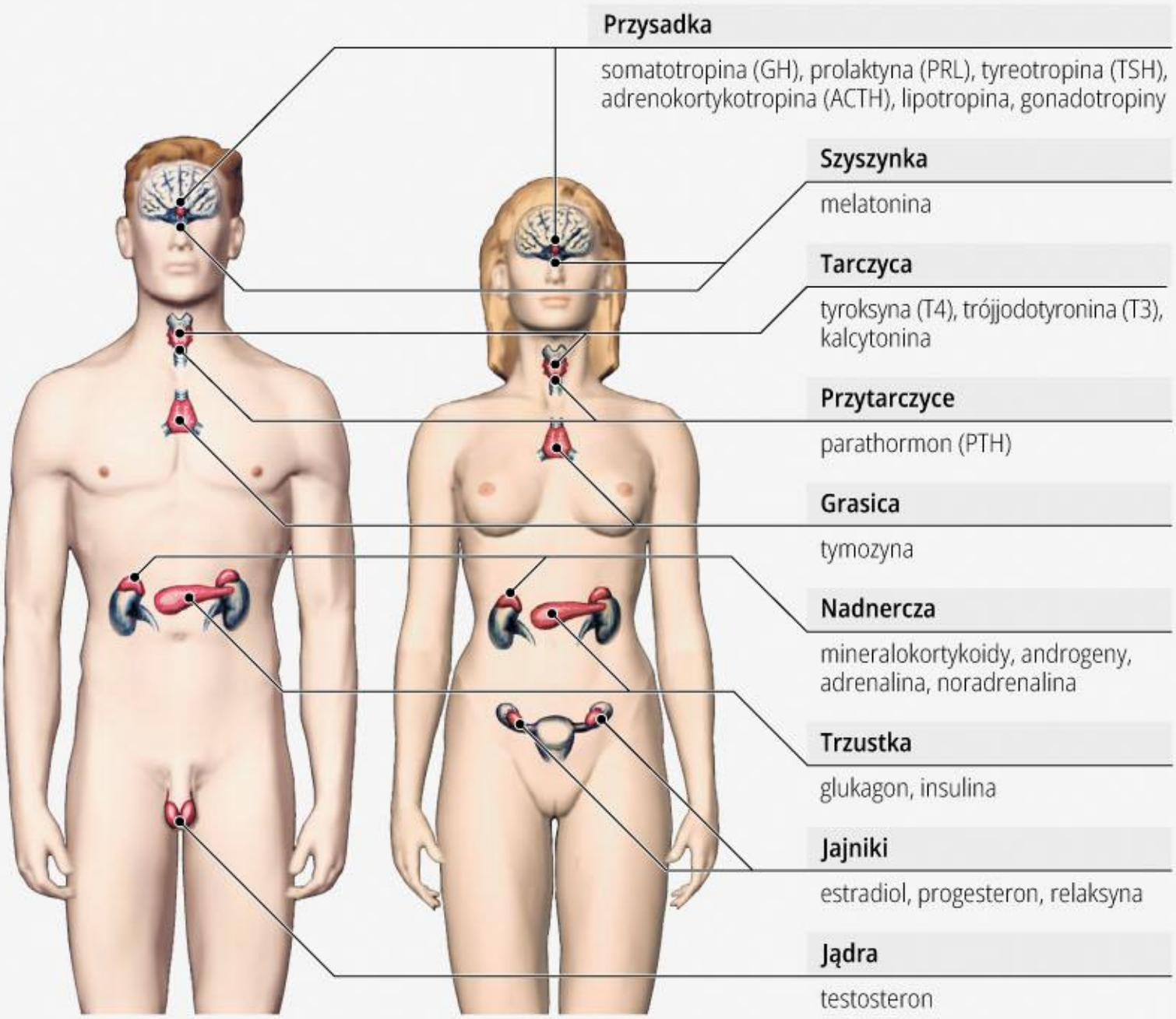
- połączenie się hormonu z receptorem błonowym i utworzenie **kompleksu hormon-receptor**;
- aktywację **białka regulatorowego (białka G)** w wyniku połączenia hormonu z receptorem w błonie;
- zmianę konformacji białka G i aktywację enzymu – **cyklazy adenylowej**, która jest zalkalizowana po wewnętrznej stronie błony;
- przekształcenie ATP w **cykliczny AMP** przez cyklazę adenylową;
- aktywacja wewnątrzkomórkowych białek przez cAMP i zmiana aktywności komórki (np. zmiana metabolizmu, zmiana aktywności genów, regulacja otwarcia kanałów jonowych).



Hormony tkankowe

Hormon tkankowy	Miejsce wytwarzania	Funkcja
erytropoetyna	nerki i wątroba	namnażanie i dojrzewanie erytrocytów
gastryna	żołądek i dwunastnica	stymulacja wydzielania kwasu żołądkowego; odpowiada za prawidłowy stan błony śluzowej żołądka
histamina	płuca, skóra, błona śluzowa nosa i żołądka	udział w procesach zapalnych i w odczynie alergicznym; pobudza wydzielanie kwasu żołądkowego; neuroprzekaźnik

Gruczoły dokrewne – lokalizacja w organizmie człowieka i wydzielane hormony



Charakterystyka działania hormonów

Gruczoł dokrewny	Hormon	Działanie	Skutki niedoboru (niedoczynność gruczołu)	Skutki nadmiaru (nadczynność gruczołu)
przysadka	hormony tropowe	pobudzają tarczycę, nadnercza i gonady do wydzielania hormonów	zaburzenia czynności gruczołów, na które oddziałują	
	hormon wzrostu	pobudza przemianę białek, tłuszczów, węglowodanów w komórkach; stymuluje wzrost	w okresie wzrostu – zahamowanie wzrostu kości długich (karłowatość)	w okresie wzrostu – nadmierny wzrost (gigantyzm); po zakończeniu okresu wzrostu – nieproporcjonalny rozrost (pogrubienie) kości rąk i nóg, kości żuchwy, warg (akromegalia)
	prolaktyna	pobudza gruczoły mlekowe do wytwarzania mleka po porodzie; hamuje owulację	–	–
szyszynka	melatonina	reguluje rytm dobowy; hamuje rozwój i czynność gonad w okresie dzieciństwa	opóźnienie dojrzewania płciowego	przyspieszenie dojrzewania płciowego; u osób starszych zaburzenia snu
tarczyca	tyroksyna trójjodotyronina	pobudzają metabolizm, ułatwiają wchłanianie glukozy z jelit	powiększenie tarczycy (wole endemiczne) m u dorosłych obrzęk śluzowaty (sucha i szorstka skóra, nalana twarz), u dzieci upośledzenie umysłowe i fizyczne	choroba Gravesa-Basedowa (autoimmunologiczna) – utrata masy ciała, szybka przemiana materii, wole, zwiększona pobudliwość nerwowa, drżenie rąk, wytrzeszcz oczu
	kalcytonina	zmniejsza stężenie wapnia we krwi; hamuje uwalnianie wapnia z tkanki kostnej		
przytarczyce	parathormon	zwiększa stężenie wapnia we krwi; powoduje uwalnianie wapnia z tkanki kostnej; bierze udział w metabolizmie witaminy D	zwiększona pobudliwość nerwowa (mrowienie, skurcze mięśni szkieletowych lub oddechowych; napady duszności, tężyczka)	demineralizacja kości, bóle kostne, utrudnione chodzenie, złogi wapnia w nerkach
grasica	tymozyna tymulina	wpływa na dojrzewanie limfocytów T, syntezę interferonu	spadek liczby limfocytów T i upośledzenie odporności	zanik komórek krwiotwórczych szpiku kostnego

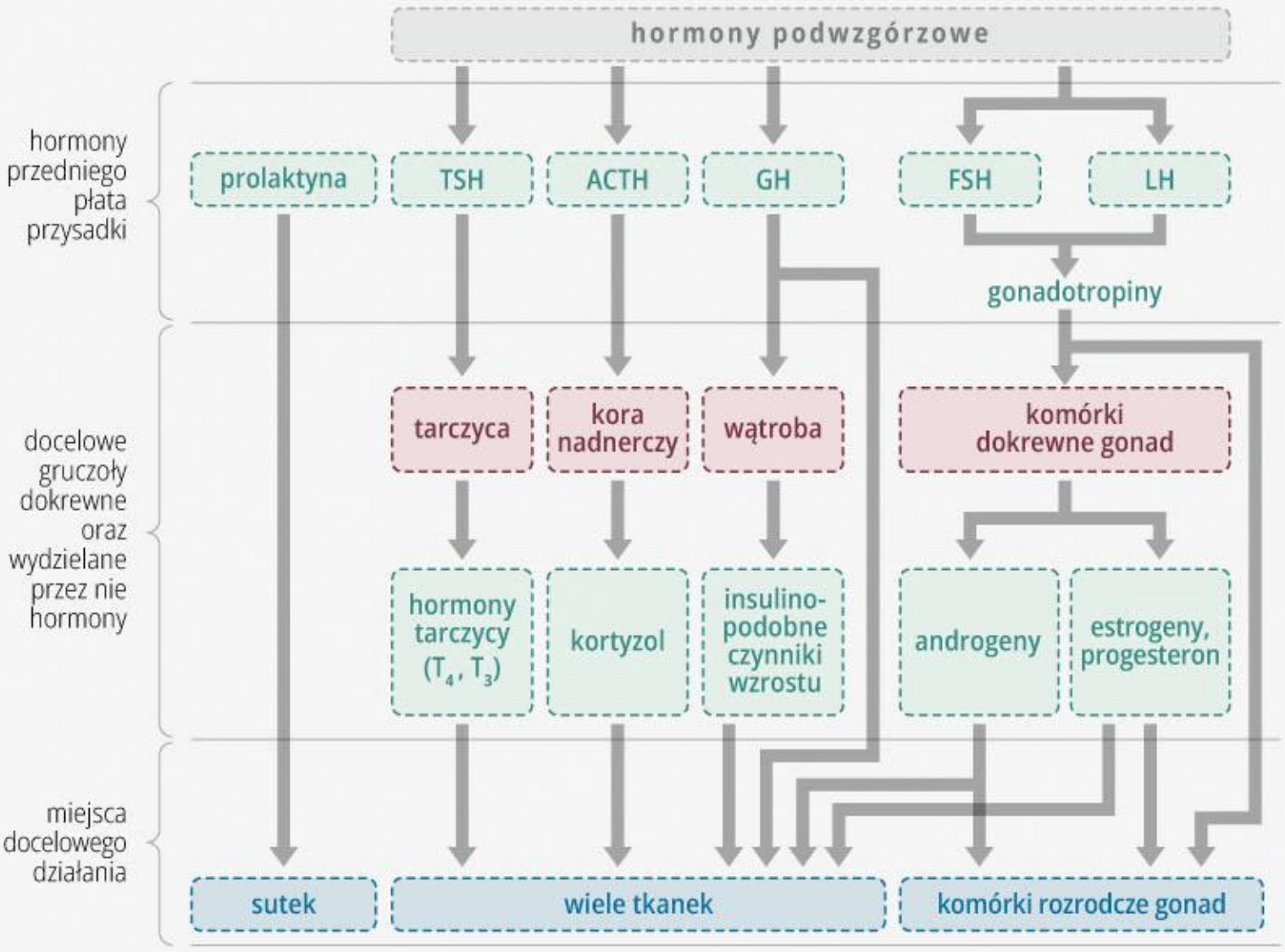
Gruczoł dokrewny	Hormon	Działanie	Skutki niedoboru (niedoczynność gruczołu)	Skutki nadmiaru (nadczynność gruczołu)
nadnercza (rdzeń)	adrenalina noradrenalina	biorą udział w reakcjach typu „walcz i uciekaj", podnoszą ciśnienie krwi, zwiększają objętość wyrzutową serca, rozszerzają oskrzela, zwiększają tempo oddechów, przyspieszają rozkład glikogenu i transport glukozy we krwi	–	skoki ciśnienia, utrata masy ciała, wysoki poziom glukozy we krwi (hiperglikemia)
nadnercza (kora)	kortyzol	podnosi poziom glukozy we krwi, zwiększa ciśnienie, przyspiesza rozkład tłuszczów	choroba Addisona (osłabienie, brak apetytu, wymioty, spadek masy ciała, osłabienie odporności, przebarwienia skóry	zespół Cushinga (zwiększony apetyt, odkładanie tłuszczu w obrębie twarzy i karku; zaburzenia metabolizmu lipidowego i węglowodanowego; spadek odporności, wysokie ciśnienie)
	mineralokortykosteroidy	regulują gospodarkę mineralną organizmu – zwiększają wchłanianie jonów sodu i potasu		
trzustka	insulina	obniża poziom glukozy we krwi, pobudza syntezę glikogenu w wątrobie i w mięśniach oraz zwiększa wychwyt glukozy z krwi	zbyt wysokie stężenie glukozy we krwi (hiperglikemia) związane często z cukrzycą typu I oraz: nadmierne pragnienie, częstomocz, utrata apetytu, osłabienie, zaróżowienie skóry	zmniejszenie poziomu glukozy we krwi (hipoglikemia); objawia się: drżeniem rąk, zimnymi potami, zwiększonym apetytem, trudnościami w koncentracji, podwójnym widzeniem i ryzykiem śpiączki
	glukagon	podnosi poziom glukozy we krwi	–	–
jądra	testosteron	wpływa na rozwój drugo- i trzeciorzędowych cech płciowych męskich; reguluje powstawanie i dojrzewanie plemników	zmęczenie, nerwowość, obniżenie płodności i libido, brak zarostu na twarzy, sylwetka męska nabiera kobiecych kształtów, osteoporoza, przyrost tkanki tłuszczowej	infekcje, stany zapalne, stany depresyjne, bezpłodność
jajniki	estrogeny	wpływają na rozwój drugo- i trzeciorzędowych cech płciowych u kobiet; odpowiadają za zmiany w macicy w czasie cyklu menstruacyjnego	zaburzenia miesiączkowania, niepłodność, zanik drugorzędowych cech płciowych (męska budowa ciała kobiet), nadmierne owłosienie, obniżenie barwy głosu, osteoporoza	zaburzenia miesiączkowania, wzrost ryzyka zakrzepów i zatorów, obrzęki i zastój wody w organizmie, przyrost masy ciała, powiększenie piersi, migrena, złe samopoczucie
	progesteron	warunkuje rozwój zarodka i płodu	zaburzenia miesiączkowania, poronienia, niepłodność, sucha skóra, nadmierne wypadanie włosów	obrzęki kończyn, zastój wody, żylaki

Regulacja wydzielania hormonów

Prawidłowe działanie hormonów zależy od ich właściwego stężenia, ponieważ zarówno niedobór, jak i nadmiar hormonu prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu.

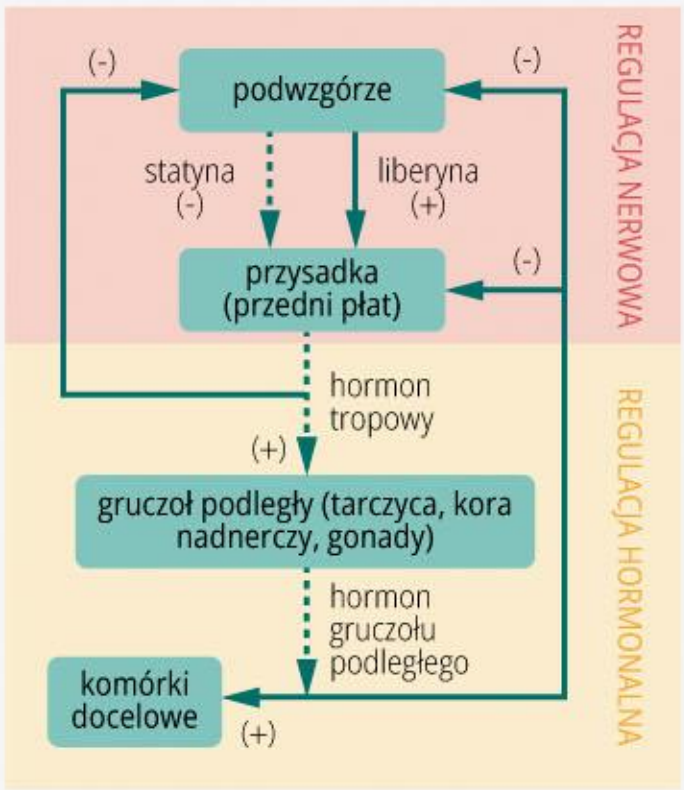
Regulacja na osi podwzgórze – przysadka

Aktywność wewnątrzwydzielniczą organizmu reguluje **podwzgórze**, które za pomocą naczyń krwionośnych łączy się z przysadką mózgową. W odpowiedzi na określony bodziec podwzgórze produkuje **hormony pobudzające** (**liberyny**) lub **hamujące** (**statyny**), które wpływają na produkcję hormonów przez przysadkę. Wydzielane przez podwzgórze hormony docierają do środkowego i przedniego płata przysadki, która pod ich wpływem wydziela **hormony tropowe** regulujące aktywność innych gruczołów dokrewnych (np. tarczycy, kory nadnerczy czy gonad). Tylny płat przysadki magazynuje i uwalnia hormony produkowane w podwzgórzu: wazopresynę i oksytocynę.



Regulacja poprzez ujemne sprzężenie zwrotne

Sprzężenie zwrotne ujemne ma miejsce wówczas, kiedy zwiększone stężenie hormonu we krwi hamuje czynność wydzielniczą przysadki.

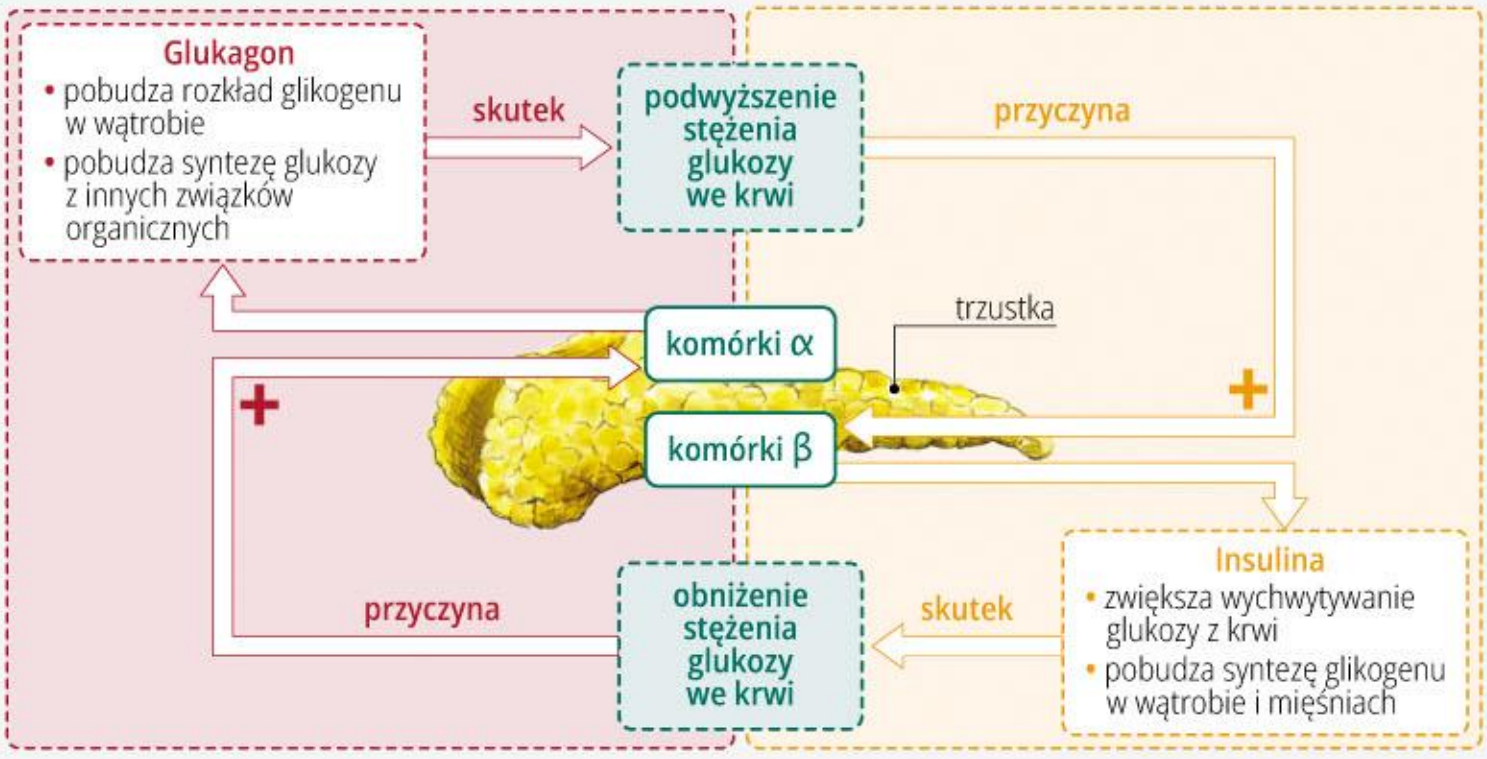


(+) – pobudzenie hormonalne
(-) – hamowanie hormonalne

Antagonistyczne działanie hormonów

Działanie niektórych hormonów jest **antagonistyczne** (przeciwstawne) – jeden hormon aktywuje dany proces, a drugi go hamuje. Na zasadzie antagonizmu działają np. insulina i glukagon oraz parathormon i kalcytonina.

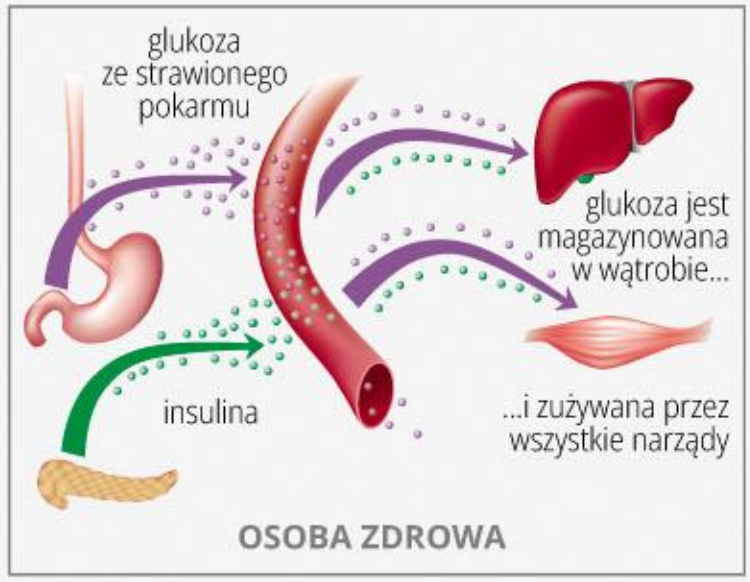
Regulowany proces	Hormony	Działanie
utrzymanie prawidłowego poziomu glukozy we krwi	(–) insulina (wydzielana przez trzustkę)	Insulina obniża poziom glukozy we krwi m.in. poprzez: • pobudzenie transportu glukozy do komórek • stymulację syntezy glikogenu
	(+) glukagon (wydzielany przez trzustkę)	Glukagon podnosi stężenie glukozy we krwi m.in. poprzez: • stymulację rozkładu glikogenu do glukzy • pobudzanie syntezy glukozy z innych związków
gospodarka wapniowa	(+) parathormon (wydzielany przez przytarczyce)	Parathormon podnosi poziom jonów wapnia w osoczu m.in. poprzez: • zwiększenie uwalniania wapnia z kości • zwiększenie wchłaniania wapnia w jelitach
	(–) kalcytonina (wydzielana przez tarczycę)	Kalcytonina obniża poziom jonów wapnia w osoczu m.in. poprzez: • zmniejszenie uwalniania wapnia z kości • zwiększenie wydzielania wapnia przez nerki



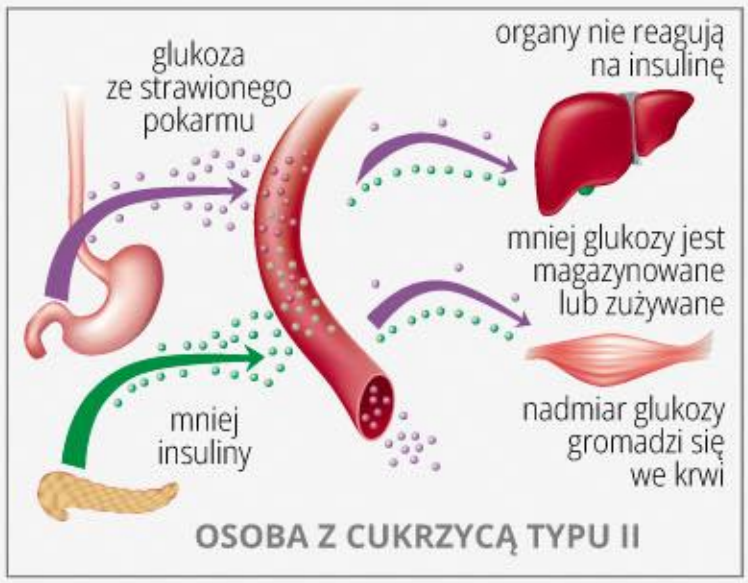
Cukrzyca

Cukrzyca objawia się **przewlekle wysokim poziomem glukozy** we krwi. Prawidłowy poziom glukozy na czczo wynosi 70–110 mg/100 ml krwi. Wyższe wyniki mogą świadczyć o cukrzycy. Wyróżniamy dwa typy cukrzycy: typu I i typu II.

Cecha	Cukrzyca typu I	Cukrzyca typu II
przyczyna	niedobór insuliny w organizmie (choroba autoimmunizacyjna)	upośledzona zdolność wiązania insuliny (choroba cywilizacyjna)
wiek zachorowania	6. miesiąc życia – wczesna dorosłość	okres dojrzewania lub później
objawy	ostre, gwałtowne (nagłe chudnięcie, częstomocz, silne pragnienie)	powoli narastające w czasie, początkowo niezauważalne (senność, zmęczenie, sucha skóra)
częstotliwość badania poziomu cukru we krwi	kilka razy w ciągu doby	raz na jakiś czas
leczenie	zawsze insuliną	dieta, rzadziej insulina
częstość występowania	ok. 10% zachorowań na cukrzycę	ok. 90% wszystkich zachorowań na cukrzycę







8.14. Regulacja nerwowa u zwierząt

Czynniki wpływające na rozwój i centralizację układu nerwowego

Czynnik	Znaczenie
wzrost rozmiarów ciała zwierząt i komplikacja jego budowy	zwiększenie się odległości między komórkami doprowadziło do powstania komórek, które zapewniły komunikację na większe dystanse
zmiana symetrii z promienistej na dwuboczną	wzrost aktywności zwierząt, co wiąże się z potrzebą oceny i przetwarzania informacji ze środowiska i wnętrza organizmu
doskonalenie sposobu zdobywania pokarmu – drapieżnictwo, komplikacja zachowań	potrzeba skoordynowanej pracy wszystkich komórek

Typy układu nerwowego

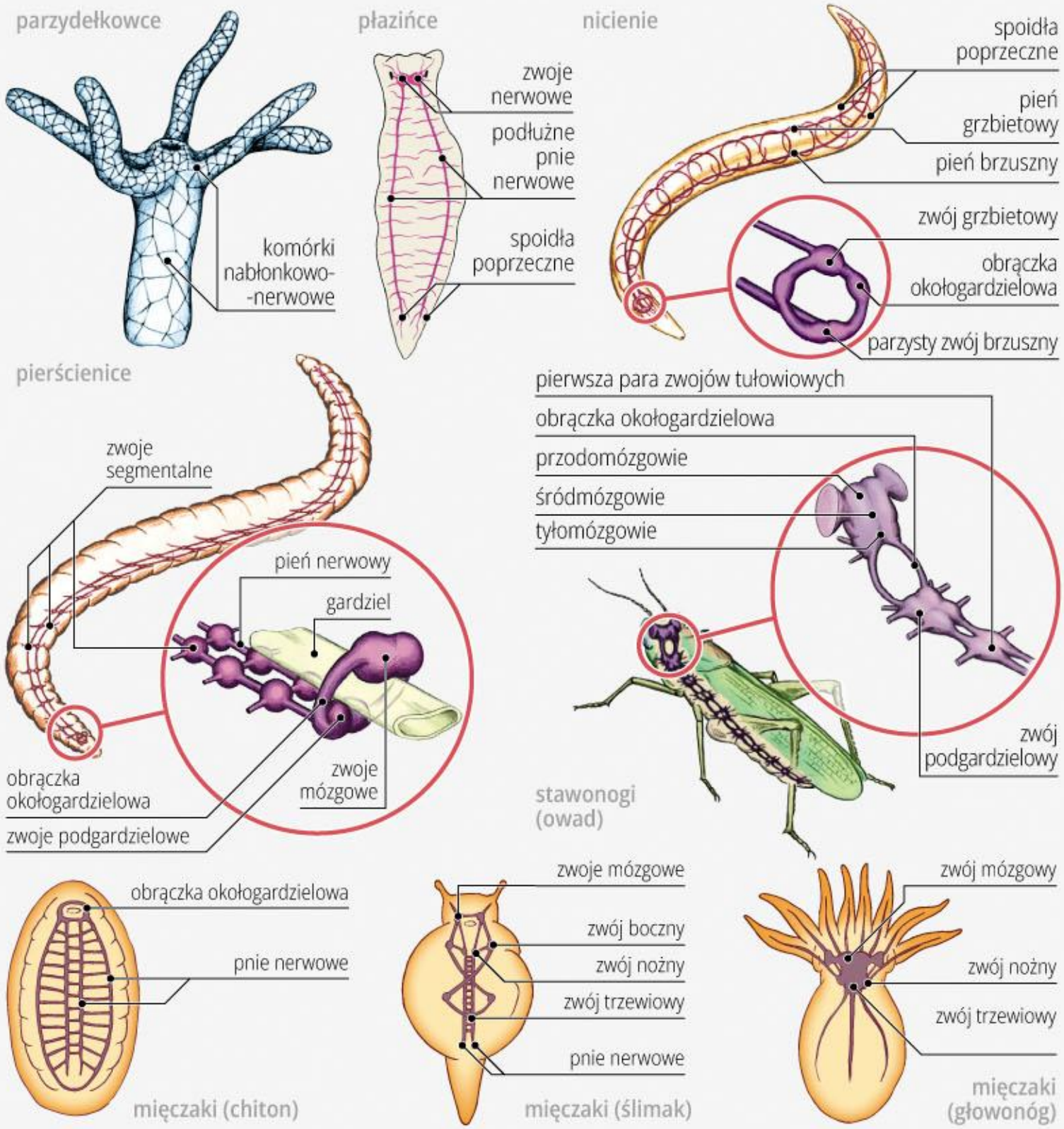
- **siateczkowy (rozproszony)** – zbudowany z sieci połączonych komórek nerwowych bez centrum kontrolnego; występuje u parzydełkowców;
- **centralizujący** – zawiera ośrodkowe centrum kontrolne; występuje u pozostałych zwierząt (u pierwoustych w postaci pnia położonego w brzusznej części ciała, u strunowców – w postaci cewy położonej w grzbietowej części ciała).

Koncentracja komórek nerwowych w przedniej części ciała jest wynikiem **cefalizacji** – wyodrębnienia odcinka głowowego, co pozwala na odbieranie wielu bodźców ze środowiska (m.in. wykrycie obecności drapieżnika lub ofiary). Specjalizacja ośrodka centralnego przebiegała w kierunku powstania **mózgu**.

Układ nerwowy u bezkręgowców

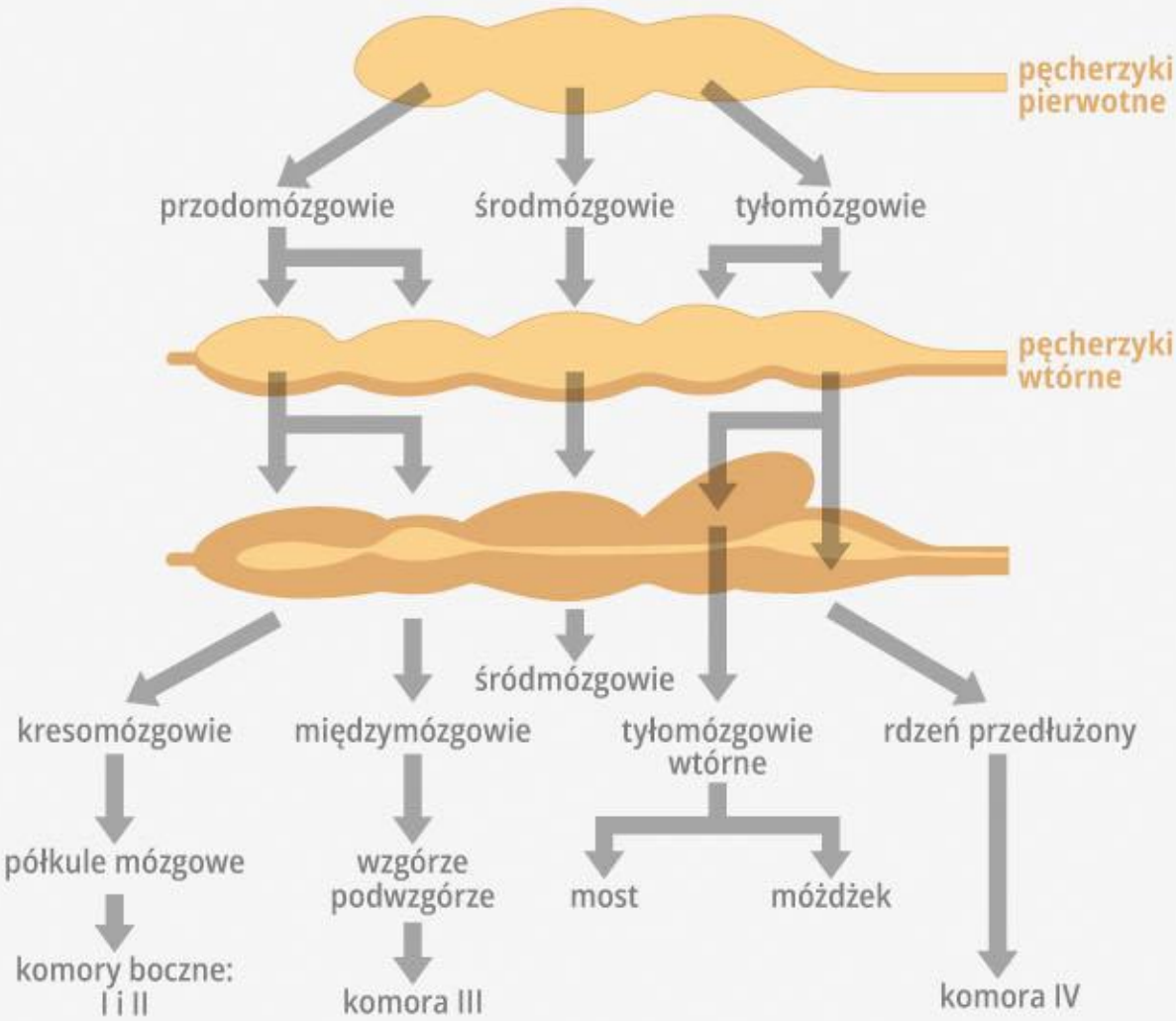
Grupa zwierząt	Organizacja układu nerwowego
parzydełkowce	sieć połączeń komórek nerwowych bez elementów centralnych
płazińce	zwykle dwa zwoje nerwowe i kilka podłużnych pni nerwowych połączonych spoidłami nerwowymi
wrotki	trzy zwoje, od których odchodzą parzyste nerwy do narządów ciała
nicienie	pierścień okołogardzielowy, od którego odchodzą pnie nerwowe połączone poprzecznymi spoidłami
pierścienice	drabinkowy zbudowany ze zwojów nadprzełykowych i podprzełykowych, obrączki okołoprzełykowej, dwa pnie nerwowe połączone poprzecznymi spoidłami w każdym segmencie
stawonogi	u niższych stawonogów podobny do pierścienic, u wyższych – zlewanie się zwojów i utworzenie mózgu oraz brzusznego łańcuszka nerwowego, co pozwala na sprawne odbieranie bodźców ze środowiska
mięczaki	u większości obrączka okołoprzełykowa i pary zwojów obsługujących części ciała połączonych poprzecznymi spoidłami, u głowonogów – scentralizowanie układu nerwowego w mózg z ośrodkami kojarzeniowymi
szkarłupnie	pierścień nerwowy, od którego odchodzą pnie nerwowe

Ewolucja układu nerwowego u bezkręgowców



Rozwój mózgowia u kręgowców

U kręgowców układ nerwowy składa się z **centralnego układu nerwowego**, na który składają się mózg (mózgowie) i rdzeń kręgowy, oraz **obwodowego układu nerwowego**, zbudowanego z nerwów i zwojów nerwowych.



W toku ewolucji kręgowców nastąpił wzrost rozmiarów i funkcji kresomózgowia oraz zanik liniowego ułożenia jego elementów. Przejmuje ono funkcję innych części mózgu, powstają w nim także nadrzędne ośrodki kojarzeniowe (kora mózgowa).

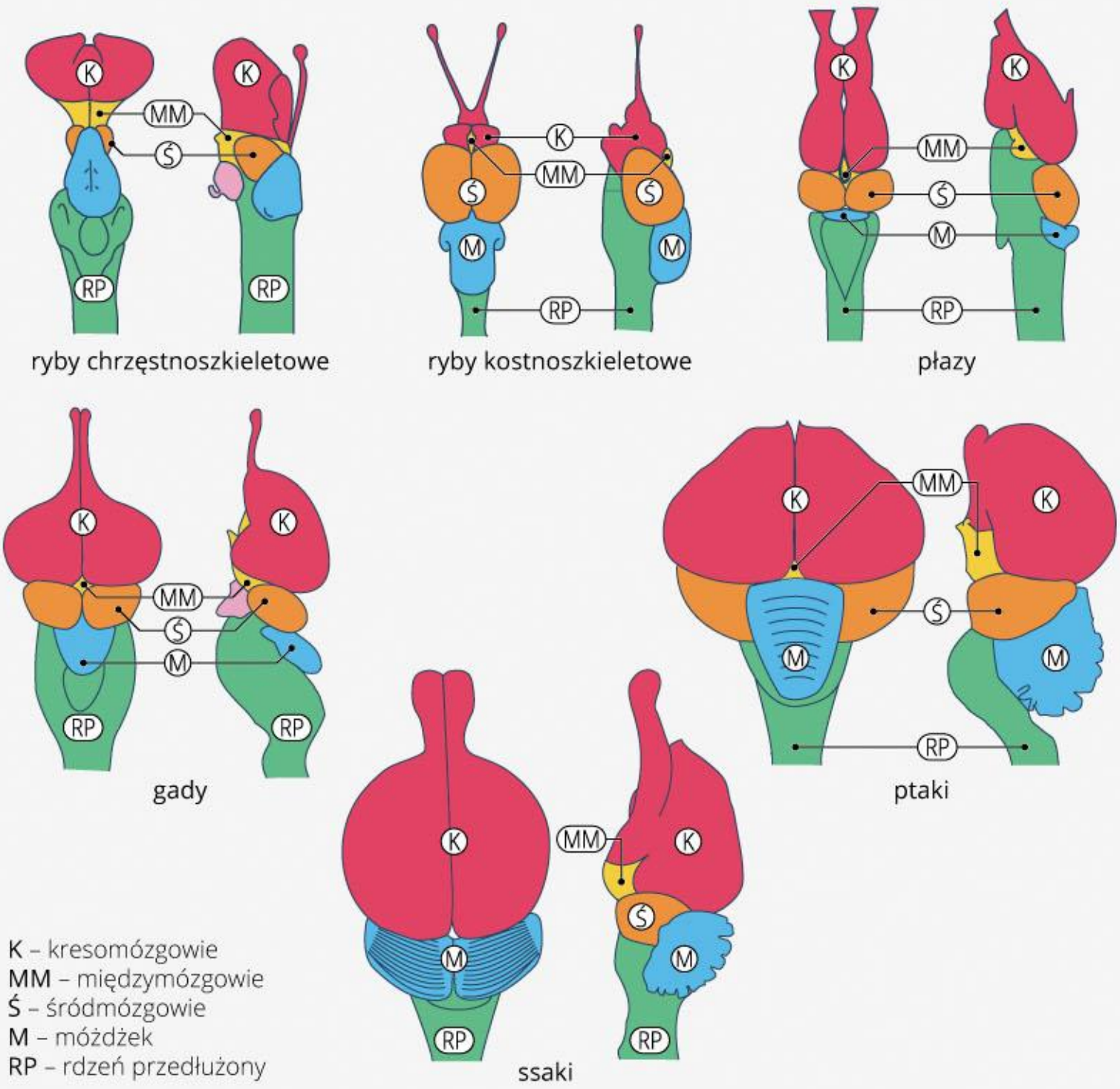
Wielkość móżdżku jest skorelowana z aktywnością ruchową zwierząt (ośrodek koordynacji ruchów), a w mniejszym stopniu – z pozycją systematyczną.

Ośrodkowy układ nerwowy kręgowców

	Ryby	Płazy	Gady	Ptaki	Ssaki
kresomózgowie	niezbyt duże, silnie rozwinięte u gatunków posługujących się zmysłem węchu (w postaci opuszek węchowych u ryb chrzęstnych)	silnie rozwinięte, składa się z dwóch półkul mózgowych	dobrze rozwinięte, dość duże, całkowicie pokrywa międzymózgowie, składa się z dwóch półkul mózgowych pokrytych słabo wykształconą korą mózgową	bardzo duże z rozwiniętymi ośrodkami podkorowymi	bardzo duże z silnie pofałdowaną korą mózgową
międzymózgowie	stosunkowo niewielkie				
śródmózgowie	silnie rozwinięte u gatunków o dużym znaczeniu wzroku	duże	średniej wielkości	niezbyt wielkie	bardzo małe

	Ryby	Płazy	Gady	Ptaki	Ssaki
móżdżek	dobrze rozwinięty u gatunków długo i szybko pływających	bardzo mały	różnej wielkości, dobrze rozwinięty u krokodyli	bardzo duży z silnie pofałdowaną korą	bardzo duży, z silnie pofałdowaną korą podzielony na dwie półkule
rdzeń przedłużony	silnie rozwinięty u ryb posługujących się głównie skórnymi narządami zmysłów	duży	mały, wygięty w kształcie litery S		
ułożenie części mózgowia	liniowo		nieliniowo		

Ewolucja ośrodkowego układu nerwowego u kręgowców



Od mózgu ryb i płazów odchodzi **10 par** nerwów czaszkowych. U gadów, ptaków i ssaków w związku z wykształceniem szyi i uniesieniem głowy następuje wygięcie rdzenia przedłużonego w płaszczyźnie pionowej. Od mózgu u tych zwierząt odchodzi **12 par** nerwów czaszkowych.

8.15. Budowa i funkcjonowanie układu nerwowego u człowieka

Układ nerwowy człowieka odpowiada za:

- odbiór, przekazywanie, przetwarzanie oraz przechowywanie informacji dochodzących ze środowiska zewnętrznego i wnętrza organizmu;
- reakcję na bodźce i adaptację do zmieniających się warunków otoczenia;
- regulację i koordynację czynności życiowych organizmu (utrzymanie równowagi).

Jednostką strukturalną i czynnościową układu nerwowego w przekazywaniu i przetwarzaniu informacji jest komórka nerwowa – **neuron**.

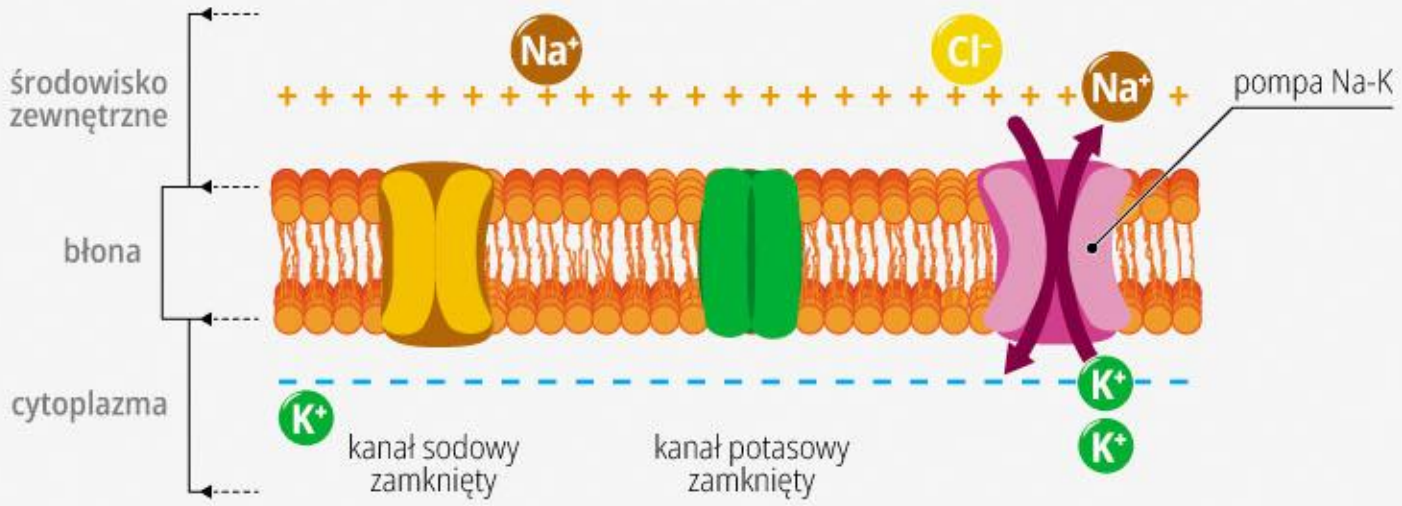
Neuron charakteryzuje się **pobudliwością**, czyli przechodzeniem pod wpływem bodźca ze stanu spoczynku w stan pobudzenia – przekazywania informacji w postaci impulsów nerwowych pomiędzy neuronami.

Powstawanie i przewodzenie impulsu nerwowego

Podstawą powstawania i przewodzenia impulsu nerwowego są zmiany elektrochemiczne zachodzące w błonie komórkowej neuronu – neurylemmie. Są one związane z transportem jonów, głównie jonów sodu (Na^+) i potasu (K^+), między wnętrzem neuronu a środowiskiem zewnętrznym. Błona neuronu w spoczynku jest **spolaryzowana** (ma pewien potencjał elektryczny, ale nie przewodzi impulsu), a pod wpływem bodźca przechodzi w stan **depolaryzacji**, po którym po przejściu **repolaryzacji** powraca do stanu początkowego.

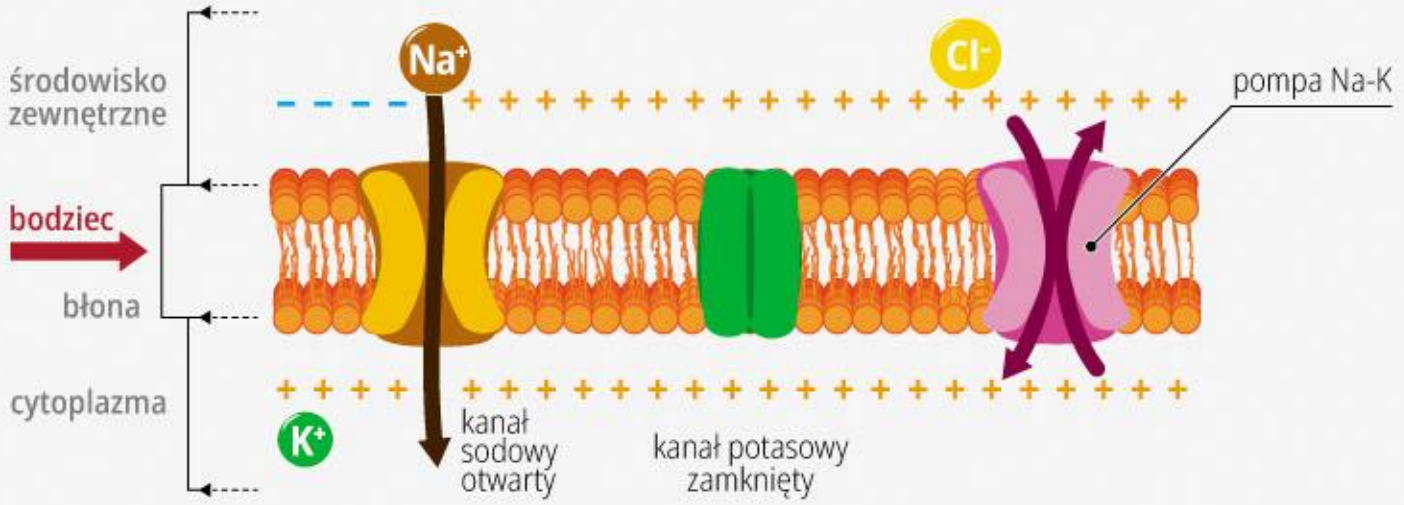
Polaryzacja błony neuronu. Potencjał spoczynkowy

- Błona komórkowa spolaryzowana charakteryzuje się nierównomiernym rozmieszczeniem jonów sodu i potasu po obu jej stronach; na wewnętrznej stronie błony gromadzą się **kationy potasu** (K^+) (naładowana dodatnio), a na zewnętrznej stronie dominują **kationy sodu** (Na^+) oraz aniony chlorkowe (Cl^-) (naładowana ujemnie).
- Różnica stężeń jonów jest stale utrzymywana przez **pompę sodowo-potasową**, która aktywnie transportuje jony sodu i potasu przez błonę komórkową. Energia dla pompy sodowo-potasowej pochodzi z hydrolizy ATP (do jej działania są potrzebne jony magnezu Mg^{2+}).
- Różnica potencjałów między zewnętrzną a wewnętrzną powierzchnią niepobudzonej błony neuronu wynosi **–70mV. Jest to potencjał spoczynkowy, który warunkuje gotowość neuronu do odbioru bodźców.**



Depolaryzacja błony. Potencjał czynnościowy

- Pod wpływem działania bodźca progowego i nadprogowego błona neuronu zmienia przepuszczalność dla **jonów sodu (Na^+)** i **potasu (K^+)**. Następuje otwarcie białkowych **kanałów jonowych**, przez które jony sodu (Na^+) biernie wnikają do wnętrza komórki (zmiana ładunku ujemnego na dodatni), większość kanałów potasowych jest zamknięta. Dochodzi wówczas do **depolaryzacji błony**.
- Na zewnątrz błony gromadzi się nadmiar **jonów chlorkowych** (ładunków ujemnych).
- Różnica potencjałów między zewnętrzną a wewnętrzną powierzchnią błony zmienia się z ujemnego na dodatni i wynosi **+40 mV. Powoduje to powstanie potencjału czynnościowego**.



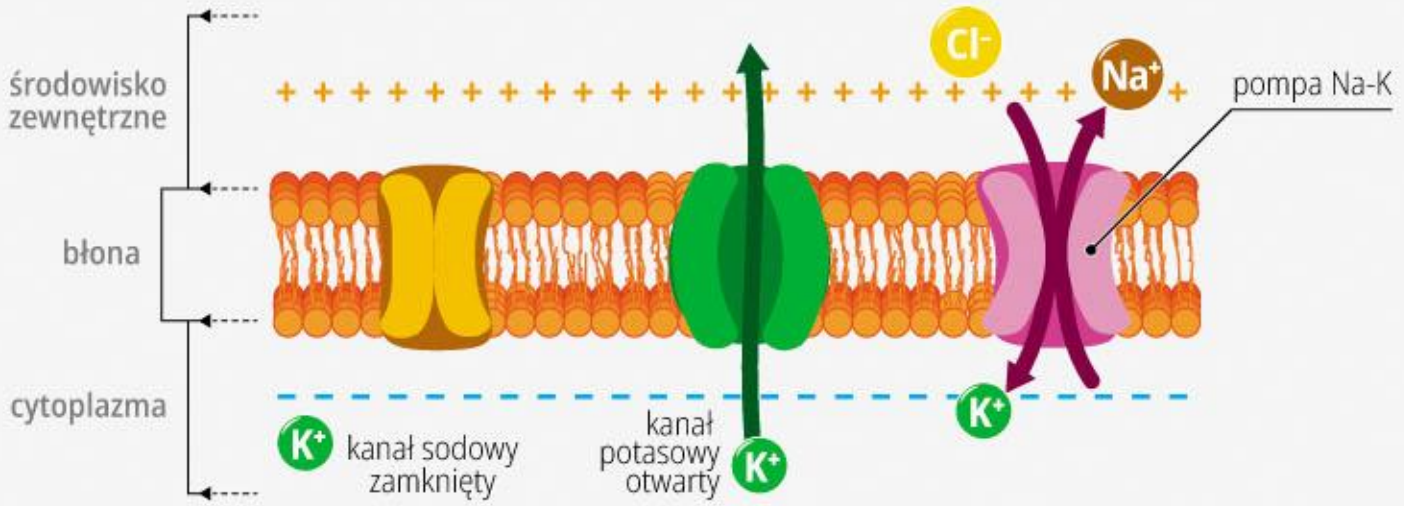
– Potencjał czynnościowy rozprzestrzenia się wzdłuż neuronu jako **fala depolaryzacji**, czyli impuls nerwowy.

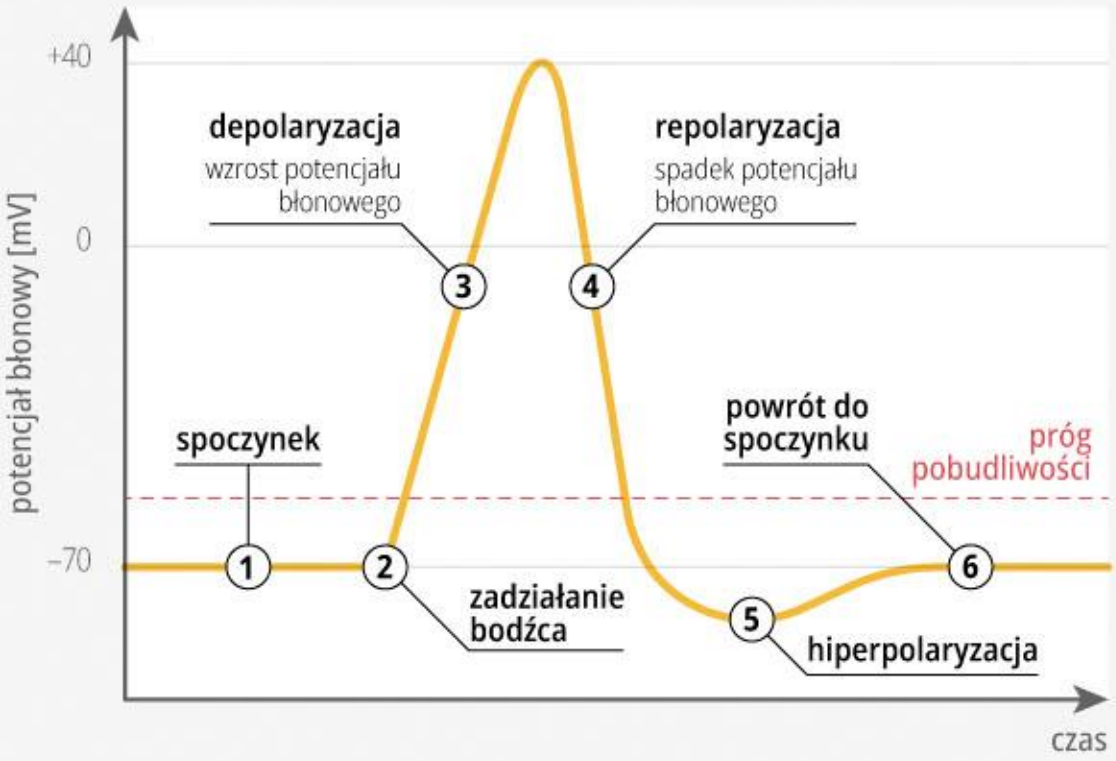
– W miejscu powstania potencjału czynnościowego błona neuronu na kilka sekund traci wrażliwość.

Repolaryzacja błony. Potencjał spoczynkowy

– Po ustaniu działania bodźca następuje repolaryzacja (przywracanie potencjału spoczynkowego błony) – zamknięcie kanałów sodowych i ograniczenie dyfuzji jonów sodu (Na^+) do wnętrza neuronu oraz otwarcie kanałów potasowych, przez które jony potasu (K^+) dyfundują do środowiska zewnątrzkomórkowego.

– Odbudowa wyjściowych ładunków elektrycznych po obu stronach błony dzięki **pompie sodowo-potasowej**.





Potencjał czynnościowy w błonie neuronu powstaje według zasady „**wszystko albo nic**". Oznacza to, że nie każdy bodziec działający na komórkę prowadzi do jego powstania. Tylko bodziec o odpowiednio wysokiej sile – tzw. **bodziec progowy i nadprogowy** (wykazuje siłę wyższą, niż jest potrzebna do pobudzenia komórki) – może wywołać potencjał czynnościowy. Powstały potencjał czynnościowy ma jednakową amplitudę (wartość potencjału czynnościowego), przebieg i czas trwania bez względu na siłę działającego bodźca. Takiej zdolności nie ma bodziec o małej sile lub o bardzo krótkim czasie trwania – tzw. **bodziec podprogowy (prowadzący tylko do miejscowej depolaryzacji błony).**

Refrakcja

Czas potrzebny do ponownego spolaryzowania komórki nerwowej nosi nazwę okresu **refrakcji** (niepobudliwości).

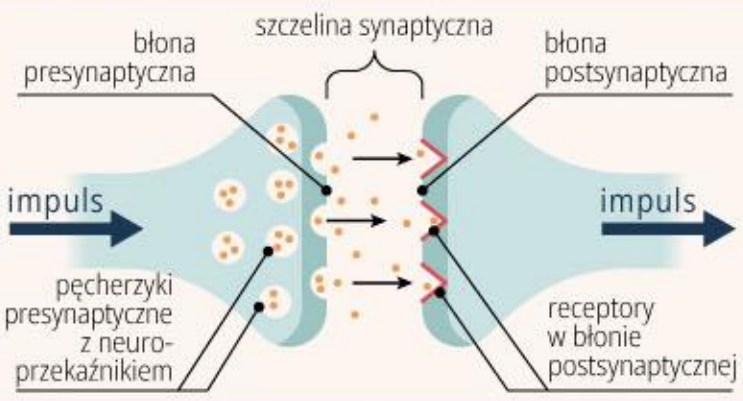
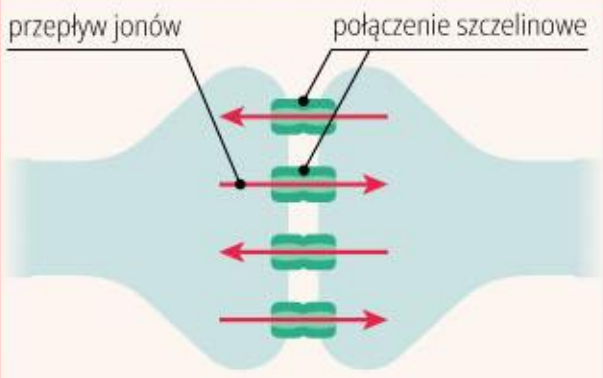
Refrakcja bezwzględna to okres niewrażliwości komórki na bodziec bez względu na jego siłę, a **refrakcja względna** to okres niewrażliwości komórki na bodziec progowy (może być przerwany przez działanie bodźca nadprogowego).

Przekazywanie informacji między komórkami – synapsy

Przekazywanie impulsu nerwowego następuje za pomocą **synapsy**. Jest to połączenie między komórkami nerwowymi lub między komórką nerwową i komórką mięśniową lub czuciową.

Synapsy chemiczne i elektryczne

Ze względu na sposób przekazywania impulsu wyróżnia się **synapsy chemiczne** i **elektryczne**.

Cecha	Synapsa	
	chemiczna	**elektryczna**
budowa	• między komórkami występuje szczelina synaptyczna (oddziela błonę presynaptyczną od błony postsynaptycznej)	• komórki stykają się bezpośrednio ze sobą (błona presynaptyczna z postsynaptyczną)
przekazywanie impulsu	• impuls nerwowy przekazywany za pomocą związku chemicznego – neuroprzekaźnika przez szczelinę synaptyczną • neuroprzekaźnik w błonie postsynaptycznej łączy się z receptorami • otwarcie kanałów jonowych w błonie postsynaptycznej powoduje powstanie potencjału czynnościowego, co wywołuje impuls nerwowy w następnym neuronie • jednokierunkowe przewodzenie (od aksonu do sąsiedniej komórki) • opóźnienie w przepływie impulsu (tzw. opóźnienie synaptyczne) spowodowane wydzielaniem i wiązaniem neuroprzekaźnika z receptorem błony postsynaptycznej • występują tam, gdzie przekazywanie impulsu może być wolne, np. w narządach wewnętrznych	• impuls elektryczny przekazywany bezpośrednio z błony presynaptycznej na postsynaptyczną przez połączenie szczelinowe (kanały koneksonowe) • przewodzenie dwukierunkowe (każda komórka może działać jako presynaptyczna lub postsynaptyczna) • impuls przekazywany szybko, bez opóźnień • występują m.in. w siatkówce oka, korze mózgu oraz niektórych częściach serca
		

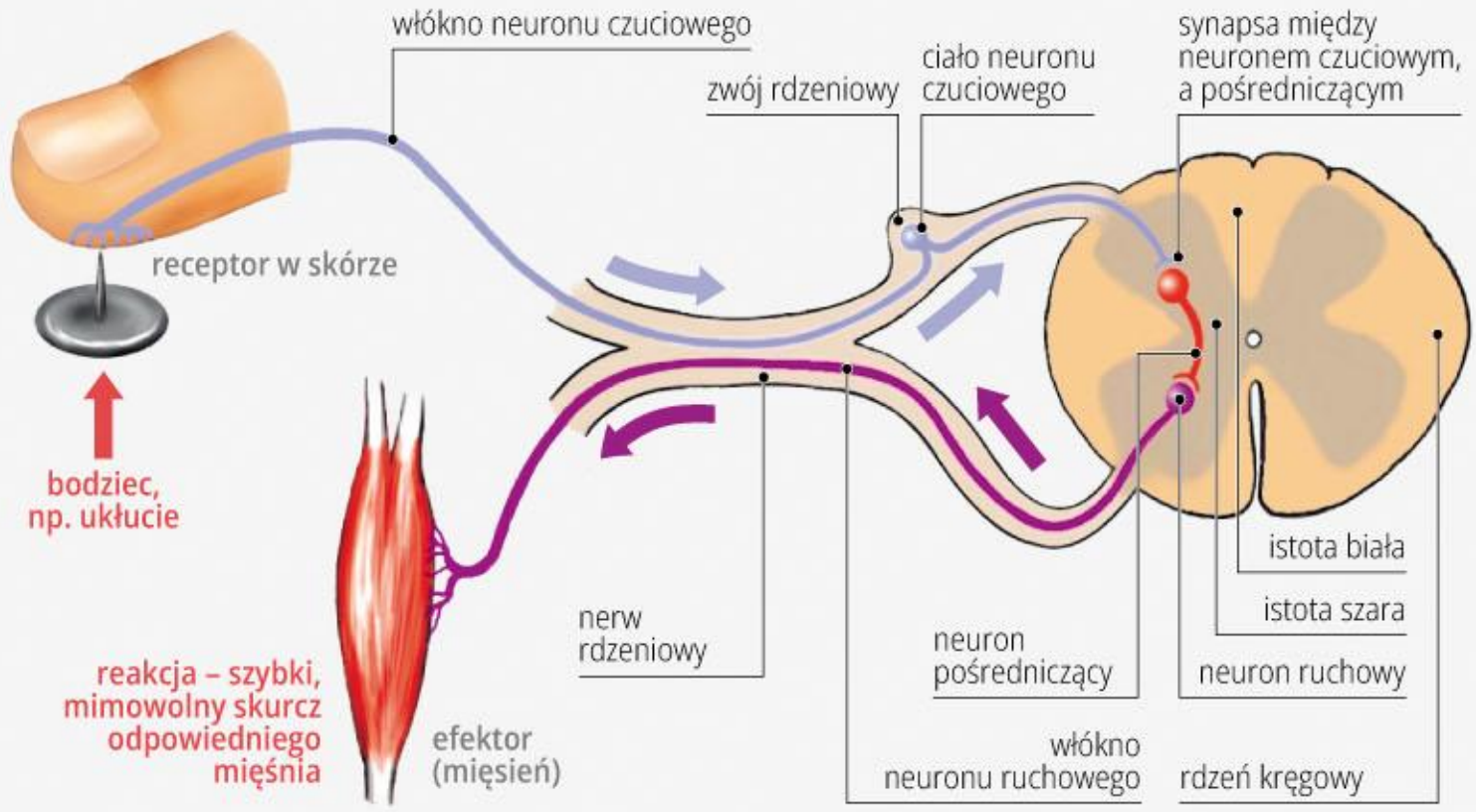
Synapsy pobudzające i hamujące

Ze względu na rodzaj neuroprzekaźnika i efektu, jaki powodują, wyróżniamy synapsy pobudzające i hamujące.

	Synapsa	
	pobudzająca	**hamująca**
działanie	• pobudzają aktywność unerwianych tkanek i narządów • neuroprzekaźnik uwolniony do szczeliny synaptycznej powoduje **otwarcie kanałów sodowych** i przepływ kationów sodu do wnętrza komórki, co powoduje depolaryzację błony postsynaptycznej	• hamują aktywność unerwianych tkanek i narządów • neuroprzekaźnik uwolniony do błony postsynaptycznej powoduje przepływ jonów potasu z wnętrza neuronu na zewnątrz i **otwieranie kanałów** chlorkowych, przez które jony chlorkowe przedostają się do wnętrza neuronu, zwiększa się ujemny potencjał elektryczny, co wywołuje **hiperpolaryzację błony postsynaptycznej** (zmniejszenie potencjału błonowego do ok. – 80 mV)
rodzaj neuroprzekaźnika (neurotransmitera, mediatora)	acetylocholina, adrenalina, noradrenalina, serotonina, dopamina, histamina	glicyna i kwas gamma-aminomasłowy (GABA)

Odruchy

Odruch jest prostą, szybką, mimowolną i powtarzającą się reakcją organizmu na bodźce, które docierają do organizmu ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Reakcja ta zachodzi w **łuku odruchowym**, czyli na drodze, jaką impulsy nerwowe przechodzą od **receptora** (odbiorcy bodźców) do **efektora** (narządu wykonawczego) przez **neurony** (elementy przewodzące). Łuk odruchowy składa się z następujących elementów: **receptora, drogi nerwowej dośrodkowej (czuciowej), ośrodka nerwowego, drogi nerwowej odśrodkowej (ruchowej) i efektora.**



Elementy łuku odruchowego

Element łuku	Funkcja
receptor	• zakończenie nerwowe lub wyspecjalizowany narząd odbierający bodziec • wytwarzanie impulsu nerwowego pod wpływem bodźca
droga nerwowa dośrodkowa (czuciowa)	• dośrodkowa droga (neuron czuciowy) przewodząca impuls nerwowy z receptora do ośrodka nerwowego
ośrodek nerwowy	• ośrodek w mózgu lub rdzeniu kręgowym, do którego dopływa informacja z receptora • analiza informacji, powstanie odpowiedzi na przyjęty bodziec i przekazanie jej do efektora za pośrednictwem odśrodkowej drogi nerwowej • znajdują się tutaj neurony pośredniczące, które zapewniają kontakt neuronów czuciowych z ruchowymi
droga nerwowa odśrodkowa (ruchowa)	• odśrodkowa droga (neuron ruchowy) przewodząca impuls nerwowy z ośrodka nerwowego do efektora
efektor	• narząd wykonawczy, w którym następuje przekształcenie docierających impulsów nerwowych, np. w skurcz mięśnia lub produkcja wydzieliny przez gruczoł

Podział łuków odruchowych ze względu na liczbę synaps

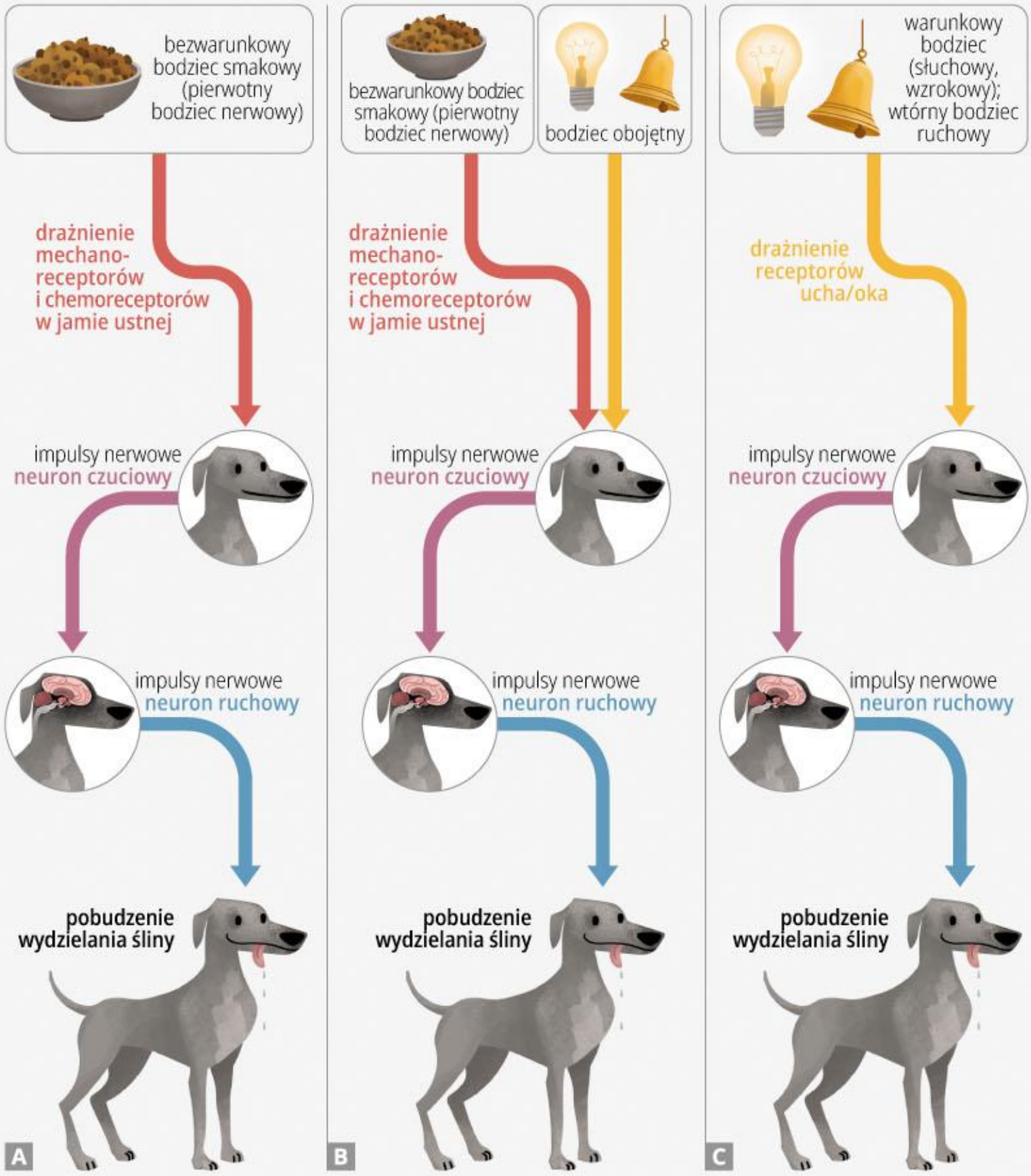
Cecha	Łuk odruchowy	
	monosynaptyczny	polisynaptyczny
liczba synaps	jedna	co najmniej dwie
występowanie neuronów pośredniczących	brak	co najmniej jeden
występowanie receptora i efektora	w jednym narządzie	w różnych narządach
przykłady	odruch kolanowy	odruch zginania lub prostowania kończyny pod wpływem bodźca bólowego, odruch podeszwy (zgięcie palców i palucha w stronę podeszwy podczas drażnienia skóry na jej powierzchni)

Podział odruchów ze względu na pochodzenie

Odruchy	
bezwarunkowe	warunkowe
• ośrodki odruchów mieszczą się w rdzeniu kręgowym i przedłużonym • wrodzone • przekazywane dziedzicznie • niezmienne w życiu • zawsze taka sama reakcja na ten sam bodziec • nie pozwalają na przeżycie w zmienionych warunkach środowiska • **przykłady**: odruch źreniczny, kolanowy, wydzielania śliny na widok pokarmu	• ośrodki odruchów mieszczą się w korze mózgowej • nabyte w życiu człowieka • niedziedziczone, nabywane na bazie odruchów bezwarunkowych • zmienne w ciągu życia • reakcje na bodziec są cechą indywidualną • pozwalają na przystosowanie się do zmieniających się warunków środowiska • **przykłady**: zatrzymywanie się na przejściu na czerwonym świetle, uczenie się, jazda na rowerze

Mechanizm powstawania odruchu warunkowego

Proces powstania odruchu warunkowego po raz pierwszy opisał rosyjski fizjolog Iwan Pawłow, który przeprowadził eksperymenty pod koniec XIX w. Obiektem doświadczalnym były psy.



A. **Obecność pokarmu** – bodźca bezwarunkowego w pysku psa powoduje wydzielanie przez niego śliny (reakcję bezwarunkową).

B. **Bodziec obojętny**, np. dzwonek, połączony z bodźcem bezwarunkowym (pokarmem), wyzwala wydzielanie śliny.

C. **Wielokrotnie powtórzona sytuacja** powoduje, że dzwonek towarzyszący karmieniu (dotychczasowy bodziec obojętny) stał się bodźcem warunkowym. Prowadzi to do powstania reakcji warunkowej – wydzielania śliny pod wpływem pierwotnie obojętnego bodźca.

Podział odruchów warunkowych ze względu na sposób powstawania

Cecha	Odruch warunkowy	
	klasyczny	instrumentalny
mechanizm powstania	• skojarzenie bodźca obojętnego z bodźcem kluczowym wywołującym odruch bezwarunkowy • wzmocnienie bodźca obojętnego	• dążenie do zaspokojenia potrzeb (motywacja), np. fizjologicznych (głód, pragnienie, popęd płciowy) czy psychicznych (potrzeba bliskości) • powstają w wyniku stosowania kar lub nagród • szybkość powstania zależy od siły motywacji (im większa siła motywacji, tym szybciej odruchy powstają) • wzmocnienie reakcji
przykłady	odruch wydzielania śliny u psa na zapalenie lampki lub dźwięk dzwonka bodziec obojętny (zapalona lampka, dźwięk dzwonka) – wzmocnienie bodźca (podanie pokarmu) – reakcja (wydzielanie śliny)   	tresura zwierząt bodziec obojętny (np. komenda głosowa) – reakcja zwierzęcia – wzmocnienie reakcji (np. podanie pokarmu jako nagrody) 

Uczenie się

Uczenie się to proces świadomego nabywania wiadomości i umiejętności, a następnie przechowywania tych informacji, by później zostały wykorzystane. Warunkiem uczenia się jest zdolność do zapamiętywania. **Zapamiętywanie** polega na gromadzeniu i wykorzystywaniu informacji o minionych doświadczeniach. Zapamiętywanie opiera się zmianach w ilości i jakości połączeń synaptycznych, które tworzą tzw. **szlaki pamięci**. Wyróżniamy pamięć **sensoryczną**, **krótkotrwałą** i **długotrwałą**.



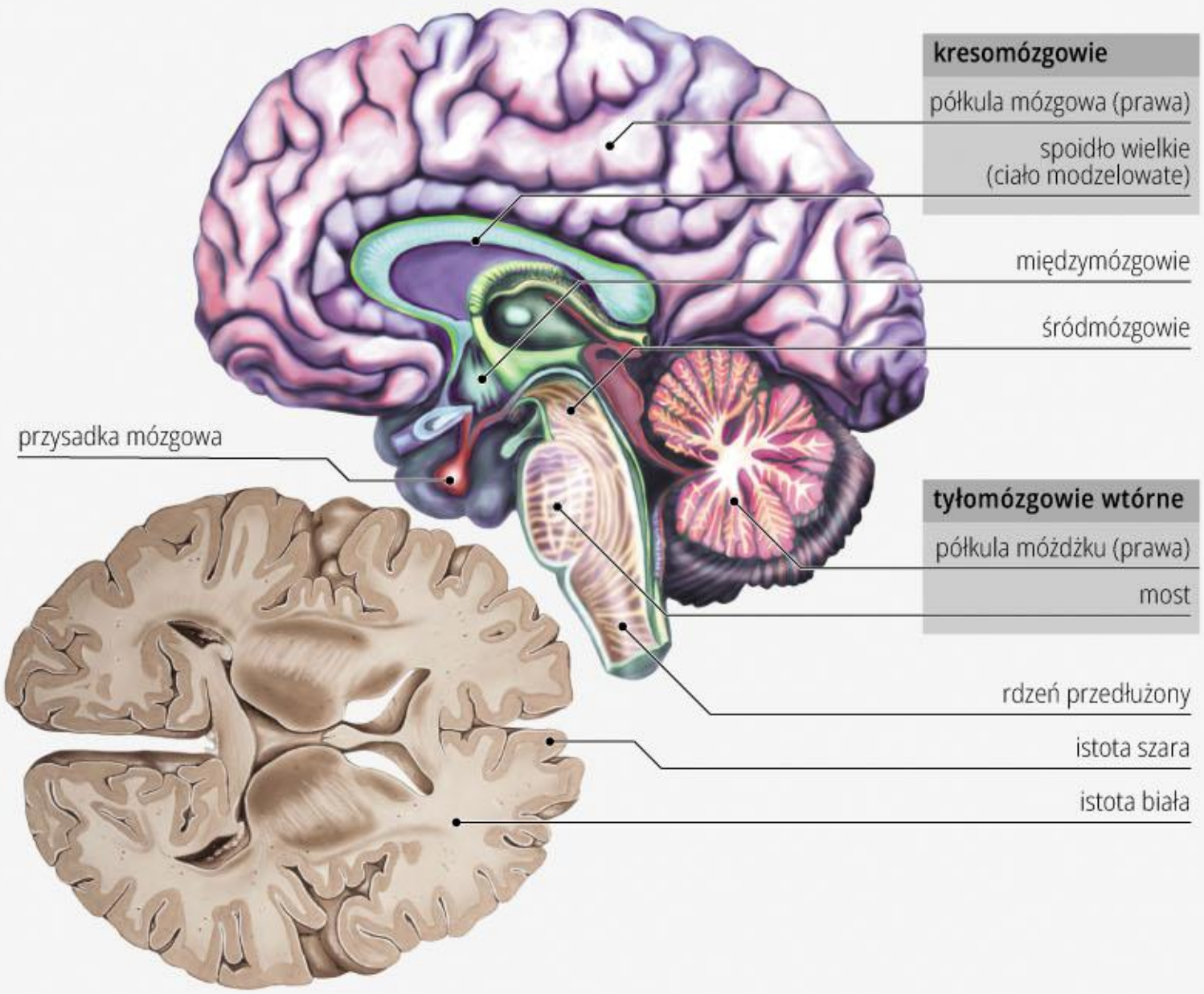
Rodzaje pamięci

Pamięć		
sensoryczna, ultrakrótka, zmysłowa (USTM, ang. *ultra-short-term memory*)	krótkotrwała, operacyjna (STM, ang. *short-term memory*)	długotrwała (LTM, ang. *long-term memory*)
• związana z przemieszczaniem się elektrycznego ładunku w obrębie grupy neuronów • informacje są odbierane za pomocą zmysłów – **pamięć ikoniczna** (związana ze wzrokiem), **pamięć echoiczna** (związana ze słuchem) • informacje są przechowywane bardzo krótko (ok. 2 s w pamięci ikonicznej oraz 10 s w pamięci echoicznej).	• związana z przemieszczaniem się elektrycznego ładunku w obrębie grupy neuronów • pozwala na nieco dłuższe przechowywanie informacji, która została utrwalona podczas powtarzania w myśli (najczęściej od 6 do 8 pozycji, np. numeru telefonu wcześniej sprawdzonego w książce telefonicznej) • brak powtarzania informacji powoduje zapominanie, a częste powtarzanie prowadzi do przeniesienia informacji do pamięci trwałej • ma ogromne znaczenie w życiu codziennym człowieka (scalanie myśli, komunikowanie się, wydobywanie informacji z pamięci długotrwałej)	• opiera się na przepływie impulsów elektrycznych, a także na tworzeniu nowych szlaków łączących neurony • ma nieograniczoną pojemność • wymaga częstego powtarzania informacji • odtworzenie zapisanych informacji w pamięci długotrwałej wymaga przeniesienia na pewien czas do pamięci krótkotrwałej • zapisywane są w niej tylko wyselekcjonowane informacje, których w porównaniu z odebranymi przez receptory jest prawie stukrotnie mniej • wyróżnia się **pamięć długotrwałą semantyczną** (skojarzeniową, kojarzenie obiektu z zespołem określeń, do których się odnosi), **epizodyczną** (pamięć zdarzeń, przechowuje ślady pamięciowe o zdarzeniach mających lokalizację przestrzenną i czasową) i **proceduralną** (ruchową)

Podział układu nerwowego

Układ nerwowy składa się z ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego. **Ośrodkowy układ nerwowy** jest zbudowany z mózgowia i rdzenia kręgowego. **Obwodowy układ nerwowy** tworzą nerwy czaszkowe (12 par) i rdzeniowe (31 par), zwoje i sploty nerwowe oraz zakończenia nerwowe odbierające bodźce (receptory).

Ośrodkowy układ nerwowy (podział kliniczny)			Obwodowy układ nerwowy
mózgowie	mózg	kresomózgowie	12 par nerwów czaszkowych
	pień mózgu	• międzymózgowie (wzgórze, podwzgórze, przysadka, szyszynka) • śródmózgowie • tyłomózgowie wtórne (rdzeń przedłużony i most)	
	móżdżek	część tyłomózgowia	
rdzeń kręgowy			31 par nerwów rdzeniowych
			zwoje nerwowe, sploty nerwowe
			receptory i zakończenia nerwowe



Kresomózgowie

Składa się z **dwóch półkul** połączonych **spoidłem wielkim**. Większą część kresomózgowia stanowi pokrywająca je z zewnątrz **kora mózgowa** – warstwa **istoty szarej** (ciała komórek nerwowych). Pod nią znajduje się **istota biała** (wypustki komórek nerwowych) tworząca drogi nerwowe. Powierzchnia kory mózgowej jest bardzo silnie pofałdowana. Pofałdowania tworzą bruzdy dzielące każdą z półkul na 4 płaty: **czołowy, ciemieniowy, skroniowy i potyliczny.** Grupy neuronów wyspecjalizowane w odbiorze i przekazywaniu impulsów tworzą **ośrodki nerwowe (korowe)** zlokalizowane w płatach.

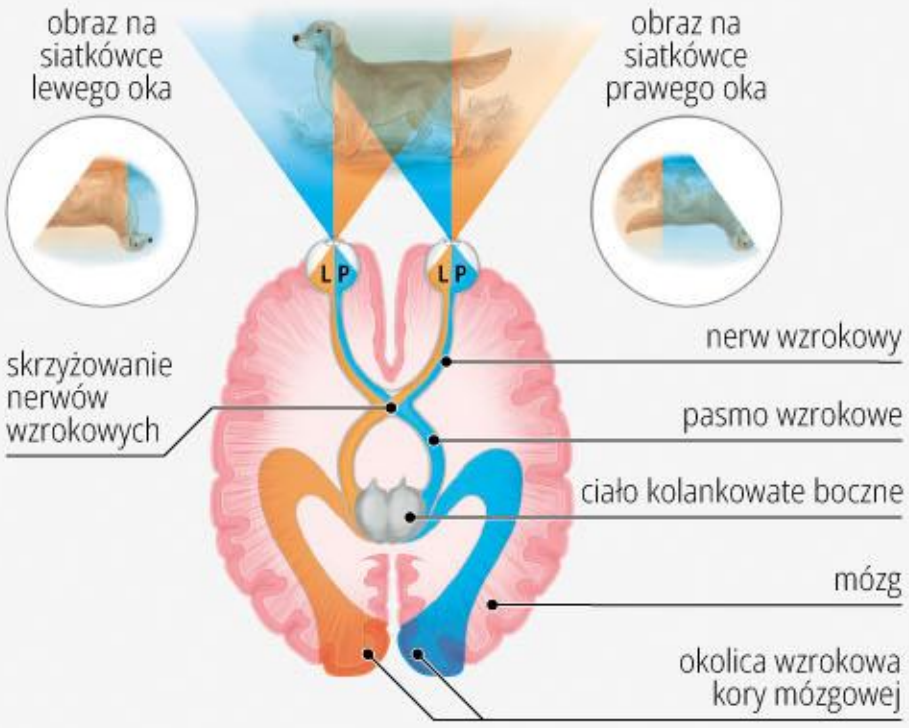


- płat czołowy:
  - ośrodki ruchowe mowy
  - ośrodki kontrolujące pracę mięśni szkieletowych
  - ośrodki czynności psychicznych (analiza i kontrola emocji)

  } kora ruchowa
- płat skroniowy:
  - ośrodki słuchu – kora słuchowa
- płat potyliczny:
  - ośrodki wzroku – kora wzrokowa
- płat ciemieniowy:
  - ośrodki czuciowe (dotyk, ból, ciepło, zimno) – kora czuciowa

Kora kojarzeniowa (zapamiętywanie, uczenie się, kojarzenie, myślenie) występuje we wszystkich płatach kory mózgowej. Na styku płatów potylicznego, ciemieniowego i skroniowego znajduje się **nadrzędny ośrodek mowy**.

Drogi nerwowe wychodzące z półkul mózgowych dla niektórych wrażeń zmysłowych lub czynności krzyżują się ze sobą, tzn. każda z półkul kontroluje pracę przeciwległej strony ciała.



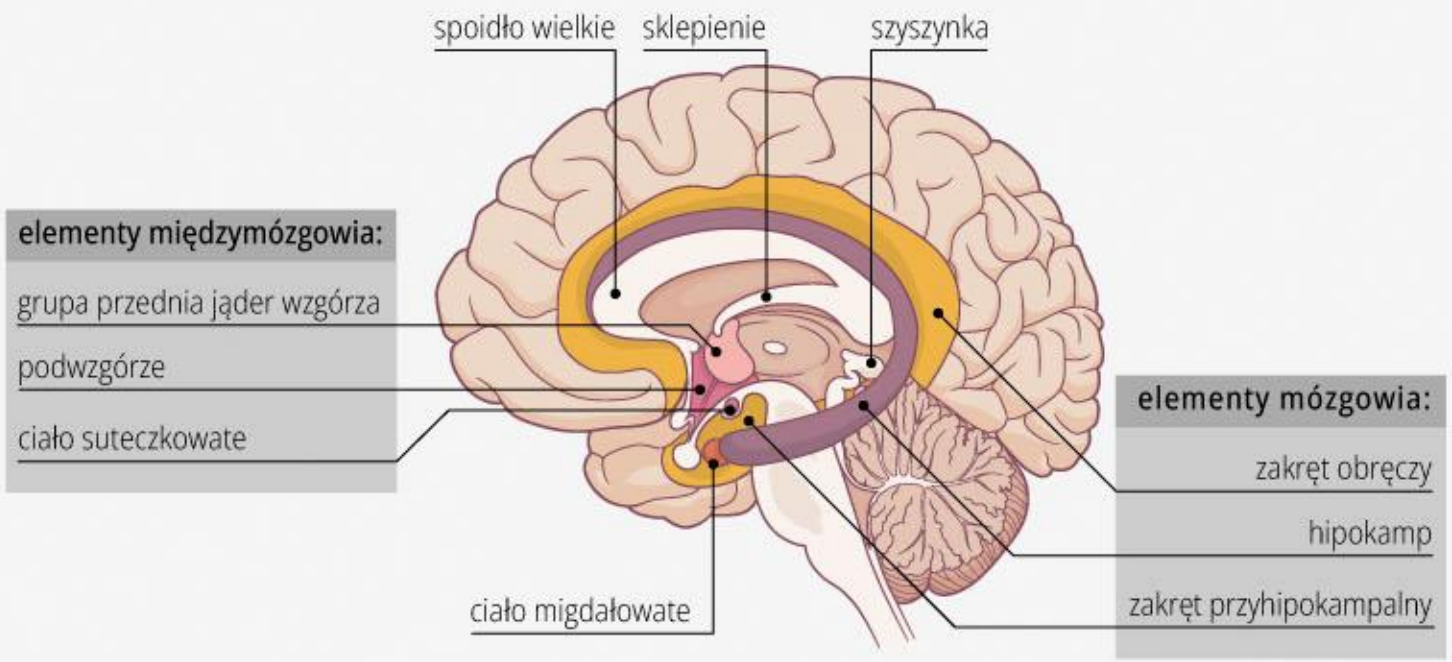
Różnice w funkcjach półkul mózgowych

Półkule mózgowe	
lewa półkula – mowa, nauka, technika	prawa półkula – sztuka i wyobraźnia
• wnioskowanie • myślenie ścisłe, analityczne • język • pisanie • logika • liczenie • poczucie czasu • rejestracja wrażeń z prawej strony ciała • kontrola motoryki z prawej połowy ciała	• właściwe i syntetyczne przetwarzanie informacji • wrażliwość na sztukę i muzykę • pamięć przestrzenna (wyobraźnia) • intuicja • rejestracja wrażeń z lewej strony ciała • kontrola motoryki lewej połowy ciała

Układ limbiczny

W skład **układu limbicznego** wchodzą niektóre struktury **kresomózgowia, międzymózgowia i śródmózgowia.**

Budowa	• struktury kory mózgu – ośrodki korowe płatu czołowego i skroniowego, hipokamp, ciało migdałowate • struktury podkorowe – część wzgórza, część podwzgórza, niektóre jądra śródmózgowia i łączące je drogi nerwowe
Funkcje	• uczestniczy w procesach zapamiętywania i uczenia się • reguluje procesy emocjonalne i zachowania seksualne • kieruje pobieraniem pokarmu i wody, reakcjami agresji i obrony, orientacją przestrzenną • kontroluje rytmy biologiczne, np. sen – czuwanie



Międzymózgowie

Międzymózgowie jest niewielką strukturą mózgowia. W jego skład wchodzą **wzgórze, podwzgórze** oraz gruczoły hormonalne – **szyszynka** i **przysadka**.

Międzymózgowie		
wzgórze	**podwzgórze**	**szyszynka i przysadka**
• pełni funkcję nadrzędnego ośrodka czucia całego organizmu • uczestniczy w podziale informacji płynących z rdzenia kręgowego i tyłomózgowia do kory mózgowej	• łączy układ nerwowy z hormonalnym • mieszczą się w nim środki czynności wegetatywnych (niezależnych od naszej woli), np. termoregulacji, pragnienia, głodu i sytości, popędów płciowych oraz instynktów macierzyńskich (inaczej zbudowany u kobiet i mężczyzn)	• gruczoły hormonalne

Pień mózgu

Budowa	Funkcje
śródmózgowie	
łączy międzymózgowie z móżdżkiem i mostem	• ośrodki odruchów wzrokowych, np. zwężania źrenicy, nieświadomych ruchów gałki ocznej oraz odruchów słuchowych (np. mimowolne odwracanie głowy w kierunku dźwięku) • współdziała z móżdżkiem w regulacji napięcia mięśni szkieletowych
tyłomózgowie wtórne – móżdżek	
• zbudowany z dwóch półkul połączonych robakiem • powierzchnię pokrywa istota szara – kora móżdżku	• odpowiada za płynność i koordynację ruchów • mieszczą się tu ośrodki regulujące napięcie mięśni szkieletowych (tzw. tonus) • pozwala zachować równowagę ciała
tyłomózgowie wtórne – most	
• część między śródmózgowiem a rdzeniem przedłużonym, zbudowana z włókien nerwowych	przekazuje impulsy nerwowe między korą mózgową, rdzeniem przedłużonym, rdzeniem kręgowym i móżdżkiem
rdzeń przedłużony	
łączy mózgowie z rdzeniem kręgowym	• mieszczą się tu ośrodki podstawowych czynności wegetatywnych (elementarne funkcje życiowe), takich jak: połykanie, żucie, ssanie, ruchy oddechowe; ośrodek naczynioruchowy regulujący ciśnienie i tempo przepływu krwi; ośrodek regulacji czynności serca • występuje skrzyżowanie szlaków nerwowych czuciowych oraz ruchowych lewej i prawej strony ciała (prawa strona mózgu kontroluje czynności lewej strony ciała i odwrotnie)

Rdzeń kręgowy

Przebiega przez kanał kręgowy utworzony przez otwory w kręgach kręgosłupa. Rozpoczyna się w rdzeniu przedłużonym i biegnie do drugiego kręgu lędźwiowego. Od zewnątrz rdzeń tworzy **istota biała**, a pod nią leży **istota szara** (odwrotnie niż w korze mózgowej), układająca się na przekroju w **kształt litery H**. Istota szara tworzy rogi brzuszne (przednie) oraz rogi grzbietowe (tylne). Wnętrze rdzenia stanowi **kanał środkowy** wypełniony płynem mózgowo--rdzeniowym. Wyróżnia się w nim części: szyjną, piersiową, lędźwiową, krzyżową i guziczną (ogonową).

Rdzeń kręgowy:

– uczestniczy w przekazywaniu impulsów z mózgowia do narządów wykonawczych i w ciele;

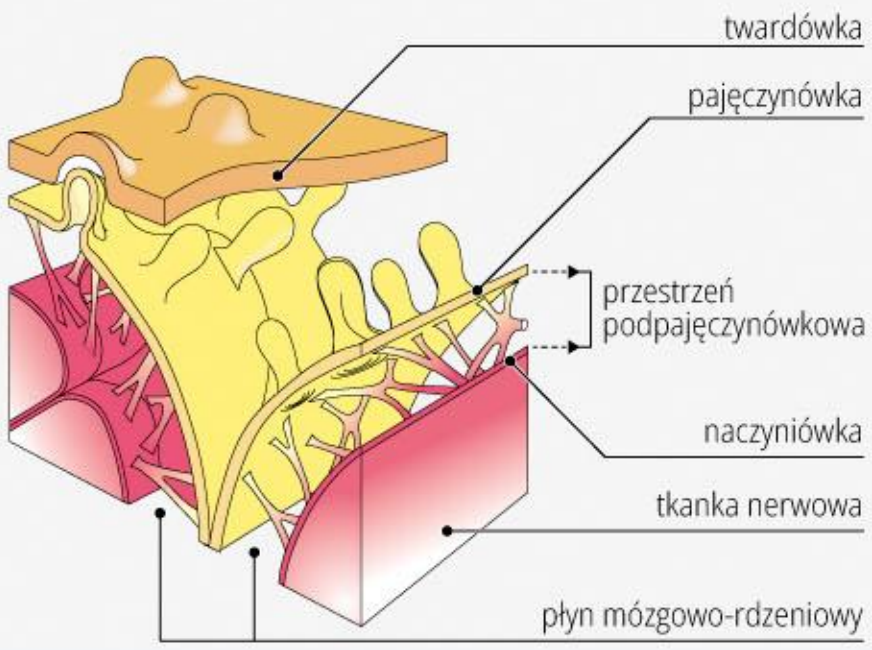
– uczestniczy w odruchach bezwarunkowych.

Ochrona ośrodkowego układu nerwowego

Ośrodkowy układ nerwowy jest chroniony przez **struktury kostne: czaszkę** (chroni mózgowie) i **kręgi kręgosłupa** (ochraniają rdzeń kręgowy) oraz dodatkowo przez trzy błony łącznotkankowe zwane **oponami mózgowo-rdzeniowymi oraz płyn mózgowo-rdzeniowy.**

Ochrona ośrodkowego układu nerwowego

Struktury kostne	kręgi kręgosłupa	ochraniają rdzeń kręgowy
	czaszka	ochrania mózgowie
Opony mózgowo-rdzeniowe	opona twarda	najbardziej zewnętrzna, wyściela jamę czaszki i rdzenia kręgowego
	opona pajęcza (pajęczynówka)	najcieńsza, ma postać mocnej przezroczystej blaszki, znajduje się między oponą twardą a miękką
	opona miękka (naczyniowa)	• styka się bezpośrednio z powierzchnią mózgowia, wnika w bruzdy i zagłębienia kory mózgowej, która bezpośrednio przylega do powierzchni mózgowia • zawiera liczne naczynia krwionośne i pełni funkcje odżywcze • przez naczynia krwionośne naczyniówki przenikają tylko woda, gazy oddechowe i glukoza, co chroni układ nerwowy przed dostaniem się szkodliwych substancji, np. leków (bariera krew–mózg)
Płyn mózgowo-rdzeniowy		• wypełnia jamę podpajęczynówkową (między oponą pajęczynówką a naczyniową) • jest przesączem wody i niektórych składników osocza (glukozy, białek, jonów Cl, Mg^{2+}) • stanowi ochronę ośrodkowego układu nerwowego • zapewnia utrzymanie prawidłowego ciśnienia w jamie czaszki • odpowiada za odżywianie neuronów oraz usuwanie produktów metabolizmu



Obwodowy układ nerwowy

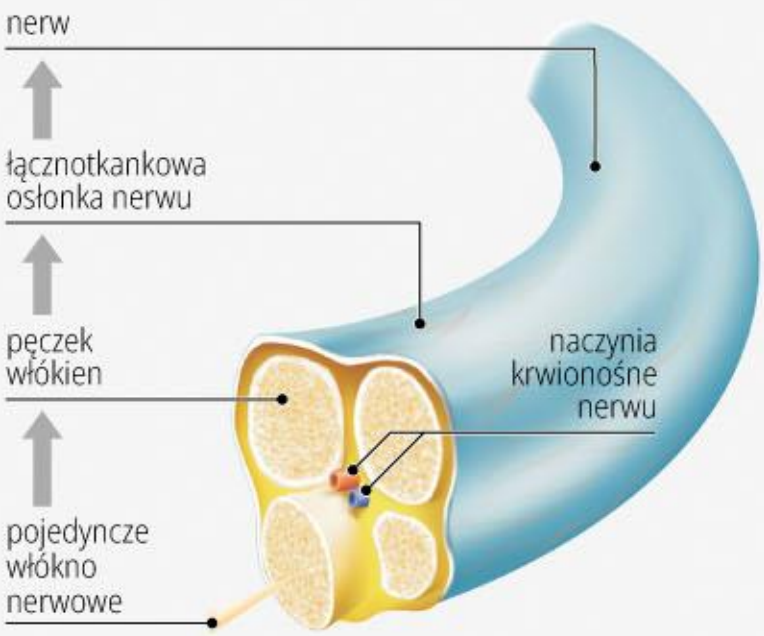
Obwodowy układ nerwowy jest zbudowany z receptorów, zwojów nerwowych oraz **nerwów** czaszkowych i **rdzeniowych**.

Receptory tworzą zakończenia nerwowe lub narządy odbierające bodźce ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego. **Nerwy** są utworzone z wielu biegnących równolegle do siebie aksonów otoczonych osłonką łącznotkankową. W każdym nerwie znajdują się naczynia krwionośne, które dostarczają substancji odżywczych i tlenu komórkom. **Zwoje nerwowe** są utworzone ze skupień ciał komórek nerwowych znajdujących się poza ośrodkowym układem nerwowym. Nerwy czaszkowe unerwiają przede wszystkim głowę i jej okolice. Są to nerwy czuciowe, ruchowe i mieszane.

Podział nerwów ze względu na kierunek przesyłania impulsu nerwowego

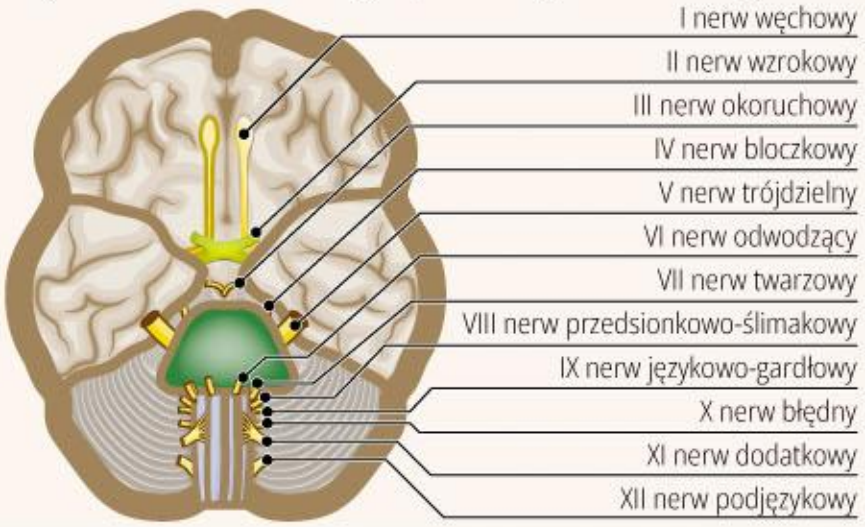
Neurony		
czuciowe	**ruchowe**	**mieszane**
• zawierają włókna czuciowe • przewodzą impulsy nerwowe (np. dotyku, ciepła, bólu) od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego	• zawierają włókna ruchowe • przewodzą impulsy nerwowe od ośrodkowego układu nerwowego do mięśni, gruczołów i innych narządów wykonawczych	• zawierają włókna czuciowe i ruchowe • przewodzą impulsy w obu kierunkach (do i z ośrodkowego układu nerwowego)

Budowa nerwu

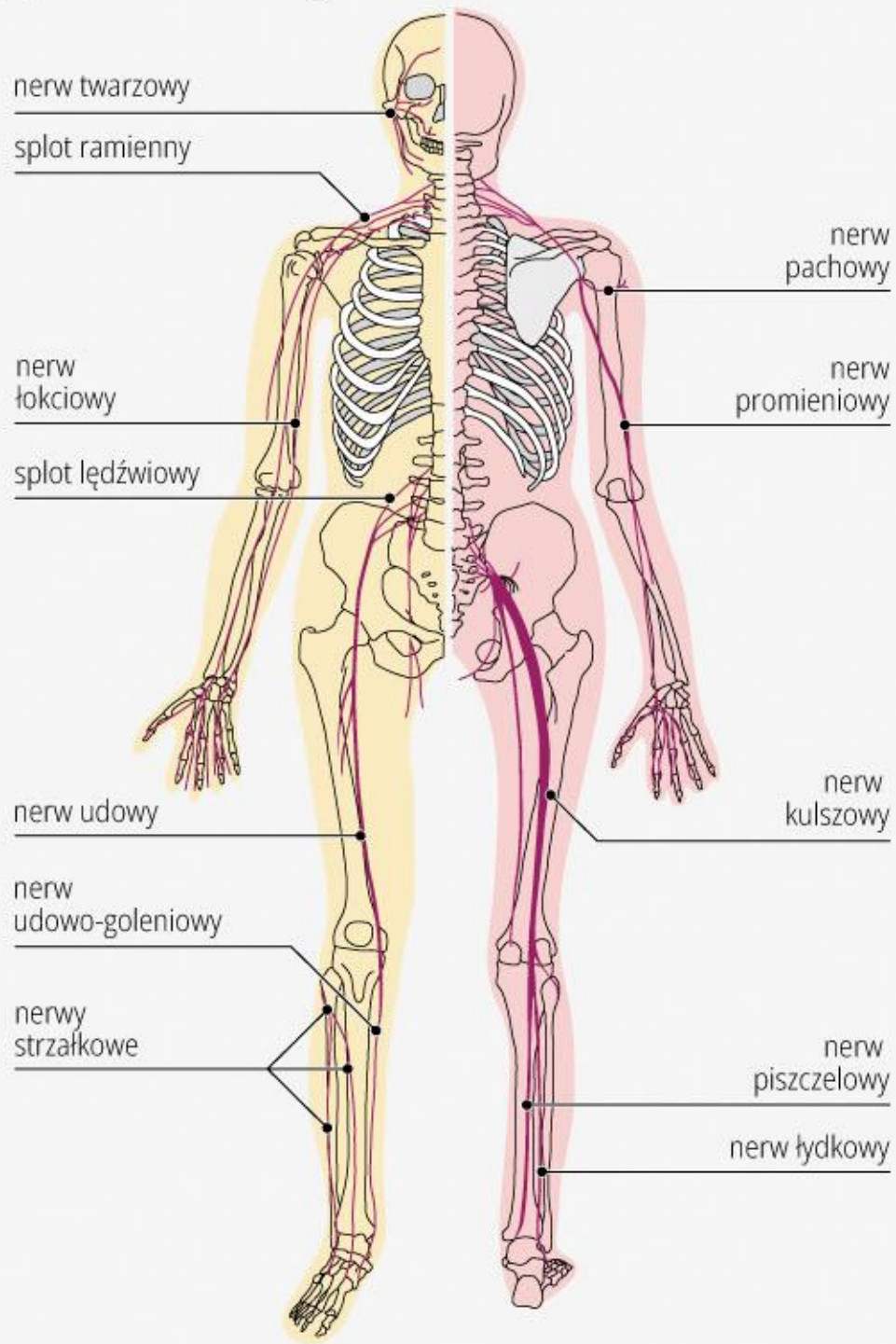


Rodzaje nerwów

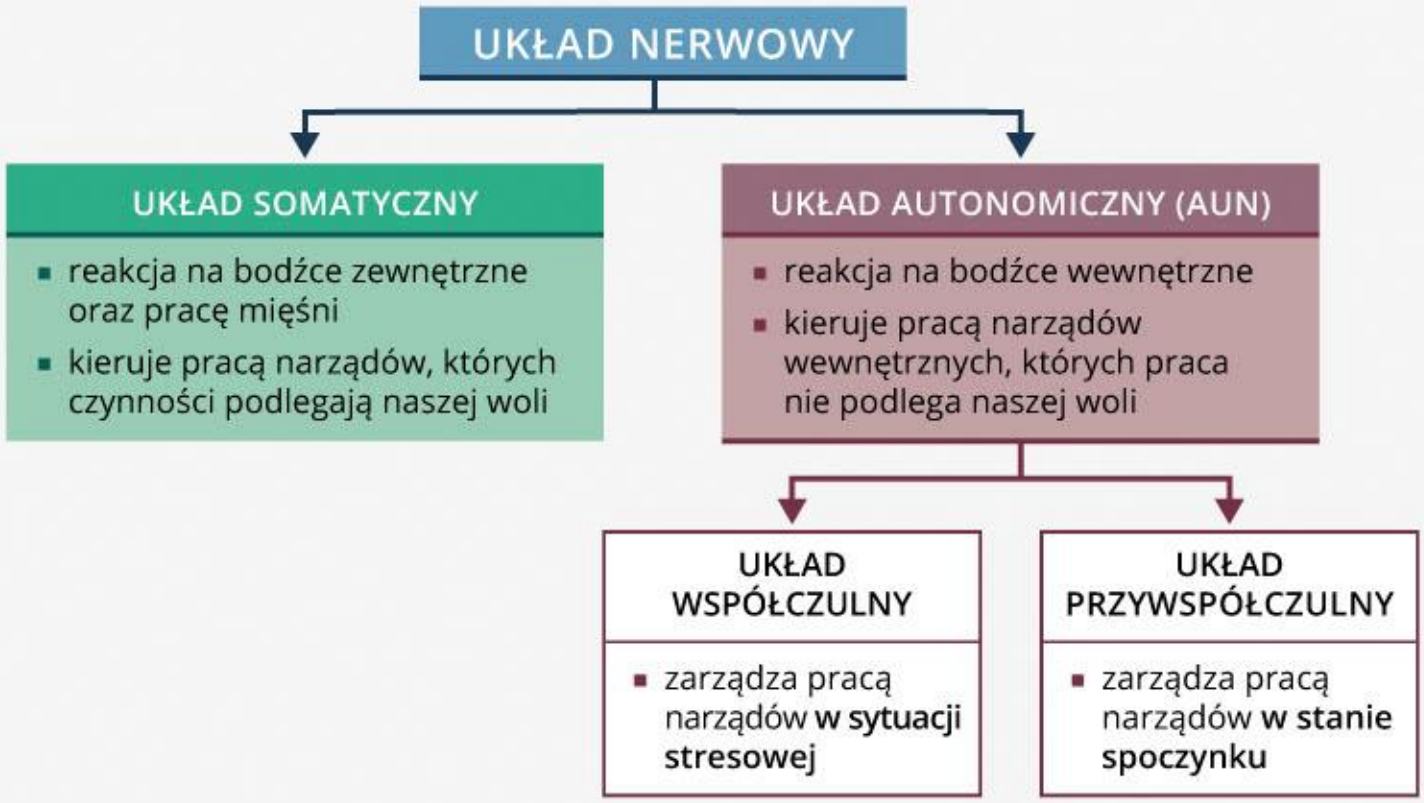
Nerwy	
czaszkowe	**rdzeniowe**
• 12 par • odchodzą od mózgowia • unerwiają przede wszystkim głowę i jej okolice • należą do nerwów czuciowych, ruchowych i mieszanych	• 31 par • odchodzą od rdzenia kręgowego • unerwiają m.in. skórę, mięśnie, narządy wewnętrzne i naczynia krwionośne • należą do nerwów mieszanych • dzielimy je na nerwy szyjne, piersiowe, lędźwiowe, krzyżowe i guziczne



Nerwy obwodowego układu nerwowego



Czynnościowy podział układu nerwowego



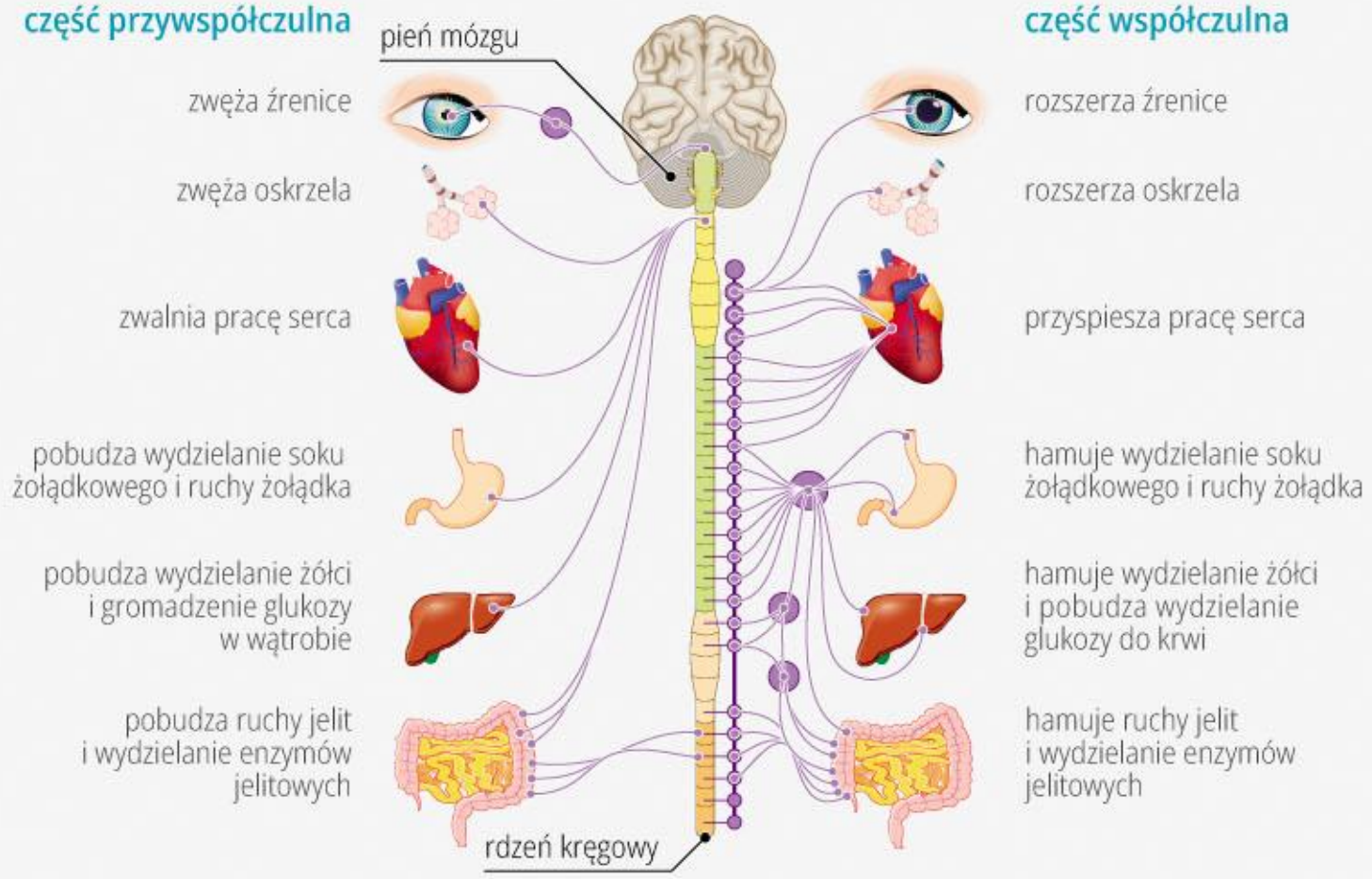
Autonomiczny układ nerwowy kontroluje podstawowe funkcje życiowe organizmu: trawienie, oddychanie, pracę mięśni gładkich i mięśnia sercowego, pracę gruczołów wydzielania wewnętrznego i zewnętrznego oraz tempo przemiany materii.

Dzieli się na **układ współczulny**, inaczej sympatyczny (pobudzający), i **przywspółczulny**, parasympatyczny (hamujący). Oba układy unerwiają narządy wewnętrzne organizmu, a ich działanie jest **antagonistyczne** względem siebie.

Porównanie układu współczulnego i przywspółczulnego

Budowa	Układ współczulny			Układ przywspółczulny	
	część ośrodkowa	pnie współczulne	część obwodowa	część mózgowa (głowowa)	część rdzeniowa (krzyżowa)
	• rogi boczne istoty szarej części piersiowej (od 8 kręgu piersiowego) i lędźwiowej (do 3 kręgu lędźwiowego) rdzenia kręgowego • główne ośrodki to m.in. ośrodek naczynioruchowy oraz ośrodek wydzielania potu	• utworzone przez zwoje nerwowe położone przykręgowo po obu stronach kręgosłupa (na każdy pień przypada od 21 do 24 zwojów współczulnych połączonych nerwami)	• włókna biorące początek w zwojach pnia współczulnego • włókna zazwojowe znacznie dłuższe od przedzwojowych	• ośrodki nerwowe w śródmózgowiu, móżdżku i rdzeniu przedłużonym	• ośrodki nerwowe w rogach bocznych istoty szarej rdzenia kręgowego na wysokości między 1 a 3 kręgiem kości krzyżowej
lokalizacja ośrodków nerwowych (znajdują się w nich ciała neuronów przedzwojowych)	piersiowo-lędźwiowa część rdzenia kręgowego			pień mózgu i część krzyżowa rdzenia kręgowego	

lokalizacja zwojów	pnie współczulne wzdłuż kręgosłupa	zwykle w narządach wewnętrznych lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie
neuroprzekaźnik	acetylocholina, noradrenalina	acetylocholina
zasięg oddziaływania	całe ciało	lokalnie
działanie	• pobudza pracę danego narządu • mobilizuje do aktywności, walki lub ucieczki, co wiąże się z wydatkowaniem energii • spowalnia procesy trawienne • dominuje w dzień, a osiąga szczyt aktywności w godzinach popołudniowych	• zmniejsza aktywność procesów fizjologicznych i wprowadza organizm w stan odprężenia i wypoczynku • odpowiada za oszczędzanie energii • przyśpiesza przebieg procesów trawienia • najbardziej aktywny w godzinach nocnych i rannych



Antagonizm działania układu współczulnego i przywspółczulnego

Narząd	Układ autonomiczny	
	część współczulna	część przywspółczulna
źrenica	rozszerzanie i pobudzanie wydzielania łez	zwężanie i hamowanie wydzielania łez
skóra	skurcz mięśni przywłosowych (tzw. gęsia skórka)	rozkurcz mięśni przywłosowych
gruczoły potowe	wydzielanie potu (ogólne oraz miejscowe, np. na dłoniach)	ogólne wydzielanie potu
gruczoły ślinowe	hamowanie wydzielania wodnistej śliny (wydzielanie gęstej śliny i amylazy)	pobudzanie wydzielania wodnistej śliny
oskrzela	rozszerzenie	zwężenie

Narząd	Układ autonomiczny	
	część współczulna	część przywspółczulna
serce	przyspieszenie akcji serca	zwolnienie akcji serca
naczynia krwionośne	zwężenie (podnosi ciśnienie krwi)	rozszerzenie (obniża ciśnienie krwi)
rdzeń nadnerczy	zwiększenie wydzielania adrenaliny	zmniejszenie wydzielania adrenaliny
pęcherz moczowy	rozkurczanie mięśni ścian pęcherza moczowego	kurczenie mięśni ścian pęcherza moczowego
żołądek	zmniejszanie motoryki (hamowanie wydzielania soku żołądkowego)	wzmaganie motoryki (pobudzanie wydzielania soku żołądkowego)
jelita	hamowanie perystaltyki i wydzielania enzymów jelitowych	pobudzanie perystaltyki i wydzielania enzymów jelitowych
trzustka	hamowanie wydzielania insuliny	pobudzanie wydzielania insuliny
wątroba	pobudzanie do uwalniania glukozy do krwi	pobudzanie do wchłaniania glukozy z krwi
pęcherzyk żółciowy	rozkurcz ścian pęcherzyka (zmniejszenie wydzielania żółci)	skurcz ścian pęcherzyka (zwiększenie wydzielania żółci)
gruczoły trawienne	zmniejszenie wydzielania	zwiększenie wydzielania

Substancje psychoaktywne

Wpływ substancji psychoaktywnych

Substancje psychoaktywne, m.in. alkaloidy, leki psychotropowe, narkotyki, alkohol, dopalacze to związki chemiczne, które działają na ośrodkowy układ nerwowy i powodują zmianę nastroju lub samopoczucia. Jeśli taki środek jest przyjmowany regularnie, to organizm się od niego uzależnia, a uzależnienie prowadzi do nałogu.

Wybrane substancje psychoaktywne i ich wpływ na organizm

Substancja	Działanie
leki (przeciwdepresyjne, uspakajające, przeciwbólowe, nasenne)	• zaburzenia pracy różnych organów, np. żołądka, serca, wątroby czy nerek • zaburzenia pamięci, funkcji poznawczych, halucynacje
alkohol	• układ pokarmowy – zapalenie błony śluzowej żołądka (zwiększenie zachorowalności na chorobę wrzodową żołądka), marskość wątroby, zapalenie trzustki, nowotwory przełyku, żołądka i trzustki • układ krążenia – wzrost ciśnienia krwi, osłabienie lub uszkodzenia mięśnia serca, ryzyko zawału serca i udaru mózgu • układ nerwowy – zaburzenia koordynacji ruchowej, nastroju, pamięci, funkcji intelektualnych, w skrajnych przypadkach utrata przytomności • układ rozrodczy – zaburzenia cyklu menstruacyjnego u kobiet i płodności u mężczyzn
nikotyna (wyroby tytoniowe i e-papierosy)	przewlekłe zapalenie oskrzeli, rozedma płuc, rak płuc, gardła, krtani, warg, ust, choroby układu sercowo-naczyniowego
narkotyki	zmiany w wyglądzie i zachowaniu, przekrwione białka oczu i rozszerzone źrenice, nadpobudliwość przeplatana sennością i apatią, zamykanie się w sobie oraz agresywne zachowania, depresja, urojenia, myśli samobójcze, osłabienie pamięci, koncentracji, sprawności ruchowej, wyniszczenie narządów wewnętrznych, zwiększenie ryzyka zawału serca i udaru mózgu, zaburzenia płodności, w skrajnych przypadkach śmierć
dopalacze	wzrost tętna i ciśnienia krwi, nudności, bóle i zawroty głowy, stany lękowe, bezsenność, drgawki, problemy z oddychaniem, urojenia, ataki szału, śpiączka czy brązowienie skóry, w skrajnych przypadkach kończy się śmiercią

Biologiczna funkcja snu

– pozwala na regenerację zużytych zapasów energii;
– zmniejsza stany napięcia psychicznego;
– zmniejsza skutki stresu;
– umożliwia naprawę komórek uszkodzonych w ciągu dnia;
– utrwala pamięć;
– poprawia czynności ruchowe i koordynacyjne;
– wzmaga skuteczność układu immunologicznego – skuteczniej są zwalczane infekcje wirusowe i bakteryjne;
– podczas snu wydzielany jest hormon wzrostu.

Podczas snu człowieka występują pewne cyklicznie powtarzające się zmiany, m.in. zmienia się szybkość ruchów gałek ocznych. Na tej podstawie wyróżnia się dwa rodzaje faz snu: **fazę NREM (sen wolnofalowy** – wolne ruchy gałek ocznych) oraz **fazę REM (sen paradoksalny** – szybkie ruchy gałek ocznych, zwany snem z marzeniami sennymi).

Porównanie faz snu

Faza snu	
NREM	**REM**
• sen głęboki, bez marzeń sennych • ustaje ruch oczu, zwalnia praca serca, spada temperatura ciała, obniża się ciśnienie krwi, następuje rozkurcz mięśni szkieletowych, szybciej goją się rany i oparzenia oraz spowalniają procesy trawienia • nerki produkują mniej moczu • o pół stopnia Celsjusza obniża się temperatura ciała • trwa ok. 60–90 minut i bezpośrednio po niej następuje faza REM	• szybkie poruszanie się gałek ocznych pod zamkniętymi powiekami • napięcie mięśni, wzrost ciśnienia krwi, częstotliwości bicia serca i oddechów • oddech i puls stają się nieregularne, często zdarza się mówienie przez sen i lunatykowanie • powstają marzenia senne, które mają charakter wizualny, obejmują dźwięki, zapachy, smaki, obrazy są czarno-białe lub kolorowe • trwa ok. 15–20 minut
Podczas snu przejście **fazy NREM w fazę REM** następuje ok. 4–6 razy, długość faz zmienia się, skraca się czas fazy NREM, a wydłuża fazy REM	

Wybrane choroby układu nerwowego

Choroba	Przyczyny	Objawy	Profilaktyka i leczenie
nerwice	długotrwały stres, lęki, nagłe zmiany sytuacji życiowej i warunków otoczenia	poczucie zagrożenia lub niepokoju, stany napięcia, nieuzasadnione lęki (nerwica lękowa) prowadzą do tzw. **fobii**, np. arachnofobii (lęk przed pająkami), klaustrofobii (lęk przed przebywaniem w zamkniętych pomieszczeniach), agorafobii (lęk przed przebywaniem na otwartej przestrzeni)	unikanie sytuacji stresowych, terapia psychologiczna, leczenie farmakologiczne

Choroba	Przyczyny	Objawy	Profilaktyka i leczenie
depresja	obciążenia genetyczne (wrodzona skłonność), ciężkie i przewlekłe choroby, stosowanie leków, alkoholizm czy reakcje na wydarzenia traumatyczne, a także niedobór serotoniny – nazywanej hormonem szczęścia	pesymistyczne widzenie świata, obniżony nastrój, zmniejszona energia, niska samoocena i mała wiara w siebie, osłabienie koncentracji i uwagi, zaburzenia snu, bóle głowy i brzucha, zmniejszony apatyt, myśli i czyny samobójcze	unikanie sytuacji stresowych, dbanie o wypoczynek w ciągu dnia, prowadzenie aktywnego trybu życia, utrzymywanie kontaktów z osobami bliskimi i przyjaciółmi, unikanie środków zmieniających nastrój, takich jak: alkohol, narkotyki, leki uspokajające i środki pobudzające, psychoterapia, terapia psychologiczna, leczenie farmakologiczne
choroba Alzheimera	w mózgu chorego powstają nieprawidłowo zbudowane białka, które gromadzą się i tworzą toksyczne złogi wewnątrz i na zewnątrz neuronów	stopniowe kłopoty z pamięcią, problemy z koncentracją, snem i czynnościami ruchowymi, w stadium zaawansowanym chory wymaga całodniowej opieki	brak profilaktyki, choroba postępująca, rehabilitacja oraz leczenie farmakologiczne spowalniają rozwój i łagodzą objawy
choroba Parkinsona	uszkodzenie komórek nerwowych śródmózgowia, które produkują neuroprzekaźnik dopaminę	zaburzenia równowagi i trudności z wykonywaniem ruchów – drżenie jednej ręki, ograniczona mimika twarzy i zmieniona barwa głosu	brak profilaktyki, choroba postępująca, rehabilitacja oraz leczenie farmakologiczne spowalniają rozwój i łagodzą objawy
schizofrenia	podłoże genetyczne, podatność na stres i urazy psychiczne, powikłania powstałe w okresie życia płodowego i okołoporodowego	zaburzenia emocjonalne, urojenia, omamy, bierność, apatia oraz zaburzenia w funkcjonowaniu w społeczeństwie	brak profilaktyki, łagodzenie skutków choroby – leczenie farmakologiczne, stosowanie psychoterapii, konsultacji psychologicznej czy terapii zajęciowej
padaczka (epilepsja)	zaburzenia czynności mózgu o podłożu genetycznym lub w wyniku przebytych urazów	napady padaczkowe (nadmierna aktywność grup neuronów) – drgawki, utrata świadomości, zwiotczenie mięśni	opieka nad ciężarną matką i dzieckiem, korzystanie z poradnictwa genetycznego, zapobieganie urazom głowy, leczenie farmakologiczne lub zabiegi chirurgiczne

Diagnostyka chorób układu nerwowego

Badanie elektroencefalograficzne (EEG) – pozwala zobrazować pracę mózgu za pomocą impulsów elektrycznych.

Tomografia komputerowa (TK) – polega na wykorzystaniu promieniowania rentgenowskiego w uzyskaniu obrazu mózgu.

Stres

Stres to odpowiedź organizmu na niekorzystne działanie czynników umysłowych, fizjologicznych, anatomicznych lub fizycznych. Czynniki te prowadzą do **zaburzenia równowagi wewnętrznej**.

Krótkotrwały stres działa mobilizująco na organizm i prowadzi do zwiększenia aktywności. **Długotrwałe działanie** czynnika stresogennego skutkuje zaburzeniem czynności fizjologicznych i psychicznych organizmu, a także utratą zdolności obronnych, co jest przyczyną wielu chorób. W skrajnych przypadkach może doprowadzić do śmierci.

Układ nerwowy

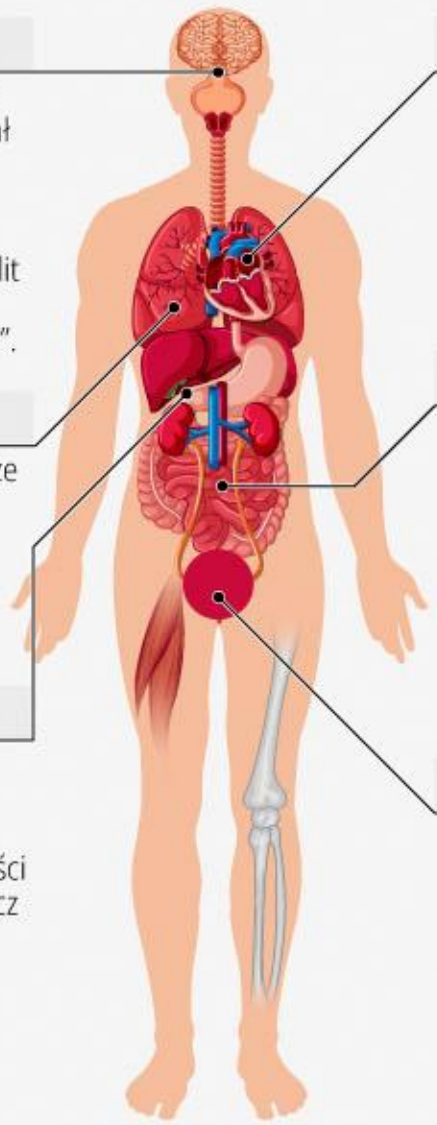
Współczulny układ nerwowy (działający niezależnie od naszej woli) wysyła sygnał do nadnerczy, z których uwalniane są adrenalina i kortyzol. Hormony te powodują szybsze bicie serca, wzrost ciśnienia krwi, osłabioną perystaltykę jelit i wzrost stężenia glukozy we krwi. To cechy tzw. reakcji „walcz albo uciekaj".

Układ oddechowy

Szybsze i płytkie oddechy. Niekiedy może nawet dojść do hiperwentylacji i ataku paniki.

Układ hormonalny

Następuje wyrzut z nadnerczy tzw. hormonów stresu – kortyzolu i adrenaliny. Z kolei wątroba w odpowiedzi na stres uwalnia duże ilości glukozy – źródła energii dla reakcji „walcz albo uciekaj".



Układ krążenia

Szybsza praca i mocniejsze skurcze mięśnia sercowego. Powtarzające się epizody ostrego stresu sprzyjają również procesom zapalnym w tętnicach wieńcowych i w konsekwencji rozwojowi w nich miażdżycy.

Układ pokarmowy

Niektórzy w obliczu stresu jedzą więcej, inni wręcz przeciwnie – znacznie mniej. Jeśli jesz więcej, a dodatkowo palisz papierosy i pijesz alkohol, może dojść do silnego refluksu żołądkowo-przełykowego i zgagi. Czasami stresowi towarzyszą: ból żołądka, nudności, wymioty, biegunka lub zaparcia.

Układ rozrodczy

U kobiet silny stres może spowodować zaburzenia miesiączkowania, bolesne miesiączki, przerost endometrium i kłopoty z płodnością, a także osłabić popęd seksualny. U mężczyzn przewlekły stres może sprzyjać zmniejszonej produkcji testosteronu i plemników oraz powodować zaburzenia erekcji.

Wpływ stresu na organizm człowieka

Fazy reakcji stresowej

Reakcja alarmowa – mobilizacja sił obronnych organizmu

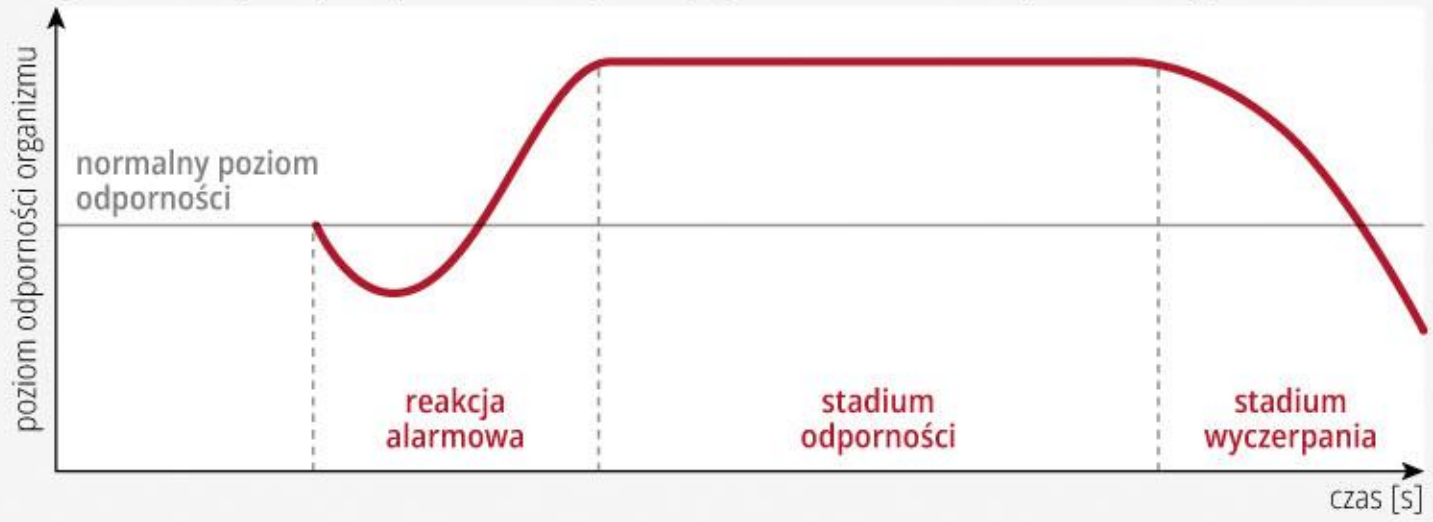
bodziec stresowy → podwzgórze → współczulny układ nerwowy → rdzeń nadnerczy → produkcja adrenaliny i noradrenaliny → reakcja walki lub ucieczki → ustąpienie stresu → powrót organizmu do stanu wyjściowego

Adaptacja – dłuższe działanie bodźca stresowego

bodziec stresowy → podwzgórze → przedni płat przysadki → kora nadnerczy → kortyzol → regulacja natężenia reakcji stresowej → ustąpienie stresu → powrót organizmu do stanu wyjściowego

Faza wyczerpania

Długotrwałe działanie stresu prowadzi do wielu chorób, m.in. nadciśnienia tętniczego krwi, miażdżycy, choroby wrzodowej żołądka, problemów z pamięcią oraz osłabienia odporności organizmu.



8.16. Percepcja zmysłowa u zwierząt

Podział receptorów

Kryterium podziału	Rodzaj receptora	Rodzaj bodźca	Występowanie receptora w organizmie
pochodzenie bodźca	interoreceptory	z wnętrza organizmu	tkanki, naczynia, mięśnie, narządy wewnętrzne
	eksteroreceptory	z zewnątrz organizmu	narząd wzroku, słuchu, równowagi, smaku, węchu, skóra
rodzaj odbieranej energii	fotoreceptory	natężenie światła	narząd wzroku – oczy, oczka
	chemoreceptory	substancje chemiczne	narząd węchu i smaku, powłoki ciała, ściany naczyń krwionośnych (osmoreceptory odbierające zmiany ciśnienia osmotycznego płynów ciała)
	mechanoreceptory	dźwięk, dotyk, ucisk, rozciąganie	powłoki ciała, narząd słuchu i równowagi, skóra, mięśnie, stawy
	termoreceptory	temperatura	skóra, podwzgórze
	nocyreceptory	ból	różne narządy ciała
	elektroreceptory	pole elektryczne	powłoki ciała
	magnetoreceptory	pole magnetyczne	specjalne białka w siatkówce oka

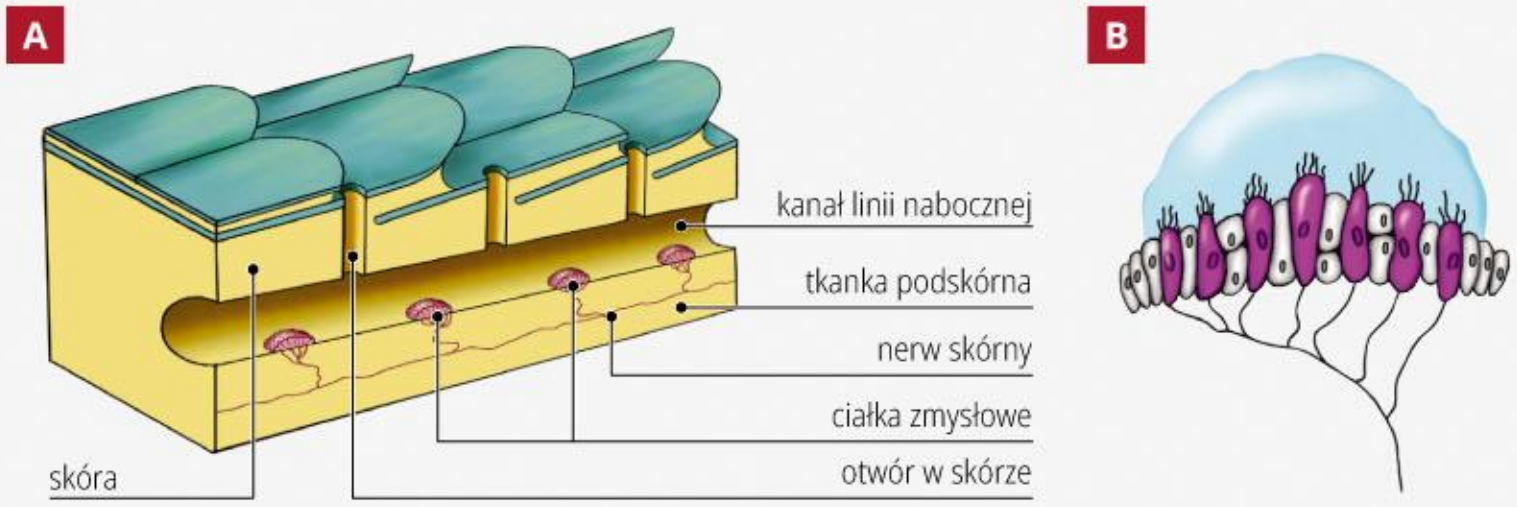
Narządy zmysłów u zwierząt

Narząd zmysłu	Rodzaj bodźca	Narząd zmysłu	Funkcja
wzrok	świetlne	• oczy proste (kubkowate, pęcherzykowate) • oczy złożone u stawonogów	• orientacja w środowisku • polowanie na ofiarę • unikanie drapieżnika
słuch	dźwiękowe	• narządy tympanalne u owadów • ucho u kręgowców	• orientacja w środowisku • polowanie na ofiarę • unikanie drapieżnika • komunikacja między osobnikami • echolokacja – określanie położenia w przestrzeni
węch	chemiczne, przenoszone na odległość	• czułki owadów • nabłonek jamy nosowej i narząd Jacobsona u kręgowców	• pozwala na określenie położenia pokarmu • pozwala na odbiór feromonów
smak	chemiczne, rozpuszczone w wodzie, odbierane kontaktowe	• wokół otworu gębowego • kubki smakowe u kręgowców	• rozróżnienie składu pokarmu
dotyk	mechaniczne	• włoski czuciowe (na czułkach) • ciałka dotykowe	• orientacja w środowisku
równowagi	grawitacyjne	• statocysty • błędnik u kręgowców	• określenie położenia w przestrzeni
termiczny	termiczne	• ciałka czuciowe	• odczuwanie temperatury otoczenia

Inne typy narządów zmysłu

Oprócz głównych typów narządów zmysłów występują wyspecjalizowane narządy zmysłów, charakterystyczne tylko dla określonej grupy zwierząt:

- **narząd linii bocznej** ryb i larw płazów – składa się z wypełnionych śluzem kanałów położonych po obu stronach ciała w skórze. Kanały łączą się ze środowiskiem zewnętrznym – przechodzą przez łuski tułowia i kości czaszki. W kanałach znajdują się urzęsione komórki zmysłów, które informują ryby o przepływie i ruchach wody, a także pozwalają wykryć ruch i drgania wytworzone przez ofiarę, drapieżnika lub napotkane inne obiekty;



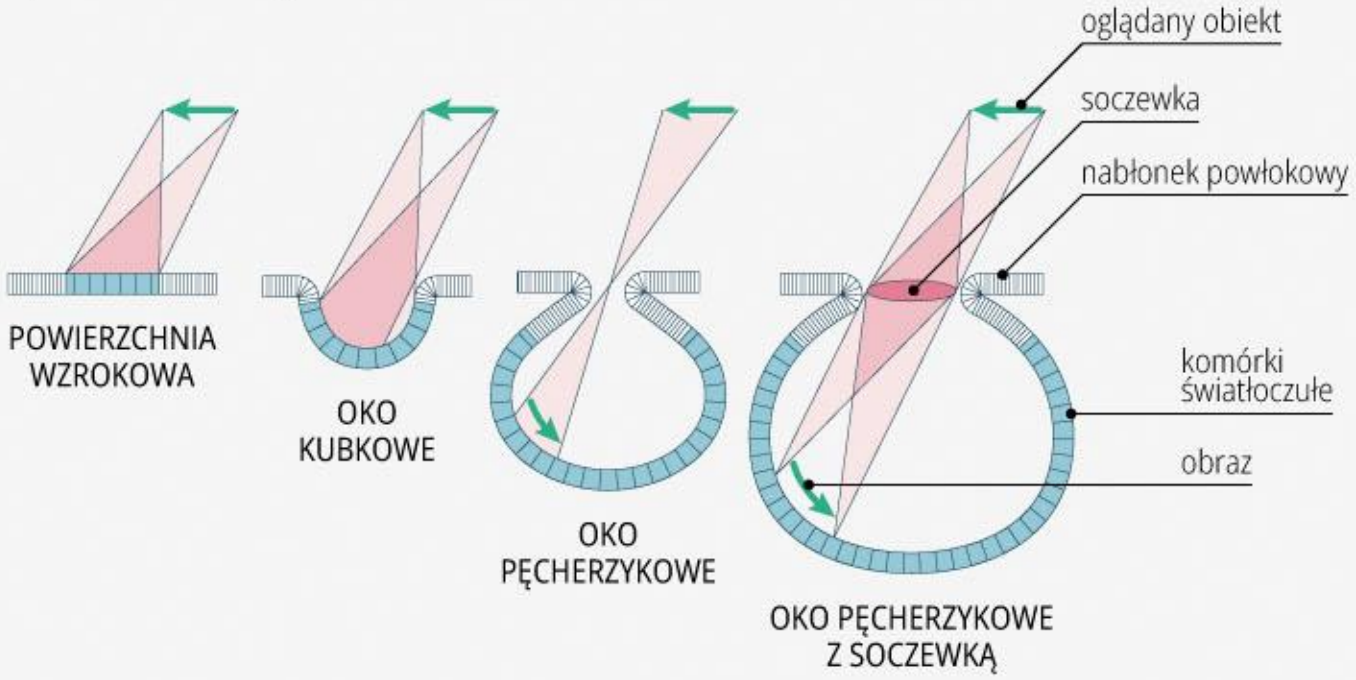
Organ linii nabocznej ryb (A), komórki zmysłowe (B) przetwarzające energię mechaniczną na potencjały receptorowe przesyłane do mózgu

- **zmysły elektryczne** – służą do wykrywania i odbioru zaburzeń pola elektrycznego, co pozwala niektórym rybom na lokalizację zdobyczy lub zagrożenia;
- **zmysły magnetyczne** – pozwalają orientować się zwierzętom w polu magnetycznym Ziemi, np. owadom, homarom oraz kręgowcom, m.in. rybom, ptakom; ułatwiają wędrówki szczególnie na dużych dystansach.

Typy oczu

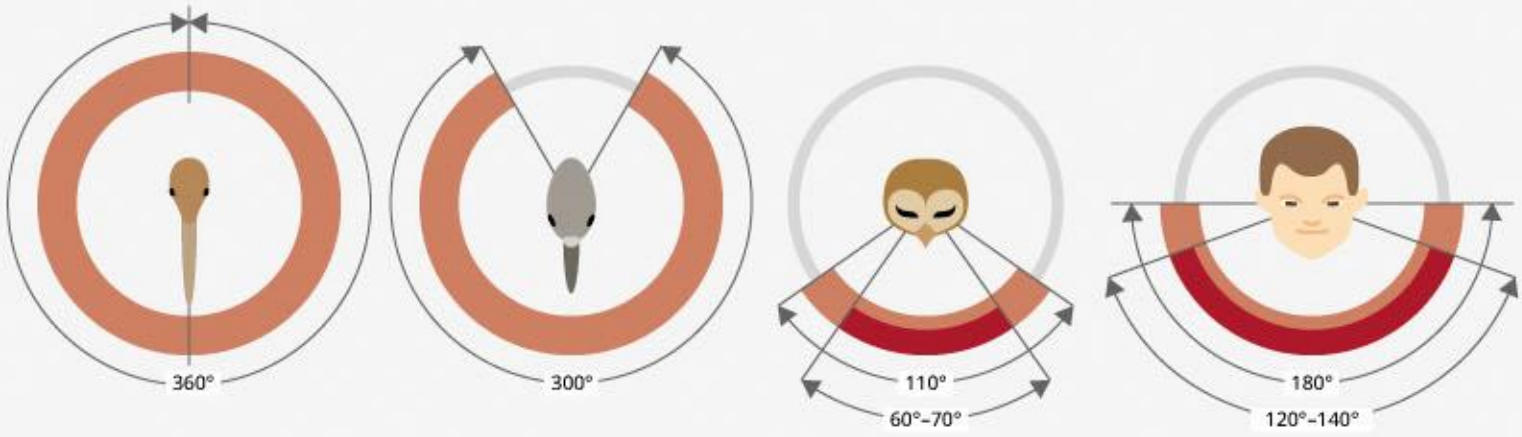
Oczy proste	skupiska komórek światłoczułych	• występują na zewnętrznej powierzchni ciała • mają małą powierzchnię wzrokową • pozwalają tylko na odróżnienie światła od ciemności • występują u bezkręgowców, np. u skąposzczetów
	oczy kubkowe	• powstają w zagłębieniach powierzchni ciała • mają większą powierzchnię wzrokową • pozwalają określić intensywność światła, a także kierunek padania promieni świetlnych • występują u bezkręgowców, np. wirków
	oczy pęcherzykowe	• mają znacznie większą powierzchnię pokrytą komórkami światłoczułymi • umożliwiają większą ostrość widzenia • umożliwiają rozróżnianie kształtów i kolorów • u wyżej uorganizowanych zwierząt występuje soczewka i możliwość akomodacji • oczy pęcherzykowe bez soczewki występują u niektórych małży, oczy pęcherzykowe z soczewką występują u głowonogów i kręgowców jako narządy analogiczne (niezależnie od siebie rozwinęły się w toku ewolucji)
Oczy złożone	• są zbudowane z wielu tysięcy oczek prostych zwanych **omatidiami** (każde składa się z fotoreceptora, komórek barwnikowych i soczewki skupiającej światło) • tworzą obraz mozaikowy złożony z pojedynczych obrazów powstających w poszczególnych omatidiach • mają szerokie pole widzenia • pozwalają odróżniać zmiany natężenia światła, rejestrować ruch i kolory, a słabiej szczegóły • im większa liczba omatidiów, tym lepszy obraz • mogą odbierać długość fali świetlnej w zakresie od czerwieni do ultrafioletu • występują głownie u owadów, a także u skorupiaków, wijów i niektórych wieloszczetów	

Ewolucja oka u zwierząt



U kręgowców narząd wzroku tworzą **parzyste oczy**, umieszczone:

- po bokach głowy u ryb, płazów i gadów oraz większości ptaków – zwiększają pole widzenia, ale ograniczają widzenie przestrzenne;
- z przodu głowy u naczelnych i niektórych ptaków – pozwalają na nakładanie się pól widzenia i skupianie się obu oczu na tym samym obiekcie.



Przystosowanie narządu wzroku kręgowców do środowiska życia

Grupa	Środowisko	Przystosowania
ryby	wodne	• oczy pozbawione powiek • akomodacja zachodzi przez zmianę położenia soczewki, która wystaje przez źrenicę – szeroki kąt widzenia (do 180°C) rekompensuje brak ruchomego połączenia głowy z tułowiem
płazy	wodno-lądowe	• ochrona przed wysychaniem przez **dwie powieki**: górną i dolną oraz gruczoły nawilżające powierzchnię oka • akomodacja oka przez zmianę kształtu soczewki
gady	lądowe, wtórnie przystosowane do wody	• powieka dolna i górna oraz dodatkowa osłona w postaci ruchliwej i przezroczystej trzeciej powieki – **błony migawkowej** (migotka) • powierzchnia oka nawilżana przez wydzielinę gruczołów łzowych • u węży nie występują powieki, a oczy są pokryte przezroczystym rogowym wytworem naskórka, zrzucanym podczas linienia

Grupa	Środowisko	Przystosowania
ptaki	lądowe, wodne, powietrzne	• **podwójna akomodacja oka** – następuje przez zmianę kształtu soczewki i zmianę kształtu całej gałki ocznej • spłaszczona gałka oczna zapewnia szerokie pole widzenia, m.in. pozwala na obserwowanie środowiska bez poruszania głową • gatunki drapieżne, jak sępy, orły czy sowy, mają oczy skośne, umożliwiające powstanie obrazu powiększonego, co ułatwia polowanie na drobne gryzonie • w siatkówce ptaków prowadzących dzienny tryb życia przeważają czopki (fotoreceptory umożliwiające widzenie czarno-białe w słabym oświetleniu) • u niektórych gatunków, np. mew i rybitw, w siatkówce oka mogą znajdować się **trzy plamki żółte** – miejsca najostrzejszego widzenia • siatkówka może zawierać dodatkowe czopki do odbierania promieniowania UV, co pozwala na aktywność wczesnym porankiem i o zmierzchu • **obecność grzebienia**, który odżywia i dostarcza tlenu do gałek ocznych • **trzecia powieka** – migotka zwilża powiekę bez konieczności zamykania oka
ssaki	wodne, lądowe	• akomodacja oka przez zmianę kształtu soczewki • trzecia powieka migotka zachowała się tylko u stekowców, • z oka ssaków wyrastają **rzęsy**, na których zatrzymują się zanieczyszczenia i obce ciała • gatunki nadrzewne mają dobrze rozwinięte oczy (ułatwia to orientację w środowisku, dostrzeżenie drapieżnika czy zlokalizowanie pokarmu), gatunki żyjące pod ziemią, np. krety, mają oczy silnie uwstecznione

Narządy równowagi

Bezkręgowce	Kręgowce
• statocysta – pęcherzyk wypełniony płynem i wyścielony rzęskami komórek zmysłowych wrażliwych na bodźce mechaniczne • wewnątrz znajduje się jeden lub kilka **statolitów** – ziarenek piasku lub węglanu wapnia, które w zależności od położenia ciała w środowisku podrażniają inne partie komórek zmysłowych	• **błędnik błoniasty** w uchu wewnętrznym • wypełniony **śródchłonką** (endolimfą), w której są zatopione ziarenka węglanu wapnia (**otolity**) • zbudowany z kanałów półkolistych, przedsionka pokrytego komórkami zmysłowymi zaopatrzonymi w rzęski • podczas zmiany położenia ciała zwierzęcia otolity naciskają na rzęski, które się wyginają; wygięcie rzęsek jest odbierane przez receptory komórek zmysłowych

Ewolucja ucha u kręgowców

Grupa zwierząt	Ucho		
	zewnętrzne	środkowe	wewnętrzne
krągłouste	brak	brak	błędnik z jednym kanałem półkolistym
ryby	brak	brak	błędnik z trzema kanałami półkolistymi i przedsionkiem, u niektórych ryb błędnik połączony z pęcherzem pławnym (wzmocnienie bodźców dźwiękowych)
płazy	brak	jama bębenkowa połączona z gardzielą trąbką Eustachiusza, kosteczka słuchowa – strzemiączko u płazów ogoniastych brak ucha środkowego	błędnik z trzema kanałami półkolistymi i przedsionkiem
gady ptaki	brak	jama bębenkowa połączona z gardzielą trąbką Eustachiusza, kosteczka słuchowa – strzemiączko	błędnik z trzema kanałami półkolistymi, przedsionkiem i ślimakiem
ssaki	małżowina uszna, przewód słuchowy	jama bębenkowa połączona z gardzielą trąbką Eustachiusza, trzy kosteczki słuchowe – strzemiączko, młoteczek, kowadełko	błędnik z trzema kanałami półkolistymi, przedsionkiem i ślimakiem

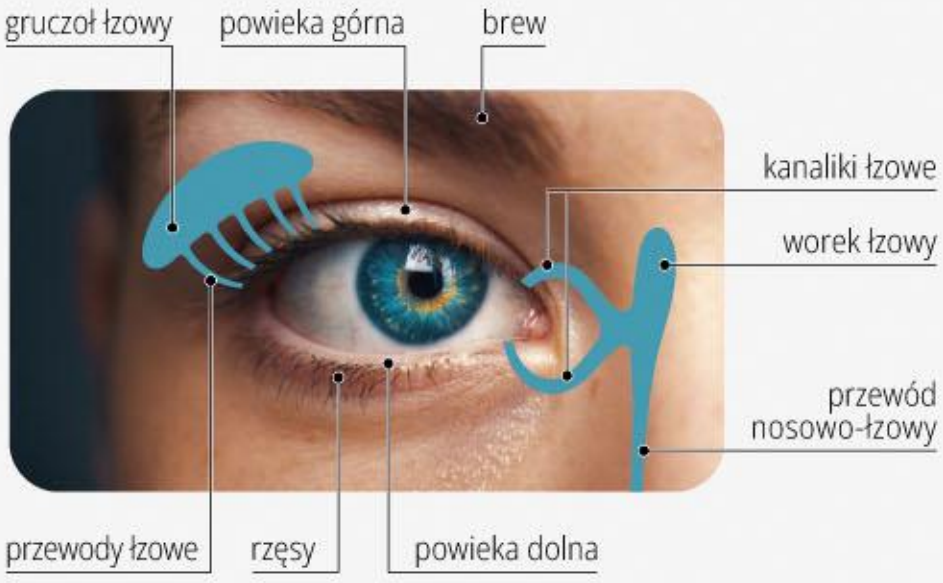
8.17. Budowa i funkcje receptorów człowieka

Oko

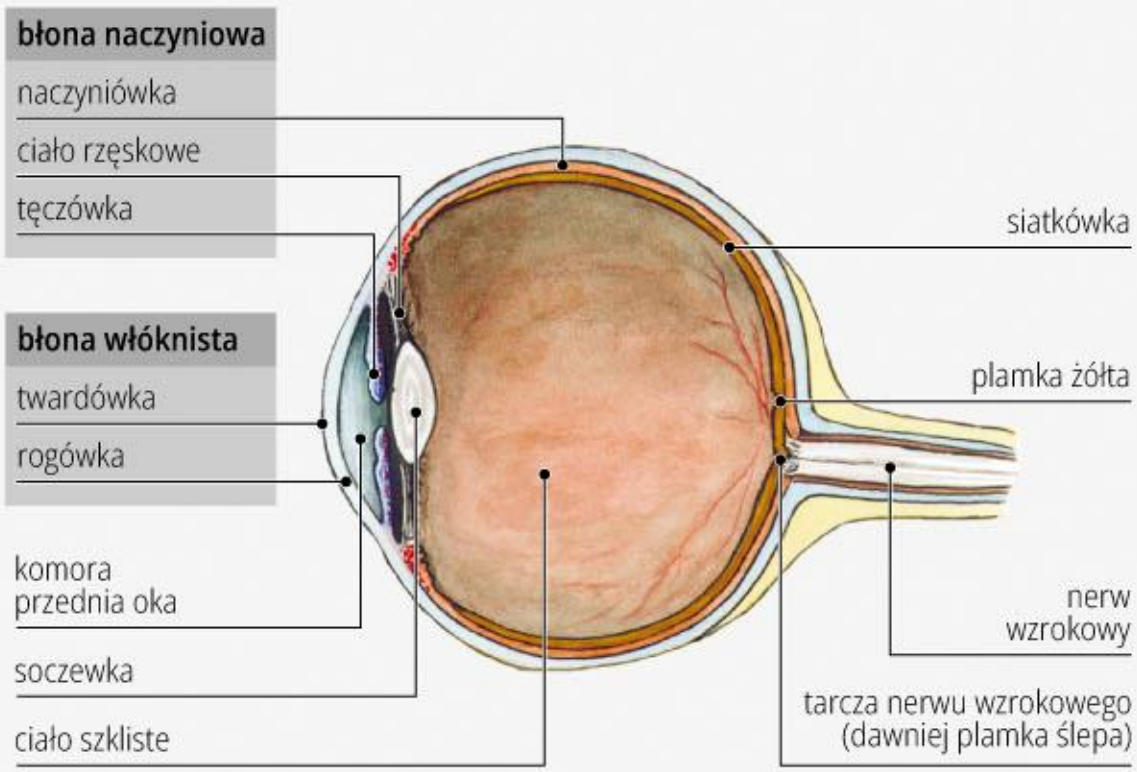
Części oka		Elementy budowy	Budowa	Funkcje
aparat ochronny powieki (górna i dolna) rzęsy spojówka aparat łzowy		brwi	krótkie włosy porastające wały oczodołowe	ochrona oczu przed spływającym z czoła potem, zatrzymywanie cząsteczek kurzu i pyłów
		powieki (górna i dolna)	zaopatrzone w mięśnie fałdy skórne, których ruch otwiera lub zamyka oko	ochrona oczu przed uszkodzeniem oraz światłem o zbyt dużym natężeniu
		rzęsy	włosy na brzegach powiek	zatrzymują cząsteczki kurzu i pyłów oraz ciała obce
		spojówka	gładka błona wyścielająca tylną powierzchnię powiek oraz twardówkę	nawilża gałkę oczną i chroni przed drobnymi zanieczyszczeniami
		aparat łzowy	gruczoł łzowy wydzielający łzy	łzy zawierają lizozym – enzym o właściwościach bakteriobójczych; oczyszczają i nawilżają gałkę oczną
aparat ruchowy		sześć mięśni poprzecznie prążkowanych	przymocowane z jednej strony do gałki ocznej, a z drugiej – do oczodołu	umożliwiają ruch gałki ocznej wewnątrz oczodołu
gałka oczna	błona naczyniowa	naczyniówka	zawiera liczne włosowate naczynia krwionośne	odżywia pozostałe warstwy oka
		ciało rzęskowe	element błony naczyniowej, zawiera mięsień rzęskowy	reguluje kształt soczewki oka, uczestniczy w regulacji ostrości widzenia
		tęczówka	przednia część błony naczyniowej, zawiera komórki barwnikowe i mięśnie gładkie	zapobiega wnikaniu do oka nadmiernej ilości światła przez skurcz mięśni zwężających źrenicę
		źrenica	otwór w centralnej części tęczówki	umożliwia przejście promieni świetlnych do wnętrza oka
	błona włóknista	rogówka	zewnętrzna część błony włóknistej	skupia światło, chroni przednią część oka przed urazami
		twardówka	tylna część błony włóknistej	chroni głębiej położone elementy oka przed urazami
	siatkówka		wewnętrzna błona bezpośrednio otaczająca gałkę oczną; zawiera komórki światłoczułe: czopki i pręciki	odbiera bodźce świetlne
	plamka żółta		obszar siatkówki, na którym występuje największe zagęszczenie czopków	widzenie barwne
	tarcza nerwu wzrokowego (dawniej plamka ślepa)		miejsce na siatkówce pozbawione komórek światłoczułych	początek nerwu wzrokowego

Części oka	Elementy budowy	Budowa	Funkcje
	ciało szkliste	galaretowata substancja wypełniająca tylną część gałki ocznej	nadaje gałce ocznej kulisty kształt, reguluje ciśnienie wewnątrzgałkowe, amortyzuje wstrząsy
	komora przednia oka	przestrzeń między tylną powierzchnią rogówki a soczewką, wypełniona przezroczystą wodnistą cieczą	utrzymuje krzywiznę rogówki, uczestniczy w regulacji ciśnienia wewnątrzgałkowego
nerw wzrokowy		wiązka wypustek nerwowych otoczona błoną łącznotkankową (wychodzi z mózgowia przez otwory w czaszce)	przewodzi impulsy nerwowe z oka do ośrodków wzrokowych w płacie potylicznym

Aparat ochronny

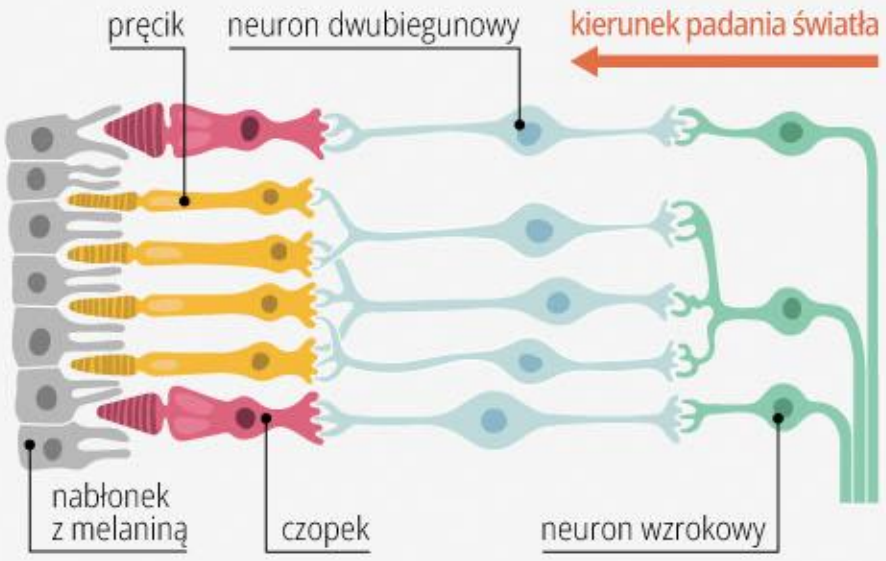


Budowa gałki ocznej



Budowa siatkówki i mechanizm widzenia

Siatkówka jest zbudowana z trzech warstw komórek nerwowych: komórek nabłonka barwnikowego z fotoreceptorami (czopki i pręciki), warstwy zbudowanej z komórek dwubiegunowych (neuronów z jednym aksonem i jednym dendrytem), warstwy komórek zwojowych (ich aksony łączą się w nerw wzrokowy).

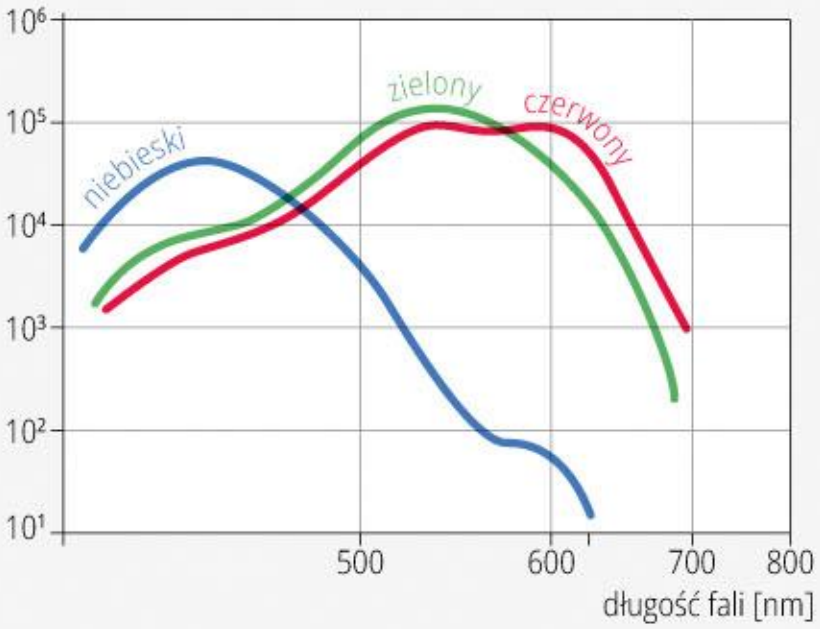


W siatkówce znajdują się komórki światłoczułe – **pręciki i czopki** – połączone z mózgiem nerwami, które tworzą nerw wzrokowy.

Porównanie komórek siatkówki

Cecha	Pręciki	Czopki
liczba komórek w siatkówce	120 mln	7 mln
położenie w siatkówce	w części obwodowej	w części środkowej
barwnik światłoczuły	rodopsyna	jodopsyna
widzenie czarno–białe/kolorowe	czarno-białe	kolorowe
duża czułość/ostrość	czułość (dostrzeganie kształtów i ruchu przedmiotów)	ostrość (dostrzeganie drobnych szczegółów)
optymalne warunki działania	o zmierzchu (wykrywanie intensywności oświetlenia)	przy dobrym oświetleniu

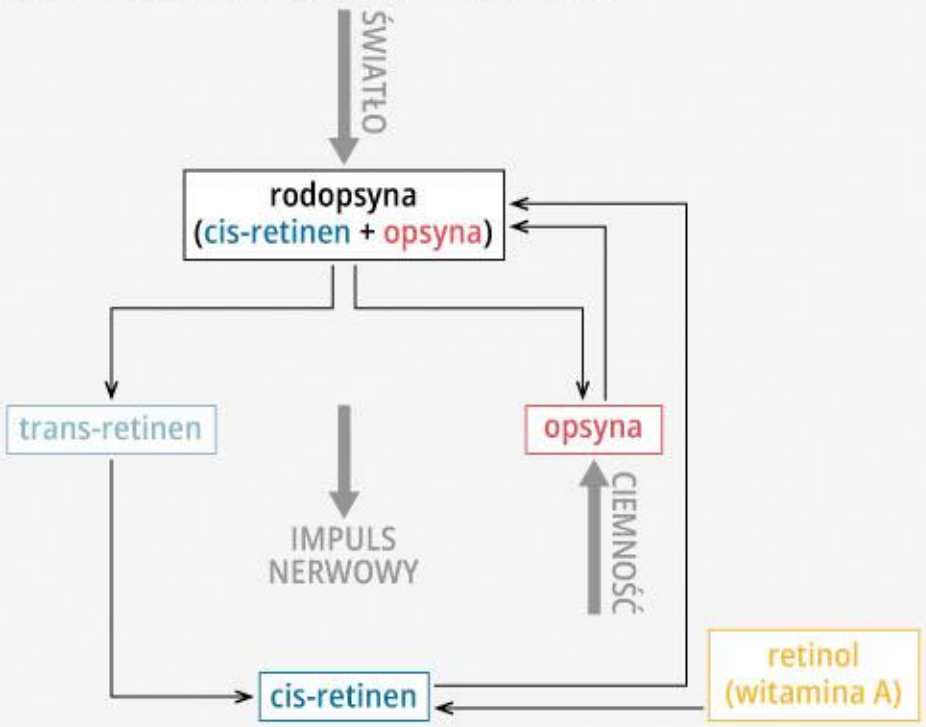
W siatkówce obecne są trzy podstawowe rodzaje czopków, które pochłaniają fale świetlne: żółte, niebieskie i zielone. W wyniku pobudzenia z różnym nasileniem różnych czopków powstaje kombinacja barw i widzenie barwne. Światło widzialne dla człowieka mieści się pomiędzy **400 nm** a **700 nm**. Oko ludzkie nie rejestruje ultrafioletu, podczerwieni ani promieni X i promieni gamma.



Światłoczułe barwniki

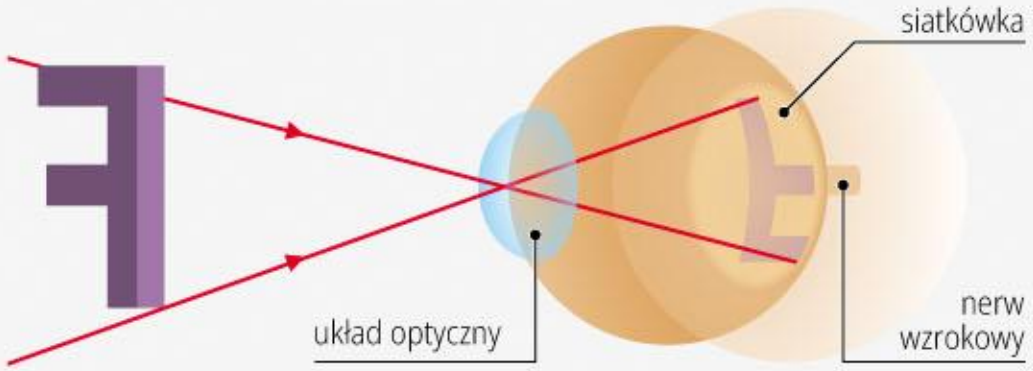
- **Rodopsyna** i **jodopsyna** składają się z substancji białkowej (białka błonowego – opsyny) oraz pochodnej witaminy A. Pod wpływem światła zachodzą w nich przemiany chemiczne prowadzące do powstania impulsu nerwowego.
- W świetle rodopsyna ulega rozkładowi **do opsyny i cis-retinenu**, który pod wpływem światła przechodzi w formę **trans-retinenu.**
- **Trans-retinen** jako bodziec chemiczny powoduje depolaryzację błony światłoczułej, co prowadzi do powstania impulsu nerwowego.
- Impuls nerwowy z komórek światłoczułych zostaje przekazany na komórki dwubiegunowe, dalej na komórki zwojowe, których neuryty łączą się w nerw wzrokowy; za jego pośrednictwem impuls nerwowy dociera do ośrodków wzrokowych w płacie potylicznym kory mózgowej.
- W ciemności **trans-retinal** przekształca się w **cis-retinal** lub w witaminę A, która przechodzi w cis--retinal.

Przemiany chemiczne barwnika wzrokowego – rodopsyny



Droga światła przez gałkę oczną i powstanie wrażenia wzrokowego

- promienie świetlne przechodzą aparat optyczny oka (rogówkę, płyn komory przedniej oka, soczewkę i ciało szkliste) oraz ulegają załamaniu (refrakcji wyrażanej w jednostkach – dioptriach);
- powstaje obraz rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony;
- światło dociera do siatkówki i zostaje pochłonięte przez komórki światłoczułe – pręciki i czopki;
- pod wpływem światła zawarte w komórkach światłoczułych barwniki ulegają rozkładowi, a produkty tego rozkładu prowadzą do powstania impulsów nerwowych;
- impulsy za pośrednictwem nerwu wzrokowego docierają do płatu potylicznego kory mózgowej;
- w ośrodku wzrokowym impulsy nerwowe zostają przekształcone na wrażenia wzrokowe.



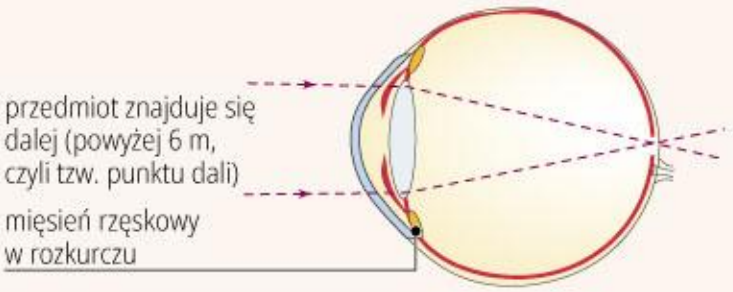
rogówka → komora przednia oka → źrenica → soczewka → ciało szkliste → siatkówka → obraz rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony

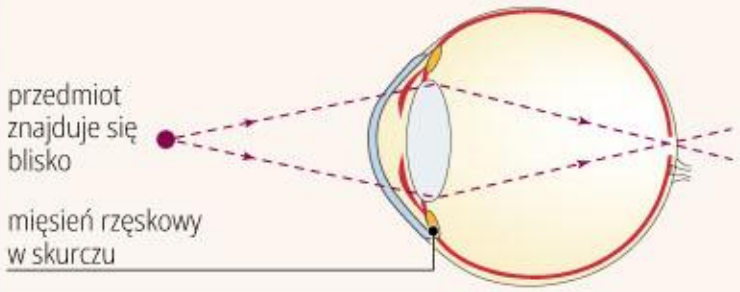
Akomodacja oka

Oko ludzkie przystosowuje się do obserwacji obiektów z różnej odległości. Taką zdolność oka nazywamy **akomodacją.** Mięsień rzęskowy, dostosowując kształt soczewki, zapewnia ostrość widzenia z bliska lub z daleka.

Widzenie

dalekie	bliskie
• mięsień rzęskowy się rozkurcza • soczewka się spłaszcza • widoczne przedmioty odległe	• mięsień rzęskowy się kurczy • soczewka się uwypukla • widoczne przedmioty bliskie





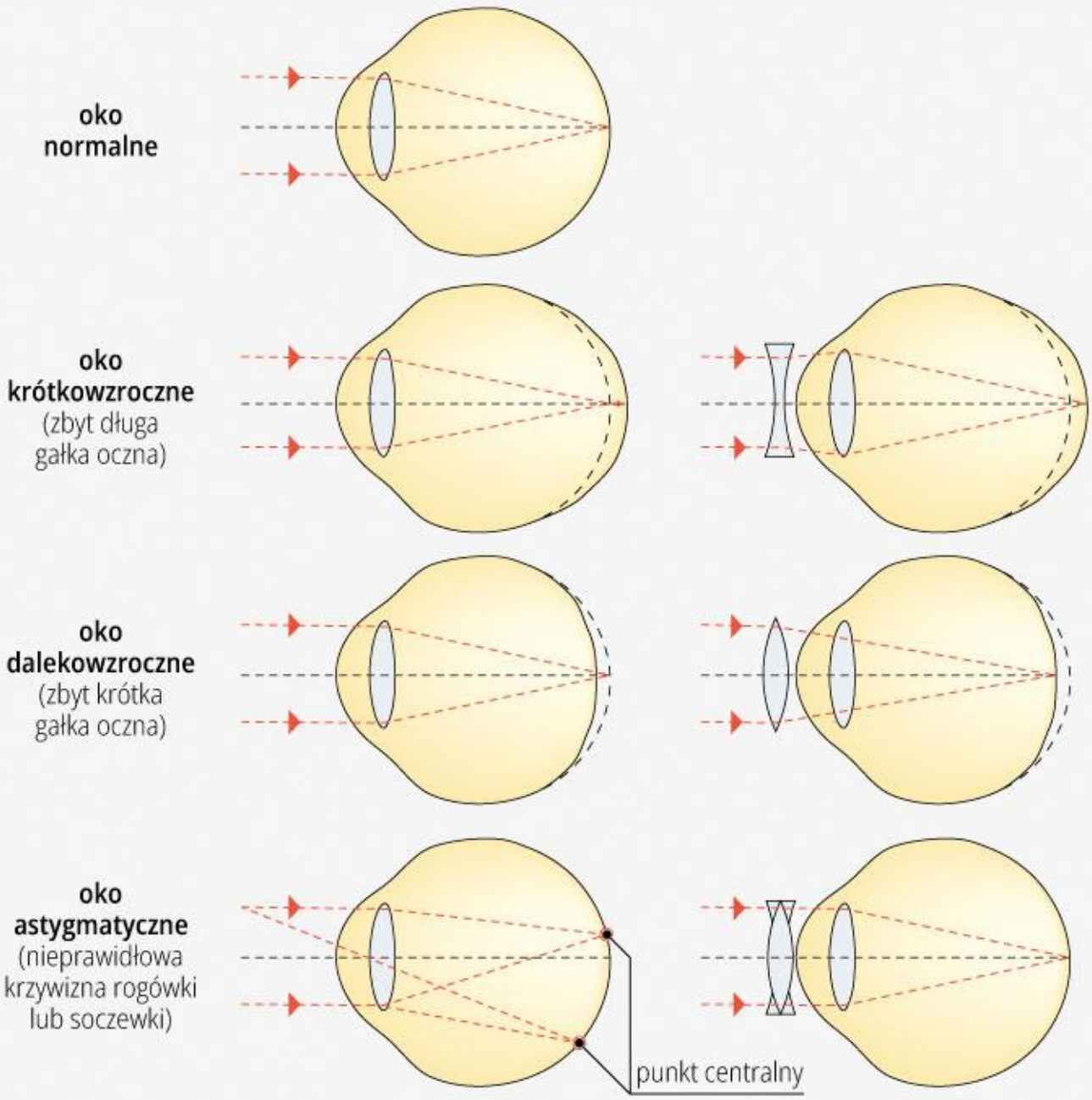
Wraz z wiekiem mięśnie wiotczeją, a soczewka staje się bardziej kulista (osoby starsze lepiej widzą przedmioty bliskie).

Podczas patrzenia na przedmiot odległy mięsień rzęskowy się rozkurcza, a soczewka – spłaszcza.

Wybrane wady, choroby i zaburzenia narządu wzroku oraz ich profilaktyka

	Przyczyny	Objawy	Korekcja lub leczenie
Wady			
krótkowzroczność	zbyt wydłużona gałka oczna	obraz powstaje przed siatkówką, obraz obiektów w oddali jest nieostry	dwuwklęsłe soczewki rozpraszające, laserowe modyfikowanie krzywizny oka
dalekowzroczność	zbyt krótka gałka oczna	obraz powstaje za siatkówką, obraz obiektów znajdujących się blisko jest nieostry	dwuwklęsłe soczewki skupiające
astygmatyzm	nieprawidłowa krzywizna rogówki lub soczewki oka	obraz skupia się w kilku miejscach – na siatkówce, przed i poza nią, brak ostrości widzenia niezależnie od odległości	soczewki cylindryczne lub toryczne
Choroby i zaburzenia widzenia			
zez	niesynchroniczne działanie mięśni zewnętrznych oka	widzenie jednooczne, zaburzenie ostrości widzenia	ćwiczenie mięśni oka, okulary korygujące, zabieg chirurgiczny
zaćma (katarakta)	zmniejszenie lub utrata przejrzystości soczewki na skutek starzenia się, urazów mechanicznych, działania promieni rentgenowskich, cukrzycy	pogorszenie (widzenie przez mgłę, podwójne widzenie w jednym oku) lub utrata widzenia, zmiana zabarwienia źrenicy na szarobiałą	szkła silnie skupiające promienie świetlne, zabieg chirurgiczny (wszczepienie sztucznej soczewki)
jaskra	zbyt wysokie ciśnienie w gałce ocznej, co może doprowadzić do uszkodzenia nerwu wzrokowego	pogorszenie widzenia, zwężone pole widzenia, mroczki w polu widzenia, ból oka promieniujący do szczęk i czoła, nieleczona może doprowadzić do utraty widzenia	leki obniżające ciśnienie wewnątrz gałki ocznej, zabieg laserowy, leczenie chirurgiczne

	Przyczyny	Objawy	Korekcja lub leczenie
zwyrodnienie plamki żółtej	uszkodzenie siatkówki (w tym plamki żółtej) następujące wraz z wiekiem (po 50. roku życia)	pogorszenie lub utrata widzenia	dieta bogata w warzywa i owoce, kwasy omega-3, luteinę, leki zwiększające ukrwienie gałki ocznej
zapalenie spojówki oka	drobnoustroje chorobotwórcze, wirusy, zanieczyszczenia środowiska	obrzęk i przekrwienie spojówek, swędzenie oczu, łzawienie, ropna wydzielina	leki przeciwwirusowe, przeciwzapalne, antybiotyki
daltonizm (ślepota barw)	genetyczne uwarunkowania, a także przebyte choroby siatkówki albo drogi wzrokowej między gałką oczną a mózgiem	brak umiejętności rozpoznawania kilku barw, najczęściej barwy czerwonej z zieloną, rzadziej koloru fioletowego czy żółtego	nie można zapobiec, brak możliwości wykonywania niektórych zawodów: lotnika, maszynisty kolejowego czy zawodowego kierowcy

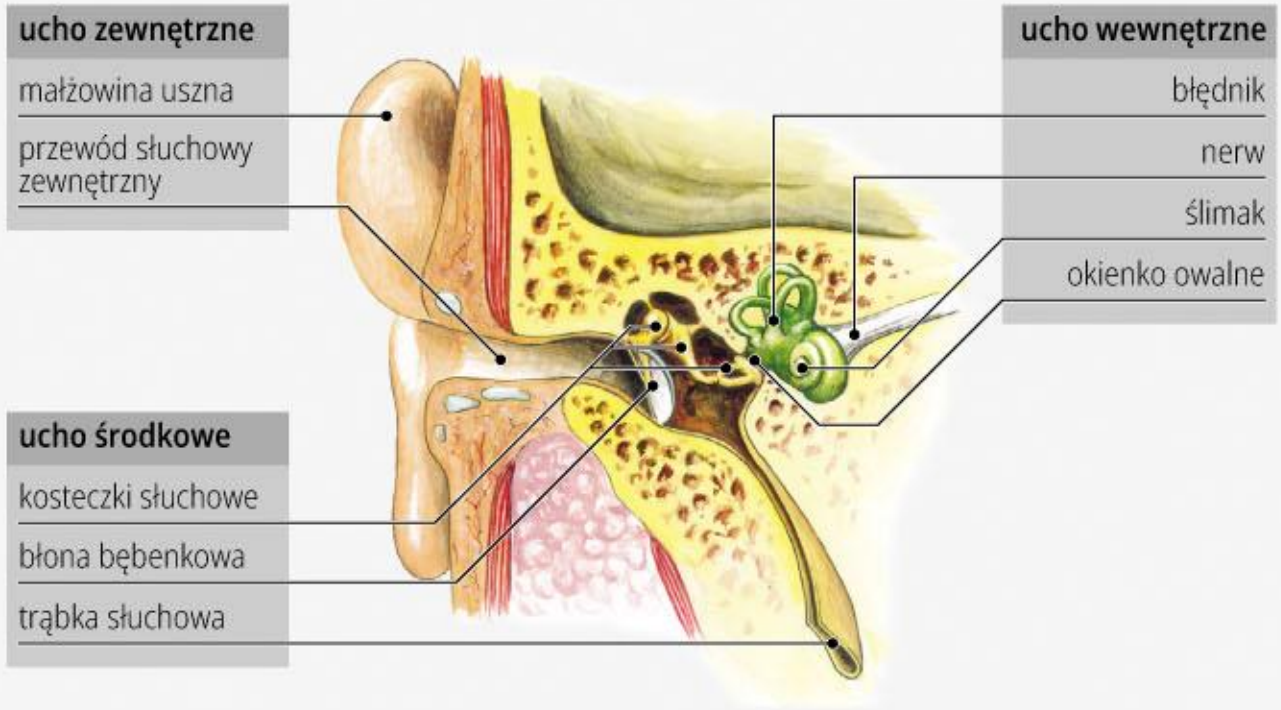


Ucho – narząd słuchu i równowagi

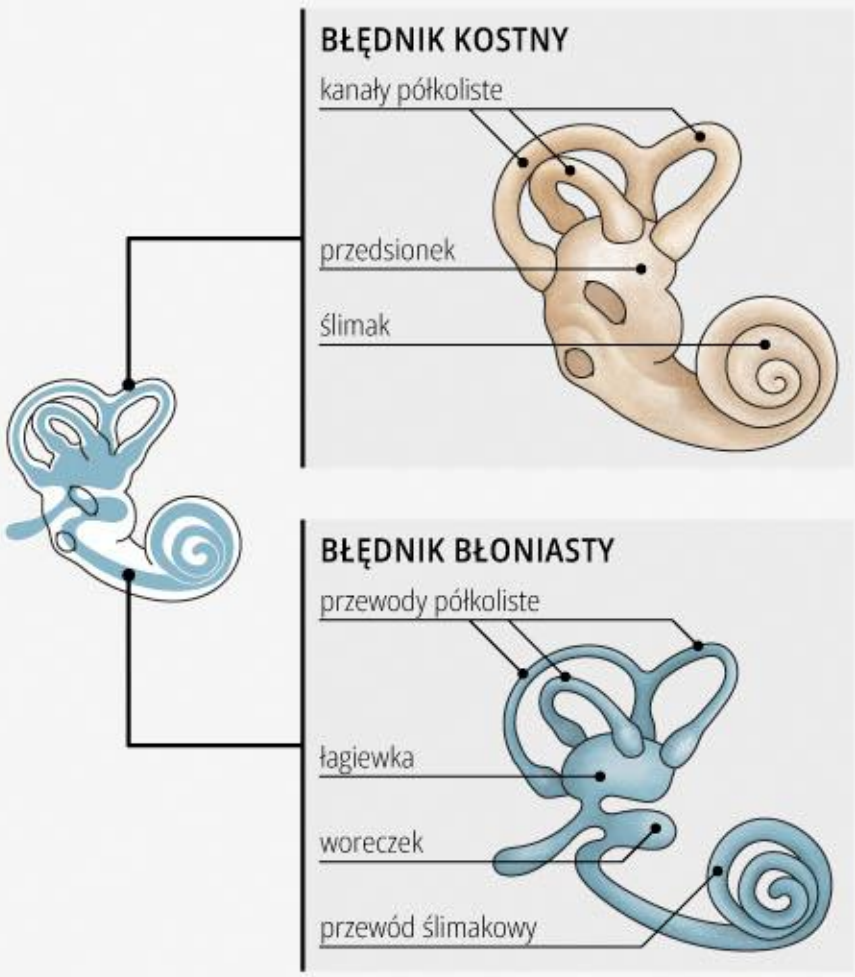
Budowa ucha

Ucho spełnia funkcje narządu słuchu (odbiera fale dźwiękowe) i narządu równowagi (odbiera i informacje o zmianach położenia całego ciała lub jego części).

Składa się z trzech części:
- ucha zewnętrznego (małżowina uszna, kanał słuchowy),
- ucha środkowego ((błona bębenkowa, trzy kosteczki słuchowe oraz trąbka słuchowa),
- ucha wewnętrznego (błędnik kostny, błędnik błoniasty).



Element budowy		Budowa	Funkcja
ucho zewnętrzne	małżowina uszna	elastyczna chrząstka, w dolnej części tkanka tłuszczowa (tzw. płatek uszny) okryta fałdem skórnym	wychwytuje fale dźwiękowe, wzmacnia i kieruje do zewnętrznego przewodu słuchowego
	kanał słuchowy	w przedniej części włoski i gruczoły woszczynowe wydzielające woskowinę	chroni ucho środkowe przed ciałami obcymi
ucho środkowe	błona bębenkowa	cienka błona	oddziela ucho zewnętrzne od ucha środkowego, przenosi fale dźwiękowe do ucha środkowego
	jama bębenkowa	leży w kości skroniowej, jest wypełniona powietrzem	mieszczą się w niej kosteczki słuchowe oraz trąbka Eustachiusza
	kosteczki słuchowe	trzy połączone ze sobą ruchomo kosteczki słuchowe: młoteczek, kowadełko, strzemiączko	wzmacniają drgania akustyczne i przekazują je do ucha wewnętrznego
	trąbka słuchowa	łączy jamę bębenkową i gardło	reguluje ciśnienie po obu stronach błony bębenkowej; stanowi drogę przemieszczania się drobnoustrojów chorobotwórczych z jamy ustnej, gardła do ucha środkowego
ucho wewnętrzne	błędnik kostny	zbudowany z przedsionka, trzech kanałów półkolistych oraz ślimaka, wypełniony płynem (endolimfą)	ochrona błędnika błoniastego od zewnątrz
	błędnik błoniasty	składa się z woreczka, łagiewki, trzech przewodów półkolistych oraz przewodu ślimakowego wypełniony płynem (endolimfą)	znajduje się w nim ślimak, a w nim właściwy narząd słuchu – narząd spiralny (narząd Cortiego) oraz narząd równowagi
	kanały półkoliste	pokryte od wewnątrz orzęsionym nabłonkiem zmysłowym wypełnionym płynem	komórki rzęskowe odbierają informacje o ruchu i położeniu organizmu i przesyłają je do mózgu



Powstawanie wrażeń słuchowych

Fale akustyczne przez małżowinę uszną przechodzą do przewodu słuchowego zewnętrznego i wprawiają w drgania błonę bębenkową, która je przekazuje kosteczkom słuchowym. Drgania młoteczka są przekazywane na kowadełko, które przenosi je na strzemiączko przylegające do okienka owalnego. Błona okienka owalnego sąsiaduje z przewodem ślimakowym, w którym leży narząd spiralny. Narząd spiralny jest zbudowany z komórek słuchowych leżących na blaszce podstawnej. Komórki słuchowe mają rzęski, nad którymi znajduje się błona pokrywająca. Drgania błony okienka owalnego są przenoszone na płyn przewodu ślimakowego, co wprawia w ruch blaszkę podstawną i narząd spiralny. Rzęski komórek słuchowych wprawione w drgania dotykają błony pokrywającej i się uginają. Odkształcenie błony komórkowej prowadzi do powstania impulsu nerwowego przekazywanego do ośrodków słuchowych w płacie skroniowym w korze mózgowej, gdzie powstaje wrażenie słuchowe (dźwiękowe).



Wysokość i głośność dźwięków

Zakres słyszalności dźwięków człowieka wyraża się częstotliwością dźwięku (odczuwaną jako wysokość dźwięku) oraz poziomem głośności. **Częstotliwość** mierzy się w hertzach (Hz), a **natężenie dźwięku** (inaczej głośność) – w decybelach (dB). Najniższa częstotliwość, jaką słyszy ucho ludzkie, to ok. 20 Hz, a górna granica to 20 000 Hz. Jednak słuch człowieka jest najczulszy w zakresie częstotliwości między 2000 Hz a 5000 Hz. Dźwięki powyżej 85 dB są bardzo głośne i mogą być niebezpieczne dla słuchu, jeśli uszy są narażone na nie przez dłuższy czas.

Negatywne skutki hałasu

- natężenie hałasu między 130 dB a 150 dB może powodować trwałe uszkodzenia komórek zmysłowych narządu spiralnego prowadzące do głuchoty;
- słuchanie głośnej muzyki przez słuchawki może trwale uszkodzić komórki zmysłowe narządu spiralnego;
- zaburzenia równowagi oraz stany lękowe;
- zaburzenia pracy układu krążenia (zwiększenie ciśnienia tętniczego, częstości skurczów serca);
- zmiana czynności wydzielniczej gruczołów dokrewnych (tarczycy, nadnerczy, jąder, jajników);
- pogorszenie widzenia nocnego i odbioru barw oraz ograniczenie pola widzenia;
- osłabienie pracy układu pokarmowego, a także obniżenie masy ciała potomstwa kobiet ciężarnych narażonych na wysokie dźwięki.

Utrzymanie równowagi ciała

Woreczek, łagiewka i kanały półkoliste rejestrują ruchy głowy i dzięki temu umożliwiają utrzymanie równowagi ciała.

Ruch w płaszczyźnie pionowej (pochylenie głowy do przodu, tyłu lub na boki)

Pokryte urzęsionym nabłonkiem wnętrze łagiewki i woreczka wypełnia endolimfa, w której znajdują się kamyki błędnikowe (drobne kryształki soli wapnia), zwane otolitami, oraz komórki zmysłowe. Gdy ciało wykonuje ruch w płaszczyźnie pionowej (np. pochylenie do przodu), pod wpływem siły ciężkości otolity poruszają się i uciskają komórki zmysłowe, co powoduje wytworzenie impulsów nerwowych. Są one przekazywane do ośrodków w mózgu (móżdżek i kora mózgowa).

Ruch w płaszczyźnie poziomej (ruch obrotowy głowy lub reszty ciała)

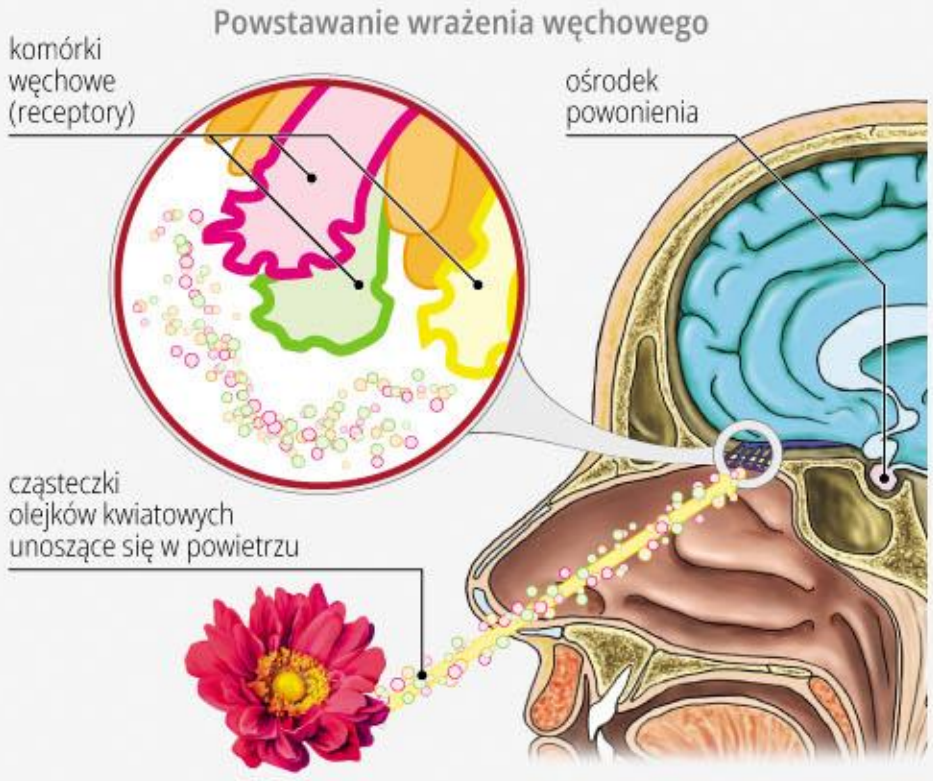
Podobną funkcję spełniają ustawione względem siebie pod kątem prostym kanały półkoliste, w których nie występują otolity, tylko w rozszerzonych zakończeniach urzęsione komórki zmysłowe odbierające informacje o przyspieszeniach kątowych oraz ruchach obrotowych. Zgięcie rzęsek powoduje powstanie impulsów nerwowych, które są przekazywane do ośrodków w mózgu (móżdżek i kora mózgowa).

Nadmierne pobudzenie narządu równowagi prowadzi do choroby lokomocyjnej (np. podczas podróży statkiem, samochodem, samolotem). Objawia się ona zawrotami głowy, nudnościami, zaburzeniami pracy serca i koordynacji ruchów. Aby złagodzić objawy, stosuje się środki farmakologiczne obniżające wrażliwość narządu równowagi.

Zmysł smaku i węchu

Narząd smaku znajduje się w jamie ustnej, głównie na języku. Smak odbierają kubki smakowe rozmieszczone także na podniebieniu miękkim i tylnej ścianie gardła. Kubki smakowe rejestrują pięć smaków: **słony**, **słodki**, **kwaśny**, **gorzki** oraz **umami** (mięsny, specyficzny smak zawartego w mięsie glutaminianu sodu). Odczuwanie smaku glutaminianu sodu działa silnie pobudzająco na apetyt, dlatego ta substancja jest często stosowana jako wzmacniacz smaku koncentratów spożywczych, m.in. w kostkach rosołowych czy zupach w proszku. Każdy kubek smakowy ma receptory odbierające wszystkie smaki, dlatego cała powierzchnia języka jest na nie wrażliwa. Substancje chemiczne rozpuszczone w płynnym środowisku jamy ustnej pobudzają receptory smaku, a powstałe pobudzenie jest przekazywane do ośrodków w mózgu. Smak zależy od zmysłu powonienia oraz wrażeń wzrokowych i temperaturowych.

Powstawanie wrażenia węchowego



Narząd smaku pozwala na określenie przydatności pokarmu do spożycia.

Narząd węchu znajduje się w górnej części jamy nosowej i jest pokryty zmysłowym nabłonkiem węchowym. Okolica węchowa zawiera kilkanaście tysięcy komórek węchowych wrażliwych na substancje wonne. Są nimi ciała lotne dostające się z prądem wdychanego powietrza. Ich obecność drażni receptory nabłonka węchowego. Powstałe pobudzenie zostaje przeniesione do okolicy węchowej mózgu. Pobudzenie z komórek węchowych trafia do opuszki węchowej mózgu. Długotrwałe drażnienie receptorów węchowych może spowodować adaptację, a następnie zupełny zanik odczuwania zapachu.

Narząd węchu oprócz odróżniania zapachów podobnie jak narząd smaku odruchowo pobudza gruczoły wydzielnicze układu pokarmowego.

8.18. Sposoby poruszania się u zwierząt

Ruch

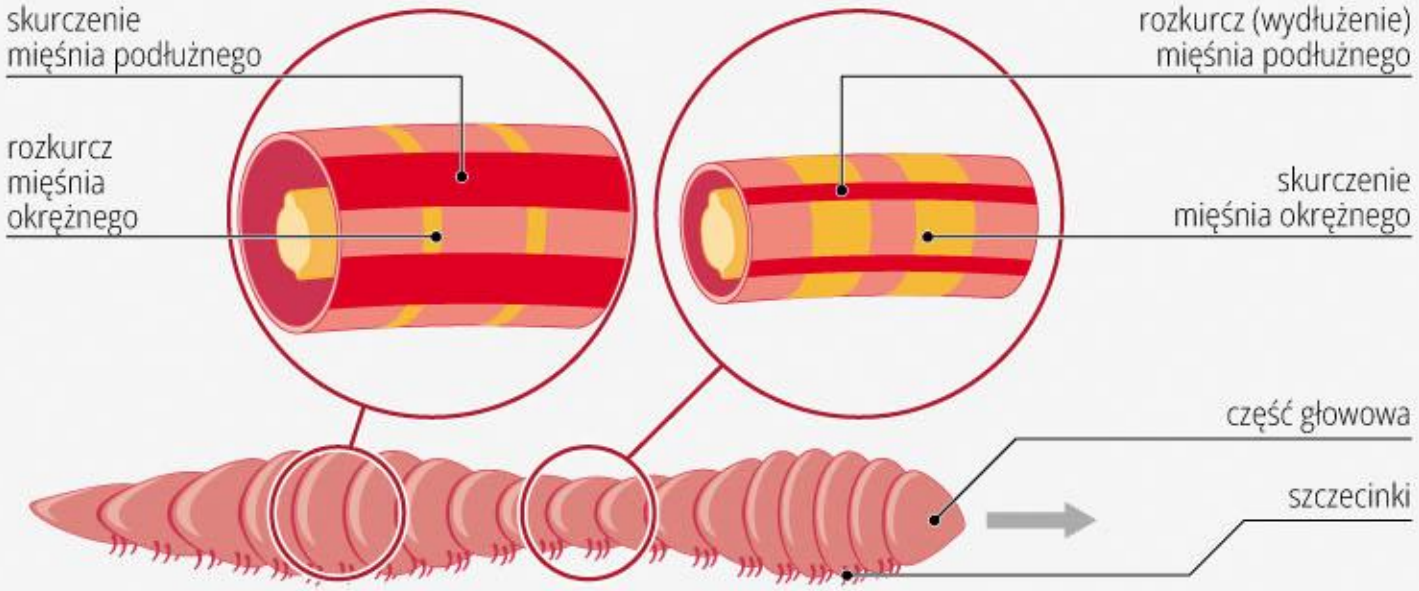
Ruch wynika z konieczności poszukiwania i zdobycia pokarmu, a także ucieczki przed drapieżnikiem. W zależności od rozmiarów ciała zwierzęta wykształciły **ruch rzęskowy i mięśniowy**.

Rodzaje ruchu	
rzęskowy	**mięśniowy**
• spotykany u drobnych zwierząt (które mają korzystny stosunek powierzchni do objętości) • ruch za pomocą wici i rzęsek • odpowiada za niego system włókien białkowych – tubuliny, aktyny, dyneiny • występuje u orzęsków, gąbek, wirków, wrotków, u niektórych larw bezkręgowców (np. planula parzydełkowców, miracidium przywr, trochofora wieloszczetów)	• spotykany u zwierząt o większych rozmiarach ciała (szybciej rośnie objętość niż powierzchnia) • ruch zachodzi dzięki pracy mięśni • odpowiadają za niego białka: aktyna i miozyna • występuje u większości zwierząt, np. u mięczaków, pierścienic, kręgowców

	Środowisko		
	woda	**ląd**	**powietrze**
rodzaje ruchu	wiosłowy (za pomocą czułków, odnóży kończyn czy fałdów powłokowych) • występuje u np. skorupiaków, owadów wodnych, kręgowców wodnych	pełzanie • występuje u zwierząt, które nie wykształciły kończyn, np. skąposzczetów, węży	lot
	odrzutowy • występuje u meduz (parzydełkowce), kałamarnic, ośmiornic (głowonogów)	kroczenie • najczęściej spotykany sposób poruszania u zwierząt lądowych (np. ssaki)	
	ślizgowy po błonce powierzchniowej wody • występuje u niektórych chrząszczy wodnych czy pluskwiaków	bieg • występuje u zwierząt, które muszą uciekać przed drapieżnikiem lub polować na ofiary na otwartej przestrzeni, np. drapieżne chrząszcze, gepardy	
	kroczenie lub koziołkowanie • występuje u wielu skorupiaków wodnych (np. raków, krabów), larw i dorosłych owadów, głowonogów oraz szkarłupni	skakanie • występuje m.in. u owadów, płazów, skoczków, kangurów	

Sposoby poruszania zwierząt ze względu na środowisko życia

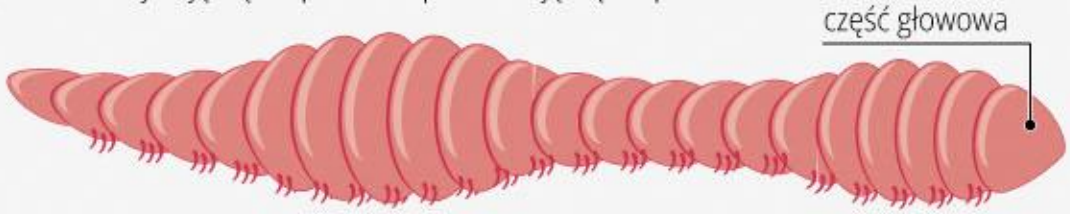
A Krótkie i grube segmenty głowowej i tylnej części ciała są wynikiem skurczu mięśni podłużnych i rozkurczu mięśni okrężnych.



B Skurcz mięśni okrężnych i rozkurcz mięśni podłużnych w odcinku głowowym spowodowały przesunięcie tego odcinka do przodu. Ślizganiu wstecz za odcinkiem głowowym i w tylnej części ciała zapobiegają szczecinki.



C Segmenty części głowowej stają się znowu grube (skurcz mięśni podłużnych i rozkurcz mięśni okrężnych), a segmenty tylnej części ciała odrywają się od podłoża i przesuwają się do przodu.

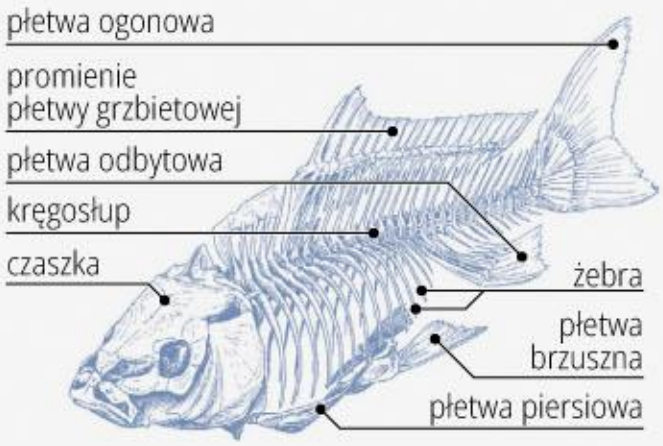


Ruch pierścienic – pełzanie poprzez zmianę kształtu segmentów w wyniku antagonistycznego skurczu mięśni okrężnych i podłużnych.

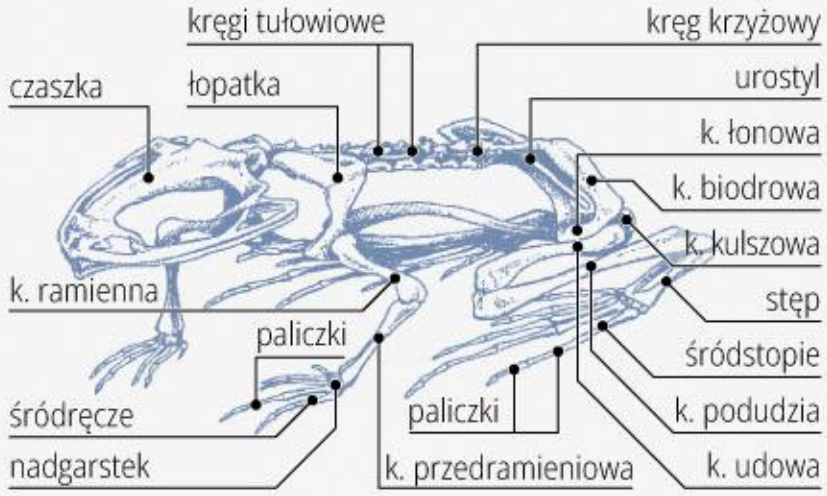
Typy szkieletów zwierząt

Cecha	Typ szkieletu		
	hydrauliczny	zewnętrzny	wewnętrzny
budowa	tworzony przez ciśnienie płynu jamy ciała i tkanek	tworzy go zewnętrzny, martwy pancerz (oskórek lub muszla)	zbudowany ze sztywnych chrzęstnych lub kostnych elementów w postaci struny grzbietowej
działanie	skurcz przeciwstawnie działających mięśni powoduje rozciąganie lub skurcz całego lub fragmentów ciała	ruch grup mięśni pozwala na przesuwanie się stawowo połączonych części szkieletu lub wciąganie miękkich części ciała do pancerza	ruch poszczególnych mięśni powoduje wzajemne przesuwanie się części szkieletu razem z powiązanymi z nimi tkankami miękkimi
precyzja ruchów	ruchy niezbyt precyzyjne	ruchy bardzo precyzyjne	ruchy bardzo precyzyjne
funkcja	podporowa	podporowa, ochronna, często utrudnia wzrost i ogranicza uzyskanie maksymalnych rozmiarów ciała	podporowa, ograniczona ochronna, pozwala na nieograniczony wzrost ciała
występowanie	parzydełkowce, płazińce, pierścienice	stawonogi, mięczaki	głowonogi, strunowce

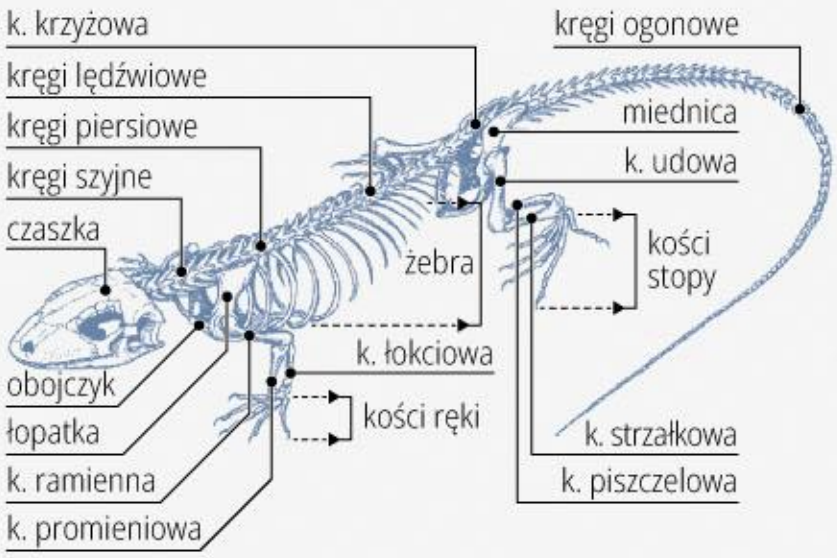
Ewolucja szkieletu u kręgowców



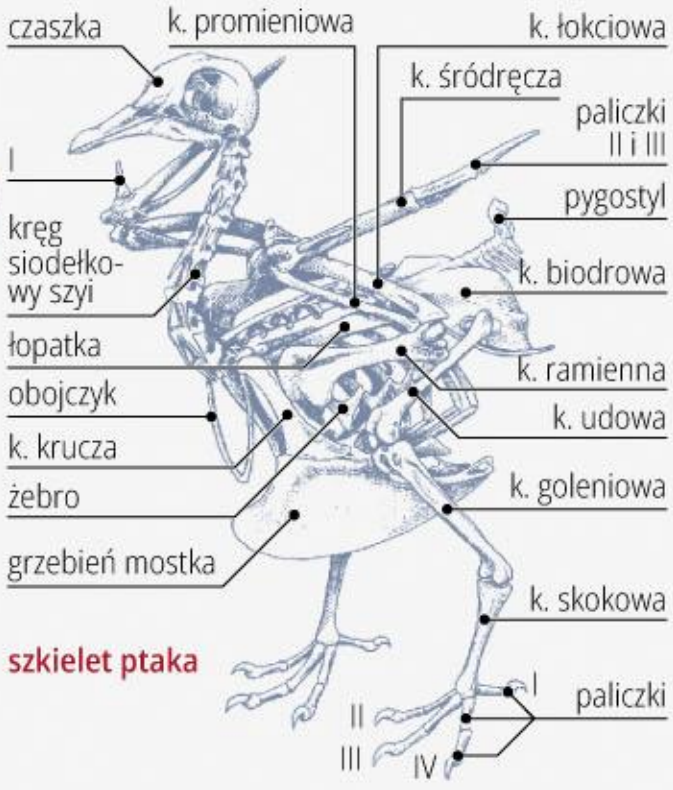
szkielet ryby kostnoszkieletowej



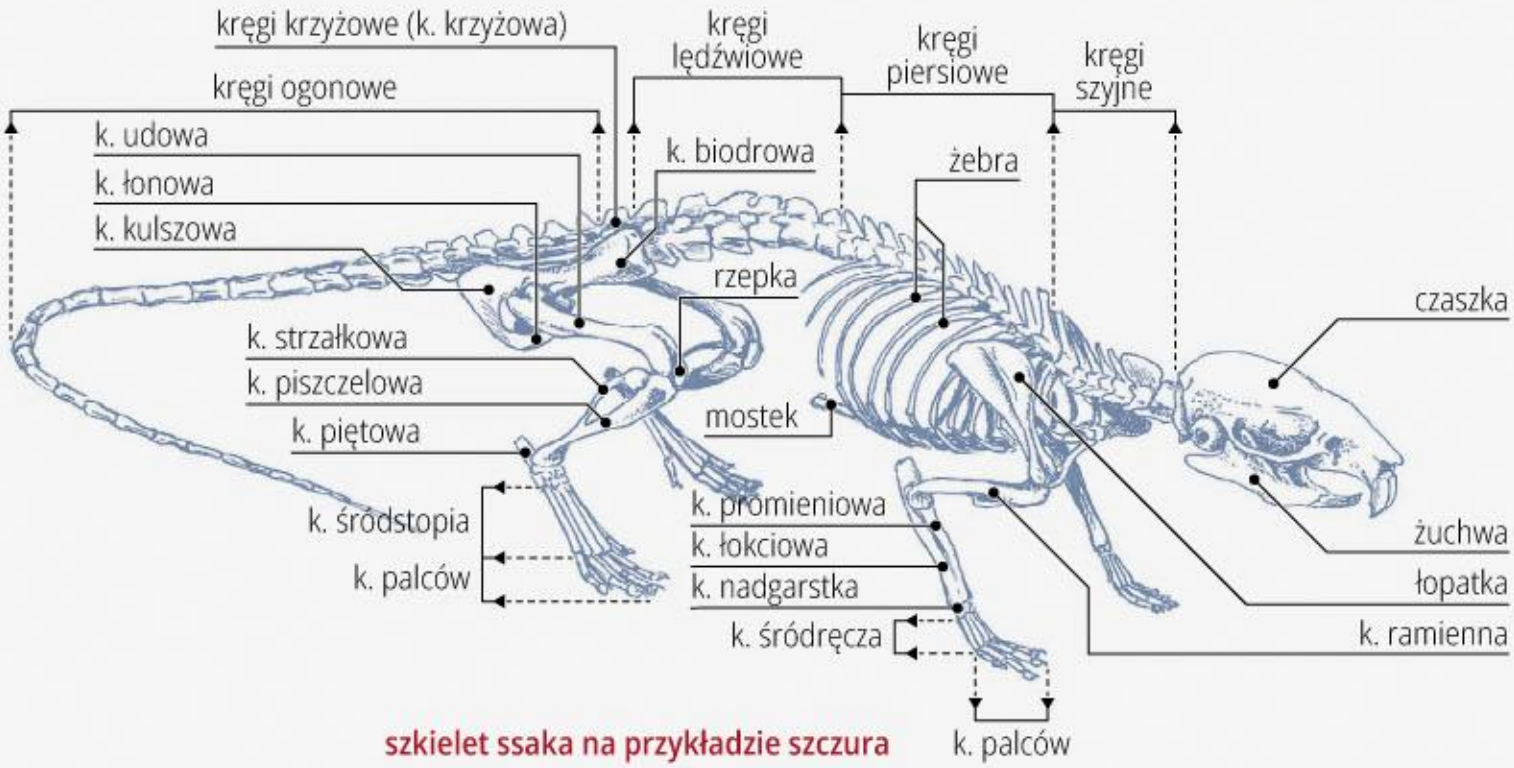
szkielet płaza bezogonowego



szkielet gada na przykładzie jaszczurki

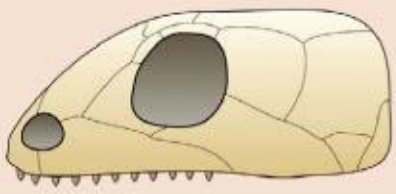
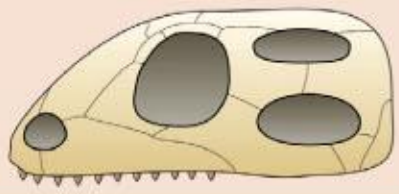


szkielet ptaka

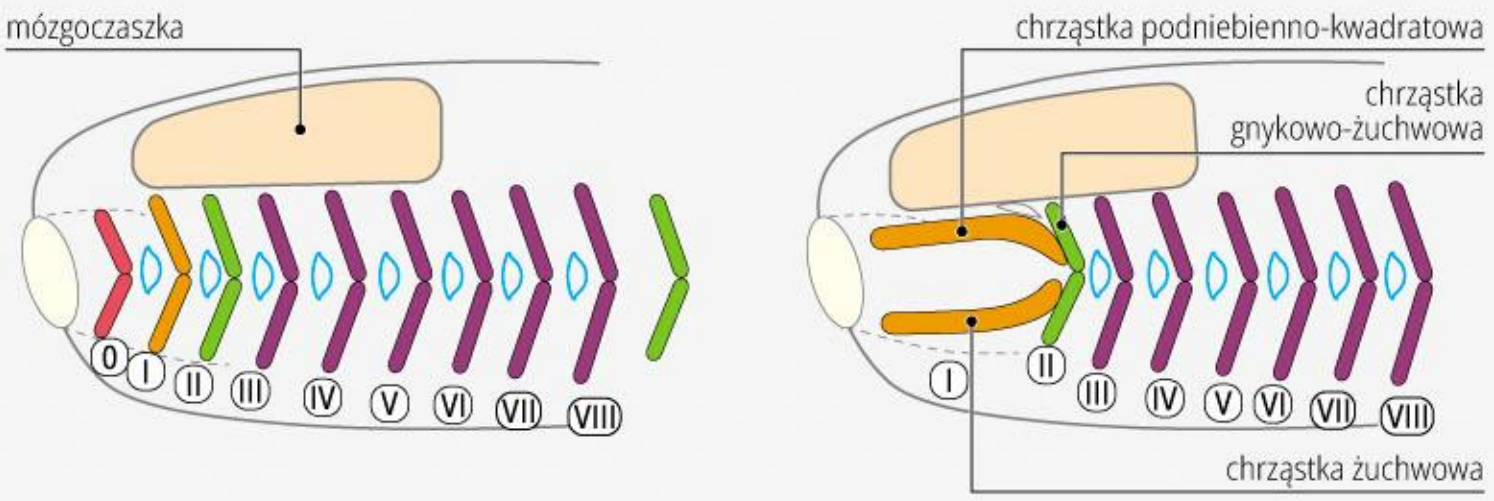


szkielet ssaka na przykładzie szczura

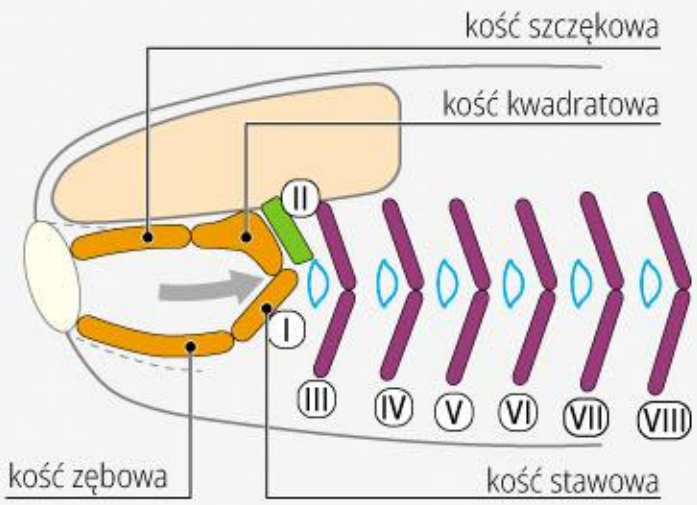
Typy czaszek gadów

Cecha	Typ czaszki		
	anapsydów	synapsydów	diapsydów
opis	brak dołów skroniowych, najbardziej prymitywny typ	jedna para dołów skroniowych	dwie pary dołów skroniowych
występowanie	żółwie 	gatunki kopalne 	gady kopalne, współcześnie żyjące krokodyle, hatterie, jaszczurki, węże 

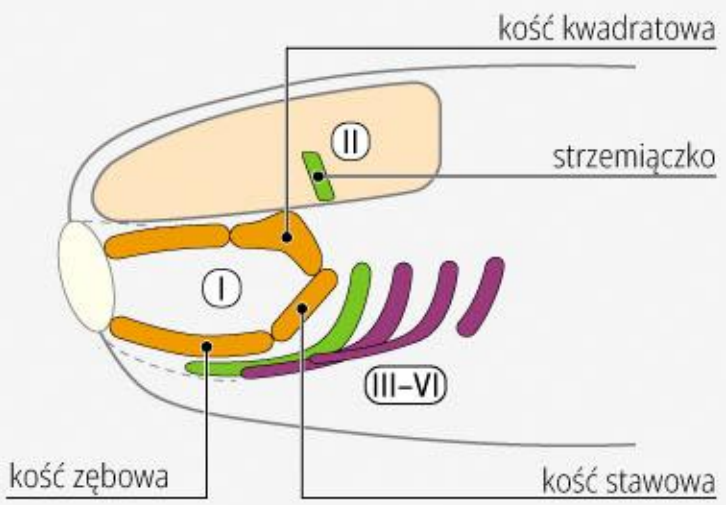
Ewolucja łuków skrzelowych kręgowców



pierwsze bezżuchwowce

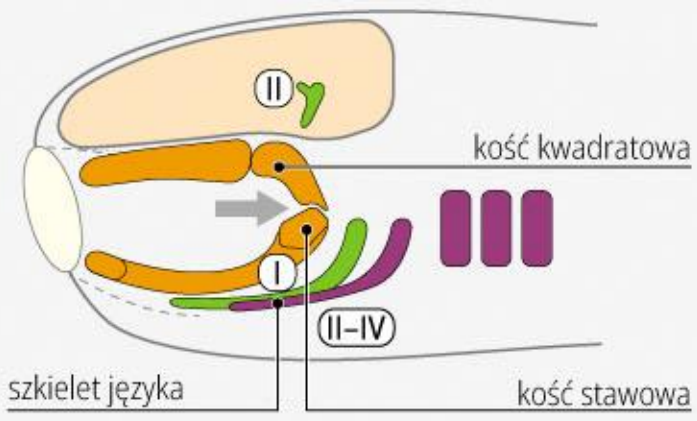


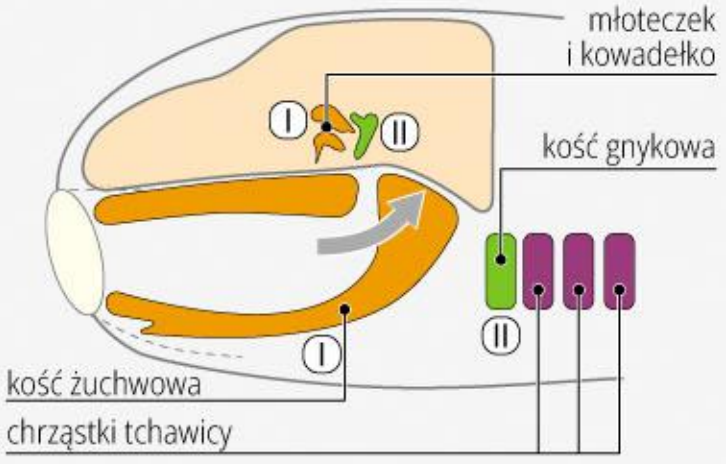
ryby chrzęstnoszkieletowe



ryby kostnoszkieletowe

płazy





gady i ptaki

ssaki

U **ryb chrzęstnoszkieletowych** funkcjonuje pięć par łuków skrzelowych będących rusztowaniem dla skrzeli. Szczęka górna tych ryb powstała z chrząstki podniebienno-kwadratowej, a szczęka dolna – z chrząstki żuchwowej. **Ryby kostnoszkieletowe** mają cztery pary łuków skrzelowych. Szczękę górną tworzy kość podniebienno-kwadratowa, a dolna składa się z kości stawowej i zębowej.

U płazów trzewioczaszkę z mózgoczaszką łączy pierwszy łuk skrzelowy. Z górnej części chrząstki gnykowo-żuchwowej powstało **strzemiączko,** czyli jedna z trzech kosteczek słuchowych wchodzących w skład ucha środkowego. Z dolnej części II łuku skrzelowego zrośniętego z pozostałościami III i IV łuku powstał **szkielet języka**.

U gadów i ptaków kość kwadratowa tworzy z kością stawową **staw żuchwowy**. Łuki VI i VII pary budują chrzęstny **szkielet krtani i tchawicy**.

U ssaków powstały kolejne kosteczki słuchowe ucha środkowego: **kowadełko** z kości kwadratowej (część szczęki górnej) i **młoteczek** z kości stawowej (część szczęki dolnej). Z połączenia kości zębowej z kością skroniową utworzył się **wtórny staw żuchwowy**. Dolna część II łuku skrzelowego przekształciła się w **kość gnykową,** a pozostałe łuki skrzelowe zbudowały chrząstki krtani i tchawicy.

Porównanie odcinków kręgosłupa kręgowców lądowych

Gromada	Odcinki kręgosłupa				
	szyjny	piersiowy	lędźwiowy	krzyżowy	ogonowy
	liczba kręgów				
płazy	1 (atlas)	różna (bezogonowe 7, beznogie ok. 100)	0	1 (brak u płazów beznogich)	różna (bezogonowe zrastają się w jedną kość ogonową – urostyl)
gady	8 (I – dźwigacz, II – obrotnik)	piersiowo-lędźwiowy 22		2	różna
ptaki	8–25 (I – dźwigacz, II – obrotnik)	3–10	lędźwiowo-krzyżowy 10–22		różna, cztery ostatnie zrośnięte w kość ogonową – pygostyl
ssaki	7 (I – dźwigacz, II – obrotnik)	12–15	2–9	1–13	różna (3–49)

8.19. Budowa i działanie układu ruchu człowieka

Układ ruchu człowieka jest zbudowany z **układu szkieletowego** i **układu mięśniowego**. Układ mięśniowy stanowi część czynną aparatu ruchu, ponieważ mięśnie poruszają elementami szkieletu, który stanowi bierną część układu ruchu.

Podział i budowa kości

Rodzaje kości

Rodzaje kości	Wymiary	Funkcja	Przykłady
długie	długość większa od szerokości i grubości	podpora i dźwignia ciała	kość udowa, kości podudzia, kość ramieniowa, kości przedramienia
krótkie	długość, szerokość, grubość podobne do siebie	precyzyjne, złożone ruchy	kości nadgarstka, kości stępu
płaskie	długość i szerokość większe od grubości	ochrona narządów wewnętrznych, powierzchnia przyczepu dla mięśni	łopatka, mostek, kość biodrowa
różnokształtne	różne wymiary długości, szerokości i grubości	ochrona narządów wewnętrznych, powierzchnia przyczepu dla mięśni	kręgi, kosteczki słuchowe



KOŚĆ DŁUGA
kość ramienna



KOŚĆ PŁASKA
łopatka



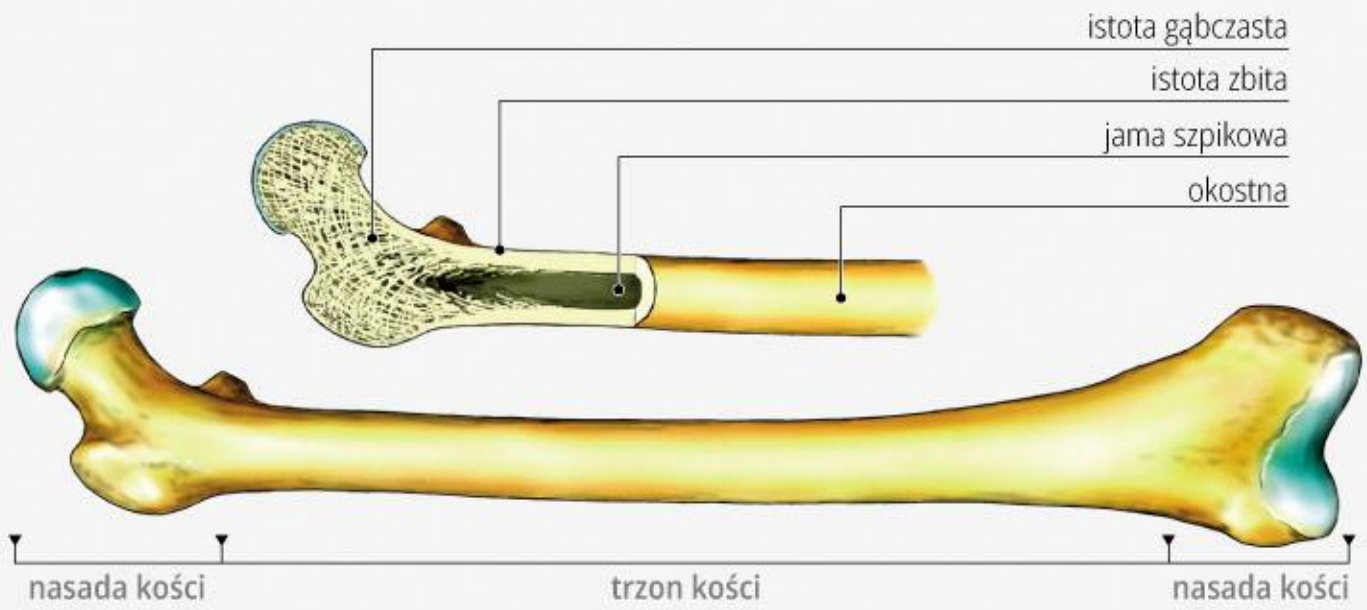
KOŚĆ RÓŻNOKSZTAŁTNA
kręg



KOŚCI KRÓTKIE
kości nadgarstka

Budowa kości długiej

Kość długa składa się z trzonu i dwóch nasad. **Trzon** kości jest zbudowany z tkanki kostnej zbitej, a nasady – z tkanki kostnej gąbczastej. Wewnątrz kości znajduje się **jama szpikowa** wypełniona szpikiem kostnym (u niemowląt i dzieci występuje szpik kostny czerwony produkujący erytrocyty, a u dorosłych przekształca się on w szpik żółty stanowiący główny zapas tłuszczu i niemający funkcji krwiotwórczych). Na zewnątrz kość pokrywa łącznotkankowa błona – **okostna** – zaopatrzona w liczne naczynia krwionośne i nerwy. Do jej zadań należy zaopatrywanie kości w tlen i składniki odżywcze oraz ochrona i regeneracja kości po złamaniach.



Połączenia w szkielecie

Kości w szkielecie są połączone ze sobą w sposób **ścisły** lub **ruchomy.**

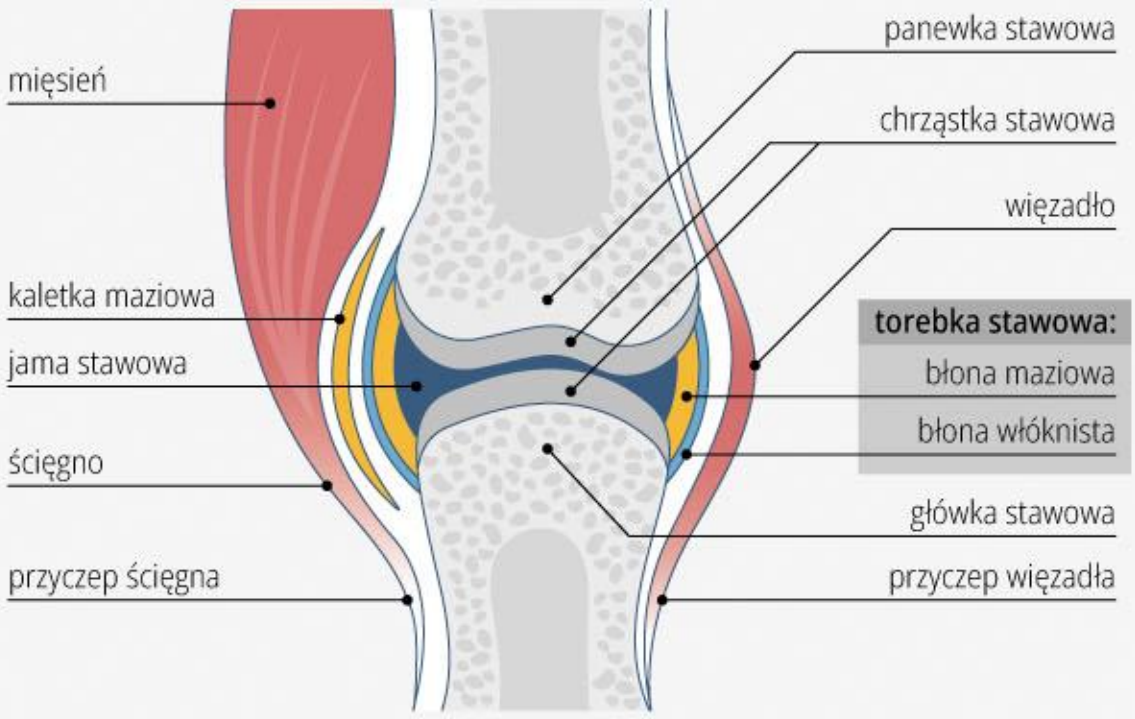
Połączenia ścisłe występują w tej części szkieletu, gdzie należy wzmocnić dość dużą jego część. Odznaczają się bardzo małą ruchomością (**więzozrosty**, **chrząstkozrosty**) lub całkowitym brakiem ruchomości (**kościozrosty**).

Połączenia ścisłe kości			
Rodzaj połączenia	**Tkanka łącząca**	**Ruchomość**	**Przykłady występowania**
więzozrost	tkanka łączna włóknista	częściowa	zęby w zębodołach, szwy łączące kości czaszki, między kośćmi przedramienia i podudzia
chrząstkozrost	tkanka chrzęstna	zależy od grubości chrząstki, im grubsza, tym większa możliwość ruchu	spojenie łonowe, krążki międzykręgowe
kościozrost	tkanka kostna	nieruchome	czaszka dorosłego człowieka, połączenie kości miednicy i kręgów krzyżowych

Stawy

W miejscach szkieletu, które zmieniają względem siebie położenie, występują połączenia ruchome – **stawy**. Powierzchnie stawowe kości pokrywa **chrząstka szklista**, która zmniejsza tarcie podczas wykonywania ruchów, amortyzuje wstrząsy i uderzenia kości podczas aktywności. **Głowa stawowa** jest utworzona przez fragment wypukłej kości, której odpowiada fragment drugiej wklęsłej kości – **panewki stawowej**. Przestrzeń między kośćmi tworzy **jamę stawową** wypełnioną mazią. **Maź stawowa** zawierająca dużą ilość tłuszczów pełni funkcję „smaru" zmniejszającego tarcie, a ponadto odżywia chrząstki stawowe. Kości w stawie otacza łącznotkankowa **torebka stawowa**, która spaja kości, chroni je przed wnikaniem substancji szkodliwych (**błona włóknista torebki**) oraz produkuje maź stawową (**błona maziowa** torebki z liczną siecią naczyń krwionośnych i limfatycznych). Kości w stawie wzmacnia i stabilizuje pasmo tkanki łącznej – więzadło stawowe.

Schemat budowy stawu kulistego

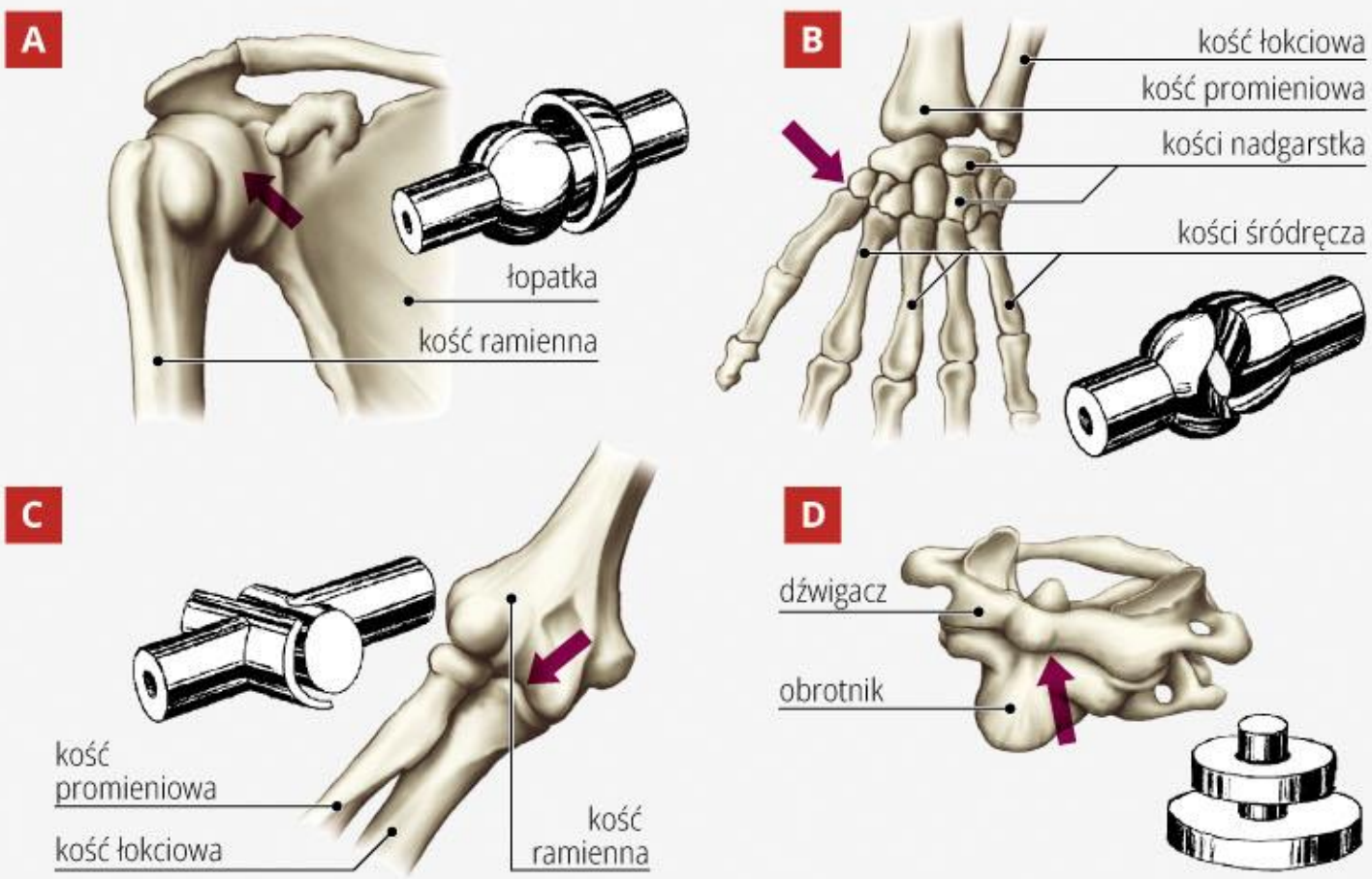


Stawy w poszczególnych częściach szkieletu pełnią różne funkcje i do nich przystosowały swoją budowę i ruchomość.

Połączenia ruchome kości

Połączenia ruchome kości				
Rodzaj stawu ze względu na		Zakres ruchu	Budowa	Przykłady
zakres wykonywanych ruchów	ukształtowanie powierzchni stawowej			
jednoosiowy	zawiasowy	zginanie, prostowanie w jednej płaszczyźnie	główka w kształcie walca, a panewka wklęsła	kolanowy, łokciowy, międzypaliczkowy (między I a II, II a III paliczkiem)
	obrotowy	obroty w jednej płaszczyźnie, wokół osi	główka osadzona w panewce w kształcie pierścienia	między pierwszym a drugim kręgiem kręgosłupa, promienno-łokciowy
dwuosiowy	siodełkowy	przywodzenie i odwodzenie, zginanie i prostowanie	dwie powierzchnie stawowe w kształcie siodeł	nadgarstkowo-śródręczny kciuka
	elipsoidalny	przywodzenie i odwodzenie w dwóch płaszczyznach, zginanie i prostowanie	główka i panewka mają kształt elipsy	promieniowo-nadgarstkowy
wieloosiowy	kulisty	zginanie i prostowanie, podnoszenie i opuszczanie, ruchy we wszystkich płaszczyznach	główka kształtu kulistego, panewka wklęsła	biodrowy, barkowy

Rodzaje stawów

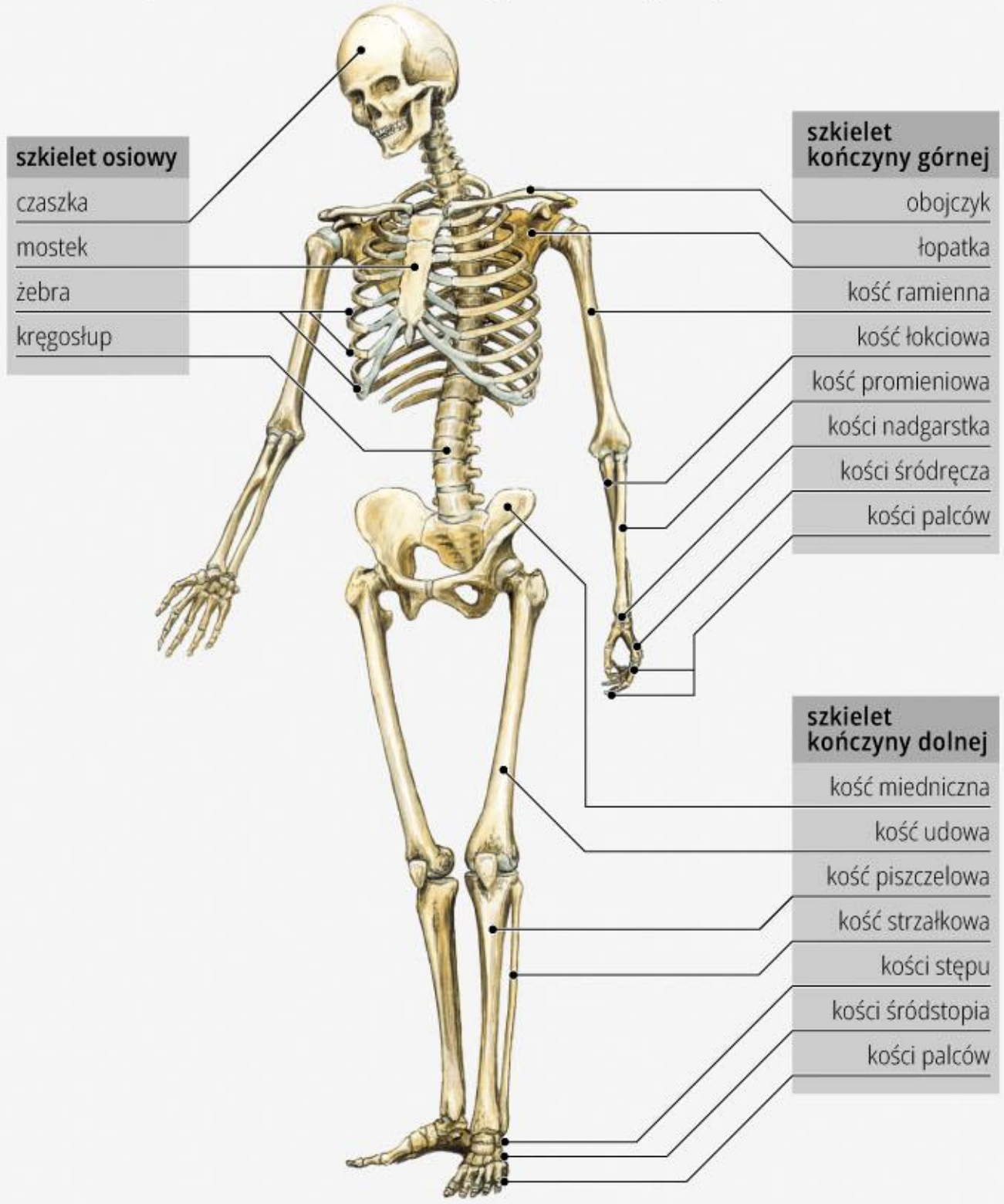


Rodzaje stawów: kulisty (staw ramienny, A); siodełkowy (nadgarstkowo-śródręczny kciuka, B); zawiasowy (staw łokciowy, C); obrotowy (między pierwszym a drugim kręgiem szyjnym, D)

Rodzaje stawów ze względu na liczbę połączonych kości:
- stawy proste – łączą dwie kości,
- stawy złożone – łączą kilka kości.

Budowa szkieletu człowieka

Szkielet człowieka składa się z dwóch części: **szkieletu osiowego** oraz **szkieletu kończyn górnych i dolnych** wraz z ich **obręczami**. Szkielet osiowy tworzą: czaszka, kręgosłup, żebra oraz mostek.



Funkcje szkieletu

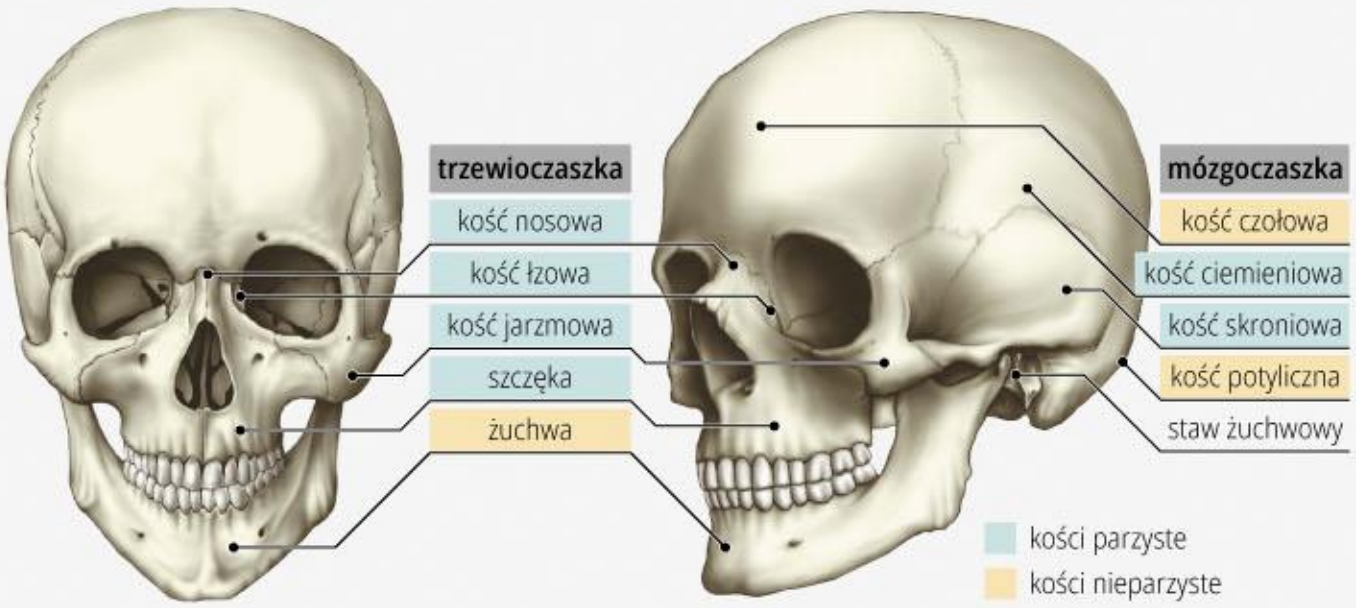
- stanowi podporę dla całego organizmu i miejsce przyczepu mięśni,
- chroni narządy przed urazami mechanicznymi (czaszka, klatka piersiowa),
- magazynuje jony wapnia (w kościach),
- jest narządem krwiotwórczym (czerwony szpik kostny).

Czaszka

Czaszka składa się z:

- **mózgoczaszk**i stanowiącej ochronę mózgowia,
- **trzewioczaszki** ochraniającej początkowe odcinki dróg pokarmowych, a także narządy zmysłów (wzrok, smak, węch).

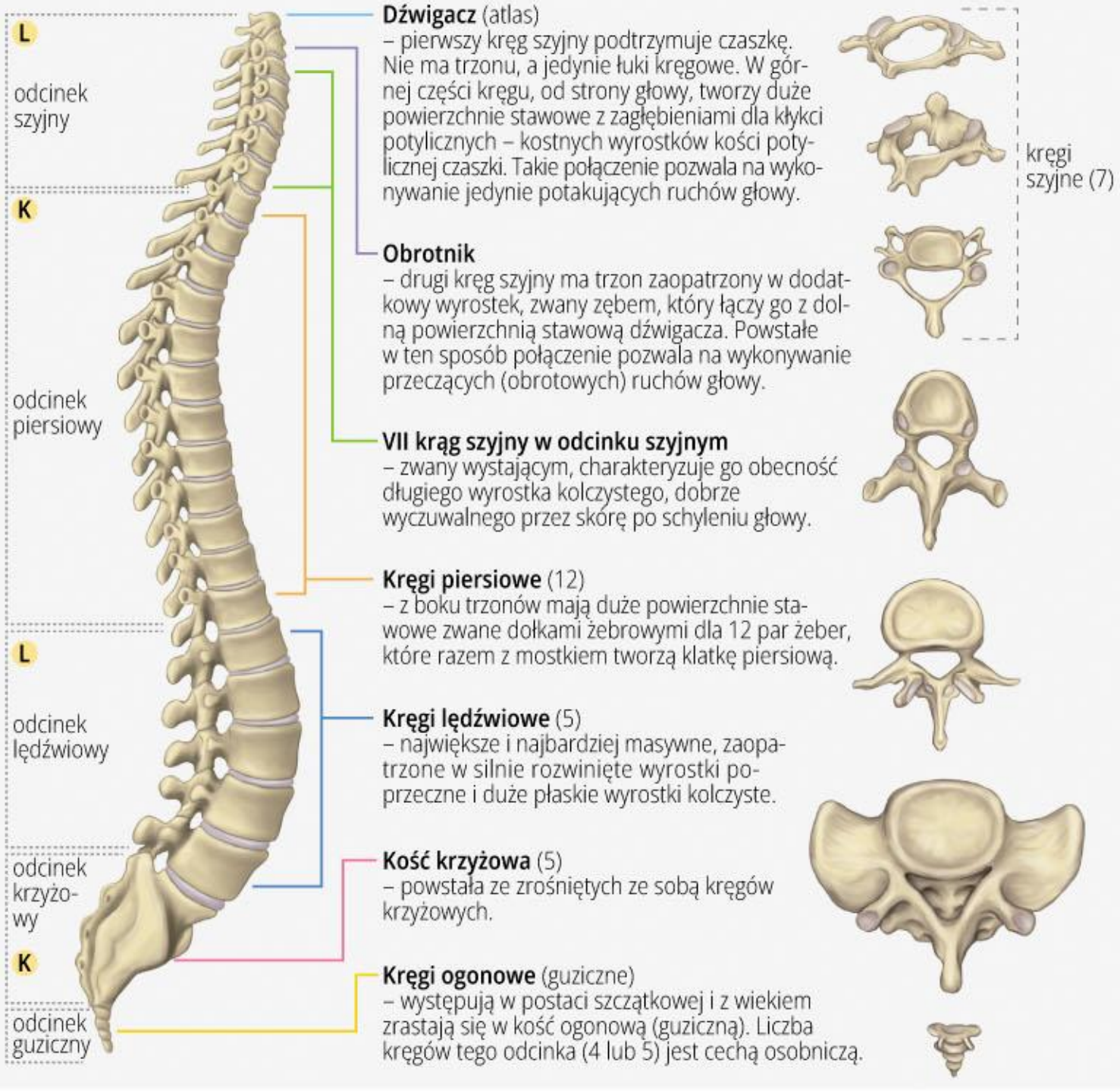
Mózgoczaszkę i trzewioczaszkę budują parzyste oraz nieparzyste kości.



Jedyną ruchomą część czaszki stanowi **żuchwa**. Jest ona połączona stawowo z kością skroniową (stawem żuchwowo-skroniowym).

Kręgosłup

Składa się z 33–34 kręgów połączonych krążkami międzykręgowymi. Kręgosłup dzieli się na 5 odcinków: **szyjny** zbudowany z 7 kręgów, **piersiowy** – z 12 kręgów, **lędźwiowy** – z 5 kręgów oraz **krzyżowy** – z 5 kręgów zrośniętych w kość krzyżową. Ostatni odcinek **guziczny** (ogonowy) składa się z 4–5 kręgów zrośniętych w kość ogonową. Kręgosłup ma naturalne krzywizny, które powodują jego esowate wygięcie. Odcinki szyjny i lędźwiowy są wygięte do przodu – **lordozy**, natomiast odcinki piersiowy i krzyżowy są wygięte ku tyłowi – **kifozy.**



Dźwigacz (atlas)
– pierwszy kręg szyjny podtrzymuje czaszkę. Nie ma trzonu, a jedynie łuki kręgowe. W górnej części kręgu, od strony głowy, tworzy duże powierzchnie stawowe z zagłębieniami dla kłykci potylicznych – kostnych wyrostków kości potylicznej czaszki. Takie połączenie pozwala na wykonywanie jedynie potakujących ruchów głowy.

Obrotnik
– drugi kręg szyjny ma trzon zaopatrzony w dodatkowy wyrostek, zwany zębem, który łączy go z dolną powierzchnią stawową dźwigacza. Powstałe w ten sposób połączenie pozwala na wykonywanie przeczących (obrotowych) ruchów głowy.

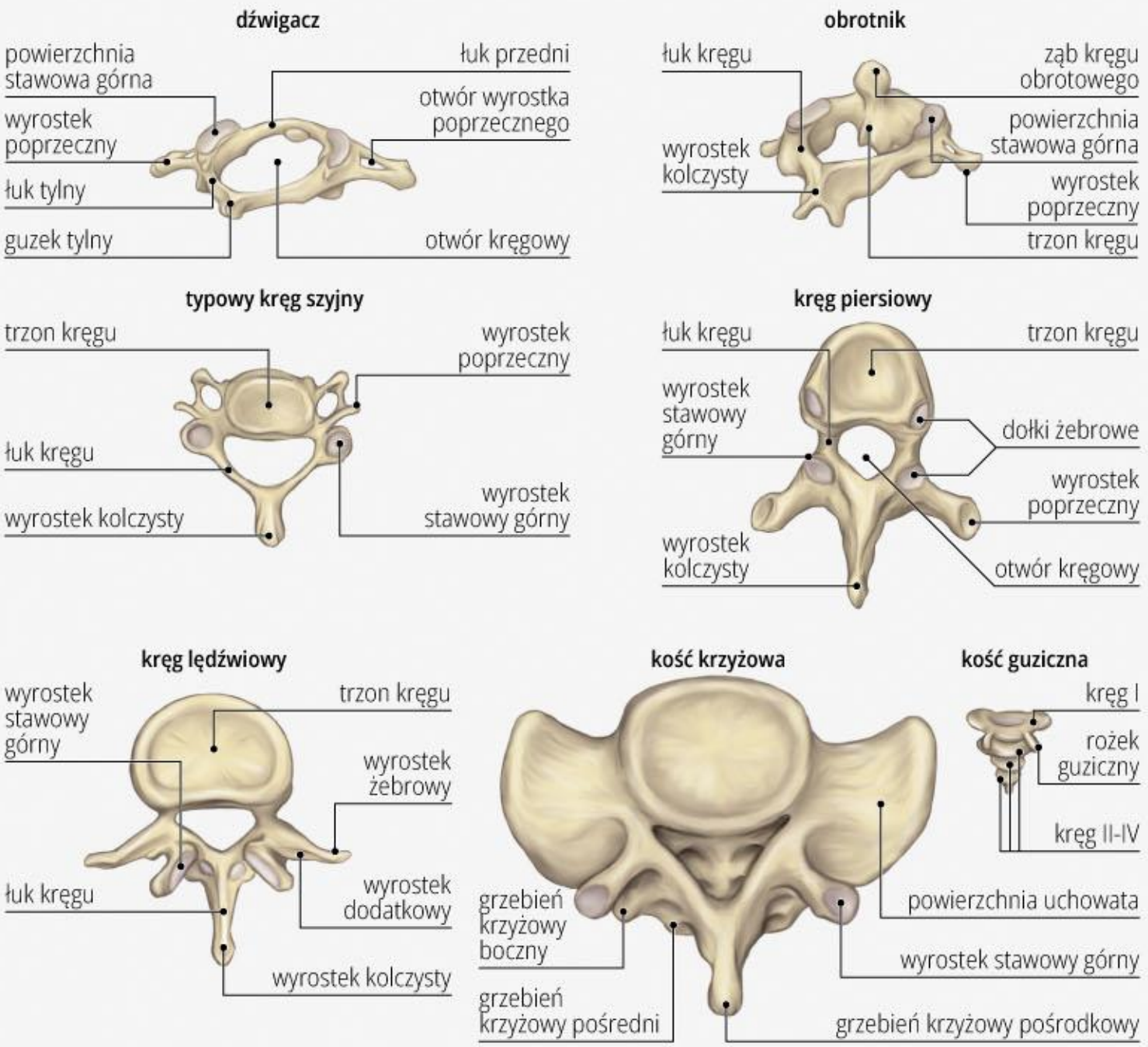
VII krąg szyjny w odcinku szyjnym
– zwany wystającym, charakteryzuje go obecność długiego wyrostka kolczystego, dobrze wyczuwalnego przez skórę po schyleniu głowy.

Kręgi piersiowe (12)
– z boku trzonów mają duże powierzchnie stawowe zwane dołkami żebrowymi dla 12 par żeber, które razem z mostkiem tworzą klatkę piersiową.

Kręgi lędźwiowe (5)
– największe i najbardziej masywne, zaopatrzone w silnie rozwinięte wyrostki poprzeczne i duże płaskie wyrostki kolczyste.

Kość krzyżowa (5)
– powstała ze zrośniętych ze sobą kręgów krzyżowych.

Kręgi ogonowe (guziczne)
– występują w postaci szczątkowej i z wiekiem zrastają się w kość ogonową (guziczną). Liczba kręgów tego odcinka (4 lub 5) jest cechą osobniczą.



Typowy kręg składa się z trzonu, łuku kręgowego oraz wyrostków. **Trzon** ma kształt walca. Trzony kolejnych kręgów składają się na pionową oś ciała. **Łuki kręgowe** wraz z trzonem tworzą otwór kręgowy. Leżące jeden na drugim otwory kręgów tworzą **kanał kręgowy**, który otacza znajdujący się wewnątrz rdzeń kręgowy. W miejscach, gdzie łuki odchodzą od trzonów, występuje **otwór międzykręgowy** (przez który przechodzą naczynia krwionośne oraz nerwy odchodzące od rdzenia kręgowego). Od łuku kręgowego odchodzą **wyrostki stawowe** (łączące kręgi) oraz poprzeczne i kolczyste (stanowią miejsce przyczepu mięśni i więzadeł). Sąsiednie kręgi są oddzielone elastycznymi krążkami międzykręgowymi zbudowanymi z tkanki chrzęstnej – tzw. **dyskami**, które amortyzują wstrząsy podczas ruchów ciała.

Funkcje kręgosłupa

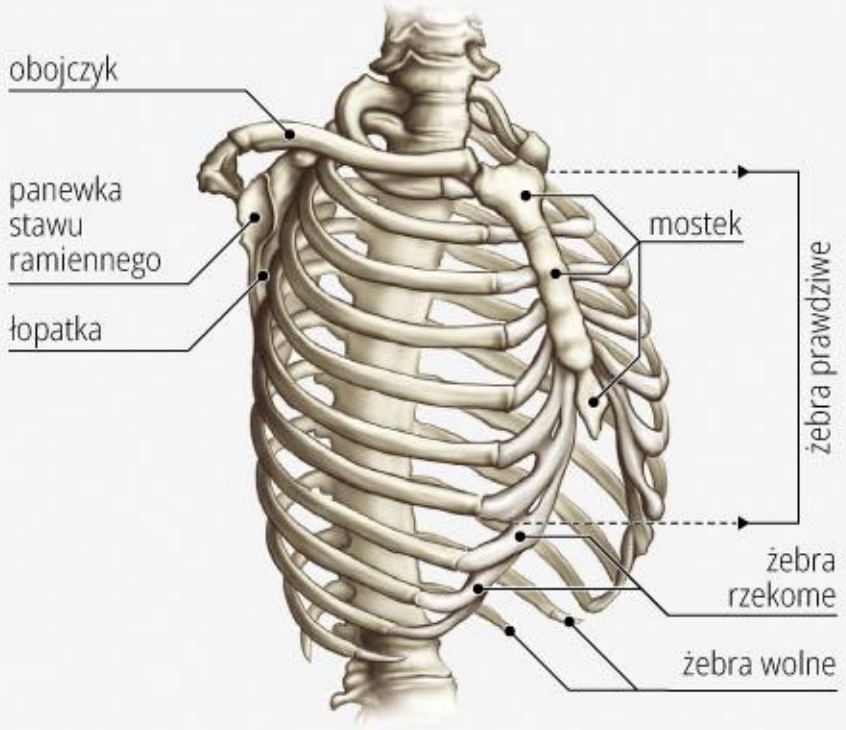
– stanowi podporę ciała,

– ochrania rdzeń kręgowy,

– krążki międzykręgowe pozwalają na ruchy ciała – zginanie, prostowanie, ruchy boczne i obrotowe.

Klatka piersiowa

Składa się z **kręgów piersiowych kręgosłupa** (12 kręgów), **12 par żeber oraz mostka**. Pierwsze 7 par żeber – tzw. **żebra prawdziwe** – bezpośrednio zrastają się z mostkiem. Chrzęstne części następnych 3 par tzw. **żeber rzekomych** zrastają się z chrząstkami żeber położonych wyżej, a ostatnie 2 pary to **żebra wolne**, niezrośnięte z mostkiem. Przednia część żeber jest zbudowana z chrząstki, dzięki czemu są one elastyczne i umożliwiają ruchy klatki piersiowej.

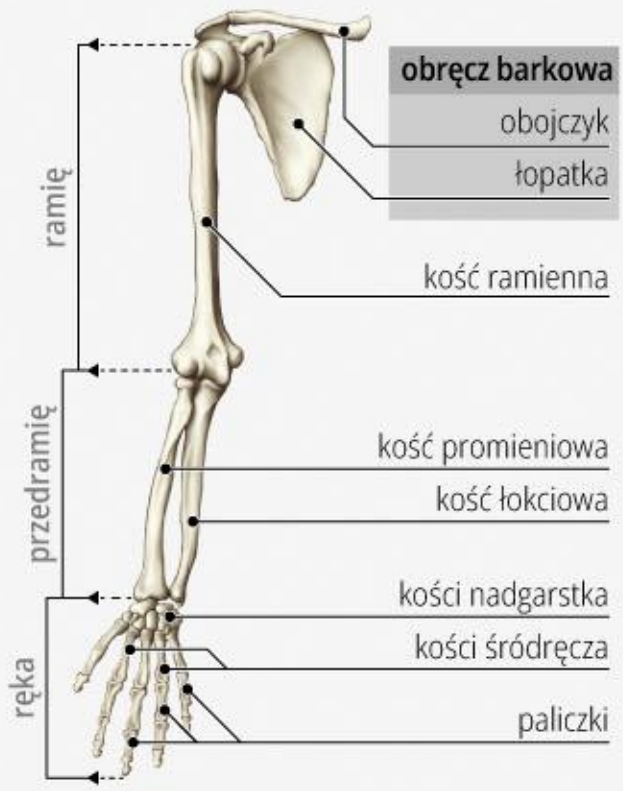


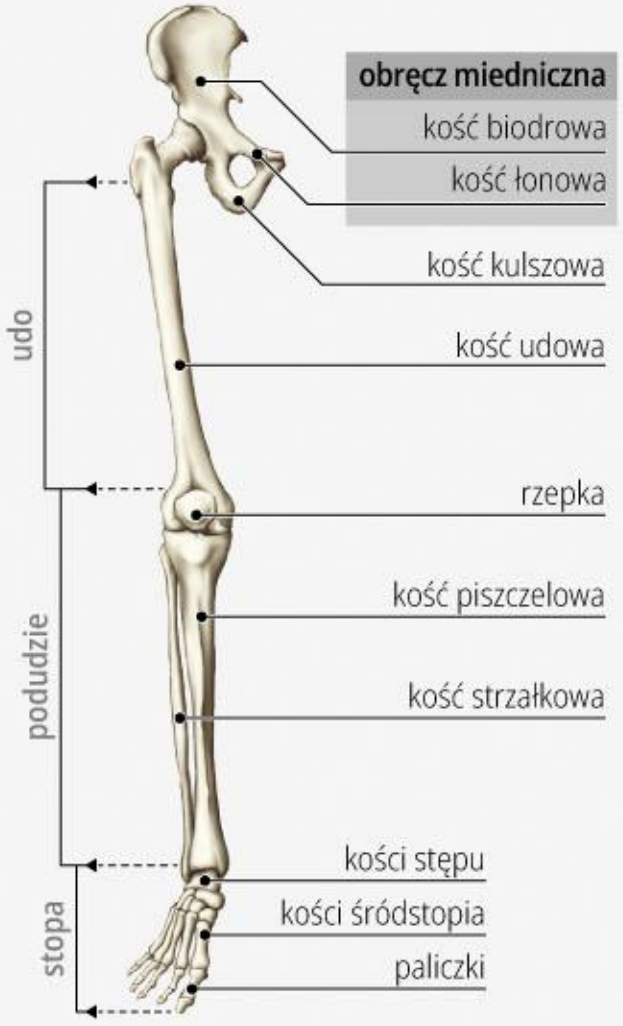
Funkcje klatki piersiowej

– stanowi ochronę dla płuc, serca, tchawicy, przełyku;
– pozwala na wykonywanie ruchów oddechowych.

Szkielet kończyn i obręczy

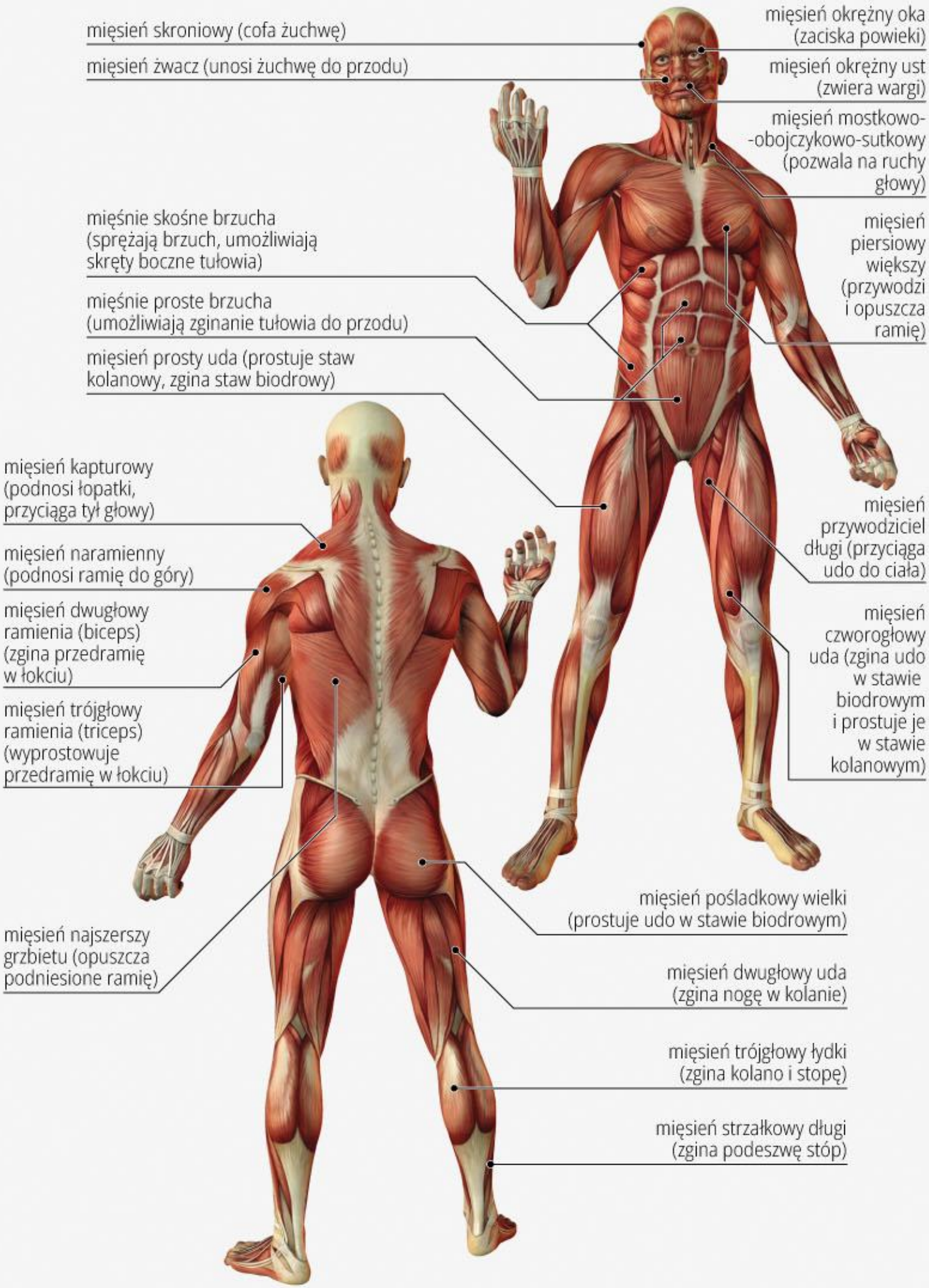
Obręcz barkowa i kończyna górna	Obręcz miedniczna i kończyna dolna
• obręcz barkowa umożliwia połączenie kończyny górnej ze szkieletem osiowym • kończyna górna pełni funkcję chwytno-manipulacyjną, lokomocyjną	• obręcz miedniczna jest oparciem dla kończyn dolnych i stanowi ochronę dla narządów wewnętrznych, np. pęcherza moczowego i narządów płciowych • kończyna dolna pełni funkcję lokomocyjną





Układ mięśniowy

Układ mięśniowy wprawia w ruch cały szkielet, a dzięki temu umożliwia funkcjonowanie narządów wewnętrznych oraz zapewnienia stałe krążenie krwi. Wyróżnia się trzy rodzaje mięśni: **gładkie**, niepodlegające naszej woli, **poprzecznie prążkowane**, podlegające naszej woli, oraz mięsień **sercowy**, pracujący niezależnie od świadomości. Mięśnie **poprzecznie prążkowane szkieletowe** umożliwiają ruch organizmu.



Mięśnie szkieletowe człowieka

Budowa mięśnia szkieletowego

Podstawową jednostką budulcową mięśni poprzecznie prążkowanych jest **włókno mięśniowe** składające się z pęczków kurczliwych włókien mięśniowych – **miofibryli**.

Miofibryle składają się z białkowych włókienek kurczliwych miofilamentów:

– cienkich aktynowych (zbudowanych z białka aktyny),

– grubych miozynowych (zbudowanych z białka miozyny).

Są one ułożone naprzemianlegle, co daje charakterystyczne poprzeczne prążkowanie z jasnymi i ciemnymi prążkami. Mięśnie prążkowane są zbudowane z trzech typów włókien mięśniowych:

– włókien czerwonych, które wolno się kurczą i mają dużą odporność na zmęczenie,

– włókien białych, które szybko się kurczą i szybko ulegają zmęczeniu,

– pośrednich, które się szybko kurczą, ale wolno męczą.

Budowa mięśni

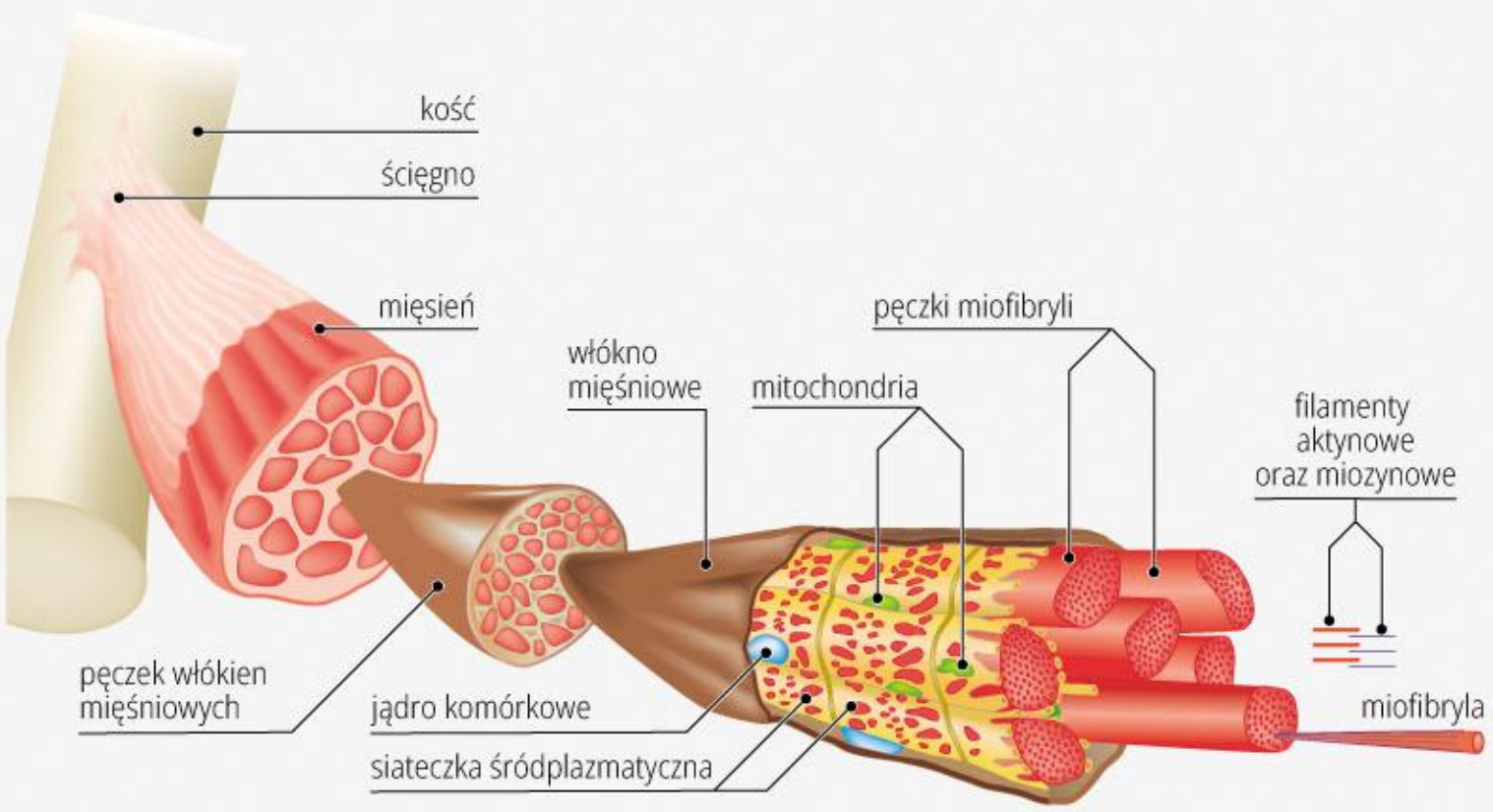
Typowe mięśnie są zbudowane z:

– **brzuśca** – zbudowanego z włókien mięśniowych poprzecznie prążkowanych o czerwonym zabarwieniu ze względu na obecność barwnika mioglobiny (ma większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina, magazynuje tlen i wykorzystuje go podczas wysiłku fizycznego);

– łącznotkankowych **ścięgien** znajdujących się na końcu mięśnia i stanowiących miejsce jego przyczepu do kości; podczas pracy mięśnia ulegają naprężeniom, a ich siła jest przenoszona na odpowiednią część kośćca, co powoduje ruch kości.

Brzusiec można rozdzielić na jednym z końców na dwie lub więcej części zwanych głowami połączonych wspólnym ścięgnem. Nazywamy je **dwugłowymi, trójgłowymi lub czterogłowymi.**

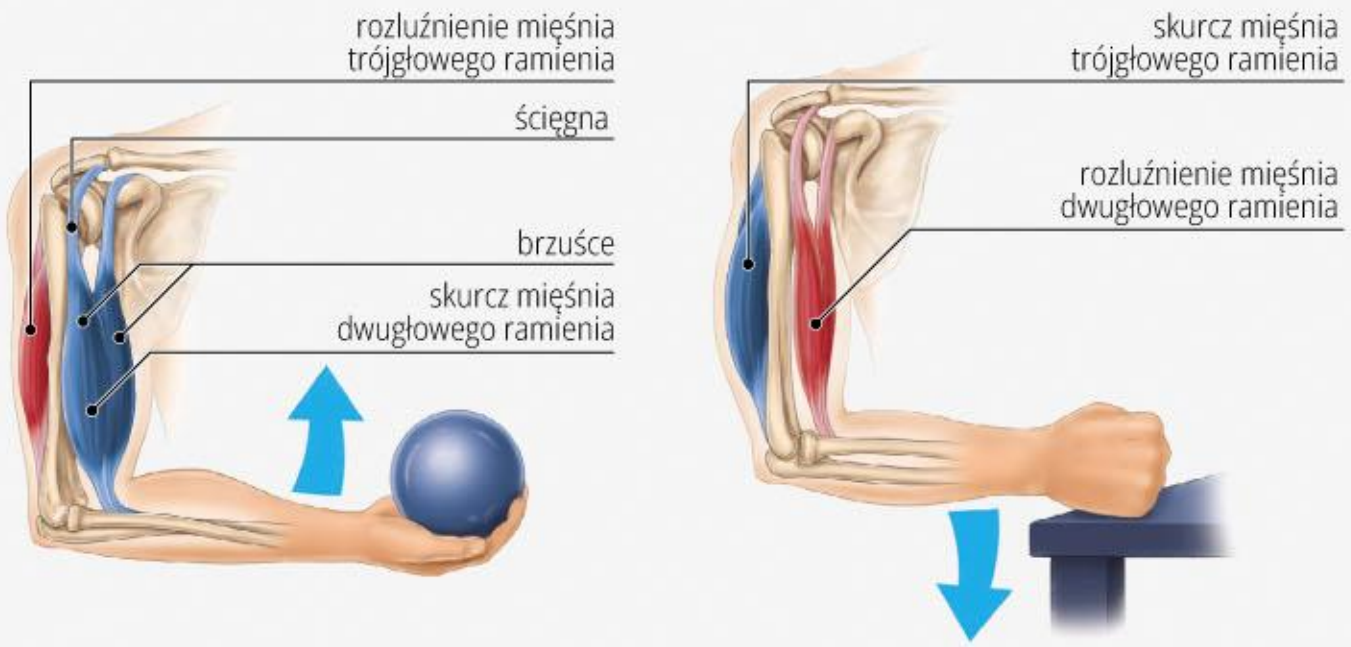
Końce mięśni są przyczepione do dwóch kości. Przyczep bardziej stabilny, znajdujący się bliżej osi ciała to **przyczep początkowy** a bardziej ruchomy, oddalony od płaszczyzny ciała to **przyczep końcowy.**



Hierarchiczna budowa mięśnia szkieletowego

Mięśnie antagonistyczne

Mięśnie zginacze (przywodziciele) i prostowniki (odwodziciele) uczestniczące w wykonywaniu przeciwstawnej pracy nazywamy **mięśniami antagonistycznymi.**



Działanie mięśni antagonistycznych ramienia. Mięsień dwugłowy jest zginaczem – skurcz powoduje zgięcie kończyny górnej w stawie łokciowym. Mięsień trójgłowy to prostownik – jego rozkurcz powoduje wyprostowanie kończyny górnej w stawie łokciowym.

Rodzaje mięśni

Rodzaje mięśni		
Kryterium podziału	**Rodzaj mięśnia**	**Przykłady mięśni**
kształt	długie	kończyn (np. mięsień łydki, ramienia)
	krótkie	otaczające kręgosłup i torebki stawowe
	szerokie	jamy brzusznej, klatki piersiowej
	okrężne	okrężne oka i ust
liczba brzuśców	dwugłowy	ramienia
	trójgłowy	łydki
	czterogłowy	uda
funkcje	prostowniki	grzbietu, kciuka
	zginacze	łokciowy, nadgarstkowy
	przywodziciele	uda
	odwodziciele	kciuka

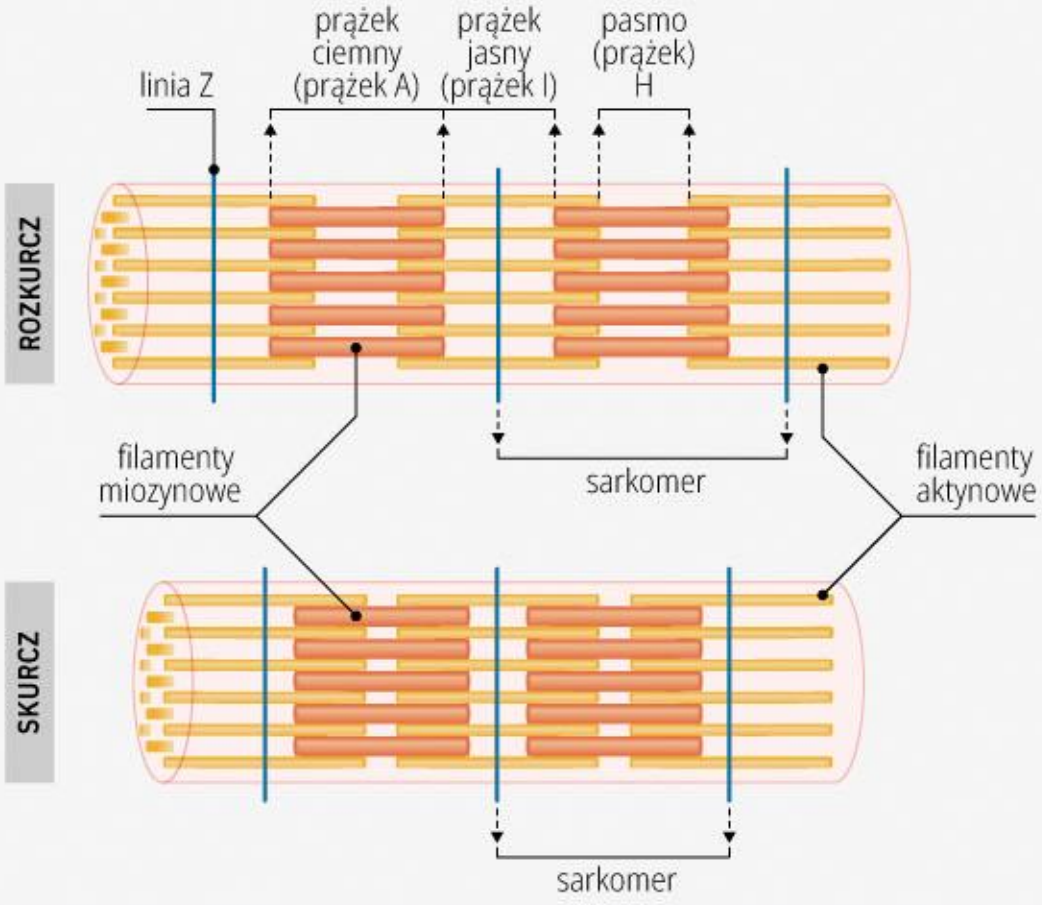
Budowa sarkomeru

Podstawową jednostką strukturalną i funkcjonalną mięśnia odpowiedzialną za jego pracę jest **sarkomer**. Sarkomer obejmuje odcinek miofibryli ograniczony **błoną graniczną Z** i zawiera połówkę jednego **prążka jasnego I**, cały **prążek ciemny A** oraz połówkę drugiego prążka jasnego. W obrębie prążka A występuje **smuga H** (miejsce, w którym znajdują się odcinki włókien miozyny niezachodzące na włókna aktyny). W obrazie mikroskopowym filamenty cienkie są postrzegane jako słabo załamujące światło **prążki jasne (izotropowe)**, a filamenty grube – jako silnie załamujące światło **prążki ciemne (anizotropowe)**. Odcinki te są ułożone regularnie i naprzemiennie na tym samym poziomie w miofibrylach, co daje obraz poprzecznego prążkowania. W skład filamentów cienkich wchodzą dwa dodatkowe białka – **troponina** i **tropomiozyna**, pełniące funkcję regulatorową w skurczu mięśnia.

Podczas rozkurczu mięśnia w pojedynczym sarkomerze filamenty aktynowe i miozynowe nie zachodzą na siebie.

Podczas skurczu mięśnia następuje wsuwanie się filamentów grubych pomiędzy filamenty cienkie, co powoduje skrócenie się sarkomeru, przy czym skracają się prążki jasne i smuga H, a długość prążków ciemnych nie ulega zmianie. Miofibryla składa się z wielu sarkomerów ułożonych jeden za drugim. Ich skracanie powoduje zmniejszenie długości całego włókna kurczliwego. Skrócenie wszystkich włókien w mięśniu oznacza całkowity skurcz mięśnia.

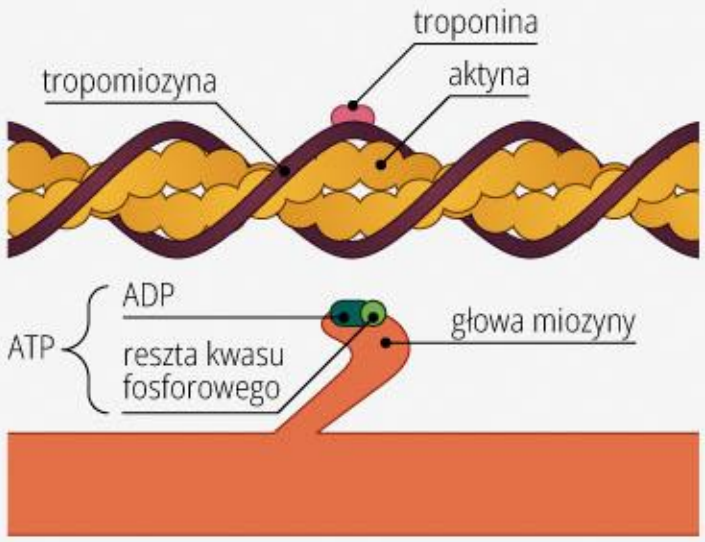
Budowa sarkomeru podczas rozkurczu i skurczu



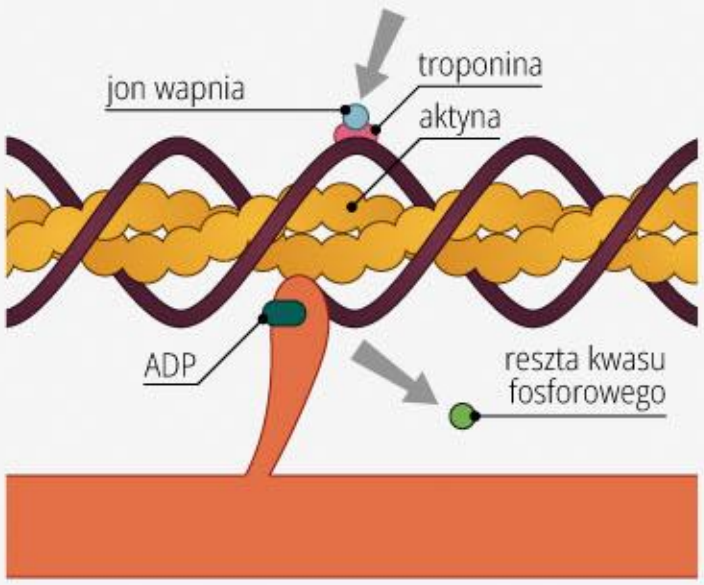
Mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego

Skurcz i rozkurcz włókna mięśniowego są regulowane przez układ nerwowy przez aksony komórek nerwowych. Komórka mięśniowa i unerwiająca ją komórka nerwowa tworzą **jednostkę motoryczną mięśnia. Przekaźnikiem impulsu nerwowego jest acetylocholina.** Pobudzenie jest przekazywane na sarkolemę, od której w głąb sarkoplazmy odchodzą kanaliki T (kształt litery T, której „daszek" jest zwrócony w stronę błony). Dzięki nim pobudzenie dociera na błony siateczki sarkoplazmatycznej, które uwalniają jony wapnia (Ca^{2+}) do sarkoplazmy. Jony te inicjują skurcz mięśnia.

W skurczu mięśnia oprócz jonów wapnia (Ca^{2+}) biorą udział białka filamentów cienkich i grubych – tropomiozyna i troponina oraz aktyna i miozyna.

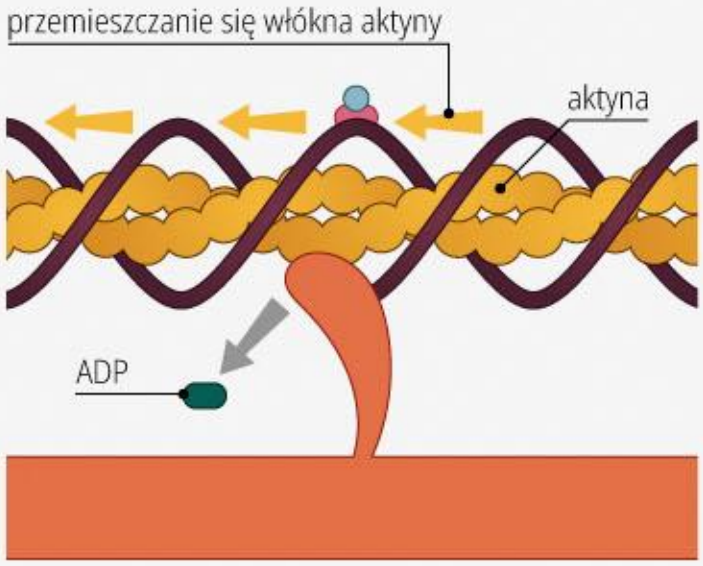


W rozluźnionym mięśniu tropomiozyna blokuje kontakt głowy miozyny (związanej z ADP i resztą kwasu fosforowego) z aktyną. Głowy miozyny są w pozycji pochylonej.



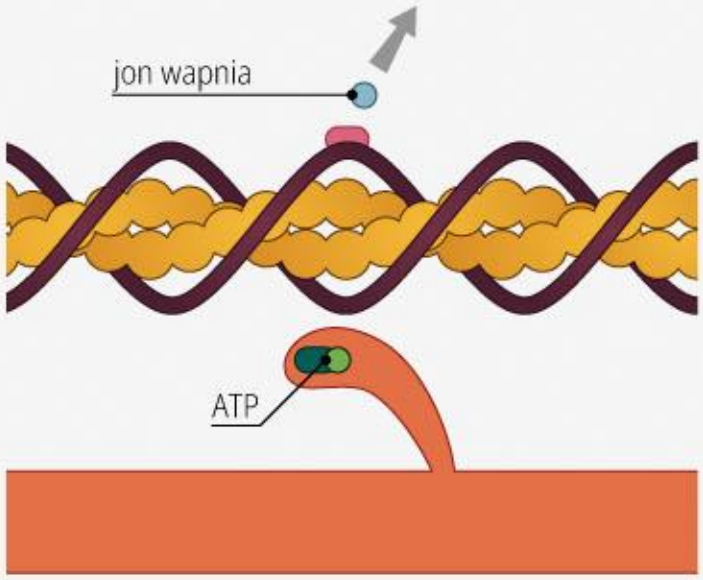
Pobudzenie docierające za pośrednictwem kanalików T do błon siateczki sarkoplazmatycznej powoduje otwieranie kanałów wapniowych i uwolnienie jonów wapnia (Ca^{2+}) z siateczki śródplazmatycznej.

Jony wapnia (Ca^{2+}) wiążą się z troponiną, następuje odsunięcie tropomiozyny od aktyny – dzięki temu głowy miozyny mogą się związać z aktyną. Zachodzi hydroliza ATP, który jest związany z miozyną.



Od głowy miozyny odłączają się ADP i P_i, co powoduje wiosłowy ruch cząsteczek miozyny, które zginają się i pociągają za sobą włókno aktyny. Wówczas sarkomer się skraca (o ok. 10 nm).

Jeśli stężenie jonów wapnia (Ca^{2+}) będzie wysokie w sarkoplazmie i będzie dostateczna ilość ATP, włókna będą pozostawały w skurczu.



Kiedy włókno aktyny się przesunie, do głowy miozyny przyłącza się ATP i odłącza się od aktyny (następuje wówczas relaksacja).

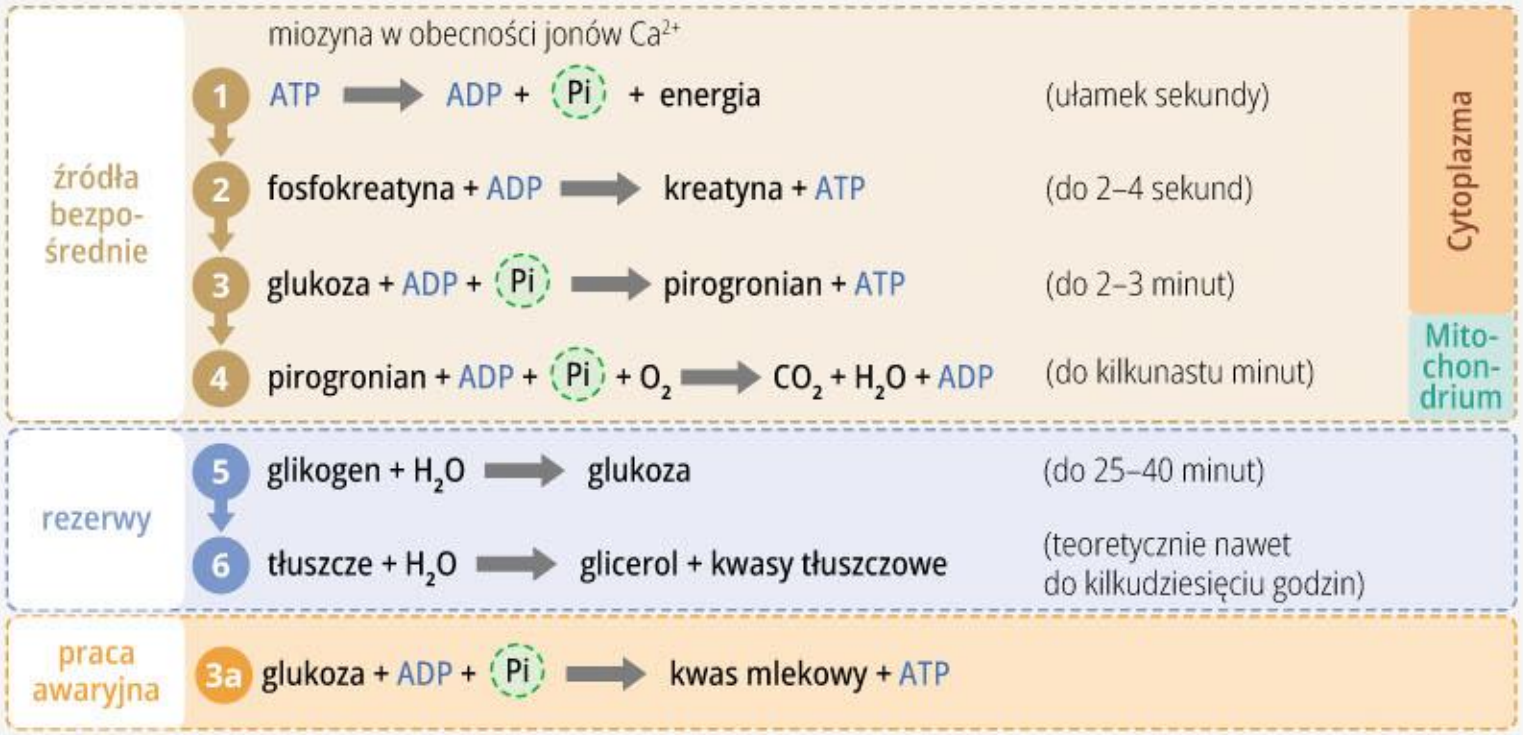
Brak bodźca powoduje przetransportowanie jonów wapnia (Ca^{2+}) ponownie do wnętrza cystern siateczki sarkoplazmatycznej (za pomocą pompy wapniowej). Nieblokowany kompleks troponino-tropomiozyna ponownie hamuje aktywność miozyny. Sytuacja powraca do stanu wyjściowego.

Skurcz mięśni gładkich

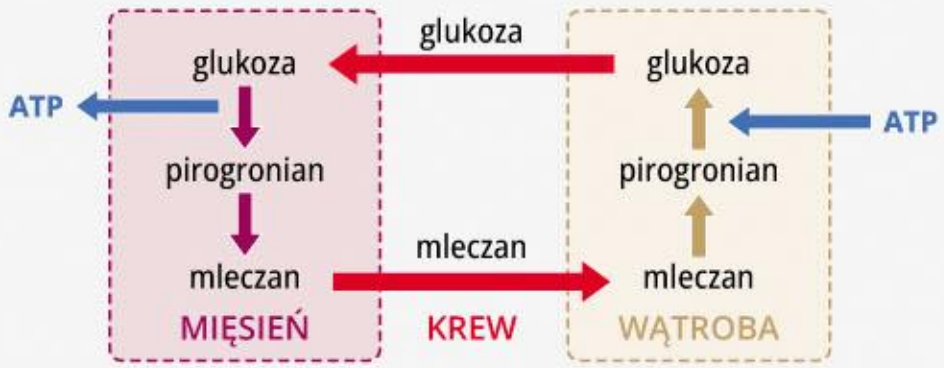
Skurcz mięśni gładkich różni się od skurczu mięśni poprzecznie prążkowanych. Skurcz jest zapoczątkowany uwalnianiem jonów wapnia (Ca^{+}) pochodzących głownie z płynu pozakomórkowego, a nie z siateczki sarkoplazmatycznej (jak w mięśniu poprzecznie prążkowanym). Białkiem wiążącym się z jonami wapnia (Ca^{+}) nie jest troponina, lecz **kalmodulina**. Do zajścia skurczu mięśnia gładkiego niezbędna jest fosforylacja miozyny, którą przeprowadza enzym – **kinaza łańcuchów lekkich miozyny**.

Przemiany biochemiczne zachodzące podczas pracy mięśnia

Praca mięśnia wymaga dostarczenia **energii w postaci ATP**. Energia zgromadzona w ATP bardzo szybko jest zużywana i stale odtwarzana. Źródło ATP stanowią wysokoenergetyczny związek **fosfokreatyna** oraz **glukoza** (glikogen) spalana w warunkach tlenowych lub podczas długiej i intensywnej pracy mięśni w warunkach beztlenowych – fermentacji.



Oprócz glukozy substratem energetycznym są tłuszcze. Podczas intensywnej pracy, gdy mięsień nie jest dostatecznie dotleniony (pomimo rezerwy tlenowej w mioglobinie), powstaje tzw. **dług tlenowy**. Brak tlenu prowadzi do beztlenowego uzyskiwania energii do pracy mięśnia. Podczas fermentacji mleczanowej w mięśniach gromadzi się **kwas mlekowy**, który powoduje sztywność i ból mięśni. Po przywróceniu warunków tlenowych krew odbiera z komórek mięśniowych nagromadzony mleczan i transportuje go do wątroby. Tutaj ulega on przekształceniu w glukozę (glukoneogeneza), która jako materiał energetyczny jest transportowana przez krew.



Rodzaje włókien mięśniowych

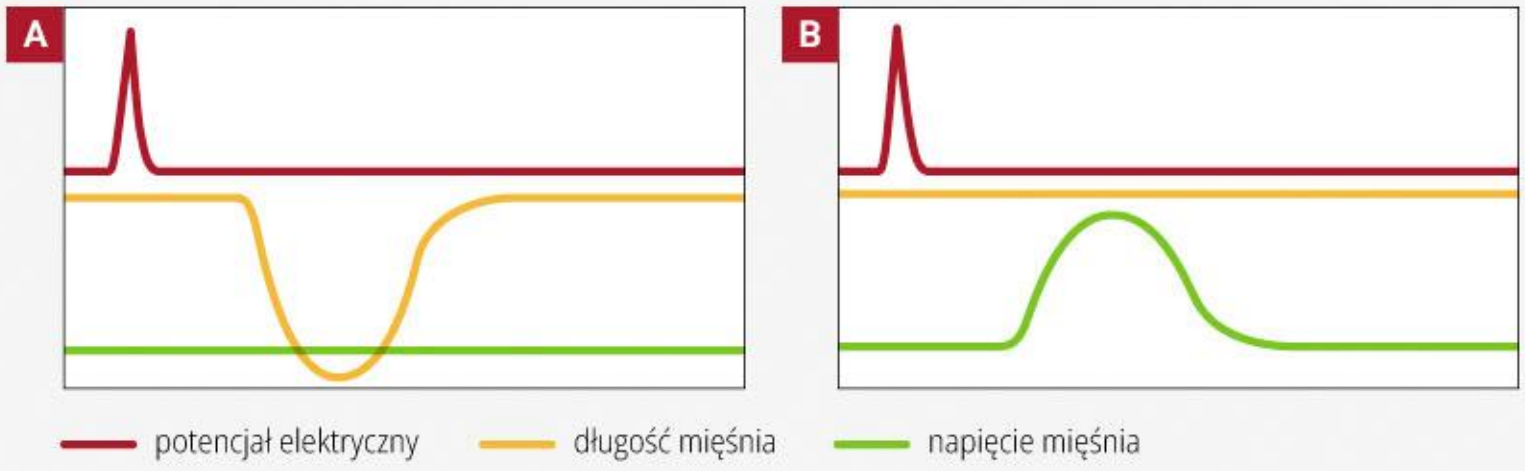
Porównywana cecha	Włókna		
	czerwone (wolno kurczące się, typ I)	pośrednie (typ II A)	białe (szybko kurczące się, typ IIB)
sposób uzyskiwania energii	oddychanie tlenowe	oddychanie tlenowe	fermentacja
zawartość mioglobiny	duża	pośrednia	mała
zawartość miozyny	mała	duża	duża
ukrwienie	liczne naczynia krwionośne	liczne naczynia krwionośne	nieliczne naczynia krwionośne
zawartość glikogenu	mała	pośrednia	duża
tempo skurczu	wolne	szybkie	szybkie
odporność na zmęczenie	duża	pośrednia	mała
stymulacja przez neurony	stała	częsta	przy maksymalnym wysiłku

Rodzaje skurczów

Mięsień szkieletowy niekurczący się dzięki dochodzącym do niego nerwom znajduje się w stanie napięcia spoczynkowego zwanego **tonusem**. Wynika to z obciążenia mięśnia przez kości i narządy wewnętrzne. Mięsień utrzymuje się w stałej gotowości do skurczu.

Rodzaj skurczu		Zmiana	
		długości mięśnia	napięcia mięśnia
izotoniczny		zmienia się	nie zmienia się
izomeryczny		nie zmienia się	zmienia się
auksotoniczny (mieszany)		zmienia się	zmienia się
		Częstość pobudzenia	
pojedynczy		wywołany przez pojedynczy impuls nerwowy	
tężcowy	powstaje w wyniku sumowania się kolejnych skurczów pojedynczych		
	niezupełny	odstępy między kolejnymi impulsami są dłuższe od trwania pojedynczego skurczu (następuje częściowy rozkurcz mięśnia)	
	zupełny	impulsy docierają do mięśnia bardzo szybko, między kolejnymi skurczami nie następuje rozkurcz, a mięsień pozostaje w stanie ciągłego skurczu	

Porównanie skurczu izotonicznego (A) i izomerycznego (B)



Aktywność fizyczna a zdrowie

Aktywność fizyczna korzystnie wpływa na funkcjonowanie całego organizmu, w tym układu kostnego i mięśniowego.

Regularnie uprawianie ćwiczeń:

- skutecznie chroni przed osteoporozą;
- pozytywnie wpływa na gęstość kości, zwiększając ich uwapnienie, dzięki czemu są bardziej elastyczne i odporne na złamania;
- poprawia zakres ruchu w stawach oraz zwiększa odporność na urazy;
- poprawia siłę i wytrzymałości mięśni oraz równowagę i koordynację ruchową;
- zapewnia prawidłowy stan napięcia mięśni, przez co sylwetka staje się sprężysta;
- zmniejsza bóle kręgosłupa przez zwiększenie siły mięśni kręgosłupa i mięśni grzbietu;
- pozwala na dłuższą pracę mięśni bez zmęczenia;
- zapobiega otyłości;
- poprawia wydolność serca, gdyż zmniejsza ryzyko wystąpienia zawału, a ponadto łagodzi napięcia nerwowe i osłabia skutki stresu.

Funkcjonowanie układu ruchu a prawidłowa dieta

Oprócz aktywności fizycznej dla naszych stawów, kości i mięśni ważna jest dieta bogata w:

- wapń wchodzący w skład kości;
- witaminę D_3 wpływającą na wchłanianie z przewodu pokarmowego wapnia niezbędnego do budowy kości;
- produkty nabiałowe, takie jak: białe sery, jogurty czy kefiry będące źródłem białka niezbędnego do budowy mięśni;
- produkty bogate w składniki mineralne – głównie sód, potas, wapń, magnez niezbędne do prawidłowej pracy mięśni i wzmacniające kości;
- produkty bogate w witaminę C niezbędną do syntezy kolagenu zapewniającego elastyczność chrząstek;
- wodę niezbędną do pracy wszystkich narządów ciała.



Doping

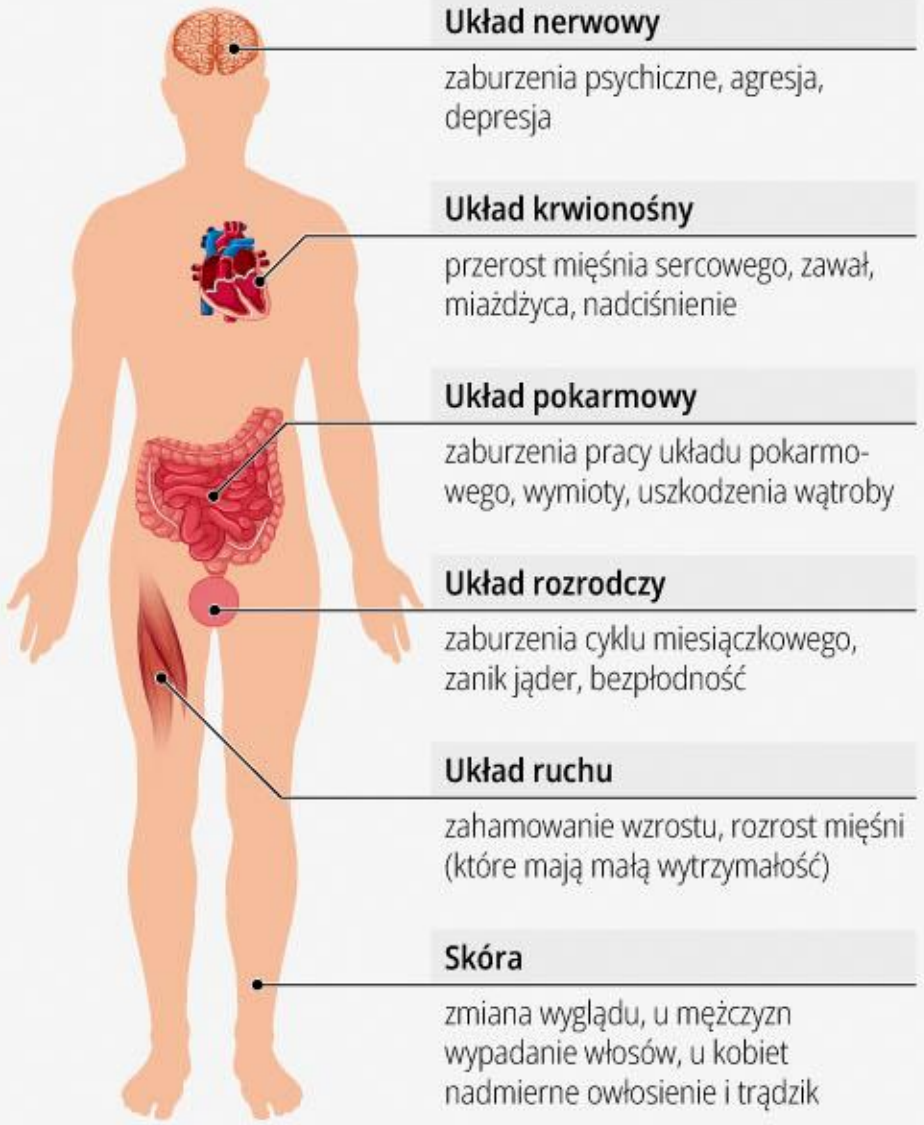
Aby zwiększyć sprawność fizyczną czy osiągać jak najwyższe wyniki sportowe, ludzie sięgają po niedozwolone środki dopingujące.

Wśród nich znajduje się wiele różnych substancji, m.in.:

- środki pobudzające, np. kokaina, amfetamina;
- narkotyczne środki przeciwbólowe, np. morfina, metadon;
- środki anaboliczno-androgenne, np. testosteron, stanozonol;
- środki moczopędne, np. furosemid;
- hormony peptydowe, np. ludzki hormon wzrostu, erytropetyna (EPO) – pobudzenie produkcji erytrocytów, a tym samym – zwiększenie transportu tlenu;
- alkohol i środki miejscowego znieczulenia.

Stosowanie dopingujących środków hormonalnych powoduje poważne zmiany w najważniejszych układach wewnętrznych:

- w układzie ruchu – przyrost masy mięśni, rozwój męskiej sylwetki ciała (także u kobiet);
- w układzie hormonalnym – zaburzenia równowagi hormonalnej, co może być przyczyną niepłodności i impotencji u mężczyzn, a u kobiet może – rozwoju cech męskich (tzw. maskulinizacja);
- w układzie krwionośnym – zmiany w obrębie naczyń krwionośnych i serca, co może być przyczyną zawałów serca, wylewów krwi i zmian nowotworowych;
- w skórze – przetłuszczanie i wypadanie włosów, zmiany skórne (trądzik);
- w psychice i osobowości – nasilające się rozdrażnienie, agresja uniemożliwiająca normalne życie.



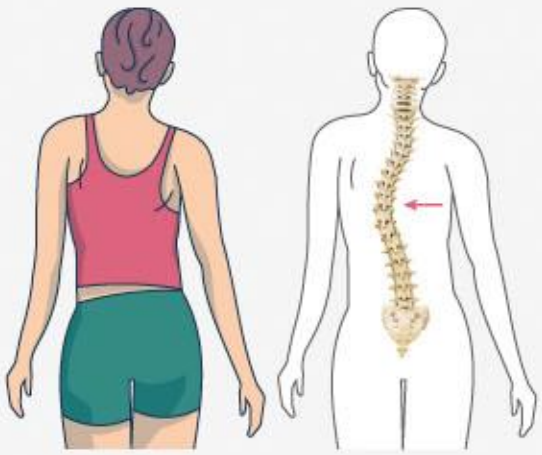
Zmiany w organizmie pod wpływem środków dopingujących

Najnowsza technika dopingowa to **doping genetyczny**, który naśladuje terapię genową. Wykorzystując tzw. wektory wirusowe, można do jądra komórki wprowadzić odpowiednie geny i spowodować, że komórka będzie produkowała określone białka. Można taką metodą zwiększyć masę mięśniową, ukrwienie tkanek, liczbę czerwonych krwinek czy zmniejszyć odczuwanie bólu. Doping genetyczny trudno wykryć, tym bardziej że nie ma dokładnych informacji o jego stosowaniu.

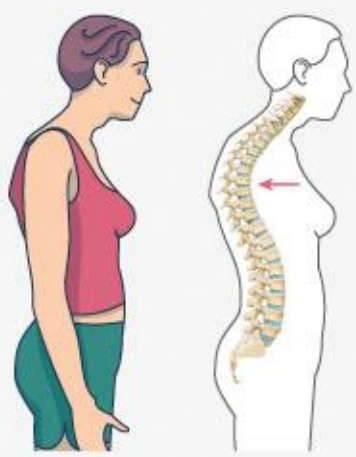
Wybrane wady i choroby układu ruchu

Wady

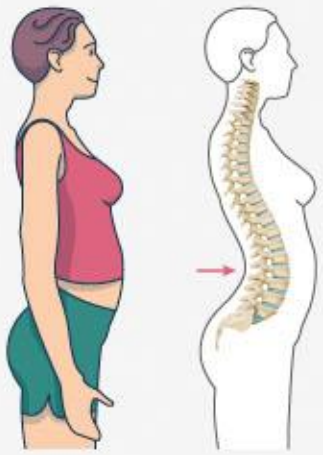
Wady	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
skolioza	• wada postawy • długotrwałe utrzymywanie nieprawidłowej postawy ciała • nierównomierne obciążenie kręgosłupa	• boczne skrzywienie kręgosłupa najczęściej w odcinku lędźwiowo-krzyżowym • ból kręgosłupa • ucisk zniekształconej klatki piersiowej na serce i płuca	• utrzymanie prawidłowej postawy ciała • ćwiczenia z fizjoterapeutą • ćwiczenia fizyczne
nadmierna kifoza piersiowa	• wada postawy • nadmierne osłabienie mięśni grzbietu	• garbienie się • wady wzroku • problemy z oddychaniem	
nadmierna lordoza lędźwiowa	• wada postawy • zbyt duża masa ciała • osłabienie mięśni brzucha i pośladków	• ból kręgosłupa • słabe utrzymywanie ciężaru górnej części ciała	
płaskostopie	• wada budowy stóp • długie przebywanie w pozycji stojącej • osłabienie mięśni i więzadeł stopy	• obniżenie wysklepienia stopy • ból i drętwienie stóp podczas chodzenia i stania	• wkładki ortopedyczne w butach • utrzymanie odpowiedniej masy ciała • ćwiczenia



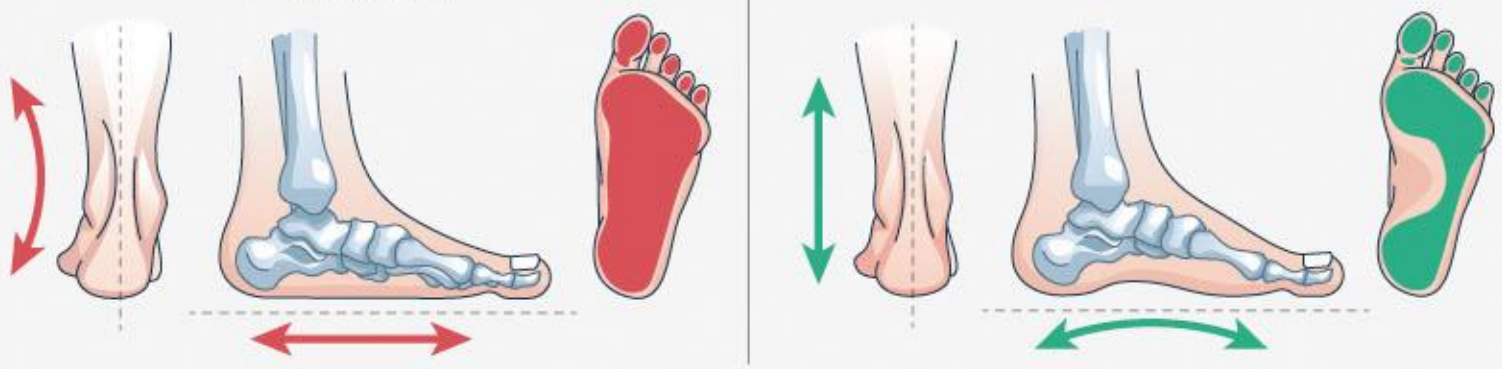
Skolioza



Nadmierna lordoza lędźwiowa



Nadmierna kifoza piersiowa



Urazy mechaniczne

Skręcenie stawu – nieznaczne uszkodzenie torebki stawowej i więzadeł.

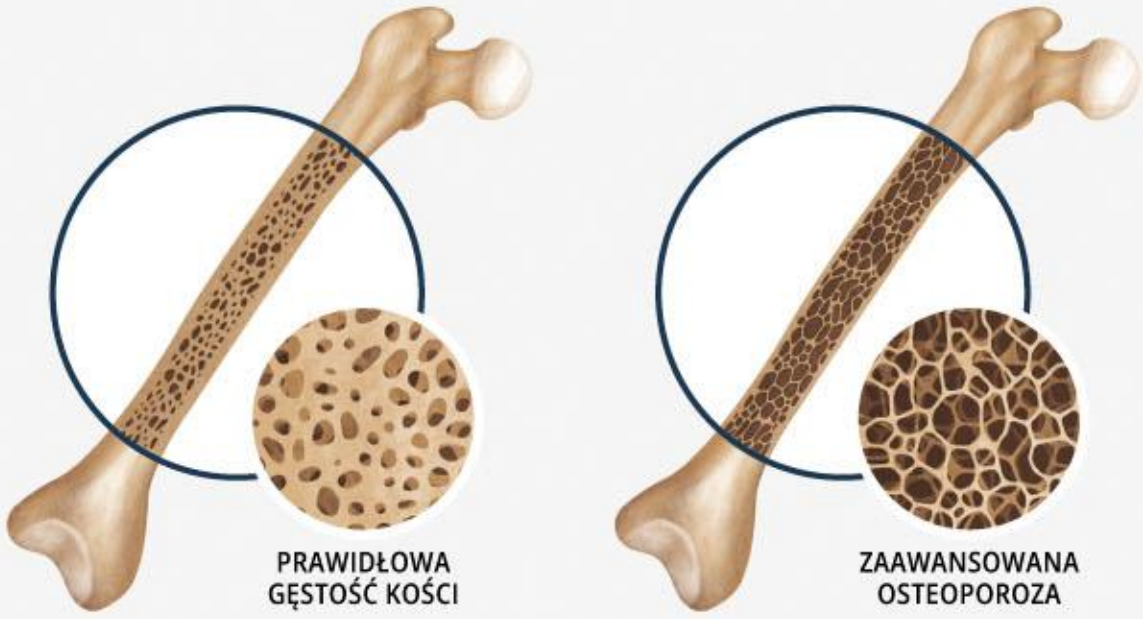
Zwichnięcie – zerwanie torebki stawowej oraz więzadeł i przemieszczenie względem siebie powierzchni stawowych kości.

Złamanie kości – przerwanie ciągłości kości.

Choroby

Choroba	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
krzywica	• niedobór witaminy D_3	• zniekształcenia szkieletu	• dieta bogata w witaminę D_3 i wapń, umiarkowane korzystanie z promieni słonecznych
osteoporoza	• niedobór wapnia • zmniejszenie wydzielania hormonów płciowych • mała aktywność fizyczna	• bóle kości długich • kruchość kości • ubytki tkanki kostnej • podatność na złamania	• dieta bogata w witaminę D_3 i wapń • aktywność fizyczna
choroby reumatyczne	• nieprawidłowe odżywianie • brak ruchu • przebyte choroby • zaburzenia odporności	• ból stawów • obrzęki i zniekształcenia stawów	• odpowiednia dieta • aktywność fizyczna

Osteoporoza kości



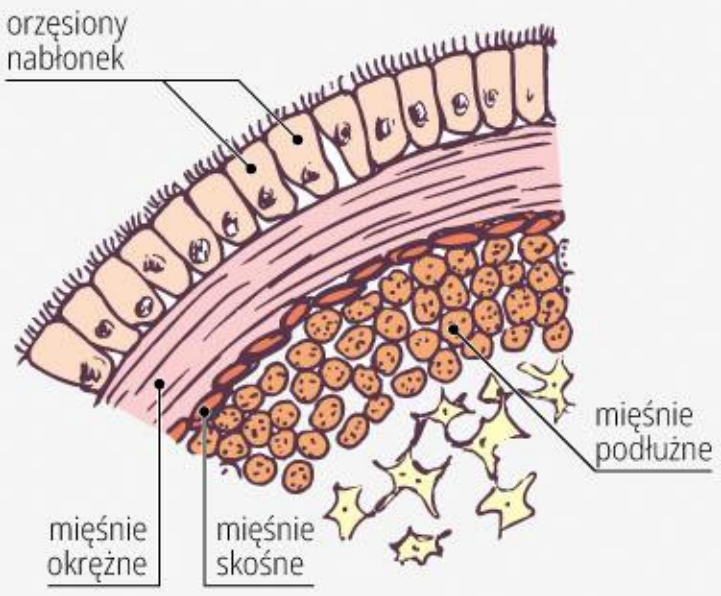
8.20. Pokrycie ciała i funkcje skóry u zwierząt

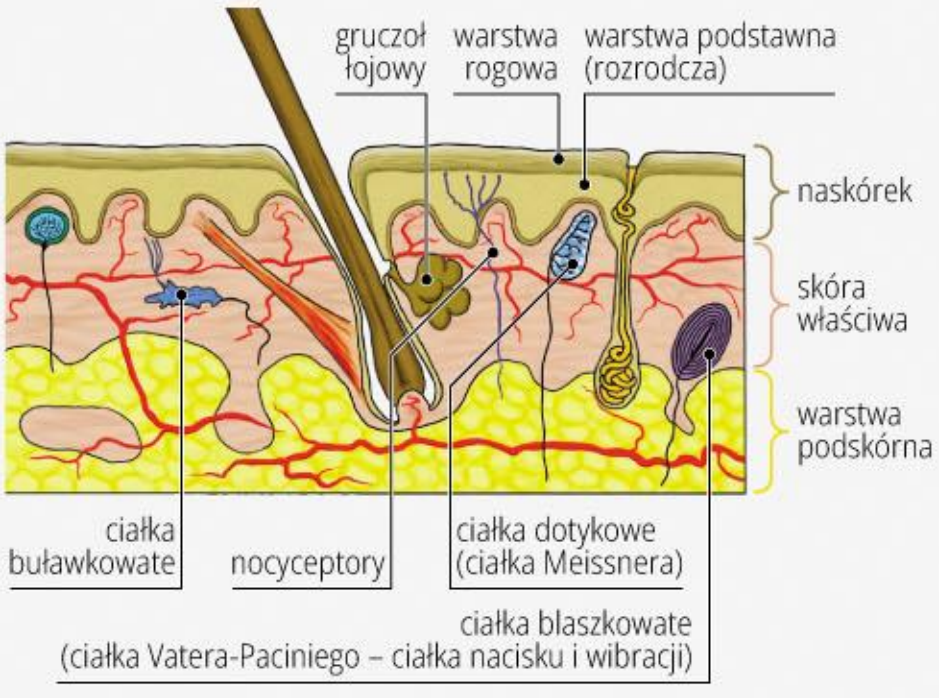
Naskórek

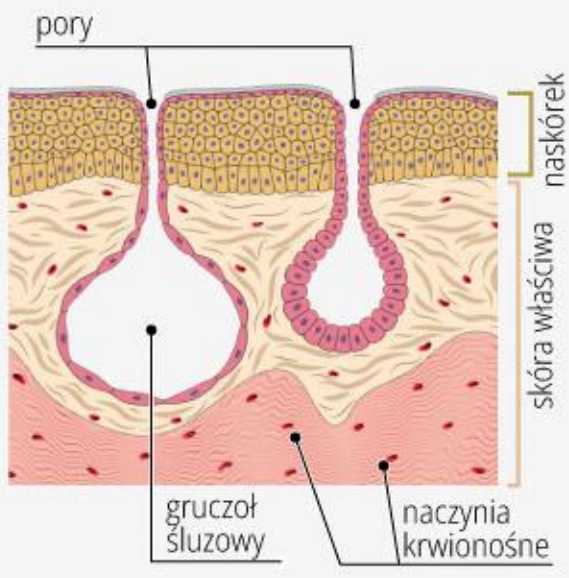
Naskórek, czyli zewnętrzny nabłonek, pokrywa ciało bezkręgowców i kręgowców, ale jego budowa jest zróżnicowana w zależności od sposobu i środowiska życia zwierzęcia. Nabłonek może być zrośnięty z głębszymi warstwami ciała i tworzyć **wór powłokowo-mięśniowy** lub **skórę**.

Cechy naskórka zwierząt:

- może być jednowarstwowy (u bezkręgowców, bezczaszkowców) lub wielowarstwowy (kręgowce);
- pełni funkcję ochronną, uczestniczy w wymianie gazowej, termoregulacji i reakcjach na bodźce;
- zawiera często **gruczoły** lub wyspecjalizowane komórki (np. parzydełka);
- wytwarza dodatkowe **wytwory** pełniące funkcję ochronną (łuski, płytki rogowe, włosy, paznokcie, kopyta, rogi u kręgowców) oraz stanowiące ochronę i szkielet zewnętrzny u bezkręgowców (m.in. oskórek, pancerz stawonogów, muszle ślimaków);
- bierze udział w ochronie organizmu przez patogenami – wierzchnie warstwy naskórka u kręgowców mogą rogowacieć i się złuszczać.





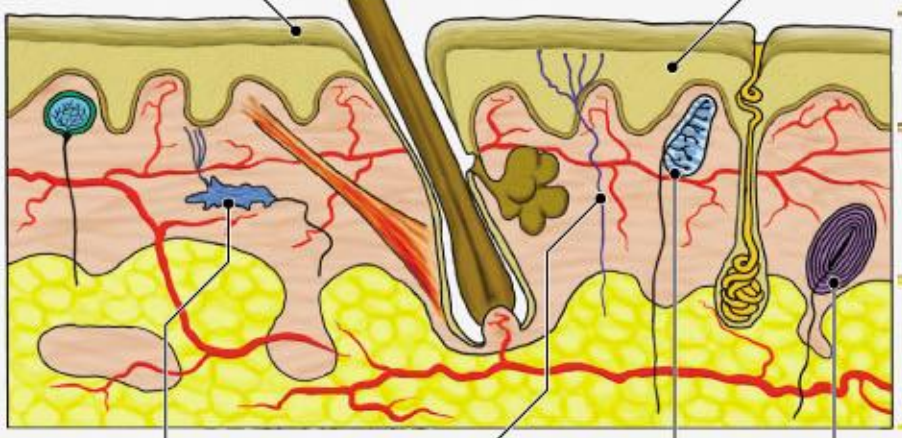


Wór powłokowy	Skóra
składa się z: • **jednowarstwowego** ektodermalnego **nabłonka** • mezodermalnych **mięśni i tkanki łącznej** • u wielu grup na zewnątrz oskórek (u mięczaków muszla) • różna liczba warstw mięśni u różnych grup zwierząt • warstwy mięśni ułożone są w różnych kierunkach (okrężne, podłużne, skośne), umożliwiając skomplikowane ruchy • występowanie: płazińce, nicienie, pierścienice, mięczaki	składa się z: • **wielowarstwowego** ektodermalnego **nabłonka** (naskórek) • mezodermalnej **tkanki łącznej** (skóra właściwa) • oskórek nie występuje • gruczoły pochodzenia nabłonkowego często są zanurzone w skórze właściwej • skóra właściwa tworzy łuski ryb, płytki kostne oraz (wspólnie z naskórkiem) poroże • występowanie: kręgowce

Budowa skóry

Warstwa rogowa
- jej zrogowaciałe komórki złuszczają się, a wraz z nimi usuwane są żyjące na powierzchni skóry mikroorganizmy chorobotwórcze; w ten sposób naskórek chroni głębiej położone tkanki przed wniknięciem pasożytów i szkodliwych substancji; zwiększa się również jego odporność na urazy mechaniczne oraz działanie promieniowania UV.

Warstwa podstawna (rozrodcza)
- najgłębiej położone komórki macierzyste tej warstwy dają początek gruczołom skóry, włosom, paznokciom oraz odbudowują złuszczające się zewnętrzne komórki naskórka;
- w tej warstwie znajdują się **melanocyty**, które zawierają barwnik (pigment) melaninę.



Naskórek
- zbudowany z nabłonka wielowarstwowego płaskiego, którego komórki układają się w warstwy (rogowa, ziarnista, kolczysta, podstawna).

Skóra właściwa
- zbudowana z tkanki łącznej wiotkiej, zawierającej włókna białkowe: kolagenowe, elastylowe i retikulinowe – nadają one skórze wytrzymałość mechaniczną i sprężystość;
- w skórze właściwej znajdują się liczne **naczynia limfatyczne i krwionośne**, które zaopatrują komórki skóry w ciała odpornościowe, składniki pokarmowe, tlen;
- w skórze właściwej znajdują się również zakończenia nerwów czuciowych, które odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego.

Ciałka buławkowate
- są zbudowane podobnie do ciałek Vatera-Paciniego;
- ich zadaniem również jest odbieranie bodźców nacisku i dotyku;
- najwięcej znajduje się ich na skórze pleców wzdłuż kręgosłupa.

Nocyceptory
- receptory wyspecjalizowane w odbieraniu silnych bodźców zagrażających organizmowi, jak nagłe i znaczne zmiany temperatury, czy obecność substancji drażniących.

Ciałka blaszkowate (ciałka Vatera-Paciniego) – ciałka nacisku i wibracji
- reagują, gdy czynnik pobudzający działa odkształcająco na pewien obszar ciała.

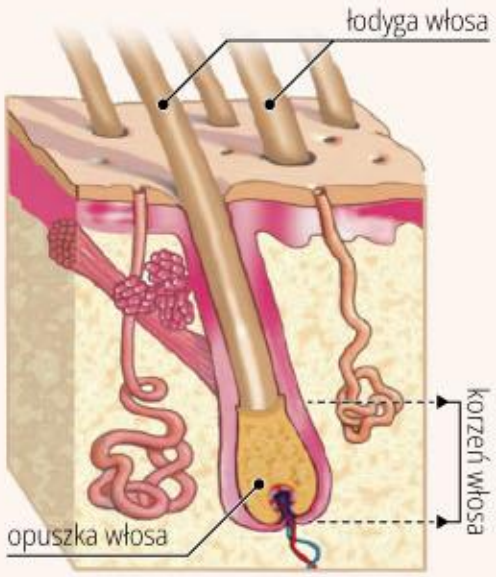
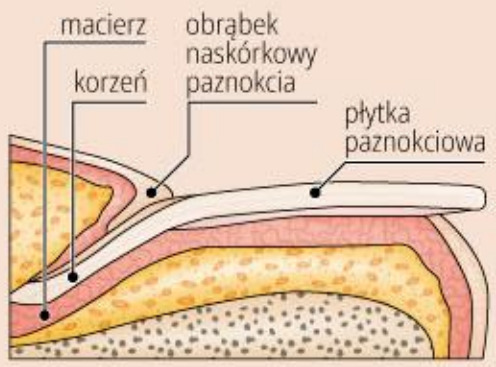
Warstwa podskórna
- tłuszczowa wyściółka, której grubość zależy od płci, wieku, miejsca występowania, sposobu odżywiania, trybu życia;
- stanowi warstwę termoizolacyjną, rezerwuar związków energetycznych, a także materiał budulcowy dla niektórych części ciała (np. piąt);
- chroni głębiej położone tkanki i narządy przed urazami mechanicznymi, amortyzuje wstrząsy oraz zapewnia ruchomość skóry względem niżej położonych tkanek.

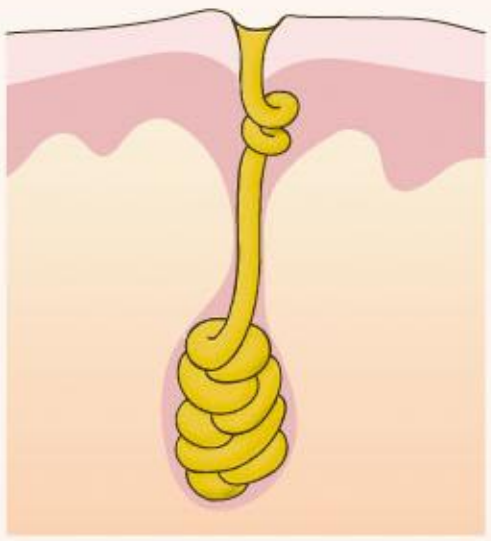
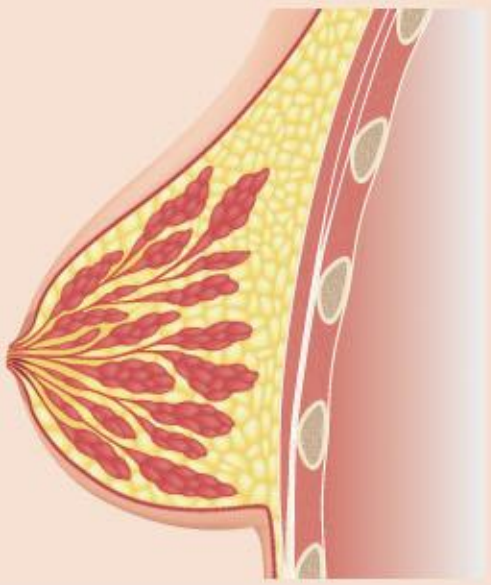
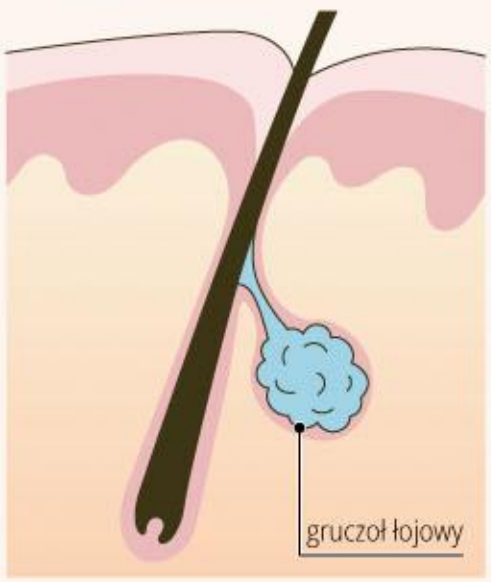
Ciałka dotykowe (ciałka Meissnera)
- rozmieszczone nierównomiernie na powierzchni skóry;
- najwięcej ich znajduje się na opuszkach palców (100–140 na 1 cm^2);
- są wrażliwe na dotyk i ucisk.

Funkcje skóry

Funkcja skóry	Przystosowanie w budowie skóry
ochrona	• rogowaciejący naskórek – bariera przed wnikaniem drobnoustrojów, substancji chemicznych • zwarta budowa komórek nabłonka wielowarstwowego budującego skórę • gruczoły łojowe i potowe stanowiące zabezpieczenie przed wysychaniem oraz unieszkodliwiające drobnoustroje • obecność keratyny w komórkach naskórka • zawarte w skórze melaniny chroniące przed szkodliwym promieniowaniem UV
termoregulacja	• wydzielanie potu przez gruczoły potowe • zwężanie lub rozszerzanie naczyń krwionośnych • włosy tworzące warstwę ochronną przed zmianami temperatury • warstwa tłuszczu w podskórnej tkance tłuszczowej
regulacja gospodarki wodno-mineralnej	• zwarta budowa nabłonka wielowarstwowego skóry • łój produkowany przez gruczoły łojowe • usuwanie części mocznika, nadmiaru wody i soli mineralnych wraz z potem
wydzielanie	• wydzielanie potu, łoju i mleka
odbieranie bodźców	• obecność w skórze właściwej receptorów skórnych (bólu, ciepła i zimna, dotyku, ucisku)
synteza witaminy D	• synteza witaminy D3 z pochodnych cholesterolu pod wpływem promieniowania UV
zapasowa	• magazynowanie tłuszczu w warstwie podskórnej

Wytwory naskórka

Wytwór naskórka	Budowa	Rola
włosy  	Włos składa się z łodygi zbudowanej z martwych komórek wypełnionych głównie wodą i keratyną, oraz z korzenia, który w dolnej części tworzy rozdęcie – cebulkę (opuszkę włosa). W jej zagłębieniu leży brodawka włosa z komórkami rozrodczymi odpowiadającymi za wzrost włosa. Korzeń tkwi w torebce włosa, do której uchodzi gruczoł łojowy), a pod nim przymocowany jest mięsień przywłosowy.	Chronią organizm przed przegrzaniem lub utratą ciepła.
paznokcie  	Paznokcie to rogowe czworokątne płytki osłaniające końce palców rąk i nóg. Zbudowane są głównie z białka keratyny, ułożonego warstwowo, nadającego im twardość. Paznokieć powstaje w macierzy paznokcia, składa się z płytki paznokcia, która w miejscu widocznym jako białawy półksiężyc (łękotka) przechodzi we wchodzącą w skórę część korzeniową.	Chronią końcowe odcinki palców.

Wytwór naskórka	Budowa	Rola
gruczoły potowe 	Mają postać długich, prostych cewek zwiniętych spiralnie na końcu w tzw. kłębuszek gruczołowy. W obrębie kłębuszka leżą komórki nabłonkowo-mięśniowe. Kurcząc się, powodują wydostawanie się potu (skład potu: woda 99%, NaCl 0,5%, mocznik i amoniak, kwas moczowy) do przewodu potowego, który następnie odprowadza ją do otworów potowych mieszczących się w naskórku.	Gruczoły potowe biorą udział w gospodarce wodnej organizmu, regulacji jego temperatury, chronią skórę przed wysychaniem, dostarczają pożywienia bakteriom symbiotycznym żyjącym na powierzchni skóry i produkującym kwas mlekowy (kwaśne pH skóry zapobiega rozwojowi bakterii chorobotwórczych).
gruczoły mlekowe 	To zmodyfikowane gruczoły potowe. U kobiet uaktywniają się po porodzie. U mężczyzn są silnie zredukowane i występują w postaci szczątkowej.	Przez ok. 3 dni po porodzie wydzielają tzw. siarę (wydzielinę bogatą w białko i leukocyty), a następnie produkują mleko – pokarm noworodków i niemowląt.
gruczoły łojowe 	Są pęcherzykowate, ich przewód wyprowadza do torebki włosa łój (mieszanina związków tłuszczowych, głównie kwasów tłuszczowych, cholesterolu i wosku).	Łój natłuszcza skórę i włosy, nadaje im połysk i elastyczność, chroni przed przesuszeniem i złamaniem, stanowi wodoodporną powłokę skóry, utrudnia przytwierdzanie się bakterii chorobotwórczych oraz grzybów.

Wybrane choroby skóry

Choroba	Przyczyna, objawy i leczenie
brodawki (kurzajki)	Brodawki zwane potocznie kurzajkami powstają na skutek zakażenia wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV). Objawem zakażenia są grudkowate zmiany skórne, które najczęściej lokalizują się na dłoniach i stopach. Do działań profilaktycznych zaliczamy unikanie kontaktu z osobą zarażoną, noszenie obuwia ochronnego (np. na basenie). Leczenie brodawek opiera się na ich wymrażaniu, farmakoterapii lub ich chirurgicznym usunięciu.

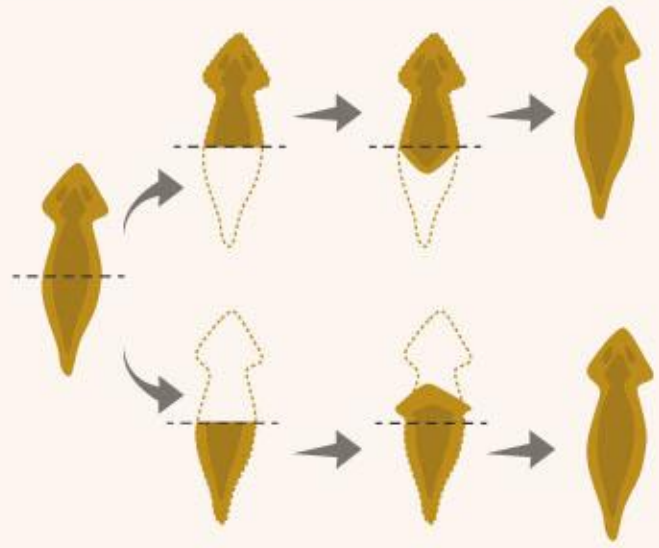
Choroba	Przyczyna, objawy i leczenie
opryszczka	Ta choroba zakaźna, wywołana przez wirusa opryszczki HSV, objawia się ropnymi pęcherzykami na wargach lub na narządach płciowych. Do zwalczania tej choroby stosuje się leki przeciwwirusowe.
grzybica	Polega na powierzchniowym zakażeniu skóry wywołanym przez grzyby. Zmiany występują najczęściej na skórze głowy lub na stopach (między palcami). Należy unikać kontaktu z zarażonymi osobami oraz dezynfekować obuwie i odzież. Leczenie polega na stosowaniu leków doustnych i preparatów zewnętrznych.
zapalenie skóry	To choroba skóry o ostrym lub przewlekłym przebiegu. Objawia się zaczerwienieniem, obrzękiem, świądem, łuszczeniem się skóry. Atopowe zapalenie skóry ma podłoże genetyczne związane z uszkodzeniem skóry, przez którą mogą przechodzić drobnoustroje czy alergeny. Kontaktowe zapalenie skóry jest wywoływane przez kontakt z czynnikami drażniącymi (np. kosmetykami) lub reakcją związaną z nadwrażliwością (np. na nikiel czy barwniki).
łuszczyca	Choroba o złożonym podłożu (genetycznym, immunologicznym i środowiskowym). Polega na szybkim wzroście komórek naskórka głębszych warstw, co uniemożliwia pełne dojrzewanie górnych warstw. Skóra jest błyszcząca i łuszczy się, może dochodzić do krwawień. Łuszczyca najczęściej pojawia się na łokciach, kolanach, skórze głowy.
trądzik	Zazwyczaj pojawia się w okresie młodzieńczym (częściej u chłopców) i ma związek ze wzmożoną produkcją hormonów. Charakterystyczne krosty powstają w wyniku blokowania gruczołów łojowych i ich zakażenia. Trądzik najczęściej pojawia się na twarzy, klatce piersiowej i plecach.

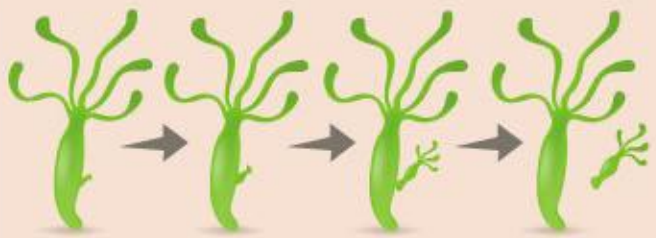
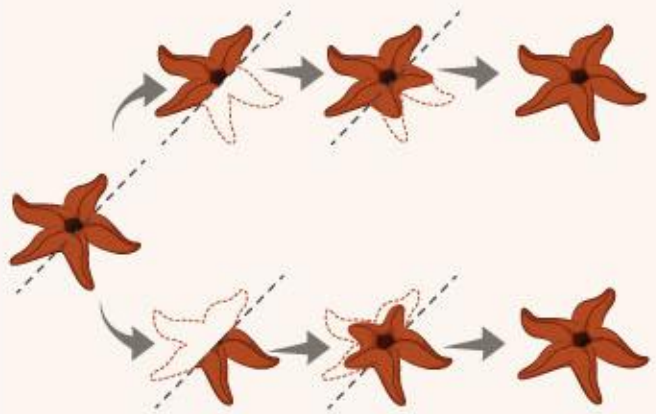
8.21. Rozmnażanie się zwierząt

Strategie rozrodcze zwierząt

Rodzaje rozmnażania	
bezpłciowe	płciowe

Typy rozmnażania bezpłciowego zwierząt

Typ rozmnażania bezpłciowego	Opis	Przykład organizmów, u których występuje
podział organizmu rodzicielskiego	Podział osobnika rodzicielskiego na dwa osobniki potomne o zbliżonej wielkości. Podział może być poprzeczny (np. u wirków, których ciało rozdziela się na odcinek głowowy i ogonowy, a każda część regeneruje brakującą część) lub podłużny (np. u wiciowców).	wirki, pierścienice, polipy koralowe 

Typ rozmnażania bezpłciowego	Opis	Przykład organizmów, u których występuje
pączkowanie	Polega na oddzieleniu się małego fragmentu ciała (tzw. pączka) od osobnika rodzicielskiego. Z pączka rozwija się nowy osobnik. Zdarza się, że pączek nie oddziela się od organizmu macierzystego i tworzy wraz z nim kolonię.	gąbki, koralowce, parzydełkowce (np. stułbia) 
fragmentacja	Następuje przez rozpad ciała osobnika macierzystego na fragmenty, z których powstają nowe osobniki. Występuje u zwierząt zdolnych do regeneracji części ciała.	płazińce, pierścienice, rozgwiazdy 
partenogeneza (dzieworództwo)	Z niezapłodnionej komórki jajowej rozwija się dorosły, haploidalny osobnik. Niektóre gatunki rozmnażają się wyłącznie partenogenetycznie (partenogeneza stała), inne naprzemiennie z rozmnażaniem płciowym (partenogeneza cykliczna). U niektórych owadów występuje w cyklu rozwojowym w stadium larwalnym. Partenogeneza jest sposobem na znaczne zwiększenie w krótkim czasie liczebności populacji.	owady (pszczoły, osy, mrówki), skorupiaki, nicienie, ślimaki, niektóre ryby (np. rekiny), płazy i gady (np. waran z Komodo) 

Rodzaje zapłodnienia

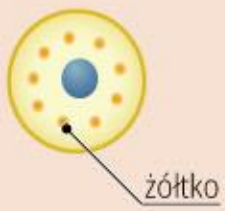
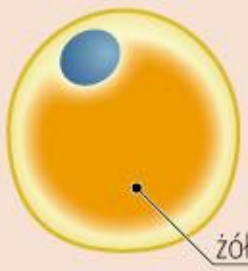
Zapłodnienie zewnętrzne	Zapłodnienie wewnętrzne
Zachodzi w środowisku wodnym i polega na połączeniu się gamet poza organizmem macierzystym. Najczęściej samiec i samica uwalniają do wody duże ilości jaj i plemników, z których część połączy się w zygotę, inne natomiast zginą lub zostaną zjedzone przez drapieżniki. Aby zwiększyć szanse zapłodnienia, osobniki obu płci gromadzą się w tym samym czasie w wodzie, co nazywamy tarłem. U innych sygnałem do uwolnienia gamet są temperatura, długość dnia czy cykl księżycowy. Występuje u zwierząt wodnych: większości bezkręgowców, ryb i płazów.	Samiec w akcie płciowym (kopulacji) wprowadza nasienie bezpośrednio do organizmu samicy. Budowa narządów rozrodczych samicy umożliwia magazynowanie, przemieszczanie się plemników i dotarcie ich do komórki jajowej. Zapłodnienie ma miejsce wewnątrz organizmu. Zarodek w trakcie rozwoju ma zapewnioną ochronę przed utratą wody i wpływem czynników zewnętrznych. Występuje u zwierząt lądowych: gadów, ptaków, ssaków, a także u niektórych zwierząt wodnych (np. rekinów).

Formy rozrodu płciowego zwierząt

Ze względu na sposób, w jaki potomstwo opuszcza ciało samicy, oraz źródło substancji pokarmowych pobieranych przez rozwijający się zarodek zwierzęta dzielimy na **jajorodne, jajożyworodne i żyworodne**.

Porównanie			
	Jajorodność	**Jajożyworodność**	**Żyworodność**
miejsce rozwoju zarodka	zarodek w jaju, poza ciałem samicy; autonomicznie	zarodek w jaju, w drogach rodnych samicy, autonomicznie	zarodek w drogach rodnych samicy, w ścisłym połączeniu z jej organizmem
odżywianie zarodka	tylko przez żółtko	tylko przez żółtko	substancje odżywcze pochodzą od matki i są przekazywane np. przez łożysko
opuszczanie osłon jajowych	wykluwanie młodych po określonym czasie od złożenia jaj	przed, w trakcie lub po złożeniu jaj przez samicę	w czasie porodu młode opuszczają ciało samicy bez osłon
przykłady występowania	bezkręgowce, ryby, płazy, gady, ptaki, stekowce (ssaki)	niektóre nicienie, owady, ryby, gady	niektóre ryby (np. rekiny), większość ssaków (torbacze i łożyskowce)

Rodzaje jaj ze względu na zawartość żółtka

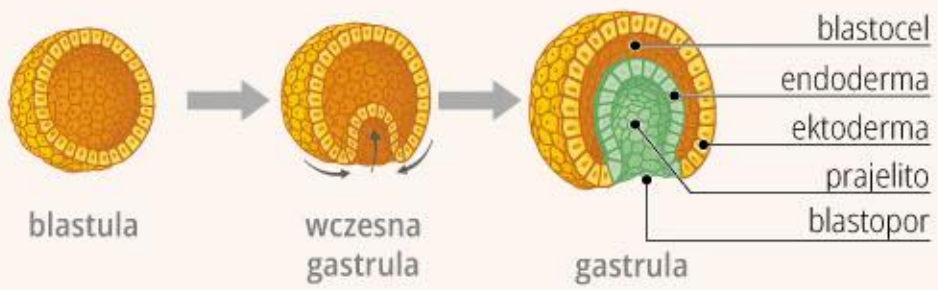
Rodzaje jaj		
oligolecytalne i alecytalne	**mezolecytalne**	**polilecytalne**
Jaja ubogie w żółtko. Mała ilość żółtka, które odżywia młode tylko w początkowych etapach rozwoju.	Jaja zawierające średnią ilość żółtka. Występują np. u płazów.	Jaja o dużej zawartości żółtka, które odżywia zarodek aż do wylęgu. Występują u gadów i ptaków.
jaja alecytalne i oligolecytalne 	jaja mezolecytalne 	jaja polilecytalne 

Ontogeneza zwierząt

Ontogeneza (rozwój osobniczy) to rozwój organizmu od zapłodnienia aż do jego śmierci. W rozmnażaniu bezpłciowym na rozwój osobniczy składają się procesy morfogenezy i wzrostu. W rozmnażaniu płciowym na ontogenezę składa się **okres zarodkowy (embriogeneza)** oraz **okres pozazarodkowy**.

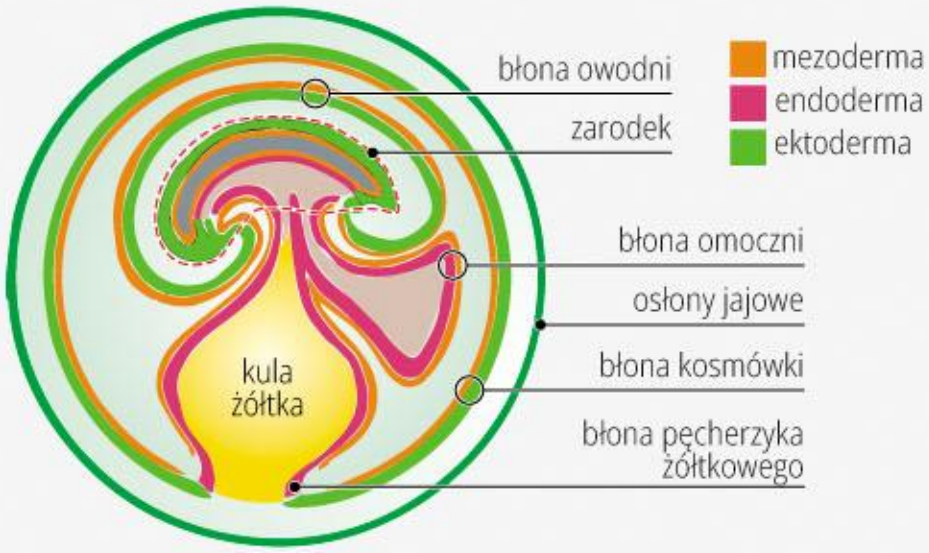
Etapy rozwoju zarodkowego

Etap rozwoju zarodkowego	Charakterystyka
zapłodnienie	W trakcie zapłodnienia plemnik styka się z jajem, wnika do jego wnętrza i pobudza go do rozwoju (m.in. aktywuje enzymy, syntezę białek, wzmaga oddychanie tlenowe). Jądro plemnika po przekształceniu się w przedjądrze męskie łączy się z jądrem jaja, czyli przedjądrzem żeńskim i powstaje diploidalna zygota. Przed rozpoczęciem pierwszego podziału zygoty następuje synteza DNA.  zapłodnione jajo

Etap rozwoju zarodkowego	Charakterystyka
bruzdkowanie	Seria podziałów mitotycznych zygoty bez wzrostu komórek. Najpierw powstają dwie komórki potomne (blastomery), które następnie dzielą się, zwiększają liczbę komórek, aż do powstania stadium liczącego 32 komórki, zwanego morulą. Podwojenie liczby komórek prowadzi do wytworzenia blastuli, we wnętrzu której znajduje się jama wypełniona płynem, czyli blastocel. Rodzaj bruzdkowania zależy od ilości i rozmieszczenia żółtka w jaju. Wyróżniamy bruzdkowanie całkowite (promieniste lub spiralne) oraz częściowe. Bruzdkowanie całkowite zachodzi w jajach oligolecytlanych z małą, równomiernie rozmieszczoną ilością żółtka. Bruzdkowanie częściowe zachodzi w jajach, w których żółtko jest zlokalizowane na jednym z biegunów jaja. Podziały w obrębie takiego jaja zachodzą tylko w obszarze tarczy zarodkowej, małego fragmentu cytoplazmy jaja na jednym z jej biegunów. 
gastrulacja	Proces przekształcania się komórek zarodka w trzywarstwową gastrulę. Warstwy – nazywane listkami zarodkowymi – obejmują: ektodermę (zewnętrzną), mezodermę (środkową) oraz endodermę (wewnętrzną). Każdy listek zarodkowy daje początek określonym częściom zarodka. 
organogeneza	Jest procesem formowania się narządów. Z komórek ektodermy tworzą się naskórek, układ nerwowy, narządy zmysłów i przysadka. Z endodermy powstaje nabłonek wyścielający jelito, wątroba, trzustka, płuca. Komórki mezodermy dają początek szkieletowi, mięśniom, układowi krążenia, wydalniczemu i rozrodczemu. U kręgowców pierwszymi narządami są struna grzbietowa, mózg i rdzeń kręgowy.

Błony płodowe zarodka u kręgowców lądowych

Błony płodowe (owodnia, omocznia, kosmówka i worek żółtkowy) występują u kręgowców lądowych (owodniowców: gadów, ptaków i ssaków). Powstają z listków zarodkowych. Stanowią ochronę rozwijającego się zarodka, przekazują substancje odżywcze i tlen od matki, biorą udział w usuwaniu zbędnych produktów metabolizmu i zapobiegają odwodnieniu zarodka.



Błona płodowa	Budowa (listki zarodkowe)	Funkcja
owodnia	ektoderma i mezoderma	chroni i tworzy środowisko rozwoju zarodka
kosmówka	ektoderma i mezoderma	ochrona całego jaja, wymiana gazowa
omocznia	endoderma i mezoderma	gromadzi produkty przemiany materii, odzyskuje wodę z moczu
woreczek żółtkowy	endoderma i mezoderma	pobiera substancje odżywcze z żółtka, odżywiając zarodek

Rodzaje rozwoju w okresie pozazarodkowym

Rodzaje rozwoju pozazarodkowego	
Rozwój prosty (bezpośredni)	**Rozwój złożony**
Forma młodociana przypomina wyglądem postać dorosłą, ale ma mniejsze rozmiary i jest niezdolna do rozrodu. Zasadnicze zakończenie organogenezy ma miejsce przed opuszczeniem jaja (zwierzęta jajorodne) lub przed porodem (zwierzęta żyworodne). Występuje u ssaków, ptaków, gadów, ślimaków lądowych, licznych pajęczaków i części skorupiaków.	Rozwój przebiega przynajmniej z jednym stadium larwalnym. Forma młodociana (larwa) wyraźnie różni się od postaci dorosłej – ma inną budowę, sposób odżywiania, często żyje w innym środowisku i jest niezdolna do rozrodu. Larwy podlegają przeobrażeniu (metamorfozie). Występuje u większości owadów, płazów i niektórych ryb.

8.22. Budowa i funkcje układu rozrodczego człowieka

Budowa i funkcje układu rozrodczego

Układ rozrodczy umożliwia rozmnażanie płciowe, które prowadzi do wydania potomstwa, a przez to zachowania ciągłości gatunku. Do podstawowych funkcji układu rozrodczego należą:

- produkcja i przechowywanie **gamet** męskich (plemników) i żeńskich (komórek jajowych);
- wytwarzanie **hormonów płciowych;**
- umożliwienie zajścia aktu płciowego;
- zapewnienie warunków do zapłodnienia, rozwoju i wydania potomstwa.

Cechy płciowe człowieka		
	pierwszorzędowe	**drugorzędowe**
męskie	jądra, drogi wyprowadzające plemniki, narządy płciowe zewnętrzne	kształt i budowa sylwetki, owłosienie ciała i zarost na twarzy, wąskie biodra, niski głos
żeńskie	jajniki, jajowody, macica, pochwa, narządy płciowe zewnętrzne	rozwinięte gruczoły mlekowe, szerokie biodra, wąskie ramiona, wysoki głos

Układ rozrodczy męski

Układ rozrodczy męski tworzą narządy płciowe zewnętrzne i wewnętrzne.

Narządy układu rozrodczego męskiego	
zewnętrzne	**wewnętrzne**
moszna, prącie	jądra, najądrza, nasieniowody, przewód wytryskowy, cewka moczowa, gruczoły dodatkowe (krokowy, opuszkowo-cewkowe i pęcherzyki nasienne)

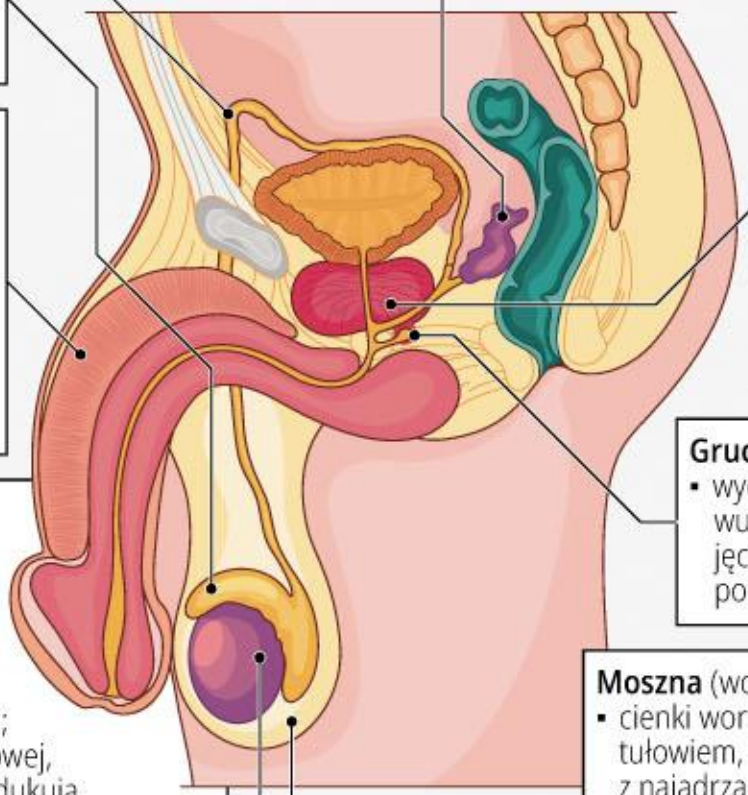
Nasieniowody
- wyprowadzają nasienie do cewki moczowej.

Najądrza
- w nich odbywa się dojrzewanie i magazynowanie dojrzałych plemników.

Prącie (penis)
- narząd kopulacyjny umożliwiający wprowadzenie nasienia do dróg rodnych kobiety;
- to także końcowy odcinek dróg moczowych (wyprowadzanie moczu z pęcherza moczowego).

Jądra
- parzyste gruczoły płciowe męskie, wewnątrz których znajdują się płaciki wypełnione cewkami nasiennymi (kanalikami nasiennymi) oraz tkanką śródmiąższową;
- komórki tkanki śródmiąższowej, tzw. **komórki Leidiga**, produkują hormony płciowe: androsteron i testosteron;
- kanaliki nasienne wyścielone są nabłonkiem plemnikotwórczym, którego większa część komórek przekształca się w plemniki, a pozostałe, tzw. komórki Sertoliego, produkują substancje odżywcze dla komórek plemnikotwórczych.

Pęcherzyki nasienne
- wydzielają białawą substancję, która zawiera dużo białek (globulin), enzymy (zobojętniają kwaśne środowisko, jakie panuje w cewce moczowej i drogach rodnych kobiety) oraz cukier – fruktozę, będący źródłem energii dla poruszających się plemników.



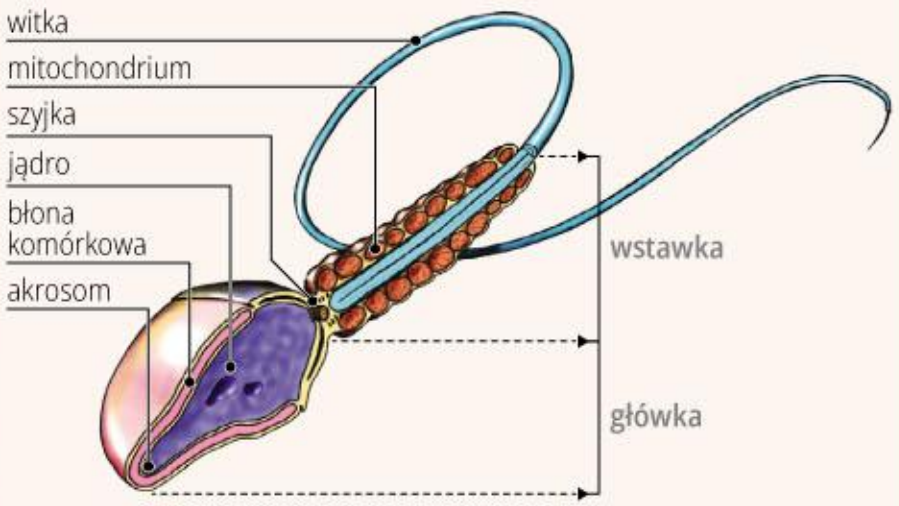
Gruczoł krokowy
(stercz, prostata)
- wytwarza specjalną białawą i mętną wydzielinę stanowiącą do 30% zawartości nasienia, która umożliwia ruch plemników oraz zobojętnia kwaśne środowisko wewnątrz pochwy.

Gruczoły opuszkowo-cewkowe
- wydzielają śluz, który przygotowuje cewkę moczową do przyjęcia nasienia i nawilża prącie podczas stosunku płciowego.

Moszna (worek mosznowy)
- cienki worek skórny umieszczony poza tułowiem, w którym znajdują się jądra z najądrzami;
- tutaj biorą początek nasieniowody;
- moszna uczestniczy w regulacji temperatury jąder (temperatura optymalna dla produkcji i dojrzewania plemników jest niższa od temperatury ciała o ok. 2°C).

Budowa plemnika

Plemnik ma ok. 60 mikrometrów długości. Składa się z główki, wstawki i witki.

Budowa plemnika		
główka	Zawiera niewielką ilość cytoplazmy, haploidalne jądro komórkowe oraz akrosom.	
akrosom	Powstaje ze zlania się pęcherzyków aparatu Golgiego. Zawiera wiele enzymów, które umożliwiają penetrację osłon jajowych i dostanie się plemnika do wnętrza oocytu.	
witka	Umożliwia ruch plemnika. Zbudowana z mikrotubul położonych obwodowo i centralnie.	
wstawka	Zawiera liczne mitochondria, które produkują energię niezbędną do poruszania się plemnika.	

Nasienie

Nasienie jest gęstym, lepkim płynem o mlecznym zabarwieniu. Nasienie w trakcie wytrysku (ejakulacji) jest wyprowadzane na zewnątrz przez ujście cewki moczowej.

Składnik	Pochodzenie	Funkcja
plemniki	kanaliki nasienne	gamety męskie
śluz	gruczoły opuszkowo-cewkowe	nawilżanie
woda	wszystkie gruczoły pomocnicze	nośnik
substancje odżywcze (np. fruktoza, karnityna, kwas cytrynowy)	pęcherzyki nasienne, stercz, najądrze	odżywianie plemników
enzymy	pęcherzyki nasienne, stercz	upłynnianie nasienia

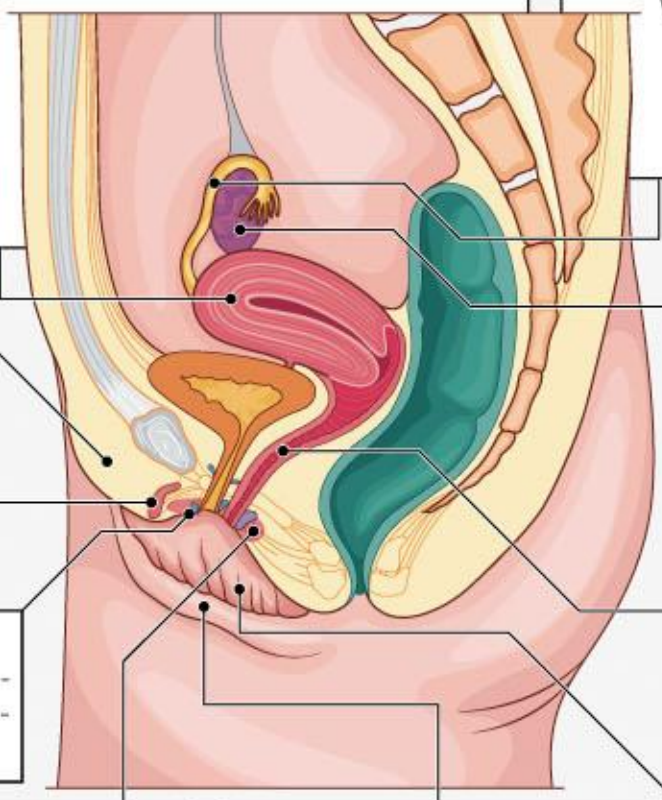
Układ rozrodczy żeński

Układ rozrodczy żeński tworzą **narządy płciowe zewnętrzne i wewnętrzne**.

Narządy układu rozrodczego żeńskiego	
zewnętrzne (srom)	**wewnętrzne**
wzgórek łonowy, wargi sromowe, łechtaczka	pochwa, macica, jajniki, jajowody

Macica
- narząd mięśniowy, którego głównym zadaniem jest przyjęcie zarodka, stworzenie należytych warunków do rozwoju i opuszczenia przez płód ustroju matki;
- trzon macicy rozszerza się ku górze i łączy się po bokach z jajowodami;
- wysklepiona część macicy leżąca między ujściami jajowodów nosi nazwę dna macicy;
- ku dołowi trzon się zwęża, przechodząc w szyjkę macicy, która objęta jest górną częścią pochwy;
- wewnętrzną część macicy stanowi błona śluzowa (endometrium), której struktura ulega ciągłym, cyklicznym przemianom w czasie cyklu menstruacyjnego.

Jajowody
- wychwytują komórki jajowe wydalone przez jajniki i transportują je do bańki jajowodu;
- wspomagają wędrówkę plemników do macicy oraz żeńskich komórek rozrodczych wzdłuż jajowodu;
- górny odcinek jajowodu stanowi miejsce, w którym dochodzi do zapłodnienia;
- wydzielina komórek gruczołowych nabłonka ścian jajowodów odżywia zarodek podczas jego wędrówki do macicy.



Wzgórek łonowy
- ochrania spojenie łonowe.

Jajniki
- odpowiadają za wytwarzanie komórek rozrodczych;
- produkują hormony płciowe: estrogeny i progesteron.

Łechtaczka
- stanowi ośrodek pobudzenia płciowego (odpowiednik prącia u mężczyzn).

Pochwa
- elastyczny kanał łączący ujście macicy z zewnętrznymi narządami płciowymi (przedsionkiem pochwy);
- narząd kopulacyjny;
- kanał porodowy;
- droga ujścia dla krwawienia miesiączkowego.

Gruczoły przedsionkowe
- wydzielają śluz do pochwy (odpowiednik gruczołów opuszkowo-cewkowych u mężczyzn).

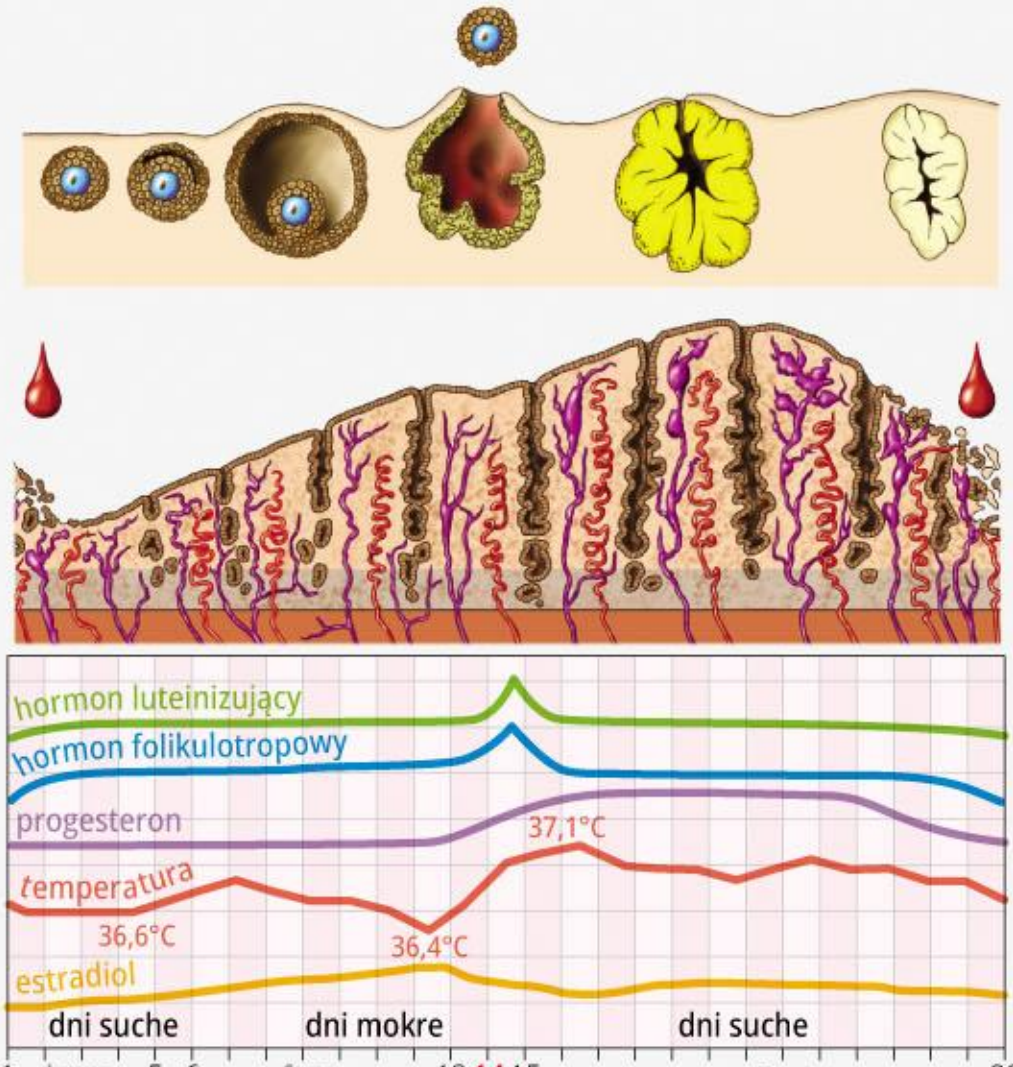
Opuszki przedsionka
- są utworzone z gęsto splecionych naczyń żylnych (odpowiednik ciała gąbczastego prącia).

Wargi sromowe większe
- ograniczają szparę sromową (odpowiednik moszny u mężczyzn).

Wargi sromowe mniejsze
- ograniczają przedsionek pochwy i ujście cewki moczowej.

Cykl miesiączkowy

Cykl miesiączkowy (**menstruacyjny**) u kobiet to seria złożonych, cyklicznych, regulowanych hormonalnie przemian zachodzących jednocześnie w ścianach macicy (**cykl maciczny**) oraz w jajnikach (**cykl jajnikowy**). Cykl maciczny jest uzależniony od hormonów wydzielanych przez jajnik, które wpływają na grubość błony śluzowej macicy oraz właściwości fizjologiczne.



Cykl maciczny

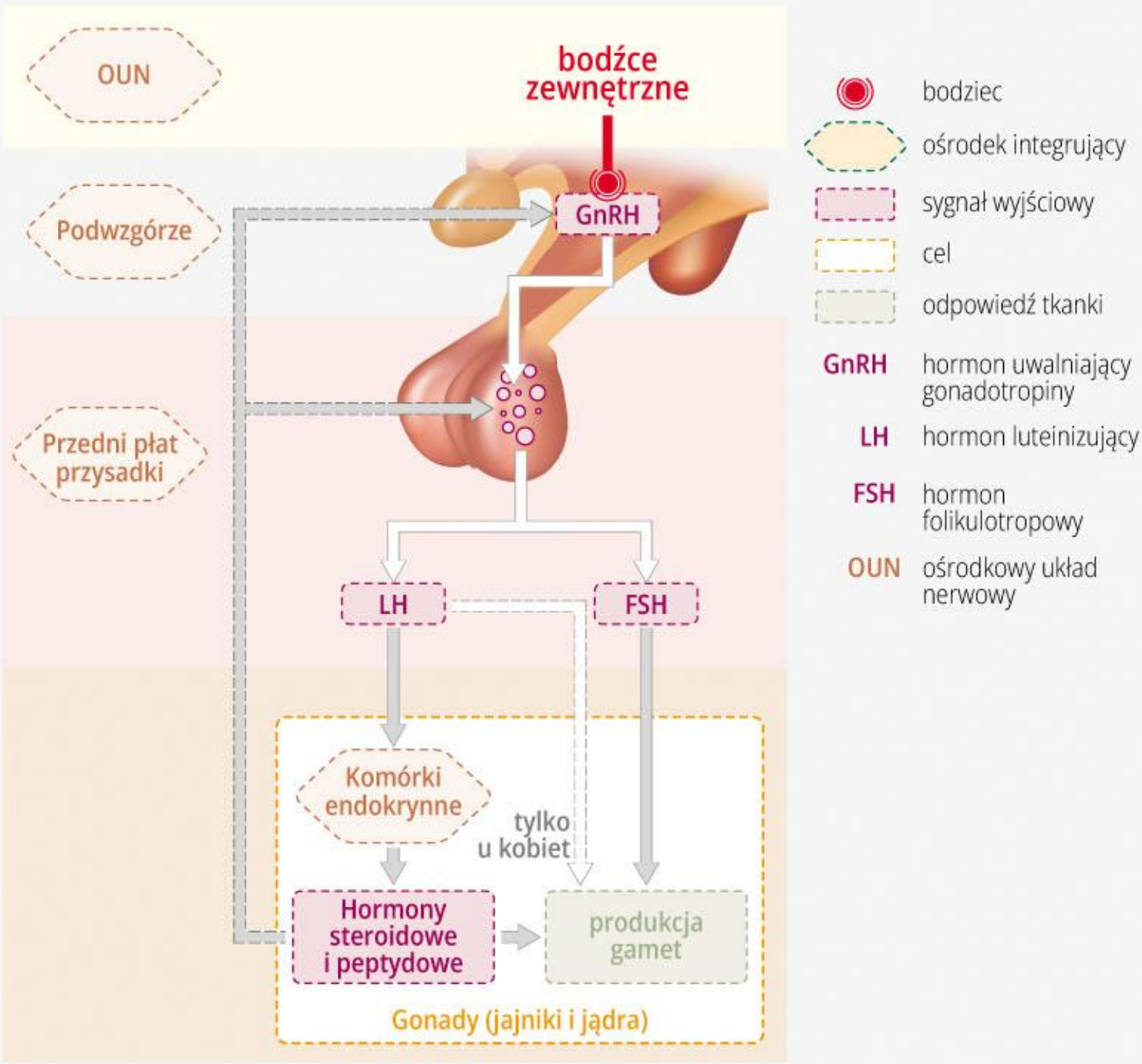
1.–5. dzień	6.–14. dzień	15.–28. dzień
Faza miesiączkowa	Faza odbudowy	Faza wydzielnicza
Krwawienie miesiączkowe (menstruacja) będąca efektem złuszczania się powierzchniowej warstwy błony śluzowej.	Odtworzenie błony śluzowej; błona śluzowa rozrasta się, ulega pogrubieniu i ukrwieniu. Kończy się owulacją.	Błona śluzowa ulega dalszemu pogrubieniu, gruczoły maciczne produkują wodnisty śluz. Macica jest gotowa na przyjęcie zapłodnionej komórki jajowej. Jeśli nie dojdzie do zapłodnienia, błona śluzowa zaczyna się ponownie złuszczać i cykl się powtarza.

Cykl jajnikowy i regulacja hormonalna cyklu płciowego

Cykl płciowy jest kontrolowany przez oś podwzgórze–przysadka–jajniki. Przedni płat przysadki wydziela hormony gonadotropowe: **hormon folikulotropowy** (FSH) oraz **hormon lutenizujący** (LH), które regulują pracę jajników. Hormony wydzielane przez jajniki – estrogeny i progesteron – wpływają na zmiany zachodzące w obrębie błony śluzowej macicy.

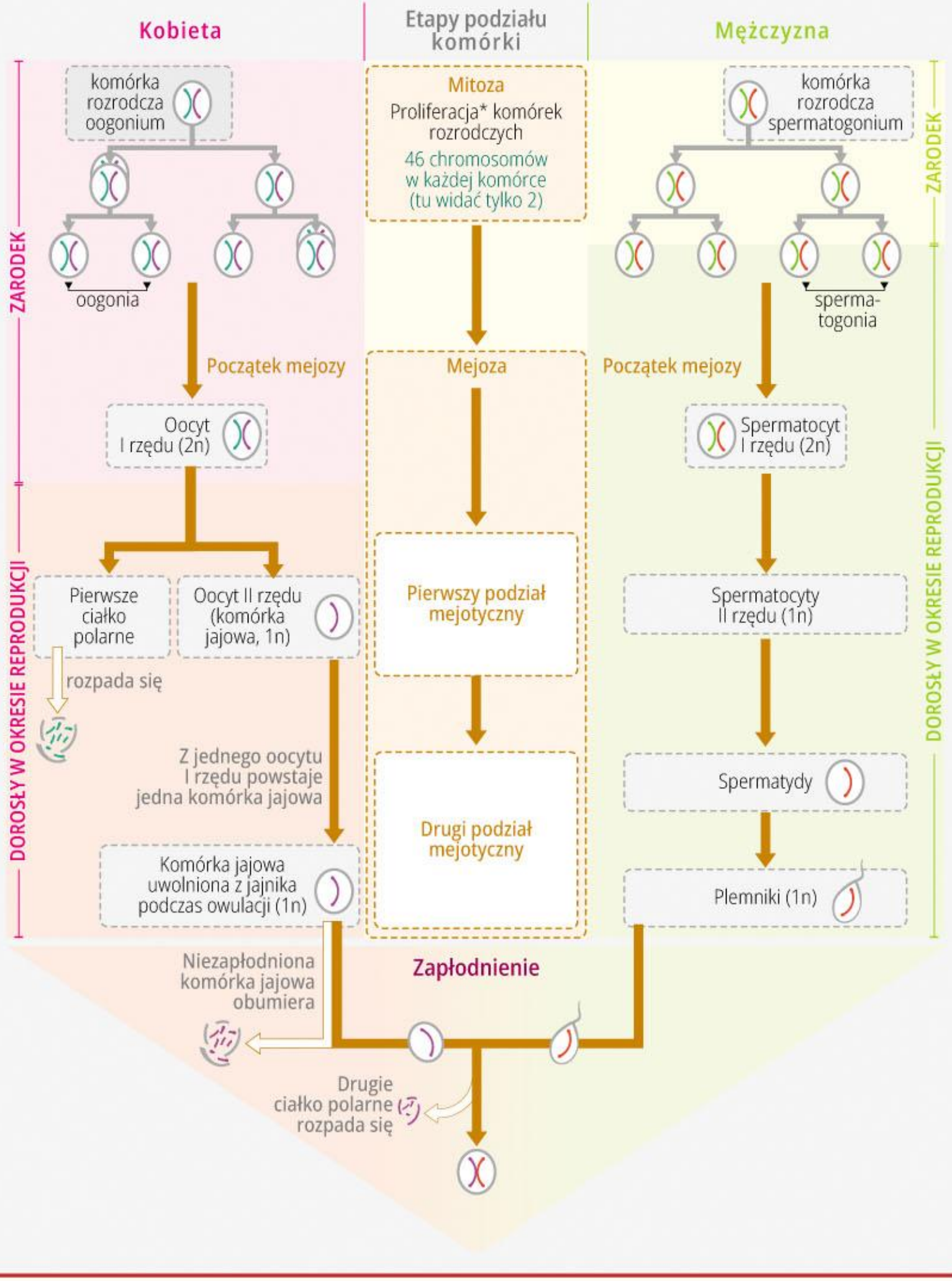
Etapy cyklu jajnikowego

1.–13. dzień	14. dzień	15.–28. dzień
Faza folikularna	Faza owulacji	Faza lutealna
Obejmuje rozwój i dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego po krwawieniu miesiączkowym.	Pęknięcie pęcherzyka jajnikowego i uwolnienie komórki jajowej (oocytu II rzędu).	Pęcherzyk jajnikowy przekształca się w ciałko żółte, a jeśli nie dochodzi do zapłodnienia – w ciałko białawe.
Wzrost poziomu hormonu folikulotropowego (FSH), pęcherzyk jajnikowy wytwarza estrogeny (głównie estradiol).	Faza ta charakteryzuje się maksymalnym stężeniem hormonu folikulotropowego i hormonu luteinizującego (LH).	Spadek stężenia hormonów: FSH i LH. Ciałko żółte wytwarza progesteron. Jeśli do zapłodnienia nie dochodzi – poziom progesteronu spada.



Gametogeneza

Gametogeneza to proces produkcji gamet. Proces powstawania plemników to **spermatogeneza**, która zachodzi w nabłonku kanalików plemnikotwórczych. **Oogeneza** to proces powstawania i dojrzewania komórek jajowych.



Metody antykoncepcji

Antykoncepcja obejmuje metody kontroli urodzeń.

Metody antykoncepcji		
naturalne	**barierowe**	**hormonalne**
• obserwacja konsystencji i lepkości śluzu macicznego (metoda Billingsów) • pomiar zmian temperatury ciała w czasie całego cyklu i wyznaczanie na ich podstawie dni płodnych	• stosowanie chemicznych lub fizycznych barier uniemożliwiających zapłodnienie: prezerwatyw, środków plemnikobójczych, wkładek wewnątrzmacicznych	• przyjmowanie środków hormonalnych w postaci tabletek, zastrzyków, plastrów, krążków dopochwowych • tabelki antykoncepcyjne hamują wydzielanie hormonów przysadkowych, co skutkuje zatrzymaniem owulacji i zmianą właściwości śluzu macicznego

Rozwój człowieka

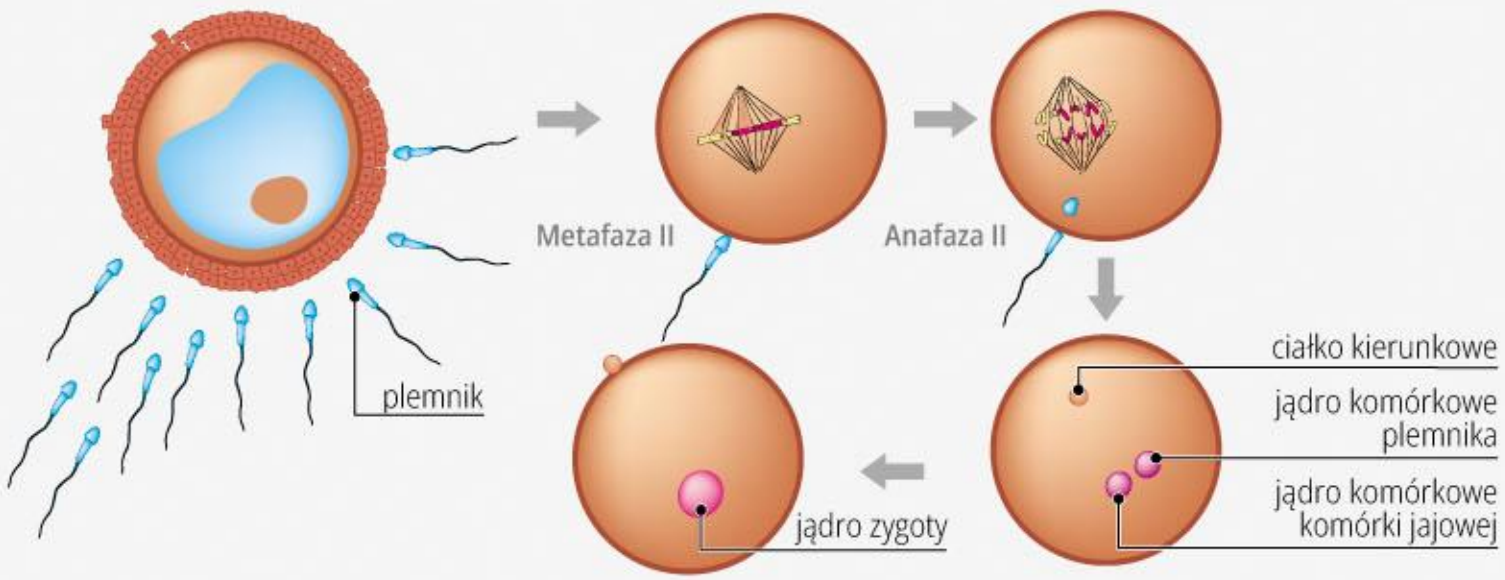
Rozwój człowieka (**ontogeneza**) obejmuje wszystkie procesy i etapy zachodzące od zapłodnienia aż do śmierci organizmu.

Rozwój osobniczy człowieka	
prenatalny	**postnatalny**
okres od poczęcia do narodzin	okres od narodzin do śmierci

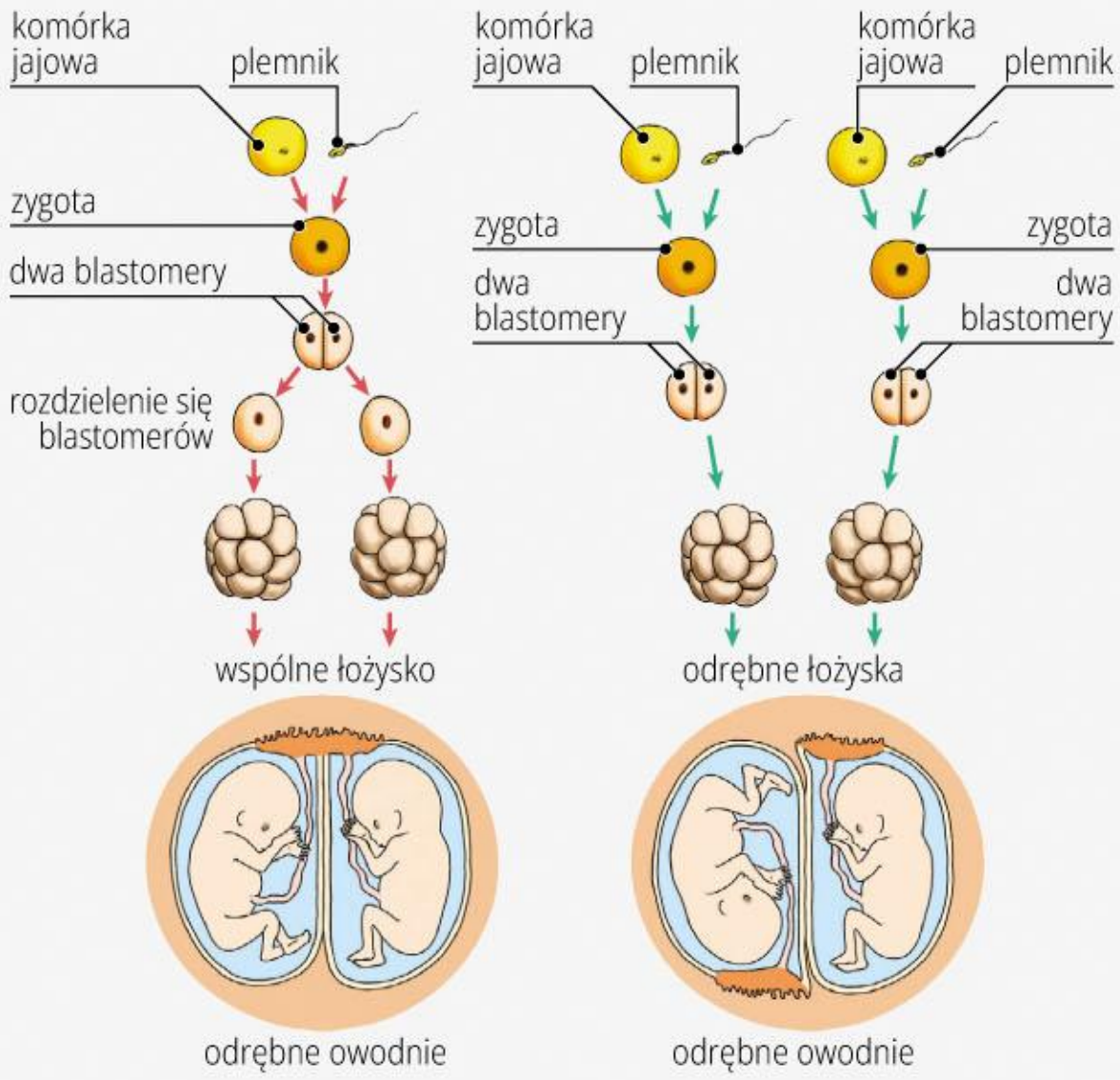
Zapłodnienie

Zapłodnienie zachodzi w jajowodzie i polega na połączeniu się plemnika z komórką jajową, które prowadzi do powstania zygoty. Obejmuje następujące zdarzenia:

- kontakt plemnika z komórką jajową prowadzi do uwolnienia enzymów rozpuszczających jej osłonkę;
- po wniknięciu plemnika do wnętrza komórki jajowej zachodzi reakcja korowa – czyli zmiany w błonie komórki jajowej uniemożliwiające wnikanie innym plemnikom;
- oocyt II rzędu kończy II podział mejotyczny;
- plemnik łączy się z oocytem II rzędu i powstaje zygota, która zaczyna się dzielić mitotycznie.



Bliźnięta jednojajowe i dwujajowe



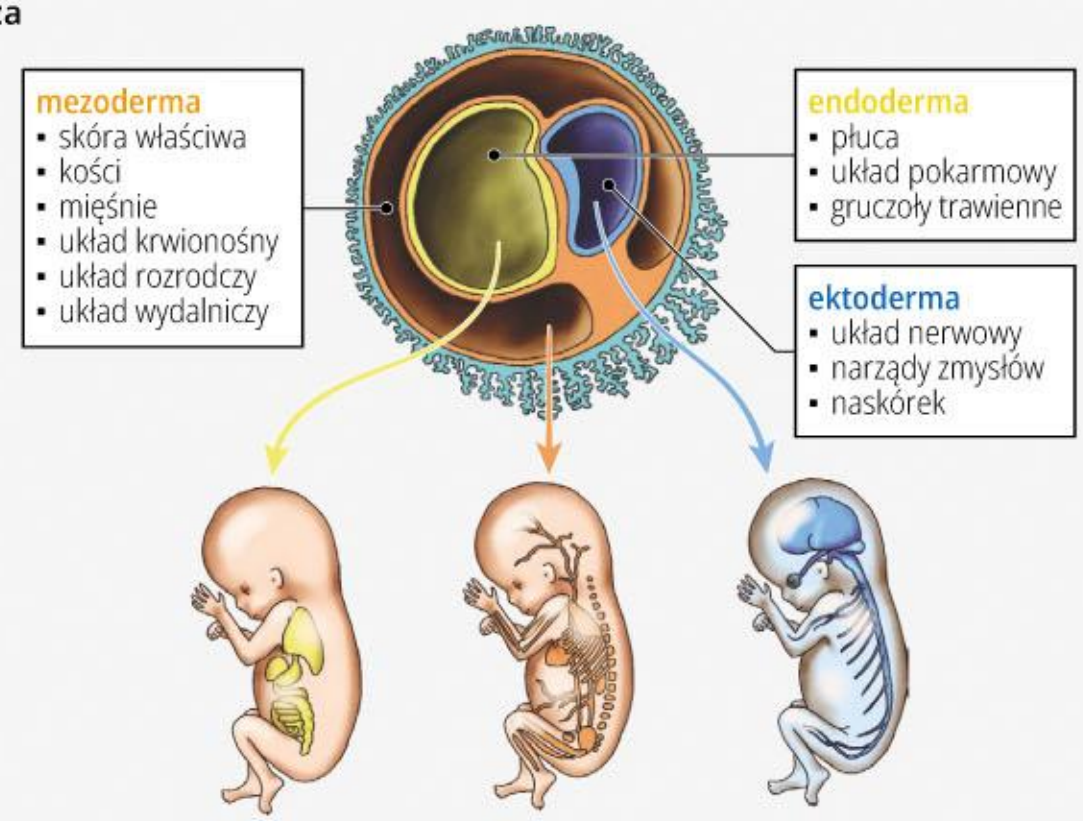
Rozwój prenatalny

Rozwój prenatalny	
Okres zarodkowy	**Okres płodowy**
Rozwój od powstawania zygoty do momentu wykształcenia się wszystkich zawiązków narządów. Trwa pierwsze 8 tygodni ciąży.	Okres od wykształcenia się zawiązków narządów do porodu. Trwa od ok. 9. tygodnia do 38.–40. tygodnia ciąży (do porodu).

Etapy okres zarodkowego

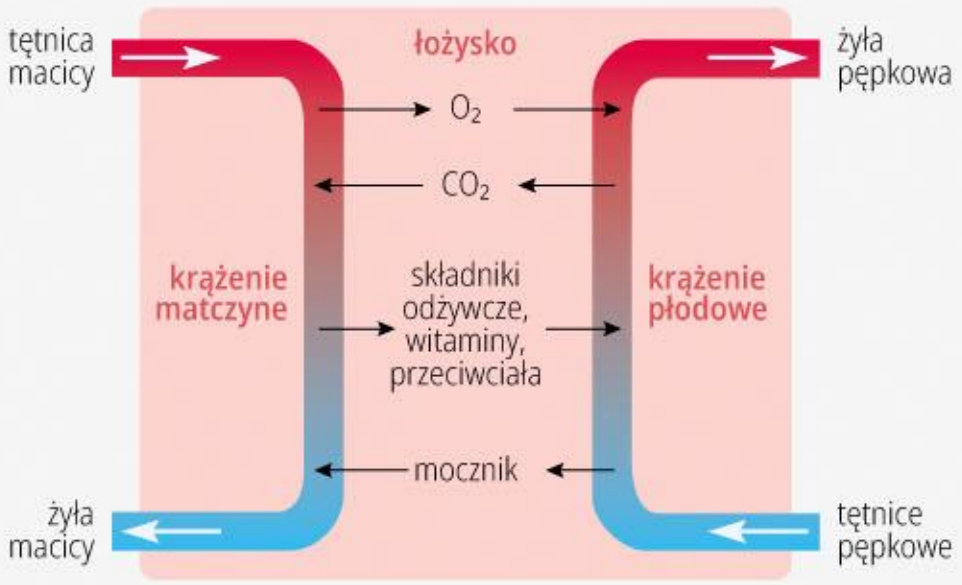
Etap	Charakterystyka
bruzdkowanie	Podział i różnicowanie się komórek w stadium zwane blastocystą. Zewnętrzna warstwa komórek tworzy trofoblast, który zawiera grupę komórek zwaną węzłem zarodkowym. Z trofoblastu rozwijają się błony płodowe, a z węzła zarodkowego – zarodek. Zarodek w stadium blastocysty zagnieżdża się w błonie śluzowej macicy.
gastrulacja	Rozwój pierwotnych tkanek: ektodermy, mezodermy i endodermy, które dają początek narządom pierwotnym (np. strunie grzbietowej czy cewie nerwowej).
organogeneza	Formowanie narządów ostatecznych (np. kręgosłupa, rdzenia kręgowego).

Organogeneza



Łożysko

Łożysko składa się z części matczynej (część błony śluzowej macicy) oraz płodowej (kosmówka). Łożysko łączy się z płodem za pomocą **sznura pępowinowego**. Krwiobiegi matki i płodu są oddzielone błoną, tzw. **barierą łożyskową**, przez którą transportowane są substancje: doprowadzane składniki odżywcze, tlen, przeciwciała dla zarodka, a odprowadzane produkty przemiany materii (np. mocznik i dwutlenek węgla). Przez barierę łożyskową mogą przenikać także substancje trujące (np. nikotyna, alkohol, drobnoustroje). Łożysko pełni także funkcję gruczołu dokrewnego; wydziela m.in. ludzką gonadotropinę kosmówkową (hCG), progesteron czy estrogeny. Łożysko wraz z błonami płodowymi jest wydalane w czasie porodu.



Hormony łożyskowe

Hormon	Charakterystyka
gonadotropina kosmówkowa (hCG)	Zapobiega (do 4. miesiąca ciąży) zanikowi ciałka żółtego ciążowego, które jest źródłem progesteronu. U płodów płci męskiej stymuluje jądra do wydzielania testosteronu. Zwiększa wydzielanie hormonów tarczycy. Zapobiega odrzucaniu płodu przez organizm matki.
somatotropina kosmówkowa (hCS)	Przyspiesza rozkład tłuszczów i ogranicza zużycie glukozy przez matkę, przez co zapewnia dostarczenie odpowiedniej ilości składników odżywczych dla płodu. Pobudza gruczoły mlekowe do wydzielania mleka.
progesteron	Wydzielany przez łożysko (od 4. miesiąca ciąży) i warunkuje utrzymacie ciąży; hamuje skurcze macicy, zapobiegając przedwczesnemu porodowi. Pobudza gruczoły mlekowe do laktacji.
estrogeny	Utrzymują aktywność fizjologiczną błony śluzowej macicy. Regulują syntezę progesteronu oraz zwiększają wrażliwość macicy na oksytocynę.
relaksyna	Hamuje skurcze macicy oraz rozluźnia więzadło macicy w czasie porodu.

Błony płodowe

Owodnia – cienka błona otaczająca zarodek, której jama jest wypełniona płynem owodniowym (wodami płodowymi). Wody płodowe umożliwiają ruchy płodu, amortyzują wstrząsy i chronią rozwijający się zarodek przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi.

Kosmówka – najbardziej zewnętrzna błona otaczająca zarodek. Wytwarza kosmki, które w początkowym okresie w całości pośredniczą w wymianie substancji pomiędzy płodem a matką. W późniejszym okresie wnikają w błonę śluzową macicy i tworzą wraz z nią łożysko.

Omocznia – wykształca się jako ostatnia; na wczesnym etapie rozwoju jest krótkim, ślepo zakończonym pasmem komórek nabłonkowych, potem zrasta się z kosmówką. W ścianie omoczni powstają naczynia krwionośne, które dają początek dwóm tętnicom pępkowym i żyle pępkowej sznura pępowinowego.

Poród

Poród oznacza zakończenie rozwoju prenatalnego i następuje zwykle w 38.–40. tygodniu ciąży. Akcję porodową rozpoczynają regularne skurcze macicy (tzw. bóle porodowe) wywoływane przez hormon przysadkowy – **oksytocynę**. Poród obejmuje trzy fazy:

Faza I – od pojawienia się skurczów do pełnego rozwarcia szyjki macicy; płód przemieszcza się w kierunku szyjki macicy.

Faza II – poród właściwy, czyli pęknięcie owodni i odejście wód płodowych, silne skurcze macicy i mięśni brzucha przesuwają dziecko przez szyjkę macicy na zewnątrz.

Faza III – wydalenie łożyska i błon płodowych.

Wpływ czynników środowiskowych na rozwój prenatalny

Czynniki	Przykład	Skutek
chemiczne	niska podaż substancji odżywczych, głównie białek i witamin (niedożywienie)	Następuje zahamowanie wzrostu, występuje mniejsza ilość komórek nerwowych, niedorozwój układu nerwowego, rozszczep kręgosłupa (niedobór kwasu foliowego), niska masa urodzeniowa.
	leki, nadmiar witamin	Kobiety w ciąży powinny stosować suplementy diety tylko w zalecanych dawkach. Konieczność przyjmowania lekarstw musi stwierdzić lekarz.
	używki: alkohol, narkotyki, papierosy	Dochodzi do upośledzenia umysłowego i fizycznego, spowolnienia wzrostu, występuje niska masa urodzeniowa, poronienia, wzrasta ryzyko śmierci noworodka.
biologiczne	wirus różyczki	Przenika przez łożysko, może prowadzić do głuchoty, wady serca, upośledzenia umysłowego. Profilaktyka obejmuje szczepienia przeciwko różyczce na kilka miesięcy przed planowanym poczęciem.
	wirus HIV, ospy, półpaśca	Pojawiają się zaburzenia neurologiczne, wady wzroku, przedwczesny poród, ryzyko poronienia.
	pasożyt *Toxoplasma gondii*	Wywołuje toksoplazmozę. Może prowadzić do małogłowia i wodogłowia, wad wzroku, wad serca i opóźnienia umysłowego.
fizyczne	promieniowanie jonizujące (głównie rentgenowskie)	Wzrasta ryzyko rozwoju wad rozwojowych i białaczki.

Diagnostyka prenatalna

Diagnostyka prenatalna to zespół badań przeprowadzanych w trakcie ciąży w celu monitorowania rozwoju płodu oraz wczesnego wykrycia potencjalnych wad rozwojowych i chorób genetycznych oraz ich przyczyn.

Metody diagnostyki prenatalnej	
nieinwazyjne	**inwazyjne**
Badania nie wymagają żadnych działań na płodzie ani w jego otoczeniu. Są one bezpieczne dla matki i dziecka. Wyniki tych badań mogą być wskazaniem do przeprowadzenia badań inwazyjnych.	Wykonywane w sytuacji zaistnienia wysokiego ryzyka wystąpienia wady genetycznej płodu. Polegają na pobraniu materiału w trakcie zabiegu (płynu owodniowego lub tkanki genetycznej płodu). Badania te obarczone ryzykiem wystąpienia powikłań wynoszącym ok. 1–2%.

Rodzaje badań prenatalnych

Badania nieinwazyjne – całkowicie bezpieczne dla matki i dziecka, pozwalają ocenić ryzyko wystąpienia wad płodu i stanowią podstawę do wykonania badań inwazyjnych.

Rodzaj badania	Na czym polega?/W jakim celu wykonuje się badanie?
standardowe badanie USG	Pozwala precyzyjnie określić wiek i stopień rozwoju płodu, prawdopodobny czas urodzenia dziecka oraz zdiagnozować wady wrodzone dziecka, ocenić stan łożyska, ułożenie dziecka. Według zaleceń lekarzy USG powinno być wykonywane co najmniej trzykrotnie.
USG genetyczne	Umożliwia wykrycie niektórych chorób genetycznych, np. zespołu Downa, Edwardsa, Turnera, wad wrodzonych, np. wad serca, wodogłowia.
test PAPP-A	Wykonywany między 10. a 14. tygodniem ciąży. Polega na ocenie biochemicznych parametrów krwi matki oraz ocenie parametrów ultrasonograficznych płodu. Nieprawidłowy wynik testu PAPP-A nie oznacza choroby płodu, ale podwyższenie ryzyka, które należy zweryfikować innymi metodami.
badanie przepływu w obrębie przewodu szyjnego	Wykonywane pod koniec pierwszego trymestru ciąży. U płodów z nieprawidłowościami chromosomowymi obserwuje się nieprawidłowy przepływ krwi w przewodzie żylnym.
badanie NIFTY (ang. *non-invasive fetal trisomy test*)	Test NIFTY jest wykonywany od 10. tygodnia ciąży. Badanie polega na pobraniu krwi matki, w której znajduje się materiał genetyczny dziecka (tzw. pozakomórkowe DNA płodu obecne w surowicy krwi matki – ang. *cffDNA*). Sekwencjonowanie DNA płodu pozwala na precyzyjne określenie liczby chromosomów par 21, 18 i 13 u płodu, które odpowiadają odpowiednio za zespół Downa, zespół Edwardsa i zespół Patau. Test ten pozwala także na wykrycie kilku innych chorób genetycznych.

Badania inwazyjne – wymagają pobrania materiału w sposób inwazyjny, co niesie ryzyko powikłań dla matki i dziecka. Wykonywane, gdy istnieje ryzyko wystąpienia wady genetycznej dziecka. Wskazania: wiek matki powyżej 35 lat, wady genetyczne stwierdzone u rodziców, choroba Downa w rodzinie, wyniki badań USG wskazujące na występowanie anatomicznych wad płodu, wcześniejsze urodzenie dziecka z wadą.

Rodzaj badania	Na czym polega?/W jakim celu wykonuje się badanie?
amniopunkcja	Wykonywane między 13. a 19. tygodniem ciąży. Polega na pobraniu płynu owodniowego poprzez wprowadzenie igły przez powłoki brzuszne matki. Pozwala na określenie kariotypu płodu.
biopsja trofoblastu (kosmówki)	Wykonywane między 11. a 14. tygodniem ciąży. Polega na pobraniu fragmentów kosmówki. Pozwala na określenie kariotypu płodu.
kordocenteza	Wykonywane ok. 18. tygodnia ciąży. Polega na pobraniu krwi z żyły pępowinowej po nakłuciu pępowiny przez powłoki brzuszne. Umożliwia określenie parametrów laboratoryjnych krwi żylnej i tętniczej płodu, stanu niedotlenienia płodu, grupy krwi.

Wybrane choroby układu rozrodczego

Choroba	Przyczyna	Przebieg choroby i leczenie
zakażenie HPV	wirus brodawczaka ludzkiego HPV (ang. *human papilloma virus*)	Powoduje powstawanie brodawek na skórze (kurzajki) oraz na narządach płciowych (tzw. kłykcin). Niektóre szczepy są przyczyną raka szyjki macicy. Aby zwalczyć zakażenie, stosuje się leczenie interferonem. Profilaktyka natomiast obejmuje stosowanie szczepień u dzieci i młodzieży przed rozpoczęciem współżycia seksualnego.
rzeżączka	bakteria *Neisseria gonorrhoeae* (czyt. neisseria gonorroe), dwoinka rzeżączki	To ropne zapalenie cewki moczowej u mężczyzn (ale też jąder). U kobiet zakażenie dotyczy sromu, pochwy, szyjki macicy, jajowodów i jajników. Może prowadzić do zrośnięcia się jajowodów i bezpłodności. Powikłaniami rzeżączki są: zapalenie stawów, mięśnia sercowego i opon mózgowo-rdzeniowych. Rzeżączkę leczy się antybiotykami.
kiła (syfilis)	bakteria *Treponema pallidum*, krętek blady	Pierwsze objawy to owrzodzenie narządów płciowych i powiększenie węzłów chłonnych. Po cofnięciu się zmian, po ok. 4 miesiącach następuje nawrót choroby w postaci uogólnionej wysypki. Po latach pojawiają się zmiany wielonarządowe (m.in. na skórze, kościach, w układzie nerwowym). Bakterie przenikają przez łożysko i mogą prowadzić do uszkodzenia płodu. Kiłę leczy się najczęściej penicyliną.
chlamydioza	bakteria *Chlamydia trachomatis*	Powoduje stan zapalny narządów płciowych (m.in. szyjki macicy u kobiet i zapalenie cewki moczowej u mężczyzn). Leczy się ją antybiotykami.
rzęsistkowica	protist *Trichomonas vaginalis* rzęsistek pochwowy	Powoduje zapalenie sromu i pochwy, upławy, bolesność. U mężczyzn przebiega bezobjawowo. Do jej zwalczenia stosuje się antybiotyki.
grzybica	drożdże *Candida albicans*	U kobiet objawami zakażenia są: podrażnienie, zaczerwienie, bolesność, upławy. U mężczyzn choroba przebiega bezobjawowo. Grzybicę leczy się lekami przeciwgrzybiczymi.
opryszczka	wirus *Herpes simplex* wirus opryszczki	Często zakażenie jest bezobjawowe lub występuje owrzodzenie narządów płciowych. Opryszczka jest chorobą nawracającą i groźną dla płodu. Leczy się ją lekami przeciwwirusowymi, które łagodzą objawy.
rak prostaty	Przyczyny bezpośrednie nie są znane. Ryzyko zachorowania wzrasta wraz z wiekiem.	Objawia się m.in. trudnościami, bólem i pieczeniem w oddawaniu moczu, krwiomoczem, zaburzeniami erekcji oraz bólami w okolicy lędźwiowej. Leczenie polega na zabiegu chirurgicznym oraz farmako- i chemioterapii. Profilaktyka polega na częstych badaniach kontrolnych po 40. r.ż.
rak szyjki macicy	wirus brodawczaka ludzkiego (HPV)	Objawia się bólami w okolicy krzyżowej i krwawieniami z dróg rodnych. Leczenie polega na zabiegu chirurgicznym, laseroterapii lub wymrażaniu połączonymi oraz chemioterapią. Profilaktyka: częste badania ginekologiczne i cytologiczne, unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych oraz szczepienia (zmniejszają ryzyko o ponad 90%).

8.23. Ontogeneza człowieka

1	**Stadium noworodkowe** to pierwsze cztery tygodnie po urodzeniu, ważny czas adaptacyjny do życia poza organizmem matki.
2	**Stadium niemowlęctwa** trwa do końca pierwszego roku życia; organizm rośnie, rozwija się ruchowo – pod koniec tego okresu dziecko zaczyna chodzić; ok. 6. miesiąca życia pojawiają się pierwsze zęby mleczne; dziecko zaczyna wymawiać proste słowa.
3	**Stadium poniemowlęce** trwa od pierwszego do trzeciego roku życia; doskonalenie zręczności i sprawności ruchowej, rozwoju mowy, kojarzenia i koncentracji uwagi, samodzielności.
4	**Stadium dzieciństwa** trwa od trzeciego roku życia do rozpoczęcia dojrzewania. Dziecko rozwija się intelektualnie, uczy się funkcjonowania w grupie, kształtuje się jego osobowość.
5	**Stadium dojrzewania** rozpoczyna się ok. 9. roku życia u dziewcząt i ok. 11. roku życia u chłopców. Pod wpływem hormonów płciowych sylwetka nabiera cech charakterystycznych dla płci.
6	**Stadium dorosłości** rozpoczyna się ok. 25. roku życia – człowiek osiąga dojrzałość fizyczną i psychiczną, społeczną (podejmuje pracę, jest niezależny finansowo).
7	**Stadium wieku średniego** u kobiet rozpoczyna się ok. 50.–55. roku życia, u mężczyzn po 55. roku życia. Spada stężenie hormonów płciowych – u kobiet dochodzi do zahamowania miesiączkowania, a u mężczyzn do obniżenia zdolności rozrodczych.
8	**Stadium starości** obniżenie zdolności do utrzymania homeostazy organizmu, większa zachorowalność, osłabienie aktywności wielu narządów. Okres dzieli się na kilka podokresów, a tempo zmian jest indywidualne.



Genetyka

9.1. Ekspresja informacji genetycznej

DNA jako nośnik informacji genetycznej

Informacja genetyczna to zapis wszystkich cech dziedzicznych komórek i całego organizmu. Informacja genetyczna jest wyrażona w postaci **kodu genetycznego** i dotyczy struktury białek oraz RNA. Jej powielanie zachodzi w procesie replikacji.

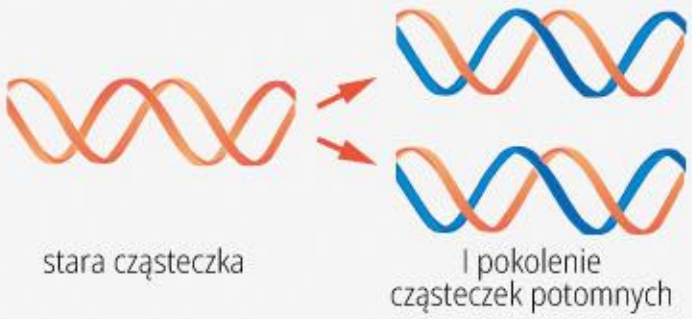
Kwas deoksyrybonukleinowy (**DNA**) jest materiałem genetycznym wszystkich organizmów oraz niektórych wirusów. DNA jest **nośnikiem informacji genetycznej**, ponieważ liczba i sekwencja (kolejność) ułożenia budujących go nukleotydów stanowi sumę dziedzicznej informacji organizmu.

Dowody eksperymentalne na udział DNA w przekazywaniu informacji

Odkrywcy	Opis eksperymentu
Frederick Griffith (1928)	• obiekt badań: bakterie – dwoinki zapalenia płuc • badania wykazały, że pomiędzy szczepami bakterii może dochodzić do przekazywania cechy zjadliwości (transformacja) • cecha zjadliwości była przekazywana na następne pokolenia
Joachim Hammerling (1931)	• obiekt badań: *Acetabularia* – jednokomórkowa morska zielenica • eksperyment dowiódł, że DNA znajduje się w jądrze komórkowym i bierze udział w przekazywaniu informacji o budowie i rozwoju komórki
Oswald Avery (1944)	• obiekt badań: bakterie • eksperyment polegał na traktowaniu wyciągu ze zjadliwych bakterii enzymami; tylko enzymy rozkładające DNA prowadziły do utraty cechy zjadliwości • badania wykazały, że to DNA jest czynnikiem odpowiedzialnym za transformację
Alfred Hershey Martha Chase (1952)	• obiekt badań: bakterie *Escherichia coli* i bakteriofag T2 • badanie polegało na zakażeniu bakterii bakteriofagiem T2 znakowanym promieniotwórczymi izotopami fosforu ^{32}P (znakuje DNA) i siarki ^{35}S (znakuje białka) • w zainfekowanych komórkach bakterii znaleziono tylko fosfor wbudowany w kwas nukleinowy • eksperyment wykazał jednoznacznie, że DNA jest nośnikiem informacji genetycznej u bakteriofagów
James Watson Francis Crick (1953)	• analizy obrazów rentgenograficznych DNA • rozwiązanie struktury DNA i przedstawienie modelu jego budowy • DNA zbudowane jest z czterech rodzajów nukleotydów, połączonych linowo w nić polinukleotydową; łańcuchy łączą się ze sobą zgodnie z zasadą komplementarności; szkielet cukrowo-fosforanowy znajduje się na zewnątrz, a sparowane zasady azotowe – wewnątrz helisy

Replikacja DNA

Replikacja to proces powielania DNA, w wyniku którego powstają dwie identyczne kopie macierzystej cząsteczki DNA.

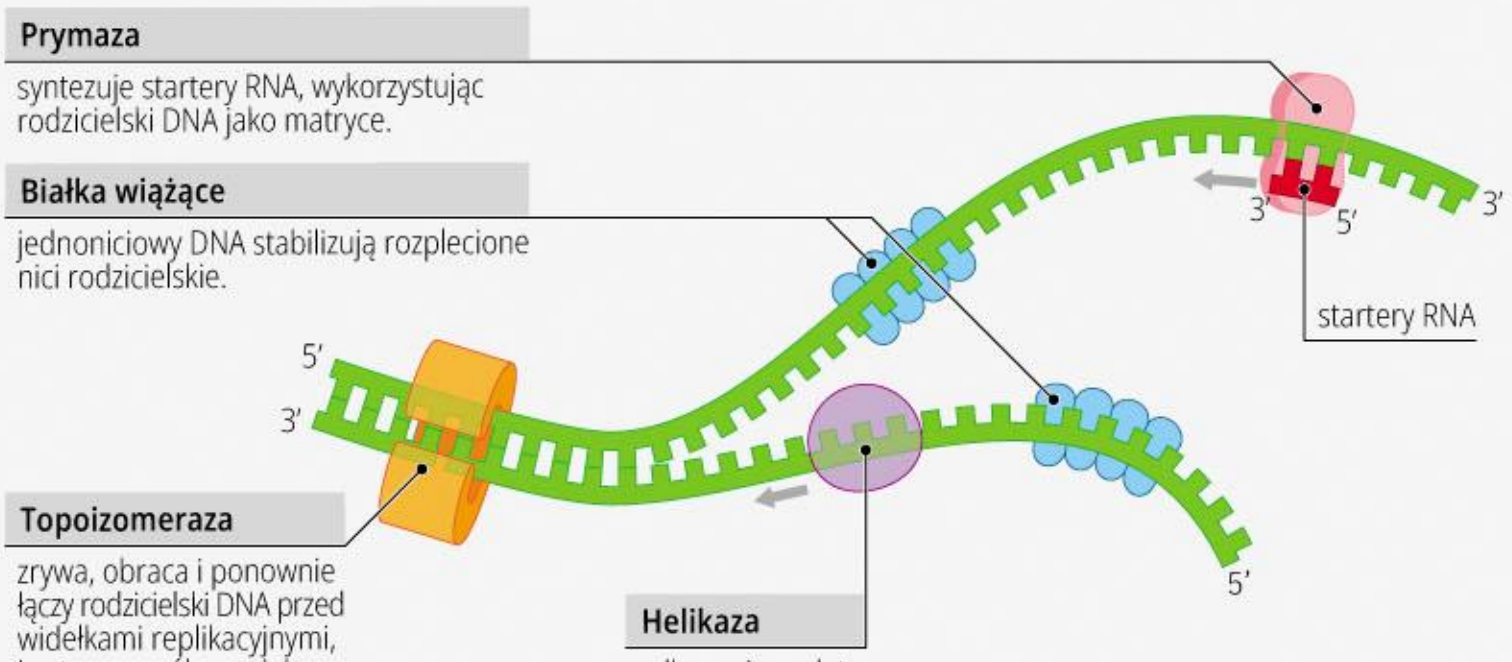


Najważniejsze cechy replikacji:

- zachodzi przed każdym podziałem komórki (w fazie S cyklu komórkowego) – umożliwia przekazanie nowo powstałym komórkom kompletnej informacji genetycznej;
- replikacja jest półzachowawcza (**semikonserwatywna**), co oznacza, że w nowo powstałej cząsteczce DNA jeden łańcuch jest stary (pochodzi z cząsteczki macierzystej), a drugi – nowo zsyntetyzowany;
- powstałe w wyniku replikacji cząsteczki są identyczne, dlatego że nukleotydy nowej nici są dobudowywane na zasadzie komplementarności do nukleotydów nici macierzystej;
- replikacja wymaga dostarczenia energii – energia pochodzi z hydrolizy dwóch wysokoenergetycznych wiązań trójfosforanów nukleotydów (dATP, dGTP, dTTP, dCTP), które po hydrolizie (jako monofosforany nukleotydów) są wykorzystywane do syntezy nowej nici.

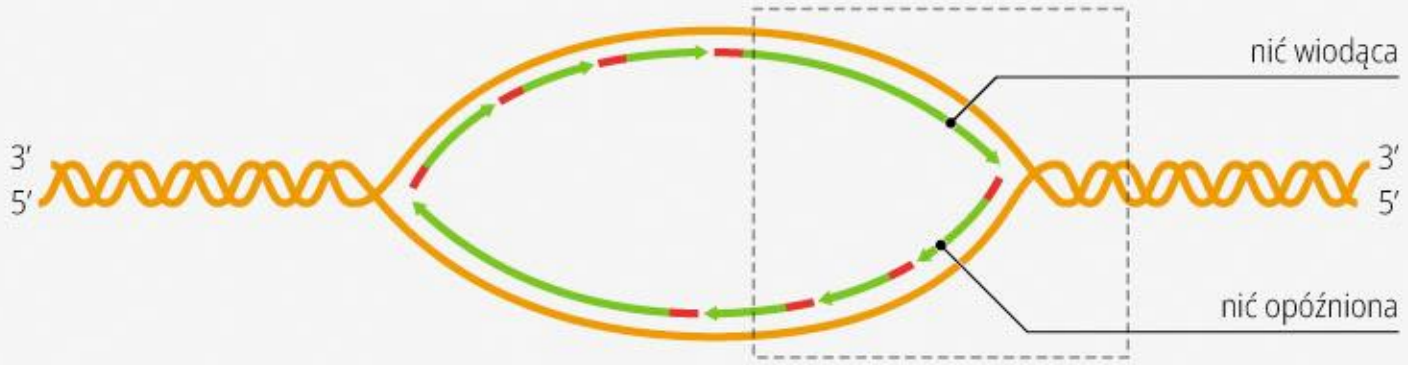
Białka biorące udział w replikacji

Białko	Charakterystyka
helikaza	Bierze udział w rozplataniu podwójnej helisy DNA poprzez przerywanie wiązań wodorowych łączących obie helisy.
białka wiążące jednoniciowy DNA	Stabilizują pojedynczą nić DNA, zapobiegając jej skręceniu do momentu zakończenia kopiowania nici.
topoizomeraza	Bierze udział w rozplataniu helisy DNA i usuwaniu superskrętów; przecina jedną lub obie nici DNA, a po zakończeniu kopiowania łączy je z powrotem.
polimeraza DNA	Dobudowuje nową nić DNA na matrycy istniejącej nici.
prymaza DNA	Syntetyzuje startery RNA na matrycy DNA.
ligaza DNA	Łączy fragmenty Okazaki w ciągłą nić DNA.



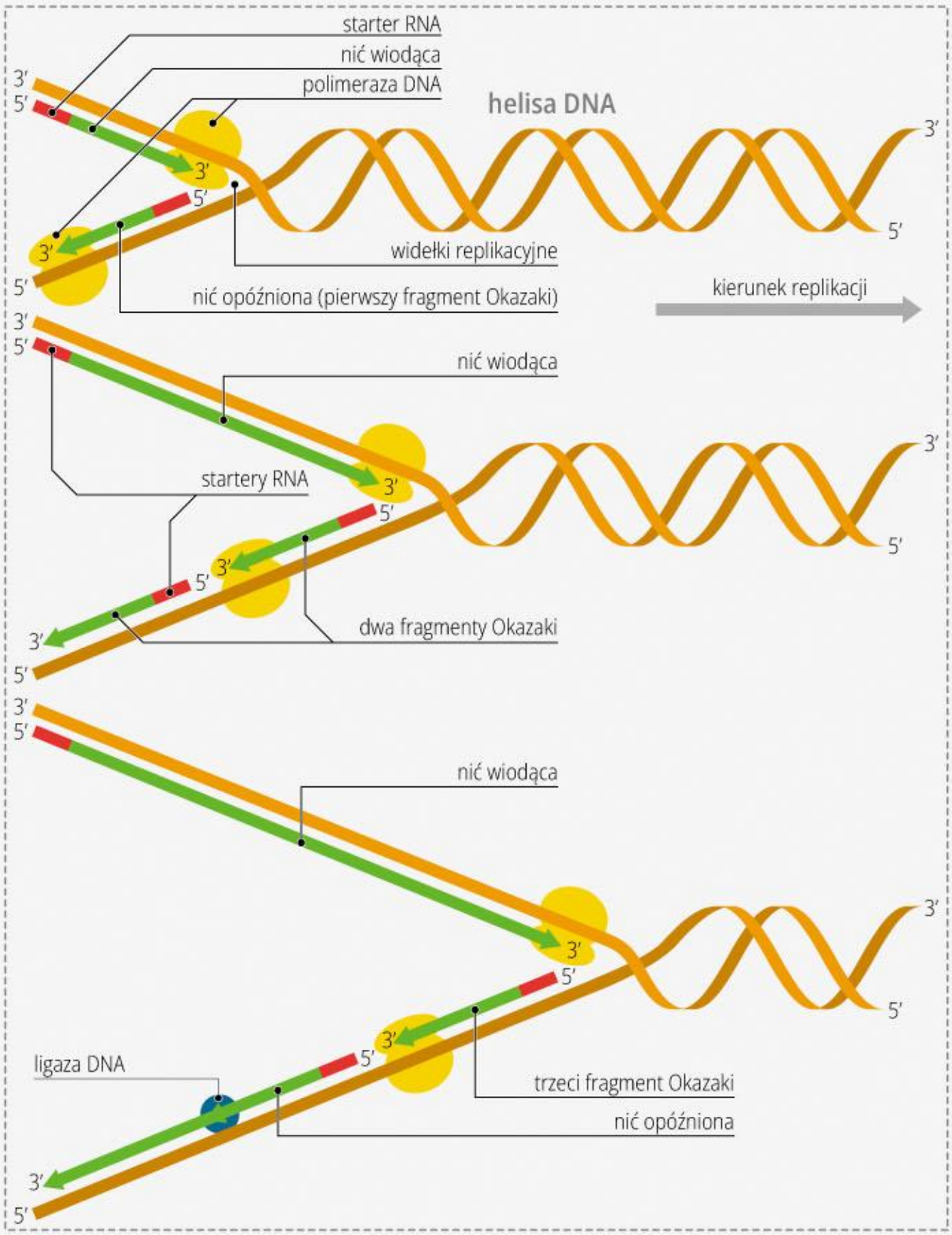
Przebieg replikacji w komórkach eukariotycznych

Replikacja zachodzi raz w życiu komórki i musi przebiegać niezwykle dokładnie. Proces ten toczy się równocześnie na obu niciach i przebiega dwukierunkowo.



Etap replikacji	Przebieg
inicjacja (rozpoczęcie)	• topoizomerazy rozluźniają zwartą strukturę DNA poprzez hydrolizę wiązań fosfodiestrowych i usuwanie tzw. superskrętów • helikazy rozplatają niewielkie fragmenty DNA w miejscach inicjacji replikacji o ściśle określonej sekwencji nukleotydów (*ori*, z ang. *origin*) • powstają **widełki replikacyjne** (najczęściej w wielu miejscach równocześnie) • do widełek replikacyjnych przyłączają się białka biorące udział w replikacji • w wyniku aktywności prymazy syntetyzowane są startery RNA (krótkie odcinki RNA) • polimeraza DNA przyłącza się do starterów

Etap replikacji	Przebieg
elongacja (wydłużanie)	• widełki replikacje powiększają się zarówno w kierunku końca 3', jak i końca 5' obu nici • polimeraza DNA dobudowuje pierwszy nukleotyd do startera, a następnie dołącza kolejne nukleotydy • polimeraza DNA sprawdza poprawność wstawionych nukleotydów, a w razie błędu naprawia je • synteza nowych nici odbywa się zawsze w kierunku od 5' do 3' – na jednej nici w sposób ciągły (**nić wiodąca**), a na drugiej etapami (**nić opóźniona**), w postaci fragmentów Okazaki • efektem aktywności polimerazy są dwie cząsteczki DNA, z której startery są usuwane przez endonukleazy, a brakujący fragment jest uzupełniany przez polimerazę DNA
terminacja (zakończenie)	• nowo utworzone fragmenty DNA są łączone w ciągłą nić przez ligazę • następuje odłączenie białek uczestniczących w replikacji • dochodzi do zabezpieczenia końców cząsteczki DNA (telomerów) poprzez replikację katalizowaną przez enzym **telomerazę**

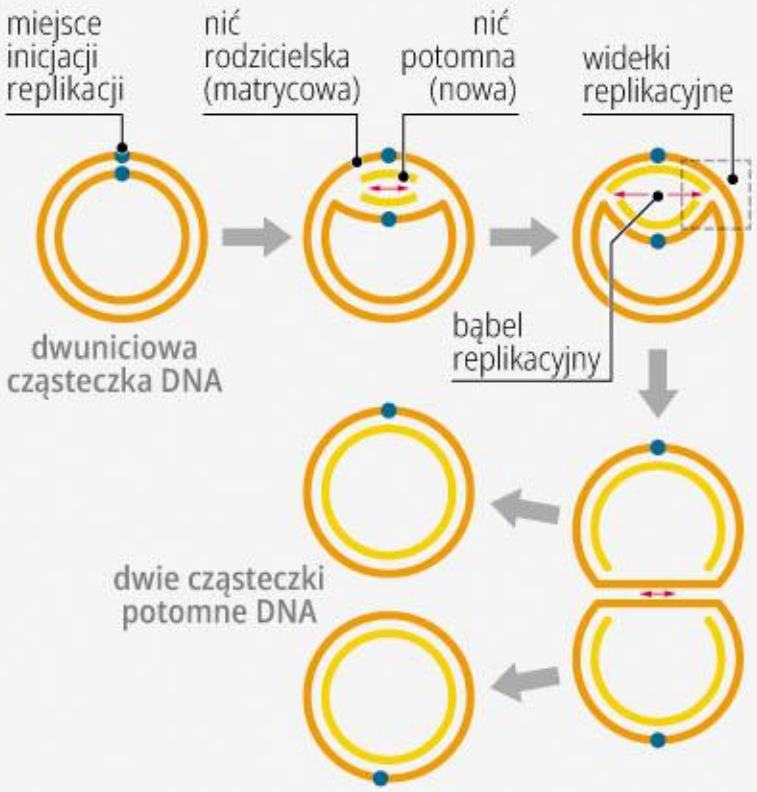


Porównanie przebiegu replikacji w komórkach prokariotycznych i eukariotycznych

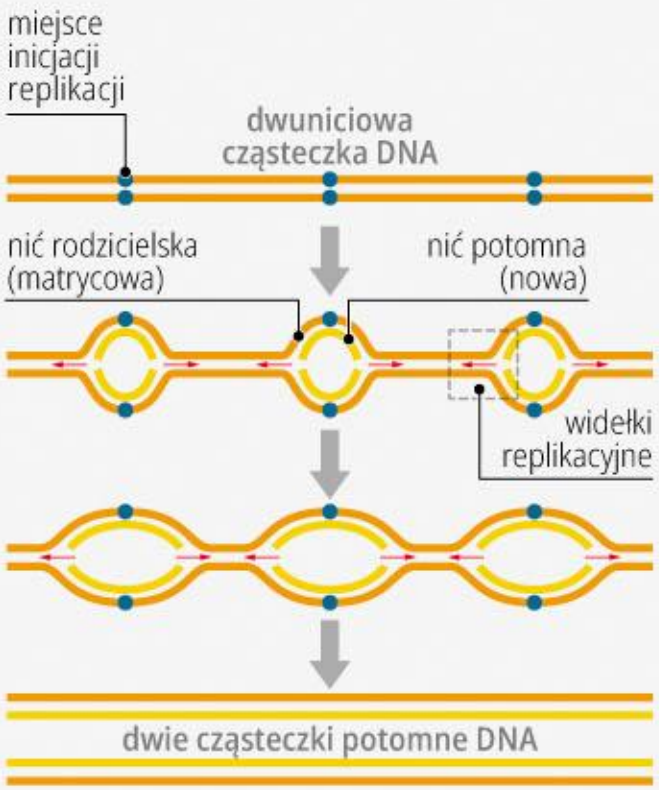
Zasadniczy mechanizm replikacji jest taki sam u organizmów prokariotycznych i eukariotycznych. Istotne różnice są związane z organizacją genomu w obu typach komórek:

- u bakterii cząsteczka DNA ma postać kolistą, więc jest pozbawiona końców;
- u bakterii cząsteczka DNA ma tylko **jedno miejsce inicjacji replikacji**, od którego widełki replikacyjne przesuwają się w obu kierunkach aż do miejsca oznaczającego miejsce końca replikacji;
- chromosom eukariotyczny tworzy długa, liniowa cząsteczka DNA, która ma **wiele miejsc *ori***; jego synteza jest zatem inicjowana w wielu miejscach jednocześnie, co znacznie przyspiesza cały proces kopiowania.

Replikacja w komórkach prokariotycznych



Replikacja w komórkach eukariotycznych



Replikacja końców cząsteczki DNA w komórkach eukariotycznych

U eukariontów liniowość DNA powoduje, że powtarzające się cykle replikacyjne prowadzą do skracania się cząsteczki. Aby proces skracania nie zachodził zbyt szybko, końce chromosomów są chronione przez odcinki zwane **telomerami**, które są zbudowane z krótkich powtórzeń sekwencji 5–TTAGGG–3'. Telomery nie zawierają genów. Za ich odbudowę odpowiada enzym zwany **telomerazą**. Telomeraza wydłuża końce 3' chromosomu. Matrycą dla enzymu jest fragment RNA, który wchodzi w jego skład, dlatego mówimy, że jest to **polimeraza DNA zależna od RNA**. Aktywność telomerazy zmniejsza się wraz z wiekiem, dlatego też w miarę upływu czasu telomery ulegają skróceniu. Niektóre teorie wskazują, że szybkość ich skracania leży u podstaw starzenia się organizmu.

Genom i gen

Genom to kompletna informacja genetyczna organizmu lub wirusa. Genom tworzą **geny** oraz **DNA pozagenowy** (znajdujący się pomiędzy genami). Badaniem genomów organizmów zajmuje się dziedzina nauki zwana **genomiką.**

Porównanie genomów Prokaryota i Eukaryota

Parametr	Genom Prokaryota	Genom Eukaryota
lokalizacja	genofor, plazmidy	jądro komórkowe, mitochondrium, chloroplast
liczba kompletów chromosomów (n)	1n	1n, 2n oraz poli-n
liczba chromosomów	1	zasadniczo więcej niż 1
obudowa histonowa DNA	brak	obecna

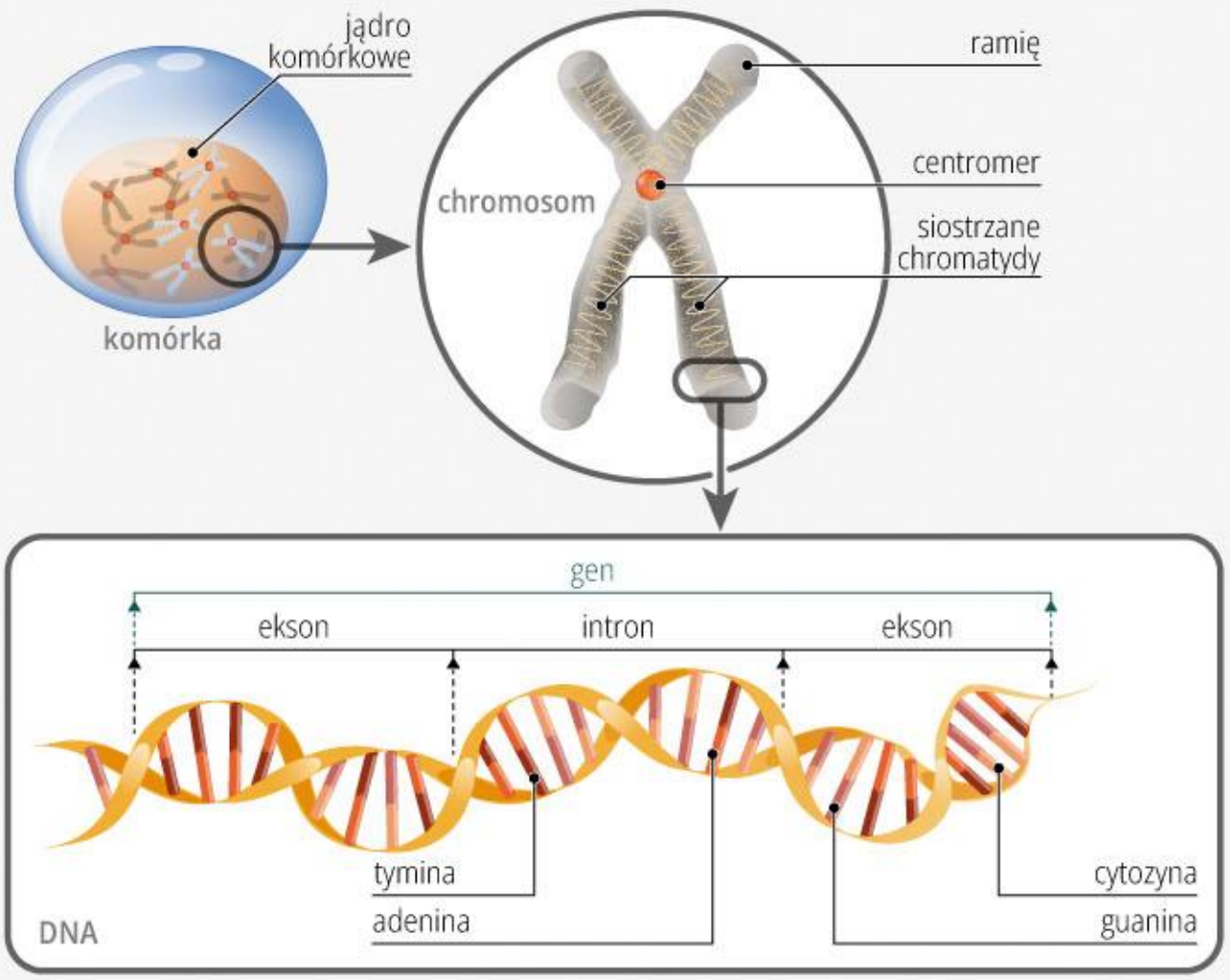
Parametr	Genom Prokaryota	Genom Eukaryota
wielkość genomu (liczba par nukleotydów)	średnio do kilku mln	średnio od kilku mln do kilkunastu mld
zawartość % genów w materiale genetycznym	ok. 90%	ok. 30% (10% koduje białka)
liczba genów	średnio od kilkuset do kilku tys.	średnio od kilku tys. do kilkudziesięciu tys.
obecność intronów	brak	obecne
układ genów w materiale genetycznym	stosunkowo uporządkowany	często rozproszony po całym genomie
zasadniczy kształt cząsteczki DNA	kolisty	liniowy (DNA jądrowe) lub kolisty (mtDNA i chlDNA)

Genom człowieka

Genom człowieka	
Genom jądrowy	**Genom mitochondrialny**
Zbudowany z DNA obecnego w 24 chromosomach Składa się z ok. 20 000 genów, odcinków regulatorowych oraz DNA pozagenowego (psudogenów, sekwencji powtarzalnych i DNA o nieznanej dotąd funkcji).	Kolista cząsteczka DNA zlokalizowana w mitochondriach. Składa się z 37 genów, odcinków regulatorowych oraz DNA pozagenowego.

Geny

Gen jest podstawową jednostką dziedziczności. Stanowi go fragment DNA, który zawiera informacje konieczne do wytworzenia RNA lub białka. Geny organizmów eukariotycznych składają się z rejonów nukleotydów, które nie kodują białka i nie ulegają translacji, nazwanych **intronami**, oraz z rejonów kodujących, czyli **eksonów**. Rejony niekodujące i kodujące występują naprzemiennie.



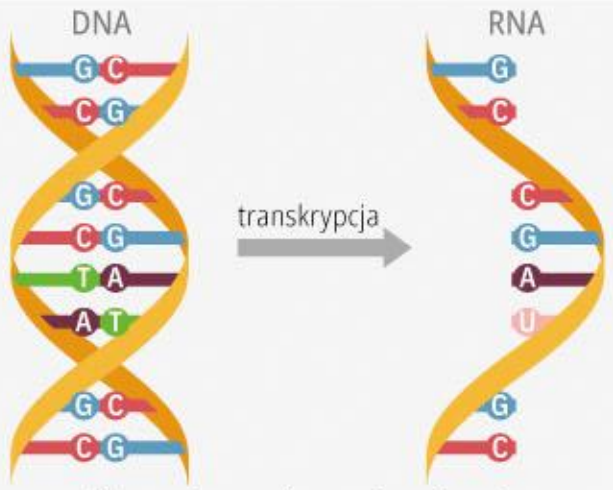
Rodzaje genów

Rodzaje genów	
Geny nieciągłe	**Geny ciągłe**
• występują u organizmów eukariotycznych • składają się z części strukturalnej podzielonej na eksony i introny oraz części regulatorowej	• występują głównie u organizmów prokariotycznych • składają się z części strukturalnej utworzonej tylko z sekwencji kodujących oraz części regulatorowej

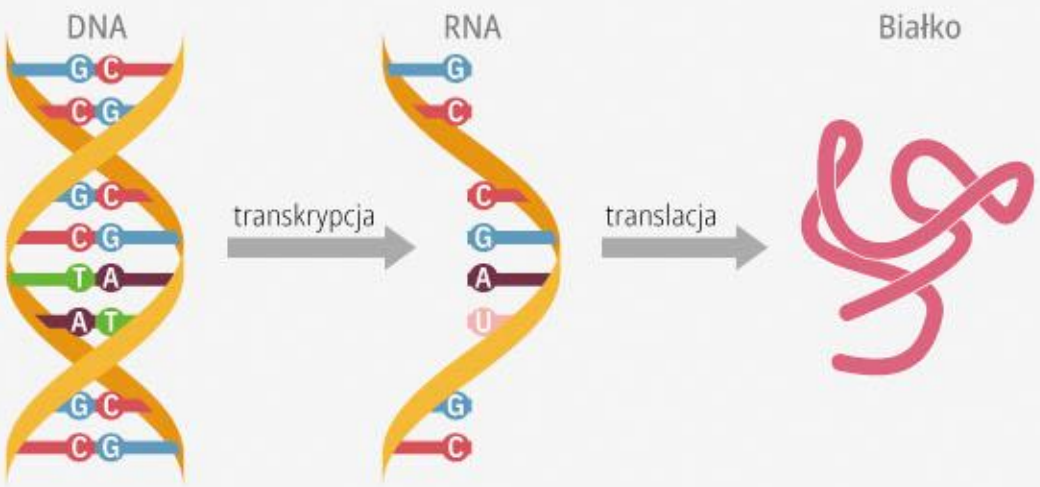
Ekspresja informacji genetycznej

Ekspresja genu to ogół procesów prowadzących do odczytania informacji genetycznej zapisanej w DNA, których efektem jest powstanie RNA lub białka. Droga przepływu informacji od DNA przez RNA do białka została nazwana **podstawowym dogmatem biologii molekularnej.** W skład tej drogi wchodzą następujące procesy:

- **transkrypcja**, czyli proces kopiowania DNA w celu wytworzenia cząsteczki informacyjnego RNA;
- **translacja** – proces przekształcenia informacji zapisanej w sekwencji nukleotydów mRNA na język aminokwasów w białku.



Ekspresja genów zawierających informację o budowie RNA



Ekspresja genów zawierających informację o budowie białka

Kod genetyczny

Kod genetyczny stanowi zbiór podstawowych zasad wskazujących, w jaki sposób komórka ma odczytywać informację genetyczną zapisaną w postaci czterech nukleotydów, aby na drodze translacji uzyskać białka.

Cechy kodu genetycznego

Kod genetyczny jest:

1. **trójkowy** – kolejne trzy nukleotydy (kodon, tryplet) wyznaczają jeden aminokwas w łańcuchu polipeptydowym;
2. **jednoznaczny** – każdy kodon wyznacza jeden, ściśle określony aminokwas;
3. **zdegenerowany** – jeden aminokwas może być kodowany przez kilka różnych kodonów, co wynika z nadwyżki kodonów (64) w stosunku do liczby aminokwasów (20);
4. **bezprzecinkowy** – między kolejnymi kodonami nie ma przerw; aminokwasy są kodowane przez kolejno występujące po sobie kodony;
5. **niezachodzący** – każdy nukleotyd wchodzi w skład jednego kodonu; kodony nie nakładają się nie siebie;
6. **uniwersalny** – te same kodony wyznaczają te same aminokwasy u prawie wszystkich organizmów (z nielicznymi wyjątkami).

Tabela kodu genetycznego

Tabela kodu genetycznego pokazuje możliwe kombinacje 64 kodonów kodu genetycznego. 61 kodonów koduje 20 aminokwasów białkowych, a 3 pozostałe oznaczają sygnał zakończenia syntezy białka (kodony STOP). Kodon AUG pełni podwójną funkcję: koduje aminokwas metioninę oraz jest sygnałem startu translacji. Kod genetyczny uwzględnia kodony mRNA, ponieważ to one służą bezpośrednio jako szablon do syntezy białka.

PIERWSZA LITERA	DRUGA LITERA: U	DRUGA LITERA: C	DRUGA LITERA: A	DRUGA LITERA: G	TRZECIA LITERA
U	UUU fenyloalanina UUC fenyloalanina	UCU seryna UCC seryna UCA seryna UCG seryna	UAU tyrozyna UAC tyrozyna	UGU cysteina UGC cysteina	U C
	UUA leucyna UUG leucyna		UAA **STOP** UAG **STOP**	UGA **STOP** UGG tryptofan	A G
C	CUU leucyna CUC leucyna CUA leucyna CUG leucyna	CCU prolina CCC prolina CCA prolina CCG prolina	CAU histydyna CAC histydyna	CGU arginina CGC arginina CGA arginina CGG arginina	U C A G
			CAA glutamina CAG glutamina		
A	AUU izoleucyna AUC izoleucyna AUA izoleucyna	ACU treonina ACC treonina ACA treonina ACG treonina	AAU asparagina AAC asparagina	AGU seryna AGC seryna	U C
	AUG **metionina – START**		AAA lizyna AAG lizyna	AGA arginina AGG arginina	A G
G	GUU walina GUC walina GUA walina GUG walina	GCU alanina GCC alanina GCA alanina GCG alanina	GAU asparaginian GAC asparaginian	GGU glicyna GGC glicyna GGA glicyna GGG glicyna	U C A G
			GAA glutaminian GAG glutaminian		

Wyjątki od uniwersalności kodu genetycznego

- w genomie mitochondrialnym ssaków kodon UAA koduje tryptofan, a kodon UGA – selenocysteinę (w genomie jądrowym oba te kodony stanowią sygnał STOP);
- w genomie mitochondrialnym ssaków kodon AGA jest sygnałem STOP (w genomie jądrowym koduje argininę);
- w genomie archeonów kodon UAG koduje lizynę (w genomie jądrowym jest sygnałem STOP);
- w genomie orzęsków występuje tylko jeden kodon STOP (UGA), a kodony UAA i UAG kodują glutaminę.

Transkrypcja

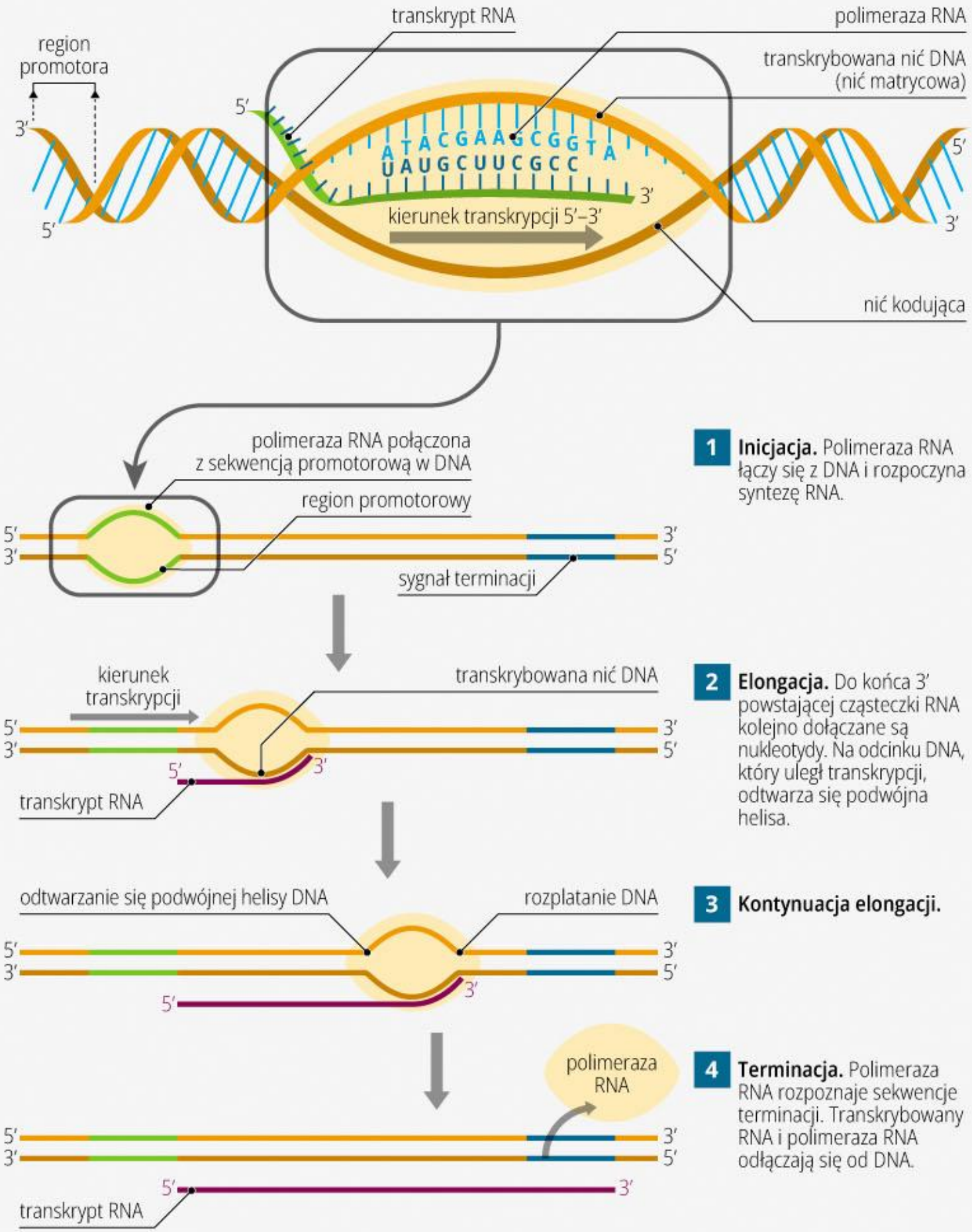
Transkrypcja to proces syntezy RNA na bazie DNA. Produktem transkrypcji genów kodujących białka jest cząsteczka RNA zwana **informacyjnym RNA** (**mRNA**), który służy do budowy białka.

Cechy transkrypcji:

- dla każdego genu transkrypcji ulega tylko jedna z nici DNA (**nić matrycowa**);
- transkrybowana nić DNA i komplementarna do niej nić RNA są antyrównoległe (synteza RNA zachodzi w kierunku 5'→3', a DNA w kierunku 3'→5');
- miejsce rozpoczęcia transkrypcji na nici DNA to **promotor** (wyznaczony przez określone sekwencje nukleotydów);
- transkrypcję katalizuje enzym **polimeraza RNA**;
- w komórkach eukariotycznych obecnych jest kilka rodzajów polimeraz RNA, a u bakterii tylko jeden;
- transkrypcja obejmuje trzy etapy: inicjację, elongację oraz terminację.

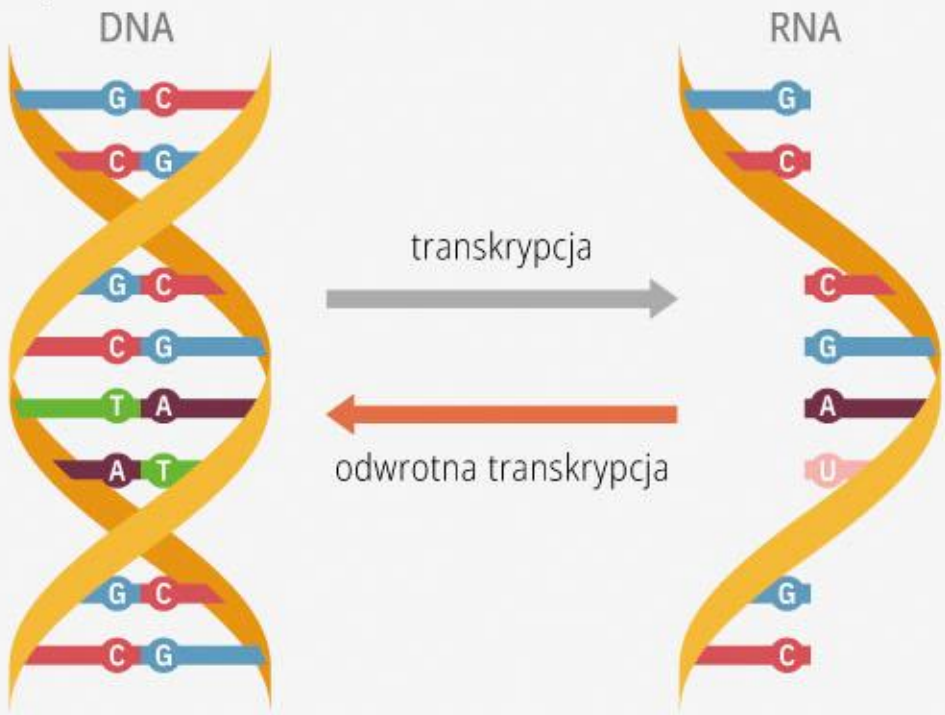
Przebieg transkrypcji

Etap transkrypcji	Przebieg
inicjacja	• przyłączenie polimerazy RNA do promotora genu • rozplecenie nici DNA • dołączenie białkowych czynników transkrypcyjnych • powstanie transkrypcyjnego kompleksu inicjującego
elongacja	• polimeraza RNA przesuwa się wzdłuż nici matrycowej DNA i przyłącza kolejne, komplementarne nukleotydy A–U, C–G (odpowiednikiem tyminy w RNA jest uracyl)
terminacja	• polimeraza RNA dociera do sekwencji wyznaczającej koniec transkrypcji • RNA odłącza się, uwalnia się także polimeraza RNA • nici DNA splatają się ponownie w podwójną helisę



Odwrotna transkrypcja

Odwrotna transkrypcja to proces syntezy DNA na matrycy RNA przeprowadzany przez enzym – **odwrotną transkryptazę**.



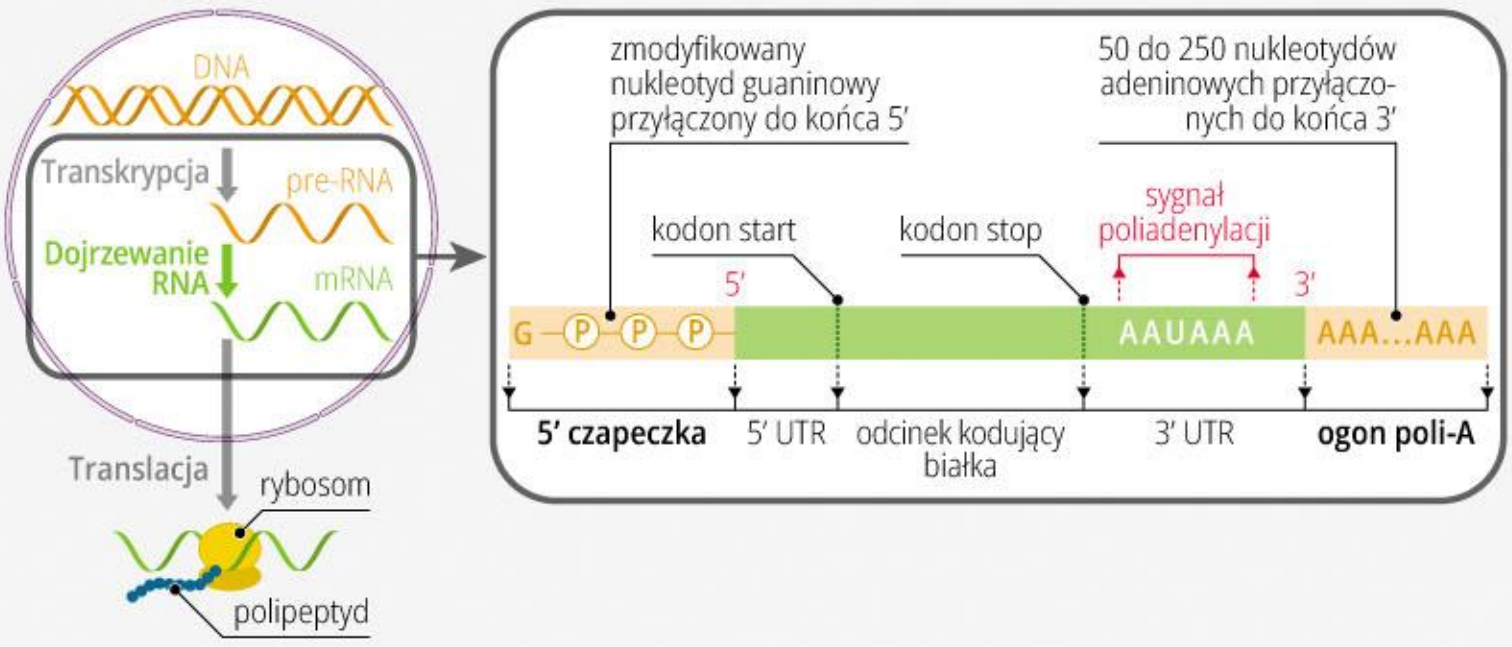
Odwrotna transkrypcja ma miejsce:

- u retrowirusów (np. HIV, wirus grypy, koronawirusy). Na matrycy RNA wirusa powstaje dwuniciowa cząsteczka DNA;
- podczas dobudowywania telomerów chromosomów w komórkach eukariotycznych. Matrycą jest RNA wchodzący w skład telomerazy, a produktem odwrotnej transkrypcji jest jednoniciowy DNA telomeru.

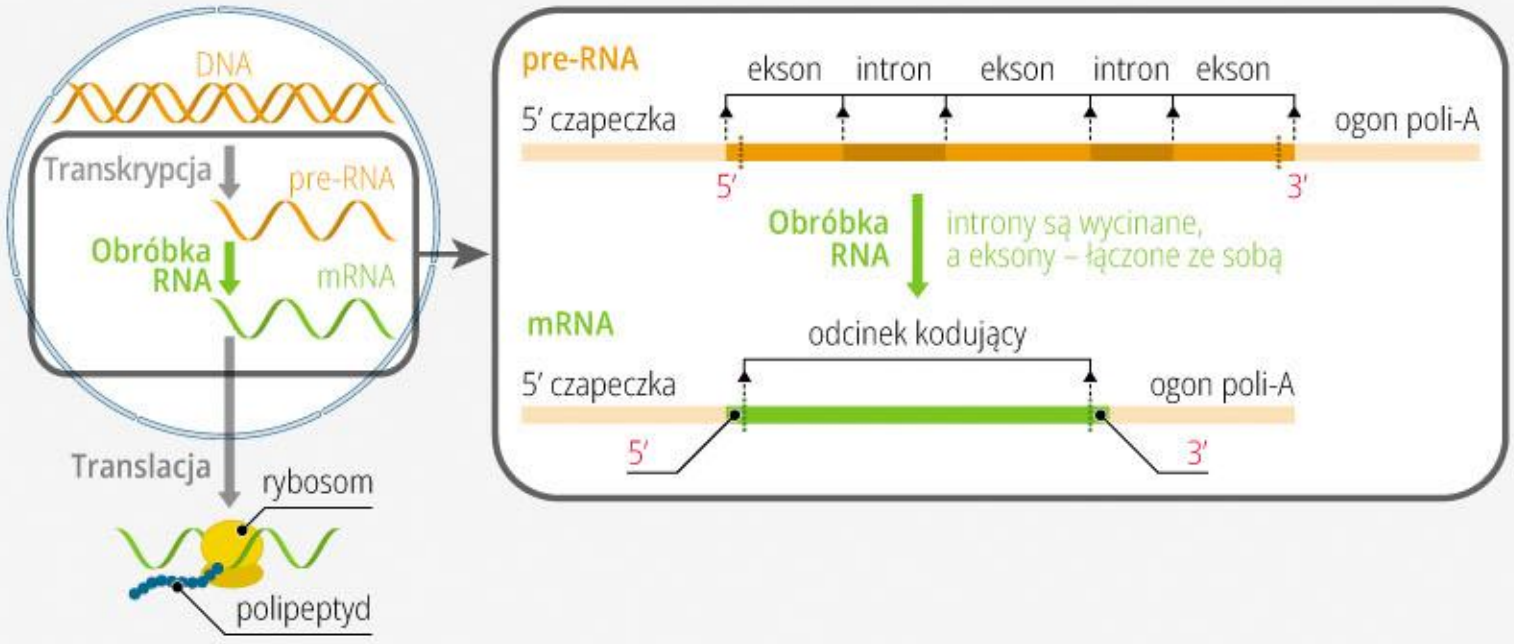
Obróbka posttranskrypcyjna

mRNA powstałe w wyniku transkrypcji to **transkrypt**. U bakterii transkrypt od razu jest wykorzystywany do translacji i zwykle jedna cząsteczka mRNA koduje więcej niż jeden łańcuch polipeptydowy. W komórkach eukariontów produktem transkrypcji jest cząsteczka zwana **pierwotnym transkryptem (pre-mRNA)**. Pre-mRNA podlega modyfikacjom zwanym obróbką posttranskrypcyjną lub **dojrzewaniem RNA**.

Rodzaj obróbki	Opis
dodanie czapeczki 5'	• dodanie do końca 5' pre-mRNA czapeczki guanylowej (kap), która stanowi zmodyfikowany nukleotyd G • czapeczka zwiększa stabilność RNA i umożliwia inicjację translacji przez odpowiednie związanie się z rybosomem
dodanie ogona poli-A	• dodanie do końca 3' pre-mRNA odcinka 50–250 nukleotydów adeninowych (A) • ogon poli-A ułatwia eksport mRNA do cytoplazmy i chroni przed enzymami hydrolitycznymi
składanie RNA (splicing)	• wycinanie i usuwanie sekwencji niekodujących (intronów) i łączenie za sobą sekwencji kodujących (eksonów) • proces zachodzi dzięki kompleksom białko – RNA zwanym **spliceosomami**
edycja nukleotydów	• zmiany składu nukleotydów w mRNA (np. insercje, substytucje nukleotydów)



Dojrzewanie RNA – dodawanie czapeczki 5' oraz ogona poli-A



Dojrzewanie RNA – splicing RNA

Translacja

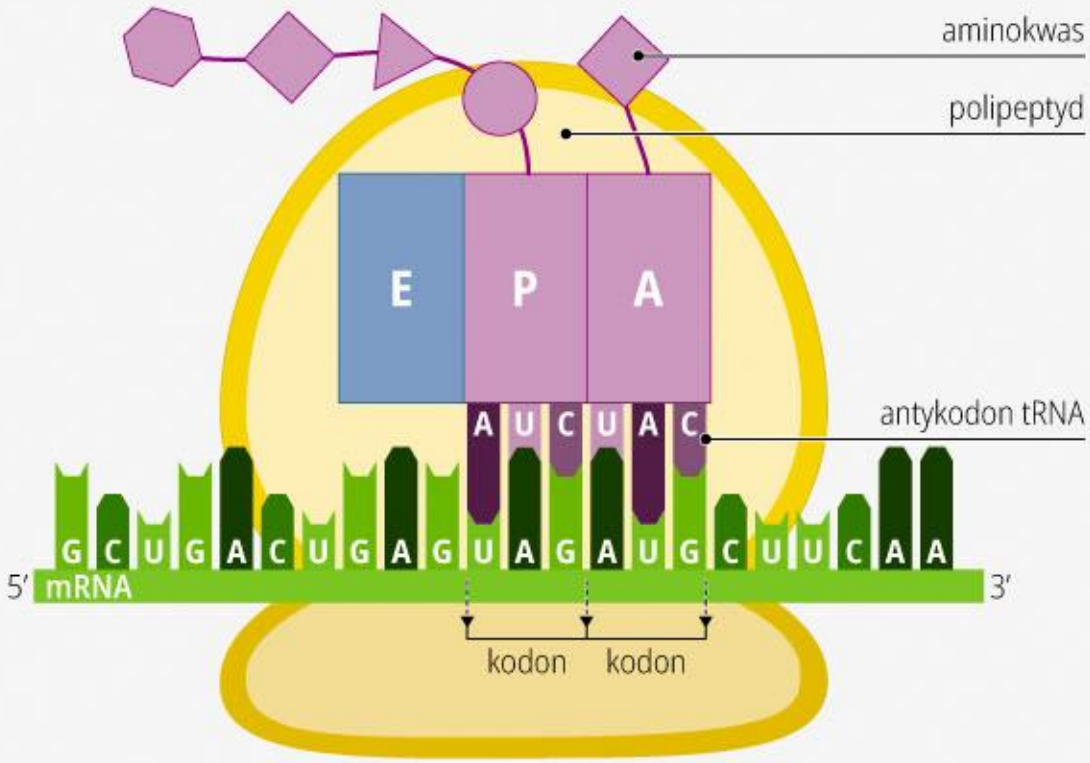
Translacja to synteza białka, w czasie której informacja zawarta w sekwencji kodonów mRNA jest tłumaczona na sekwencję aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym. W czasie translacji pomiędzy aminokwasami powstają **wiązania peptydowe**. Kolejność aminokwasów jest wyznaczona przez kodony w mRNA. Cząsteczką pośredniczącą w odczytywaniu informacji jest **transportujący RNA** (tRNA) – przenosi on wolne aminokwasy do rybosomu, gdzie zostają wbudowane do łańcucha polipeptydowego.

Budowa i funkcja rybosomów

Rybosomy ułatwiają parowanie się kodonów mRNA z antykodonami tRNA, pełnią funkcję rusztowania przytrzymującego cały kompleks, umożliwiając wytworzenie wiązania peptydowego pomiędzy aminokwasami. Rybosom składa się z dwóch podjednostek – małej i dużej. Obie są zbudowane z białek i **rybosomowego RNA** (**rRNA**).

Rybosomy mają aktywne obszary (miejsca):

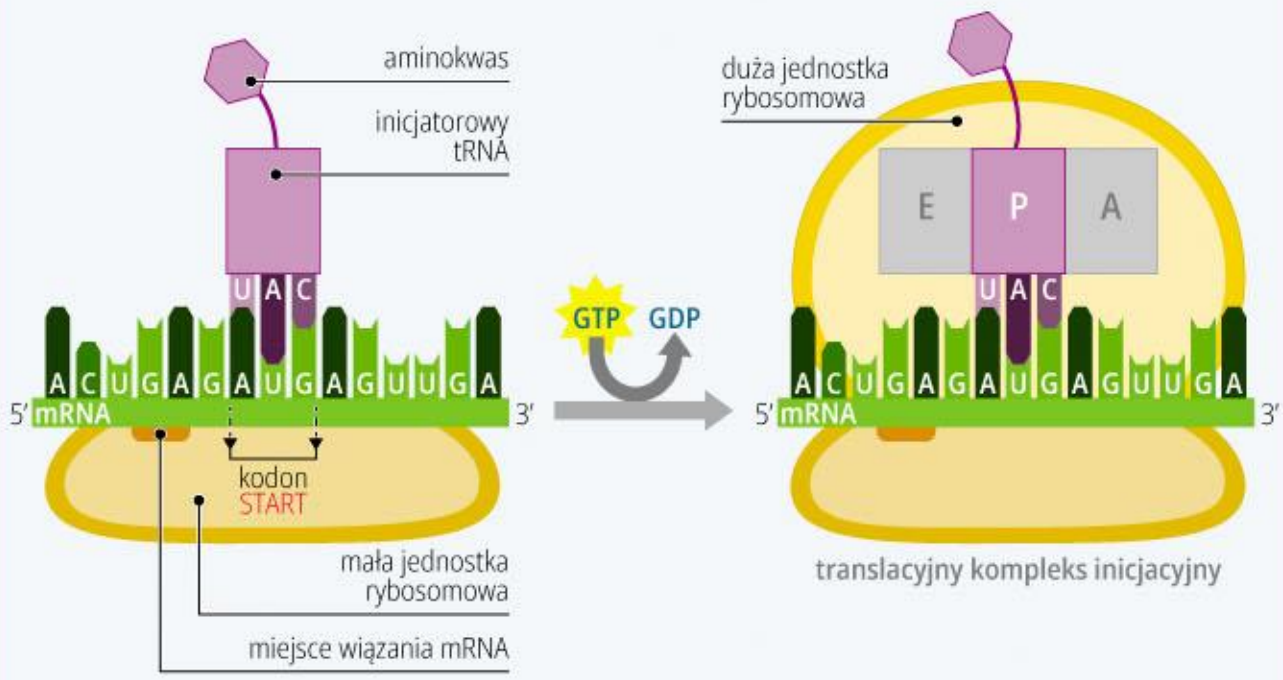
- **miejsce wiązania mRNA;**
- **miejsce A** (od aminoacylo-tRNA) – region przyłączania tRNA z aminokwasem;
- **miejsce P** (od peptydylo-tRNA) – obszar, w którym związana jest cząsteczka tRNA z rosnącym łańcuchem polipeptydowym;
- **miejsce E** (od *exit*) – miejsce, w którym wolny tRNA opuszcza rybosom.



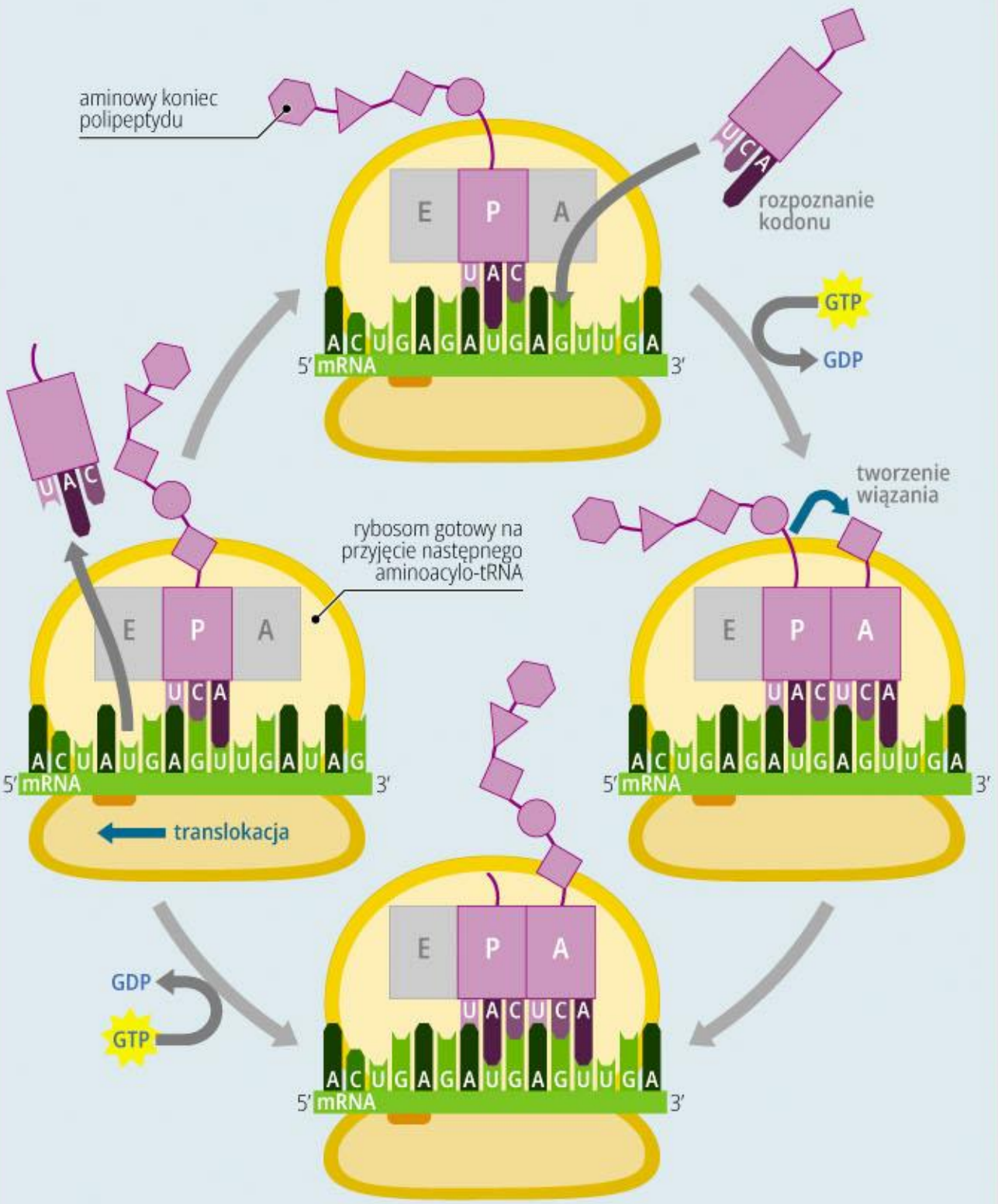
Budowa rybosomu i miejsca wiązania: A (tRNA niosącego aminokwas), P (tRNA niosącego łańcuch polipeptydowy) i E (miejsca opuszczania rybosomu przez wolny tRNA)

Przebieg translacji

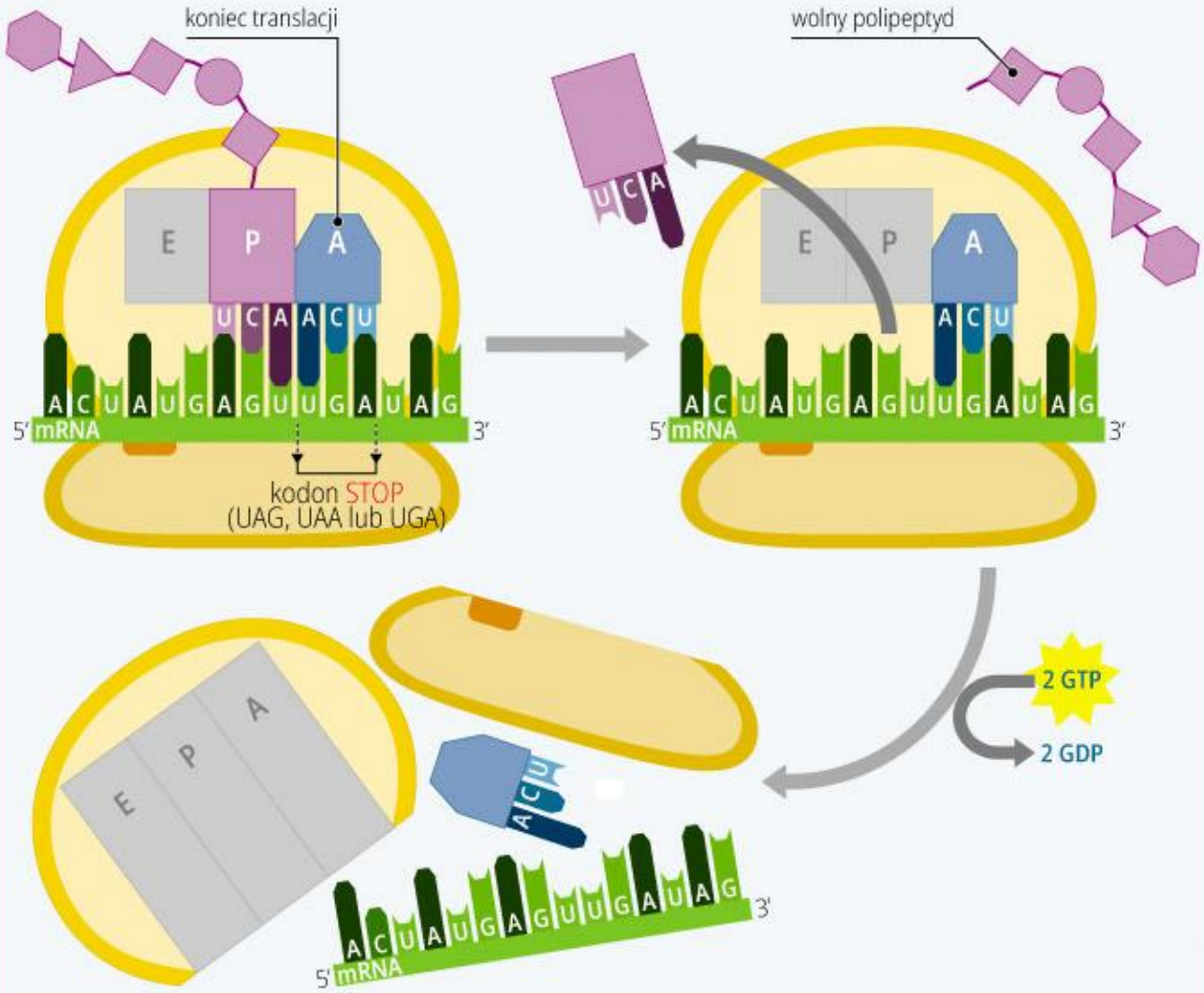
Etap translacji	Przebieg
inicjacja	• połączenie się małej podjednostki rybosomu z białkowymi czynnikami inicjacyjnymi, mRNA, tRNA niosącym aminokwas metioninę (tzw. tRNA inicjatorowy) • przyłączanie dużej podjednostki rybosomu • inicjatorowy tRNA przechodzi do miejsca P rybosomu, a wolne miejsce A jest gotowe na przyjęcie aminoacylo-tRNA • rozpoczęcie translacji kodonu odpowiadającego metioninie (AUG)



Etap translacji	Przebieg
elongacja	• przesuwanie się rybosomu wzdłuż cząsteczki mRNA w kierunku 5′ → 3′ i odczytywanie kolejnych kodonów • rozpoznawanie kolejnych kodonów przez tRNA i przyłączanie konkretnych aminokwasów • parowanie kodonu mRNA z antykodonem tRNA w miejscu A rybosomu i wytworzenie wiązania peptydowego pomiędzy aminokwasami • odcięcie polipeptydu od tRNA w miejscu P • przesunięcie wolnego tRNA do miejsca E i opuszczenie rybosomu • przesunięcie tRNA z rosnącym łańcuchem polipeptydowym z miejsca A do miejsca P • przesunięcie się rybosomu o jeden kodon w kierunku 3′ cząsteczki mRNA, zwolnienie miejsca A, które „czeka" na kolejny aminoacylo-tRNA



Etap translacji	Przebieg
terminacja	• nasunięcie się kodonu STOP nici mRNA (UGA, UAA, UAG) w miejsce A rybosomu, które daje sygnał końca translacji • odłączenie tRNA od łańcucha polipeptydowego • odłączeniu nowo powstałego polipeptydu od rybosomu • rozpad kompleksu translacyjnego



Modyfikacje posttranslacyjne

Powstały w czasie translacji łańcuch polipeptydowy zwija się i fałduje w trójwymiarową strukturę, która jest aktywną formą białka. Często powstanie końcowej formy białka jest poprzedzone **modyfikacjami posttranslacyjnymi**.

Obróbka posttranslacyjna może polegać na:

- **modyfikacjach chemicznych** aminokwasów łańcucha polipeptydowego, np. dodaniu grup fosforanowych, reszt cukrowych, grup hydroksylowych;
- **usunięciu** jednego lub dwóch **aminokwasów** z końca łańcucha polipeptydowego (np. usuwanie metioniny);
- enzymatycznym **pocięciu łańcucha polipeptydowego** na kilka fragmentów (np. insulina).

Porównanie ekspresji genów w komórkach prokariotycznych i eukariotycznych

Cecha	Bakterie	Komórki eukariotyczne
budowa genu	Ciągłe sekwencje kodujące, bez wstawek w postaci sekwencji niekodujących; te geny, które biorą udział we wspólnym procesie, są odczytywane razem (wyjątkiem są niektóre archeony).	Większość genów jest nieciągła, tzn. zawierają naprzemiennie ułożone sekwencje kodujące (eksony) i niekodujące (introny); każdy gen jest odczytywany oddzielnie.
miejsce zachodzenia w komórce	transkrypcja i translacja w cytoplazmie	transkrypcja w jądrze komórkowym, translacja w cytoplazmie
liczba polimeraz RNA	1	3
pierwotny transkrypt mRNA	Zawiera gotową sekwencję kodującą i od razu jest poddawany translacji.	Poddawany obróbce posttranskrypcyjnej: modyfikacje końców (dodawanie czapeczki 5′ na końcu 5′) oraz ogona poli-A na końcu 3′; usuwanie sekwencji niekodujących i łączenie sekwencji kodujących.
stabilność mRNA	Mało stabilny (okres półtrwania* wynosi średnio 2 min).	Stabilny (okres półtrwania od 30 min do 24 h; w komórkach ssaków średnio 10 h).
pierwszy kodon translacji	AUG oznaczający zmodyfikowaną metioninę – N-formylometionina (fMet).	AUG oznaczający metioninę (Met).
budowa rybosomów	Stała sedymentacji 70S**; dwie podjednostki: mała (50S) zbudowana z 21 białek, 1 cząsteczki rRNA, duża (30S) – zbudowana z 34 białek oraz dwóch cząsteczek rRNA.	Stała sedymentacji 80 S; dwie podjednostki: mała (40S) składa się z jednego łańcucha RNA, a duża (60S) – z trzech łańcuchów rRNA; liczba białek wchodzących w skład rybosomów różni się u grup poszczególnych organizmów (łącznie może ich być ok. 80–90). *W komórkach eukariotycznych występują także rybosomy chloroplastowe i mitochondrialne, które budową przypominają rybosomy bakteryjne.*

* Okres półtrwania – czas, w którym degradacji ulega połowa cząsteczek.
** S – jednostka stałej sedymentacji Svedberga równa 10^{-13} s.

Regulacja ekspresji genów

Regulacja ekspresji genów polega na włączaniu lub wyłączaniu ekspresji określonych genów w odpowiedzi na zmieniające się warunki środowiska. Geny ulegają ekspresji w sposób:

- **ciągły** – przez cały okres rozwoju organizmu;
- **czasowy** – na określonym etapie rozwoju;
- **specyficzny miejscowo** – tylko w niektórych tkankach organizmu.

Poziomy kontroli metabolizmu komórki

Poziomy kontroli metabolizmu komórki	
Poziom kontroli	**Charakterystyka**
transkrypcja	Komórka indukuje, hamuje, przyspiesza lub zwalnia transkrypcję konkretnych genów przez obecność różnych czynników transkrypcyjnych (białka, hormony steroidowe).
obróbka potranskrypcyjna	Komórka poddaje pre-mRNA stosownej obróbce (splicing, edycja) w wybranym przez siebie zakresie.

Poziomy kontroli metabolizmu komórki	
Poziom kontroli	**Charakterystyka**
transport mRNA	W celu dalszej obróbki mRNA musi przedostać się z jądra do cytoplazmy i trafić na rybosomy.
translacja	Komórka steruje szybkością budowy białek oraz ich ilością.
transport białek	W celu pełnienia określonej funkcji białka muszą być dostarczone do miejsc swego działania.
obróbka po-translacyjna	Komórka decyduje o nadaniu białkom ostatecznej formy, niezbędnej do podjęcia przez nie aktywności enzymatycznej.
regulacja aktywności enzymów	Komórka kontroluje aktywność gotowych enzymów, np. przez ich regulację allosteryczną.

Regulacja ekspresji genów u bakterii

Bakterie dostosowują swój metabolizm do warunków środowiska życia. Część genów genomu bakteryjnego jest stale transkrybowana (**geny konstytutywne**), ponieważ kodują one białka niezbędne do przeżycia. Inne geny ulegają ekspresji w czasie wzrostu bakterii w specyficznych warunkach. Geny, które kodują białka biorące udział w jednym procesie, są zorganizowane w zespoły zwane **operonami.**

Skład operonów bakteryjnych

Składnik	Charakterystyka
geny struktury	Sąsiadujące geny kodujące enzymy wspólnego szlaku metabolicznego.
promotor	Sekwencja wyznaczająca miejsce przyłączenia polimerazy RNA do nici DNA.
operator	Sekwencja nukleotydów DNA wyznaczająca miejsce przyłączenia białka regulatorowego.
terminator	Sekwencja wyznaczająca koniec transkrypcji genów struktury.
gen regulatorowy	Gen kodujący białko regulatorowe (represor).

Dodatkowo w regulacji operonu biorą udział represor oraz aktywator. **Represor** to białko odpowiedzialne za regulację negatywną operonu, łączy się z operatorem i hamuje transkrypcję genów struktury. **Aktywator** jest białkiem odpowiadającym za regulację pozytywną operonu, łączy się z operatorem i aktywuje transkrypcję.



Typy operonów

Typy operonów	
indukowane	**podlegające represji**
np. operon laktozowy (operon *lac*)	np. operon tryptofanowy (operon *trp*)

Operon laktozowy

Wykorzystanie laktozy przez bakterie *Escherichia coli* wynika z trzech zależnych od siebie procesów katalizowanych enzymatycznie:

- aktywnego transportu laktozy przez błonę komórkową – w procesie tym bierze udział enzym **permeaza laktozowa**;
- reakcji warunkujących transport laktozy w obrębie komórki uzależnionych od **transacetylazy galaktozydowej**;
- hydrolizy laktozy do glukozy i galaktozy przez enzym **β-galaktozydazę**.

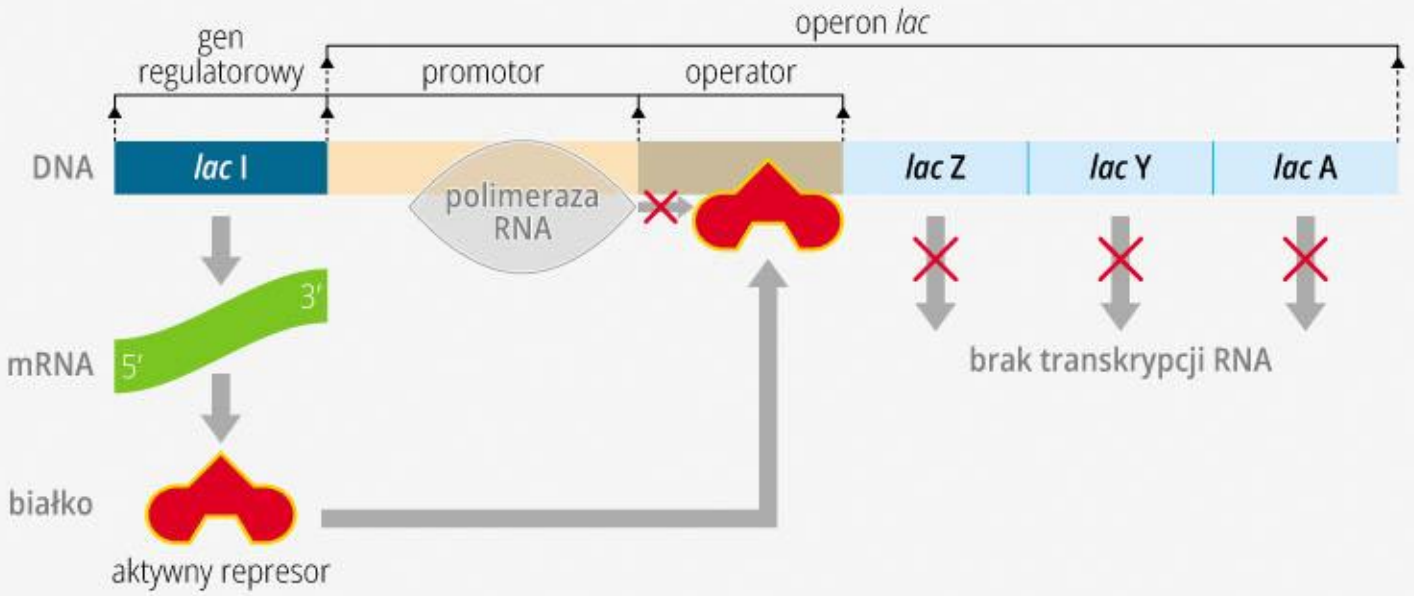
Aktywność tych enzymów wynika ze wspólnej regulacji **operonu laktozowego** (lac), w którym zwarte są trzy geny strukturalne: *lacZ* (kodujący *b*-galaktozydazę), *lacY* (kodujący permeazę laktozową) i *lacA* (kodujący transacetylazę galaktozydową). W wyniku transkrypcji operonu laktozowego powstaje jedna cząsteczka mRNA, która koduje wszystkie trzy enzymy. Ponieważ każdy gen strukturalny ma swoje kodony START i STOP, po translacji powstają trzy oddzielne polipeptydy.

Operon laktozowy wyłączony

Kiedy komórka nie ma dostępu do laktozy, białko zwane **represorem laktozowym** wiąże się z operatorem i blokuje transkrypcję genów operonu laktozowego.

Brak laktozy, represor aktywny, operon wyłączony

Represor *lac* jest sam z siebie aktywny, a brak laktozy wyłącza operon poprzez związanie z operatorem.

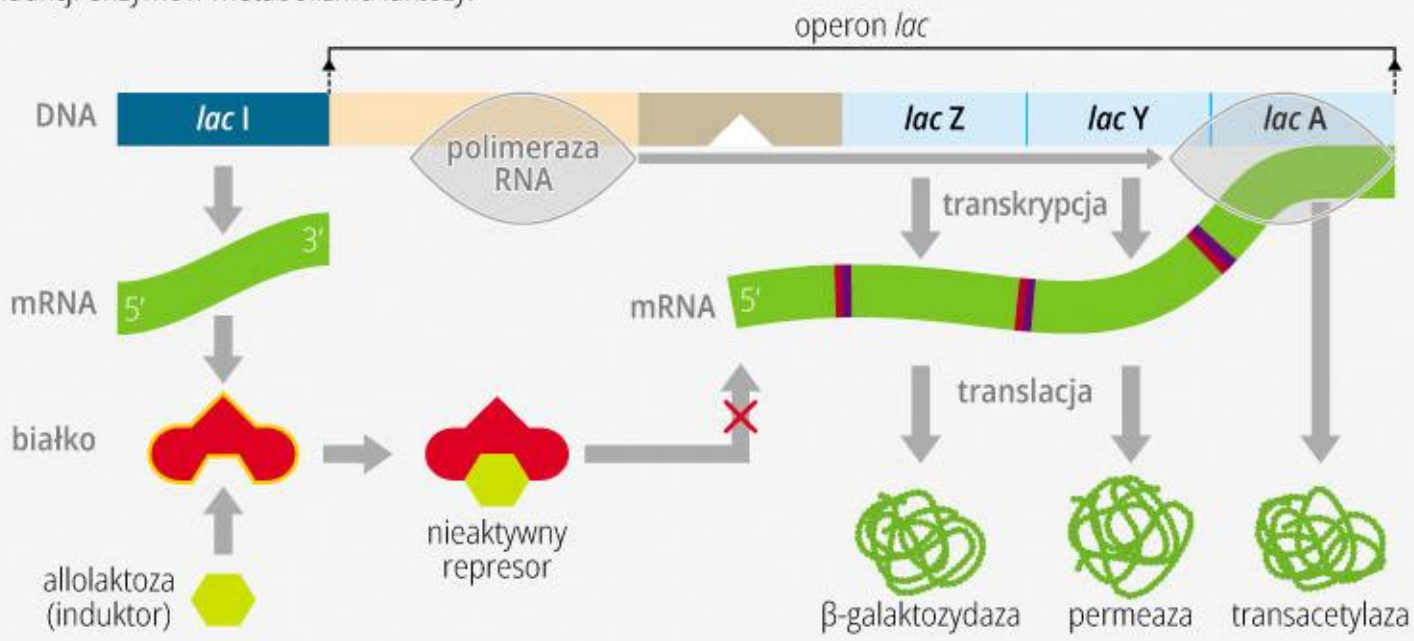


Operon laktozowy włączony

W obecności laktozy dwucukier ten przyłącza się do represora, zmieniając jego konformację i inaktywując go. Związanie represora umożliwia polimerazie RNA rozpoczęcie transkrypcji genów strukturalnych, która trwa do momentu wyczerpania się cząsteczek laktozy.

Laktoza obecna, represor nieaktywny, operon włączony

Allolaktoza – izomer laktozy inaktywuje represor, dzięki czemu przywraca aktywność operonu. Prowadzi to do indukcji enzymów metabolizmu laktozy.

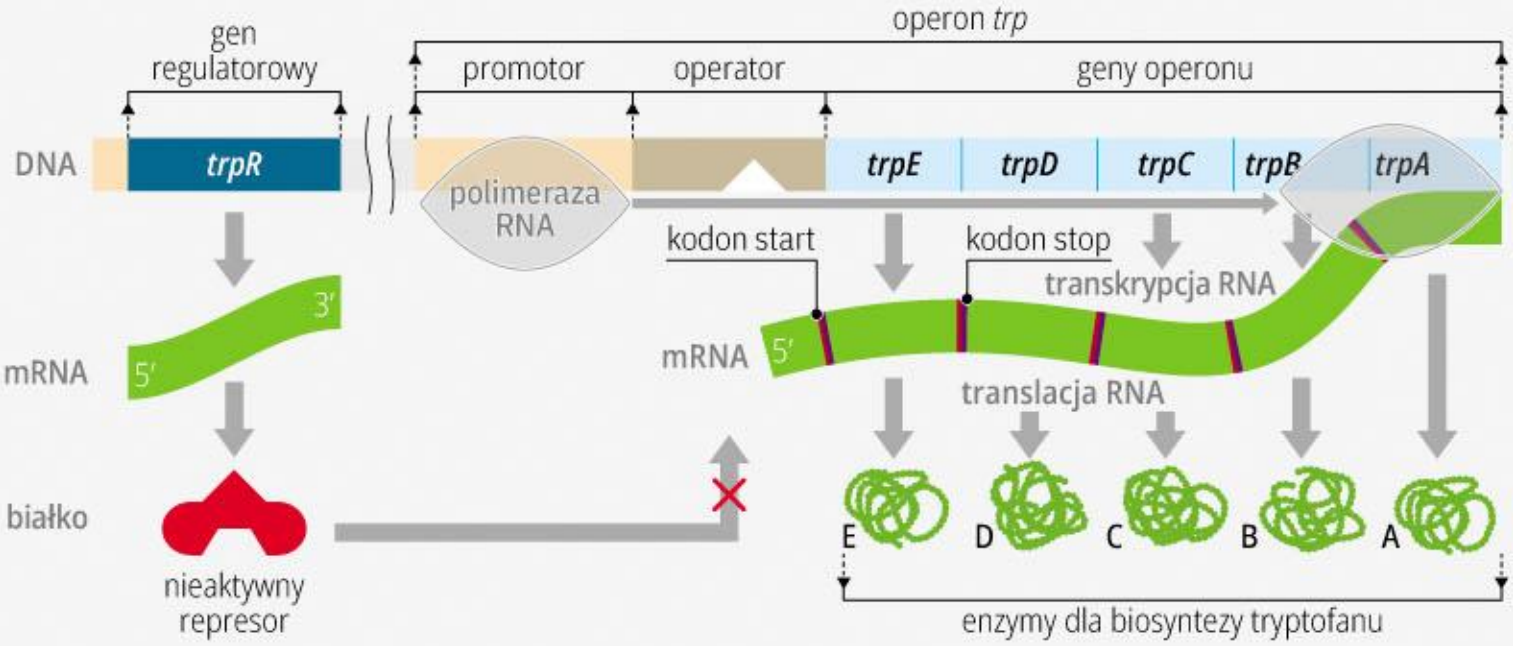


Operon tryptofanowy

Operon tryptofanowy (*trp*) to **operon podlegający represji** – geny wchodzące w jego skład są włączone, a ich inaktywacja następuje w określonych warunkach. Operon *trp* u *Escherichia coli* składa się z pięciu genów strukturalnych odpowiadających za syntezę tryptofanu, promotora i operatora. Nieaktywne białko represorowe operonu jest aktywowane poprzez przyłączenie się do niego tryptofanu (w sytuacji nadwyżki tego aminokwasu w komórce). Blokada genów operonu *trp* przez represor hamuje syntezę tryptofanu. Spadek stężenia tryptofanu powadzi do ponownej inaktywacji białka represorowego i wznowienia jego syntezy.

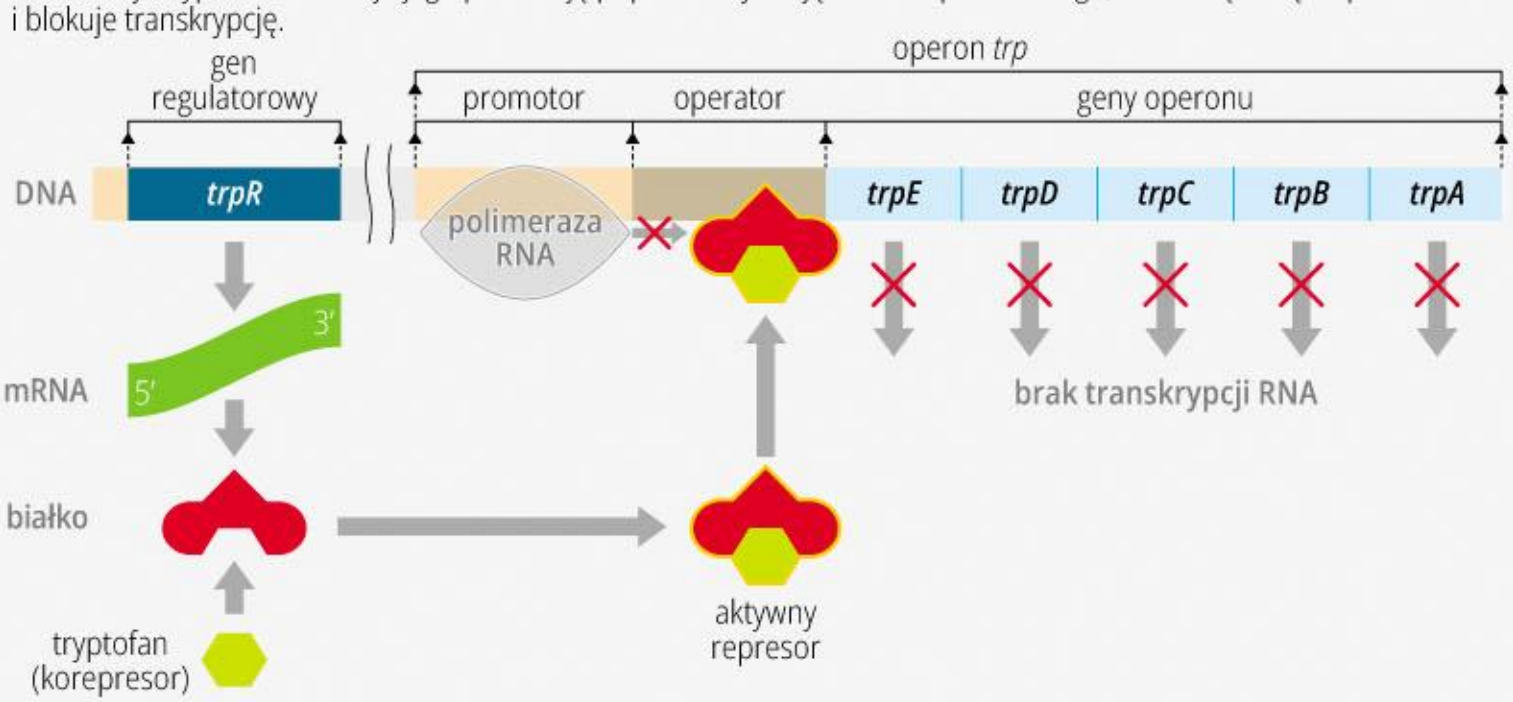
Brak tryptofanu, represor nieaktywny, operon włączony

Polimeraza RNA przyłącza się do DNA promotora i przeprowadza transkrypcję genów operonu.



Tryptofan obecny, represor aktywny, operon wyłączony

Akumulacja tryptofanu hamuje jego produkcję poprzez aktywację białka represorowego, które wiąże się z operatorem i blokuje transkrypcję.



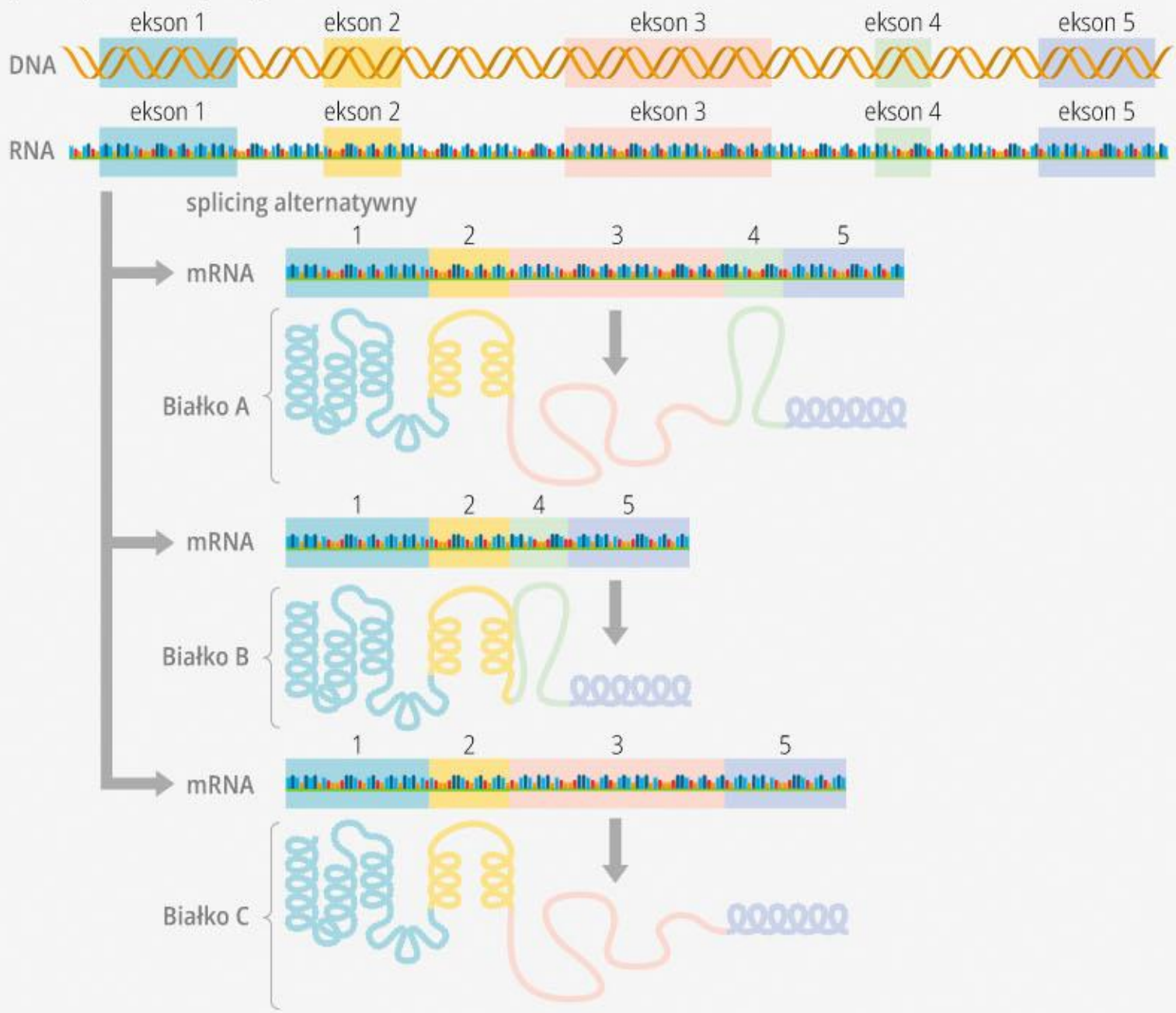
Regulacja ekspresji genów w komórce eukariotycznej

Regulacja ekspresji genów u eukariontów zachodzi na etapie transkrypcji, dojrzewania mRNA, eksportu mRNA z jądra do cytoplazmy, translacji, a także na poziomie białka.

Poziom regulacji ekspresji genów	Istota regulacji
regulacja na poziomie chromatyny	• zmiana struktury heterochromatyny w euchromatynę polegająca na **modyfikacji histonów** w wyniku przyłączenia do nich określonych grup funkcyjnych (np. metylowych, acetylowych), co skutkuje odsłonięciem lub zakryciem określonych obszarów DNA i aktywacją lub dezaktywacją zawartych tam genów

Poziom regulacji ekspresji genów	Istota regulacji
regulacja na poziomie chromatyny	• **metylacja DNA**, czyli enzymatyczne przyłączenie grupy metylowej ($-CH_3$) do zasad azotowych nukleotydów (najczęściej do cytozyny); skutkiem metylacji jest najczęściej obniżenie lub wyciszenie ekspresji genów oraz zmiana stopnia kondensacji chromatyny, zmniejszenie dostępu do DNA czynników transkrypcyjnych
regulacja na poziomie transkrypcji	• regulacja w wyniku **zmiany szybkości transkrypcji danego genu** zależnej od czynników transkrypcyjnych, które wzmacniają lub osłabiają wydajność transkrypcji • **sekwencje wzmacniające** zawarte w genach ułatwiają tworzenie się kompleksu inicjacji transkrypcji i zwiększają tempo syntezy mRNA • **sekwencje wyciszające** zmniejszają tempo transkrypcji
regulacja posttranskrypcyjna	• **splicing alternatywny**, czyli różny sposób łączenia się eksonów zawartych w pre-mRNA • w wyniku splicingu alternatywnego z jednego genu może powstać więcej mRNA i tym samym białek
interferencja RNA (RNAi)	• wyłączanie aktywności genów oparte na działaniu małych cząsteczkach RNA: **siRNA** lub **miRNA** • siRNA i miRNA przyłączają się do komplementarnej sekwencji mRNA i prowadzą do jego degradacji • aktywność RNAi polega także na blokowaniu translacji mRNA

Splicing alternatywny



W czasie splicingu alternatywnego eksony (1–5) są łączone w różnych kombinacjach, co prowadzi do powstania różnych białek (A–C).

9.2. Genetyka klasyczna

Podstawowe pojęcia stosowane przy dziedziczeniu cech

Pojęcie	Znaczenie
gen	odcinek DNA zawierający informację o kolejności aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym
allel	wersja danego genu warunkująca przeciwstawność danej cechy lub cech
allel dominujący	wersja genu, która ujawni się w fenotypie heterozygot i homozygot dominujących
allel recesywny	wersja genu, która ujawni się w fenotypie homozygot recesywnych
locus (l.mn. *loci*)	określone miejsce zajmowane przez allel danego genu w chromosomie
homozygota (linia czysta)	zestaw dwóch identycznych alleli danego genu w układzie diploidalnym
homozygota dominująca	zestaw homozygotyczny, w którym oba allele danego genu są dominujące
homozygota recesywna	zestaw homozygotyczny, w którym oba allele danego genu są recesywne
heterozygota	zestaw dwóch różnych alleli danego genu w układzie diploidalnym
pokolenie P	symbol pokolenia rodzicielskiego w krzyżówkach genetycznych
pokolenie F	symbol pokolenia potomków (dzieci, wnuków, itp.) zaznaczane kolejnymi numerami, zaczynając od F_1
genotyp	zespół genów danego osobnika warunkujących jego cechy
fenotyp	zespół ujawniających się cech morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych osobnika uwarunkowanych genotypem i środowiskiem
kwadrat Punnetta	tabela, w której zapisuje się wszystkie możliwe kombinacje łączenia się gamet osobników uczestniczących w krzyżówce
krzyżówka wsteczna	krzyżowanie heterozygotycznego potomka (pokolenie F_1) z jednym z homozygotycznych rodziców (pokolenie P)
krzyżówka testowa	rodzaj krzyżówki wstecznej, krzyżowanie osobnika wykazującego cechę dominującą z homozygotą recesywną pod kątem danej cechy w celu ustalenia jego homo- lub heterozygotyczności

Prawa Mendla

Dziedziczenie cech według prostych powtarzających się reguł zostało odkryte w XIX w. przez zakonnika Grzegorza Mendla (opat zakonu augustianów na Morawach). Swoje doświadczenia Mendel prowadził przede wszystkim na grochu zwyczajnym (*Pisum sativum*), a wyniki ich podsumował w dwóch prawach zwanych dzisiaj prawami Mendla.

I prawo Mendla – prawo czystości gamet

W każdej gamecie znajduje się tylko jeden z pary alleli warunkujących daną cechę (jedna kopia allelu).

Dziedziczenie barwy kwiatów u grochu zwyczajnego

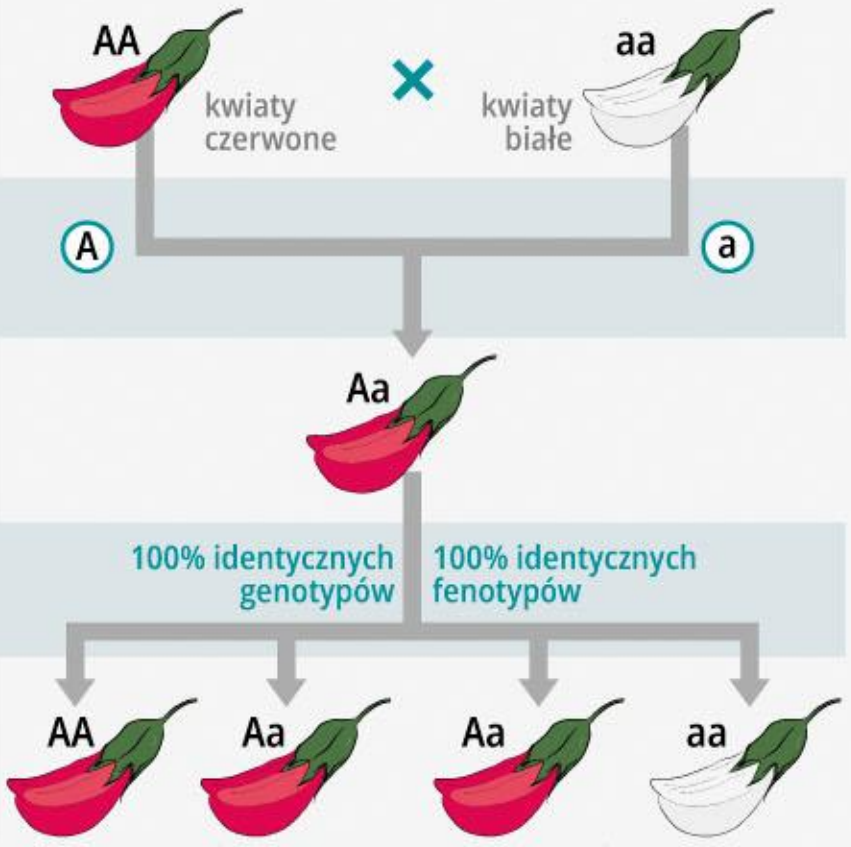
P Mendel krzyżował roślinę o czerwonej barwie kwiatów (homozygota dominująca o genotypie **AA**) z rośliną o białej barwie kwiatów (homozygota recesywna o genotypie **aa**).

Gamety – w gametach homozygot dominujących występowały same allele dominujące (**A**), a w gametach homozygot recesywnych – same allele recesywne (**a**).

F_1 Pierwsze pokolenie potomne tworzyły rośliny o czerwonej barwie kwiatów, heterozygoty (**Aa**), dlatego ujawniła się u nich cecha dominująca.

Gamety z F_1 – połowa gamet roślin z pokolenia F_1 zawiera allel recesywny, a połowa – allel dominujący.

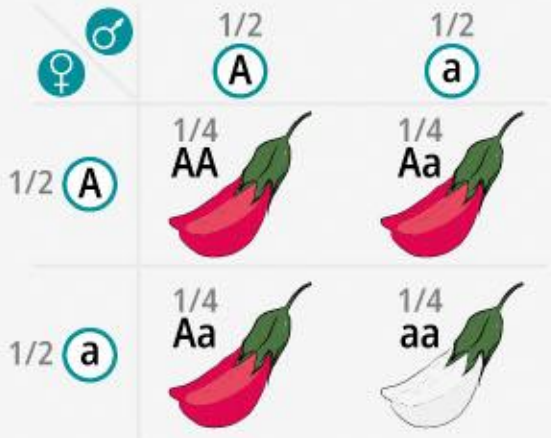
F_2 Drugie pokolenie potomne to: 75% roślin o czerwonej barwie kwiatów i 25% o barwie białej.



Kwadrat Punnetta

Znając genotypy pokolenia rodzicielskiego, można ustalić za pomocą tabeli (kwadratu, szachownicy Punnetta) genotypy pokolenia potomnego. W pierwszej kolumnie wpisujemy symbole wszystkich alleli występujących w gametach żeńskich, a w pierwszym wierszu poziomo – symbole wszystkich alleli występujących w gametach męskich. Genotypy osobników pokolenia potomnego wyznaczamy, zapisując symbole alleli pochodzących od każdej z łączących się gamet.

Właściwy zapis powinien na pierwszym miejscu mieć allel dominujący, jeżeli taki występuje w genotypie. Na podstawie genotypów osobników potomnych można wyznaczyć ich fenotypy i ustalić prawdopodobieństwo, z jakim ujawni się dana cecha.



Stosunek genotypów 1:2:1

Stosunek fenotypów 3:1

II prawo Mendla – prawo niezależnej segregacji alleli

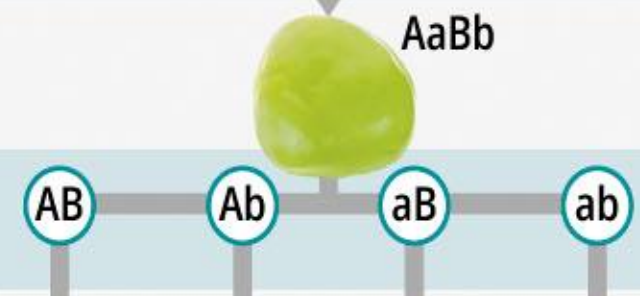
Dwie cechy lub więcej cech (genów) dziedziczy się niezależnie od siebie i mogą ze sobą tworzyć w genach różne kombinacje.

P Mendel krzyżował rośliny o nasionach żółtych i gładkich powierzchniach (homozygota **AABB**) z roślinami o nasionach zielonych i powierzchniach pomarszczonych (homozygota **aabb**).



Gamety – każda gameta pokolenia rodzicielskiego miała jeden allel odpowiedzialny za barwę nasion i jeden odpowiedzialny za rodzaj powierzchni.

F_1 Wszystkie rośliny były heterozygotami o nasionach gładkich i żółtych (heterozygoty **AaBb**).



Gamety z F_1 – allele obu genów rozdzieliły się na cztery warianty, co dało cztery rodzaje gamet roślin z pokolenia F_1.

F_2 Rośliny pokolenia F_2 dzięki losowemu krzyżowaniu się gamet mogły być homozygotami pod względem jednej cechy i heterozygotami pod względem innej cechy.

♂ / ♀	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

stosunek fenotypów



stosunek genotypów

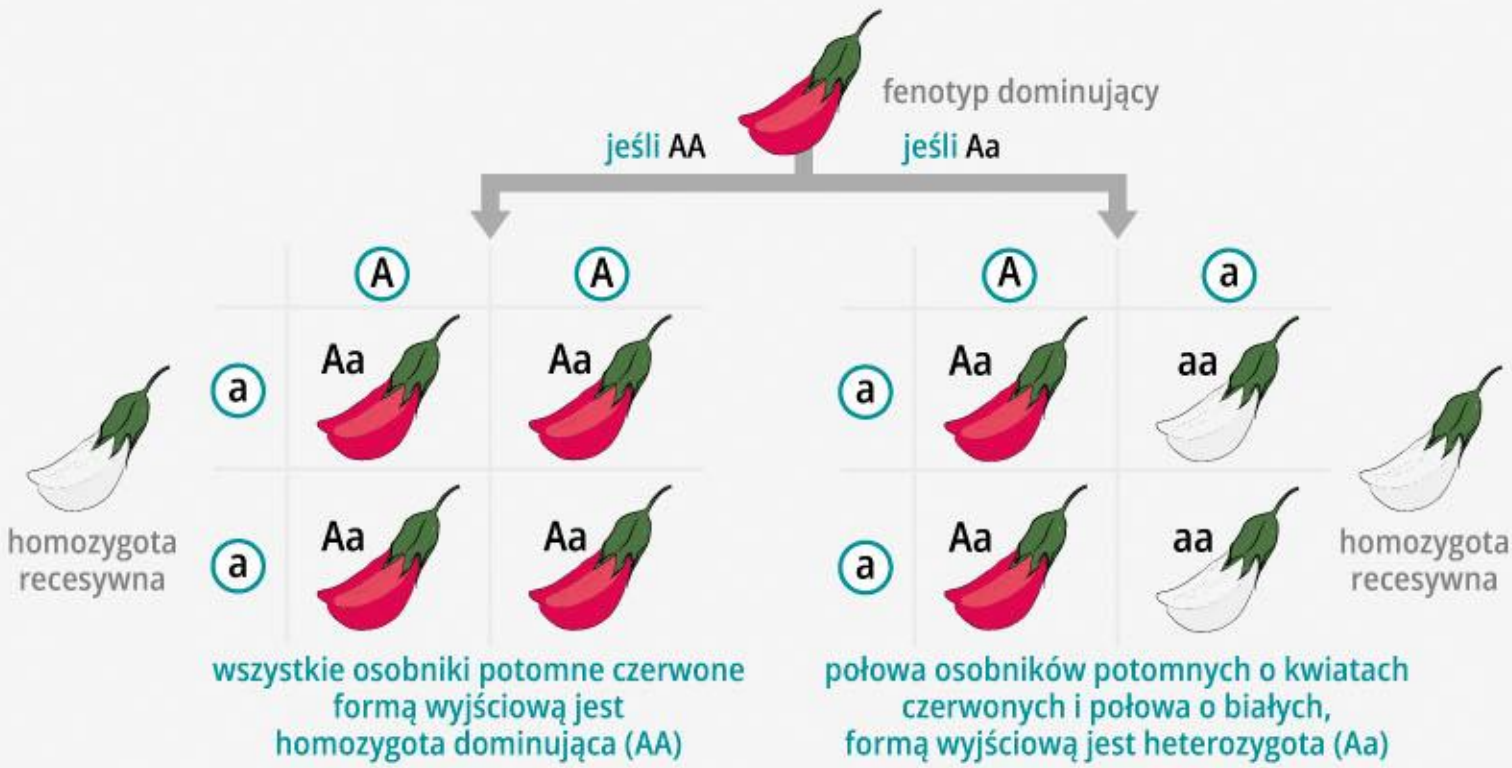
AABB : AABb : AAbb : AaBB : AaBb : Aabb : aaBB : aaBb : aabb

1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1

A – allel dominujący warunkujący gładką powierzchnię nasion
a – allel recesywny warunkujący pomarszczoną powierzchnię nasion
B – allel dominujący warunkujący żółtą barwę nasion
b – allel recesywny warunkujący zieloną barwę nasion

Krzyżówka testowa jednogenowa

Osobnik o kwiatach czerwonych może być homozygotą dominującą – AA lub heterozygotą – Aa. W celu ustalenia genotypu takiego osobnika stosuje się tzw. **krzyżówkę testową**, czyli krzyżówkę osobnika o dominującym fenotypie z homozygotą recesywną.

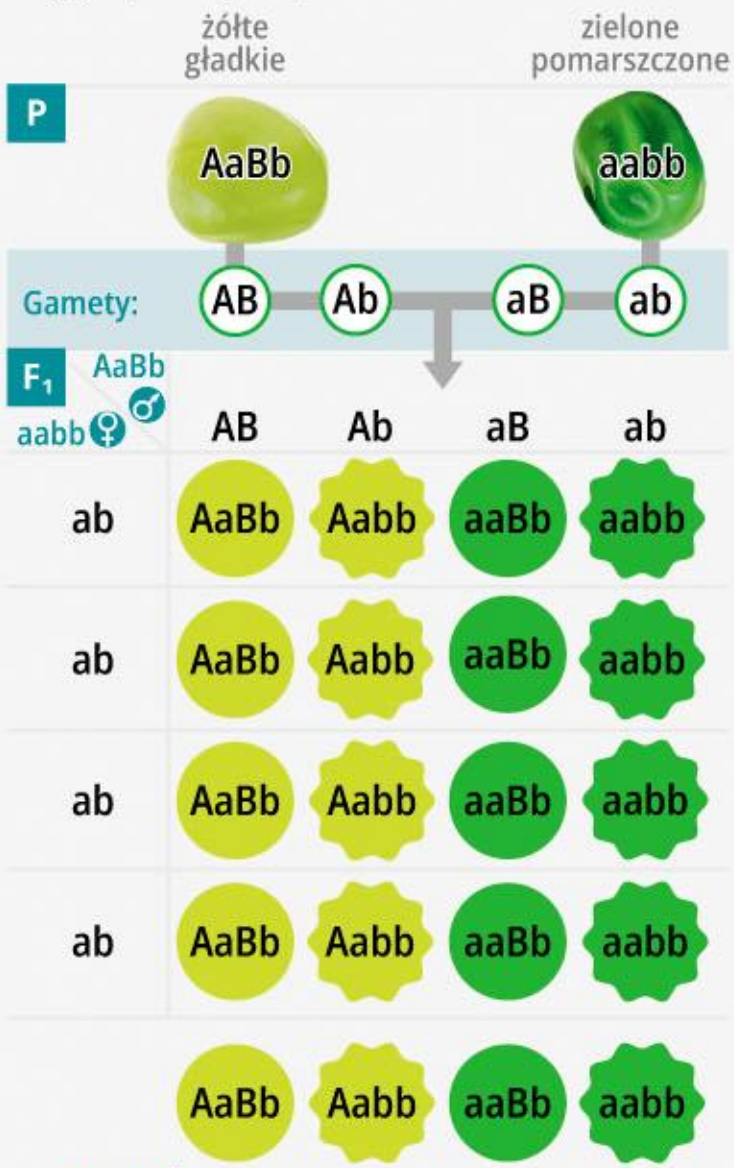


Krzyżówka testowa dwugenowa

Osobnik o dominującym fenotypie – nasionach żółtych i gładkiej powierzchni – ma genotypy AABB lub AaBb. W celu ustalenia, czy dany osobnik jest homozygotą dominującą czy heterozygotą pod względem dwóch cech, np. barwy i powierzchni nasion, stosuje się krzyżówkę testową dwugenową, czyli krzyżówkę osobnika o dominującym fenotypie z homozygotą recesywną.

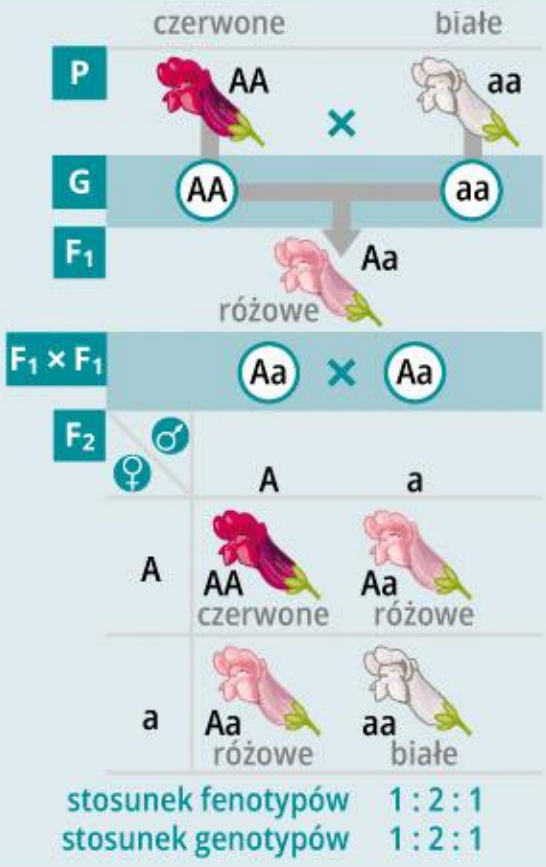
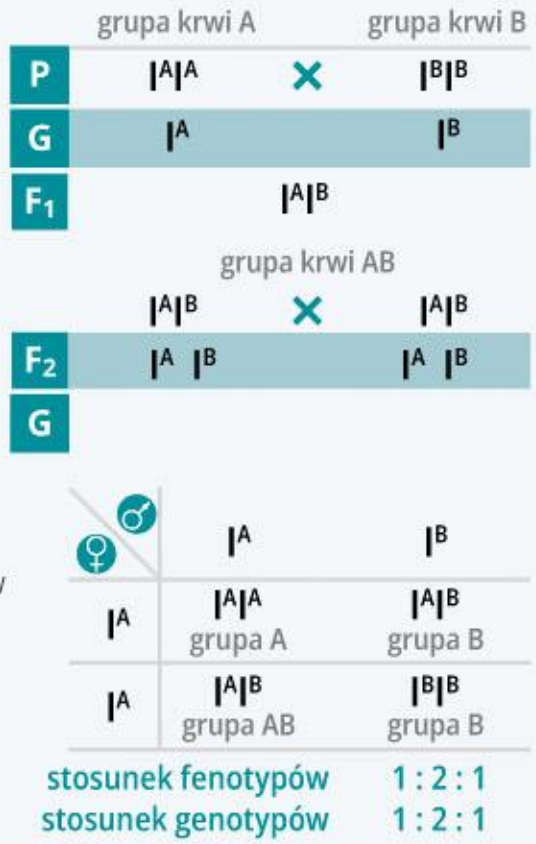


wszystkie rośliny mają nasiona żółte i gładkie wskazuje, że badany osobnik jest podwójną homozygotą (AABB)

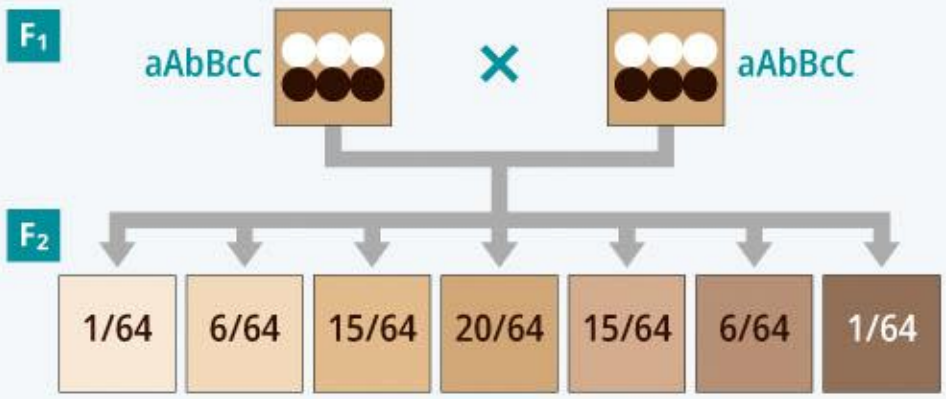


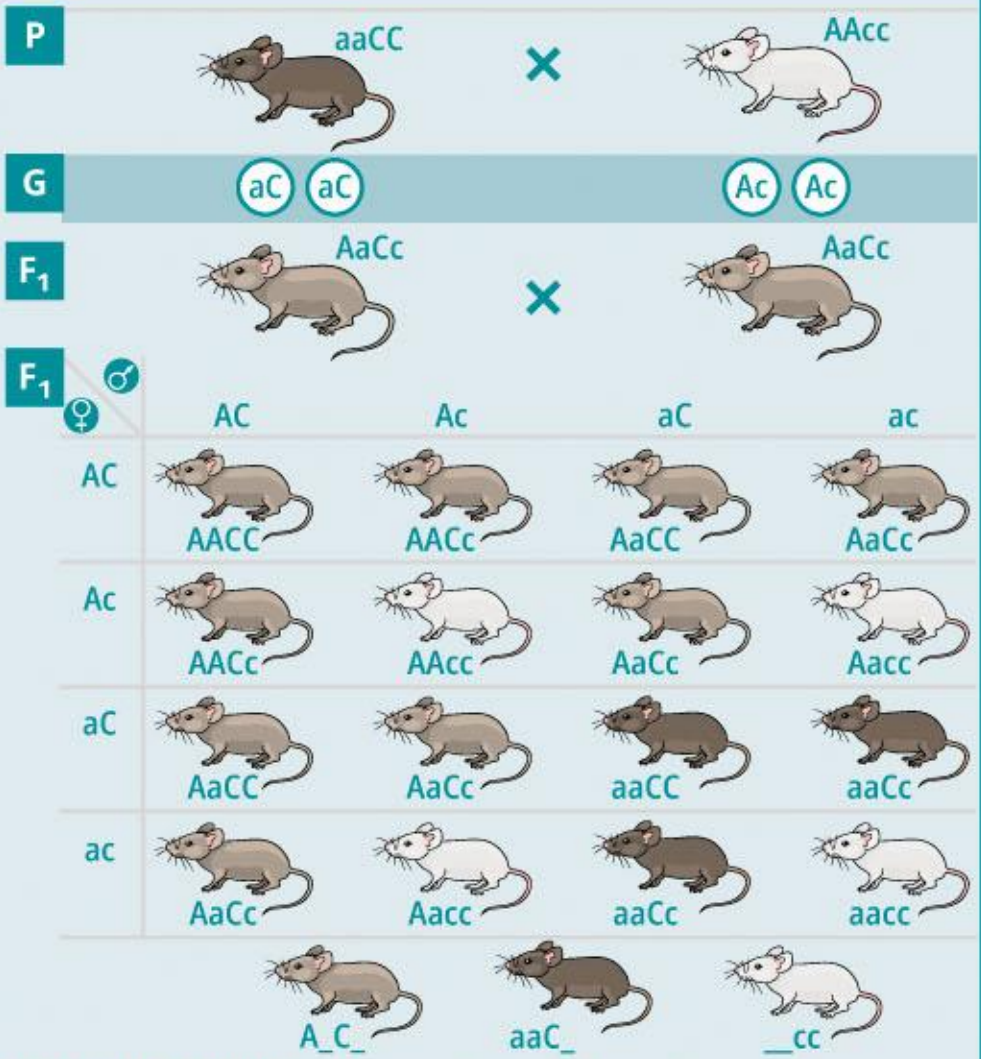
uzyskanie czterech grup osobników w proporcjach 1:1:1:1 wskazuje, że badany osobnik jest podwójną heterozygotą (AaBb)

Odstępstwa od praw Mendla

Liczba cech	Liczba genów	Sposób dziedziczenia	Opis
jedna	jeden gen koduje jedną cechę	dominacja zupełna	Jeden allel dominuje całkowicie nad drugim allelem recesywnym, cecha uwarunkowana allelem recesywnym ujawni się fenotypowo tylko w układzie homozygoty recesywnej. np. dziedziczenie barwy kwiatów u grochu zwyczajnego
		dominacja niezupełna	Allel dominujący nie w pełni dominuje nad allelem recesywnymi, u heterozygot powstaje fenotyp mieszany. np. dziedziczenie barwy kwiatów u wyżlinu większego (*Antirrhinum majus*) (lwiej paszczy) 
		kodominacja	Dwa allele są równoważne i ujawniają się oba u heterozygot fenotyp charakteryzuje się mozaikowatością danej cechy. np. dziedziczenie grupy krwi AB w układzie AB0 u człowieka U osobnika z grupą krwi IAIB jednocześnie ujawni się allel I^A warunkujący obecność antygenów A na powierzchni erytrocytów oraz allel I^B warunkujący obecność antygenów B na powierzchni erytrocytów. 
		allele wielokrotne	Gen determinujący daną cechę ma więcej niż dwa allele. np. dziedziczenie grup krwi układu AB0 u człowieka – grupy krwi (A,B,AB,O) wyróżniamy na podstawie występowania w błonie komórkowej erytrocytów antygenów A, B, H (I^A – synteza antygenu A, I^B – synteza antygenu B, i^0 – synteza antygenu H) – zarówno allel I^A, jak i I^B **dominują całkowicie** nad allelem i (dominacja zupełna) – allele I^A oraz I^B wykazują względem siebie **kodominację**

Liczba cech	Liczba genów	Sposób dziedziczenia	Opis
			P ♂ I^Ai × ♀ I^Bi F₁ (♂ / ♀): I^A | i I^B | I^AI^B grupa AB | I^Bi grupa B i | I^Ai grupa A | ii grupa 0 stosunek fenotypów i genotypów 1 : 1 : 1 : 1
	dziedziczenie wielogenowe	geny dopełniające	Do wykształcenia danej cechy niezbędne jest jednoczesne oddziaływanie dwóch genów. – w pokoleniu F_2 stosunek fenotypów wynosi **9:7** np. dziedziczenie barwy kwiatów u groszku pachnącego (*Lathyrus odoratus*) Dwa geny kodują dwa enzymy biorące udział w przemianie bezbarwnych związków w czerwony barwnik. Dominujący allel A odpowiada za wytworzenie enzymu 1, a dominujący B za powstanie enzymu 2. Aby roślina wytworzyła barwne kwiaty, musi mieć co najmniej po jednym dominującym allelu każdego z dwóch genów. Allele recesywne obu genów powodują, że enzymy nie są aktywne i nie będą katalizowały przemian bezbarwnego substratu. gen A → enzym I: substrat → bezbarwny produkt pośredni; gen B → enzym II: bezbarwny produkt pośredni → barwnik antocyjanowy A – allel dominujący – warunkuje syntezę enzymu I a – allel recesywny – brak enzymu I B – allel dominujący – warunkuje syntezę enzymu II b – allel recesywny – brak enzymu II P: AAbb (białe) × aaBB (białe) G: Ab, Ab × aB, aB F_1: AaBb (ciemnoróżowe) $F_1 \times F_1$: AaBb × AaBb F_2: ♂ \ ♀ | AB | Ab | aB | ab AB | AABB ciemnoróżowe | AABb ciemnoróżowe | AaBB ciemnoróżowe | AaBb ciemnoróżowe Ab | AABb ciemnoróżowe | AAbb białe | AaBb ciemnoróżowe | Aabb białe aB | AaBB ciemnoróżowe | AaBb ciemnoróżowe | aaBB białe | aaBb białe ab | AaBb ciemnoróżowe | Aabb białe | aaBb białe | aabb białe

Liczba cech	Liczba genów	Sposób dziedziczenia	Opis
		geny kumulatywne	Na natężenie danej cechy ma wpływ sumowanie się działania różnych genów. np. cechy ilościowe – wzrost i masa organizmu, obwód głowy człowieka, długość kolb kukurydzy czy masa jaj u kur; dziedziczenie barwy skóry u człowieka **Za barwę skóry człowieka odpowiadają 3 geny: A, B, C.** Osobnik potrójnie homozygotyczny AABBCC ma skórę bardzo ciemną, natomiast aabbcc ma skórę bardzo jasną. Po skrzyżowaniu tych osobników powstają potrójne heterozygoty(AaBbCc) o odcieniu skóry pośrednim. Potomstwo dwóch potrójnych heterozygot wykazuje dużą zmienność pod względem barwy skóry. Każdy allel zwiększa natężenie barwy skóry w takim samym stopniu. Im większa liczba alleli dominujących w genotypie, tym ciemniejsza skóra.  fenotypy (natężenie) barwy skóry u człowieka – tylko jeden fenotyp jest bardzo jasny i jeden bardzo ciemny
		geny epistatyczne i hipostatyczne	Jeden gen (**epistatyczny**) maskuje ekspresję działania drugiego genu (**hipostatycznego**). Cecha uwarunkowana genem hipostatycznym ujawni się tylko wówczas, gdy gen epistatyczny występuje w postaci homozygoty recesywnej. np. dziedziczenie brązowej barwy sierści u myszy – przykład epistazy – C – odpowiada za wytworzenie barwnika – c – odpowiada za brak syntezy barwnika (biała sierść) – A – odpowiada za ubarwienie agouti (brak barwnika w szczytowej części włosa) – a – warunkuje równomierne rozmieszczenie barwnika Allel C decydujący o wytworzeniu barwnika jest **allelem epistatycznym** (nadrzędnym) w stosunku do alleli A i a wpływających na rozmieszczenie barwnika. Allele A i a, których działanie nie może się ujawnić fenotypowo, są **hipostatyczne** (podrzędne) w stosunku do allelu C.

Liczba cech	Liczba genów	Sposób dziedziczenia	Opis
			 Po skrzyżowaniu myszy jednolicie barwnych z białymi (pokolenie P) otrzymano osobniki o sierści typu agouti (AaCe) (pokolenie F_1). W drugim pokoleniu potomnym (F_2) otrzymano gryzonie o sierści agouti (co najmniej jeden dominujący allel A i co najmniej jeden dominujący allel C), gryzonie o jednolitej barwie (dwa recesywne allele a i co najmniej jeden dominujący allel C) i gryzonie o białej barwie sierści (dwa recesywne allele c).
wiele cech	plejotropia		Pojedynczy gen wpływa na kilka odmiennych cech organizmu. U człowieka geny plejotropowe warunkują choroby – albinizm, mukowiscydozę, anemię sierpowatą czy zespół Marfana. np. dziedziczenie żółtej barwy sierści u myszy – allel Z odpowiada za żółte ubarwienie sierści – allel z odpowiada za szare ubarwienie sierści  W potomstwie myszy o żółtej sierści otrzymano osobniki o sierści żółtej i szarej w proporcjach 2:1. Szare myszy są homozygotami zz, a żółte – heterozygotami Zz. Allel Z w układzie homozygoty – ZZ – jest letalny (powoduje śmierć) już w okresie zarodkowym. Gen plejotropowy wpływa jednocześnie na barwę i żywotność zarodków myszy.

Wyznaczanie rodzajów gamet wytwarzanych przez osobnika o określonym genotypie

Korzystamy ze wzoru 2^n, w którym n oznacza liczbę genów o różnych allelach w genotypie, np. osobnik będący heterozygotą AaBbCcDd wytwarza $2^4 = 16$ rodzajów gamet.

Chromosomowa teoria dziedziczenia

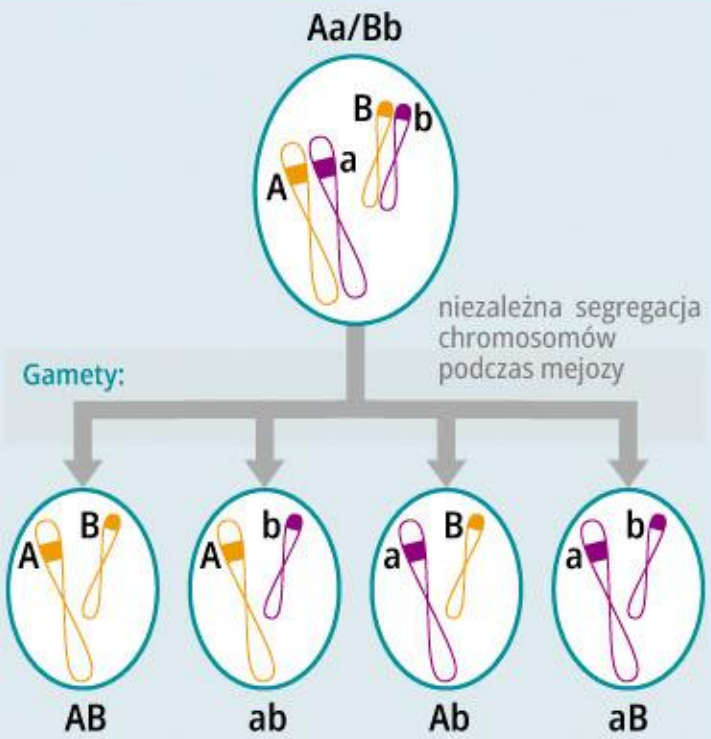
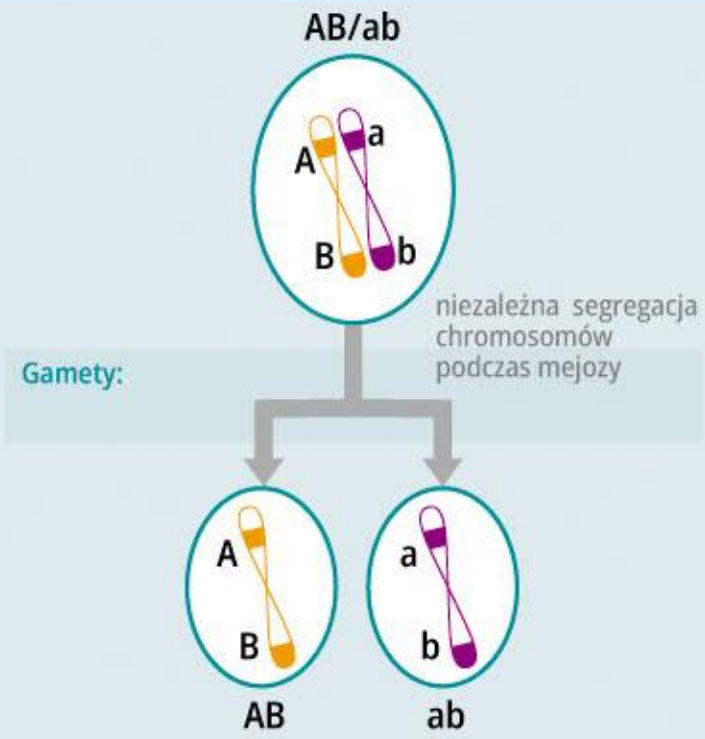
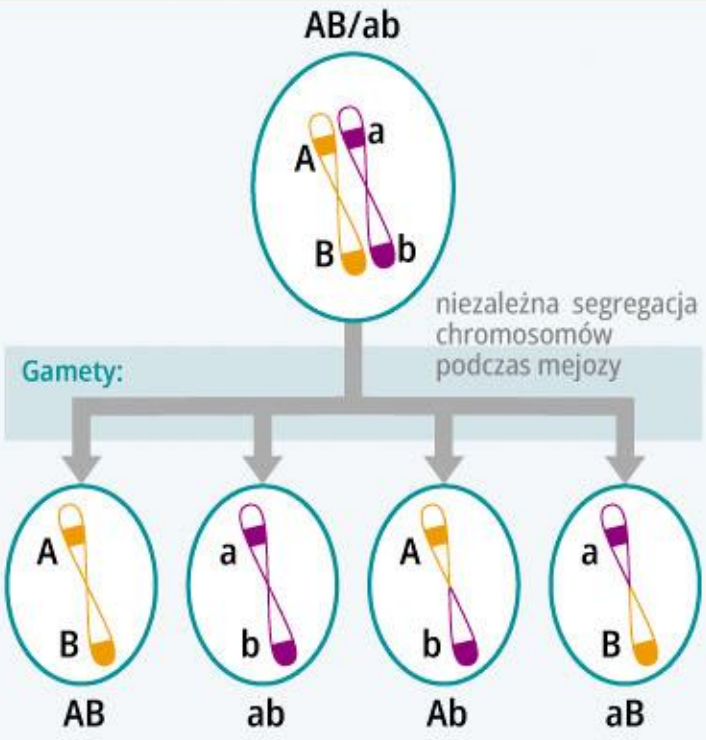
Na początku XX w. amerykański genetyk Thomas Morgan sformułował chromosomową teorię dziedziczenia. Obiektem badań Morgana była **muszka owocowa** (*Drosophila melanogaster*). Owad odznacza się wieloma cechami dogodnymi do prowadzenia doświadczeń, m.in. ma cztery pary chromosomów – trzy pary tzw. autosomów (wszystkie chromosomy z wyjątkiem chromosomów płci) i jedną parę chromosomów płci: XX u samicy i XY u samca.

Główne założenia teorii Morgana:

- Geny są zlokalizowane w chromosomach i mają swoje określone miejsce, tzw. **locus**.
- Ułożenie genów na chromosomach jest liniowe (jeden za drugim) w ściśle określonym porządku i kolejności.
- Allele tego samego genu zajmują to samo miejsce na chromosomach homologicznych.
- Geny leżące na jednym chromosomie są nazywane **genami sprzężonymi**.
- Geny sprzężone ze sobą są dziedziczone wspólnie.
- Allele genów sprzężonych znajdujących się w jednym chromosomie mogą ulegać rozdzieleniu podczas *crossing-over*, co prowadzi do **rekombinacji genetycznej**.

Sprzężenie genów

Geny	
niesprzężone	**sprzężone**
• geny znajdują się w różnych chromosomach • allele przechodzą do gamet niezależnie od siebie, czyli dziedziczą się zgodnie z II prawem Mendla • zapis genotypów bez kreski ułamkowej • podczas krzyżowania dwóch podwójnych heterozygot w pokoleniu potomnym stosunek fenotypów wynosi 9:3:3:1 • np. barwa nasion i kształt powierzchni nasion grochu zwyczajnego	• allele dwóch genów leżą w jednym chromosomie • allele przechodzą do gamet razem, czyli dziedziczą się niezgodnie z II prawem Mendla • zapis genotypów przez kreskę ułamkową (nad kreską – allele położone w jednym chromosomie homologicznym, a pod kreską – w drugim chromosomie w układzie cis (jeden z chromosomów homologicznych ma allele dominujące A i B, drugi allele recesywne a i b – zapis AB/ab lub $\frac{AB}{ab}$) lub w układzie trans (jeden z chromosomów homologicznych ma allele A i b, drugi a i B – zapis Ab/aB lub $\frac{Ab}{aB}$) • podczas krzyżowania dwóch podwójnych heterozygot (AB/ab x AB/ab) w pokoleniu potomnym stosunek fenotypów wynosi 3:1 • np. barwa ciała i wielkość skrzydeł muszki owocowej

Geny	
niesprzężone	**sprzężone**
 Podwójna heterozygota wytwarza cztery rodzaje gamet: AB, AB, Ab, ab.	 Podwójna heterozygota wytwarza dwa rodzaje gamet: AB, ab. W wyniku *crossing-over* (podczas mejozy) dla dwóch genów sprzężonych powstają cztery rodzaje gamet, co daje wśród potomstwa cztery grupy osobników: dwie o cechach rodziców i dwie, mniej liczne, będące **mieszańcami (rekombinantami**, o odmiennym od rodzicielskiego układzie alleli w chromosomach).
	

Mapowanie genów

Położenie genów w chromosomach zależy od częstości zachodzenia *crossing-over*:

– im dalej geny są od siebie położone, tym większe prawdopodobieństwo zajścia *crossing-over*;

– jeśli geny są blisko siebie położone, *crossing-over* zachodzi rzadziej.

Na podstawie częstości zachodzenia *crossing-over* można wykonać mapy chromosomowe, które oprócz określenia położenia genów pozwalają na obliczenie odległości między nimi na chromosomie.

Odległości wyrażamy w umownych jednostkach odległości, tzw. jednostkach mapowych (j.m.) zwanych inaczej **centimorganami (cM).**

Jeden cM (1 j.m.) odpowiada **1% częstości zachodzenia *crossing-over***. Im większy odsetek rekombinantów, tym większa odległość między badanymi genami.

Schemat mapy genetycznej chromosomu 2. muszki owocowej (liczby oznaczają jednostki mapowe)

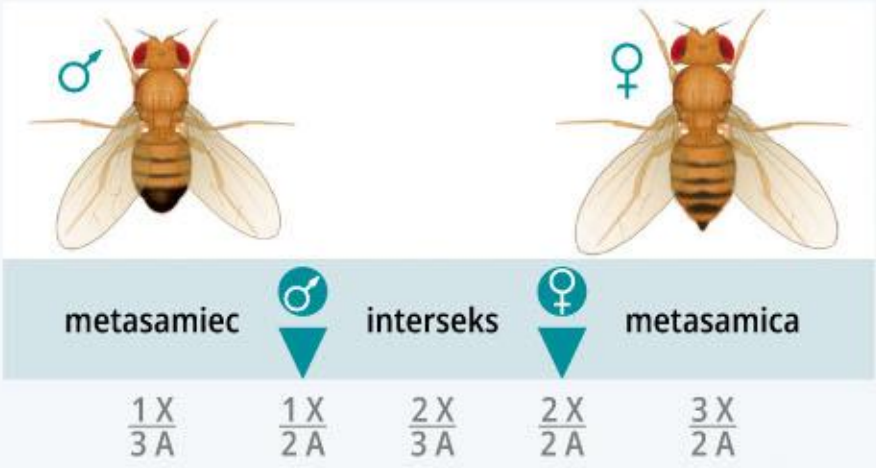
1,3	***S***	małe, szerokie oczy
13,0	***dp***	skośne skrzydła
31,0	***d***	krótkie odnóża
48,5	***b***	czarne ciało
48,7	***j***	zwężone skrzydła
54,5	***pr***	purpurowe oczy
57,5	***cn***	cynobrowe oczy
67,0	***vg***	zredukowane i „wywinięte" skrzydła
75,5	***c***	wygięte skrzydła
104,5	***bw***	brązowe oczy
107,0	***sp***	cętkowane ciało

Determinacja płci

Płeć organizmów zależy od wielu czynników: m.in. obecności chromosomów płci, stosunku liczbowego chromosomów, obecności wybranych genów autosomalnych, ploidalności zarodka, czynników środowiskowych (np. temperatury inkubacji jaj), hormonów.

Sposoby determinacji płci

Czynnik	Typ determinacji		Chromosomy płci		Nazwa	Przykład
			samiec	samica		
obecność chromosomów płci	heterogametyczność (różnogametyczność)	męska	XY	XX	Lygeus	ssaki (człowiek), część owadów (muszka owocowa)
			XO	XX	Protenor	część owadów (pluskwiaki, koniki polne)
		żeńska	XX (ZZ)	XY (ZW)	Abraxas	ptaki (kura domowa), gady, płazy, część ryb i owadów (np. u motyli)
			XX	XO	Fumea	niektóre motyle z rodzaju Fumea

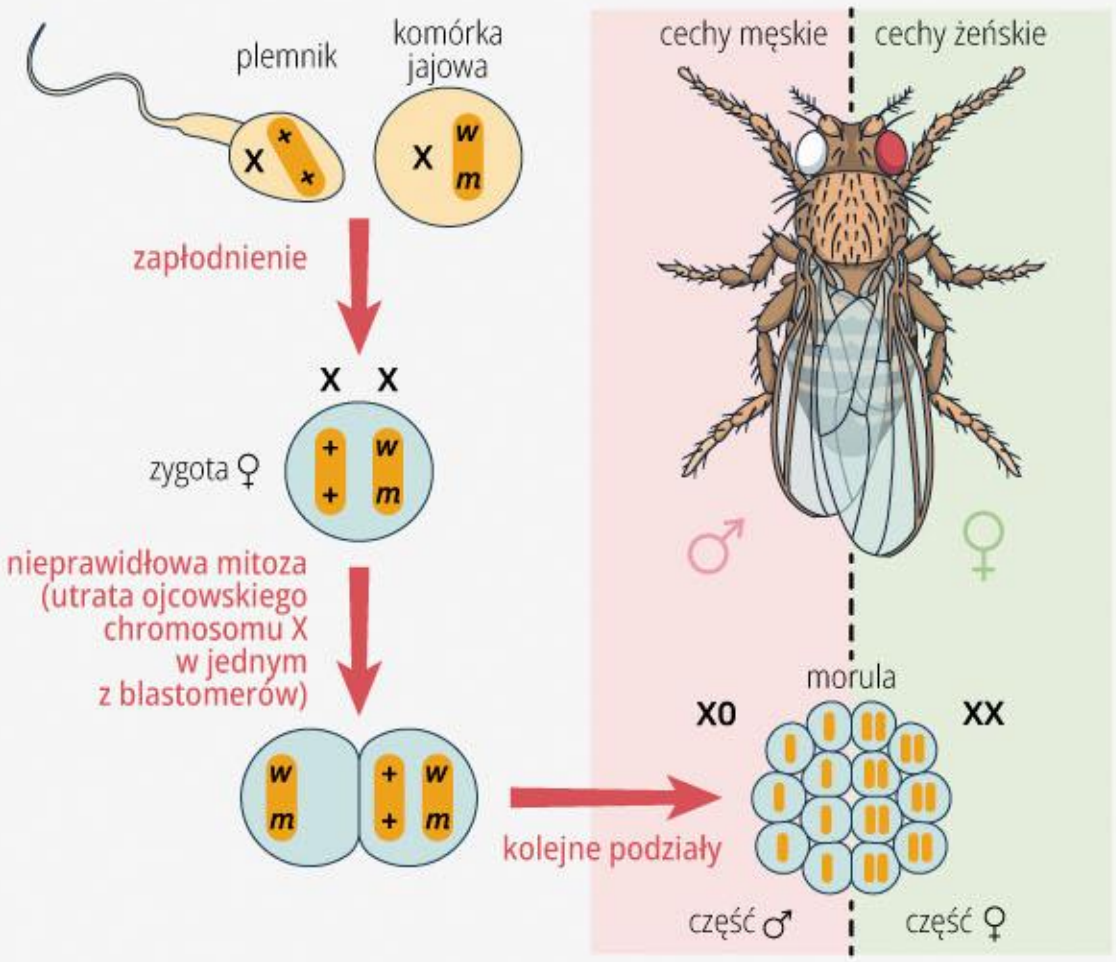
Czynnik	Typ determinacji	Chromosomy płci		Nazwa	Przykład
		samiec	samica		
stosunek liczbowy chromosomów	• płeć zależy od stosunku chromosomów płci (X) do autosomów (A) • samica 2X/2A = 1 (lub stosunek chromosomów X do autosomów większy od 1), samiec 1X/2A = 0,5 (lub stosunek chromosomów X do autosomów mniejszy od 0,5)  **Metasamice** i **metasamce** mają cechy fenotypowe właściwe danej płci, ale są mniej żywotne i bezpłodne. **Interseksy** charakteryzują się pośrednimi cechami między płcią męską i żeńską.				muszka owocowa
ploidalność zarodka	samce rozwijają się z niezapłodnionych jaj (są haploidalne 1n, trutnie), a samice – z jaj zapłodnionych (są diploidalne 2n, robotnica, królowa)				owady błonkoskrzydłe, np. pszczoły, sporadycznie u pluskwiaków, chrząszczy, wrotków
czynniki środowiska	temperatura inkubacji jaj	płeć potomstwa zależy od temperatury inkubacji jaj: w pewnym zakresie temperatur wylęgają się osobniki żeńskie, a w innym zakresie osobniki męskie, np. u aligatorów w temp. 33°C rodzą się tylko samce, a w temp. 30°C – wyłącznie samice			krokodyle, większość żółwi, część jaszczurek
	dieta	pokarm ubogi w białko powoduje zahamowanie dojrzewania płciowego robotnic			pszczoły
	inne czynniki	dojrzały osobnik obojnaczy staje się samcem lub samicą, np. u ryby błazenki osobnik największy w kolonii staje się dojrzałą płciowo samicą, a drugi pod względem wielkości – samcem			niektóre ryby, np. błazenki

Autosomy – wszystkie chromosomy z wyjątkiem chromosomów płci.

Chromosomy płci – chromosomy odpowiadające za płeć – u kobiety dwa chromosomy płci XX, u mężczyzny chromosom X i chromosom Y.

Gynandromofry – osobniki mające jednocześnie zestaw cech związanych z płcią męską i żeńską.

Płeć homogametyczna – płeć, która produkuje gamety identyczne pod względem chromosomów płci (u większości gatunków płeć żeńska.



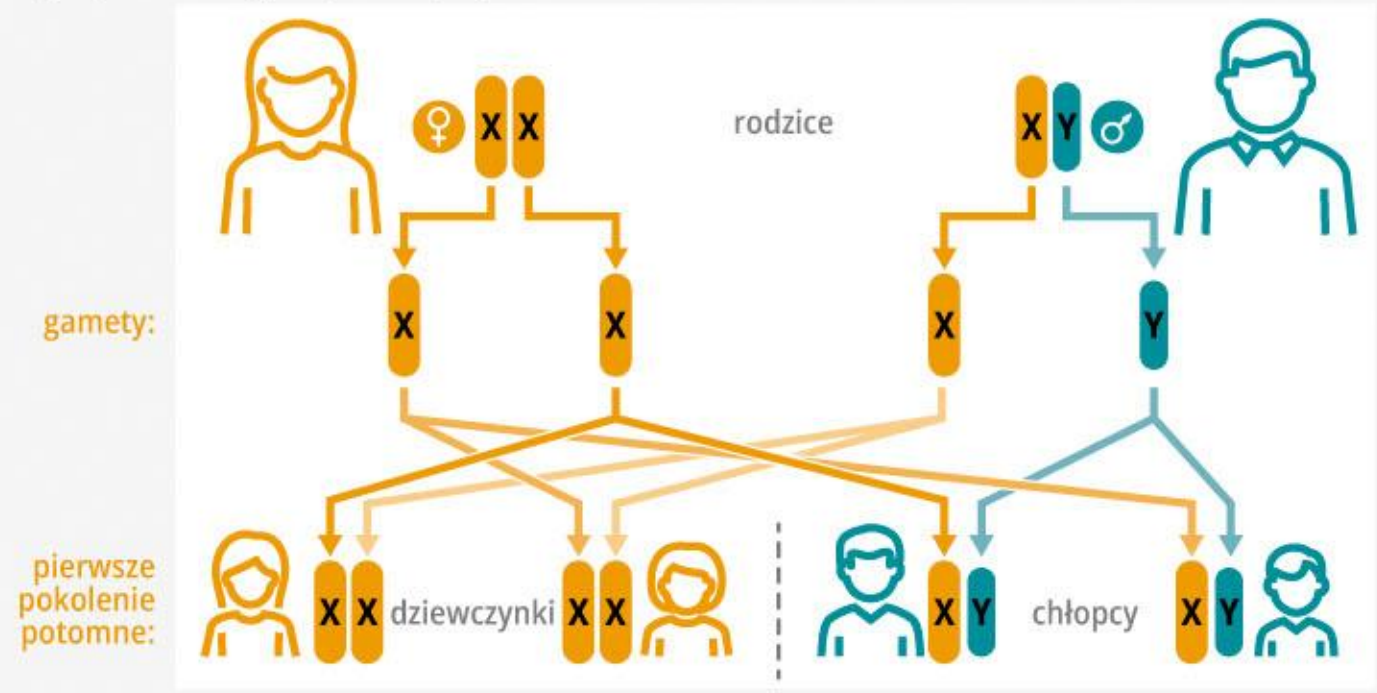
Schemat powstawania osobnika gynandromorficznego u muszki owocowej. Z lewej części zarodka (X0) rozwinie się fenotypowo męska część ciała (białe oczy i zredukowane skrzydła), a z prawej części zarodka (XX) powstanie fenotypowo część żeńska (oczy czerwone i skrzydła typowych rozmiarów). Jeśli nie nastąpiłby błąd w mitozie, z zygoty rozwinie się samica o czerwonych oczach i normalnie wykształconych skrzydłach.

Determinacja płci u człowieka

Człowiek należy do organizmów o typie determinacji płci – **heterogametyczności męskiej**. Za płeć człowieka odpowiadają dwa chromosomy:

X – ma geny warunkujące płeć żeńską

Y – ma geny warunkujące płeć męską

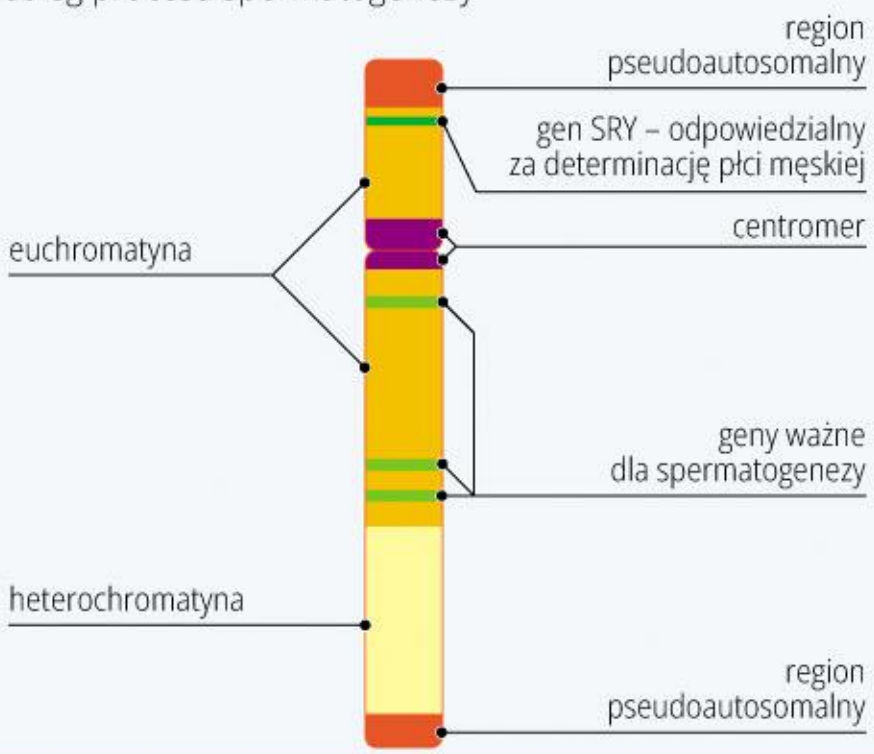


Mechanizm dziedziczenia płci u człowieka

Z chromosomów płci komórka jajowa może zawierać wyłącznie chromosom X, natomiast plemniki mogą zawierać albo chromosom X, albo Y. W wyniku zapłodnienia plemnikiem z chromosomem X powstanie dziewczynka, a z chromosomem Y – chłopiec. Prawdopodobieństwo urodzenia się dziewczynki lub chłopca jest takie samo i wynosi 50%.

Chromosomy płci

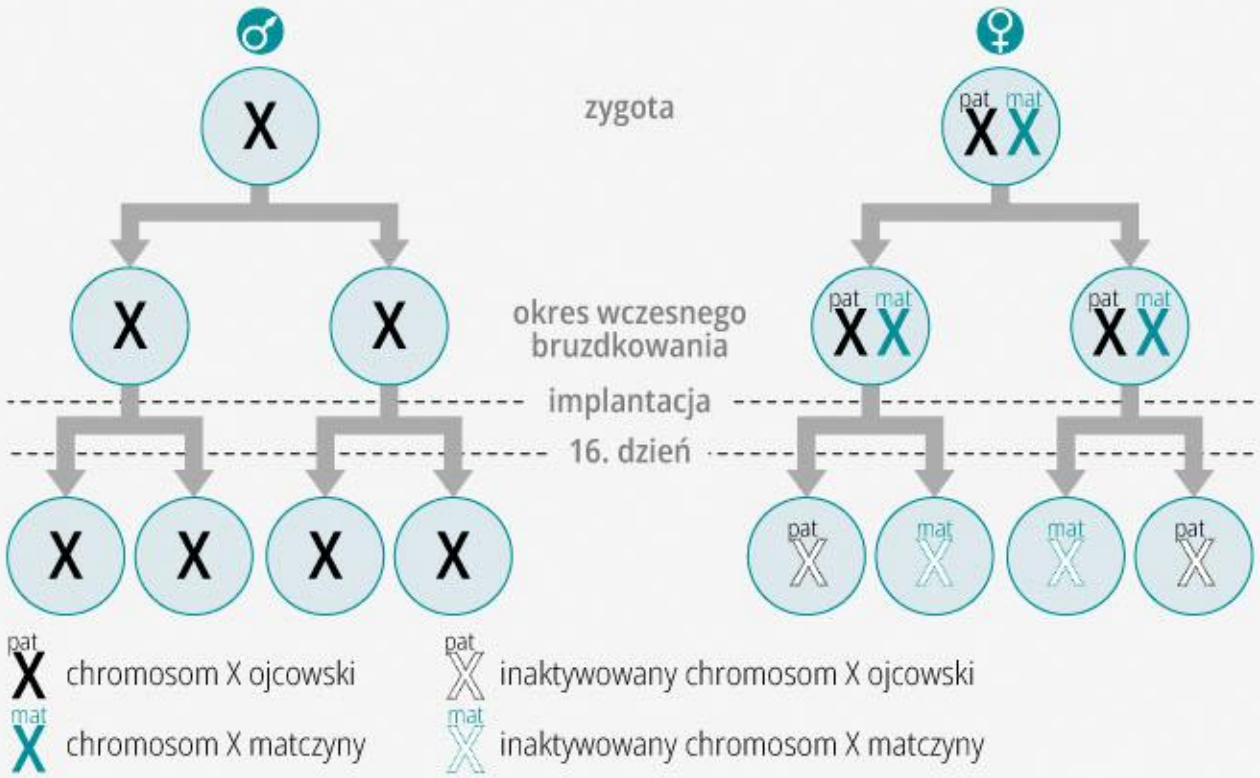
Chromosom X	Chromosom Y
• zawiera bardzo dużo genów, które w większości nie są odpowiedzialne za determinację i różnicowanie płci	• jest małym chromosomem składającym się z niewielu genów • na krótkim ramieniu chromosomu Y znajduje się **gen SRY** (ang. *sex-determining region Y*), który odpowiada za kodowanie białka niezbędnego do rozwoju gonad w jądra • brak genu SRY powoduje wykształcenie jajników • na długim ramieniu chromosomu Y znajdują się geny odpowiedzialne za prawidłowy przebieg procesu spermatogenezy



• na końcach krótkiego ramienia chromosomów X i Y występują fragmenty homologiczne do siebie – **regiony pseudoautosomalne**, dzięki którym w trakcie mejozy podczas spermatogenezy między chromosomami X i Y możliwa jest koniugacja i zjawisko *crossing-over*

Inaktywacja chromosomu X

Osobniki męskie i żeńskie mają tylko jeden funkcjonalny chromosom X. U kobiet z racji obecności dwóch chromosomów X jeden z nich pozostaje całkowicie nieaktywny. Proces unieczynnienia jednego z chromosomów X (**inaktywacja**) zachodzi losowo, oddzielnie w pojedynczych komórkach podczas pierwszych dni rozwoju zarodkowego.



Schemat losowej inaktywacji chromosomu X. Inaktywacja zachodzi w 16. dniu życia zarodka żeńskiego. Żeńskie komórki potomne mają jeden chromosom X pochodzący od ojca i jeden od matki. W związku z tym w części komórek zarodka żeńskiego inaktywacji losowo ulega chromosom X pochodzący od ojca, a w części – pochodzący od matki. Inaktywacja obu chromosomów zachodzi z jednakowym prawdopodobieństwem.

Cele inaktywacji:

- wyrównanie informacji genetycznej zawartej w dwóch chromosomach X u kobiety w stosunku do jednego chromosomu X u mężczyzny;
- inaktywowany chromosom X jest skondensowany i tworzy małą gęstą strukturę nazwaną **ciałkiem Barra (chromatyną płciową)**, położonym wzdłuż wewnętrznej części otoczki jądrowej (przed produkcją gamet następuje reaktywacja nieczynnego chromosomu X).

Cechy sprzężone z płcią

Cechy sprzężone z płcią to cechy uwarunkowane genami leżącymi na chromosomie X.

Główne geny sprzężone z płcią:

- gen kodujący białko niezbędne do procesu krzepnięcia krwi; recesywny zmutowany allel tego genu jest odpowiedzialny za **hemofilię**, chorobę objawiającą się upośledzeniem krzepliwości krwi;
- gen mający informację o białku niezbędnym do prawidłowego rozróżniania kolorów; recesywny, zmutowany allel tego genu odpowiada za **daltonizm** – schorzenie polegające na nierozpoznawaniu barw, najczęściej koloru czerwonego i zielonego.

Dziedziczenie hemofilii u człowieka

Przypadek 1

P	♀ X^HX^h nosicielka	×	♂ X^HY zdrowy	
G	X^H, X^h		$X^H, Y^{(-)}$	
F_1	♀ X^HX^H zdrowa	♀ X^HX^h nosicielka	♂ X^HY zdrowy	♂ X^hY chory

Jeśli matka jest nosicielką, a ojciec zdrowy, istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia hemofilii u dziecka wynoszące 25%.

Przypadek 2

P	♀ X^HX^H zdrowa	×	♂ X^hY chory	
G	X^H, X^H		$X^h, Y^{(-)}$	
F_1	♀ X^HX^h nosicielka	♀ X^HX^h nosicielka	♂ X^HY zdrowy	♂ X^HY zdrowy

Jeśli matka jest zdrowa, a ojciec jest chory, wówczas ojciec przekaże allel warunkujący chorobę córkom (nosicielki).

Przypadek 3

P	♀ X^HX^h nosicielka	×	♂ X^hY chory	
G	X^H, X^h		$X^h, Y^{(-)}$	
F_1	♀ X^HX^h nosicielka	♀ X^hX^h chora	♂ X^HY zdrowy	♂ X^hY chory

Jeśli matka jest nosicielką, a ojciec jest chory, prawdopodobieństwo urodzenia bez względu na płeć chorego dziecka wynosi 50%.

H – allel dominujący – warunkuje normalne krzepnięcie krwi
h – allel recesywny – warunkuje wystąpienie hemofilii
(–)
X, Y – chromosomy płci

Cechy związane z płcią

Cechy związane z płcią są przekazywane przez geny znajdujące się na autosomach, ale ich ekspresja uzależniona jest od chromosomów płci. Przykładem takich cech jest występowanie rogów u niektórych ras owiec. Samice heterozygotyczne nie mają rogów, a samce heterozygotyczne są rogate.

Zależność między genotypem a fenotypem u niektórych ras owiec – występowanie rogów

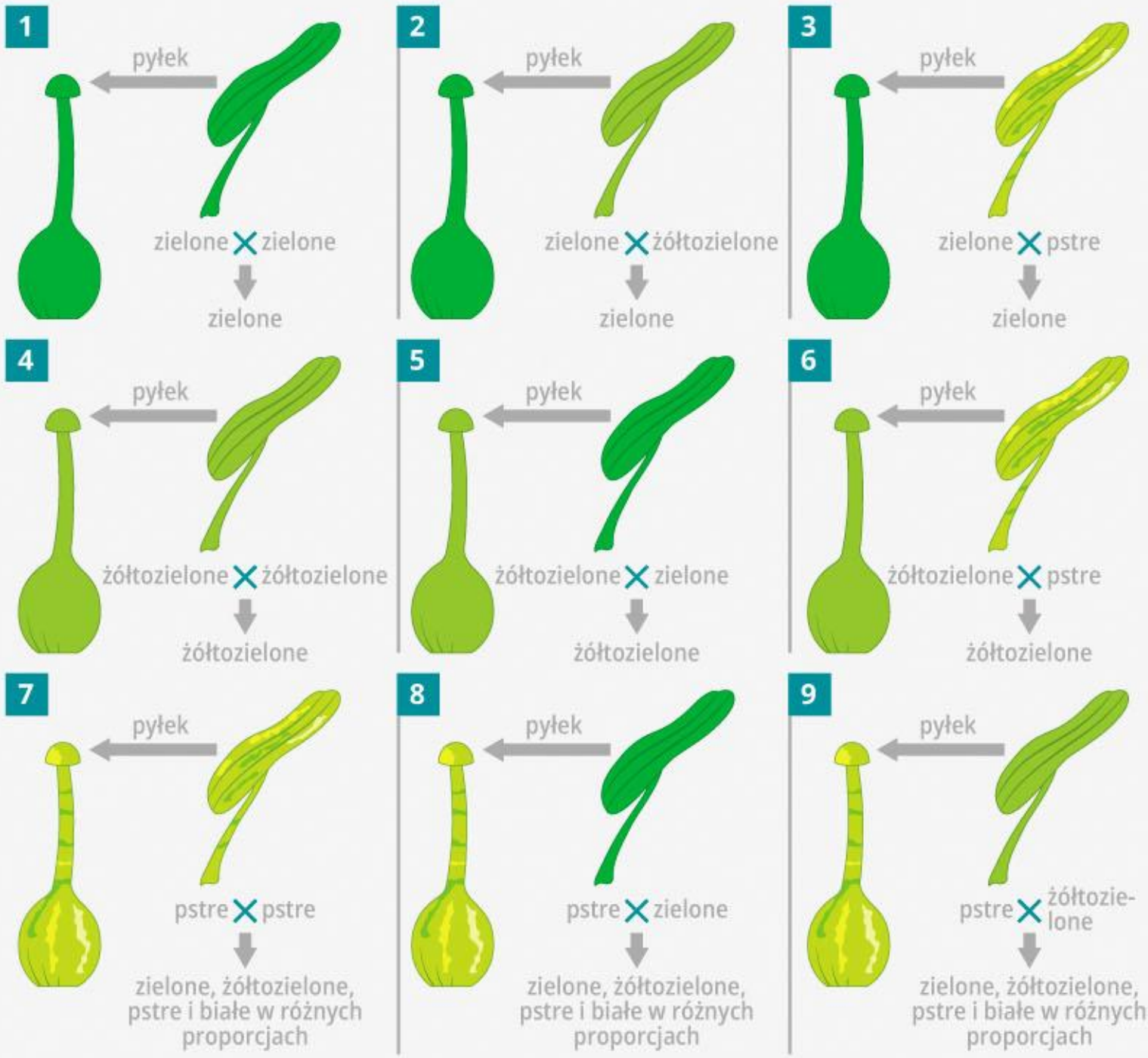
Genotyp	Fenotyp samicy	Fenotyp samca
RR	bezroga	bezrogi
Rr	bezroga	rogaty
rr	rogata	rogaty

R – allel warunkujący brak rogów
r – allel warunkujący występowanie rogów

Dziedziczenie pozajądrowe

Dziedziczenie pozajądrowe to dziedziczenie genów znajdujących poza jądrem komórkowym – **w DNA mitochondrium i plastydów oraz w plazmidach**. Mitochondria i chloroplasty są przekazywane do zygoty przez cytoplazmę gamety żeńskiej i stąd częste określenie – **dziedziczenie matczyne** (dziedziczenie w linii żeńskiej). Dziedziczenie pozajądrowe występuje zarówno u roślin, jak i u zwierząt; zachodzi niezgodnie z prawami Mendla.

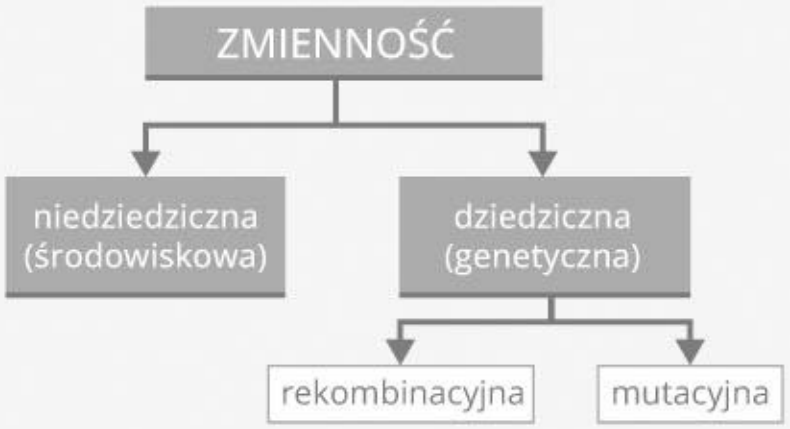
Przykładem dziedziczenia pozajądrowego jest dziedziczenie barwy pędu u dziwaczka.



Geny zlokalizowane w chloroplastach dziwaczka wpływają na różnice w barwie liści i łodyg, są one wnoszone do zygoty przez komórkę jajową. Obok odmian normalnych pojawiają się odmiany pstrolistne, o nieregularnych żółtozielonych lub białych plamach na łodygach i liściach. Różne zabarwienie pędów jest wynikiem obecności zróżnicowanych chloroplastów.

9.3. Zmienność organizmów

Rodzaje zmienności



Zmienność organizmów to występowanie różnic między osobnikami należącymi do tego samego gatunku. Jest wynikiem różnorodności genotypowej organizmów, co przekłada się na zróżnicowanie fenotypowe, czyli wygląd zewnętrzny i budowę wewnętrzną oraz cechy fizjologiczne i biochemiczne osobnika. Osobniki mogą się między sobą różnić, np. masą ciała, długością kończyn, barwą oczu, kształtem nasion, barwą kwiatów oraz wieloma innymi cechami. Przyczyną są zmiany zapisane w genomie oraz spowodowane czynnikami środowiskowymi. Zmiany w genomie są dziedziczone i przekazywane z pokolenia na pokolenie, a zmiany wywołane warunkami środowiska są niedziedziczone.

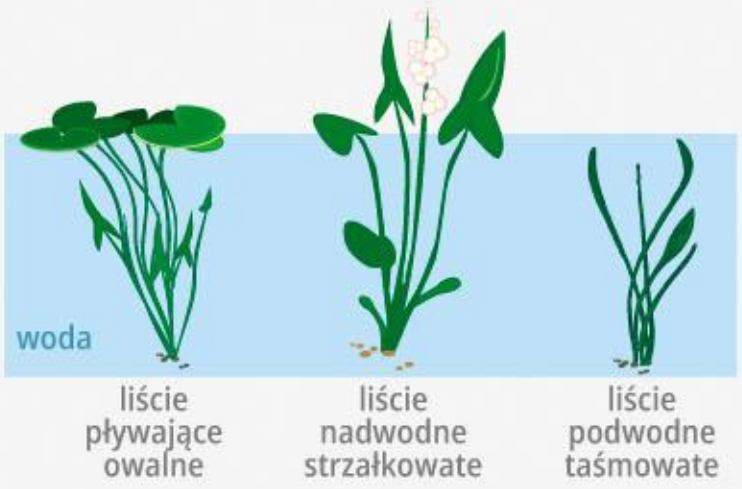
Zmienność środowiskowa

Zmienność środowiskowa jest wywołana warunkami zewnętrznymi środowiska, np. ilością i jakością składników pokarmowych, temperaturą, pH gleby, wilgotnością, wysokością nad poziomem morza czy ilością docierającego światła, a także obecnością osobników własnego lub obcych gatunków.

Przykłady zmienności środowiskowej:

– Różny kształt liści u strzałki wodnej (heterofilia)

U strzałki wodnej (*Sagittaria sagittifolia*) **podwodne liście** są taśmowate, wiotkie i poddające się ruchowi wody, a ich skórka jest pozbawiona aparatów szparkowych i kutykuli; **liście pływające** są owalne z krótkimi ogonkami i aparatami szparkowymi leżącymi w skórce górnej, a **nadwodne** – sztywne i strzałkowate, z długimi ogonkami i aparatami szparkowymi leżącymi w skórce dolnej. Gdy roślina jest całkowicie zanurzona w wodzie, wytwarza wyłącznie liście taśmowate, a po przeniesieniu do płytkiej wody po pewnym czasie pojawią się pozostałe liście.



– Kolor kwiatów hortensji ogrodowej

Kolor kwiatów niektórych roślin zmienia się w zależności od rodzaju podłoża, na którym rosną. Związki chemiczne zawarte w glebie wpływają na pH roztworu wakuoli, co zmienia barwę naturalnych roślinnych barwników – antocyjanów.



Kwiaty hortensji ogrodowej (*Hydrangea macrophylla*) zawierają barwniki – antocyjany, który reagują na zmieniające się wartości współczynnika kwasowości gleby – pH. Jeśli roślina rośnie na podłożu kwaśnym, ma kwiaty niebieskie, natomiast na glebie o podłożu zasadowym wybarwia się na kolor czerwony.

– Barwa tłuszczu u królików

U królików barwa tłuszczu jest determinowana przez jedną parę alleli o dominacji zupełnej oraz rodzaj pokarmu. Heterozygoty oraz homozygoty dominujące mają enzym rozkładający ksantofil. Dlatego ich tłuszcz pozostaje biały niezależnie od rodzaju pokarmu. U homozygot recesywnych enzym nie jest aktywny i barwa tłuszczu zależy od rodzaju paszy – z ksantofilem tłuszcz będzie zabarwiony na kolor żółty, a bez barwnika – na biało.

Po skrzyżowaniu dwóch osobników heterozygotycznych (Tt) karmionych pokarmem z ksantofilem otrzymujemy 75% osobników o białym tłuszczu i 25% osobników o żółtym tłuszczu.

T – tłuszcz biały (synteza enzymu odpowiedzialnego za rozkład ksantofilu)
t – tłuszcz żółty (brak enzymu odpowiedzialnego za rozkład ksantofilu)

♀ \ ♂	T	t	
T	Tt	Tt	TT – tłuszcz biały Tt – tłuszcz biały
t	Tt	tt	tt – tłuszcz żółty

Po skrzyżowaniu dwóch osobników heterozygotycznych (Tt) karmionych pokarmem bez ksantofilu otrzymujemy 100% osobników o białym tłuszczu.

♀ \ ♂	T	t	
T	Tt	Tt	TT – tłuszcz biały Tt – tłuszcz biały
t	Tt	tt	tt – tłuszcz biały

Fenotyp homozygot recesywnych będzie się zmieniał w zależności od rodzaju pokarmu.

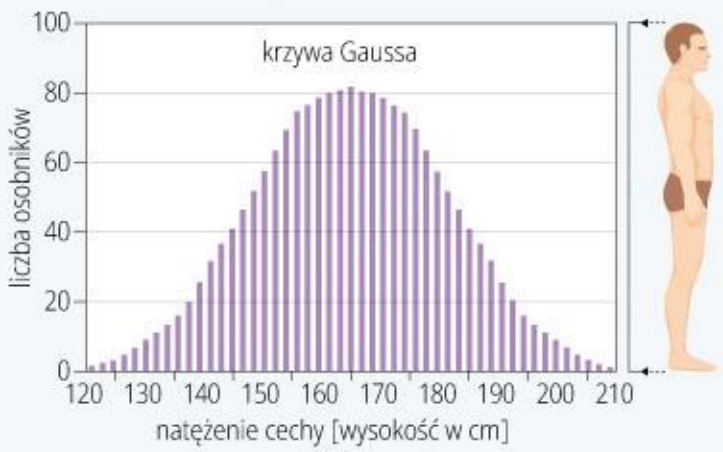
Norma reakcji genotypu

Granice, w jakich genotyp może modyfikować fenotyp pod wpływem warunków środowiska, to **plastyczność genotypu (norma reakcji genotypu)**. Granice mogą być szerokie (**szeroka norma reakcji genotypu**), co zwiększa przystosowanie, lub wąskie (**wąska norma reakcji genotypu**), prowadzące w warunkach ścisłej specjalizacji do zmniejszenia przystosowania organizmów do zmieniających się warunków środowiska.

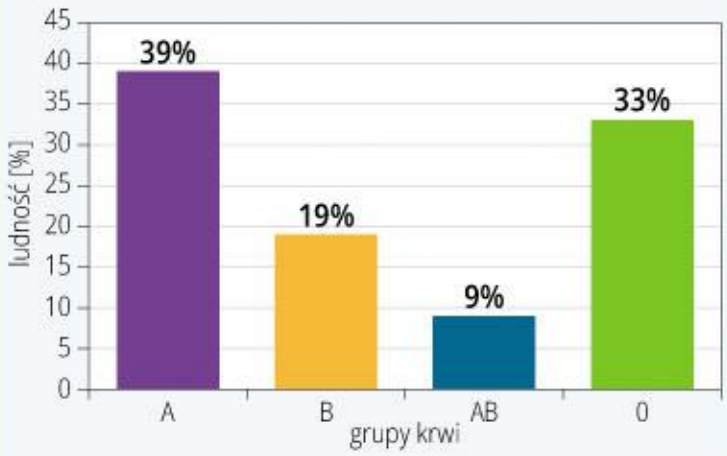
Zmienność ciągła i zmienność nieciągła

Zmienność genetyczną można podzielić ze względu na rodzaj dziedziczonej cechy i sposób jej dziedziczenia.

Zmienność	
ciągła	**nieciągła**
• dotyczy cech ilościowych lub rozwoju osobnika, które można zmierzyć, zważyć czy policzyć • cechy ilościowe są uwarunkowane przez wiele genów (kumulatywnych) – tzw. cechy poligenowe • mogą ulegać zmianom pod wpływem działania czynników środowiska • tworzą przedziały z wieloma wartościami pośrednimi mieszczącymi się między wartością minimum i maksimum • np. wzrost, masa ciała, ciśnienie krwi, IQ (iloraz inteligencji) u człowieka, liczba kręgów u ryb, liczba złożonych jaj u ptaków	• dotyczy cech jakościowych i nosi nazwę polimorfizmu • cechy jakościowe są głównie uwarunkowane działaniem pojedynczych lub kilku genów • równoczesne występowanie osobników o różnym wyglądzie, braki fenotypów pośrednich • np. muszle ślimaka wstężyka gajowego, które mogą mieć barwę żółtą, różową czy brązową, paskowane lub bez pasków; występowanie grup krwi systemu AB0 u człowieka i innych ssaków czy zdolność zwijania języka w rurkę



Rozkład wysokości ciała w populacji – krzywa w kształcie dzwonu jest nazywana krzywą rozkładu normalnego (krzywą Gaussa).



Procentowy udział grup krwi w Polsce – najwięcej osób ma grupę krwi A, a najmniej grupę AB, między grupami krwi nie ma form pośrednich.

Zmienność genetyczna

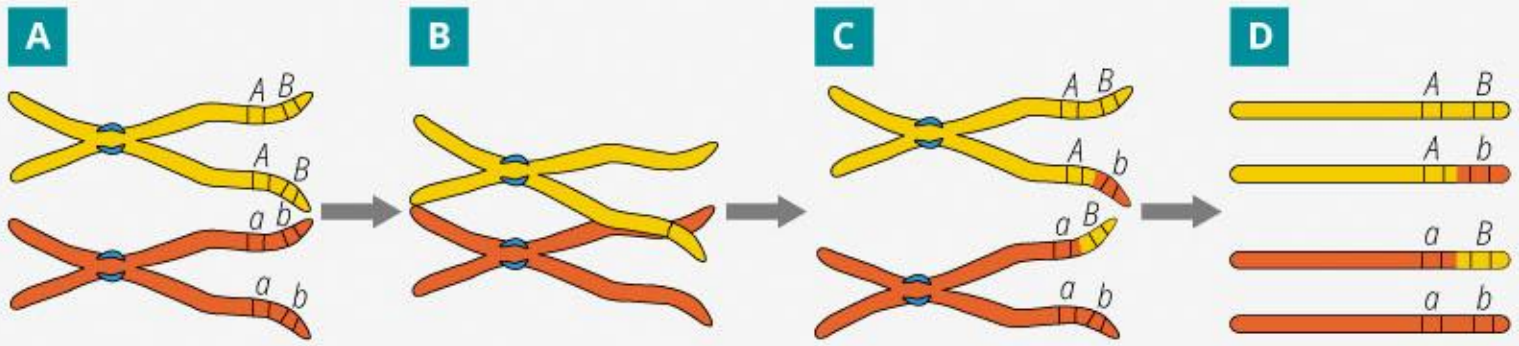
Zmienność genetyczna to zróżnicowanie genotypów u osobników jednego gatunku. Zmiany te są przekazywane potomstwu. Jednak każdy potomek pary rodziców ma charakterystyczny dla siebie i niepowtarzalny genotyp. Podstawą tej zmienności jest rekombinacja materiału genetycznego – **zmienność rekombinacyjna** oraz mutacje – **zmienność mutacyjna**.

Zmienność rekombinacyjna prowadzi do powstania nowych układów genów (nowych genotypów) osobników potomnych różnych od genotypów rodzicielskich.

Źródła rekombinacji u Eukaryota

– Proces *crossing-over*

Zachodzi w profazie I podziału mejotycznego, polega na wymianie odcinków między wewnętrznymi chromatydami niesiostrzanymi chromosomów homologicznych w biwalentach (tetradach) podczas podziału redukcyjnego.



Schemat przebiegu zjawiska crossing-over: A. dwa chromosomy homologiczne, każdy zbudowany z dwóch chromatyd połączonych centromerem (przewężeniem pierwotnym); B. krzyżowanie się chromatyd chromosomów homologicznych; C. wymiana odcinków między chromosomami homologicznymi; D. chromosomy po crossing-over składają się z chromatyd nierekombinacyjnych i rekombinacyjnych.

– Niezależna (losowa) segregacja chromosomów

Zachodzi podczas powstawania gamet w procesie oogenezy i spermatogenezy. Powstające gamety otrzymują po jednym chromosomie z każdej pary chromosomów homologicznych. Chromosomy dziedziczone są po jednym od matki i ojca. To, który chromosom trafi do której komórki, jest losowe.

– Przypadkowe łączenie się komórek rozrodczych podczas zapłodnienia

Rodzaje rekombinacji ze względu na podobieństwo fragmentów DNA

- **rekombinacja homologiczna (uprawniona)** – zachodzi między fragmentami DNA o dość dużym podobieństwie sekwencji, np. podczas *crossing-over* lub naprawy DNA po replikacji;
- **rekombinacja umiejscowiona** – zachodzi między fragmentami DNA o dość dużym podobieństwie sekwencji, ale na krótkich odcinkach, np. podczas włączania materiału genetycznego bakteriofaga do DNA bakterii;
- **rekombinacja niehomologiczna (transpozycja)** – zachodzi między fragmentami DNA o braku podobieństwa sekwencji, np. podczas przemieszczania się odcinków DNA (transpozonów) z jednego chromosomu na inny.

Źródła **rekombinacji u prokariota to procesy koniugacji, transformacji i transdukcji oraz mutacje.**

Zmienność mutacyjna

Mutacje to nagłe, skokowe i trwałe zmiany w materiale genetycznym. Mogą obejmować zarówno pojedyncze geny, jak i duże fragmenty chromosomów czy ich liczby. Wraz ze zmiennością rekombinacyjną zmienność mutacyjna stanowi czynnik warunkujący ewolucję organizmów żywych.

Mogą pojawiać się samoistnie lub na skutek działania szeregu czynników.

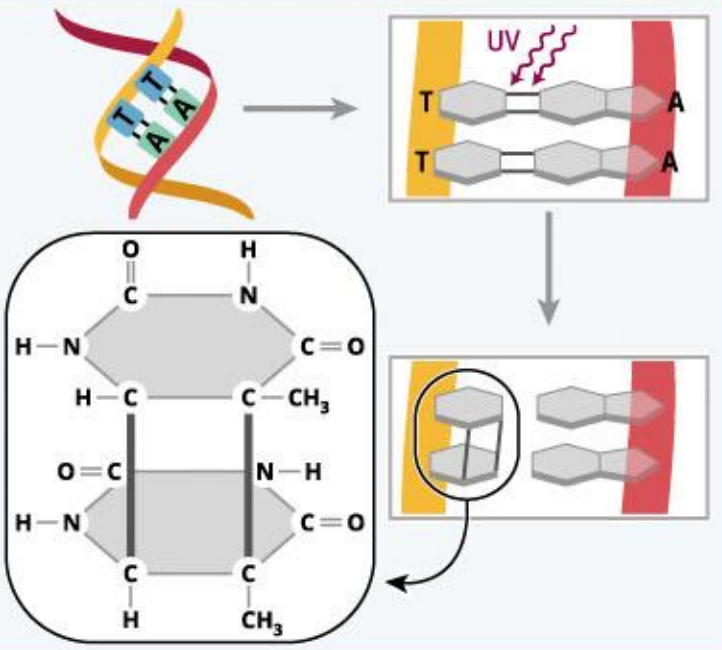
Podział mutacji

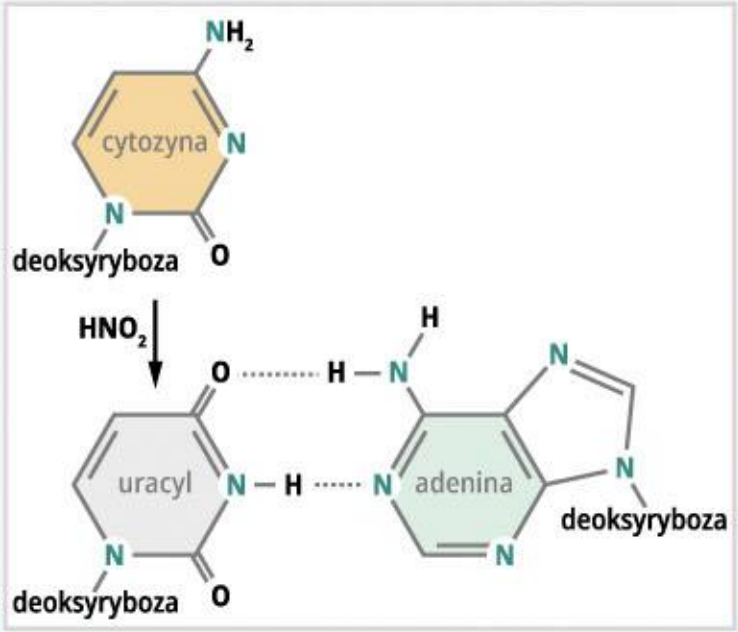
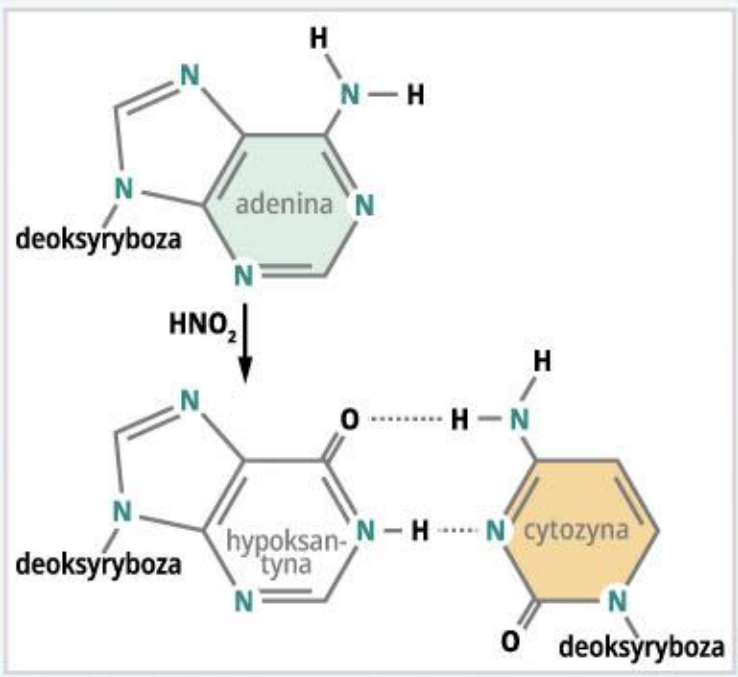
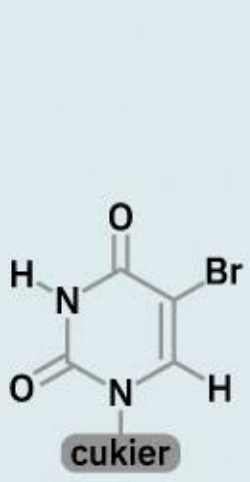
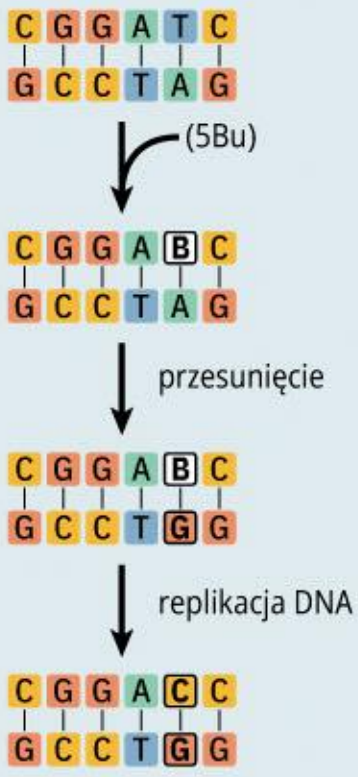
Cecha	Rodzaj mutacji	Charakterystyka
rodzaj komórek	somatyczne	• zachodzą w komórkach somatycznych (ciała), np. w komórkach skóry czy trzustki organizmu • zwykle nie są dziedziczone i zanikają wraz ze śmiercią osobnika • jeśli zachodzą w materiale genetycznym organizmów rozmnażających się bezpłciowo, np. przez pączkowanie, podział komórki, rozłogi czy kłącza, wówczas są przekazywane osobnikom następnego pokolenia
	generatywne	• zachodzą w komórkach rozrodczych – gametach • są dziedziczone
przyczyna	spontaniczne	• w wyniku błędów popełnionych przez polimerazę podczas procesu replikacji DNA
	indukowane	• w wyniku działania czynników mutagennych (mutagenów) • zachodzą zarówno w środowisku naturalnym, jak i w warunkach laboratoryjnych
poziom organizacji materiału genetycznego	genowe	• zmiany na poziomie genów (kolejności lub liczby nukleotydów) • zachodzą najczęściej podczas replikacji DNA
	chromosomowe	• zmiany budowy chromosomu lub liczby chromosomów • przeważnie zachodzą podczas wymiany odcinków między chromatydami chromosomów homologicznych w procesie *crossing-over*
skutek	synonimiczne (milczące)	• zmieniony nukleotyd wyznacza nadal ten sam aminokwas, co przed mutacją • brak zmian w budowie białka
	zmiany sensu	• zmieniony nukleotyd wyznacza inny aminokwas niż przed mutacją • może powstać białko o innej budowie i aktywności
	nonsensowne (utraty sensu)	• zmieniony nukleotyd jest jednym z trzech kodonów STOP • synteza białka jest przerwana i powstanie skrócone białko niezdolne do pełnienia złożonej funkcji
	przesunięcie ramki odczytu	• zmiana nukleotydów od miejsca mutacji do końca genu • powstaje białko o innej budowie i najczęściej nieaktywne
wartość przystosowawcza	neutralne	• nie powodują żadnych zmian w fenotypie • nie powodują zmian wartości adaptacyjnej osobnika do warunków środowiska
	niekorzystne (negatywne)	• powodują powstanie zaburzeń w funkcjonowaniu komórek (**subletalne** – przyczyniają się do zmniejszenia żywotności organizmu lub **letalne** – będące bezpośrednią przyczyną śmierci)
	korzystne (pozytywne)	• zwiększają szanse przeżycia osobnika w zmieniających się warunkach środowiska • mają duże znaczenie w ewolucji

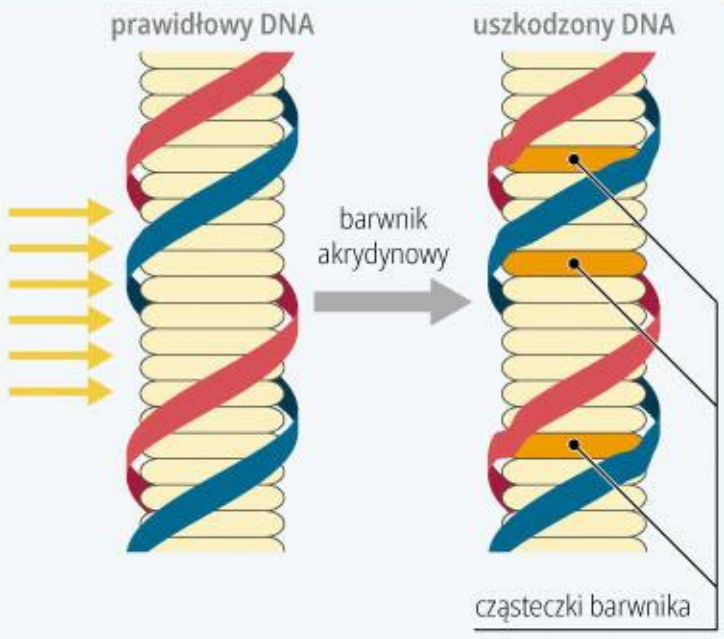
Rodzaje i przykłady mutagenów

Typ mutagenu	Przykład	Źródło mutagenu
fizyczne	promieniowanie jonizujące – np. promieniowanie X lub gamma	aparaty rentgenowskie, odpady radioaktywne, awarie reaktorów jądrowych
	promieniowanie ultrafioletowe (UVA, UVB, UVC)	światło słoneczne, źródła sztuczne – solarium, kwarcówki, lampy stosowane w utwardzaniu polimerów, lampy bakteriobójcze, lampy rtęciowe, światła halogenowe, niektóre typy lasera
	promieniowanie kosmiczne	promieniowanie z przestrzeni kosmicznej składające się głównie z protonów, cząstek alfa, elektronów i nielicznych cięższych jąder
chemiczne	niektóre kwasy i ich sole, np. kwas azotowy(III) (HNO_2)	środki konserwujące w artykułach spożywczych, np. azotan sodu
	benzopiren	dym tytoniowy, spaliny samochodowe, składnik smogu wskutek ogrzewania budynków mieszkalnych węglem lub drewnem: pieczone, grillowane i wędzone mięso; zboża i warzywa uprawiane na zanieczyszczonych glebach
	reaktywne formy tlenu, np. nadtlenek wodoru	powstają podczas zaburzeń homeostazy w organizmie na skutek infekcji, zatruć toksynami, napromieniowania
	kolchicyna	alkaloid występujący w zimowicie jesiennym (*Colchicum autumnale*) stosowany w leczeniu dny moczanowej i niektórych nowotworów
biologiczne	niektóre wirusy, np. wirus opryszczki (HSV), wirus zapalenia wątroby typu B i C (HBV i HCV), wirus brodawczaka ludzkiego (HPV)	zakażenie przez płyny ustrojowe, np. krew
	niektóre mikroorganizmy, np. grzyby pleśniowe produkujące aflatoksyny	grzyby powodujące pleśnienie artykułów spożywczych (mogą występować w zbożach, orzechach, kukurydzy, przyprawach, olejach na bazie roślin, suszonych owocach i warzywach, mięsie i nabiale pochodzenia zwierzęcego)

Przykłady skutków działania wybranych czynników mutagennych

Czynnik mutagenny	Skutki działania	
promieniowanie jonizujące	• stymuluje tworzenie wiązań pomiędzy pirymidynami leżącymi obok siebie w jednym łańcuchu • połączenia często powstają pomiędzy cząsteczkami tyminy, co prowadzi do powstania **dimerów tymidynowych** utrudniających odczyt DNA	

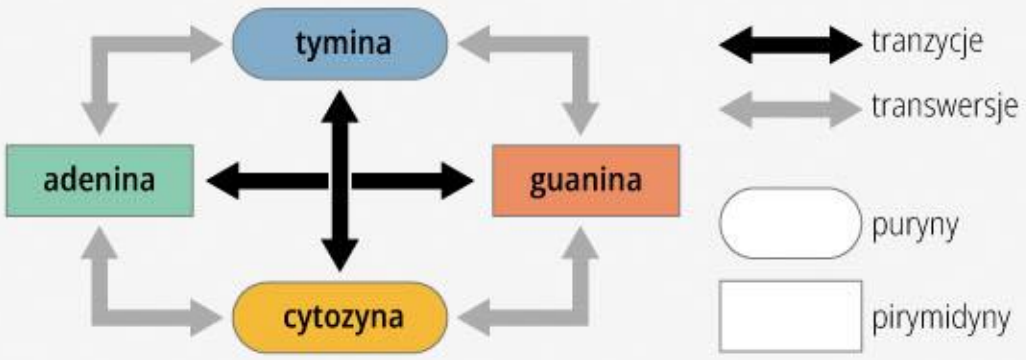
Czynnik mutagenny	Skutki działania	
ciepło	• prowadzi do tworzenia miejsc apurynowych w DNA, które mogą powodować **mutacje punktowe lub delecje** podczas replikacji	
kwas azotowy(III)	• powoduje **oksydacyjną dezaminację**, czyli przekształcenie się grupy –C–NH_2 w –C=O • adenina zamienia się w tzw. hipoksantynę, a cytozyna – w uracyl, hipoksantyna działa tak jak guanina • zamiast pary AT powstaje para GC, a zamiast CG powstaje para TA	 
analogi zasad azotowych (np. 5-bromouracyl 5Bu, aminopuryna)	• powodują błędy odczytu matrycy przez polimerazę DNA i nieprawidłowe wstawianie nukleotydów	 5-bromouracyl (5Bu) 

Czynnik mutagenny	Skutki działania	
benzopiren	• powoduje zamianę zasad GC na zasady TA	
wolne rodniki tlenowe	• uszkadzają zasady azotowe w DNA oraz reszty cukrowe	
barwniki akrydynowe	• mogą wnikać między zasady azotowe DNA, co zakłóca stabilność cząsteczki i prawidłowy przebieg procesu replikacji • mogą spowodować **przesunięcie ramki odczytu**	
cytostatyki (leki przeciwnowotworowe)	• obok blokowania podziałów komórkowych i uruchomiania zaprogramowanej śmierci komórki mogą pobudzać wystąpienie mutacji w prawidłowych komórkach	
kolchicyna (alkaloid roślinny)	• powoduje zahamowanie wytwarzania włókien wrzeciona podziałowego i w efekcie zaburzenia w rozchodzeniu się chromosomów podczas podziałów komórkowych	

Mutacje genowe – zmiany nukleotydów

Mutacje genowe (punktowe) polegają na zmianach w sekwencji nukleotydów we fragmencie cząsteczki DNA. Zachodzą najczęściej podczas replikacji DNA. W zależności od rodzaju zmian wyróżniamy trzy główne rodzaje mutacji genowych:

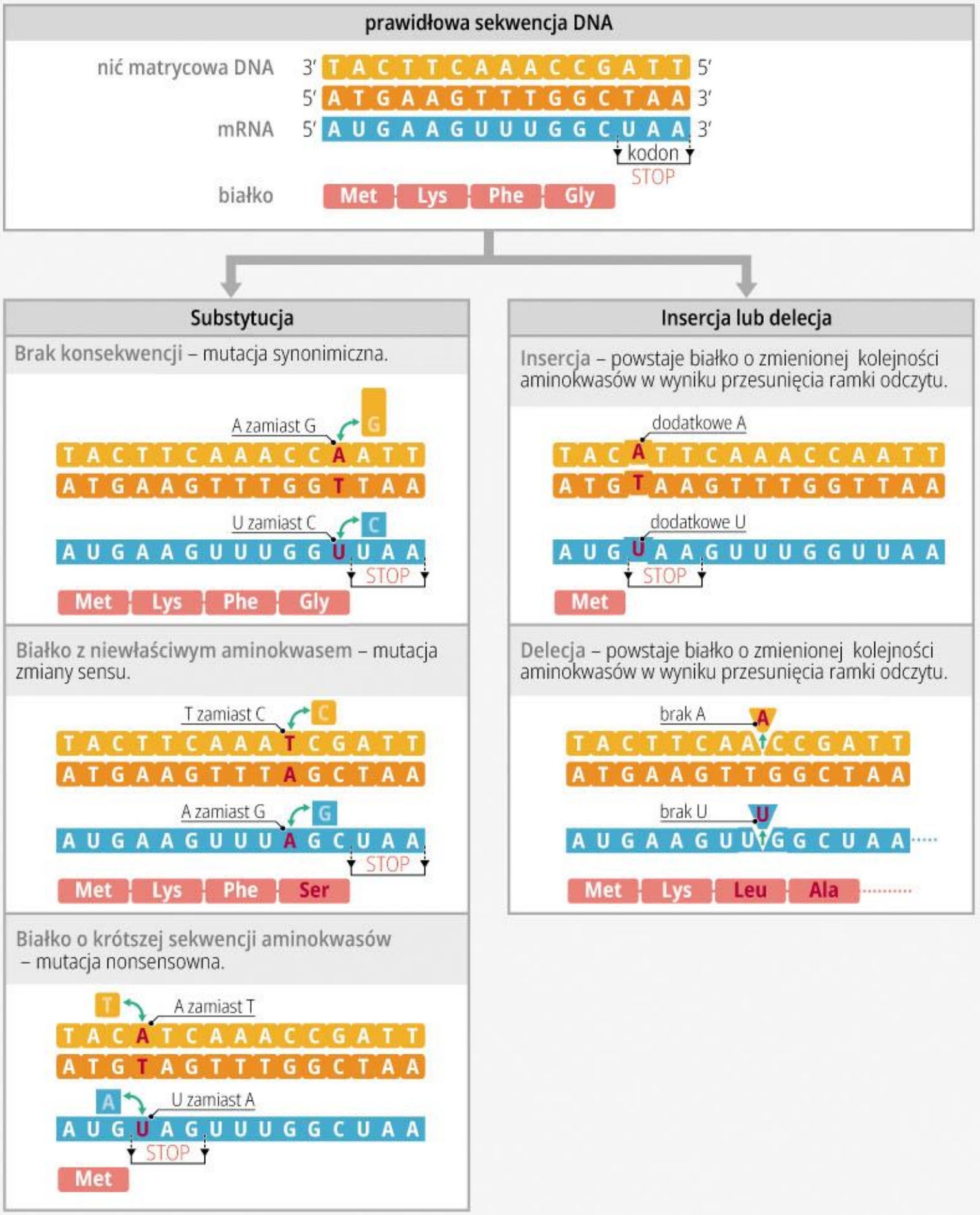
1. **substytucje** – polegają na zmianie jednej pary zasad na inną parę zasad azotowych; w zależności od rodzaju zasad wyróżniamy:
   - **tranzycję**, czyli zamianę zasady purynowej na inną zasadę purynową (np. A→G lub G→A) lub zamianie zasady pirymidynowej na inną pirymidynową (C→T lub T→C);
   - **transwersję**, czyli zamianę zasady purynowej na inną zasadę pirymidynową i odwrotnie (A↔T lub G↔C);
2. **delecja** – polega na wypadnięciu jednej lub kilku par nukleotydów;
3. **insercja** – polega na wstawieniu jednej lub kilku par nukleotydów.



Substytucje mogą mieć różne konsekwencje dla komórki. W zależności od stopnia zmian w sekwencji aminokwasów w powstającym łańcuchu polipeptydowym dzielimy je na: **mutacje synonimiczne, mutacje zmiany sensu, mutacje nonsensowne, mutacje przesunięcia ramki odczytu**.

Delecja i insercja mogą powodować bardzo poważne skutki w informacji genetycznej. Jeśli liczba dodanych lub brakujących nukleotydów jest inna niż trzy lub jest wielokrotnością trzech, to prowadzi to do zmiany **(przesunięcia) ramki odczytu w genie**. **Ramka odczytu** oznacza serię kodonów w sekwencji DNA, która rozpoczyna się od kodonu START, a kończy się kodonem STOP. Powstaje wówczas białko o zmienionej kolejności aminokwasów.

Rodzaje mutacji punktowych

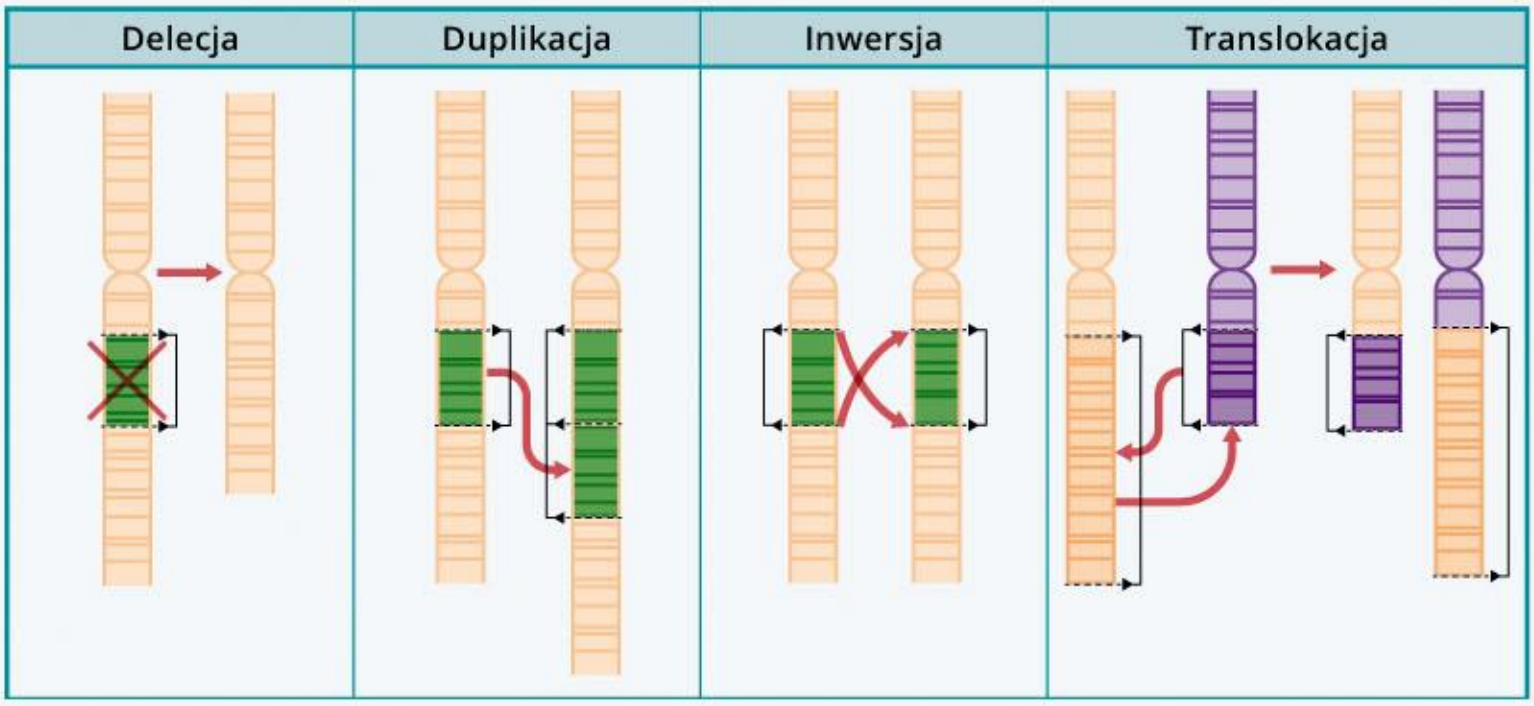


Mutacje chromosomowe

<table>
<tr><th colspan="4">Rodzaje mutacji chromosomowych</th></tr>
<tr><th>strukturalne</th><th colspan="3">liczbowe</th></tr>
<tr><td rowspan="2">• obejmują zmiany w strukturze chromosomów
• powstają w wyniku pęknięcia chromosomu w jednym lub dwóch miejscach i utraty, podwojenia, obrotu fragmentu chromosomu o 180° lub przeniesienia fragmentu chromosomu w inne jego miejsce lub na zupełnie inny chromosom
• wyróżnia się wśród nich:
– delecję – utratę fragmentu chromosomu
– duplikację – podwojenie fragmentu chromosomu
– inwersję – obrócenie fragmentu chromosomu o 180°
– translokację – przeniesienie fragmentu chromosomu na inny niehomologiczny lub wymiana fragmentów między chromosomami niehomologicznymi</td><td colspan="3">• obejmują zmiany w liczbie chromosomów
• powstają w wyniku błędów w rozchodzeniu się chromosomów lub chromatyd w trakcie mitozy lub mejozy
• wyróżnia się wśród nich aneuploidie i poliploidie</td></tr>
<tr><td>aneuploidie
• dotyczą zmiany (zwiększenia lub zmniejszenia) liczby chromosomów w obrębie jednej pary chromosomów homologicznych
• przyczyną jest najczęściej nondysjunkcja (nierozchodzenie się) chromosomów homologicznych w czasie mejozy lub w podziałach mitotycznych zachodzących w zarodku (co może prowadzić do powstania osobników o genotypach mozaikowych
• wyróżnia się
– monosomie (2n–1)
– trisomie (2n+1)
– tetrasomie (2n+2)
– nullisomie (2n–2)
• u roślin mutacja zmienia ich fenotyp, ale nie wywołuje poważnych ujemnych skutków</td><td colspan="2">poliploidie
• prowadzą do zwielokrotnienia całego zestawu n)
• wyróżniamy autopolipoidy oraz allopoliploidy

autopolipoidy
• powstają w wyniku zwielokrotnienia (poliploidyzacji) tego samego haploidalnego zestawu chromosomów, np. tripoidy (3n), tetraploidy (4n), pentaploidy (5n), heksaploidy (6n) itd. – przyczyną może być brak wykształconego wrzeciona podziałowego podczas pierwszego podziału zygoty czy nierozchodzenie się chromosomów w gametogenezie
• częściej występują u roślin (dzięki nim są większe i dają wyższe plony) niż u zwierząt i człowieka (prowadzą do śmierci)

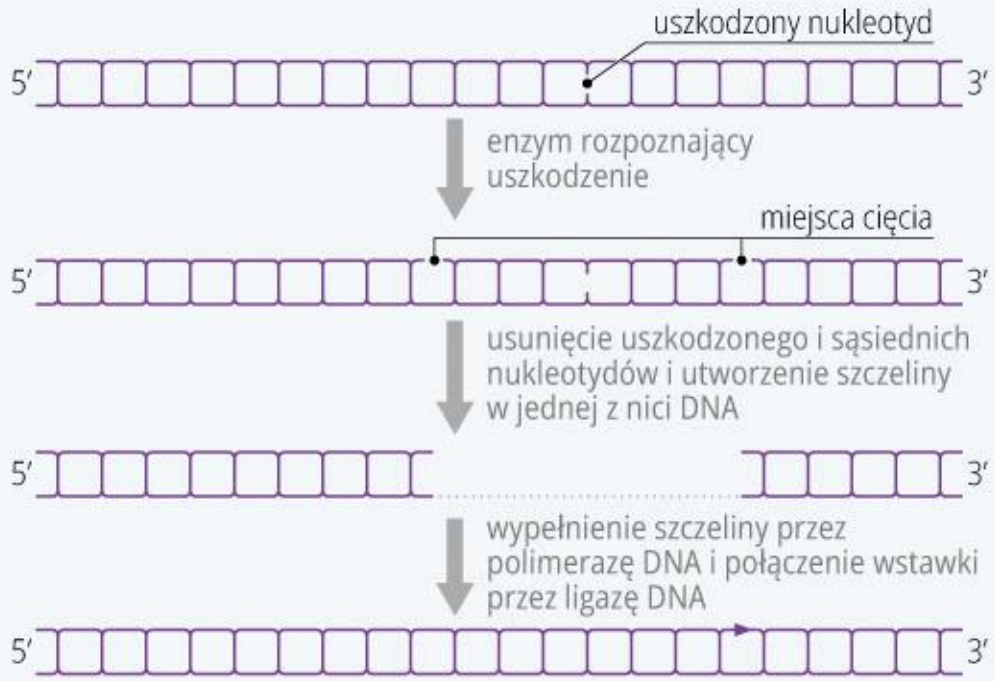
allopoliploidy
• powstają w wyniku krzyżówek międzygatunkowych
• częściej są spotykane u roślin, np. pszenżyto (6n)
• rzadkie u zwierząt, mogą prowadzić do bezpłodności powstałych mieszańców, np. muł</td></tr>
</table>

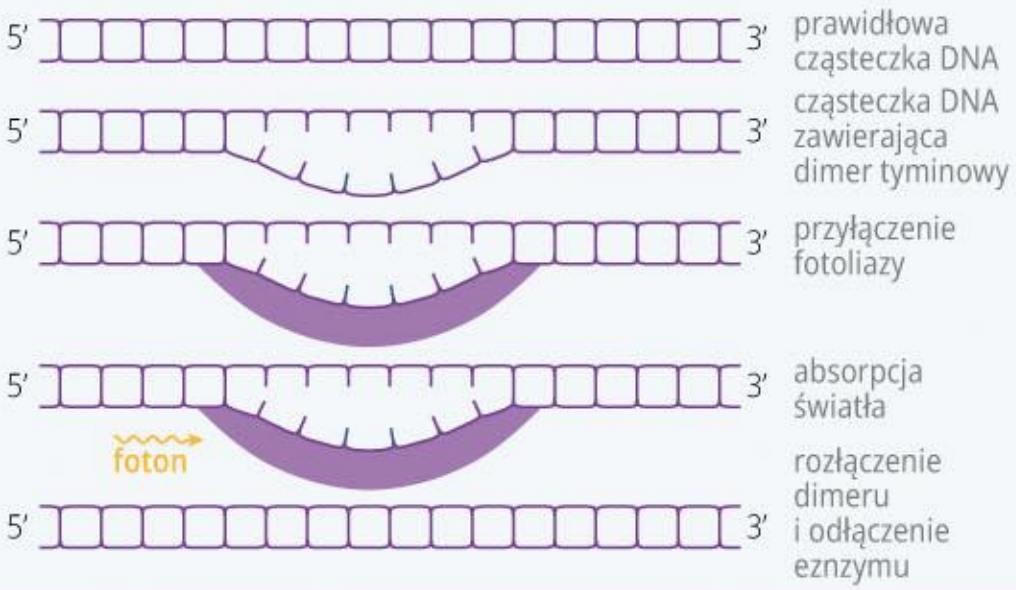


Delecja	Duplikacja	Inwersja	Translokacja
Delecja zachodzi, gdy chromosom pęka w dwóch miejscach, połączenie następuje z wyłączeniem utraconego fragmentu chromosomu.	Duplikacja ma miejsce podczas np. pękania dwóch chromosomów homologicznych, kiedy fragment z jednego chromosomu zostaje przyłączony do drugiego chromosomu.	Inwersja występuje podczas pęknięcia chromosomu w dwóch miejscach. Odłączony fragment zostaje odwrócony o 180° i ponownie przyłączony.	Translokacja zachodzi podczas pęknięcia chromosomu i utracony fragment zostaje przeniesiony na inny chromosom niehomologiczny lub następuje wymiana fragmentów między chromosomami niehomologicznymi.

Metody naprawy DNA

Procesy naprawcze	
wycinanie	• polega na wycięciu przez enzym nukleazę DNA uszkodzenia w pojedynczej nici DNA • następnie polimeraza DNA syntetyzuje nowe fragmenty DNA i zastępuje nimi usunięte nukleotydy, a ligaza DNA łączy nowo powstały fragment DNA z już istniejącą cząsteczką
naprawa bezpośrednia	• polega odwróceniu zmian, jakie nastąpiły podczas uszkodzenia DNA • przykładem takiej naprawy jest **fotoreaktywacja**, podczas której enzym fotoliaza katalizuje rozłączenie dimerów pirymidynowych przy udziale światła widzialnego o długości fali (300–600 nm)
naprawa źle sparowanych nukleotydów	• zachodzi podczas replikacji DNA • usuwane są błędy, które nie zostały naprawione przez polimerazę DNA • odpowiednie enzymy znakują lub mogą bezpośrednio naprawiać źle połączone nukleotydy





W komórkach bakteryjnych funkcjonuje **system naprawczy DNA nazywany SOS** (Save Our Souls):
- jest aktywny, gdy w komórce powstały liczne mutacje lub został zatrzymany proces replikacji;
- w systemie SOS uczestniczy ok. 20 różnych genów, z których większość odpowiada za syntezę enzymów naprawy DNA;
- ratuje komórkę, jeśli inne systemy nie naprawiły powstałych błędów.

Choroby genetyczne

Choroby genetyczne to choroby wywołane mutacjami w strukturze lub liczbie pojedynczych genów lub grup genów.

Podział chorób genetycznych

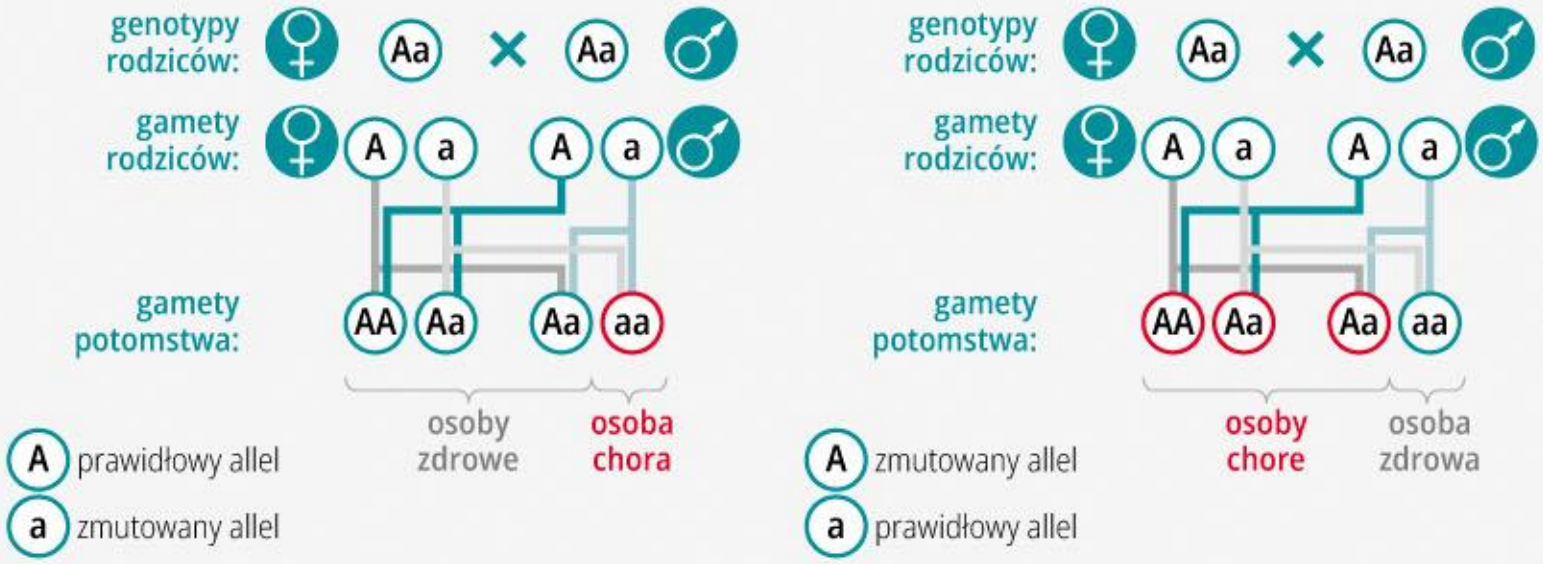
Zakres zmian w strukturze DNA		
jednogenowe (punktowe)	**chromosomalne**	**wieloczynnikowe (wielogenowe)**
wywołane mutacjami w jednym genie, np. fenyloketonuria, daltonizm, hemofilia	spowodowane zmianą struktury lub liczby chromosomów, np. zespół Downa, zespół Turnera	spowodowane mutacjami różnych genów, a także czynnikami środowiska lub trybem życia, np. autyzm, schizofrenia, nadciśnienie tętnicze, cukrzyca

Choroby jednogenowe

Choroby genetyczne jednogenowe są wynikiem mutacji genów DNA jądrowego.

Choroby jednogenowe			
autosomalne – mutacja w genie położonym w autosomie		**sprzężone z płcią** – mutacja w genie położonym w chromosomie płci	
dziedziczone recesywne – ujawniają się tylko u homozygot recesywnych • u heterozygot się nie ujawniają (nosiciele wadliwego genu)	**dziedziczone dominująco** • ujawniają się przede wszystkim u homozygot dominujących, ale mogą chorować także heterozygoty (lżejsze objawy)	**dziedziczone recesywnie**	**dziedziczone dominująco**
• fenyloketonuria • alkaptonuria • anemia sierpowata • mukowiscydoza • albinizm	• choroba Hungtingtona • achondroplazja	• hemofilia • daltonizm • dystrofia mięśniowa Duchenne'a	• krzywica oporna na witaminę D

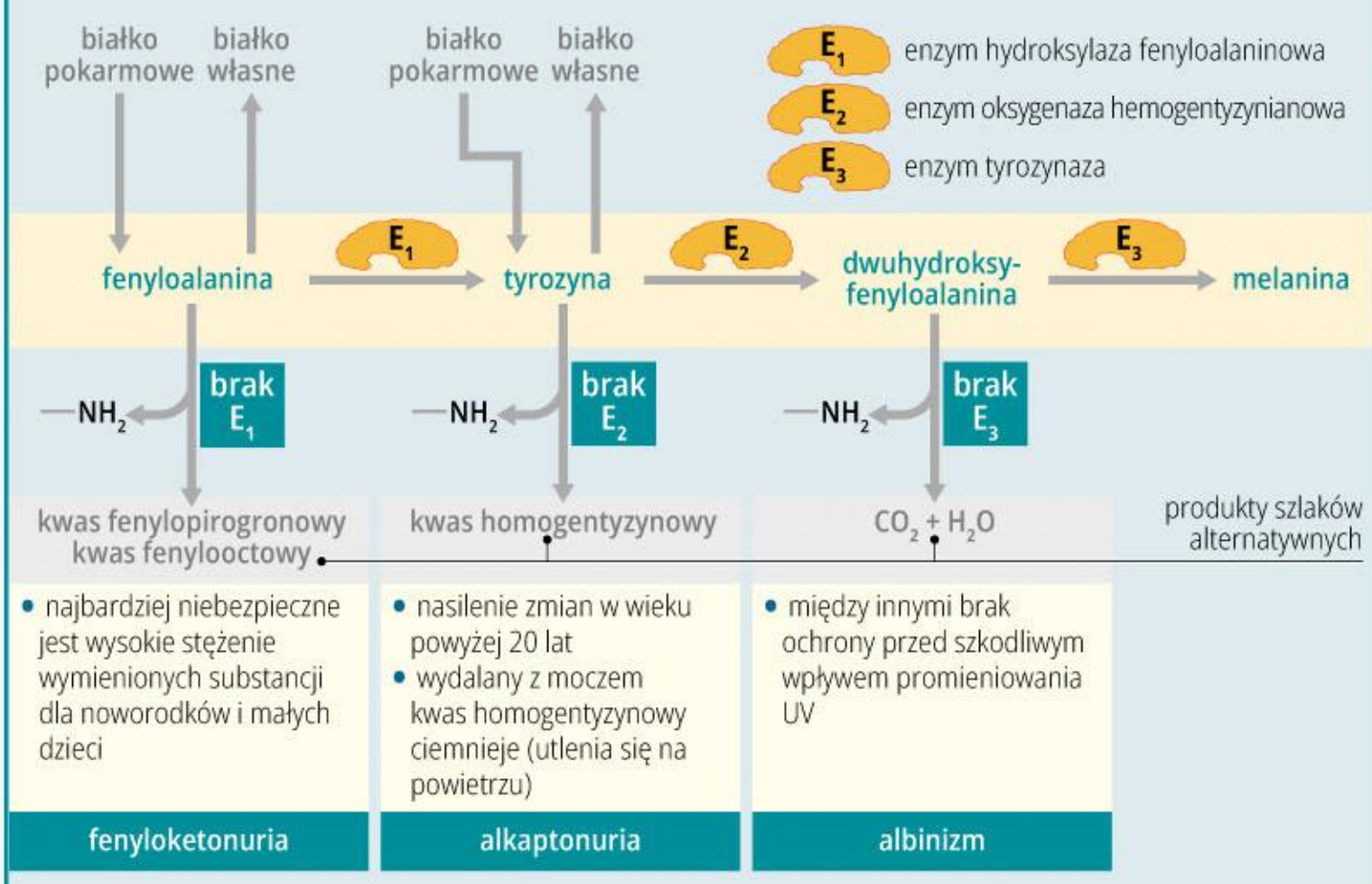
Choroby jednogenowe autosomalne



Wybrane choroby jednogenowe autosomalne

Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
dziedziczone recesywnie			
fenyloketonuria (PKU)	• **blok metaboliczny** spowodowany mutacją w genie kodującym enzym hydrolazę fenyloalaninową (PAH) odpowiedzialnym za przekształcenia aminokwasu – fenyloalaniny w tyrozynę • brak enzymu powoduje gromadzenie fenyloalaniny i przekształcanie w toksyczny kwas fenylopirogronowy zamiast w tyrozynę	• upośledzenie układu nerwowego na skutek gromadzenia się fenyloalaniny (umysłowe i ruchowe) • objawy neurologiczne, np. napady padaczkowe • objawy zewnętrzne – jasna karnacja skóry, jasne włosy i tęczówki oczu	• dieta uboga w fenyloalaninę (tym samym uboga w białko) • istotne jest wczesne wykrycie fenyloketonurii (dziecko chore rodzi się z nieuszkodzonym ośrodkowym układem nerwowym)
alkaptonuria	• **blok metaboliczny** spowodowany mutacją w genie kodującym enzym oksygenazę homogentyzynianową odpowiedzialnym za przekształcenie pośredniego produktu przemian tyrozyny – kwasu homogentyzynowego w kwas acetylooctowy • brak enzymu powoduje gromadzenie się kwasu homogentyzynowego • kwas zostaje w znacznych ilościach wydalany z moczem	• mocz chorych w zetknięciu z powietrzem ciemnieje, przyjmując barwę od różowej do prawie czarnej • ciemnienie chrząstek, ścięgien, więzadeł, skóry (m.in. twarzy, kończyn, pod pachami, na małżowinach usznych i powiekach) • zwyrodnienia i stany zapalne stawów u osób w średnim wieku	• dieta uboga w aminokwasy aromatyczne • przyjmowaniu witaminy C, która ogranicza odkładanie się kwasu homogentyzynowego oraz leków zmniejszających jego produkcję • leczenie objawowe stanów zapalnych stawów (stosowanie fizjoterapii czy masaży)
albinizm oczno-skórny	• **blok metaboliczny** spowodowany mutacją w genie kodującym enzym tyrozynazę przekształcającą prekursor melaniny – tyrozynę w barwnik melaninę	• białe włosy (czasem różowo-czerwone), rzęsy i brwi • bardzo jasna skóra i niebieskie lub różowe tęczówki oczu z zaznaczonym czerwonym połyskiem	• nadmierna wrażliwość na promieniowanie słoneczne (UV), co przejawia się m.in. światłowstrętem, powstawaniem pęcherzy i większym zrogowaceniem skóry • wzrasta prawdopodobieństwo zachorowania na nowotwory skóry • brak leczenia; można zmniejszyć niepożądane skutki przez ochronę skóry przed działaniem promieniowania słonecznego

Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
galaktozemia	• **blok metaboliczny** spowodowany brakiem enzymu odpowiedzialnego za przekształcenie cukru galaktozy w glukozę • nadmierne gromadzenie galaktozy w komórkach	• biegunka, wymioty, alergie po spożyciu mleka (laktozy) • w zaawansowanym stadium choroby powiększenie i uszkodzenie wątroby, żółtaczka, zaćma oczu oraz zaburzenia umysłowe	• stosowanie diety pozbawionej galaktozy lub jej źródła – laktozy



- najbardziej niebezpieczne jest wysokie stężenie wymienionych substancji dla noworodków i małych dzieci

fenyloketonuria

- nasilenie zmian w wieku powyżej 20 lat
- wydalany z moczem kwas homogentyzynowy ciemnieje (utlenia się na powietrzu)

alkaptonuria

- między innymi brak ochrony przed szkodliwym wpływem promieniowania UV

albinizm

bloki metaboliczne w przemianie fenyloalaniny powodujące określone choroby genetyczne			
anemia sierpowata	• mutacja punktowa (transwersja A w T) w genie łańcucha β hemoglobiny, co powoduje zmianę pojedynczego aminokwasu w sekwencji białka (z kwasu glutaminowego na walinę) • erytrocyty mają kształt przypominający sierp	• sierpowaty kształt erytrocytów utrudnia przeciskanie się przez drobne włosowate naczynia krwionośne i często jest przyczyną ich zaczopowania • uszkodzenie tkanek i narządów, co powoduje silny ból • niedokrwistość (obniżona ilość hemoglobiny) i niedotlenienie tkanek organizmu • nawracające infekcje, bóle stóp i dłoni, powiększenie wątroby i śledziony	• leczenie skupia się na łagodzeniu objawów • czasami stosuje się środki farmakologiczne pobudzające produkcję erytrocytów w szpiku lub przeszczep szpiku kostnego
mukowiscydoza (CF, ang. *cystic fibrosis*)	• ponad 800 mutacji pojedynczego genu kodującego białko transportujące, które buduje kanały chlorkowe w błonie komórkowej • brak prawidłowego transportu jonów chlorkowych przez błonę komórkową	• gromadzący się gęsty i lepki śluz w układzie oddechowym (oskrzela, płuca) powoduje częste infekcje i utrudnienia w wymianie gazowej • w układzie pokarmowym prowadzi do m.in. niewydolności wątroby i zaburzeń wydzielniczych trzustki (śluz zlepia kanaliki trzustkowe i blokuje wydzielanie enzymów trzustkowych)	• leczenie objawów mukowiscydozy to podawanie preparatów ułatwiających usuwanie nadmiaru śluzu z dróg oddechowych, antybiotyków zwalczających infekcje, wspomagających czynność układu pokarmowego (enzymy trzustkowe)

Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
dziedziczone dominująco			
choroba Huntingtona (HD, ang. *Huntington disease*)	• mutacja pojedynczego genu (wielokrotna duplikacja kodonu CAG w genie 4. chromosomu), który koduje białko huntingtynę	• nieprawidłowe białko gromadzi się w postaci złogów w komórkach nerwowych, co prowadzi do ich degeneracji • niekontrolowane ruchy ciała (ruchy pląsawicze), drżenia kończyn, zmniejszenie napięcia mięśni, zaburzenia psychiczne • choroba ujawnia się ok. 30.–40. roku życia, co przyczynia się do jej utrwalenia w populacji • śmierć chorego następuje najczęściej po 10–15 latach od pojawienia się pierwszych objawów	• choroba nieuleczalna • łagodzenie skutków objawów – zaburzeń ruchowych, objawów psychicznych czy depresyjnych
zespół Marfana (MFS)	• mutacja w genie kodującym fibrylinę-1, znajdującym się na 15 chromosomie	• wydłużona sylwetka ciała i twarzy • wady wzroku, kośćca i serca • tętniaki aorty, rozedma płuc • zwyrodnienia stawów • rozstępy skórne	• średni czas życia ok. 30 lat • główna przyczyna śmierci to pęknięcie tętniaka aorty podczas wysiłku fizycznego
achondroplazja	• mutacja w genie kodującym białkowy receptor dla czynnika wzrostu fibroblastów (komórek tkanki łącznej właściwej) znajdującym się ramieniu krótkim chromosomu 4	• nieprawidłowe kostnienie śródchrzęstne prowadzące do zaburzeń rozwoju kości i karłowatości • skrócenie długości kończyn • lordoza • nieprawidłowe napięcie mięśni • przykurcze stawów	• leczenie polega na operacjach kości, stawów, zabiegach wydłużania kończyn • podawanie hormonu wzrostu

Choroby jednogenowe sprzężone z płcią

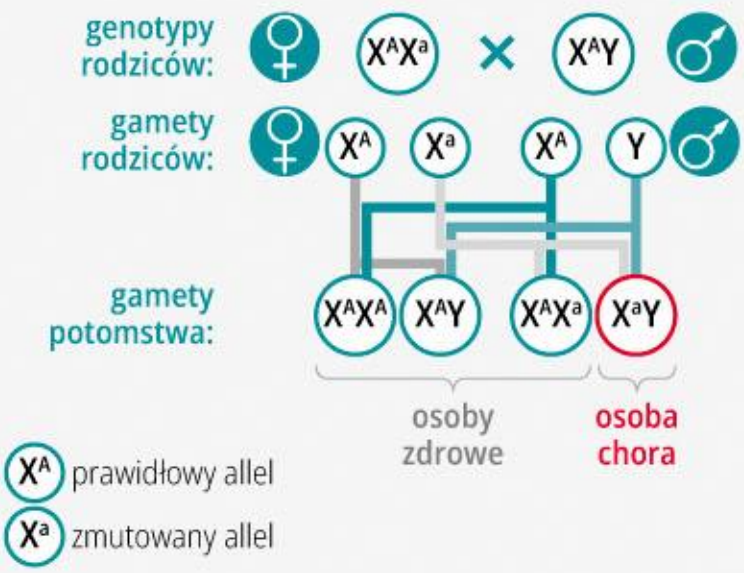
Choroby sprzężone z płcią są wynikiem występowania mutacji w genie znajdującym się w chromosomie X.

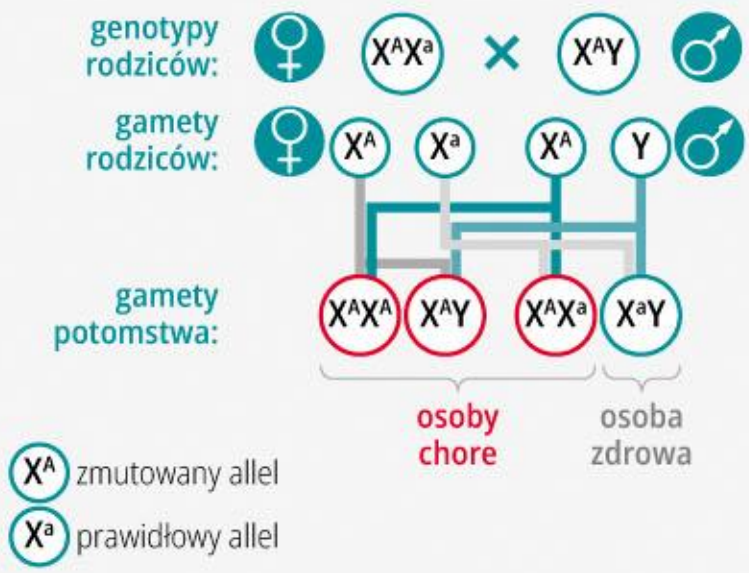
Choroby dziedziczone w sposób recesywny sprzężony z płcią

Choroby sprzężone z chromosomem X, dziedziczone w sposób recesywny, spotykamy częściej u mężczyzn niż u kobiet, ponieważ aby kobieta zachorowała, musi mieć dwa zmutowane allele genu (po matce i po ojcu; heterozygoty są zdrowe, ale są nosicielkami). Mężczyzna zachoruje tylko w przypadku, gdy ma jeden zmutowany allel, ponieważ ma tylko jeden chromosom X (po matce).

Choroby dziedziczone w sposób dominujący sprzężony z płcią

Ujawnienie choroby sprzężonej z płcią dziedziczonej w sposób dominujący wymaga tylko jednego zmutowanego allelu. Dlatego w wypadku tego typu dziedziczenia nie występują nosiciele. Natomiast istotna jest liczba wersji danego genu u każdej z płci. Kobiety mają dwa chromosomy X i dlatego mogą mieć dwie wersje genu. Obecność jednego prawidłowego może złagodzić objawy choroby. Natomiast mężczyzna ma tylko jeden chromosom X, na którym znajduje się jedna wersja genu – jeśli jest zmutowana, wówczas ten mężczyzna choruje.



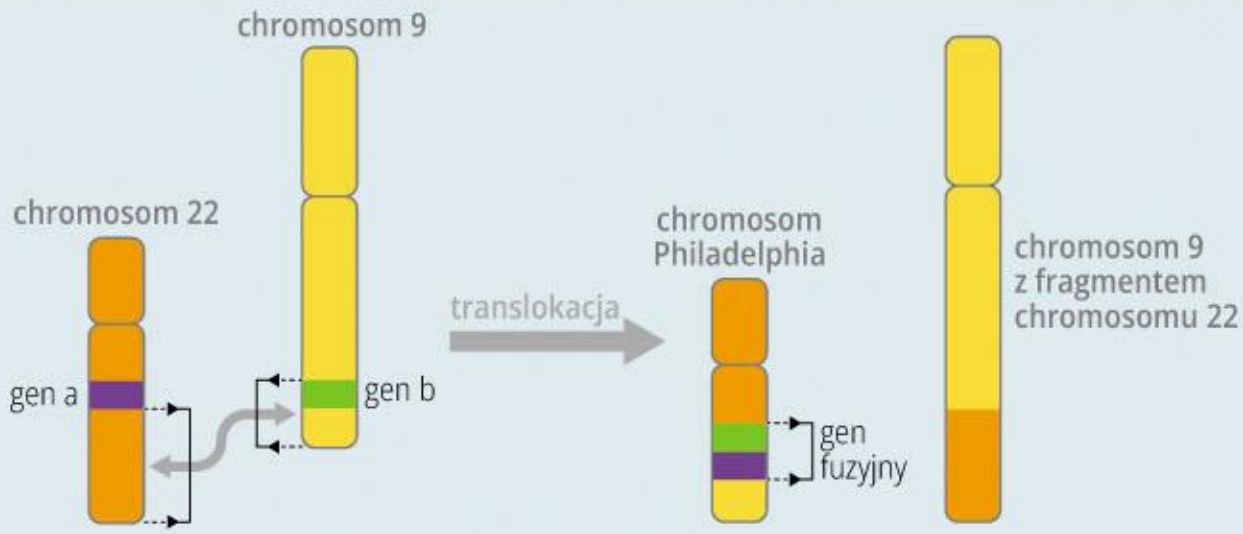


Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
choroby jednogenowe sprzężone z płcią dziedziczone recesywnie			
hemofilia	• mutacja w genach chromosomu X kodujących czynniki krzepnięcia krwi • wyróżnia się hemofilię A (niedobór czynnika VIII), hemofilię B (niedobór czynnika IX) lub hemofilię C (niedobór czynnika XI – choroba autosomalna recesywna)	• zaburzenia krzepnięcia krwi (hemostazy) • wylewy (podskórne – siniaki) i krwawienia wewnętrzne (np. z przewodu pokarmowego) i zewnętrzne (z nosa) oraz krwiomocz	• podawanie czynników krzepnięcia krwi
daltonizm (ślepota barw)	• mutacja w genie chromosomu X kodującego białko budujące czopki siatkówki oka	• nieprawidłowe rozróżnianie barw, np. czerwonej (protanopia), zielonej (deuteranopia), żółto-niebieskiej (tritanopia)	• korzystanie ze specjalnych okularów korygujących o szkłach zmieniających sposób postrzegania barw • choroba nie wpływa bezpośrednio na przeżywalność
dystrofia mięśniowa Duchenne'a (DMD)	• mutacja w genie kodującym białko strukturalne – dystrofinę, stabilizujące strukturę błony włókien mięśniowych	• powolny zanik mięśni szkieletowych i mięśnia serca (kardiomiopatia), a także w miarę postępu choroby niewydolność krążeniowa i oddechowa • u dzieci obserwuje się „kaczkowaty chód", trudności przy wchodzeniu na schody i wstawaniu z pozycji leżącej	• nie ma skutecznej metody leczenia dystrofii mięśniowej, stosuje się tylko środki łagodzące objawy oraz rehabilitację

Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
choroby jednogenowe sprzężone z płcią dziedziczone dominująco			
krzywica oporna na witaminę D_3 (hipofosfatemia)	• mutacja genu kodującego białko enzymatyczne, które znajduje się w komórkach kości i zębów odpowiedzialnego za regulację wchłaniania zwrotnego fosforanów w nerkach	• nadmierne wydalanie fosforanów z moczem • mniejsze zdolności do wchłaniania wapnia i fosforanów z przewodu pokarmowego • niska zawartość fosforanów we krwi • zniekształcenie kończyn, zahamowanie wzrostu, zaburzenia proporcji ciała, zniekształcenie czaszki i kręgosłupa oraz nieprawidłowości budowy zębów	• częściej występuje u kobiet, ale efekt fenotypowy jest taki sam u obu płci • objawy choroby ujawniają się najczęściej w dwóch pierwszych latach życia • brak skutecznych metod leczenia, stosuje się dietę bogatą w fosforany (mleko, nabiał, mięso, fasola) lub podaje witaminę D_3
zespół Retta (RTT, ang. *Rett syndrome*)	• mutacje (głównie delecje) w genie MECP2 kodującym czynniki regulujące transkrypcję	• niepełnosprawność ruchowa • boczne skrzywienie kręgosłupa • przykurcze mięśniowe • zaburzenia neurologiczne • napady padaczkowe • ograniczony kontakt z otoczeniem (zachowania autystyczne)	• choroba dotyczy głównie kobiet • w przypadku mężczyzn jest wadą letalną i prowadzi do śmierci w życiu płodowym • leczenie opiera się na stosowaniu rehabilitacji logopedycznej, ruchowej i psychologicznej

Choroby chromosomalne

Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
choroby chromosomalne spowodowane mutacjami strukturalnymi			
zespół *cri du chat* (zespół Lejeune'a, zespół „miauczenia kota", kociego krzyku)	delecja części ramion krótkich chromosomu 5	• poważne wady rozwojowe u niemowląt (małogłowie, zez, guzy czołowe, trudności z połykaniem, anomalie w budowie i funkcjonowaniu krtani – płacz dziecka przypomina miauczenie kota) • wraz z wiekiem obserwuje się opóźniony rozwój psychoruchowy • często towarzyszą choroby serca, nerek, rozszczep wargi, podniebienia czy kręgosłupa	• choroba jest nieuleczalna • objawy łagodzi się przez skuteczną rehabilitację – naukę podstawowych codziennych czynności, zabiegi chirurgiczne wad wrodzonych, leczenie farmakologiczne zaburzeń czynnościowych
przewlekła białaczka szpikowa	• translokacja fragmentu chromosomu 9 do chromosomu 22 • w wyniku mutacji powstaje gen fuzyjny (położony na tzw. chromosomie Philadelphia), który koduje wadliwy enzym – kinazę tyrozynową, prowadzącą do nadmiernego namnażania się leukocytów	• nadmierne wytwarzanie leukocytów, co prowadzi do przewlekłej białaczki szpikowej • utrata masy ciała • zaburzenia pracy ośrodkowego układu nerwowego (bóle głowy, zaburzenia widzenia i świadomości) • inne objawy to m.in. osłabienie, bladość skóry	• leczenie farmakologiczne (inhibitory kinazy tyrozynowej) • przeszczep szpiku kostnego

Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
			
choroby chromosomalne spowodowane mutacjami liczbowymi autosomów			
zespół Downa	trisomia 21 chromosomów (47, XY, + 21 lub 47, XX, + 21)	• skośne oczy, fałdy skórne na powiekach, płaski profil twarzy, kąciki ust opadające ku dołowi, zapadnięty grzbiet nosa, często lekko spłaszczony tył głowy, małe, nisko osadzone uszy, krótkie w stosunku do długości tułowia kończyny, szerokie dłonie z bruzdą poprzeczną i stopy o krótkich palcach • wzrost ok. 150 cm • mogą pojawić się wady serca, choroby tarczycy czy obniżona płodność, a także różny stopień upośledzenia umysłowego • przedwczesne starzenie się	• prawdopodobieństwo wystąpienia choroby rośnie z wiekiem matki (znacznie wzrasta po 35. roku życia) • leczenie polega na rehabilitacji ruchowej i intelektualnej
zespół Edwardsa	trisomia 18 pary chromosomów (47, XY, +18 lub 47, XX, +18)	• niska masa urodzeniowa • liczne deformacje szkieletu • nadmiar skóry na szyi • wady serca i nerek • anomalie narządów płciowych • niepełnosprawność intelektualna	• prawdopodobieństwo wystąpienia choroby rośnie z wiekiem matki (znacznie wzrasta po 35. roku życia), częściej występuje u dziewczynek • dzieci zwykle umierają w trakcie pierwszego miesiąca życia, niewielki procent przeżywa pierwszy rok
zespół Patau	trisomia 13 pary chromosomów (47, XY, +13 lub 47, XX, +13)	• niska masa urodzeniowa • liczne wady ustrojowe – np. ubytek skóry skalpu, rozszczep wargi lub podniebienia, wady małżowin usznych, głuchota, anomalie kończyn (polidaktylia – większa liczba palców) • wady w budowie serca, nerek, mózgowia	• prawdopodobieństwo wystąpienia choroby rośnie z wiekiem matki (znacznie wzrasta po 35. roku życia) • dzieci zwykle umierają w trakcie 1–3 miesięcy od urodzenia, niewielki procent przeżywa pierwszy rok

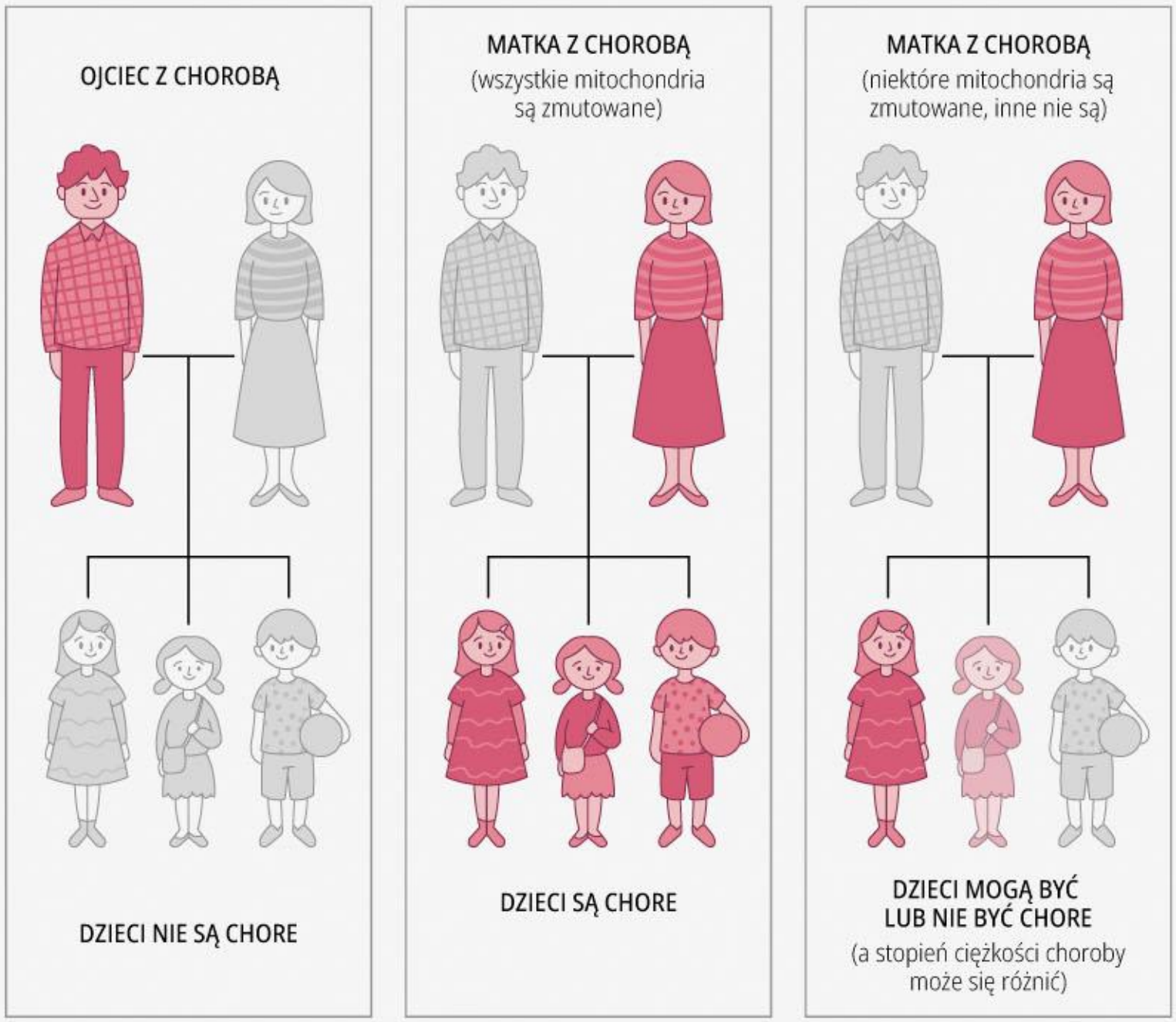
Choroba	Mutacja	Objawy	Leczenie
choroby chromosomalne spowodowane mutacjami liczbowymi chromosomów płci			
zespół Turnera	monosomia jednego z chromosomów płci (45, X)	• występuje u kobiet • niski wzrost (ok. 145 cm) • krępa budowa ciała, zaokrąglone biodra i brak talii, krótka płetwiasta szyja • niedorozwój wewnętrznych i zewnętrznych narządów płciowych (przyczyna bezpłodności) • mogą występować wrodzone wady serca, nerek i innych narządów	• niwelowanie objawów choroby • leczenie stwierdzonych w przebiegu choroby zaburzeń (hormony wzrostu, hormonalna terapia zastępcza – hormony płciowe)
zespół Klinefeltera	trisomia chromosomu X (47, XXY) (na skutek nondysjunkcji mejotycznej w gametach lub mitotycznej w zygocie)	• występuje u mężczyzn • mężczyźni ze względu na niższe od normalnego stężenie testosteronu mają słabo zaznaczone męskie cechy płciowe (II- i III-rzędowe), a wyraźnie rozwiniętą kobiecą sylwetkę ciała (ginekomastia – rozrost gruczołu mlekowego) • bezpłodność	• prawdopodobieństwo choroby wzrasta wraz z wiekiem obojga rodziców • stosuje się terapię testosteronem, która pozwala na rozwój wtórnych cech płciowych, ale nie przywraca płodności
zespół XXX (zespół supersamicy)	trisomia chromosomu X (47, XXX)	• wysoki wzrost • silnie zaznaczone III-rzędowe cechy płciowe (wydatny biust, szerokie biodra) • u części chorych zaburzenia miesiączkowania i obniżona płodność • u części chorych upośledzenie umysłowe w stopniu lekkim	• występuje u kobiet (dwa ciałka Barra) • prawdopodobieństwo choroby wzrasta wraz z wiekiem matki • leczenie hormonalne zaburzeń miesiączkowania, trudności z zajściem w ciążę czy przedwczesnej menopauzy
zespół XYY (zespół Jacobs, dawniej zespół supersamca)	trisomia chromosomu Y (47, XYY)	• wysoki wzrost • obniżone napięcie mięśniowe • osłabienie kośćca • opóźnione dojrzewanie, a u niektórych obniżona płodność • trudności w nauce	• występuje wyłącznie u mężczyzn • leczenie wyłącznie objawów (hormonalna terapia zastępcza testosteronem)

Choroby mitochondrialne – choroby dziedziczone pozajądrowo

Choroby mitochonrialne są wynikiem mutacji w mtDNA lub mutacji w jądrowym DNA, który koduje białka właściwe dla mitochondriów i odpowiedzialne za ich funkcjonowanie. Wchodzą one w skład kompleksów białkowych łańcucha transportu elektronów i syntazy ATP. W związku z tym choroby mitochondrialne pojawiają się w tkankach i narządach człowieka, które odznaczają się wysokim zapotrzebowaniem na energię, takie jak: serce, mięśnie szkieletowe, narządy ośrodkowego układu nerwowego i gruczoły dokrewne.

Przykłady chorób mitochondrialnych

Choroba	Charakterystyka
neuropatia nerwu wzrokowego Lebera (LHON, ang. *Leber's hereditary optic neuropathy*)	• zwyrodnienie komórek zwojowych siatkówki i ich aksonów na skutek mutacji w mtDNA • utrata widzenia najpierw w jednym oku, a następnie w ciągu kilku tygodni lub miesięcy – w drugim • nieprawidłowe rozpoznawanie barw oraz zaburzona reakcja na światło • choroba nieuleczalna pomimo stosowania leczenia farmakologicznego kortykosteroidami czy pochodnymi witaminy B_{12}
miopatia mitochondrialna (MD, *mitochondrial diseases*)	• gromadzenie się ubocznych produktów przemian metabolicznych spowodowanych nieprawidłowo funkcjonującymi mitochondriami • osłabienie mięśni aż do ich całkowitego zanikania • choroba nieuleczalna, leczenie skupia się na zmniejszeniu dolegliwości przez odpowiednią dietę i rehabilitację



Diagnostyka chorób genetycznych

Do metod wykorzystywanych w diagnostyce chorób genetycznych zaliczamy: poradnictwo genetyczne, badania prenatalne i preimplantacyjną diagnostykę genetyczną (PGD) oraz badania postnatalne.

Metody diagnostyki chorób genetycznych			
Poradnictwo genetyczne	**Badania prenatalne**	**Preimplantacyjna diagnostyka genetyczna**	**Diagnostyka postnatalna**
jest kierowane do: • osób w rodzinach, których występowały przypadki zachorowań na choroby genetyczne lub określone choroby nowotworowe, np. przewlekłą białaczkę szpikową • kobiet, których wcześniejsze ciąże kończyły się poronieniem • rodziców planujących zapłodnienie pozaustrojowe (*in vitro*) • rodziców, między którymi występuje bliskie pokrewieństwo • kobiet w ciąży w wieku powyżej 35 lat • osób pracujących w warunkach silnego działania czynników mutagennych (np. fabryki chemiczne, elektrownie jądrowe) pozwalają na: • podjęcie świadomej decyzji prokreacyjnej przyszłych rodziców • przygotowanie się psychiczne oraz merytoryczne rodziców na przyjście na świat dziecka obciążonego wadą genetyczną • skorzystanie z dostępnych metod leczniczych i rehabilitacyjnych ograniczających skutki choroby genetycznej matki lub dziecka	mają na celu: • przeprowadzenie diagnostyki płodu w czasie jego rozwoju wewnątrzmacicznego (przed urodzeniem) w celu wykrycia ewentualnych nieprawidłowości ze względu na technikę pobierania materiału badawczego i jego ocenę wyróżniamy: • badania nieinwazyjne (USG, testy krwi, analiza obrazowa przepływu krwi) • badania inwazyjne (amniopunkcja, biopsja kosmówkowa, fetoskopia, kordocenteza)	• stosuje się w przypadku zapłodnienia pozaustrojowego (*in vitro*) • celem jest wykrycie ewentualnych wad genetycznych mogących spowodować ujawnienie się choroby genetycznej lub predyspozycji do zachorowania na określone typy nowotworów	• wykonuje się u dzieci narodzonych w celu wykrycia choroby genetycznej • diagnostykę się przeprowadza, m.in. badając krew noworodka

Analiza rodowodów

Rodowód jest graficznym sposobem przedstawienia informacji o chorobie w danej rodzinie. Ułatwia ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia choroby genetycznej u potomstwa, a także pozwala na ustalenie rodzaju badań diagnostycznych w kierunku wykrycia choroby. Za pomocą specjalnych symboli graficznych oznacza się fenotypy poszczególnych osób tworzących drzewo genealogiczne rodziny.

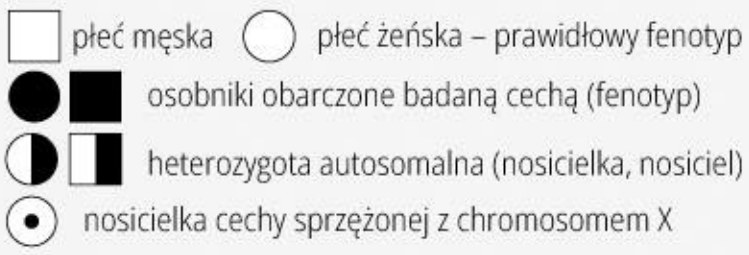
Przy tworzeniu rodowodów ważne jest właściwe stosowanie symboli i określonych zasad:

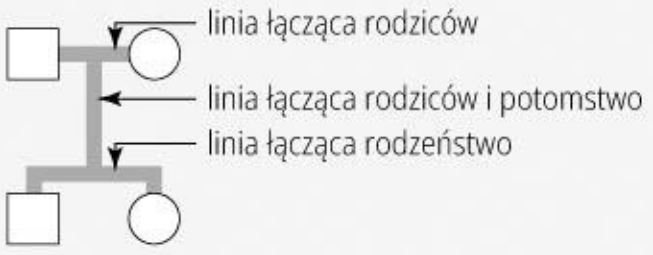
– Członkowie danego pokolenia powinni znajdować się na tym samym poziomie rodowodu.

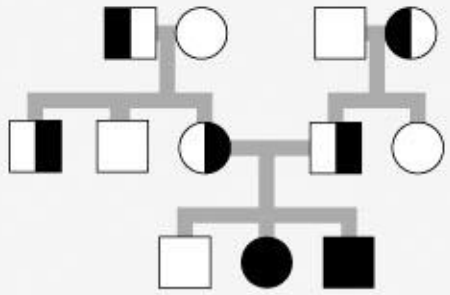
– Linię męską pokolenia zaznacza się zawsze po prawej stronie.

– Czasami pokolenia mogą być określone rzymskimi cyframi, a osoby wchodzące w skład danego poziomu numerowane od lewej strony cyframi arabskimi.

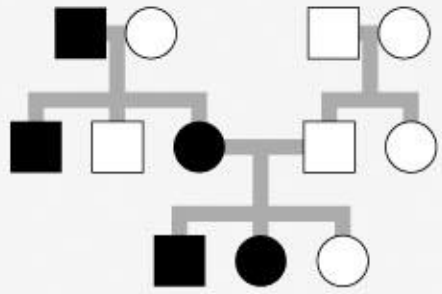
– Potomków danej pary rodziców zaznacza się od lewej strony – od najstarszego do najmłodszego.



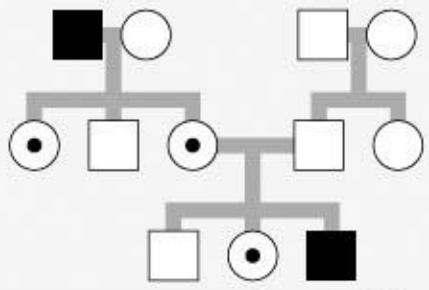




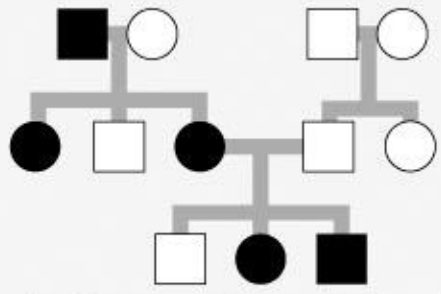
Mutacja autosomalna recesywna. Choroba nie musi ujawniać się w każdym pokoleniu. Dotyka w równym stopniu kobiet i mężczyzn, jednak chorują jedynie homozygoty recesywne.



Mutacja autosomalna dominująca. Choroba ujawnia się w każdym pokoleniu. W jednakowym stopniu chorują kobiety i mężczyźni.



Mutacja recesywna sprzężona z płcią w chromosomie X. Choroba nie musi ujawniać się w każdym pokoleniu. Chorują mężczyźni i homozygotyczne kobiety. Chory mężczyzna ma córki nosicielki, synom nie przekazuje uszkodzonych alleli.



Mutacja dominująca sprzężona z płcią w chromosomie X. Choroba ujawnia się w każdym pokoleniu. Chory mężczyzna nie przekazuje synom uszkodzonych alleli, chore kobiety mogą być heterozygotami lub homozygotami dominującymi.

Aby rodowód został sporządzony prawidłowo, należy:

– przeprowadzić wywiad obejmujący co najmniej trzy pokolenia razem ze wszystkimi krewnymi,

– uwzględnić wszystkie osoby zdrowe, chore, zmarłe oraz adopcję,

– sporządzić wszystkie urodzenia w porządku chronologicznym,

– ustalić poronienia samoistne, martwe urodzenia, urodzenia dzieci z wrodzonymi wadami rozwojowymi.

10

Biotechnologia

10.1. Biotechnologia tradycyjna i nowoczesna

Biotechnologia to interdyscyplinarna dziedzina nauki, która wykorzystuje organizmy, ich składniki oraz przeprowadzane przez nie procesy w celu wytwarzania i późniejszego zastosowania określonych produktów lub metod.

Biotechnologia

tradycyjna (klasyczna)	nowoczesna (molekularna)
Wykorzystuje naturalnie występujące w środowisku organizmy i produkowane przez nie substancje.	Wykorzystuje zmodyfikowane organizmy, komórki oraz enzymy, opierając się na najnowszych osiągnięciach biologii molekularnej i inżynierii genetycznej.

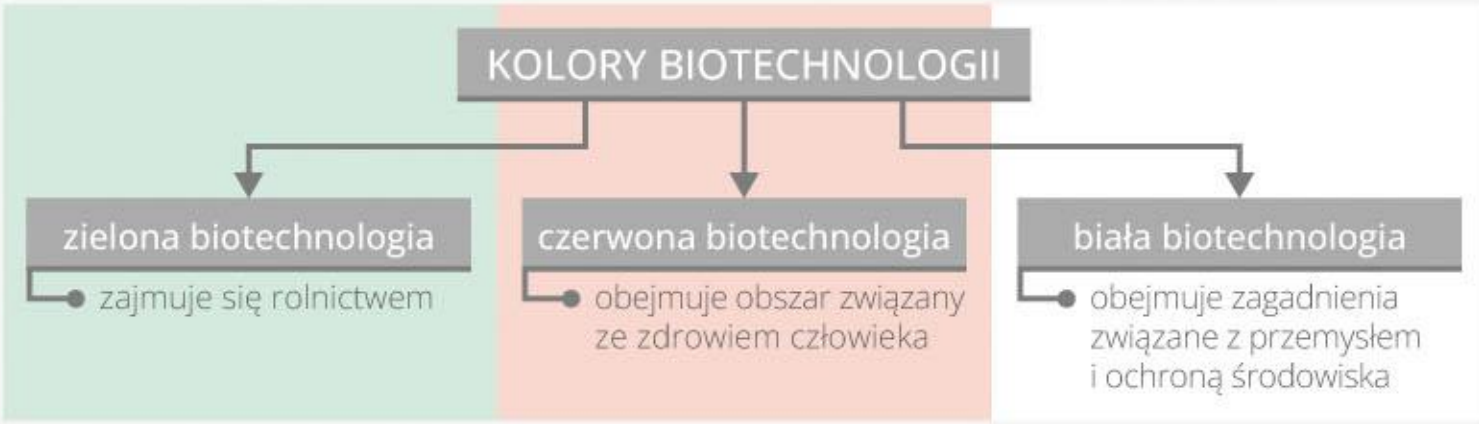
Biologia molekularna bada właściwości cząsteczek budujących komórkę, głównie białek i kwasów nukleinowych.

Inżynieria genetyczna to zespół technik pozwalających na celową zmianę właściwości materiału genetycznego, przenoszenie genów pomiędzy organizmami, powielanie DNA, a także otrzymywanie organizmów genetycznie zmodyfikowanych (GMO).

Działania człowieka w obrębie biotechnologii tradycyjnej

Działanie	Opis	Przykład
sztuczna selekcja	celowy wybór do dalszego rozmnażania osobników mających pożądane cechy	współcześnie znane gatunki roślin uprawnych (np. odmiany kapusty) i zwierząt hodowlanych oraz domowych
krzyżowanie	kojarzenie wyselekcjonowanych osobników tego samego gatunku (krzyżowanie wewnątrzgatunkowe) lub różnych gatunków (krzyżowanie międzygatunkowe)	zwierzęta udomowione (np. krowy, psy); krzyżowanie międzygatunkowe: muł, legrys, zebryna
mutageneza	celowe wprowadzania zmian w materiale genetycznym z zastosowaniem czynników mutagennych (np. promieniowania, temperatury)	współcześnie znane gatunki roślin uprawnych, warzyw i owoców

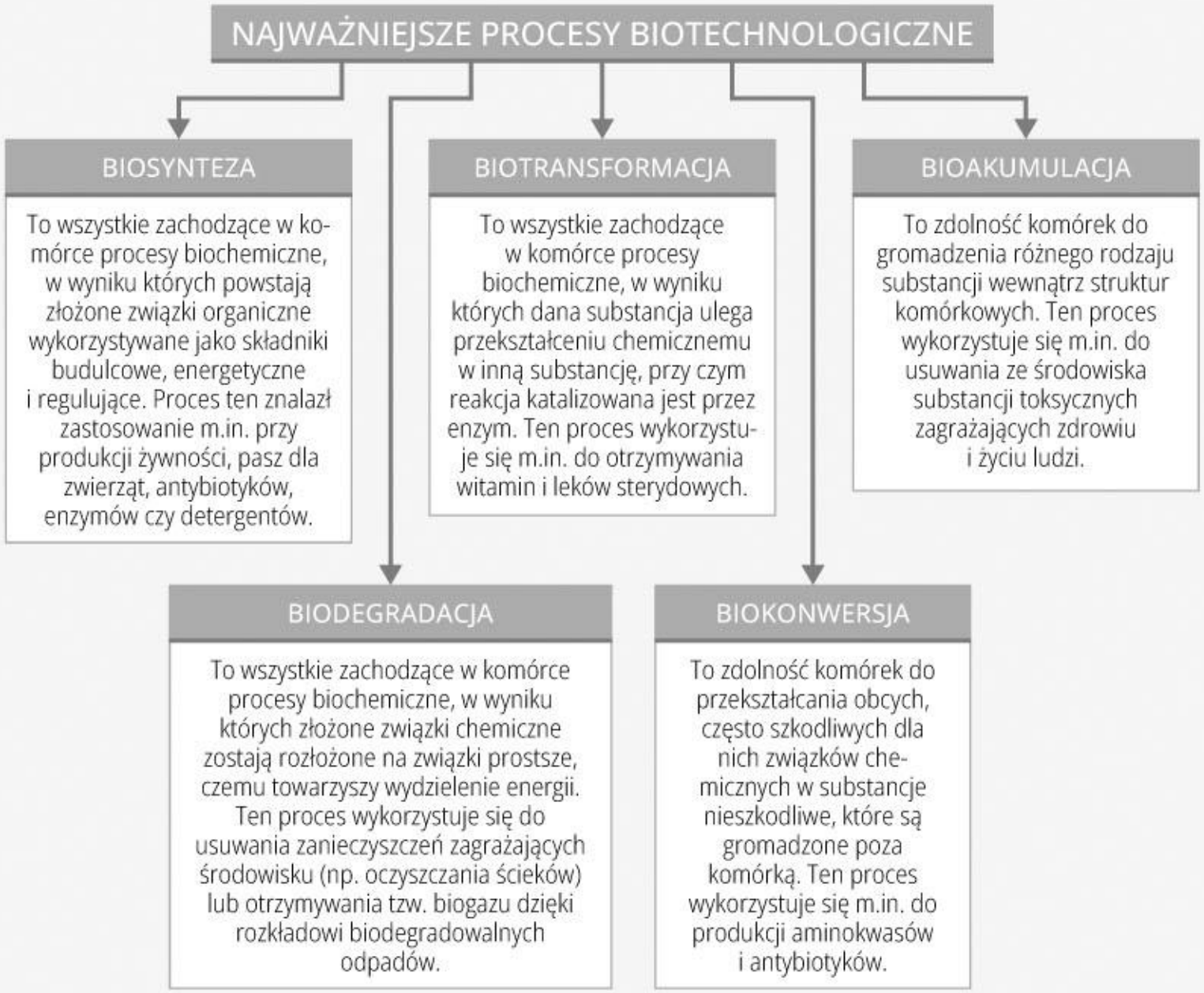
Kolory biotechnologii



Procesy biotechnologiczne

Procesy biotechnologiczne – procesy biologiczne zachodzące w komórkach organizmów, ale przeprowadzane na dużą, przemysłową skalę w celu uzyskania określonego produktu (np. fermentacja mleczanowa, fermentacja alkoholowa).

Najważniejsze procesy biotechnologiczne



Współczesne zastosowania biotechnologii tradycyjnej

Obszar gospodarki	Przykłady
przemysł spożywczy	• uzyskiwanie produktów opartych na fermentacji mleczanowej (jogurty, kefiry, kiszonki, sery) • uzyskiwanie produktów opartych na fermentacji etanolowej (pieczywo, wino, piwo)
przemysł farmaceutyczny i medycyna	• synteza i izolacja substancji leczniczych (enzymy, białka, antybiotyki, leki) • poszukiwanie nowych substancji biologicznie czynnych • synteza związków leczniczych • opracowywanie nowych szczepionek
rolnictwo	• przyswajanie azotu cząsteczkowego (N_2) przez bakterie z rodzaju *Rhizobium* i *Azotobacter*) • szczepionki wzbogacające glebę w związki azotu i fosforu • otrzymywanie giberelin (hormonu wzrostu) w wyniku fermentacji • stosowanie przetrwalników bakterii (*Bacillus thuringiensis*) jako środków owadobójczych
ochrona środowiska	• zapobieganie i ograniczanie zanieczyszczeniom wód, gleby i atmosfery (bioremediacja) • biologiczne oczyszczanie ścieków i unieszkodliwianie odpadów • wytwarzanie biopaliw

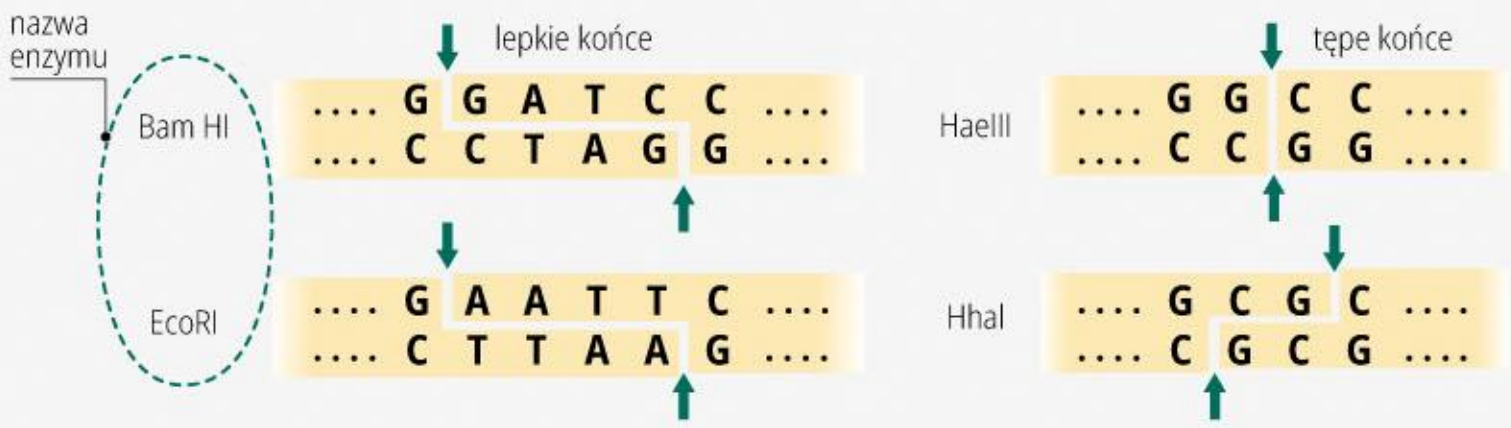
10.2. Techniki inżynierii genetycznej

Najważniejsze enzymy wykorzystywane w biotechnologii

Enzym	Zastosowanie	Przykład
polimerazy DNA	Powielanie fragmentów DNA, np. w reakcji PCR i jej odmianach (w medycynie, diagnostyce medycznej, sądownictwie, nauce).	polimerazy bakteryjne: *Taq*, *Pfu*, polimeraza Kronberga, polimerazy bakteriofagów: polimerazy faga T4 i T7
enzymy restrykcyjne (restryktazy)	Służą do precyzyjnego rozcinania DNA; enzymy te rozpoznają krótkie, ściśle określone sekwencje w DNA i w tym miejscu przecinają obie jego nici. Stosowane np. przy klonowaniu genów, sekwencjonowaniu DNA, badaniu chromosomów, tworzeniu rekombinowanych cząsteczek DNA.	enzymy restrykcyjne występują naturalnie u bakterii, gdzie służą do degradowania cząsteczek wirusowego DNA: ich nazwy pochodzą od gatunku bakterii, z której zostały wyizolowane, np. EcoRI, BamHI, HindIII
ligazy	Łączenie rozciętych wcześniej fragmentów DNA. Stosowane m.in. przy sekwencjonowaniu DNA, uzyskiwaniu rekombinowanego DNA.	T4 ligaza DNA (pochodzi z bakteriofaga T4)

Działanie enzymów restrykcyjnych

Enzymy restrykcyjne przecinają nić DNA w miejscach wyznaczanych przez specyficzną sekwencję DNA o długości od 4 do 8 par zasad. Sekwencje te nazywamy **palindromowymi**, czyli identycznymi, kiedy odczytujemy je na obu komplementarnych niciach w tym samym kierunku (np. 5'→3'). Miejsce cięcia może przebiegać prosto z wytworzeniem **tępych końców** lub ukośnie z wytworzeniem **lepkich końców**.



Rekombinacja DNA

Rekombinacja DNA bazuje na metodach biologii molekularnej, za pomocą których pożądane geny lub inne fragmenty DNA są wprowadzane do genomu komórki biorcy i powielane wraz z jej replikacją. Połączenie DNA pochodzącego z różnych źródeł prowadzi do powstania **zrekombinowanej cząsteczki DNA**. Wprowadzanie zrekombinowanych cząsteczek DNA do komórki nazywamy **transformacją genetyczną**.

Metody transformacji genetycznej

Metody wektorowe	Metody bezwektorowe (bezpośrednie)
Transformacja genetyczna oparta na nośniku – wektorze (m.in. plazmidy, wirusy), za pomocą którego obcy fragment DNA jest wprowadzany do komórki biorcy.	Metody wprowadzania fragmentów DNA z wykorzystaniem substancji chemicznych, mikroigły czy pola elektrycznego.

Wektory stosowane do rekombinacji DNA

Wektory do klonowania są cząsteczkami DNA zdolnymi do przenoszenia innych cząsteczek DNA. Charakteryzują się zdolnością do replikacji niezależnej od gospodarza i obecnością miejsc cięcia rozpoznawanych przez enzymy restrykcyjne. Można je stosunkowo łatwo wyizolować. Wektory zawierają znacznik, czyli **marker** (np. gen oporności na antybiotyki), pozwalający na rozróżnienie komórek gospodarza zawierających rekombinowany wektor od pozostałych.

Wektor	Charakterystyka
plazmidy	• małe, koliste cząsteczki DNA występujące u bakterii • wektory plazmidowe wykorzystuje się do: klonowania DNA, przechowywania DNA, wytwarzania obcych białek (np. insuliny, hormonu wzrostu), transformacji komórek roślinnych (z wykorzystaniem plazmidu Ti bakterii glebowych *Agrobacterium tumefaciens*)
bakteriofagi (wirusy bakteryjne)	• wirusy atakujące bakterie (najczęściej fag lambda, fag M13) • transformacja bazuje na naturalnej zdolności bakteriofagów do infekowania komórek bakteryjnych, w czasie której DNA faga jest wbudowywane w genom bakteryjny
wirusy	• najczęściej adenowirusy, retrowirusy, wirusy towarzyszące adenowirusom AAV, wirus SV40 • transformacja bazuje na naturalnej zdolności wirusów do infekowania komórek eukariotycznych
sztuczne chromosomy	• sztuczne chromosomy drożdżowe, sztuczne chromosomy ssaków • mają postać liniowego DNA i pozwalają na wprowadzanie długich fragmentów DNA

Metody bezwektorowe transformacji genetycznej

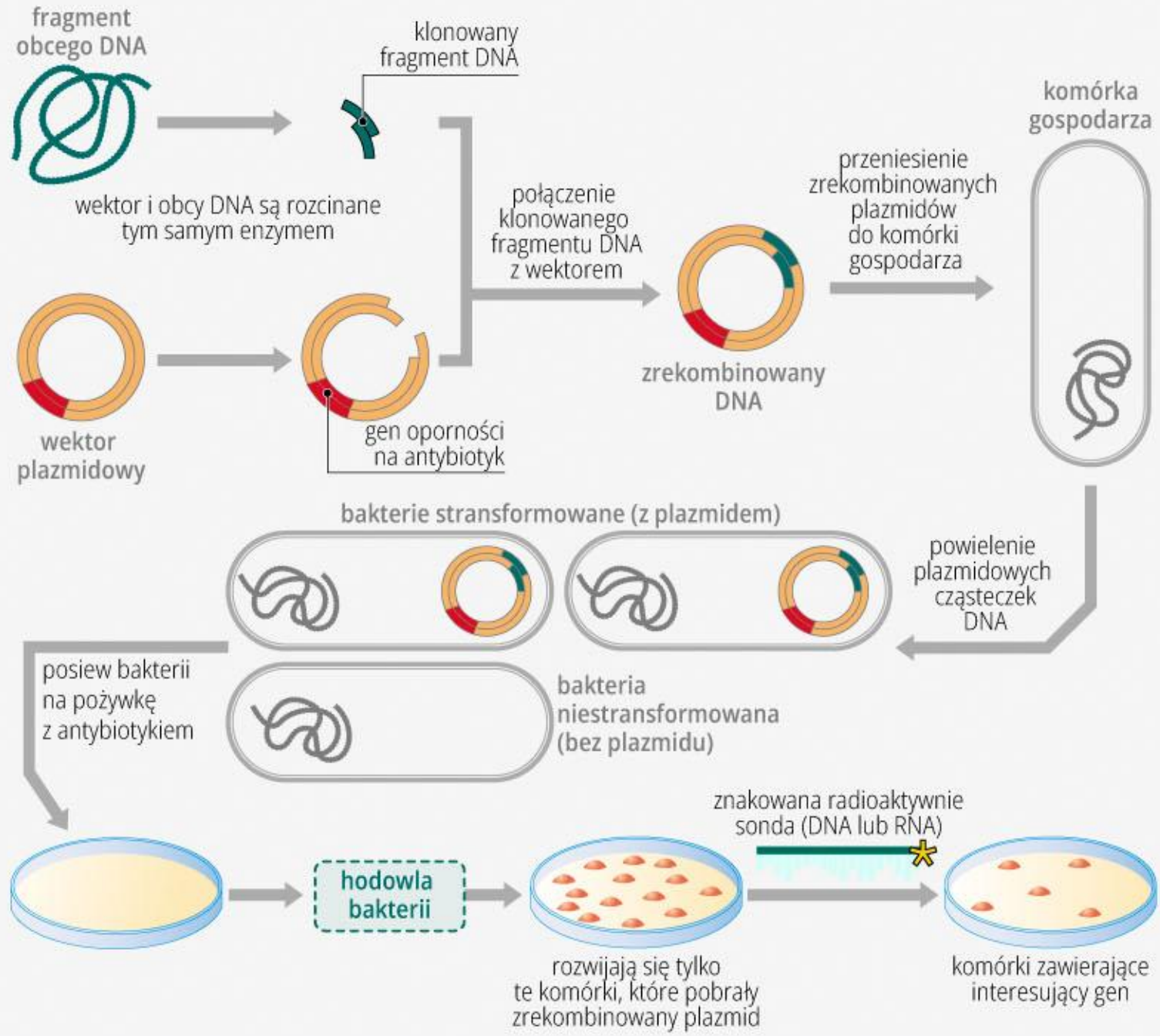
Metoda	Opis
mikroiniekcja	Wprowadzanie roztworu zawierającego pożądany gen do jądra komórkowego za pomocą mikroigieł pod kontrolą mikroskopu.
bombardowanie genowe	Wstrzeliwanie kulek ze złota opłaszczonych pożądanym DNA za pomocą armatki genowej (pod dużym ciśnieniem).
elektroporacja	Poddanie komórek biorcy działaniu impulsów elektrycznych, pod wpływem których błony komórkowe stają się chwilowo przepuszczalne, co umożliwia wniknięcie DNA do ich środka.

Klonowanie DNA

Klonowanie genu (DNA) polega na wprowadzeniu zrekombinowanej cząsteczki DNA do komórki gospodarza (np. bakterii), która podczas replikacji powiela także wprowadzony do niej obcy fragment DNA, tworząc klon. Dzięki temu uzyskuje się wiele jego kopii, które następnie oczyszcza się i analizuje.

Etapy klonowania DNA z użyciem wektora plazmidowego

– pocięcie wektora i DNA przeznaczonego do klonowania tym samym enzymem restrykcyjnym;
– połącznie uzyskanych fragmentów za pomocą ligazy DNA;
– wprowadzenie zrekombinowanego plazmidu do komórek gospodarza (bakterii);
– namnożenie cząsteczek plazmidowego DNA (nie wszystkie komórki bakterii zostaną stransformowane);
– selekcja zrekombinowanych bakterii na pożywce zawierającej antybiotyk;
– wykorzystanie sondy DNA do wyszukania wśród stransformowanych komórek interesującego nas genu.



Hybrydyzacja kwasów nukleinowych

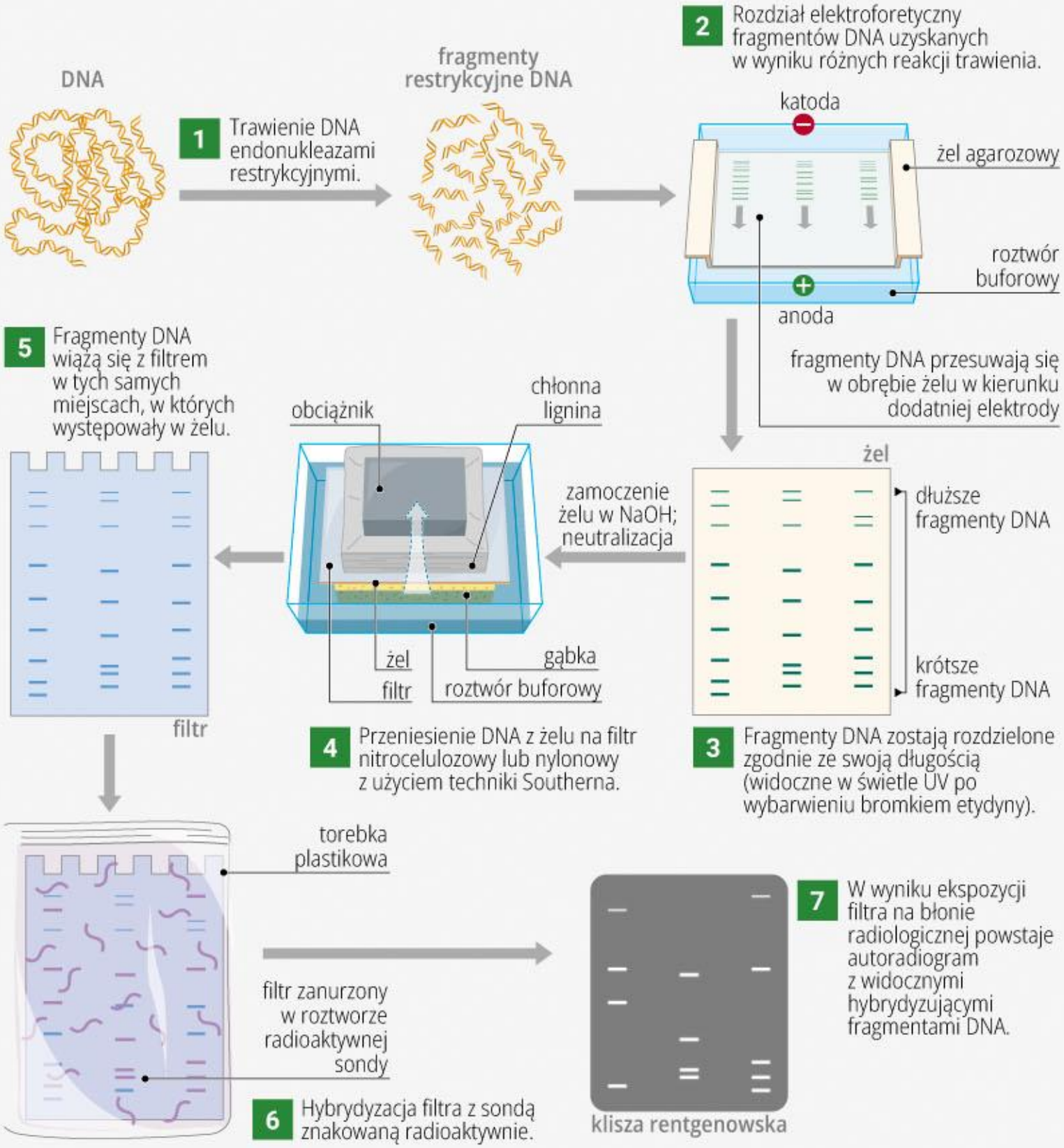
Hybrydyzacja to łącznie się jednoniciowych fragmentów DNA z komplementarną sekwencją kwasu nukleinowego. W procesie klonowania genu wykorzystujemy **sondy molekularne**, czyli krótkie, sztucznie zsyntetyzowane fragmenty kwasu nukleinowego, wyznakowane radioaktywnie lub fluorescencyjnie, które znakują i odszukują pożądane fragmenty DNA w materiale genetycznym.

Hybrydyzacja może zachodzić pomiędzy:

– DNA i DNA (hybrydyzacja metodą Southerna),

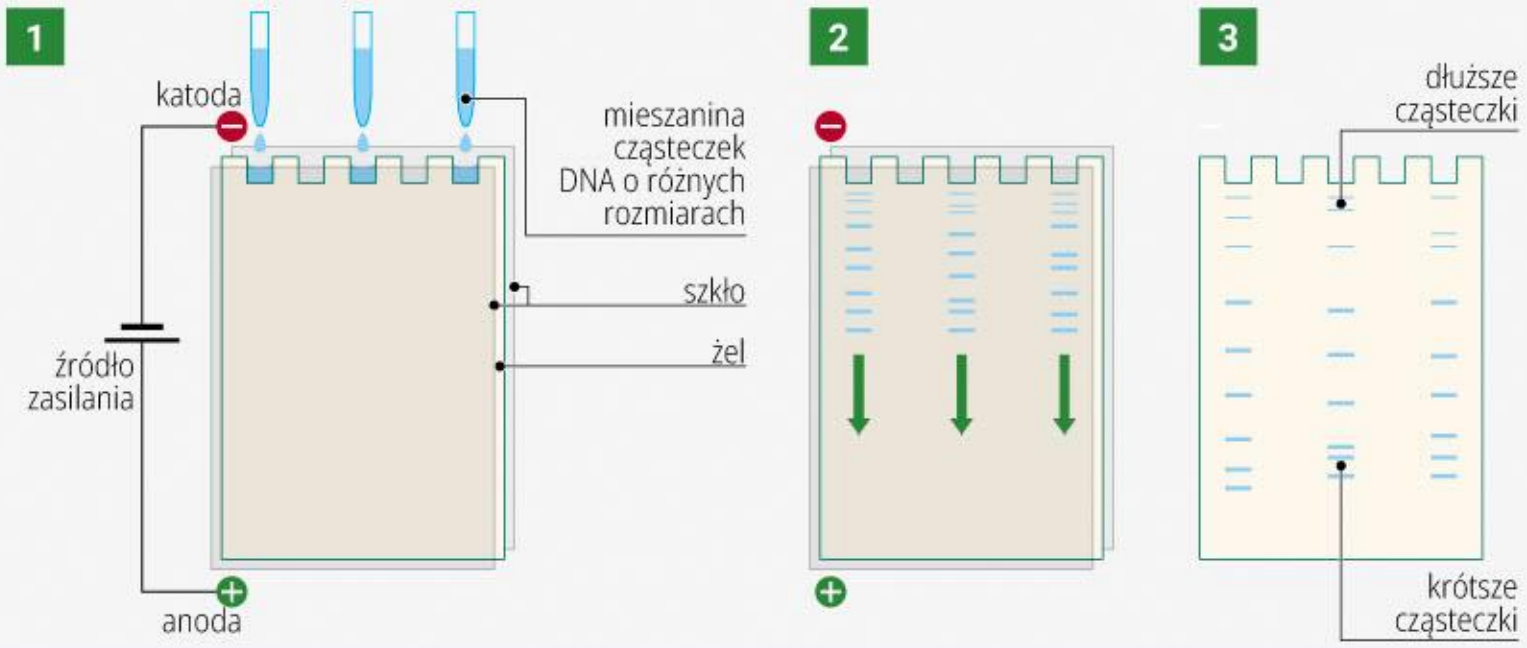
– DNA i RNA (hybrydyzacja metodą Northerna).

Hybrydyzacja metodą Southerna



Elektroforeza

Elektroforeza to technika rozdzielania, identyfikowania i oczyszczania cząsteczek DNA, RNA i białek. Cząsteczki są rozdzielane na **polimerowym żelu** z mikroporami o określonej średnicy, które działają jak sito molekularne. Na żelu rozdzielanie kwasów nukleinowych jest uzależnione od ich **masy i ładunku elektrycznego** oraz szybkości, z jaką poruszają się w polu elektrycznym. Kwasy nukleinowe są naładowane ujemnie i w polu elektrycznym wędrują w stronę elektrody dodatniej. Im dłuższa (większa) jest cząsteczka, tym wolniej porusza się w polu elektrycznym i szybciej zatrzymuje się w porach żelu, dzięki czemu mieszanina cząsteczek DNA o różnych długościach zostaje rozdzielona i uwidoczniona w postaci prążków. Metodą elektroforezy żelowej identyfikujemy zarówno fragmenty DNA pocięte enzymami restrykcyjnymi oraz sklonowane geny, jak i cząsteczki genomowego DNA.



Łańcuchowa reakcja polimerazy – PCR

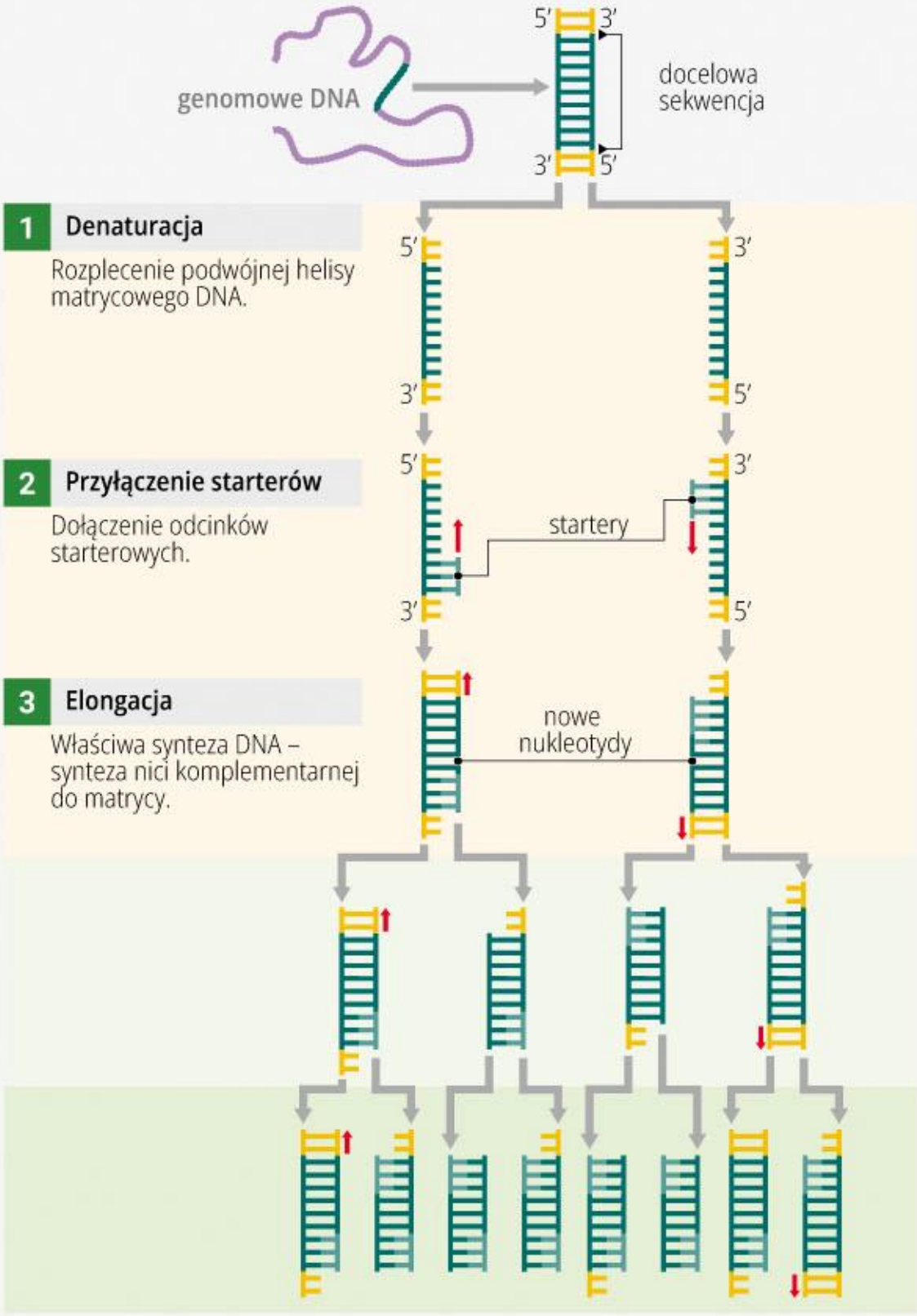
Łańcuchowa reakcja polimerazy, PCR (ang. *polymerase chain reaction*) – pozwala na **wielokrotne powielenie** wybranego fragmentu DNA w krótkim czasie. Reakcja zachodzi w probówce z udziałem enzymu – polimerazy DNA.

Warunkiem przeprowadzenia PCR jest:

- znajomość sekwencji nukleotydów sąsiadujących z docelowym odcinkiem DNA (nie jest wymagana znajomość sekwencji nukleotydów odcinka powielanego);
- obecność w mieszaninie reakcyjnej substratów: krótkich odcinków DNA (starterów), wolnych nukleotydów (A, T, G, C) oraz termostabilnej polimerazy DNA (polimeraza DNA *Taq*).

Przebieg reakcji PCR

Etap PCR	Opis
denaturacja DNA (oddzielenie nici DNA)	Rozdzielenie nici helisy DNA poprzez podgrzanie roztworu do temperatury 95°C przez 15 sekund.
dołączenie starterów	Przyłączenie starterów do nici DNA w wyniku gwałtownego schłodzenia mieszaniny reakcyjnej do temperatury 54°C.
synteza DNA	Podgrzanie mieszaniny reakcyjnej do temperatury 72°C, która jest odpowiednia do działania polimerazy DNA *Taq*. Polimeraza dołącza w jednym czasie kolejne nukleotydy do obu nici DNA.



Zastosowanie PCR

Obszar	Przykłady
diagnostyka chorób genetycznych	Wykrywanie mutacji genowych i chromosomowych w komórkach pacjenta, np. mukowiscydoza i nowotwory o podłożu genetycznym (np. gen *BRCA*).
diagnostyka chorób zakaźnych (bakteryjnych, wirusowych, grzybów)	Wykrywanie materiału genetycznego patogenów (obecności i ilości) oraz monitorowanie przebiegu leczenia; np. koronawirusa SARS-CoV-2, wirusa HIV.
sądownictwo	W sprawach sądowych, np. dotyczących spornego ojcostwa (do ustalania ojca dziecka), ustalania pokrewieństwa i tożsamości osób.
kryminalistyka	Badanie DNA jako jeden z dowodów w sprawach o gwałt czy zabójstwo. Tworzenie genetycznych baz danych (genetycznego odcisku palca) umożliwiających identyfikację osób.
farmacja	Wykrywania zanieczyszczeń biologicznych w tych preparatach, które są produkowane z użyciem całych komórek lub mikroorganizmów (niektóre leki, szczepionki).

Obszar	Przykłady
przemysł spożywczy	Wykrywanie zanieczyszczeń produktów spożywczych (np. GMO).
paleontologia	Badanie DNA znajdowanego w skamieniałościach, ustalanie przynależności taksonomicznej; badanie historii ewolucyjnej organizmów (filogenetyka molekularna).
nauka	W celach poznawczych i aplikacyjnych, np. sekwencjonowaniu czy rekombinowaniu DNA, do badania funkcji i przebiegu licznych procesów warunkowych genetycznie u mikroorganizmów, roślin, zwierząt i ludzi.

Rodzaje PCR

Rodzaj PCR	Charakterystyka
RT-PCR (od ang. *reverse transcription*)	Matrycą do reakcji jest mRNA, a synteza DNA (cDNA – DNA komplementarny) na matrycy mRNA odbywa się przy użyciu odwrotnej transkryptazy (RT). Po uzyskaniu cDNA namnaża się go w czasie klasycznej reakcji PCR. RT–PCR pozwala na powielenie wyłącznie sekwencji kodującej RNA (dojrzały mRNA, bez intronów).
real time qPCR (od ang. *quantitative*)	W reakcji jako substraty stosuje się nukleotydy znakowane fluorescencyjnie lub sondy łączące się z DNA. Pozwala to określić ilość matrycy użytej do reakcji oraz śledzić w czasie rzeczywistym ilość powstającego produktu.
PCR-RFLP (od ang. *restriction fragment length polymorphism*)	W metodzie wykorzystuje się enzymy restrykcyjne w celu identyfikacji mutacji w obrębie miejsc cięcia danego enzymu. Pozwala też na wykrycie mutacji prowadzących do powstania nowych miejsc cięcia.

Inne techniki inżynierii genetycznej

Technika	Opis	Charakterystyka
sekwencjonowanie DNA	Określanie kolejności ułożenia nukleotydów w DNA, czyli ich sekwencji. Bazuje na modyfikacjach metody opracowanej przez Sangera. Obecnie techniki sekwencjonowania są zautomatyzowane i przeprowadzane w sekwenatorach.	Klonowanie genów, profilaktyka chorób genetycznych i nowotworowych, badania ewolucyjne.
komplementarny DNA (cDNA)	Uzyskanie dwuniciowego DNA, które jest komplementarne do dojrzałego mRNA w wyniku aktywności najpierw odwrotnej transkryptazy, a następnie polimerazy DNA.	Klonowanie genów; RT-qPCR do testów genetycznych (np. wykrywania wirusów).
interferencja RNA	Wyciszanie ekspresji genu przez dwuniciowy RNA (dsRNA) o budowie i sekwencji zbliżonej do sekwencji DNA genu, z którym oddziałuje.	Leczenie chorób nowotworowych, neurodegeneracyjnych, terapia genowa; nauka (poznawanie funkcji genów).

Wybrane zastosowania inżynierii genetycznej

Obszar	Zastosowanie
diagnostyka medyczna i medycyna	Wykrywanie mutacji, patogenów; sekwencjonowanie genów do celów diagnostycznych (np. gen BRCA). Testy genetyczne umożliwiające diagnozę chorób i monitorowanie ich leczenia (hybrydyzacja, test ELISA). Tworzenie nośników dla leków (origami DNA, aptamery), nanomaszyn molekularnych.

Obszar	Zastosowanie
sądownictwo i kryminalistyka	Ustalenie ojcostwa, pokrewieństwa, tożsamości. Porównywanie DNA ze śladów biologicznych z miejsca przestępstwa z DNA podejrzanego w celu potwierdzenia lub wykluczenia udziału danej osoby w sprawie (dodatkowo można określić płeć i inne cechy sprawcy przestępstwa lub ofiary).
filogenetyka molekularna	Badanie historii ewolucyjnej organizmów w celu stworzenie drzewa filogenetycznego, czyli graficznego obrazu pokrewieństwa taksonów (gatunków) w badanej grupie. Porównanie informacji zawartej w sekwencji nukleotydów DNA lub RNA lub sekwencji aminokwasów w białkach nawet pomiędzy bardzo odległymi ewolucyjnie organizmami.
nauka	Porównywanie sekwencji mitochondrialnego DNA w celu ustalenia tożsamości zmarłego. Badania starożytnego DNA w celu uzyskania nowych informacji na temat wymarłych gatunków zwierząt (np. niedźwiedzia jaskiniowego) oraz ich pokrewieństwa z gatunkami żyjącymi obecnie.
nanobiotechnologia	Nauka z pogranicza nanotechnologii, biologii i biochemii. Pozwalana na miniaturyzację urządzeń (np. mikromacierzy DNA do badania ekspresji genów), badanie procesów i struktur w nanoskali. Uzyskiwanie maszyn molekularnych o właściwościach teranostycznych (połączenie diagnostyki i terapii). Wykorzystanie nanocząstek w leczeniu, diagnostyce i uzyskiwaniu preparatów (np. szczepionek, leków nowej generacji).
farmakogenomika	Analiza genetycznego podłoża choroby i na tej podstawie skonstruowanie leku dla konkretnego pacjenta (np. herceptyna wykorzystywana w leczeniu jednej z odmian raka sutka).
bioinformatyka	Analiza danych, tworzenie i przetwarzanie wiedzy genetycznej w postaci baz danych oraz modelowanie procesów biologicznych i struktury biocząsteczek.

Inżynieria genetyczna w profilaktyce zdrowotnej

Profilaktyka zdrowotna to działania zapobiegające występowaniu chorób, w tym chorób genetycznych.

Profilaktyka zdrowotna w genetyce

Profilaktyka pierwotna	Profilaktyka wtórna
Obejmuje eliminowanie i kontrolowane czynników ryzyka (np. utrzymanie prawidłowej diety, niepalenie papierosów). Przykładem profilaktyki genetycznej jest poradnictwo genetyczne.	Zapobieganie chorobom poprzez wczesne ich wykrywanie oraz leczenie. Przykład: badanie mutacji i sposobu dziedziczenia genu w rodzinie; badania przedimplantacyjne i prenatalne; badania przesiewowe pod kątem określonych chorób genetycznych.

Poradnictwo genetyczne – charakterystyka

Definicja	Cele	Etapy
forma specjalistycznej pomocy medycznej dla rodzin, w których istnieje ryzyko wystąpienia chorób genetycznych	• przekazanie informacji o rozpoznanej chorobie (opis przebiegu, sposobów leczenia) • określenie genetycznego podłoża choroby • oszacowanie ryzyka pojawienia się choroby u członków rodziny i potomstwa	• prawidłowe rozpoznanie choroby • analiza rodowodu rodziny – określenie ryzyka genetycznego • przekazanie porady • ocena skutków porady

10.3. Organizmy genetycznie zmodyfikowane

Organizmy genetycznie zmodyfikowane a organizm transgeniczny

Organizm genetycznie zmodyfikowany	Organizm transgeniczny
Organizm, którego materiał genetyczny został zmieniony przy użyciu technik inżynierii genetycznej w celu uzyskania nowych jego cech lub zmiany cech już istniejących.	Organizm, do genomu którego został wprowadzony gen pochodzący z innego organizmu (transgen).

Sposoby na uzyskiwanie organizmów genetycznie zmodyfikowanych

- **zmiana aktywności wybranego genu** – najczęściej w wyniku hamowania (wyciszania) ekspresji genu, w wyniku czego powstaje mniej mRNA i mniej białka (lub nie powstaje wcale);
- **wstawienie dodatkowej kopii genu**, który w genomie już występuje – w wyniku tego zabiegu powstaje więcej białka zwielokrotniającego cechę, w której to białko jest zaangażowane;
- **wprowadzenie do genomu genu pochodzącego z innego organizmu (transgenu)** – w wyniku tego zabiegu organizm wytwarza nowe białko.

Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane (GMM)

Mikroorganizmy genetycznie zmodyfikowane (GMM; bakterie, wirusy, pierwotniaki, niektóre grzyby) mają ogromne znaczenie w inżynierii genetycznej – zarówno jako organizmy modelowe, jak i wektory genowe. Wykorzystuje się je m.in. w medycynie, rolnictwie, przemyśle (np. farmaceutycznym i spożywczym) czy w ochronie środowiska. Zaletami GMM są:

- szybkie tempo wzrostu oraz łatwość hodowli,
- znajomość genomów gatunków wykorzystywanych w procesach biotechnologicznych.

Przykłady wykorzystania mikroorganizmów genetycznie zmodyfikowanych (GMM)

Obszar	Przykłady
medycyna i farmacja	• szczepionki nowej generacji oparte na kwasach DNA i RNA (np. przeciw COVID-19) • biosynteza antybiotyków, białek ludzkich (np. insuliny, albuminy), hormonów (hormon wzrostu) • jako wektory do terapii genowej
rolnictwo	• jako wektory do uzyskiwania roślin i zwierząt transgenicznych • bakterie azotowe jako biologiczny nawóz
ochrona środowiska	• rozkład ksenobiotyków powodujących skażenie środowiska i kumulujących się w łańcuchu pokarmowym (np. polochlorowane bifenyle) • synteza materiałów biodegradowalnych
przemysł	• produkcja enzymatycznych, bezpiecznych dla środowiska proszków do prania i detergetów • produkcja enzymów trawiennych oraz dodatków do żywności, aminokwasów egzogennych, witamin, naturalnych regulatorów kwasowości, konserwantów, substancji wzmacniających smak, zagęstników oraz barwników

Rośliny genetycznie zmodyfikowane

Modyfikacje genetyczne roślin dotyczą przede wszystkim roślin uprawnych, o dużym znaczeniu gospodarczym, takich jak: soja, kukurydza, bawełna, rzepak, dynia, papaja oraz lucerna. Rośliny GM otrzymuje się najczęściej w wyniku **agroinfekcji**.

Cele modyfikacji genetycznych roślin

Cele modyfikacji	Przykłady
• zwiększenie tolerancji roślin na niesprzyjające warunki środowiska (np. suszę, temperaturę, zasolenie gleby) • zwiększenie wartości odżywczej roślin (zmiana składu aminokwasowego, zwiększenie zawartości witamin, zmiana czasu dojrzewania i przechowywania owoców) • uzyskanie roślin odpornych na choroby wirusowe, bakteryjne i grzybowe • uzyskanie roślin uprawnych niewrażliwych na herbicydy • wytworzenie roślin odpornych na szkodniki owadzie (rośliny Bt)	• odporne na suszę pomidor i ziemniak czy odmiana eukaliptusa odporna na działanie niskich temperatur • kukurydza ze zwiększoną zawartością witaminy A, „złoty ryż", rzepak z większą zawartością witaminy E i PUFA • ziemniak odporny na wirusa liściozwoju, proso odporne na rdzę źdźbłową • soja, bawełna, owies, kukurydza, ryż rzepak, żyto, pszenżyto • kukurydza Bt odporna na omacnicę prosowiankę, ziemniak Bt odporny na stonkę ziemniaczaną

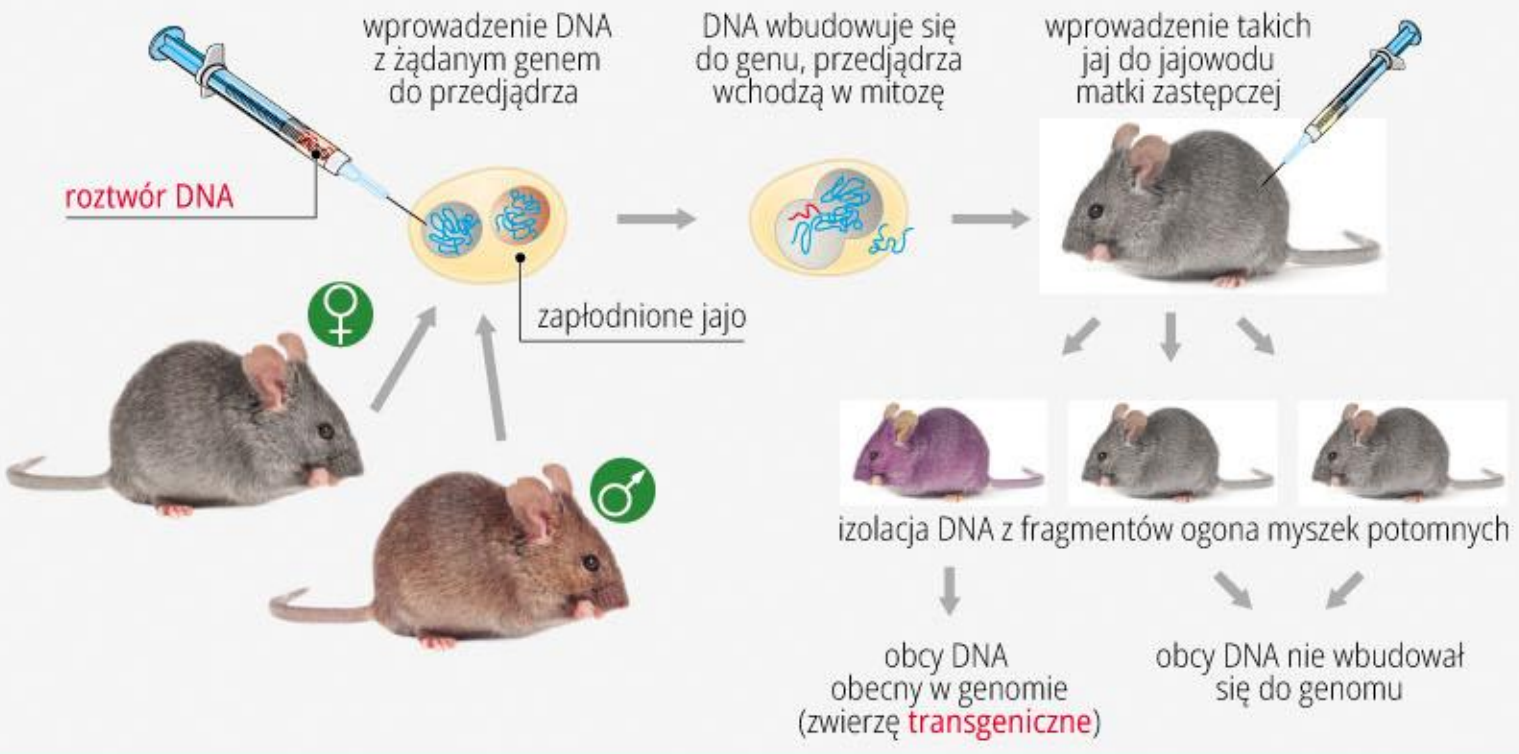
Zwierzęta modyfikowane genetycznie

Najczęściej modyfikowanymi zwierzętami są gatunki hodowlane: bydło, kozy, owce. Zwierzęta transgeniczne otrzymuje się poprzez wprowadzenie obcego genu wbudowanego do materiału genetycznego komórek rozrodczych.

Metody otrzymywania zwierząt transgenicznych

– mikroiniekcja obcego DNA do zapłodnionego jaja,

– zastosowanie wektorów wirusowych do wprowadzenia obcego genu do przedjądrza zapłodnionej komórki jajowej, którą następnie umieszcza się w macicy matki zastępczej.



Cele uzyskiwania zwierząt transgenicznych

Cele modyfikacji	Przykłady
• zwiększenie masy ciała zwierząt hodowlanych (np. na skutek wprowadzenia genu hormonu wzrostu) • wzrost wydajności mlecznej zwierząt oraz poprawa jakości produktów nabiałowych • zwiększenie przyrostu i jakości wełny • zwiększenie zawartości NNKT w tłuszczu ssaków • uzyskiwanie biofarmaceutyków (ludzkich białek, przeciwciał, hormonów) oraz szczepionek z mleka, jaj czy z krwi • uzyskanie narządów do transplantacji od zwierząt transgenicznych • zapobieganie wyginięciu zwierząt, ochrona gatunków zagrożonych • uzyskiwanie zwierzęcych modeli chorób człowieka	• ryby (np. łosoś), świnie, króliki • krowy, kozy • owce • świnie, bydło • krowy, kozy i owce, kury • świnie • myszy, szczury

Zagrożenia związane z GMO

Potencjalne zagrożenie	Opis	Uwagi
przenoszenie patogenów	niekontrolowane przenoszenie patogenów, np. wektorów wirusowych	brak danych eksperymentalnych potwierdzających taką możliwość
występowanie związków alergennych	niekontorlowane pojawienie się lub wzrost zawartości substancji alergennych	możliwość dokonania kontroli i eliminacji substancji o charakterze alergennym na etapie prac laboratoryjnych
zakłócenie równowagi ekologicznej	organizmy genetycznie zmodyfikowane dzięki nowym cechom zaburzą równowagę ekologiczną danego ekosystemu	możliwość dokonania kontroli i eliminacji na etapie prac laboratoryjnych
krzyżowanie z istniejącymi gatunkami	powstanie niekontrolowanych krzyżówek	takie zagrożenie jest możliwe przy wprowadzaniu do upraw każdej nowej odmiany
horyzontalny transfer genu	samoistne przeniesienie genów do innych organizmów, np. roślin	brak danych eksperymentalnych potwierdzających taką możliwość

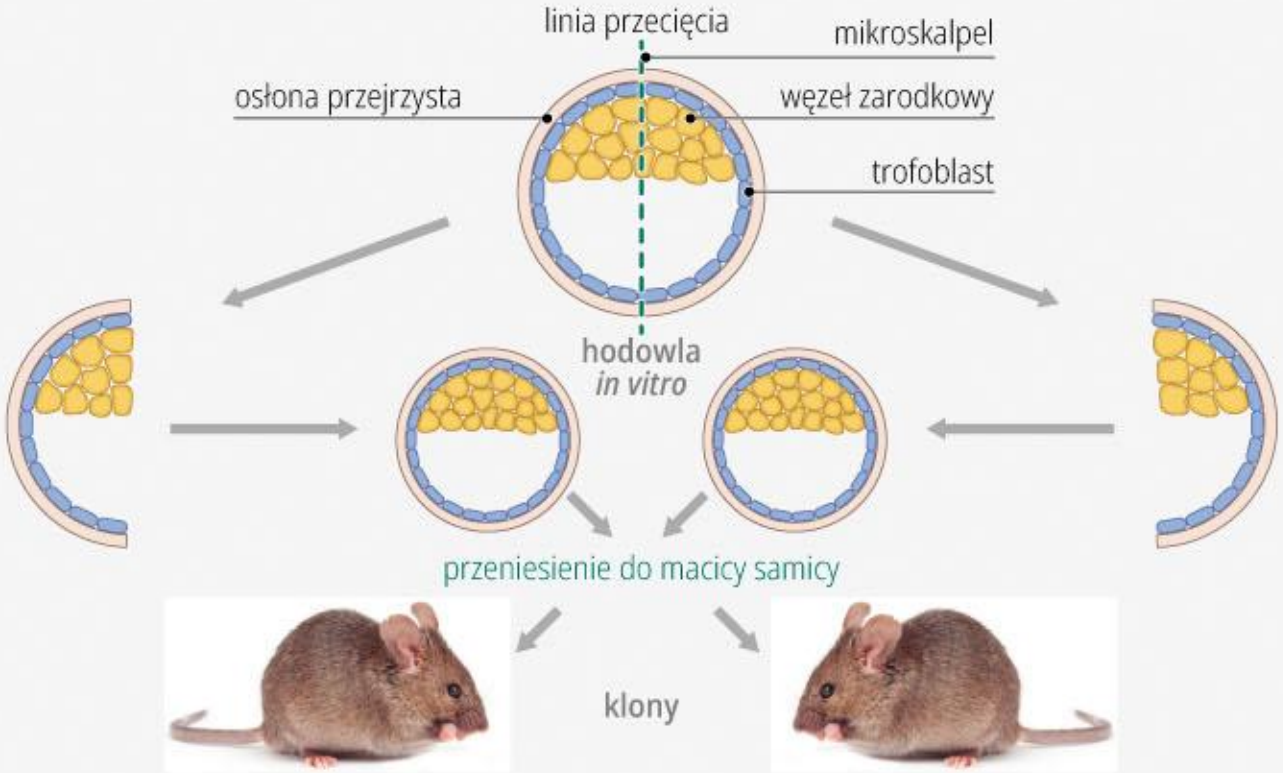
10.4. Klonowanie organizmów

Klonowanie to otrzymywanie klonów, czyli organizmów lub komórek o identycznym genotypie. W przyrodzie występują także naturalne klony, które są efektem rozmnażania bezpłciowego (np. podziału komórki, fragmentacji, pączkowania lub rozmnóżek) oraz płciowego (bliźnięta jednojajowe).

Metody klonowania zarodków

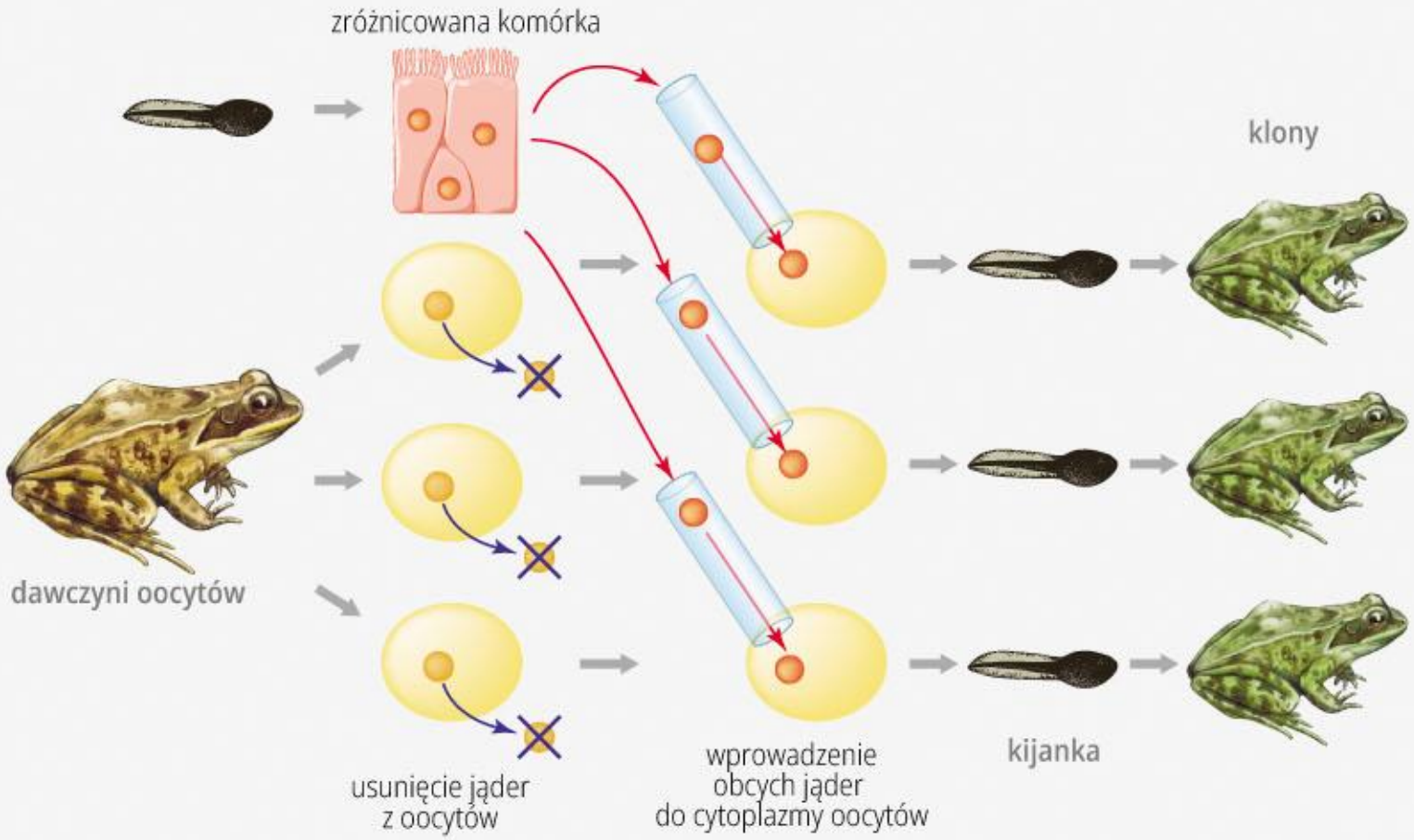
Klonowanie zwierząt metodą podziału komórek zarodka

Zarodki ssaków w stadium blastocysty dzieli się za pomocą mikroskalpela w obrębie węzła zarodkowego na pół i hoduje *in vitro* tak oddzielone części do momentu, gdy osiągną stadium, z którego zostały uzyskane (stadium blastocysty). Następnie przenosi się je do dróg rodnych samic.



Klonowanie zwierząt metodą transferu jąder komórkowych (klonowanie somatyczne)

Klonowanie poprzez **transfer jąder** polega na pobraniu jądra komórkowego z komórki somatycznej dorosłego organizmu i przeniesienie go do (pozbawionych wcześniej własnych jąder) dojrzewających komórek jajowych bądź zygoty tego samego gatunku. Następnie komórki te pobudza się do rozwoju.



Cele klonowania organizmów

- badania dotyczące procesów wzrostu, rozwoju i różnicowania się komórek;
- uzyskanie większej liczby osobników o wartościowych cechach (np. w rolnictwie i hodowli);
- klonowanie zwierząt transgenicznych w celu pozyskania większej ilości biofarmacetyków przez nie produkowanych (np. w mleku bydła);
- ratowanie gatunków zagrożonych wyginięciem;
- **klonowanie reprodukcyjne** w celu powielania komórek zarodka, z których każdy rozwinie się w dorosły organizm (klonowanie reprodukcyjne u człowieka jest zakazane);
- **klonowanie terapeutyczne**, czyli powielenie komórek zarodka, które różnicują się w komórki określonego typu, a następnie wykorzystanie ich do celów leczniczych (np. przeszczepu, regeneracji uszkodzonych tkanek).

Klonowanie terapeutyczne

Komórki macierzyste

Komórki macierzyste (ang. *stem cells*) to komórki zachowujące zdolność do podziałów przez całe życie organizmu. Ich drugą ważną cechą jest zdolność różnicowania się w inne typy komórek (np. fibroblasty, neurony, komórki serca). Są stosowane do regeneracji uszkodzonych tkanek lub narządów, inżynierii tkankowej i terapii genowej oraz leczenia (np. białaczek).

Źródła komórek macierzystych:

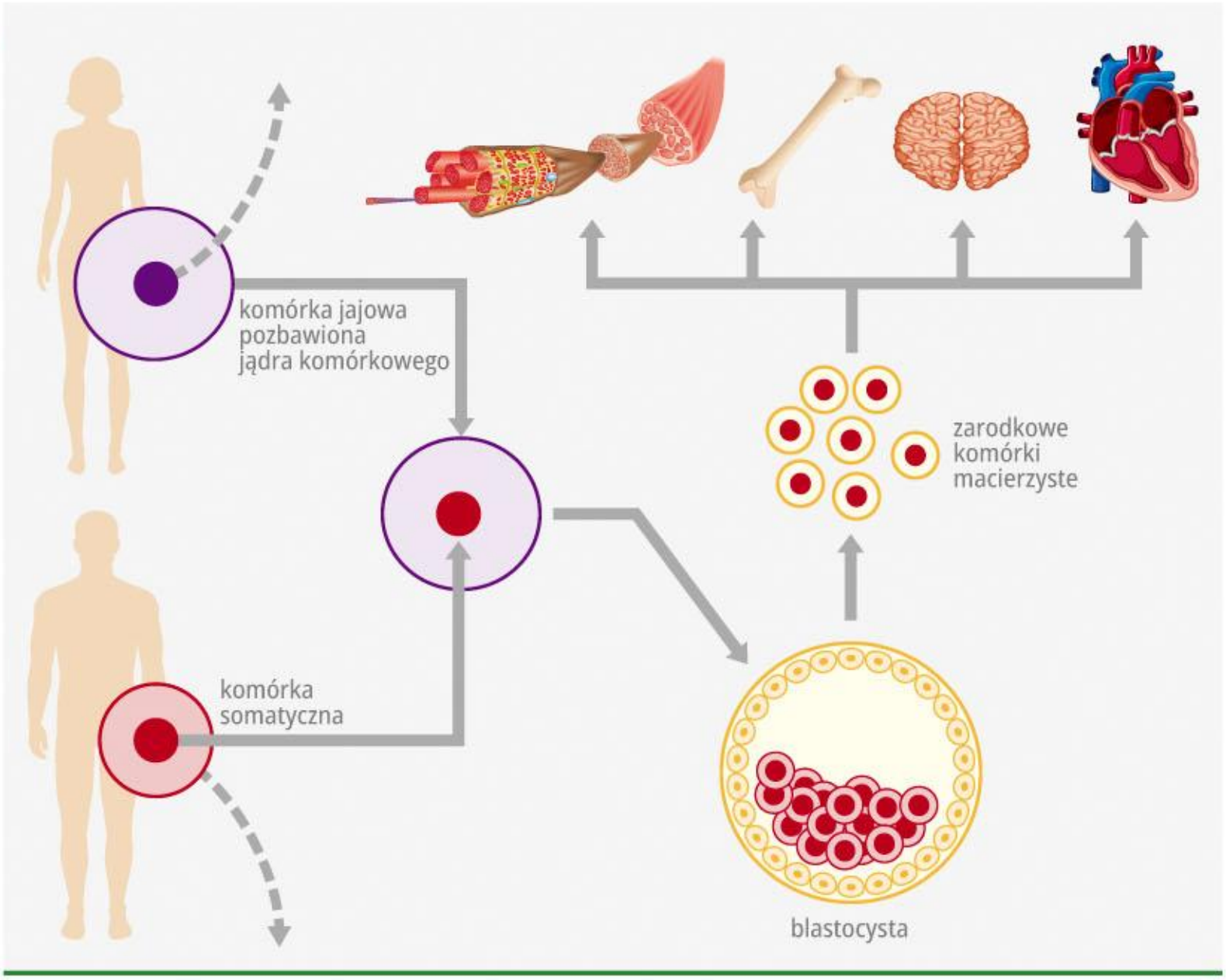
- krew pępowinowa;
- tkanki i narządy organizmu dorosłego człowieka (np. szpik kostny czerwony, naskórek, krew);
- indukowane pluripotentne komórki macierzyste (iPS), czyli komórki odróżnicowane, o przywróconej możliwości specjalizacji w określony rodzaj tkanki.

Rodzaje komórek macierzystych

Typy komórek macierzystych		
embrionalne	totipotencjalne (tworzące zygotę)	Mają możliwość transformacji do każdego typu komórek, w tym komórek łożyska.
	pluripotencjalne (tworzące węzeł zarodkowy)	Różnicują się we wszystkie typy komórek, ale nie mogą powrócić do stanu komórek totipotencjalnych (nie są w stanie utworzyć łożyska).
płodowe	multipotencjalne	Mają możliwość przekształcania się we wszystkie typy komórek w obrębie danego listka zarodkowego.
somatyczne	unipotencjalne	Przekształcają się lub różnicują się w jeden typ dojrzałych komórek.

Etapy klonowania terapeutycznego

- Przeniesienie jądra dowolnej komórki somatycznej (np. fibroblastu skóry) do pozbawionej uprzednio jądra komórki jajowej.
- Pobudzenie komórki do podziałów do stadium blastocysty i pozyskanie z niej zarodkowych komórek macierzystych.
- Zróżnicowanie komórek macierzystych w dowolny rodzaj komórek ciała.



10.5. Terapia genowa

Terapia genowa polega na wprowadzaniu prawidłowych wersji genów, usuwaniu genów wadliwych albo zmianie ekspresji genów w komórkach osoby chorej. Terapia genowa umożliwia także niszczenie nieprawidłowych komórek poprzez wprowadzanie genów, które aktywują układ immunologiczny lub pobudzają apoptozę. Terapia genowa dotyczy komórek somatycznych, dlatego oddziałuje tylko na pacjenta poddanego tej terapii.

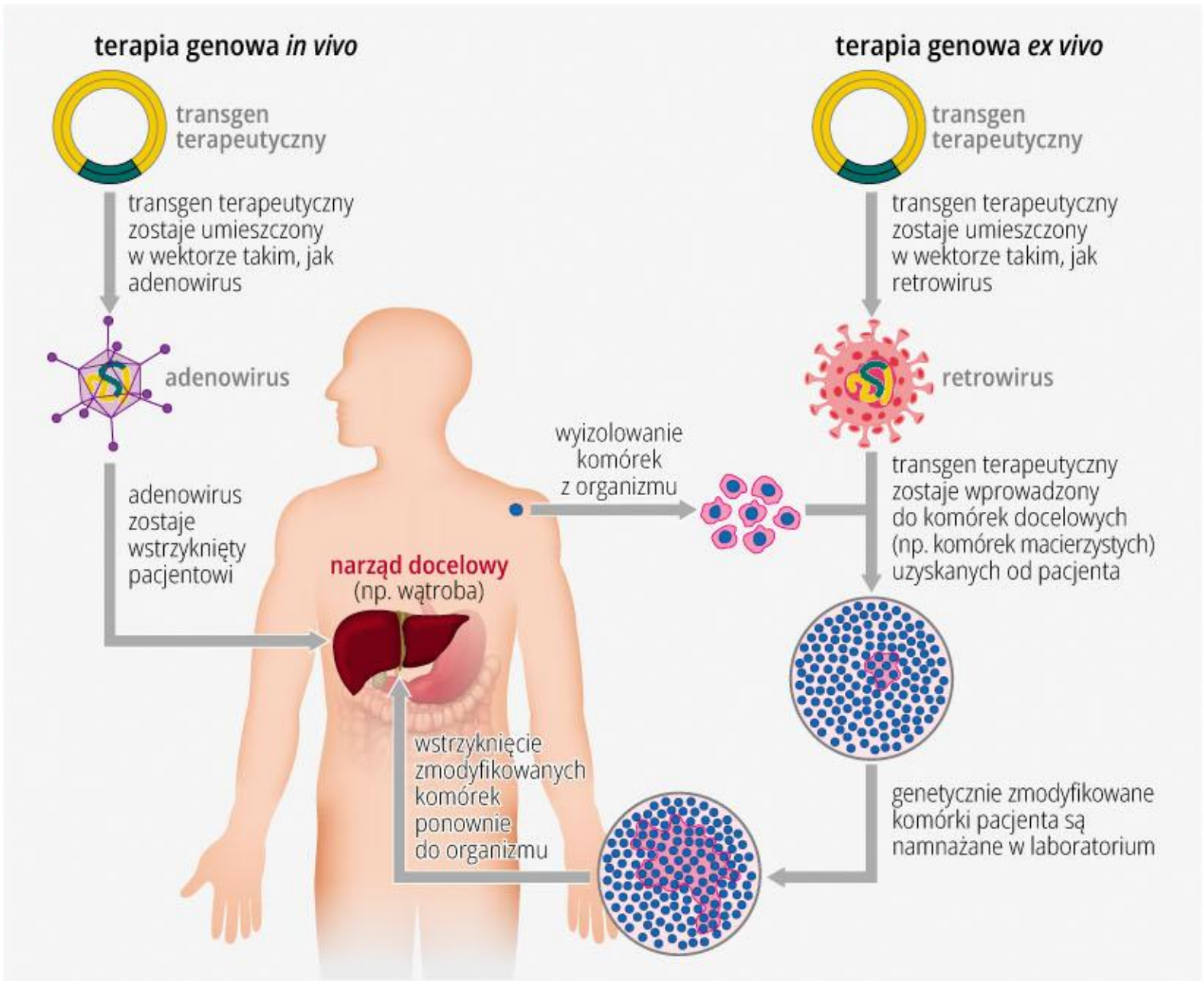
Rodzaje terapii genowej

Terapia genowa *in vivo*	Terapia genowa *ex vivo*
Gen terapeutyczny jest dostarczany do określonego typu komórek bezpośrednio w ciele pacjenta.	Komórki są modyfikowane poza organizmem pacjenta i dopiero potem wprowadzane do organizmu.

Przebieg terapii genowej

Prawidłowe wersje genów są wprowadzane do komórek pacjenta za pomocą **wektorów** (wirusów, plazmidów, liposomów, nanostruktur):

- od chorego pobrane zostają komórki z nieprawidłowym genem;
- do wektora wprowadza się prawidłową wersję genu;
- do komórek pobranych od pacjenta wprowadza się wektor z prawidłowym genem; powstają komórki zmodyfikowane genetycznie, które syntetyzują prawidłowe białka;
- zmodyfikowane komórki wprowadza się do organizmu pacjenta.



Zalety i wady terapii genowej

Zalety	Wady
• leczenie chorób genetycznych, których nie możemy wyleczyć konwencjonalnymi metodami • leczenie celowane chorób nowotworowych • leczenie chorób autoimmunizacyjnych • długotrwały efekt terapeutyczny w niektórych przypadkach (np. u dzieci z wrodzonym niedoborem odporności – SCID)	• ryzyko reakcji uczuleniowych na wektor • możliwość rozwoju chorób nowotworowych (np. białaczek) • wysokie koszty • mała skuteczność terapii • możliwość nieprawidłowej migracji zmodyfikowanych komórek • trudności w precyzyjnym dostarczeniu genu

11

Ewolucjonizm

11.1. Historia rozwoju myśli ewolucyjnej

Ewolucja to ciągły proces, który zachodzi od momentu pojawienia się życia na Ziemi i trwa nadal. Polega na zmianach dokonujących się w czasie w kolejnych pokoleniach organizmów pod wpływem czynników środowiskowych. Może prowadzić do powstawania nowych gatunków, ale i wymierania już istniejących. Nauka o mechanizmach i przebiegu ewolucji to **ewolucjonizm**.

Teorie ewolucji

Teoria	Główne założenia
kreacjonizm	• organizmy są stałe i nie zmieniają się w czasie • narządy wskazują powiązanie budowy narządów i pełnionej przez nie funkcji (sformułowane przez Cuviera) • za wymieranie pewnych gatunków na Ziemi odpowiedzialne są katastrofy występujące na Ziemi
ewolucja wg Lamarcka	• wewnętrzna siła organizmów napędza je do samodoskonalenia i większej złożoności • zmienność organizmów jest wynikiem oddziaływania na nie czynników środowiskowych • adaptacja do zmiennych warunków życia jest przyczyną zmian ewolucyjnych • rozwój i sprawność danego narządu jest proporcjonalna do stopnia jego używania (I prawo Lamarcka) • wszystkie zmiany nabyte przez organizm w ciągu jego życia są dziedziczone (II prawo Lamarcka)
ewolucja wg Darwina	• liczba wydawanego na świat potomstwa każdego gatunku jest większa niż liczba osobników osiągających dojrzałość płciową (nadmierna rozrodczość) • każdy z osobników w populacji ma unikatową kombinację cech, które u jednych zwiększają szanse na przeżycie i wydanie potomstwa, a u innych nie (zmienność) • zmienność warunkująca ewolucję jest dziedziczona • organizmy współzawodniczą o ograniczone zasoby środowiska, np. pokarm, terytorium, słońce (walka o byt) • w zmieniających się warunkach środowiska przeżywają i wydają potomstwo tylko osobniki o najkorzystniejszym zestawie cech (dobór naturalny)
syntetyczna teoria ewolucji	• teoria Darwina uzupełniona o współczesne odkrycia naukowe • obserwowana zmienność genetyczna organizmów jest wynikiem mutacji i rekombinacji • cechy dziedziczne są przekazywane z pokolenia na pokolenie, a nabyte nie są dziedziczone • dobór naturalny działa nie na poziomie osobników, ale także na poziomie genów, które ma ten osobnik

Założenia teorii Darwina

Zjawisko występujące w przyrodzie	Opis
nadmierna rozrodczość	Liczba wydawanego na świat potomstwa każdego gatunku jest na ogół znacznie większa niż liczba osobników osiągających dojrzałość płciową.
zmienność	Osobniki w jednej populacji różnią się między sobą; każdy z nich ma unikatową kombinację cech, które u jednych zwiększają szanse na przeżycie i wydanie potomstwa, a u innych nie. Zmienność warunkująca ewolucję musi być dziedziczona.
walka o byt	Współzawodnictwo organizmów o ograniczone, dostępne dla nich zasoby środowiska, np. pokarm, terytorium, słońce. Walka o byt wyznacza granice wzrostu populacji – tylko niektóre osobniki dożyją do rozrodu. Innymi czynnikami ograniczającymi wzrost populacji są: drapieżniki, patogeny oraz niekorzystne warunki atmosferyczne.
dobór naturalny	Przeżywają i wydają potomstwo tylko osobniki o najkorzystniejszym zestawie cech. Podstawą doboru naturalnego jest sukces rozrodczy – najlepiej przystosowane osobniki wydają najwięcej potomstwa, a gorzej przystosowane – mniej lub wcale.

Źródła wiedzy o mechanizmach i przebiegu ewolucji

Dowody bezpośrednie	Dowody pośrednie	Działanie doboru naturalnego w przyrodzie
• skamieniałości	• budowa organizmów • przebieg rozwoju organizmów • zmiany w materiale genetycznym i składzie aminokwasowym białek	• melanizm przemysłowy • oporność na antybiotyki

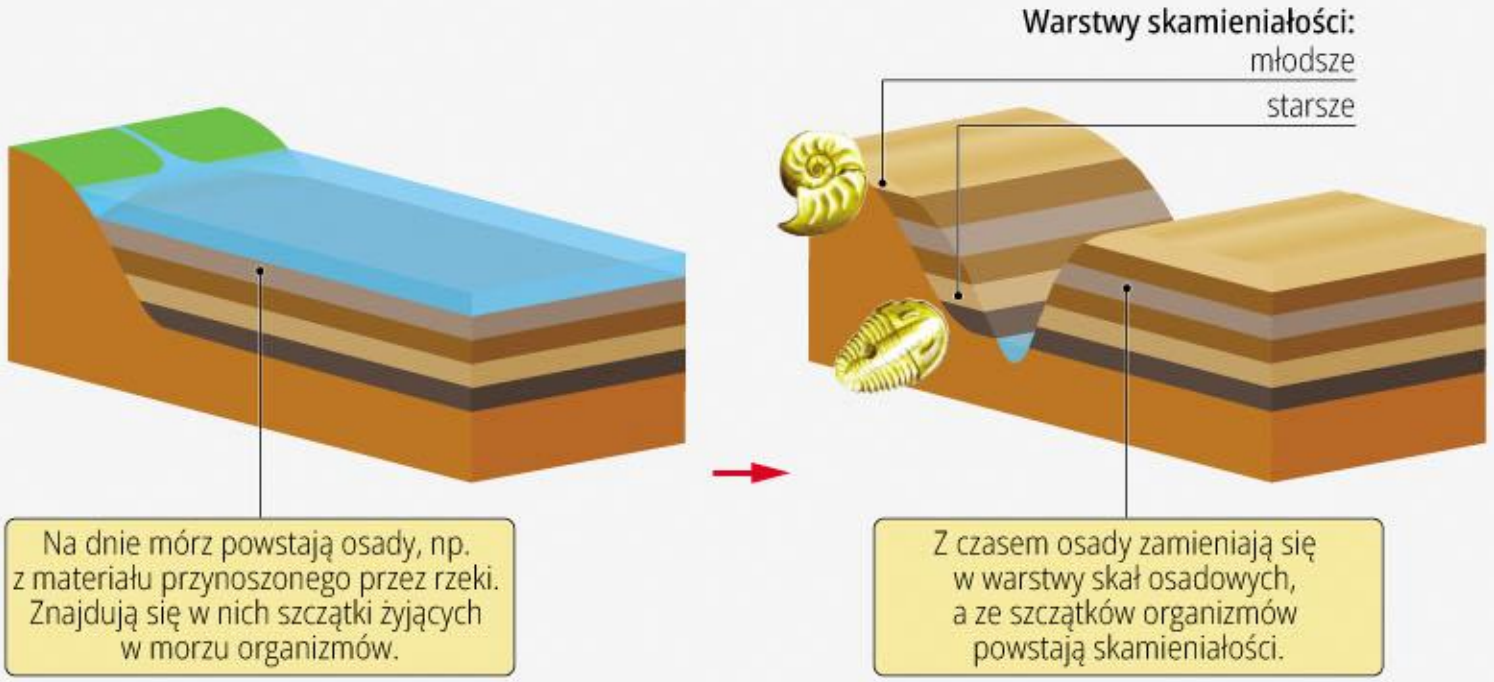
Bezpośrednie dowody ewolucji

Rodzaj dowodu	Opis	Przykład
skamieniałości (szczątki kopalne)	Organizmy lub ich części zachowane w stanie niezmienionym.	zęby, fragmenty czaszek, pancerze, skorupy, organizmy zatopione w bursztynie, lodzie lub torfie
odlewy	Powstają na skutek wypełnienia wolnych obszarów wewnątrz lub na zewnątrz organizmu osadami, które uległy rozkładowi.	odlewy muszli i pancerzy zwierząt, odlewy łodyg roślin
odciski	Odciśnięte fragmenty organizmu roślinnego lub zwierzęcego zachowane pomiędzy dwoma warstwami skały osadowej.	części organów roślinnych: liście paprociowych, muszle i pancerze zwierząt oraz tropy (odciski stóp) zwierząt
ślady aktywności organizmów	Dowody świadczące o trybie życia organizmów i ich czynnościach życiowych.	nory, gniazda, odchody zwierząt
żywe skamieniałości	Organizmy o niskim tempie ewolucji, które przetrwały wymieranie i bardzo przypominają wymarłe gatunki.	miłorząb dwuklapowy, hatteria, dziobak

Powstawanie skamieniałości

Skamieniałości powstają w skałach osadowych jako wynik **fosylizacji**, czyli zastąpienia części twardych organizmu przez substancje mineralne. Etapy tego procesu:

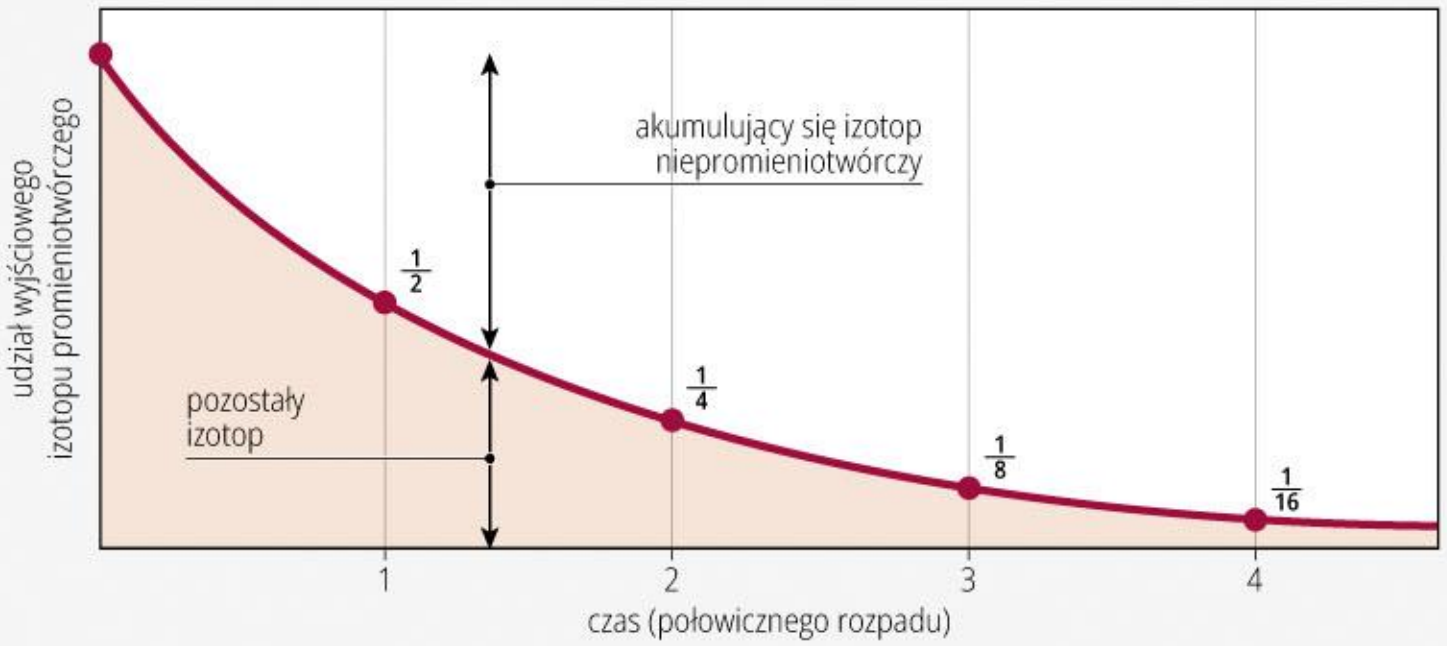
- opadanie martwego organizmu na miękkie osady na dno,
- szczątki są przykrywane kolejnymi warstwami osadu,
- osady ulegają kamienieniu (fosylizacji) i zachowują zawarte w nich szczątki,
- odsłonięcie skamieniałości w wyniku wyniesienia skał (np. ponad powierzchnię wody), wietrzenia skał i erozji.



Datowanie skamieniałości

Wiek skamieniałości wyznacza się **metodą zegara izotopowego (datowania izotopowego)**. Obecne w skale izotopy promieniotwórcze (radioaktywne) w trakcie rozpadu radioaktywnego w ściśle określonym tempie zmieniają się w inny, niepromieniotwórczy pierwiastek. Czas potrzebny do rozpadu połowy atomów pierwiastka radioaktywnego nazywa się **czasem połowicznego rozpadu** (okresem półtrwania). Wiek skamieniałości wyznacza się, mierząc stosunek ilościowy izotopu radioaktywnego do jego niepromieniotwórczego produktu. W datowaniu materiałów kopanych wykorzystuje się najczęściej:

- datowanie potasowo-argonowe (okres półtrwania potasu to 1,3 mld lat) do oznaczania wieku skał,
- datowanie radiowęglowe (okres półtrwania węgla C^{14} to 5730 lat) do oznaczania wieku szczątków organizmów zawierających węgiel: drewna, kości, muszli.



Datowanie izotopowe i czas połowicznego rozpadu

Pośrednie dowody ewolucji

Źródło pośrednich dowodów ewolucji	Opis
dowody z zakresu biogeografii	• bazują na wiedzy dotyczącej dryfu kontynentów • wyjaśniają rozmieszczenie gatunków i ich pochodzenie • wyjaśniają istnienie gatunków endemicznych
dowody z zakresu anatomii porównawczej	• jedność budowy i funkcjonowania organizmów (te same procesy życiowe i podobny plan budowy w obrębie grup systematycznych) • analiza budowy, funkcji i pochodzenia narządów homologicznych • analiza budowy i funkcji narządów analogicznych • badanie narządów szczątkowych • analiza atawizmów, czyli cech, które zanikły w toku ewolucji, a pojawiają się sporadycznie u organizmów współczesnych
dowody z zakresu genetyki i biochemii	• uniwersalność kodu genetycznego • analiza podobieństw i różnic biochemicznych (w budowie białek, barwników) oraz genetycznych (sekwencja nukleotydów w DNA, analiza genomowa) w celu badania pokrewieństwa ewolucyjnego organizmów – tworzenie drzew filogenetycznych
dowody z zakresu embriologii	• analiza przebiegu rozwoju embrionalnego, która świadczy o pokrewieństwie organizmów

Narządy homologiczne i analogiczne

Narządy homologiczne	Narządy analogiczne
Narządy, które mają taki sam plan budowy wynikający ze wspólnego pochodzenia, ale pełnią różne funkcje.	Narządy niemające wspólnego pochodzenia, ale podobne do siebie zewnętrznie. Powstają jako wynik adaptacji do pełnienia tych samych funkcji.
np. kończyna przednia człowieka, walenia, konia i lwa; liście pułapkowe dzbanecznika i liście spichrzowe celbuli	np. skrzydła ptaka, nietoperza i owada – wynik adaptacji do lotu; bulwa dalii i bulwa ziemniaka

Dywergencja i konwergencja

Dywergencja	Konwergencja
Rozdzielenie się linii ewolucyjnych oraz zróżnicowanie budowy i funkcjonowania blisko spokrewnionych organizmów w wyniku występowania w odmiennych środowiskach i prowadzenia innego trybu życia; efektem dywergencji jest powstawanie narządów homologicznych.	Upodabnianie się budowy i funkcjonowania niespokrewnionych ze sobą organizmów w wyniku występowania w podobnych środowiskach i podobnego trybu życia; efektem konwergencji jest m.in. powstawanie narządów analogicznych.

Drzewo filogenetyczne

Drzewo filogenetyczne (rodowe) – graficzne przedstawienie pokrewieństwa między grupami organizmów. Założenia przy tworzeniu drzew filogenetycznych:

- podstawę drzewa tworzy wspólny przodek wszystkich przedstawionych na drzewie organizmów,
- każdy punkt rozgałęzienia na diagramie odpowiada wspólnemu przodkowi wszystkich gatunków, które się od niego wywodzą,
- odgałęzienia drzewa prowadzące do bliżej spokrewnionych organizmów rozdzielają się później niż prowadzące do dalej spokrewnionych.



Drzewo kręgowców

11.2. Dowody i mechanizmy ewolucji

Pojęcia związane z ewolucją na poziomie populacji

Pojęcie	Wyjaśnienie
pula genowa	Zbiór alleli genów we wszystkich *loci* i wszystkich osobników danej populacji. Osobniki diploidalne mają najwyżej dwa różne allele w danym *locus*: dominujący (A) i recesywny (a).
częstość alleli	Opisuje udział (proporcję) określonego allelu w danej populacji – dominującego lub recesywnego.
częstość genotypu	Udział określonego genotypu w populacji (homozygoty dominującej AA, heterozygoty Aa i homozygoty recesywnej aa).
częstość fenotypu	Procent danego fenotypu w populacji.

Prawo Hardy'ego-Weinberga

Prawo Hardy'ego-Weinberga to równanie, które pozwala obliczyć częstość występowania alleli i genotypów w populacji będącej w stanie równowagi genetycznej, tzn. częstości alleli i genotypów nie ulegają zmianie w kolejnych pokoleniach. Prawo Hardy'ego i Weinberga dostarcza modelu i punktu odniesienia do zrozumienia mechanizmu zmian ewolucyjnych w populacji rozmnażającej się płciowo.

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Założenia prawa Hardy'ego-Weinberga:

- populacja znajduje się w równowadze genetycznej,
- osobniki krzyżują się ze sobą losowo, nie występują mutacje,
- populacja jest duża,
- osobniki nie migrują (nie ma przepływu genów),
- nie działa dobór naturalny.

Obliczenie częstości alleli i genotypów w puli genowej populacji

Założenie:

Populacja licząca 1000 osobników, w której 910 osobników wykazuje fenotyp dominujący (AA i Aa), a 90 – osobników recesywny (aa).

p – częstość allelu dominującego A, q – częstość allelu recesywnego a

$p + q = 1$ ($p = 1 - q$; $q = 1 - p$)

$(p + q)^2 = 1$

p^2	+	$2pq$	+	q^2	=	1
frekwencja AA		frekwencja Aa		frekwencja aa		wszystkie osobniki w populacji

Określamy częstość homozygot recesywnych aa (q^2).	0,09 (bo 90 osobników na 1000)
Obliczamy frekwencję allelu recesywnego (q).	0,3 (bo frekwencja q jest równa pierwiastkowi kwadratowemu z q)
Obliczamy częstość allelu dominującego.	0,7 (bo $p = 1 - q$, $p = 1 - 0,3$)
Obliczamy frekwencję homozygot dominujących AA (p^2).	0,49 (bo $p^2 = 0,7 \times 0,7$)
Obliczamy częstość osobników heterozygotycznych Aa ($2pq$).	0,42 (bo $2pq = 2 \times 0,7 \times 0,3$)
Określamy liczbę homozygot dominujących i heterozygot w populacji.	~490 homozygot dominujących i 420 heterozygot (łącznie 910 osobników)

Czynniki ewolucji

Ewolucję napędza pięć kluczowych zjawisk: losowe krzyżowanie, mutacje, dryf genetyczny, przepływ genów (migracje) oraz dobór naturalny.

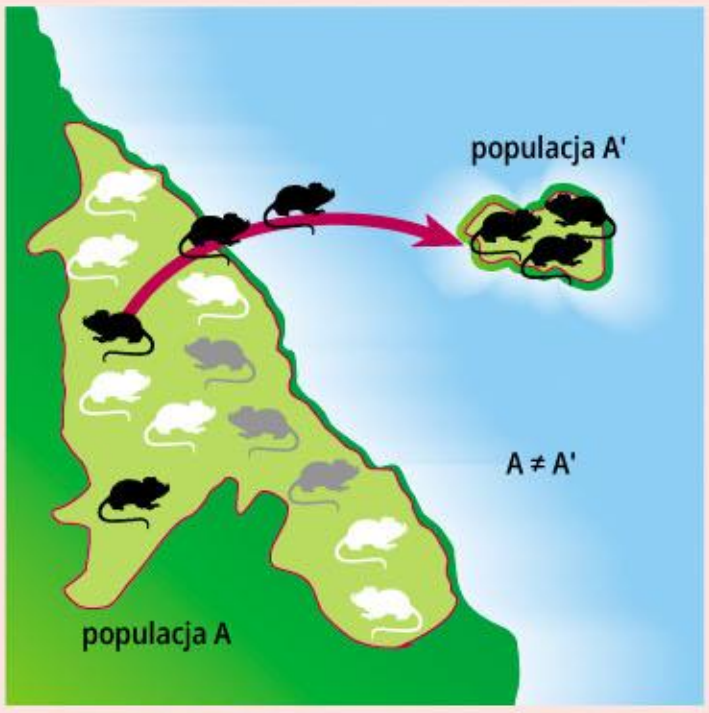
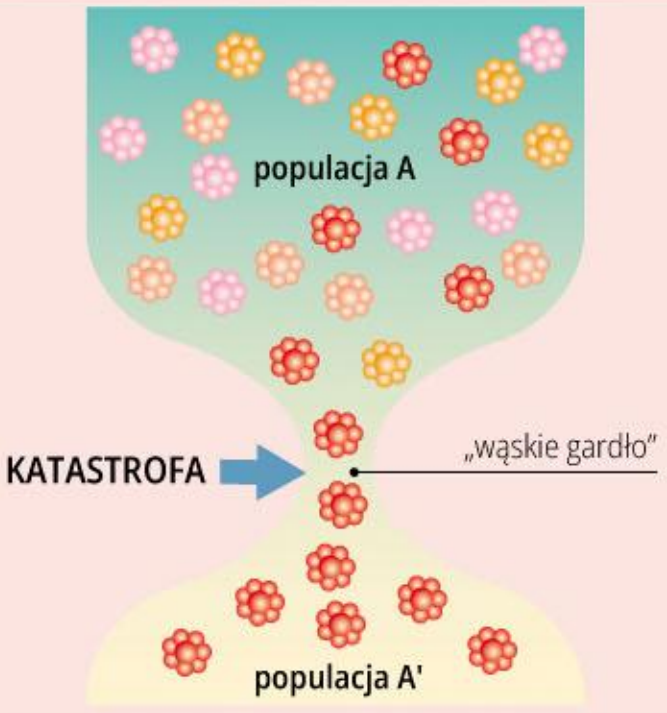
Główne czynniki ewolucji

Czynnik ewolucji	Opis
losowe krzyżowanie	Brak preferencji w krzyżowaniu, osobniki dobierają się losowo, głównie na podstawie fenotypu (cech zewnętrznych).
zmienność genetyczna i mutacje	Naturalne różnice w sekwencji nukleotydów DNA u osobników jednego gatunku. Różnice te mogą prowadzić do zmian w fenotypie (np. ubarwieniu ciała). Ewolucję napędza ta zmienność genetyczna, która warunkuje zmiany przystosowawcze. Źródłem zmienności genetycznej są mutacje.
dryf genetyczny	Losowe zmiany prowadzące do zmiany częstości alleli w populacji z pokolenia na pokolenie. Występują w małych, izolowanych populacjach.
migracje	Przemieszczanie się osobników pomiędzy populacjami, które prowadzi do przepływu genów. Migracje skutkują zmianami poziomu zmienności genetycznej.
dobór naturalny	Osobniki lepiej przystosowane do środowiska mają większe szanse na przeżycie i wydanie potomstwa. Dobór prowadzi do zmian adaptacyjnych – tylko określone allele zostaną przekazane kolejnym pokoleniom. Działa bezpośrednio na fenotyp organizmu, a przez to pośrednio na jego genotyp.

Dryf genetyczny

Dryf genetyczny polega na przypadkowych zmianach prowadzących do zmiany częstości alleli w małej, izolowanej populacji. Dryf dotyczy zmian losowych, dlatego nie nadaje ewolucji kierunku i prowadzi do zmniejszenia zmienności genetycznej w populacji.

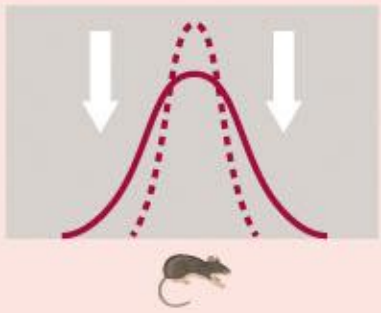
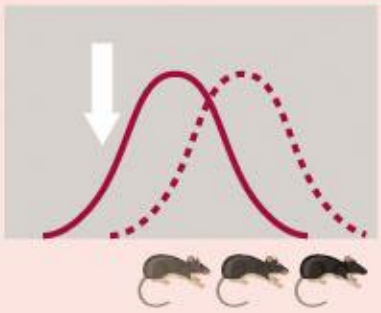
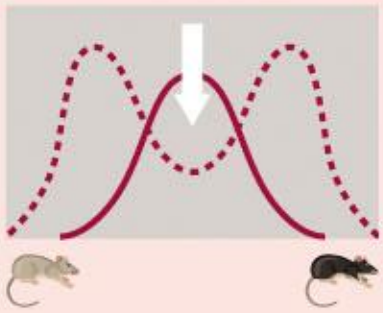
Formy dryfu genetycznego

Efekt założyciela	Efekt „wąskiego gardła”
Występuje, gdy kilka osobników z dużej populacji zasiedla nowy teren poza głównym obszarem jej występowania. Częstość alleli w nowej populacji będzie inna niż populacji macierzystej i będzie zależna od alleli występujących u założycieli.	Sytuacja, w której dochodzi do znacznego spadku liczebności populacji (np. wskutek epidemii lub katastrofy ekologicznej). Przeżywają tylko nieliczne osobniki. Jeśli osobniki te odtworzą populację, to jej pula genowa będzie się różniła od wyjściowej (częstość alleli będzie inna).
	

Dobór naturalny

Dobór naturalny to proces, który polega na tym, że osobniki lepiej przystosowane do środowiska mają większe szanse na przeżycie i wydanie potomstwa. Prowadzi to do zmian adaptacyjnych, co oznacza, że tylko określone allele zostaną przekazane kolejnym pokoleniom.

Rodzaje doboru naturalnego

Dobór stabilizujący	Dobór kierunkowy	Dobór różnicujący
Średnia wartość cechy jest najkorzystniejsza, a osobniki o skrajnych wartościach są eliminowane lub rozmnażają się słabiej.	Jedna ze skrajnych wartości cechy jest korzystniejsza niż wartość średnia i druga wartość skrajna.	Obie skrajne wartości cechy są korzystniejsze niż wartość średnia; taka sytuacja może doprowadzić do podziału populacji na dwie mniejsze.
		

Specjalne typy doboru naturalnego

Dobór płciowy	Dobór krewniaczy
Związany z konkurencją o partnera do rozrodu, prowadzi do wykształcenia cech atrakcyjnych dla potencjalnego partnera (np. ogon pawia) lub ułatwia walkę o niego (np. poroże jeleni). Cechy te zmniejszają szanse przeżycia, ale rekompensuje to większa szansa posiadania przez niego potomstwa.	Powoduje występowanie u osobnika zachowań altruistycznych w stosunku do jego krewnych, nawet jeśli zachowania te przynoszą mu straty; krewni osobnika mają jednak wspólne z nim geny i wspierając ich, wspomaga on również rozprzestrzenianie się własnych genów.
 Samiec pawia z rozłożonym ogonem	 Wszystkie mrówki w mrowisku są ze sobą bardzo blisko spokrewnione

Rola doboru naturalnego w powstawaniu adaptacji

Melanizm przemysłowy	Oporność na antybiotyki i pestycydy	Adaptacje ochronne
Zjawisko polegające na dominacji liczebnej ciemnych form danego gatunku zwierząt wywołanej przez przemysłowe zanieczyszczenia środowiska.	Zjawisko polegające na pojawianiu się gatunków odpornych na antybiotyki czy pestycydy, co jest związane z dużą powszechnością stosowania tych preparatów. Adaptacja szybko rozprzestrzenia się w środowisku, ponieważ zapewnia przeżycie i wydanie potomstwa.	Mimetyzm, czyli upodabnianie się barwą, kształtem lub wzorem na powierzchni ciała do otoczenia, co sprawia, że ofiara jest niewidoczna dla drapieżnika; pomaga też drapieżnikowi zakamuflować się w czasie polowania na ofiarę. Mimikra to upodobnianie się osobnika bezbronnego do organizmu trującego lub mającego środki odstraszające (jad, kolce, żądło).

Wpływ doboru naturalnego na częstość alleli warunkujących choroby genetyczne

- choroby warunkowane allelem dominującym (A) w wyniku działania doboru naturalnego są eliminowane, ponieważ ujawniają się zarówno w stanie homozygotycznym (AA), jak i heterozygotycznym (Aa);
- choroby warunkowane allelem recesywnym są eliminowane w stanie homozygotycznym (aa);
- allel recesywny „ukryty" w **heterozygotach** (Aa) nie ujawnia się, jeśli w fenotypie nie przejawia się jego szkodliwość **allelu**. Przykładem jest allel warunkujący **anemię sierpowatą**, który powoduje powstawanie zmienionej hemoglobiny. Przy niskiej zawartości tlenu hemoglobina się wytrąca, powodując zniekształcenie błon erytrocytów (kształt sierpa). U osobników heterozygotycznych w erytrocytach występują zarówno erytrocyty normalne, jak i erytrocyty sierpowate, które są odporne na zarodźca malarii. To powoduje, że na terenach występowania malarii utrzymują się oba allele, mimo że w stanie homozygotycznym (aa) allel anemii sierpowatej jest śmiertelny.



Porównanie obszarów występowania malarii (po lewej) i anemii sierpowatej (po prawej) w Afryce

11.3. Powstawanie gatunków

Gatunek w ujęciu biologicznym (według Linneusza) obejmuje organizmy podobne do siebie pod względem cech morfologicznych i zamieszkujących tę samą niszę ekologiczną.

Gatunek w ujęciu ewolucyjnym to **izolowana rozrodczo pula genowa**, która składa się z jednej lub więcej populacji krzyżujących się ze sobą w naturze, natomiast niekrzyżujących się z przedstawicielami innych gatunków. W obrębie jednego gatunku zachodzi więc wymiana genów, natomiast **bariery rozrodcze** ograniczają wymianę genów z osobnikami innego gatunku.

Izolacja rozrodcza

Izolacja rozrodcza zapobiega krzyżowaniu się osobników należących do różnych gatunków, których obszar występowania się pokrywa. Warunkuje odrębność genetyczną danego gatunku, ponieważ uniemożliwia przepływ genów pomiędzy gatunkami.

Rodzaje barier rozrodczych

Bariery prezygotyczne	Bariery postzygotyczne
• działają przed krzyżowaniem lub zapłodnieniem • dotyczą barier siedliskowych, czasowych, behawioralnych, mechanicznych	• działają po zapłodnieniu • polegają na obniżonej żywotności i płodności mieszańców oraz ich potomstwa

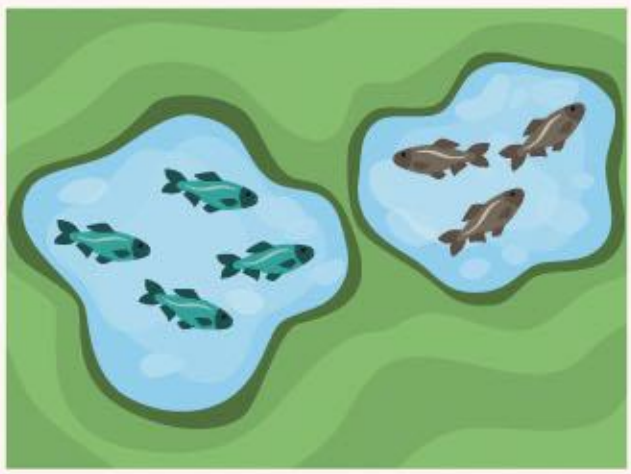
Mechanizmy izolacji prezygotycznej

Mechanizm izolacji prezygotycznej	Opis
izolacja czasowa (sezonowa)	Zapobiega wymianie genów między gatunkami zamieszkującymi ten sam teren, ponieważ rozmnażają się one w różnym czasie (np. w różnych okresach roku mają porę godową). Przykładami są żaba leśna i żaba lampartcia, których pory godowania różnią się o ponad dwa tygodnie i zależą od temperatury wody.
izolacja geograficzna	Związana jest z obecnością jakieś bariery (np. morza, gór), która zapobiega krzyżowaniu się. Przykładem tego typu izolacji są zięby Darwina występujące na wyspach archipelagu Galapagos.
izolacja siedliskowa	Zachodzi, kiedy dwa blisko spokrewnione gatunki występują na tym samym terenie, ale rozmnażają się w różnych siedliskach. Np. węże pończoszniki występują na tym samym obszarze geograficznym, ale jeden z gatunków przebywa w wodzie, a drugi na lądzie.
izolacja mechaniczna	Jest uwarunkowana niedopasowaniem w budowie narządów kopulacyjnych u zwierząt lub odmiennie wykształconymi elementami kwiatu u roślin. Nawet jeśli dojdzie do skrzyżowania się dwóch osobników należących do dwóch różnych gatunków, to gamety nie mogą się ze sobą połączyć.

Specjacja – powstawanie gatunków

Specjacja to proces powstawania nowych gatunków.

Rodzaje specjacji

Rodzaj specjacji	Opis	Schemat
specjacja allopatryczna	• rozdzielenie populacji przez bariery geograficzne i zahamowanie przepływu genów pomiędzy nimi • niezależna ewolucja populacji • stopniowe pojawianie się barier rozrodczych i rozdzielanie populacji na osobne gatunki	

Rodzaj specjacji	Opis	Schemat
specjacja sympatryczna	• w obrębie populacji następuje zróżnicowanie pod względem zajmowanych siedlisk lub typu pobieranego pokarmu • stopniowo pojawiają się bariery rozrodcze, które uniemożliwiają wymianę genów pomiędzy częściami populacji; populacja rozdziela się na dwa lub więcej gatunków	

Mikro- i makroewolucja

Mikroewolucja	Makroewolucja
Procesy ewolucyjne zachodzące w obrębie gatunku i prowadzące m.in. do wzrostu zróżnicowania pomiędzy populacjami.	Procesy warunkujące powstawanie rodzajów i wyższych jednostek taksonomicznych, związane ze znacznymi zmianami w budowie i funkcjonowaniu organizmów oraz powstaniem nowych przystosowań.

11.4. Historia życia na Ziemi

Biogeneza

Biogeneza to całokształt procesów, które doprowadziły do powstania życia na Ziemi. Według szacunków miało to miejsce ok. 4,5 miliarda lat temu.

Etapy biogenezy

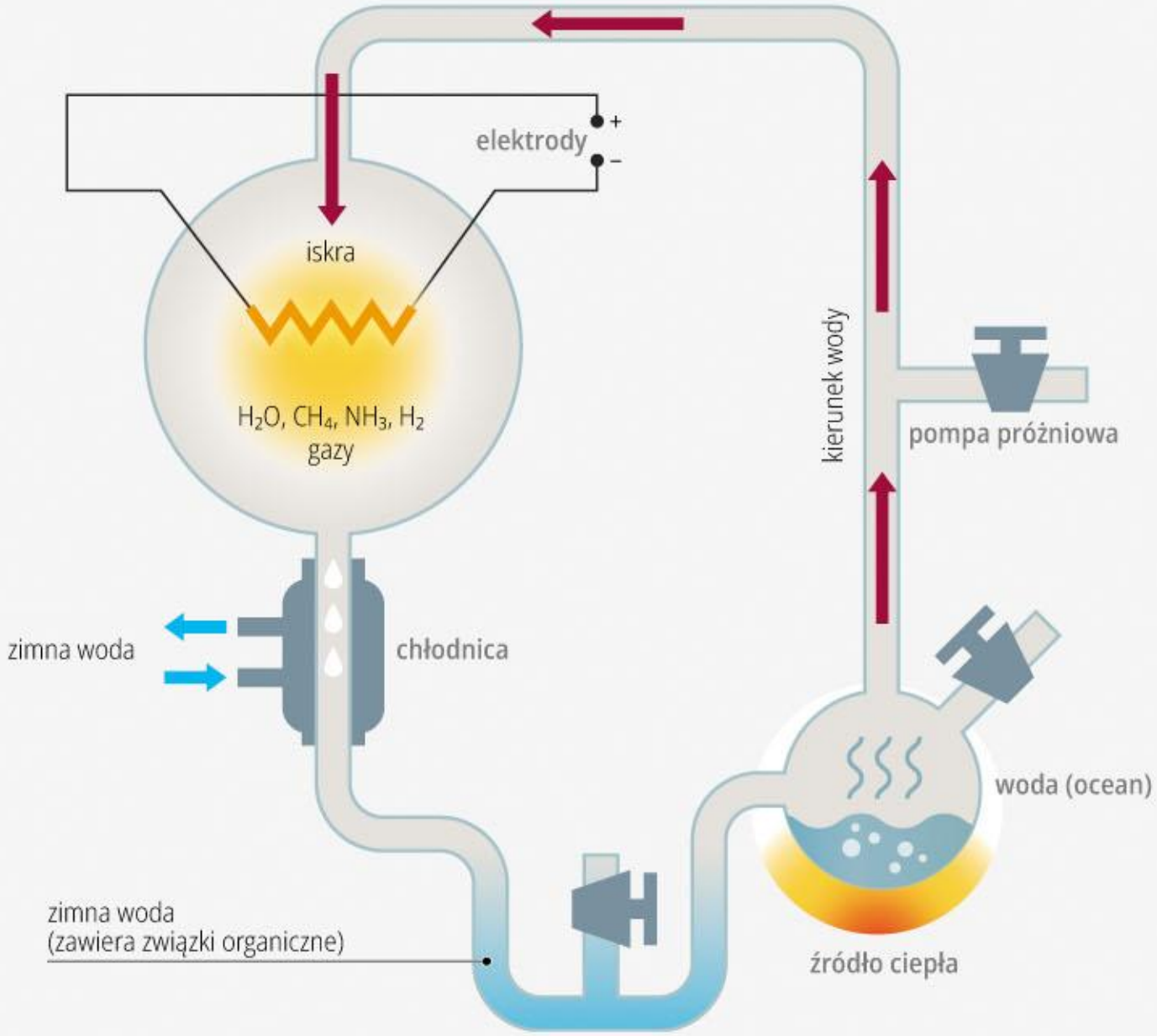
Proste związki organiczne → polimerowe związki organiczne → beztlenowe heterotroficzne organizmy prokariotyczne → autotroficzne organizmy prokariotyczne → jednokomórkowe organizmy eukariotyczne → wielokomórkowe organizmy eukariotyczne

Etap biogenezy	Opis
ewolucja biochemiczna	Wytworzenie związków organicznych (aminokwasów, nukleotydów, zasad azotowych) z gazowych składników wczesnej atmosfery Ziemi (metanu, amoniaku, wodoru, pary wodnej).
synteza makrocząsteczek polimerowych	Polimeryzacja aminokwasów dała początek białkom, a nukleotydów – kwasom nukleinowym. Reakcje te prawdopodobnie zachodziły w gorących wodach praoceanu (zupie organicznej lub pierwotnym bulionie).
prakomórki (protobionty)	Jako pierwsze powstały **protobionty**, czyli kompleksy makrocząsteczek organicznych, wykazujące niektóre cechy komórek (m.in. podział po osiągnięciu pewnej wielkości, utrzymywanie oddzielności środowiska wewnętrznego czy aktywność katalityczna). Powstanie ostatecznej formy komórki następowało stopniowo poprzez: • utworzenie błon komórkowych • rozpoczęcie przemian metabolicznych (źródła energii) • pojawienie się sprawnego systemu replikacji zdolnego do przekazywania informacji o budowie komórki – hipoteza świata RNA mówi, że pierwszą cząsteczką zdolną do przenoszenia informacji był RNA, a białka i DNA powstały znacznie później; cząsteczki RNA mogły być zarówno substratem, jak i katalizatorem swojej replikacji

Etap biogenezy	Opis
organizmy prokariotyczne	Jako pierwsze pojawiły się beztlenowe prokarionty odżywiające się heterotroficznie (ok. 3,8 mld lat temu). Dopiero w dalszej kolejności pojawiły się: • prokariotyczne komórki zdolne do przeprowadzania chemosyntezy • prokariotyczne organizmy fotosyntetyzujące (sinice), których aktywność była źródłem tlenu w atmosferze (ok. 3,5 mld lat temu) Ok. 2,4 mld lat temu zawartość tlenu w atmosferze wzrosła do poziomu umożliwiającego utlenianie komórkowe i uzyskanie znacznie więcej energii.
organizmy eukariotyczne	Komórki eukariotyczne powstały z komórek prokariotycznych ok. 2,2 mld lat temu. Teoria endosymbiozy zakłada, że organelle komórkowe powstały jako wynik wchłonięcia bakterii tlenowych i sinic przez inną komórkę prokariotyczną. Koewolucja tych komórek była korzystna dla ich obu i doprowadziła do wykształcenia ścisłej zależności pomiędzy nimi. W dalszej kolejności powstały błona komórkowa i jądro komórkowe, a większa specjalizacja doprowadzała do powstania organizmów wielokomórkowych.

Doświadczenie Millera i Ureya

Doświadczenie Millera i Ureya wykazało, że w pierwotnej atmosferze Ziemi mogło dojść od syntezy związków organicznych z substancji gazowych (metanu, amoniaku, wodoru i pary wodnej).



Najważniejsze etapy rozwoju życia na Ziemi

Relatywny czas trwania eonów	Era	Okres	Epoka	Wiek (miliony lat temu)	Niektóre ważne zdarzenia w historii życia
fanerozoik	kenozoik	neogen	holocen	0,01	Czasy historyczne.
			plejstocen	1,8	Zlodowacenia, pojawienie się człowieka.
			pliocen	5,3	Powstanie rodzaju *Homo*.
			miocen	23	Kontynuacja radiacji ssaków i okrytozalążkowych, pojawienie się małpopodobnych przodków ludzi.
		paleogen	oligocen	33,9	Powstanie wielu grup naczelnych, w tym małp człekokształtnych.
			eocen	55,8	Wzrasta dominacja okrytozalążkowych, kontynuacja radiacji wielu współczesnych rzędów ssaków.
			paleocen	65,5	Główna radiacja ssaków, ptaków i owadów zapylających rośliny.
	mezozoik	kreda		145,5	Pojawienie się i różnicowanie roślin kwiatowych (okrytozalążkowych), pod koniec okresu wymiera wiele grup organizmów, w tym większość dinozaurów.
		jura		199,6	Nagozalążkowe nadal są dominującymi roślinami; liczne i zróżnicowane dinozaury.
		trias		251	Rośliny z szyszkami (nagozalążkowe) dominują w krajobrazie. Postępuje ewolucja i radiacja dinozaurów, powstają pierwsze ssaki.
	paleozoik	perm		299	Radiacja gadów; powstanie większości współczesnych grup owadów; pod koniec okresu wymiera wiele morskich i lądowych organizmów.
		karbon		359,2	Formowanie się ogromnych lasów roślin naczyniowych; pojawiają się pierwsze rośliny nasienne; powstanie gadów; dominują płazy.
		dewon		416	Różnicowanie ryb kostnoszkieletowych; pojawiają się pierwsze czworonogi i owady.
		sylur		443,7	Różnicowanie wczesnych roślin naczyniowych.
		ordownik		488,3	Liczne morskie glony; kolonizacja lądu przez grzyby, rośliny, zwierzęta.
		kambr		542	Nagły wzrost różnorodności wielu typów zwierząt (eksplozja kambryjska).
proterozoik		ediakar		635	Pojawiają się różnorodne glony i bezkręgowe zwierzęta o miękkich ciałach.
				2100 2500	Pojawiają się najstarsze skamieniałości komórek eukariotycznych.
archaik				2700 3500 3800 ok. 4600	Zaczyna wzrastać stężenie tlenu atmosferycznego. Pojawiają się najstarsze skamieniałości komórek (prokariotytów). Najstarsze znane skały na powierzchni Ziemi. Powstanie Ziemi.

11.5. Antropogeneza

Antropogeneza – całokształt procesów ewolucyjnych, które doprowadziły do powstania gatunku *Homo sapiens*.

Porównanie cech człowieka i innych naczelnych

Cechy naczelnych	Cechy małp	Cechy małp człekokształtnych	Cechy ludzkie
• oczy umieszczone z przodu głowy umożliwiające widzenie przestrzenne • przeciwstawny kciuk • obecność paznokci • dobrze rozwinięty mózg • rozbudowane zachowania społeczne	• widzenie barwne • większa rozbudowa mózgu	• brak ogona • duże rozmiary ciała • dalsza rozbudowa mózgu • bardziej złożone zachowania społeczne • wykorzystywanie prostych narzędzi	• dwunożność i wyprostowana postawa ciała • ręce krótsze niż nogi • otwór potyliczny przesunięty na spód czaszki • brak chwytnej funkcji stopy • redukcja owłosienia • kły nie wystają ponad inne zęby • bardzo duży mózg • rozwinięte zachowania społeczne • wytwarzanie i używanie złożonych narzędzi
 Wyrak	 Makak	 Szympans	 Człowiek

Główne etapy antropogenezy

Hominid	Budowa czaszki	Budowa ciała	Inne cechy
australopitek	Pojemność 400–450 cm^3, wały nadoczodołowe, dolna część twarzy mocno wysunięta do przodu.	Postawa wyprostowana, cechy umożliwiające chodzenie po drzewach; długie ręce i odstający paluch stopy.	Brak produkcji narzędzi, używanie kamieni w życiu codziennym, brak śladów kultury.
człowiek zręczny	Pojemność 600–800 cm^3, wały nadoczodołowe, żuchwa mniej wysunięta.	Postawa w pełni wyprostowana.	Produkcja narzędzi; brak śladów kultury.
człowiek wyprostowany	Pojemność 1000 cm^3, wały nadoczodwe, żuchwa słabo wysunięta.	Postawa przystosowana do dwunożnego poruszania się.	Produkcja narzędzi, korzystanie z ognia, brak śladów kultury.
neandertalczyk	Pojemność 1500 cm^3, wały nadoczodołowe, żuchwa słabo wysunięta.	Masywna budowa ciała, dwunożne poruszanie się.	Produkcja narzędzi, korzystanie z ognia, wytwarzanie ozdób, obrzędy; prawdopodobnie zdolność mowy.
człowiek rozumny	Pojemność 1350 cm^3, brak wałów nadoczodołowych, na żuchwie obecna bródka.	Delikatna budowa ciała, dwunożność.	Produkcja bardzo skomplikowanych narzędzi, korzystanie z ognia, ozdoby, obrzędy, sztuka, zdolność mowy.

Porównanie budowy człowieka i szympansa

Szympans



wielkość mózgu ok. 400 cm^3

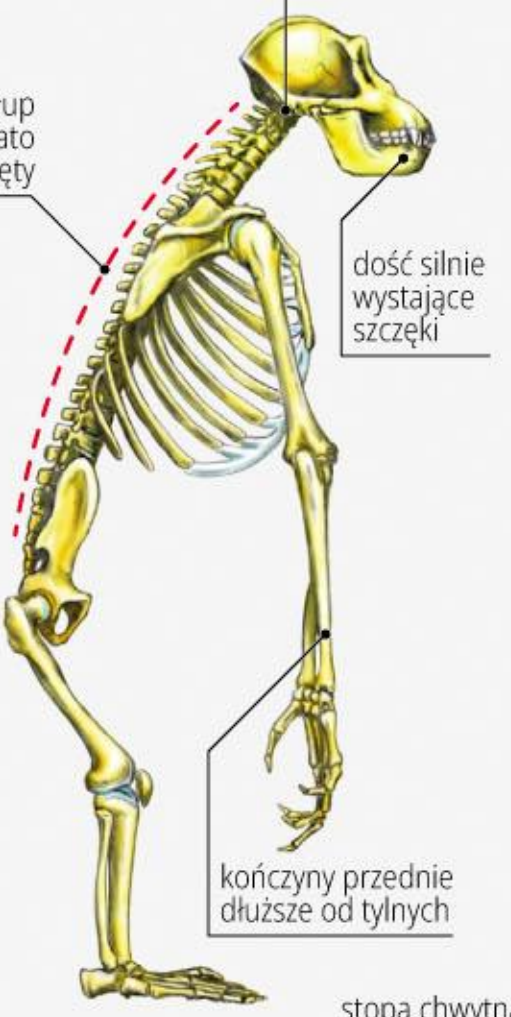


wystające kły

otwór wielki w tylnej części czaszki

kręgosłup łukowato wygięty

dość silnie wystające szczęki



kończyny przednie dłuższe od tylnych



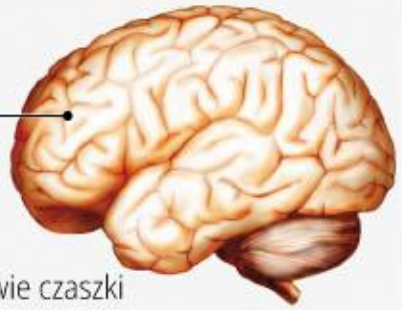
miednica wydłużona i wąska



stopa chwytna, z odstającym paluchem

Człowiek

wielkość mózgu ok. 1350 cm^3



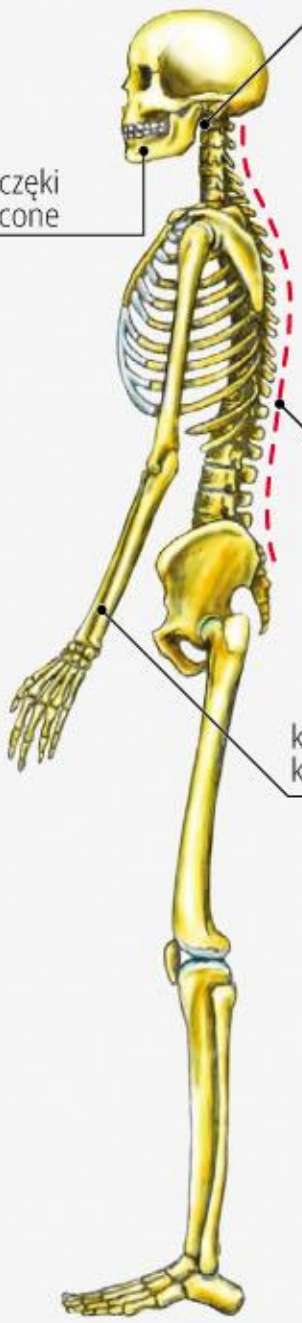
otwór wielki w podstawie czaszki

szczęki skrócone



kły zredukowane

krzywizny kręgosłupa (lordozy i kifozy)

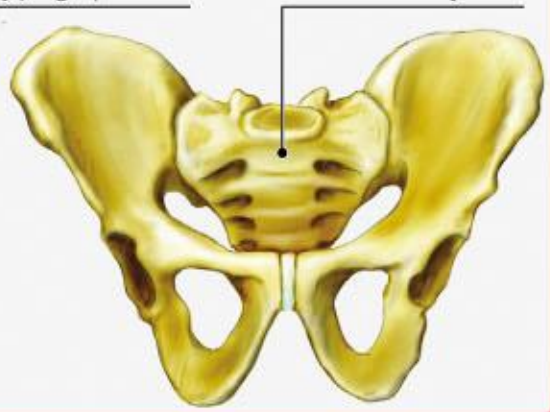


kończyny przednie krótsze od tylnych

stopa wysklepiona, bez odstającego palucha



miednica skrócona, szeroka i masywna



12

Ekologia

12.1. Tolerancja ekologiczna organizmów

Ekologia to gałąź biologii, nauka o relacjach między organizmami lub grupami organizmów a środowiskiem, w którym one żyją. Jest nauką przyrodniczą zajmującą się poziomami organizacji żywej materii, począwszy od osobnika (rozumianego jako organizm) przez populację, biocenozę, ekosystem aż do biomu i biosfery.

Zakres poziomów organizacji biologicznej badanej przez ekologię

Osobnik	pojedynczy przedstawiciel gatunku, zdolny do samodzielnego życia dzięki stałej wymianie materii i energii ze środowiskiem, w którym żyje
Populacja	zespół osobników jednego gatunku żyjących na danym terenie, mogących się swobodnie krzyżować i wydawać płodne potomstwo
Biocenoza	zespół populacji wszystkich gatunków (inaczej biotyczna, czyli żywa część środowiska) powiązanych wzajemnymi zależnościami biologicznymi i występujących w określonym środowisku zwanym biotopem
Biotop (siedlisko)	środowisko nieożywione, w którym występuje określona biocenoza, populacja czy osobnik
Ekosystem	biocenoza wraz z biotopem
Krajobraz	mozaika połączonych ekosystemów, w których przepływa energia i krąży materia
Biom	obszar kuli ziemskiej cechujący się określonym typem roślinności oraz zespołami zwierząt, których występowanie jest zależne od warunków środowiska nieożywionego
Biosfera	środowisko życia Ziemi obejmujące dolną warstwę atmosfery – troposferę, zewnętrzną warstwę skorupy ziemskiej – litosferę oraz wody – hydrosferę, na które składają się biomy

Pojęcia związane z ekologią

Organizm (inaczej osobnik) – jest pojedynczym przedstawicielem danego gatunku, zdolnym do życia dzięki stałej wymianie materii i energii ze środowiskiem, w którym egzystuje.

Adaptacja – każda dziedziczna cecha organizmu, która pozytywnie wpływa na jego przeżycie lub sukces rozrodczy (adaptacje fizjologiczne, morfologiczne, behawioralne). Jest ona wynikiem działania doboru naturalnego.

Środowisko – jest bardzo szerokim pojęciem i oznacza zespół czynników ożywionych i nieożywionych całego otoczenia, w którym żyją organizmy.

Siedlisko – miejsce (inaczej każdy fragment biosfery), w którym organizm występuje i żyje stale bądź okresowo. Każde siedlisko jest częścią środowiska i zapewnia wiele nisz ekologicznych.

Nisza ekologiczna – jest to związek organizmu ze środowiskiem, czyli przestrzeń fizyczna zajmowana przez organizm wraz z jego funkcją w środowisku (wyznaczoną np. przez oddziaływania ze strony drapieżników i konsumentów).

Nisza podstawowa (potencjalna, fundamentalna) – jest to przestrzeń fizyczna zajmowana przez organizm bez jego funkcji.

Nisza realizowana (rzeczywista) – jest to przestrzeń określona przez cały zestaw warunków środowiska (środowisko abiotyczne i oddziaływania ze strony drapieżników i konsumentów; jest zawsze zawarta w niszy podstawowej).

Nisza jednowymiarowa – indywidualne wymagania w stosunku do jednego czynnika środowiska, np. temperatury.

Nisza dwuwymiarowa – indywidualne wymagania w stosunku do dwóch czynników środowiska, np. temperatury i wilgotności.

Nisza wielowymiarowa – indywidualne wymagania w stosunku do kilku czynników środowiska, np. temperatury, wilgotności i wielkości zasobów pokarmowych.

Tolerancja ekologiczna – przystosowanie organizmu do życia w określonym przedziale wartości danego czynnika środowiska (np. zasolenia). Dolna granica tolerancji na ten czynnik to minimum życiowe, a górna – maksimum życiowe. Najbardziej korzystna dla organizmu jest wartość optymalna (optimum ekologiczne). Poniżej oraz powyżej tej wartości warunki do życia stają się mniej korzystne. Przekroczenie dolnej lub górnej granicy tolerancji sprawia, że życie organizmu jest niemożliwe.

Zakres tolerancji – zakres zmienności warunków środowiska, w jakich organizm może żyć (przedział między minimalną i maksymalną wartością danego czynnika).

Eurybionty – organizmy o szerokim zakresie tolerancji ekologicznej w stosunku do czynników środowiskowych.

Stenobionty – organizmy o wąskim zakresie tolerancji ekologicznej w stosunku do czynników środowiskowych (**oligobionty** – wąski zakres, lecz w dolnej granicy tolerancji, **polibionty** – wąski zakres, lecz w górnej granicy tolerancji).

Organizmy kosmopolityczne – organizmy szeroko rozprzestrzenione na Ziemi, powszechnie występujące w różnych środowiskach.

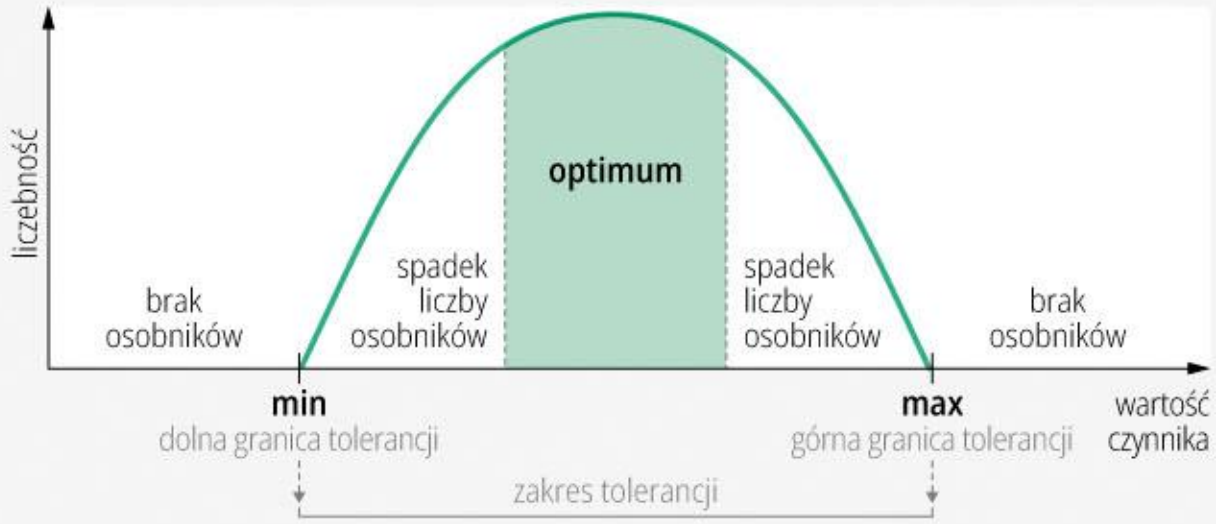
Endemity – gatunki unikatowe dla danego miejsca, występujące tylko na jednym, niewielkim obszarze.

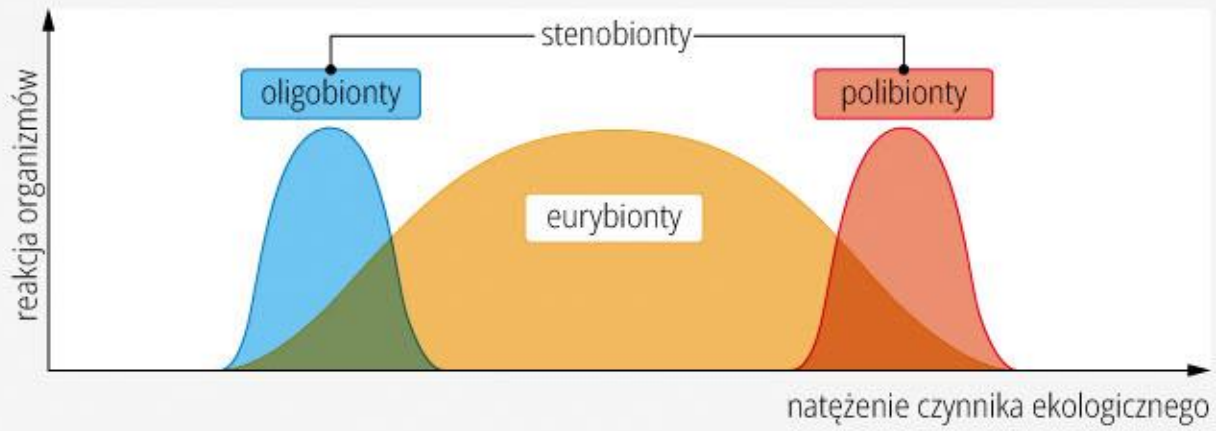
Prawo minimum Liebiga – wzrost i rozwój organizmu uzależniony jest od tego czynnika, którego dostępność w środowisku jest najmniejsza.

Prawo tolerancji Shelforda – zarówno niedobór, jak i nadmiar któregokolwiek czynnika środowiska może ograniczać wzrost i rozwój organizmu.

Synergizm – współdziałanie dwu lub kilku czynników środowiskowych, które przewyższa sumaryczny efekt czynników działających osobno, np. łączne działanie na środowisko dwutlenku siarki z wodą jako kwasu jest groźniejsze od osobnego działania dwutlenku siarki i wody (powstają „kwaśne deszcze", które powodują zniszczenia w przyrodzie i gospodarce człowieka np. rozpuszczają wapienie, wywołują korozję metali).

Zakresy tolerancji ekologicznej





Czynniki ekologiczne wpływające na wzrost i rozwój organizmów

Temperatura i światło	Decydują o krążeniu wody i ruchach powietrza. Dzięki tym czynnikom rośliny wiosną rozpoczynają wegetację, przechodzą z fazy wegetatywnej w generatywną, zachodzi fotosynteza i transpiracja, synteza hormonów, kiełkowanie nasion. U zwierząt wpływa na tempo procesów przemiany materii, aktywność życiową (przechodzenie w sen letni – estywacja lub zimowy – hibernacja), cykle rozrodcze, termoregulację behawioralną.
Woda	Przenosi materiał glebowy oraz pochłania i wypromieniowuje ciepło, zmieniając środowisko pod względem chemicznym i klimatycznym. Jest substratem w procesie fotosyntezy.
Powietrze	Źródło tlenu, dwutlenku węgla i azotu, receptor pary wodnej, wymiennik ciepła, decyduje o ciśnieniu barycznym w atmosferze.
Wiatr	Poziomy ruch powietrza spowodowany różnicą ciśnienia atmosferycznego i ruchu obrotowego Ziemi. Wywołuje powstawanie opadów. Na lądzie sprzyja erozji gleb, a w zbiornikach wodnych umożliwia mieszanie się wód (m.in. składników pokarmowych, rozpuszczonych gazów). Wpływa na zachowania i behawior wielu gatunków organizmów oraz ich rozmieszczenie. U roślin przenosi pyłek i nasiona.
Sole mineralne	Wpływają na pH gleby, procesy elektrolityczne, zmieniają właściwości wody i cząstek stałych w glebie. Są niezbędnymi składnikami płynów ustrojowych i enzymów, są aktywatorami procesów fizjologicznych, działają ograniczająco na wzrost i rozwój organizmów.
Skały i gleba	Są środowiskiem życia wielu organizmów. Ich odczyn (pH), skład mineralny oraz struktura fizyczna ograniczają rozmieszczenie roślin.
Mikroflora	Rozkłada materię organiczną, dostarczając pożywienia roślinom. Ponownie włącza pierwiastki w obieg w ekosystemie.
Rośliny	Kształtują klimat siedliska i stosunki socjalne w obrębie własnych zbiorowisk, decydują o charakterze mikroflory glebowej i procesach glebotwórczych.
Zwierzęta	Konsumują materiał roślinny, zasilają siedlisko w zwierzęcy materiał organiczny, regulują liczebność roślin.

Grupy ekologiczne roślin

Grupy ekologiczne – organizmy o podobnym zakresie tolerancji w odniesieniu do określonych czynników środowiska.

Podział roślin na grupy ekologiczne ze względu na rodzaj oddziałującego czynnika

1. Światło

Grupa ekologiczna	Stenofotyczne		Euryfotyczne
	skiofity	heliofity	
przystosowania	• cieniolubne • zajmują siedliska osłonięte, zacienione, u wejść do jaskiń lub w głębokich zbiornikach wodnych	• światłolubne • zajmują siedliska nasłonecznione (roślinność pustyń, stepów, tundry, wysokogórska)	• zasadniczo obojętne na intensywność oświetlenia • mogą rosnąć zarówno na siedliskach nasłonecznionych, jak i na zacienionych
przykłady	groszek wiosenny, zawilec gajowy, bodziszek cuchnący, czosnaczek pospolity	rojnik pospolity, rozchodniki, agawy, kaktusy	szałwia łąkowa, starzec zwyczajny, rumianek bezpromieniowy, macierzanka piaskowa

2. Temperatura

Grupa ekologiczna	Kriofity	Mezofity	Termofity
przystosowania	• najlepsza temperatura dla rozwoju to 20°C • rośliny alpejskie i arktyczne • uproszczenie budowy, odnawialne pączki i pędy zagrzebywane są w ziemi	• najdogodniejsza temperatura dla rozwoju to 20–30°C • rośliny różnych stref klimatycznych	• najdogodniejsza temperatura do rozwoju powyżej 25–40°C
przykłady	zdrojek błyszczący, gatunki z rodzaju gnidosz, goryczka lodnikowa, goryczka śnieżna, wiechlina alpejska, rdest żyworodny, płucnica islandzka (porost)	mniszek lekarski, podbiał żółty, ogórek, kukurydza, pomidor	kaktusy, winorośl

3. Zawartość substancji odżywczych w podłożu

Grupa ekologiczna	Oligotroficzne	Eutroficzne
przystosowania	• zasiedlają gleby ubogie w związki mineralne, jak magnez, potas, siarka, wapń, fosfor, żelazo, sód, azot • występuje zmniejszenie rozmiarów organów wegetatywnych (zjawisko nanizmu) lub powiększenie systemu korzeniowego z zachowaniem normalnych rozmiarów organów wegetatywnych i generatywnych	• zasiedlają gleby bogate w związki mineralne • wykazują zwiększenie rozmiarów organów nadziemnych
przykłady	epifity, czerwiec roczny, borówka czarna	bodziszek łąkowy, przylaszczka pospolita, pokrzywa pospolita

4. Odczyn pH

Grupa ekologiczna	Acydofilne	Neutrofilne	Bazyfilne
przystosowania	• zasiedlają gleby kwaśne (pH 6,7–4,0)	• obojętne w odniesieniu do pH • zasiedlają gleby kwaśne, zasadowe i obojętne	• zasadolubne (pH 8,5–7,0) • zasiedlają gleby głównie wapienne
przykłady	szczaw polny, borówka bagienna, borówka brusznica, rumian polny, śmiałek pogięty, szczawik żółty, szczawik zajęczy, mak polny, kuklik pospolity	niezapominajka polna, chaber bławatek, poziomka pospolita, rdest ptasi, jaskier rozłogowy, trzęślica modra	groszek wiosenny, zawilec żółty, groszek bulwiasty, ostróżeczka polna, miłek letni, szczyr trwały, kopytnik pospolity, czosnek

5. Woda

Grupa ekologiczna	Przystosowania	Przykłady
hydrofity (rośliny wodne)	liście roślin całkowicie zanurzonych w wodzie są pierzaste, wiotkie, pozbawione kutykuli i aparatów szparkowych, zanikają wiązki przewodzące i miękisz palisadowy, ponadto występuje miękisz powietrzny, duże przestwory międzykomórkowe, liście pływające są pokryte włoskami, często brak wykształconych korzeni	wywłócznik okółkowy, moczarka kanadyjska, rdestnica pływająca, pływacz zwyczajny, rzęsa wodna, grążel żółty, rdestnica połyskująca
helofity (rośliny ziemno-wodne, szuwarowe)	korzeniami przytwierdzone do podłoża, liście i kwiaty wzniesione nad poziom wody, łodygi puste w środku – kanał powietrzny zapobiegający złamaniu się łodygi pod wpływem falowania wody	jeżogłówka gałęzista, oczeret jeziorny, pałka szerokolistna, łączeń baldaszkowy, tatarak
higrofity (rośliny siedlisk stale wilgotnych)	słabo rozwinięte systemy korzeniowe, miękkie liście, duże blaszki liściowe, przestwory międzykomórkowe, cienkościenna epiderma i kutykula, więcej aparatów szparkowych	niecierpek pospolity, zawilec gajowy, kozłek lekarski, czermień błotna, knieć błotna
mezofity (rośliny siedlisk średnio zaopatrzonych w wodę)	wykazują pośrednie przystosowania między higrofitami a kserofitami, okresy suszy przeżywają w postaci nasion lub organów podziemnych, wykazują niską transpirację, pędy wieloletnie pokryte są korkiem, łuskowate liście osłaniają pąki liściowe	groszek pospolity, wyka ptasia, bodziszek cuchnący, świetlik łąkowy
kserofity (rośliny terenów o stałym lub długotrwałym niedoborze wody)	**sukulenty** – silnie rozwinięty miękisz wodny, zredukowane liście oraz zredukowane rozgałęzienia łodygi, żebrowana łodyga u kaktusów, powierzchniowy system korzeniowy, wielowarstwowa epiderma pokryta kutykulą hamującą transpirację, silnie zagłębione aparaty szparkowe, redukcja powierzchni transpiracji w stosunku do objętości (kulista łodyga kaktusów); można wyróżnić sukulenty łodygowe i liściowe	aloes, rojnik, jałowiec, rozchodnik, kaktusy, niektóre wilczomlecze i trojeściowate
	sklerofity – brak liści lub liście silnie przekształcone (bardzo twarde i błyszczące, łuskowato-igiełkowate, przekształcone w ciernie, gruba zewnętrzna ściana komórek epidermy, skutynizowane ściany epidermy, owłosienie liści, aparaty szparkowe w zagłębieniach epidermy osłonięte kutnerem, w mezofilu dominuje miękisz palisadowy, a gąbczastego często brak), często funkcje asymilacyjne pełnią zielone łodygi lub gałęziaki	oleander, mirt, tamaryszek
	efemery – aktywne tylko w porze wilgotnej, jednoroczne – przechodzą cykl rozwojowy i giną, a okres suszy przeżywają w postaci nasion, wieloletnie mają trwałe części wegetatywne, najczęściej podziemne bulwy, kłącza lub cebule	wiosnówka pospolita, rogownica pięciopręcikowa, kwitnące wczesną wiosną zawilec i złocień

Wyróżnia się jeszcze m.in. **epifity** (porośla, dla których woda jest dostępna tylko z opadów; korzenie pokryte tzw. welamenem – tkanką pochłaniającą wodę opadową, np. niektóre gatunki storczyków), **psammofity** (przystosowane do życia na piaszczystych glebach, głównie na wydmach, np. mikołajek nadmorski), **pirofity** (żyjące na obszarach narażonych na częste występowanie pożarów; mają grubą i słabo palącą się korę, silnie uwilgotnioną, np. dąb korkowy), **metalofity** (przystosowane do życia na glebach o podwyższonej zawartości metali, również metali ciężkich jak cynk, ołów, nikiel, np. mietlica pospolita).

Przystosowania zwierząt do różnej zawartości wody w środowisku

Środowisko	Wodne	Wilgotne	Suche
przystosowania	• opływowy (wrzecionowaty, zwężony na obu końcach) kształt ciała • bocznie lub grzbietobrzusznie spłaszczone ciało • gładka powierzchnia ciała • ciało pokryte śluzem • oddychanie całą powierzchnią ciała lub skrzelami • wydalanie przez ryby słodkowodne (hipertoniczne) dużych ilości rozcieńczonego moczu z małą ilością soli • wydalanie przez ryby morskie (hipotoniczne) niewielkiej ilości moczu i nadmiaru jonów Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} • produkcja mocno rozcieńczonego moczu (krótka pętla nefronu) przez ssaki spędzające większość życia w wodach słodkich, np. bobry	• powierzchnia ciała bez struktur zabezpieczających przed wysychaniem • oddychanie przez skórę, skrzela, tchawki lub płuca • często prowadzenie nocnego trybu życia • przebywanie w miejscach zacienionych • resorpcja wody u płazów przez nabłonek pęcherza moczowego	• powierzchnia ciała ze strukturami zabezpieczającymi przed utratą wody, np. śluz, skorupa, pancerz, płytki rogowe, pióra, włosy • odżywianie się soczystym pokarmem • zmiana trybu życia z dziennego na nocny lub z nadziemnego na podziemny • wykorzystanie wody metabolicznej ze spalania tłuszczów, np. u wielbłądów • odzyskiwanie wilgoci z powietrza wydychanego (tzw. mechanizm przeciwprądowy) • zapadanie w sen letni (estywacja), np. wrotki, nicienie, ślimaki płucodyszne, susły • produkcja zagęszczonego moczu (długa pętla nefronu, np. ssaki pustynne) • wydalanie jako końcowego produktu przemiany azotowej nierozpuszczalnego w wodzie, silnie zagęszczonego kwasu moczowego, np. gady, ptaki
przykłady	wieloszczety, stawonogi, mięczaki, ryby	wirki, skąposzczety, wije, ślimaki, płazy	owady, ślimaki płucodyszne, płazy, gady, ptaki, ssaki

Przystosowania zwierząt do procesów regulujących temperaturę ich ciała

	Ektotermy	Endotermy

przystosowania	• wykorzystują zewnętrzne źródła ciepła do ogrzania organizmu
	• mają słabe możliwości do regulowania temperatury własnego ciała
	• tolerują większe wahania własnej temperatury ciała
	• zależne są od zewnętrznych źródeł ciepła
	• regulują temperaturę ciała przez odpowiednie zachowania, np. wyszukiwanie cienia lub wygrzewanie się w słońcu
	• żyją w niskich temperaturach, kumulują substancje przeciwdziałające tworzeniu i zamarzaniu kryształków lodu
	• przeżywają okres wysokich lub niskich temperatur w postaci stadium przetrwalnego lub przechodzą w stan odrętwienia
		• same wytwarzają ciepło do ogrzania organizmu
		• temperatura ich ciała utrzymuje się zazwyczaj w granicach 35–40°C
		• zmniejszają straty ciepła w klimacie zimnym przez:
		  • ograniczanie powierzchni ciała poprzez redukcję wystających elementów i osiąganie dużych rozmiarów ciała
		  • przystosowania strukturalne (pióra, włosy, warstwa podskórnego tłuszczu)
		  • przystosowania fizjologiczne (regulacja krążenia krwi przy powierzchni skóry)
		• niektóre w okresie niskich temperatur zapadają w stan hibernacji (sen zimowy)
		• w klimacie gorącym wytwarzają „systemy chłodzenia", np. dużą powierzchnię ciała dzięki obecności wystających części (najczęściej uszy) lub niewielkie rozmiary; zapadają w sen letni

przykłady	większość bezkręgowców, ryby, płazy, jaszczurki, węże, żółwie	ptaki i ssaki

Podział zwierząt na ektotermy i endotermy nie jest równoważny z podziałem na **poikilotermiczne** (temperatura ciała zmienia się zależnie od środowiska, tzw. **zmiennocieplne**) i **homojotermiczne** (stała temperatura ciała, tzw. **stałocieplne**). U niektórych zwierząt zmiennocieplnych temperatura ciała zmienia się w bardzo małym zakresie, np. u ryb antarktycznych wahania temperatury ciała są niewielkie, ponieważ temperatura wody podlega też niewielkim wahaniom. I odwrotnie – temperatura ciała u zwierząt stałocieplnych może znacznie się zmieniać, np. u niektórych ptaków czy ssaków temperatura ciała obniża się w pewnych okresach życia, np. podczas snu zimowego (m.in. świstak, suseł).

Większość zwierząt jest bardziej aktywna w dzień. Zwierzęta prowadzące nocny tryb życia, np. krety czy nietoperze, mają uwstecznione narząd wzroku, a dobrze rozwinięte inne narządy zmysłu.

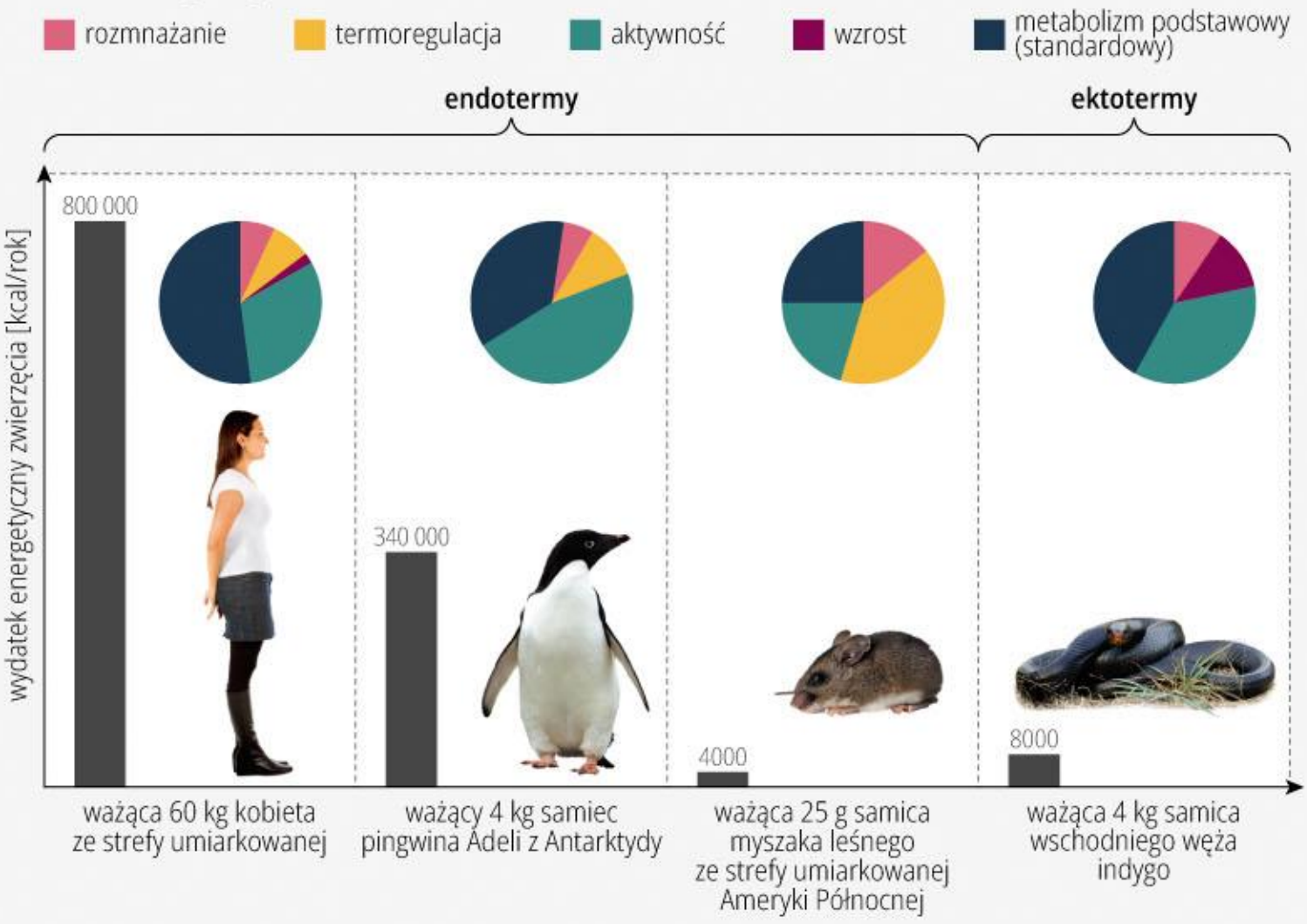


Nietoperz



Kret

Wykorzystanie energii chemicznej organizmów zależy od środowiska życia, aktywności, wielkości ciała i termoregulacji.



Zależności między organizmami a warunkami środowiska opisują np. **reguły: Bergmana, Allena, Glogera** i **Jordana**. Według pierwszej z nich rozmiary ciała zwierząt stałocieplnych żyjących w klimacie chłodniejszym są większe od spokrewnionych z nimi zwierząt występujących w klimacie cieplejszym. **Reguła Allena** mówi, że u zwierząt stałocieplnych żyjących w klimacie chłodniejszym pojawia się tendencja do zmniejszania lub skracania wystających części ciała, np. uszu, ogona, kończyn. Według **reguły Glogera** ptaki i ssaki żyjące w chłodnym i suchym klimacie są ubarwione jaśniej (mniej melatoniny) niż osobniki tego samego gatunku żyjące w klimacie ciepłym i wilgotnym. **Reguła Jordana** mówi, że zwierzęta zmiennocieplne – ryby wód chłodnych – są większe niż ryby wód ciepłych (mają więcej kręgów).

Wpływ klimatu na proporcje części ciała



Trzy gatunki lisów zamieszkujące różne strefy klimatyczne: A. lis europejski, B. lis polarny, C. lis pustynny

Organizmy wskaźnikowe

Organizmy wskaźnikowe (bioindykatory) – organizmy o wąskim zakresie tolerancji na dane czynniki środowiska, które są przez to wyznacznikami stanu środowiska w miejscu swego występowania.

Bioindykator powinien charakteryzować się wąską skalą tolerancji ekologicznej, reagować specyficznie na określony czynnik środowiska, być pospolity w terenie i jednolity genetycznie.

Przykłady gatunków wskaźnikowych

Przykład organizmu	Czynnik środowiskowy
Gleba	
borówka brusznica, pszeniec leśny, wrzos zwyczajny, żurawina błotna, szczaw polny, borówka czernica, fiołek polny	gleba silnie kwaśna
koniczyna brunatna, stokłosa prosta, wyka ptasia, aster gawędka, rajgras wyniosły, pierwiosnka lekarska, szałwia łąkowa	wysoka zawartość węglanu wapnia
kocanki piaskowe, bliźniczka psia trawka, zanokcica północna, widłak goździsty, wrzos zwyczajny	niska zawartość węglanu wapnia
Armeria juncea (rodzina ołownicowate), *Saxifraga cebennensis* (rodzina skalnicowate), *Kernera alpina* (rodzina kapustowate), *Hieracium stelligerum* (rodzina astrowate)	gleby dolomitowe (zawierające dużo węglanu wapnia i magnezu)
Viola calaminaria (fiołek kalaminowy), zawciąg pospolity, tobołki alpejskie	gleby galmanowe (zawierające dużo związków cynku i ołowiu)
zanokcica klinowata, czyściec pospolity, zanokcica serpentynowa, zanokcica kończysta, zanokcica ciemna	gleby serpentynowe (uwodniony krzemian magnezu z domieszką żelaza – serpentyn)
mchy z rodzaju *Mielichhoferia*	gleby miedziowe (duża zawartość metali ciężkich, w tym miedzi)
szczyr roczny, pokrzywa zwyczajna, psianka czarna, lulek czarny, starzec zwyczajny	gleby saletrowe (bardzo bogate w azot)
Powietrze	
granicznik płucnik, mąklik otrębiasty	wysokie stężenie tlenków azotu i siarki
Woda	
pstrąg potokowy	wody bardzo czyste
larwy jętek, larwy widelnic, larwy chruścików (zwłaszcza bezdomkowych), ślimaki (np. przytuliki)	wody czyste
kiełże, ośliczki, małże (np. kulkówki), pijawki, larwy ważek, ślimaki (np. rozdętki)	wody słabo zanieczyszczone
larwy ochotkowatych, rureczniki	wody silnie zanieczyszczone

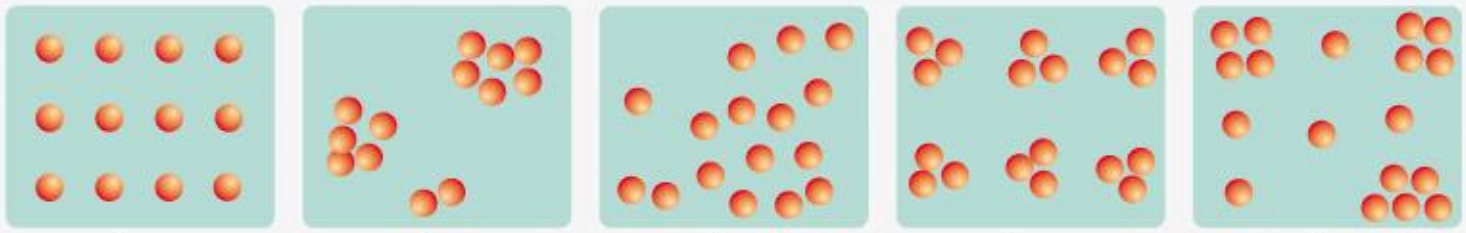
12.2. Cechy populacji

Wybrane cechy populacji

Cecha populacji	Charakterystyka
pula genowa populacji	Jest pełnym zestawem genów i ich alleli znajdujących się u wszystkich osobników w populacji. Spontaniczne mutacje powiększają, a dobór naturalny zmniejsza różnorodność puli genowej. Pule genowe populacji tego samego gatunku różnią się od siebie w zależności od lokalnych warunków środowiska.
stosunki liczbowe: • liczebność • zagęszczenie	**Liczebność** – łączna liczba osobników, które tworzą populację, np. liczba karpi w stawie, rysi w lesie. Gwałtowny wzrost liczebności populacji nazywamy **gradacją**. **Zagęszczenie** – liczba osobników przypadająca na jednostkę powierzchni lub objętości środowiska, np. 1000 pszczół/ha, 4 mln rozwielitek/dm^3, 20 pąkli/100 cm^2, 100 bakterii *Escherichia coli* na mililitr w probówce. Zależy od rozrodczości, śmiertelności, imigracji i emigracji. Przy małych zagęszczeniach populacji rozrodczość rośnie z zgęszczeniem, a przy dużych – maleje (tzw. **efekt Allee'go**). Najszybszy wzrost liczebności populacji występuje przy umiarkowanym zagęszczeniu.
rozrodczość	Cecha populacji decydująca o jej wzroście, czyli o przybywaniu nowych osobników w określonym czasie. Mówimy tu o rodzeniu się osobników, o ich wylęgu, kiełkowaniu czy powstawaniu przez podział. **Rozrodczość maksymalna** (absolutna, fizjologiczna) to przybywanie nowych osobników w warunkach idealnych, bez działania czynników ograniczających (właściwości biologiczne osobników, liczebność populacji, warunki środowiska – temperatura, wilgotność, światło, dostępność pokarmu); wartość stała dla populacji. **Rozrodczość rzeczywista** (ekologiczna) to przybywanie osobników w warunkach naturalnych, w których działają czynniki ograniczające; wartość zmienna dla populacji.
śmiertelność	Jest to ubywanie osobników z populacji w określonym czasie. Na śmiertelność w populacji wpływają różne przyczyny, związane ze zmianami środowiska, brakiem zasobów koniecznych do życia, z kondycją osobników, z działaniem drapieżców, pasożytów czy konkurencją z innymi gatunkami. **Śmiertelność minimalna** to ubywanie osobników żyjących w warunkach idealnych ze starości. **Śmiertelność ekologiczna (rzeczywista)** to ubywanie osobników w warunkach naturalnych (z uwzględnieniem wcześniej przedstawionych przyczyn).
przyrost naturalny	Różnica między rozrodczością i śmiertelnością wskazująca na aktualny stan demograficzny populacji (może być dodatni, ujemny lub zerowy).
struktura przestrzenna	
• areał	• Część przestrzeni, która zaspokaja wszystkie podstawowe potrzeby życiowe osobnika (związane z odżywianiem się, rozrodem, oddziaływaniem pozytywnym lub negatywnym na inne osobniki populacji czy przekształcaniem areału przez wydeptywanie ścieżek, wydalanie ekskrementów itd.).
• terytorium	• Obszar, na którym żyje osobnik, para czy rodzina, aktywnie broniony przed osobnikami własnego gatunku (oznakowanie obszaru chronionego odchodami lub wydalinami, śpiewem, charakterystyczną postawą, jaskrawym upierzeniem).
• rozmieszczenie (rozkład przestrzenny)	• Sposób rozmieszczenia osobników w przestrzeni. W zależności od sposobu rozmieszczenia areałów wyróżniane są trzy typy rozmieszczenia: skupiskowe, losowe (przypadkowe) i równomierne.
struktura wiekowa	Jest wskaźnikiem możliwości rozwojowych populacji i przedstawia udział w populacji osobników różnych grup wiekowych (młodych, dojrzałych i starych). Można ją przedstawić graficznie w postaci piramid wieku (rozwijającej się, ustabilizowanej, wymierającej), niekiedy z równoczesnym podziałem na płeć (piramidy wiekowo-płciowe).
struktura płciowa	Jest podstawową formą struktury demograficznej i określa liczbę samców przypadającą na określoną liczbę samic w populacji.

Typy rozmieszczenia przestrzennego osobników populacji

Wyróżnia się trzy podstawowe typy rozmieszczenia przestrzennego osobników: równomierne, losowe i skupiskowe oraz typy pośrednie, np. równomierno-skupiskowe, losowo-skupiskowe. Uszeregowanie liniowe jest genetycznie uwarunkowanym (np. klucze lub sznury ptaków tworzone podczas przelotów) lub wynikającym bezpośrednio z samej struktury przestrzennej środowiska (np. napowietrzne linie telefoniczne i energetyczne) typem struktury przestrzennej.



typ równomierny | typ skupiskowy | typ losowy | typ równomierno-skupiskowy | typ losowo-skupiskowy

Typy rozmieszczenia		
równomierne	**losowe**	**skupiskowe**
Może być efektem bezpośredniej interakcji (konkurencji) między osobnikami w populacji, np. produkcja toksyn hamujących wzrost roślin sąsiadujących czy terytorializmu – obrona określonej przestrzeni przed wkroczeniem innych osobników lub efektem zamierzonej działalności człowieka, np. na polu sadzona kapusta czy kalafiory, sadzonki drzew w szkółce leśnej; mniej powszechne od rozmieszczenia skupiskowego. Odległości między osobnikami są mniej więcej jednakowe Inne przykłady: niektóre gatunki pająków sieciowych, trzciny w szuwarach na brzegu jeziora.	Podstawowe czynniki chemiczne i fizyczne środowiska są jednorodne, np. nasiona mniszka lekarskiego rozsiewane przez wiatr lub brak przewagi do wzajemnego skupiania się lub rozpraszania osobników, np. przedstawiciele planktonu roślinnego w toni wodnej, krocionogi w ściółce leśnej, niektóre gatunki drzew wiatropylnych w lesie mieszanym. Odległości między osobnikami nie są jednakowe. Ten typ rozmieszczenia jest spotykany stosunkowo rzadko, np. we wczesnych stadiach sukcesji ekologicznej, wykazuje tendencje do przechodzenia w typ skupiskowy.	Podstawowy typ rozmieszczenia, powstaje tam, gdzie czynniki środowiskowe sprzyjają wzrostowi (np. grzyby kapeluszowe skupione na rozkładających się kłodach drzew, kępy pałki czy perzu), reprodukcji (np. roje jętek czy skupienia rozgwiazd i płazów podczas rozrodu), skuteczności polowań drapieżników (np. watahy wilków, stada lwów) i ochrony przed nimi (np. pieski preriowe, renifery, antylopy, zebry, pawiany, słonie), tworzeniu struktury socjalnej (np. owady społeczne – mrówki, pszczoły, termity; nietoperze podczas noclegu). Inne przykłady: pąkle, mszyce, gawrony, dęby, zwierzęta glebowe.

Struktura socjalna

Struktura socjalna to związki socjalne w obrębie populacji, które porządkują wzajemne relacje między osobnikami w zorganizowanych społeczeństwach (np. owady błonkoskrzydłe czy termity) oraz w skupiskach powstających przypadkowo (np. skupiska płazów podczas rozrodu, skupiska dzienne nietoperzy czy nocne pełzaczy). U kręgowców, np. ptaków i ssaków, struktura socjalna opiera się na **terytorializmie, dominacji i przewodnictwie**. Najwyższą formę rozwoju organizacja socjalna osiągnęła u owadów społecznych (tzw. eusocjalnych), np. pszczół, mrówek czy termitów. U owadów społecznych struktura socjalna opiera się na instynktach, odruchach bezwarunkowych, bodźcach zapachowych, wzrokowych i słuchowych. Losy pojedynczego osobnika są zdeterminowane trwale i nie podlegają zmianom podczas jego życia.

Efekty życia w grupie

korzystne	niekorzystne
• ochrona przed drapieżnikiem przez: – łatwiejsze jego zlokalizowanie – efekt rozcieńczenia (prawdopodobieństwo zabicia konkretnej ofiary przez drapieżnika jest odwrotnie proporcjonalne do liczebności ofiar) – efekt samolubnego stada (eksponowanie na działanie drapieżnika osobników o mniejszych szansach przeżycia, np. chorych, starych, nisko stojących w hierarchii społecznej) – obrona grupowa • łatwiejsze zdobycie pokarmu • w przypadku drapieżnika – łatwiejsze schwytanie ofiary • wytwarzanie mikroklimatu • zachowania altruistyczne	• wzmożona konkurencja o pokarm • łatwiejsze znalezienie ofiary przez drapieżnika • zwiększone ryzyko rozprzestrzeniania się chorób, toksyn • powstawanie sytuacji stresowych

Altruizm

Altruizm to poświęcenie własnego przeżycia lub wydania potomstwa na rzecz zwiększenia szans przeżycia innego osobnika tego samego gatunku lub gatunku niespokrewnionego (tzw. **altruizm pozorny**). Przykładem są owady społeczne, u których bezpłodne robotnice opiekujące się potomstwem królowej poświęcają mu swój sukces rozrodczy. Jeśli takie zachowania przynoszą korzyści, są dalej utrwalane przez dobór naturalny.

Tabele przeżywania

Tabele przeżywania służą do przedstawiania danych demograficznych populacji i teoretycznego określenia zjawiska wymierania populacji. Za ich pomocą można śledzić losy **kohorty**, czyli grupy osobników w tym samym wieku od urodzenia aż do śmierci.

Tabela przeżywania susła Beldinga (*Spermophilus beldingi*) na przełęczy Tioga w górach Sierra Nevada w Kalifornii*

Wiek (lata)	Samice					Samce				
	liczba żyjących na początku roku	odsetek żyjących na początku roku	liczba zgonów w ciągu roku	współczynnik śmiertelności†	średnia dodatkowa spodziewana długość życia (lata)	liczba żyjących na początku roku	odsetek żyjących na początku roku	liczba zgonów w ciągu roku	współczynnik śmiertelności†	średnia dodatkowa spodziewana długość życia (lata)
0–1	337	1,000	207	0,61	1,33	349	1,000	227	0,65	1,07
1–2	252††	0,386	125	0,50	1,56	248††	0,350	140	0,56	1,12
2–3	127	0,197	60	0,47	1,60	108	0,152	74	0,69	0,93
3–4	67	0,106	32	0,48	1,59	34	0,048	23	0,68	0,89
4–5	35	0,054	16	0,46	1,59	11	0,015	9	0,82	0,68
5–6	19	0,029	10	0,53	1,50	2	0,003	0	1,00	0,50
6–7	9	0,014	4	0,44	1,61	0				
7–8	5	0,008	1	0,20	1,50					
8–9	4	0,006	3	0,75	0,75					
9–10	1	0,002	1	1,00	0,50					

* Samce i samice mają inną długość życia, dlatego liczone są osobno.
† Współczynnik śmiertelności to odsetek osobników zmarłych w wyznaczonym przedziale czasu.
†† Zawiera 122 samice i 126 samców złapanych jako jednoroczne i nieliczonych w przedziale od 0 do 1.

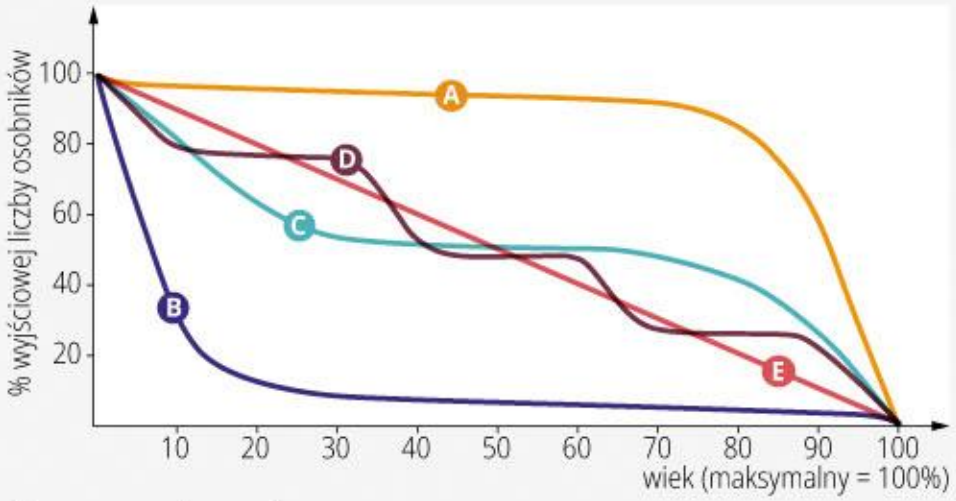
Źródło: P.W. Sherman i Morton, *Demography of Belding's ground squirrel*, „Ecology" 65, 1984, s. 1617–1628

Krzywe przeżywania

Typ a Krzywa wypukła	Typ e Krzywa jednostajnie nachylona	Typ b Krzywa wklęsła
• niski współczynnik śmiertelności wśród osobników najmłodszych i w środkowym etapie życia • wysoki współczynnik śmiertelności w okresie starości	• jednakowe prawdopodobieństwo przeżycia we wszystkich klasach wieku • równomierny spadek przeżywalności wraz z upływem czasu (śmiertelność nie jest zależna od wieku osobników)	• wysoki współczynnik śmiertelności wśród osobników najmłodszych • spadek współczynnika śmiertelności dla niewielkiej liczby osobników, które przeżyły okres umieralności w najmłodszych klasach wieku
np. duże ssaki (np. zebra, bawół, owca śnieżna) łącznie z człowiekiem, u których jest opieka nad nielicznym potomstwem; storczyk bzowy, storczyk męski, turzyca piaskowa, przylaszczka pospolita	np. różne gatunki bezkręgowców, niektóre gatunki jaszczurek i ptaków, susły, rośliny wieloletnie, np. jaskier różnolistny, jaskier ostry, kostrzewa owcza; terofity, np. sporek wiosenny czy wiosnówka pospolita	np. gatunki, które produkują dużą liczbę potomstwa pozbawionego opieki, np. bezkręgowce morskie, np. ostrygi czy inne mięczaki; liczne gatunki ryb składających ikrę, żółwie, grzyby, liczne gatunki drzew, np. dęby

U wielu gatunków przeżywalność odbiega od trzech podstawowych typów krzywych przeżywania i reprezentuje wzorce pośrednie. U ptaków, myszy czy królików śmiertelność osobników najmłodszych jest dość wysoka (jak w typie b), a wśród dorosłych – prawie stała (jak w typie e). Ich przeżywalność przedstawia **krzywa esowata (c)**. Niektóre bezkręgowce, takie jak kraby czy owady, wykazują schodkową krzywą przeżywania (d) z następującymi po sobie okresami wzrostu śmiertelności w czasie linienia czy przeobrażenia i spadku śmiertelności po zakończeniu linienia czy po przejściu w stadium imago. Przeżywalność u tych zwierząt w mniejszym stopniu jest związana z wiekiem, a w większym z aktywnością poszczególnych stadiów rozwojowych.

Dla większości gatunków przeżywalność osobników najmłodszych jest mniejsza niż osobników dorosłych.



Krzywe przeżywania

Charakterystyka strategii życiowych

Strategia życiowa to kompromis między przeżywalnością osobnika a sposobem jego rozrodu, częstością rozrodu, liczbą potomstwa (liczbą nasion produkowanych przez rośliny, liczbą młodych u zwierząt) oraz obecnością lub brakiem opieki nad potomstwem podczas całego życia.

Najważniejsze cechy strategii życiowej to:

- wielkość (masa) osobnika,
- maksymalna długość życia,
- moment rozpoczęcia rozrodu (wiek wydania na świat pierwszego potomstwa lub osiągnięcia dojrzałości płciowej),
- liczba potomstwa w jednym okresie rozrodczym,
- liczba okresów rozrodczych (gatunki semelparyczne – jednorazowy rozród i iteroparyczne – wielokrotny rozród w ciągu życia).

Strategie rozrodcze

Typ K	Typ r
• środowisko przewidywalne • powolne tempo wzrostu • duże rozmiary ciała • mała rozrodczość (mało liczne, ale duże potomstwo, opieka nad potomstwem) • rozmnażanie iteroparyczne • długi czas trwania życia • duża produktywność	• środowisko zmienne, nieprzewidywalne • szybkie tempo wzrostu • małe rozmiary ciała • duża rozrodczość (liczne, ale małe potomstwo, brak opieki nad potomstwem) • rozmnażanie semelparyczne • krótki czas trwania życia • duża wydajność
Dzisiaj te dwie strategie (selekcje) zaproponowane w 1967 r. przez MacArthura i Wilsona traktować można historycznie, ponieważ są nieprecyzyjne. Wiele gatunków wyłamuje się z takiej klasyfikacji (mają cechy pośrednie). Gatunki nie są już opisywane jako K lub r, lecz jako „bardziej lub mniej r lub K" w porównaniu z innymi, np. dęby i jeżowce żyją długo i wielokrotnie produkują potomstwo. Dlatego obecnie selekcję K i r zastępuje się lepszymi i nowszymi metodami (**obserwacje ewolucji historii życiowych gatunków**).	

Dynamika liczebności populacji – zmiany liczebności populacji następujące w czasie

Wzrost liczebności	
wykładniczy (geometryczny)	**logistyczny**
• osobniki populacji mają nieograniczony dostęp do pokarmu (brak czynnika ograniczającego) • mogą swobodnie się rozmnażać • znalazły się w nowym środowisku lub ich liczebność gwałtownie wzrasta po katastrofie • obrazem graficznym tego wzrostu jest **krzywa J**	• osobniki populacji mają ograniczony dostęp do pokarmu (obecne czynniki ograniczające biotyczne i abiotyczne) • w miarę wzrostu zagęszczenia zmienia się rozrodczość i/lub śmiertelność tak, że liczebność populacji zbliża się do **pojemności środowiska K** • obrazem graficznym tego wzrostu jest **krzywa S** • jest modelem do określania krytycznej wartości, poniżej której populacja może wyginąć • jest modelem do szacowania tempa wzrostu liczebności populacji po ich znacznym zredukowaniu • może służyć np. do szacowania połowu ryb czy odłowu dzikich zwierząt

Pojemność środowiskowa

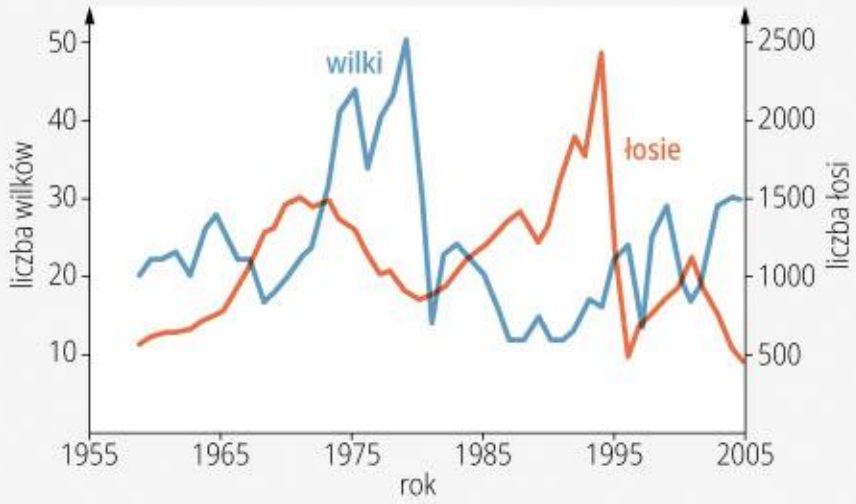
Pojemność środowiska (siedliska) K (ang. *carrying capacity*) – maksymalna liczebność populacji określona przez warunki środowiska.



Krzywe wzrostu: wykładniczego (nieograniczone zasoby środowiska) i logistycznego populacji (ograniczone zasoby środowiska)

Fluktuacje

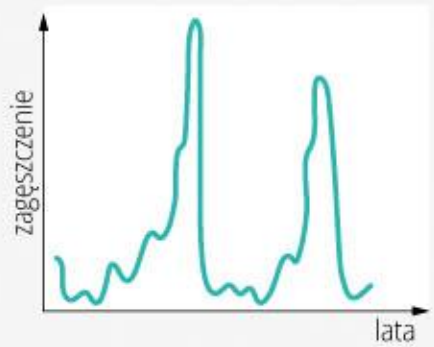
Fluktuacje to zmiany liczebności populacji poniżej i powyżej pojemności środowiska, o różnej amplitudzie i okresie wahań wokół poziomu zrównoważonego zagęszczenia.



Fluktuacje liczebności populacji łosi i wilków na wyspie Royale w latach 1969–2006 (według Campbell i in. *Biologia*, Dom Wydawniczy REBIS, 2012)

Oscylacje liczebności

Oscylacje liczebności w populacjach to zmiany liczebności poniżej i powyżej pojemności środowiska, o stałej amplitudzie i okresie wahań wokół poziomu zrównoważonego zagęszczenia.





Oscylacje liczebności w populacjach leminga norweskiego (wg J. Banaszak, H. Wiśniewski, *Podstawy ekologii*, Wydawnictwo Uczelniane WSP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1999)

Regulacja liczebności populacji

niezależna od zagęszczenia	zależna od zagęszczenia
Rozrodczość i śmiertelność nie zmieniają się (w przypadku braku imigracji). Czynniki regulujące: • elementy fizyczne środowiska • katastrofy ekologiczne • stres	Spada rozrodczość i wzrasta śmiertelność. Czynniki regulujące: • konkurencja o zasoby • terytorializm • drapieżnictwo • choroby • toksyczne odpady • czynniki fizjologiczne

Zasadnicze czynniki wpływające na liczebność populacji

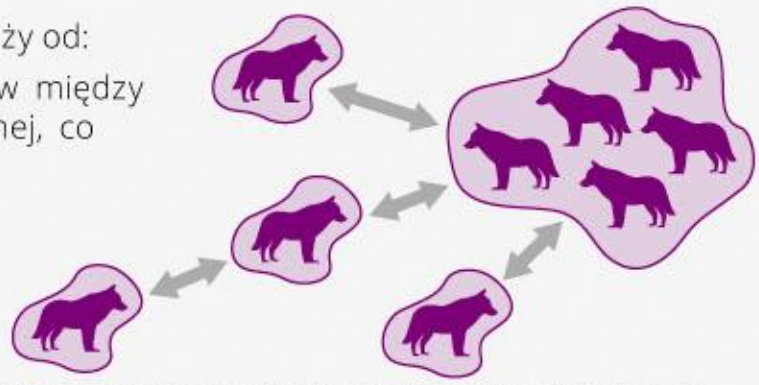


Metapopulacje

Duże wahania liczebności w małych populacjach zasiedlających niewielkie płaty siedlisk mogą doprowadzić do ich zaniku. Przeciwdziała temu przemieszczanie osobników między lokalnymi populacjami i utworzenie jednej **metapopulacji**. Populacje tworzące metapopulację, tzw. **subpopulacje** (**populacje lokalne**), mają odrębne siedliska i różną wielkość. Wśród subpopulacji wyróżniamy populacje zasilające (przewaga rozrodczości i emigracji nad śmiertelnością i imigracją, niezagrożone wymieraniem) i marginalne (przewaga śmiertelności nad rozrodczością, zagrożone wymieraniem).

Dynamika liczebności w obrębie metapopulacji zależy od:

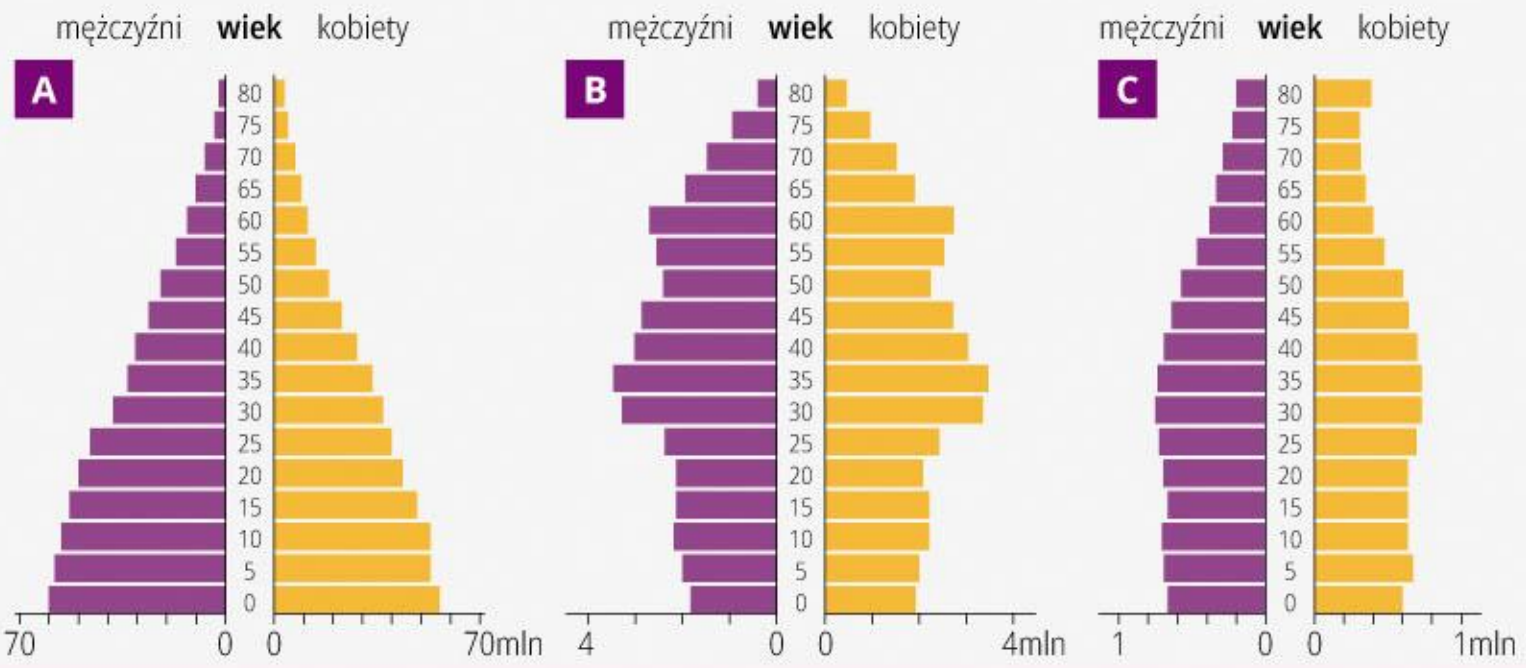
- emigracji i migracji (umożliwiają wymianę genów między subpopulacjami i zajście rekombinacji genetycznej, co zwiększa szanse przetrwania w środowisku);
- kolonizacji nowych obszarów, co pozwala na poszerzenie zasięgów występowania populacji;
- wymierania subpopulacji w określonym siedlisku;
- ponownego zasiedlania obszarów, na których doszło do wymierania.



Dynamika liczebności hipotetycznej metapopulacji

Piramidy wiekowo-płciowe

Piramidy wiekowo-płciowe dla ludności trzech krajów: A. populacja rozwijająca się (Sudan Południowy; szeroka podstawa piramidy o przewadze osobników młodych); B. populacja wymierająca (Estonia; wąska podstawa piramidy o przewadze osobników starych); C. populacja ustabilizowana (Australia; podstawa piramidy nieznacznie węższa od jej środkowej części).



Czynniki regulujące strukturę wiekową populacji

- rozrodczość,
- śmiertelność,
- zwiększenie śmiertelności wybiórczej w niektórych grupach wiekowych,
- wzmożenie imigracji osobników z określonych grup wiekowych, zwłaszcza okresów przedreprodukcyjnych,
- pojawianie się długotrwałych stadiów spoczynkowych przed okresem reprodukcji,
- wydłużanie całego cyklu rozwojowego.

Metody oceny wieku organizmów

Zwierzęcych

- odkładanie się corocznych przyrostów w rogach ssaków, zębach, kościach czy łuskach ryb,
- stopień zaawansowania rozwoju cech mówiących o zdolnościach reprodukcyjnych osobnika.

Roślinnych

- analiza rocznych przyrostów łodygi, pnia oraz kłączy.

12.3. Zależności międzygatunkowe

Zależności (interakcje, oddziaływania) między organizmami należącymi do jednego gatunku lub między różnymi gatunkami żyjącymi w danej biocenozie

Oddziaływania nieantagonistyczne		
symbioza	Ścisły, długotrwały związek partnerów należących do odrębnych gatunków, który może być korzystny dla jednej albo dla obu stron. Ze względu na istnienie w przyrodzie stałych przejść od współżycia korzystnego dla obu partnerów do pasożytnictwa czy konkurencji, trudno ustalić dokładny bilans ich strat i zysków. Dlatego termin ten odnosi się zarówno do związków **mutualistycznych** czy **komensalizmu**, jak i układu **pasożyt – żywiciel**.	
mutualizm	populacja A „+" populacja B „+"	Korzystne i nieodzowne dla życia obu populacji (tzw. **symbioza obligatoryjna lub konieczna**), np. glon i grzyb (tworzące porost), ssaki roślinożerne i bakterie trawiące w ich przewodzie pokarmowym celulozę, niektóre ptaki i ryby, termity i wiciowce trawiące celulozę, mrówki uprawiające grzyby, rośliny motylkowe i bakterie brodawkowe, drzewa (oraz niektóre paprotniki) i grzyby (tzw. mikoryza).
protokooperacja	populacja A „+" populacja B „+"	Korzystne dla obu populacji, nie jest jednak nieodzowne (tzw. **mutualizm fakultatywny**). Współżycie może być stałe lub czasowe, np. krab pustelnik (muszla jako środek transportu dla ukwiała) i ukwiał (obrona kraba za pomocą parzydełek), duże ssaki afrykańskie (np. bawół, nosorożec, słoń) i ptaki bąkojady.
komensalizm	populacja A „+" populacja B „0"	**Współbiesiadnictwo**, współżycie dwóch populacji, z których jedna czerpie korzyści ze współżycia, a dla drugiej jest ono obojętne (nie odnosi korzyści ani nie ponosi strat), np. lew i hiena, rekin i podnawka, skójka lub szczeżuja i ryba różanka, wieloryb i pąkle, glony na skorupach wodnych żółwi, wykorzystywanie dziupli dzięciołów przez inne gatunki ptaków (sikory, muchołówki, pleszki).

Oddziaływania antagonistyczne		
konkurencja	populacja A „–" populacja B „–"	Wpływa niekorzystnie na wzrost i przeżycie obu populacji. Jest tym silniejsza, im bliższe sobie wymagania i potrzeby życiowe (konkurencja o światło, wodę, przestrzeń, składniki mineralne) mają populacje, a nisze ekologiczne są podobne i często się pokrywają. Jej efektem jest rozdzielenie nisz ekologicznych populacji o podobnych wymaganiach życiowych (zasada konkurencyjnego wykluczania – **zasada Gausego**), np. populacja kormorana czarnego i czubatego w Anglii lub wyeliminowanie jednej populacji, np. wyniszczenie w Europie populacji szczura śniadego przez zawleczonego szczura wędrownego. U roślin obserwowane jest zjawisko **allelopatii**, tj. wydzielania substancji chemicznych do środowiska (grzyby wydzielające antybiotyki), uniemożliwiające lub utrudniające współwystępowanie innym gatunkom roślin. Konkurencja w populacjach gatunków sympatrycznych (zachodzących geograficznie) prowadzi do **rozczepienia się cech morfologicznych** (np. zmienna wielkość dziobu u zięb Darwina z wysp Galapagos).
allelopatia	populacja A „+" populacja B „–"	Wydzielanie substancji chemicznych do środowiska, uniemożliwiające lub utrudniające współwystępowanie innym gatunkom roślin, np. substancje chemiczne (juglon) wydzielane przez korzenie orzecha włoskiego hamują rozwój lucerny i pomidorów, antybiotyki wydzielane przez grzyby hamują wzrost bakterii i innych grzybów, kalifornijska szałwia wytwarza lotne terpeny hamujące wzrost gatunków konkurencyjnych. Allelopatia ma duże znaczenie praktyczne przy uprawie roślin.

Oddziaływania antagonistyczne		
drapieżnictwo	populacja A „+” populacja B „–”	Zabijanie i zjadanie osobnika jednej populacji (ofiara) przez osobnika drugiej populacji (drapieżca). Drapieżnik jest naturalnym regulatorem liczebności populacji ofiary (chroni przed przekroczeniem pojemności środowiska), usuwając ze środowiska osobniki słabe, zwiększa zróżnicowanie w populacji ofiar oraz ich dostosowanie. Nie prowadzi do całkowitego wygaśnięcia populacji ofiary (wyjątkiem są warunki laboratoryjne), np. ryś i zając, lew i antylopa, szczupak i płoć, jaskółka i mucha.
roślinożerność	populacja A „+” populacja B „–”	Osobniki jednego gatunku zjadają całe rośliny lub ich części, np. dąb szypułkowy i larwy motyli (piędzik przedzimek) czy liście pomidora i gąsienica zawisaka. Często zjadane rośliny nie są zabijane, a tylko uszkadzane przez roślinożercę, podczas gdy typowy drapieżnik zabija i zjada na ogół całą ofiarę. Rośliny bronią się przed presją roślinożerców: chemicznie przez wytworzenie trujących i niejadalnych substancji chemicznych, tzw. metabolitów wtórnych (np. strychnina, nikotyna, tanina) oraz poprzez wytworzenie obronnych przystosowań strukturalnych (np. kolce, ciernie). Roślinożercy często wpływają na tempo wzrostu zgryzanych roślin i odwrotnie: rośliny jako ofiary wywołują nieprawidłowy rozwój roślinożerców.
pasożytnictwo	populacja A „+” populacja B „–”	Populacja jednego gatunku (pasożyta) żyje w ciele (endopasożyty) lub na ciele (ektopasożyty) drugiego (gospodarza, czyli żywiciela). W szczególnym przypadku pasożytnictwa – **parazytoidy** – głównie małe osy składają jaja na powierzchni żywiciela lub w jego ciele, którym odżywiają się larwy, po czym go zabijają. Pasożyt jest mniejszy od żywiciela, żyje na jego koszt, a czasami, choć niezbyt często, przyczynia się do jego śmierci. Śmierć żywiciela może oznaczać śmierć pasożyta, pozbawionego pokarmu i środowiska życia, np. tasiemiec i człowiek, kleszcz i pies, komar i człowiek, węgorek i burak. Szczególną formą jest tzw. **pasożytnictwo socjalne**, w którym pasożyt nie odżywia się tkankami żywiciela, ale zmusza go do dostarczania pokarmu lub innych korzyści w inny sposób, np. osy, mrówki, kukułki składające jaja do gniazd innych gatunków ptaków (międzygatunkowe pasożytnictwo lęgowe), kaczki (wewnątrzgatunkowe pasożytnictwo lęgowe).
amensalizm	populacja A „0” populacja B „–”	Populacja jednego gatunku hamuje rozwój drugiej, nie ponosząc przy tym strat ani nie odnosząc korzyści, np. kormorany, które niszczą roślinność wokół swoich gniazd.

Oddziaływania neutralne		
neutralizm	populacja A „0” populacja B „0”	Populacje nie mają bezpośredniego wpływu na siebie (występują oddziaływania pośrednie, ponieważ w przyrodzie nie ma całkowitej niezależności), np. dzięcioł i ryjówka, sikora i bocian.

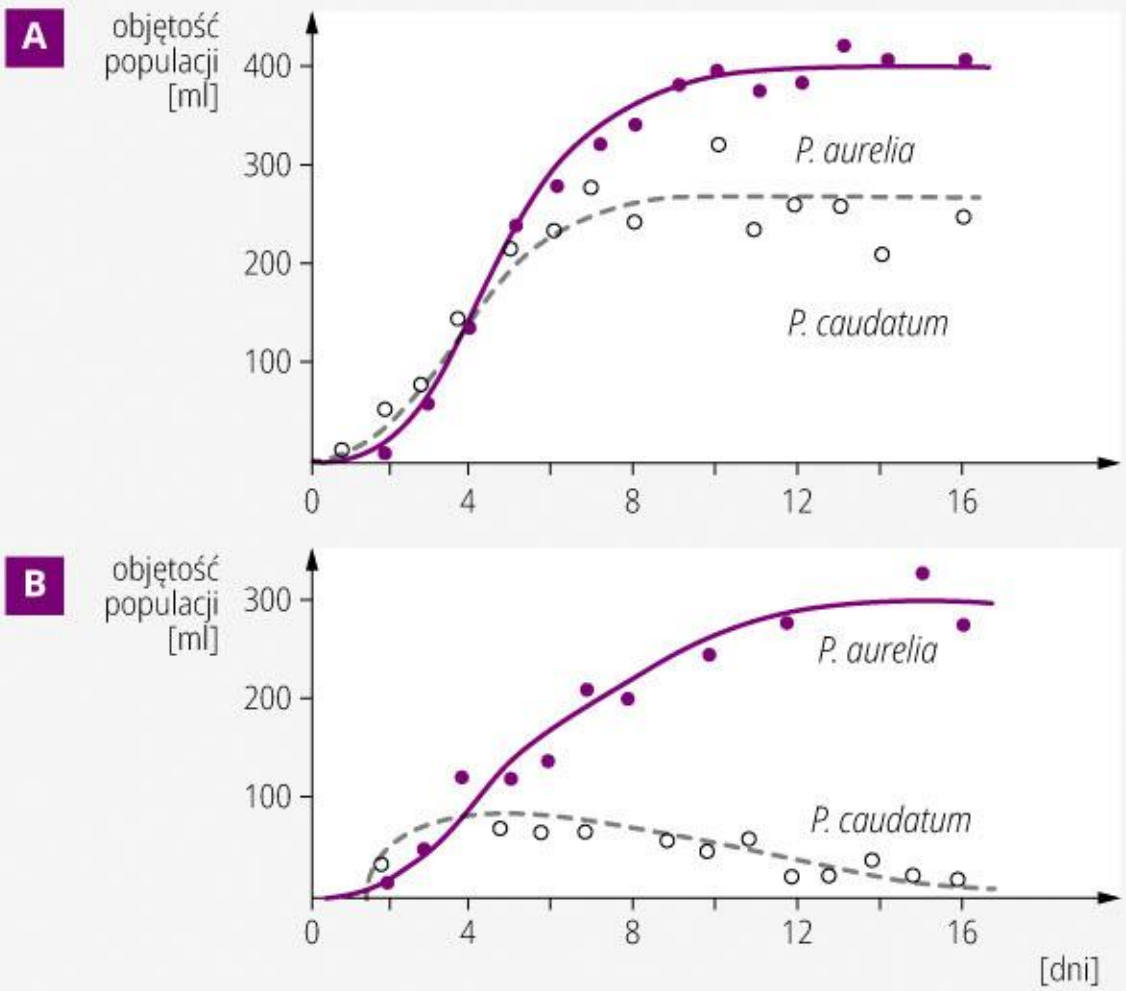
„+” wpływ korzystny; „–” wpływ niekorzystny; „0” brak wpływu.

Mutualizm obronny

Mutualizm obronny to współżycie z osobnikiem innego gatunku zapewniające ochronę przed drapieżnikiem czy konkurentem, np. akacja (ostre, puste kolce są mieszkaniem dla mrówek, a nektar z drzewa – pokarmem) i mrówki (usuwają z akacji zarodniki grzybów, roślinożerców), niektóre gatunki traw (dostarczające substancji odżywczych) i grzyby żyjące na powierzchni ich liści bądź wewnątrz ich tkanek (produkują toksyczne alkaloidy broniące przed roślinożercami).

Konkurencja wewnątrzgatunkowa i międzygatunkowa

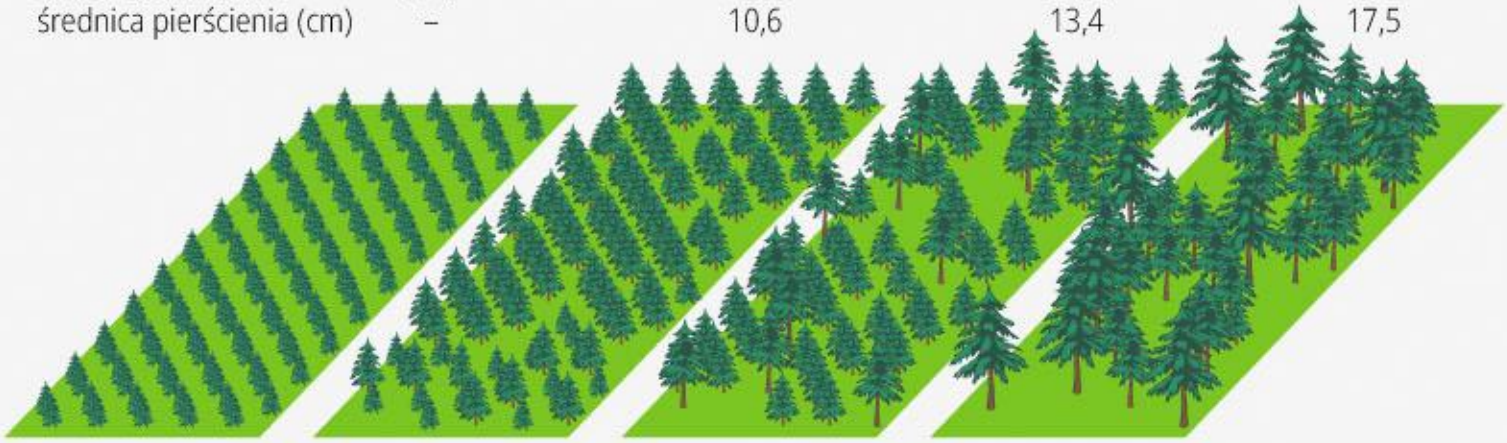
Konkurencja	
wewnątrzgatunkowa	**międzygatunkowa**
• konkurujące osobniki należą do tego samego gatunku • zwykle bardzo silna (osobniki tego samego gatunku mają podobne wymagania w stosunku do środowiska i korzystają z tych samych zasobów) • prowadzi do zróżnicowania wielkości osobników (tzw. **samoprzerzedzanie**) oraz zwiększonej śmiertelności (przeżywają i wydają potomstwo tylko osobniki najsilniejsze), przez co reguluje liczebność populacji • przyczynia się do migracji i terytorializmu	• konkurujące osobniki należą do różnych gatunków • zwykle słabsza od wewnątrzgatunkowej (osobniki dwóch lub więcej gatunków korzystają z tych samych, ograniczonych zasobów środowiska), bardzo powszechna w przyrodzie • prowadzi do rozejścia się nisz ekologicznych • przy nieobecności konkurenta gatunek może rozszerzyć swoją niszę ekologiczną (tzw. **wyzwolenie konkurencyjne**) • w obecności konkurenta gatunki mogą modyfikować cechy morfologiczne, fizjologiczne czy behawioralne (tzw. **konkurencyjne rozszczepienie cech**)



Eksperymenty rosyjskiego ekologa Gausego nad konkurencją między dwoma gatunkami pantofelków:
A. populacje dwóch gatunków pantofelków *Paramecium aurelia* i *P. caudatum* hodowane na tej samej pożywce, ale oddzielnie, rozwijały się podobnie, a liczebność każdej z nich wzrastała wykładniczo;
B. hodowane na tej samej pożywce, ale razem, co doprowadziło do tego, że w wyniku konkurencji o zasoby środowiska *P. aurelia* wyparł *P. caudatum*.

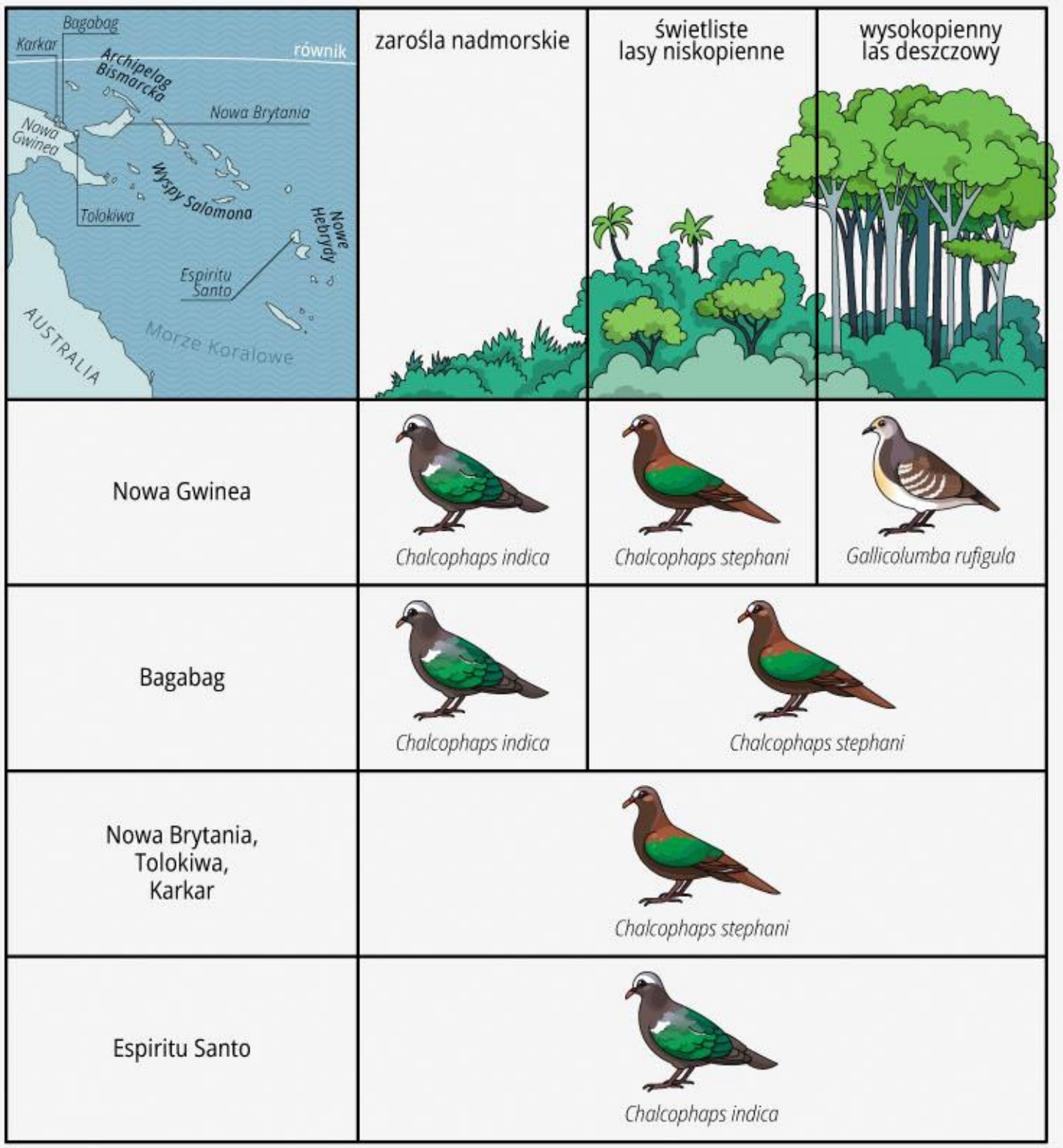
Samoprzerzedzanie się

rok	1879	1904	1913	1936
wiek (lata)	1	26	35	58
liczba drzew na 1ha	4447	4028	2872	1586
średnica pierścienia (cm)	–	10,6	13,4	17,5



Organizmy osiadłe (rośliny, pąkle, małże) nie mogą przeciwdziałać konkurencji przez ucieczkę. W jednowiekowej populacji roślin w wyniku konkurencji przeżywają osobniki o większych rozmiarach ciała. Zjawisko to nosi nazwę **samoprzerzedzania się** – przy wzroście liczebności populacji wzrost masy ciała niektórych osobników jest szybszy niż tempo wymierania innych (biomasa roślin powinna być odwrotnie proporcjonalna do zagęszczenia).

Konkurencyjne uwolnienie



W przypadku nieobecności konkurenta gatunek może rozszerzyć swoją niszę realizowaną (tzw. konkurencyjne uwolnienie), np. trzy gatunki gołębi gwinejskich (*Chalcophaps indica*, *Ch. stephani*, *Gallicolumba rufigula*), żyjące w trzech biotopach wysp Pacyfiku, pod nieobecność jednego lub dwóch gatunków zajmują ich biotopy.

Konkurencyjne rozszczepienie cech

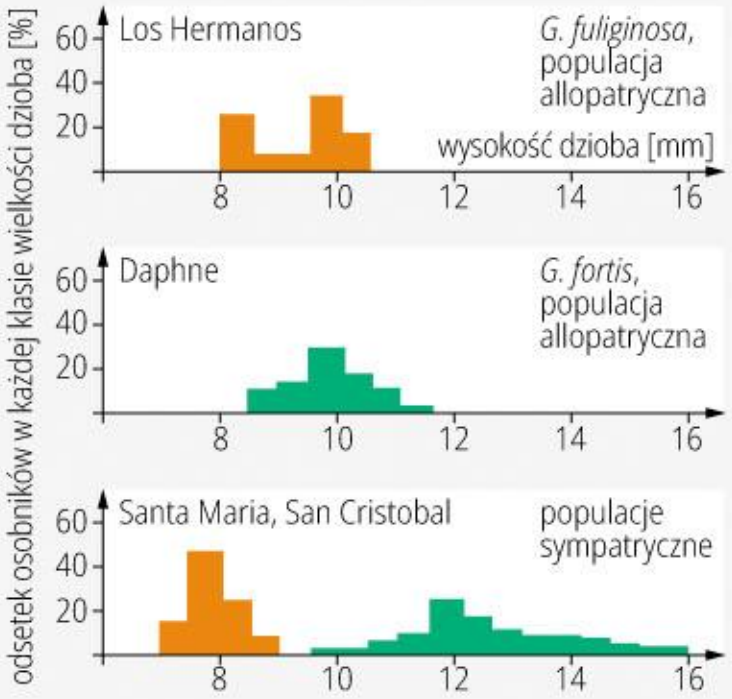
Konkurencyjne rozszczepienie cech polega na rozszczepieniu (dywergencji) cech morfologicznych, fizjologicznych czy behawioralnych gatunków współwystępujących w jednym miejscu.



G. fuliginosa



G. fortis



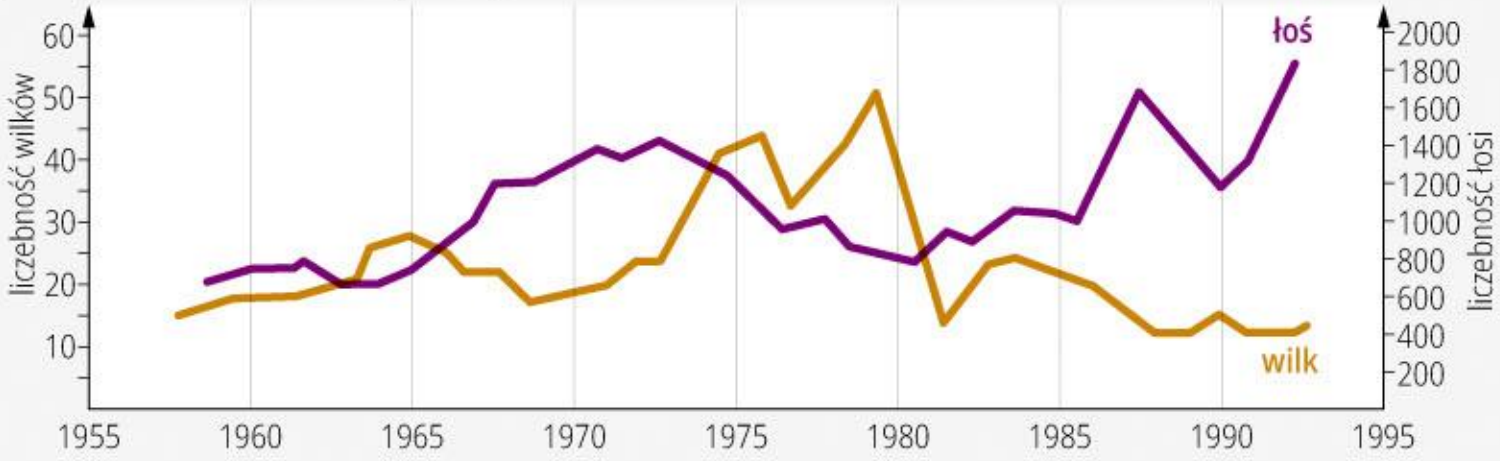
Populacje dwóch gatunków zięb Darwina (*Geospiza fuliginosa*, *G. fortis*) odseparowane geograficznie (populacje allopatryczne) odżywiają się podobnym pokarmem i w związku z tym mają podobne morfologicznie dzioby. Jeżeli populacje tych gatunków będą sympatryczne (geograficznie zachodzące), to *G. fuliginosa* ma mniejszy i niższy dziób, a *G. fortis* – większy i wyższy, ponieważ korzystają z innego rodzaju pokarmu.

Konkurencja przez eksploatację i interferencję

Konkurencja	
przez eksploatację, czyli odbieranie (przez zabór)	**przez interferencję, czyli ustępowanie (na zabój)**
• oddziaływania pośrednie • nierówny rozdział zasobów środowiska • osobniki jednego lub różnych gatunków korzystają z tych samych, ograniczonych zasobów środowiska • wzajemne ograniczanie i wyczerpywanie dostępu do wspólnych zasobów środowiska	• oddziaływania bezpośrednie • nierówny rozdział zasobów środowiska • organizmy przeszkadzają sobie nawzajem, korzystając z tych samych zasobów środowiska, nawet jeśli nie są one ograniczone • konkurencja o terytorium i pokarm • ograniczanie dostosowania konkurenta przez wytwarzanie związków toksycznych (u roślin – allelopatia) • może prowadzić do utraty dostępu do zasobów środowiska lub śmierci jednego z konkurentów
np. kijanki żaby *Rana tigrina*, u których wraz ze wzrostem zagęszczenia zmniejsza się ilość pokarmu dostępnego dla każdego osobnika i spada tempo wzrostu	np. lwy zabijające w walce mniejsze drapieżniki dwa gatunki konkurujących trojszyków zabijających się nawzajem; północnoamerykański orzech czarny *Juglans nigra* zabija lub hamuje wzrost innych roślin w promieniu do 25 m wokół pnia

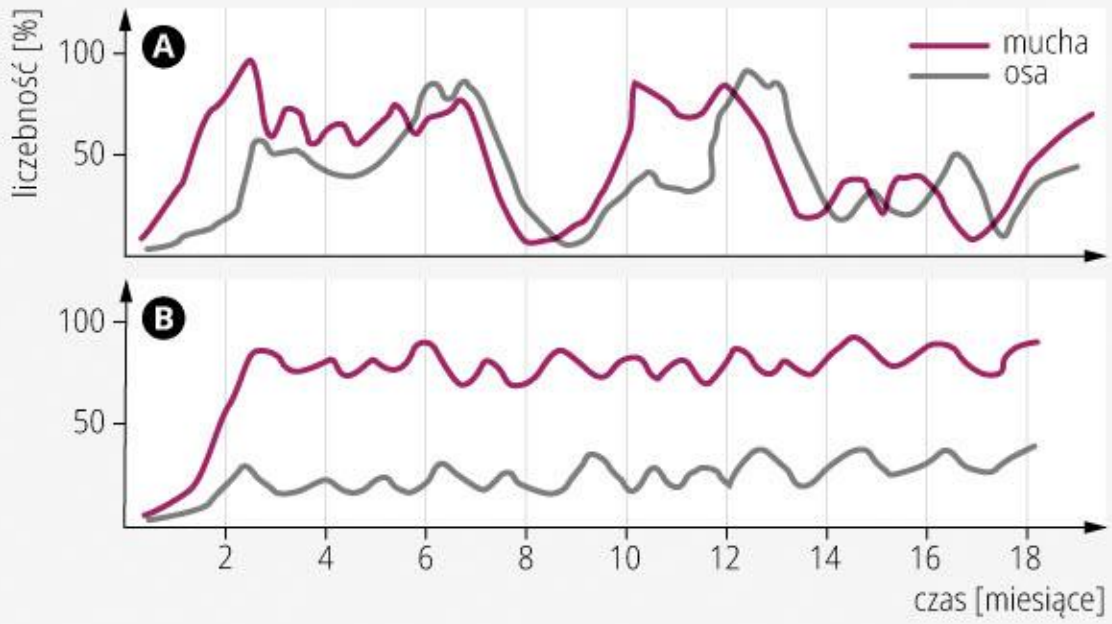
Równowaga w układach: drapieżca – ofiara

Drapieżcy i ich ofiary regulują wzajemnie swoją liczebność. Drapieżcy ograniczają konkurencję w populacjach ofiar, są naturalnymi regulatorami ich liczebności.



Zmiany liczebności wilków (drapieżnik) i łosi (ofiara). Jeśli w wyniku intensywnych połowów drapieżnika spada liczebność ofiar, to po pewnym czasie na skutek braku pożywienia zmaleje liczebność drapieżnika. Wówczas następuje odrodzenie populacji ofiary i zmiany liczebności obu populacji cyklicznie się powtarzają. Zmiany w układzie drapieżnik – ofiara, roślinożerca – roślina mają charakter ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Równowaga w układach: żywiciel – pasożyt



A. Dzikie hodowle muchy domowej i osy połączone pierwszy raz – oscylacje liczebności obu gatunków.
B. Hodowla z osobników pochodzących z dwuletniej hodowli – liczebność obu populacji pozostawała w względnie stałej równowadze (wzrost odporności żywiciela na pasożyta, mniejsza zjadliwość pasożyta względem żywiciela).

Koewolucja

Bliski związek między drapieżnikiem i ofiarą czy pasożytem i żywicielem stwarza warunki do wzajemnego przystosowania się, czyli **koewolucji**. Prowadzi to często do „wyścigu zbrojeń", który polega na wytwarzaniu nowych adaptacji u drapieżników i pasożytów oraz kontradapatacji u ofiar i żywicieli.

Koewolucja w układzie drapieżnik (mięsożerca) – ofiara

Drapieżnik	Ofiara
• wyostrzone zmysły słuchu i powonienia • pazury, zęby jadowe, żądła, toksyny • szybkość, zwinność • możliwość maskowania się	• ucieczka • ubarwienie ochronne (ubarwienie kryptyczne) • ubarwienie ostrzegawcze (aposematyczne) • pozy odstraszające, np. stroszenie sierści, pokazywanie kłów, tupanie kończynami, okrzyki alarmujące • niejadalność (środki chemiczne, np. pszczoły, żmije, skunksy, tchórze; środki mechaniczne, np. kolce u jeży, kopyta i rogi u przeżuwaczy)

Drapieżnik	Ofiara
	• **mimikra** – upodabnianie się gatunków bezbronnych do innych niejadalnych lub drapieżnych (mimikra Batesa, batesowska lub zwodnicza, np. niedrapieżna mucha naśladuje drapieżnego pająka, larwa ćmy upodabnia się do głowy małego jadowitego węża) albo dwa lub więcej niejadalnych, niespokrewnionych gatunków upodabnia się do siebie (mimikra Müllera, müllerowska, np. osy czy pszczoły) • **mimetyzm** – upodabnianie się do środowiska barwą, wzorem ubarwienia (np. mątwa, płaszczka, samice ptaków) lub kształtem (np. patyczak, liścionóg) • kamuflaż, np. przyczepione do ciała muszelki, ziarna piasku u niektórych zwierząt wodnych (skąposzczety, skorupiaki, ryby) • obrona indukowana (uruchamianie mechanizmów obronnych dopiero w momencie bezpośredniego zagrożenia) • skupiskowość (stada, ławice) • modyfikacja historii życia (przyspieszenie dojrzewania, opieka nad potomstwem, produkcja dużej liczby potomstwa) • polimorfizm rozwojowy (wielopostaciowość)

Polimorfizm

Polimorfizm to zjawisko zróżnicowania fenotypowego osobników w populacji, np. koloru kwiatów czy muszli u ślimaków.



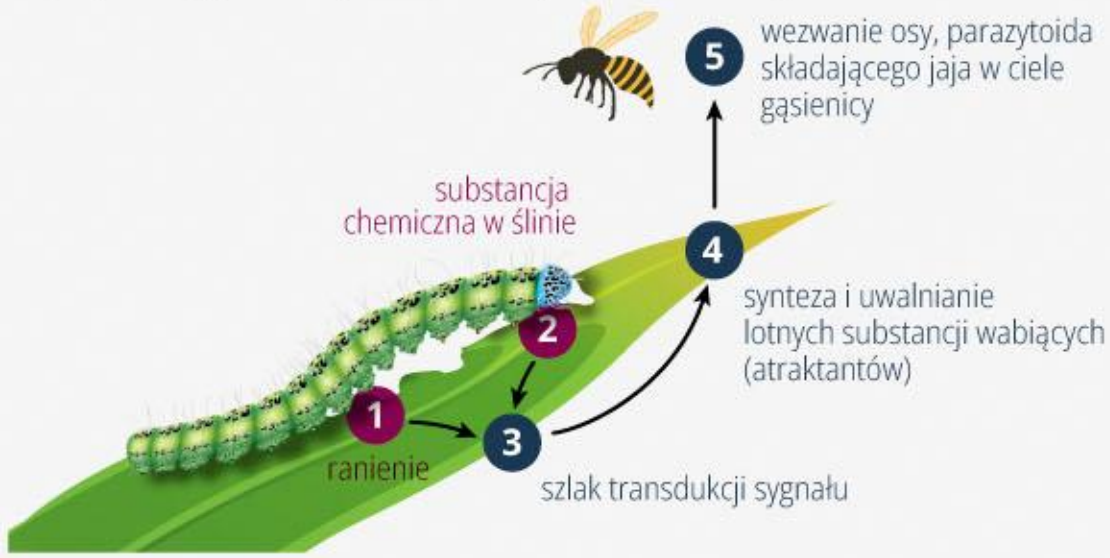


Kolor i pasiasty wzór na muszli wstężyka gajowego są kamuflażem. Drapieżnik wybiera najczęściej osobniki o typowym kolorze i wzorze muszli, zwiększając szanse przeżycia rzadko występujących osobników.

Koewolucja w układzie roślinożerca – roślina

Roślinożerca	Roślina
• rozwój zębów (siekaczy) umożliwiających ścieranie pokarmu • wielokomorowy żołądek, np. u przeżuwaczy • długie jelito cienkie • symbioza z bakteriami i Protista (np. przeżuwacze, termity) • dobrze rozwinięty zmysł smaku i węchu umożliwiające rozpoznawanie roślin trujących	• **adaptacje strukturalne** (mechaniczne): wytwarzanie niestawialnych dla roślinożerców substancji, takich jak celulozy, ligniny, suberyny, krzemionki; wytwarzanie kolców, cierni, włosków parzących czy kłujących • **adaptacje fizjologiczne (chemiczne)** w postaci związków toksycznych działających w dużej masie, ale tanich w produkcji dla rośliny i trwałych w działaniu: garbniki wysycające głównie korę i liście, utrudniają trawienie pokarmu w żwaczu roślinożerców
• detoksykacja metaboliczna poprzez produkcję wyspecjalizowanych enzymów • dostosowanie cyklu rozwojowego i okresu żerowania do cyklu produkcji związków szkodliwych przez rośliny	• **adaptacje fizjologiczne (chemiczne)** w postaci bardzo wyspecjalizowanych związków toksycznych działających w niewielkiej ilości: glikozydy (pod wpływem działania śliny roślinożercy aktywują się i wydziela się cyjanowodór, który blokuje enzymy układu oddechowego); alkaloidy (uaktywniają się dopiero w przewodzie pokarmowym roślinożercy); specyficzne aminokwasy i białka; terpenoidy (olejki eteryczne ostrzegające roślinożercę o niejadalności rośliny)

Są rośliny, które przywabiają zwierzęta drapieżne, aby chronić się przez roślinożercami.



Kukurydza uwalnia lotne substancje wabiące osy, które składają jaja w ciele gąsienicy żerującej na liściach kukurydzy.

„Wyścig zbrojeń" w układzie drapieżnik – ofiara

Działanie drapieżnika	Adaptacja drapieżnika	Kontradaptacja ofiary
poszukiwanie zdobyczy	• zwiększona sprawność zmysłu wzroku • wzorzec poszukiwania • poszukiwanie ograniczone do terenów, gdzie jest dużo ofiar	• mimetyzm • polimorfizm • rozproszenie
rozpoznanie ofiary	• nauka	• mimikra
chwytanie zdobyczy	• zdolności motoryczne (szybkość, zręczność) • bronie czepne	• ucieczka, zachowania zaskakujące • bronie obronne
manipulacja zdobyczą	• umiejętność opanowania ofiary • zdolność detoksykacji	• aktywna obrona (kolce, twarde osłony ciała) • toksyny

„Wyścig zbrojeń" w układzie pasożyt – żywiciel

Pasożyt	Żywiciel
• złożony cykl rozwojowy z wieloma żywicielami pośrednimi, np. przywra krwi zaraża ok. 200 mln ludzi na ziemi • specyficzne systemy rozrodcze (np. rozmnażanie bezpłciowe, hermafrodytyzm, partenogeneza stała lub cykliczna) • produkcja ogromnej liczby zarodników lub jaj (zwiększenie szans zarażenia nowego żywiciela) • długowieczne formy przetrwalnikowe • żywiciel pośredni jest wektorem pasożyta lub służy do optymalnego wypełnienia środowiska przez pasożyta • zmiana zachowania żywicieli, np. kolcogłowy zmuszają żywiciela – skorupiaka do opuszczenia kryjówki, przez co zwiększa się prawdopodobieństwo zjedzenia przez następnego żywiciela • ograniczanie przeżywalności żywicieli • spłaszczone ciało, obecność elementów czepnych, brak pewnych narządów i układów (np. układu pokarmowego), oddychanie beztlenowe u pasożytów wewnętrznych (tasiemce, przywry)	• u zwierząt odpowiedź immunologiczna komórkowa (limfocyty T) i humoralna (limfocyty B, przeciwciała); oczyszczanie powierzchni ciała z ektopasożytów; migracje • u roślin wytwarzanie chemicznych związków obronnych; miejscowe obumieranie komórek (tzw. nekroza)

Podział pasożytów

Kryterium podziału	Rodzaj pasożytnictwa	Cechy charakterystyczne	Przykłady
charakter pasożytnictwa	pasożyty obligatoryjne (bezwzględne)	przez całe życie prowadzą pasożytniczy tryb życia	przywry, tasiemce
	pasożyty fakultatywne (względne)	mogą prowadzić wolny lub pasożytniczy tryb życia w zależności od warunków	węgorki jelitowe
miejsce występowania	pasożyty zewnętrzne (ektopasożyty)	pasożytują na powierzchni lub w jamach ciała żywiciela, są w ciągłym kontakcie ze środowiskiem zewnętrznym	kleszcze, wszy, pchły, świerzbowce
	pasożyty wewnętrzne (endopasożyty)	pasożytują wewnątrz ciała żywiciela	tasiemce, glisty ludzkie, owsiki
czas pasożytowania	pasożyty czasowe	tylko na czas pobierania pokarmu pasożytują na ciele żywiciela	pijawki, kleszcze
	pasożyty stałe	na każdym etapie swojego życia prowadzą pasożytniczy tryb życia	glisty ludzkie, owsiki zarodziec malarii
	pasożyty okresowe	pasożytniczy tryb życia prowadzą tylko na określonym etapie życia	bąki, larwy gzów bydlęcych
liczba żywicieli	pasożyty monokseniczne (jednodomowe)	cały cykl rozwojowy prowadzą w jednym żywicielu	glisty ludzkie, owsiki
	pasożyty pliksenicznе (wielodomowe)	cykl rozwojowy zachodzi w kilku żywicielach na leżących do różnych gatunków	motylica wątrobowa, bruzdogłowiec szeroki
sposób wykorzystania żywiciela	pasożyty socjalne	składanie jaj przez ptaki do gniazd innych gatunków	kukułki, starzyki brunatnogłowe
		zmuszanie osobników innych gatunków do opieki nad potomstwem	mrówki hurtnice, osy

Drapieżnictwo i pasożytnictwo

Podobieństwa	Różnice
• Atakują (zarażają) osobniki innego gatunku. • Odżywiają się żywymi organizmami.	• Pasożyt jest zwykle mniejszy od swojego żywiciela, a drapieżnik – większy od ofiary. • Potencjał biotyczny (wrodzona zdolność do zwiększania swojej liczebności) u drapieżnika – mały, a u pasożyta – duży. • Specjalizacja (adaptacja do trybu życia) u pasożyta związana z konkretnym gatunkiem żywiciela, a u drapieżnika – z wieloma ofiarami. • Drapieżnik zabija ofiarę, a pasożyt zachowuje możliwość trwałej egzystencji w ciele żywiciela. • Pasożyt żyje zwykle kosztem jednego żywego organizmu, a drapieżca w ciągu swojego życia zabija wiele ofiar.

12.4. Struktura i funkcjonowanie ekosystemu

Ekosystem

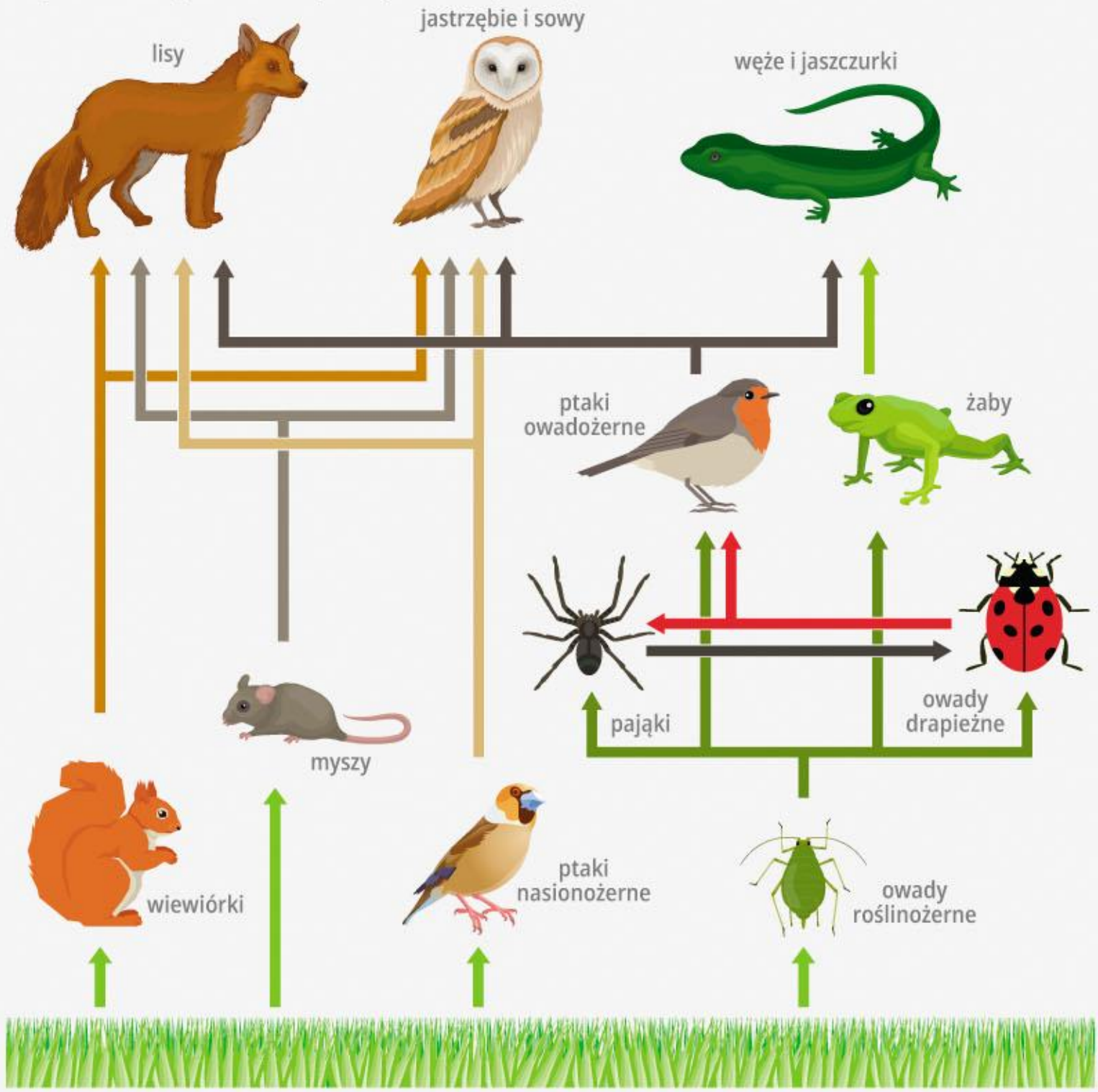
Ekosystem – jest to fragment biosfery, układ ekologiczny składający się z zespołu organizmów żywych (**biocenozy**) oraz ich środowiska nieożywionego (**biotopu**), z którym organizmy żywe pozostają we wzajemnych zależnościach (realizują procesy produkcji i rozkładu przy zamkniętym obiegu materii i z wykorzystaniem przepływającej przez ten układ energii). Jest pod względem energetycznym układem otwartym, o dość trudnych do wyznaczenia granicach. Strefę graniczną między dwoma typami ekosystemów nazywamy **ekotonem** (np. granica lasu i ekosystemów trawiastych, strefa litoralu, estuaria).

Ekotony są strefami o skomplikowanej strukturze przestrzennej, większym bogactwie gatunkowym, większej produkcji pierwotnej i tempie krążenia materii oraz wykorzystania abiotycznych zasobów środowiska niż w sąsiadujących ekosystemach.

Poziomy troficzne

- **Producenci** – organizmy autotroficzne, czyli samożywne, wytwarzające materię organiczną w procesie fotosyntezy lub chemosyntezy (rośliny zielone, część protistów, bakterie fotosyntetyzujące i chemosyntetyzujące), wykorzystywaną do procesów metabolicznych oraz częściowo wbudowaną w ciała producentów, tworzącą tzw. **biomasę**.
- **Konsumenci (I rzędu i kolejnych rzędów)** – organizmy heterotroficzne, czyli cudzożywne, odżywiające się żywą biomasą (biofagi) lub martwą materią organiczną (saprobionty – saprofagi i saprofity) (zwierzęta, grzyby, część bakterii i protistów).
- **Drapieżniki szczytowe** – gatunki, które nie są zjadane przez jakiekolwiek inne w sieci pokarmowej.
- **Reducenci (destruenci)** – część konsumentów, głównie bakterie i grzyby saprofityczne, które odżywiają się martwą materią organiczną (martwe szczątki producentów i konsumentów) na proste związki nieorganiczne wykorzystywane przez producentów do produkcji biomasy. Najczęściej występują na dnie ekosystemu, gdzie gromadzi się największa ilość martwej materii organicznej (gleba, ściółka, dno zbiorników wodnych).

Fragment sieci pokarmowej ekosystemu lądowego

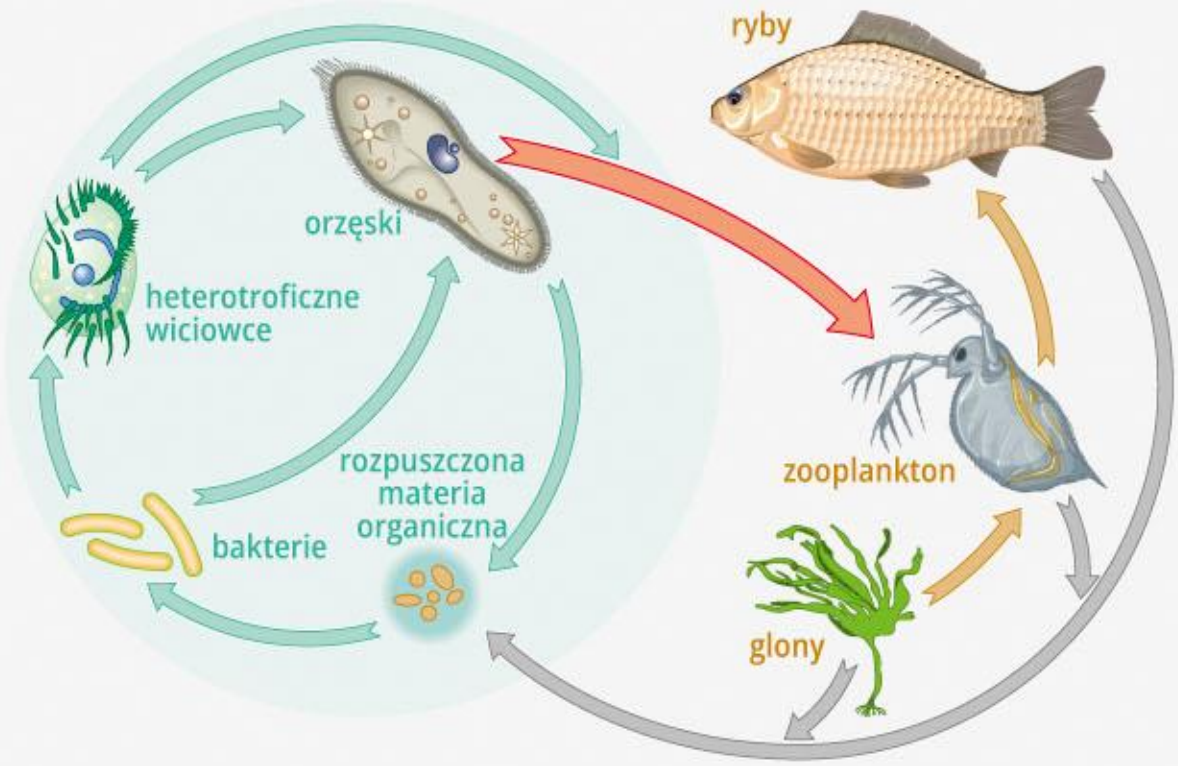


Łańcuchy i sieci troficzne

Łańcuch pokarmowy (troficzny) – uporządkowany szereg grup organizmów, z których każda jest podstawą pożywienia następnej grupy (roślina zostaje zjedzona przez zwierzę, to zaś – zjedzone przez inne zwierzę, a kolejne przez jeszcze inne itd.).

Sieć pokarmowa (troficzna) – zależności pokarmowe powstające w wyniku łączenia, krzyżowania i rozgałęziania się łańcuchów pokarmowych (jeden gatunek może należeć do kilku poziomów).

Rodzaj łańcucha pokarmowego	Opis	Przykład
spasania (łańcuch biofagów)	producenci (rośliny zielone) – konsumenci I rzędu (zwierzęta roślinożerne) – konsumenci II rzędu, czyli drapieżniki I rzędu (zwierzęta mięsożerne, drapieżne) – konsumenci III rzędu, czyli drapieżniki II rzędu (zwierzęta mięsożerne, drapieżne)	igły sosny – mszyce – pająki sinice – widłonogi – sardynki
detrytusowy (łańcuch saprofagów)	martwa materia organiczna (detrytus) – mikroorganizmy i detrytożercy (konsumenci I rzędu) – konsumenci II rzędu i dalszych	martwa materia organiczna – dżdżownica – kura – człowiek martwa materia organiczna – wieloszczet – ślimak – ryba
Pętla mikrobiologiczna (ang. *microbial loop*) jest szczególną odmianą detrytusowego łańcucha pokarmowego w morzach i jeziorach. Poznano ją m.in. dzięki badaniom prowadzonym na jeziorach mazurskich przez polskich hydrobiologów. Rozpoczyna się od rozpuszczonej materii organicznej (uwolnionej głównie przez glony), którą odżywiają się bakterie, które z kolei są zjadane przez heterotroficzne pierwotniaki, a one stanowią pokarm większych planktonowych zwierząt. Dzięki temu energia z pętli mikrobiologicznej zostaje włączona do łańcucha spasania.		



Pętla mikrobiologiczna

Saprobionty, saprofity i saprofagi

Saprobionty (inaczej saproby) – organizmy żyjące wśród rozkładającej się materii organicznej, którą się odżywiają. Zaliczamy do nich saprofity i saprofagi.

Saprofity (inaczej roztocza) – organizmy wykorzystujące martwą materię organiczną (bakterie, grzyby, niektóre rośliny wyższe żyjące w mikoryzie z grzybami).

Saprofagi – zwierzęta żyjące w glebie, ściółce leśnej, mułach dennych i ekosystemach wodnych, odżywiające się martwą materią organiczną (martwe lub szczątki roślin i zwierząt, odchody zwierząt). Ze względu na rodzaj martwej materii organicznej wyróżniamy: **detrytusożerców (detrytofagów)** odżywiających się detrytusem (martwe szczątki roślin i zwierząt); **koprofagów** odżywiających się odchodami; **nekrofagów** odżywiających się padłymi zwierzętami.

Modele regulacji liczebności między poziomami troficznymi w biocenozie

Model wstępujący (regulacja „z dołu", ang. *bottom-up*) zakłada regulację liczebności populacji na poszczególnych poziomach troficznych na drodze konkurencji o ograniczone zasoby środowiska (jednokierunkowy wpływ od niższego do wyższego poziomu troficznego).

$$N \Rightarrow V \Rightarrow H \Rightarrow P$$

N – substancje odżywcze

V – rośliny

H – roślinożercy

P – drapieżniki

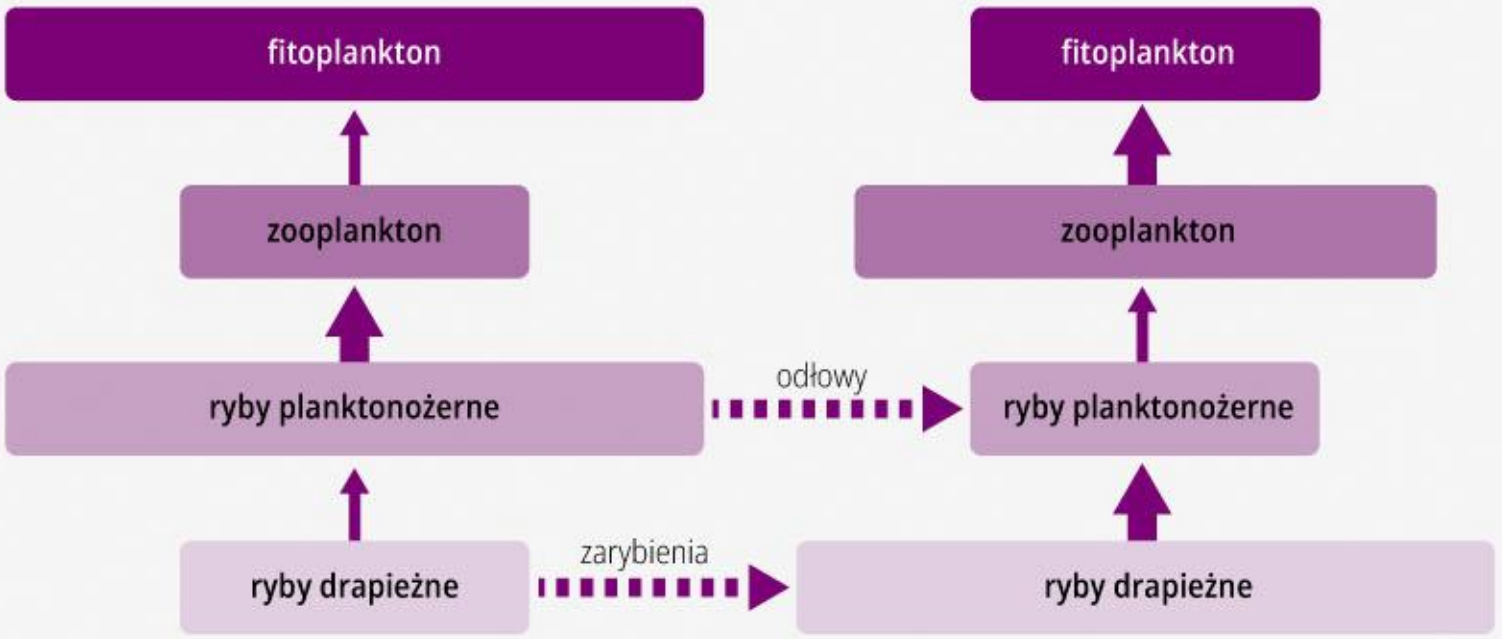
Obecność lub brak substancji odżywczych (N) kontroluje liczbę roślin (V), a te kontrolują liczbę roślinożerców (H), od których zależy liczba drapieżców (P).

Model zstępujący (regulacja „od góry", ang. *top-down*) zakłada, że głównie drapieżniki regulują liczebność roślinożerców, a roślinożercy ograniczają liczbę roślin, natomiast rośliny ograniczają poziom substancji pokarmowych niezbędnych do wzrostu.

$$N \Leftarrow V \Leftarrow H \Leftarrow P$$

Według tego modelu, jeśli z biocenozy jeziora usuniemy drapieżniki z najwyższego poziomu, to spowoduje to wzrost ilościowy drapieżników niższych poziomów, przez co obniży się liczebność roślinożerców, a wzrośnie liczba planktonu, co pociągnie za sobą spadek stężenia substancji pokarmowych.

Ten model ma zastosowanie w **biomanipulacji**, np. wzrost zagęszczenia konsumentów wyższych poziomów troficznych w jeziorze zapobiega zakwitom glonów (eutrofizacji).



Ograniczenia długości łańcuchów pokarmowych

Hipoteza energetyczna – długość łańcuchów jest ograniczona przez nieefektywny przepływ energii wzdłuż łańcucha. Tylko 10% energii zmagazynowanej w materii organicznej każdego poziomu troficznego jest przekształcone w materię następnego poziomu troficznego.

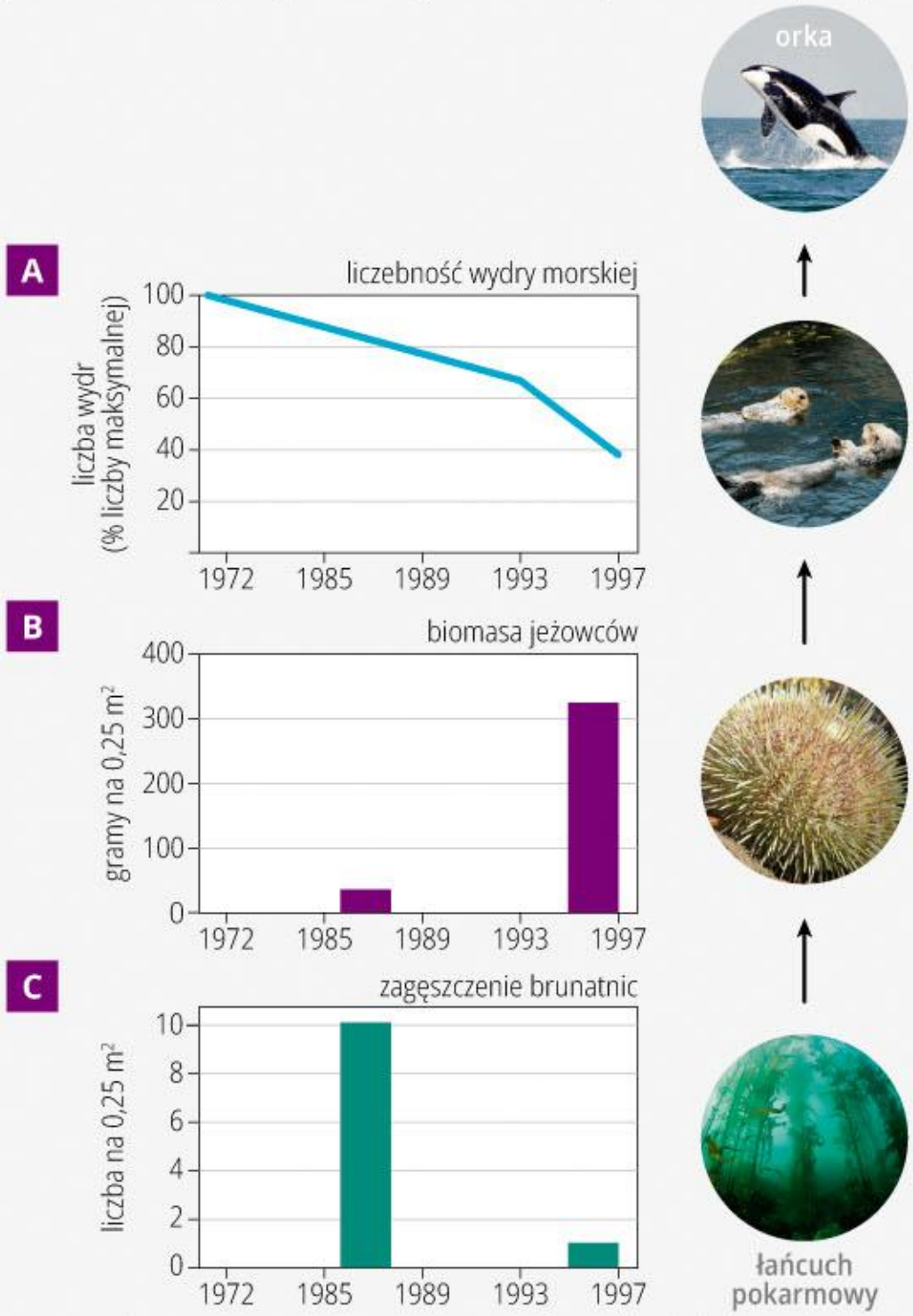
Łańcuchy pokarmowe mogą być dłuższe w środowisku o wyższej produktywności fotosyntezy.

Hipoteza dynamicznej stabilizacji – długie łańcuchy są mniej stabilne niż krótkie, ponieważ fluktuacje na niższych poziomach troficznych wzrastają na wyższych poziomach i prowadzą do wyginięcia drapieżników szczytowych. Przy długim łańcuchu pokarmowym drapieżniki szczytowe wolniej się regenerują i wracają do swojej aktywności.

Gatunki istotnie wpływające na funkcjonowanie ekosystemów

Gatunki dominujące – gatunki najczęściej spotykane lub te, które mają łącznie największą biomasę, kontrolują występowanie i rozmieszczenie innych gatunków i czynników abiotycznych. Są one określane oddzielnie dla każdego poziomu troficznego, np. gatunkami dominującymi w lasach iglastych są świerki, jodły, modrzewie i sosny.

Gatunki zwornikowe – gatunki o decydującej roli ekologicznej lub dominującej niszy ekologicznej, np. wydra morska jako drapieżnik zwornikowy Pacyfiku czy rozgwiazda ***Pilaster ochraceous*** odżywiająca się głównie pąklami i małżami. Strata takiego gatunku powoduje zanik populacji pewnych gatunków i poważne zmiany liczebności innych (podobnie jak utrata drapieżników szczytowych).



Wydra morska odżywia się chętnie jeżowcami. Wytępienie wydr morskich, które masowo pozyskiwano na futra (A), spowodowało nadmierne rozmnożenie się jeżowców (B), a tym samym spadek zagęszczenia brunatnic, którymi odżywiały się jeżowce (C).

Gatunki założycielskie – gatunki, które radykalnie zmieniają fizycznie ekosystem, np. bobry poprzez ścinanie drzew i budowanie tam tworzą podmokłe rozlewiska.

12.5. Przepływ energii i krążenie materii w przyrodzie

Produktywność ekosystemów

Produktywność – ogólny termin odnoszący się do procesów ekologicznych związanych z wytwarzaniem materii organicznej i jej krążeniem w ekosystemie oraz uwzględniający wszystkie procesy bilansu energetycznego (konsumpcja, wydalanie, oddychanie). Wyrażana jest w jednostkach energii (np. kJ/m²/dzień) lub suchej masie materii organicznej (np. kg/ha/rok). Końcowym efektem produktywności jest produkcja.

Produkcja – ilość materii lub energii wytwarzanej przez osobnika, populację lub biocenozę w określonym czasie.

Wydajność ekologiczna – stosunek produkcji na wyższym poziomie troficznym do produkcji na niższym poziomie troficznym.

Produkcja	
pierwotna (na poziomie producentów)	wtórna (na poziomie konsumentów)

Produkcja pierwotna brutto – całość materii organicznej wyprodukowanej przez producentów podczas fotosyntezy łącznie z częścią materii zużytą podczas oddychania.

Produkcja pierwotna netto – materia organiczna zmagazynowana w tkankach roślinnych, czyli produkcja brutto pomniejszona o straty związane z oddychaniem.

Produkcja wtórna brutto – całość materii organicznej przyswojonej przez konsumentów łącznie z częścią materii zużytą na koszty utrzymania (oddychanie, utrzymanie stałej temperatury ciała).

Produkcja wtórna netto – materia organiczna zmagazynowana w tkankach konsumentów, czyli produkcja brutto pomniejszona o straty związane z kosztami utrzymania.

Zasada zachowania energii – energia we wszechświecie jest stała, nie może być tworzona ani niszczona, może jedynie przepływać lub się zmieniać.

Ekosystemy są energetycznie **układami otwartymi** i przetwarzają energię dopływającą z zewnątrz (słońce lub energia chemiczna pochodząca z procesu chemosyntezy). Energia przepływająca przez ekosystemy jest rozpraszana w postaci ciepła.

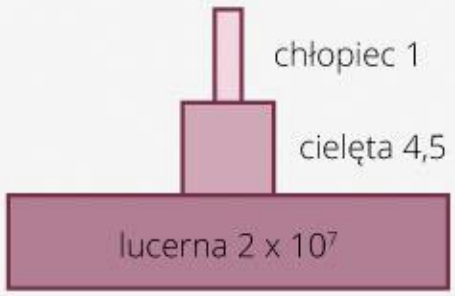
Zasada zachowania masy – materia nie może być tworzona ani niszczona, w przyrodzie nie dzieje się nic oprócz przekształcenia lub rozpadu związków wcześniej powstałych.

Ponieważ masa jest zachowywana, materia w ekosystemie krąży.

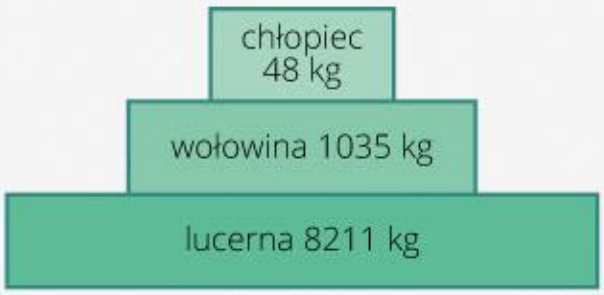
Ekosystem	Produkcja pierwotna netto/g/m²/rok (średnio)
puszcza tropikalna	2200
las liściasty mieszany	1300
tajga	800
tundra	140
sawanna	900
step	600
półpustynie/pustynie	90/3
trzcina cukrowa (Hawaje)	4000
uprawy rolne ogółem	650
rafy koralowe	2500
szelfy	360
wody otwartego oceanu	125

Zależności pokarmowe w ekosystemach

Zależności pokarmowe w ekosystemie można przedstawić w postaci piramid: liczebności, biomasy i energii.



Piramida liczebności przedstawia liczebność organizmów występujących na poszczególnych poziomach troficznych.

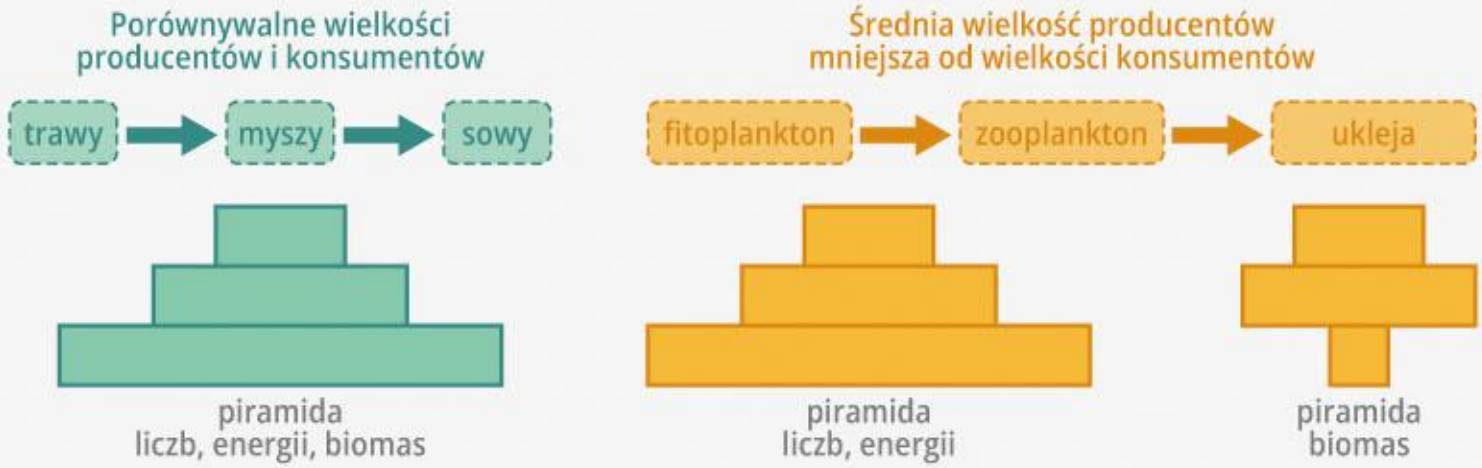


Piramida biomasy przedstawia biomasę wszystkich organizmów występujących na poszczególnych poziomach troficznych.



Piramida energii przedstawia ilość energii zgromadzonej na poszczególnych poziomach troficznych. Piramida energii zawsze przyjmuje kształt typowej piramidy. Zgodnie z II zasadą termodynamiki, na każdym poziomie łańcucha pokarmowego ilość energii przeznaczonej na produkcję jest mniejsza, niż ilość energii pobranej. Energia jest tracona przy przejściu na kolejny, wyższy poziom troficzny.

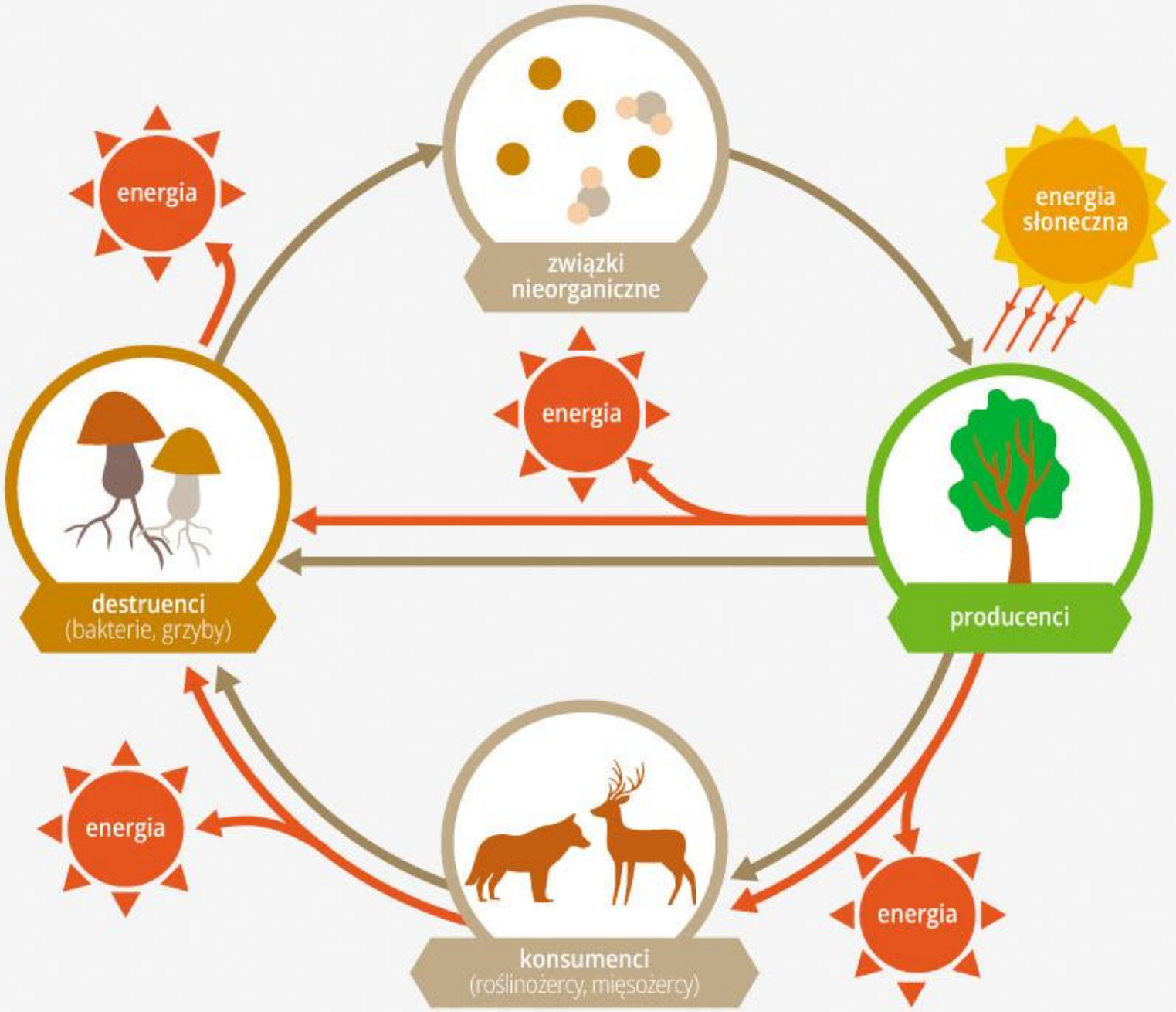
Porównanie piramid



Jeżeli wielkości producentów i konsumentów są podobne, to piramidy liczb i biomasy są również podobne. Gdy rozmiary osobników poszczególnych poziomów troficznych są różne, to piramidy liczb i biomasy mogą być odwrócone, konsumenci I rzędu przeważają nad producentami. Taka odwrócona piramida biomasy jest stwierdzana w niektórych ekosystemach wodnych, takich jak kanał La Manche. Producenci – fitoplankton o dużej produktywności – są szybko zjadani przez zooplankton o większej biomasie i dłużej żyjący.

Odwrócona piramida liczebności występuje m.in. w ekosystemach, w których producentami są duże drzewa i wówczas liczebność konsumentów jest większa od liczebności producentów (np. na jednym drzewie żeruje wielu konsumentów).

Krążenie materii i przepływ energii przez ekosystem

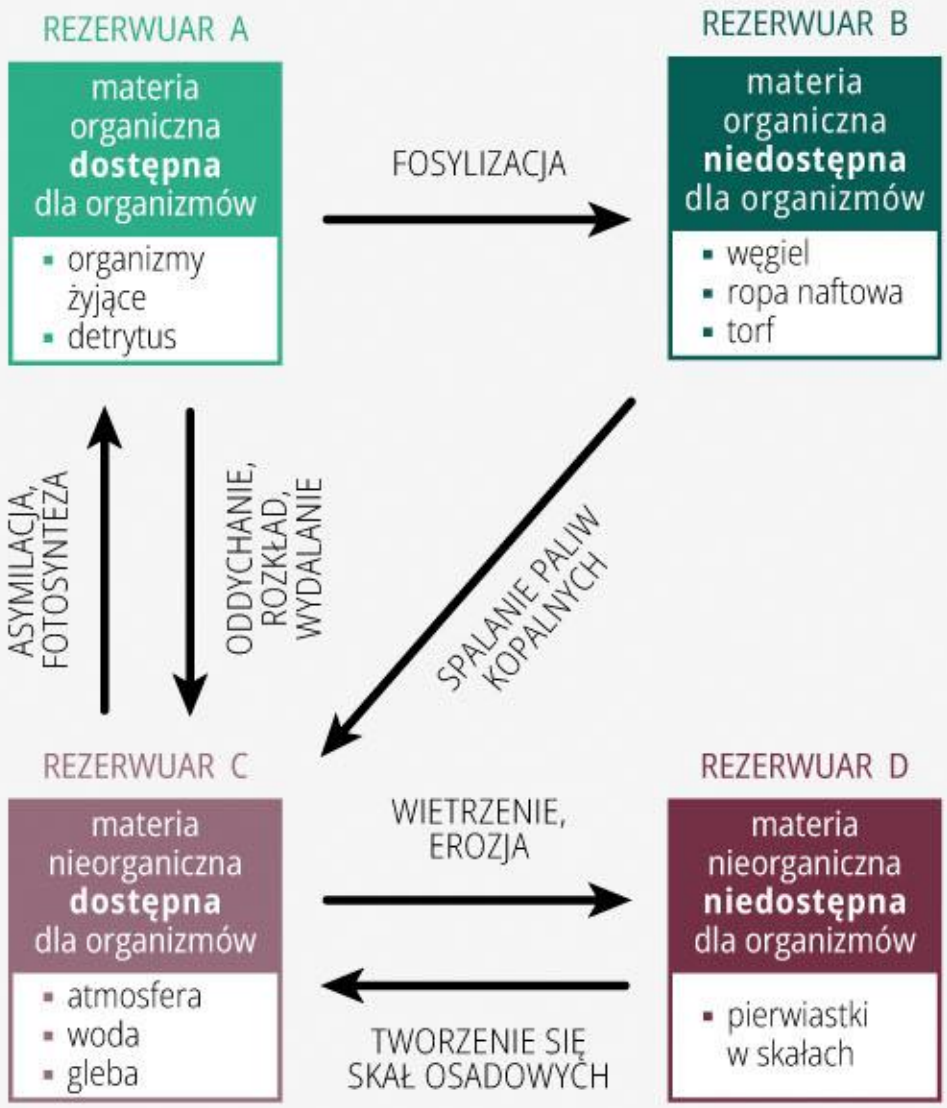


Cykle biogeochemiczne

Cykle biogeochemiczne są to procesy, w których krążą związki chemiczne i biorą udział czynniki biotyczne i abiotyczne ekosystemu.

Obieg typu gazowego charakteryzuje się tym, że głównym rezerwuarem pierwiastka lub związku chemicznego jest atmosfera lub hydrosfera. Obejmuje on obieg węgla (C), azotu (N), tlenu (O). Są to cykle stabilne, które szybko dostosowują się do zmian w biosferze, np. przez ruchy powietrza czy wiązanie pierwiastka przez oceany.

Obieg typu sedymentacyjnego charakteryzuje się tym, że głównym rezerwuarem pierwiastka lub związku chemicznego jest głównie litosfera. Obejmuje on obieg fosforu (P), żelaza (Fe), siarki (S) itp. Są to cykle mniej stabilne, ponieważ zasadnicza masa pierwiastka jest zgromadzona w skorupie ziemskiej i ze względu na to jest mało ruchliwa i aktywna. Krążenie tych pierwiastków może być przerwane, a powrót do obiegu jest możliwy dzięki procesom zachodzącym przy udziale żywych organizmów.



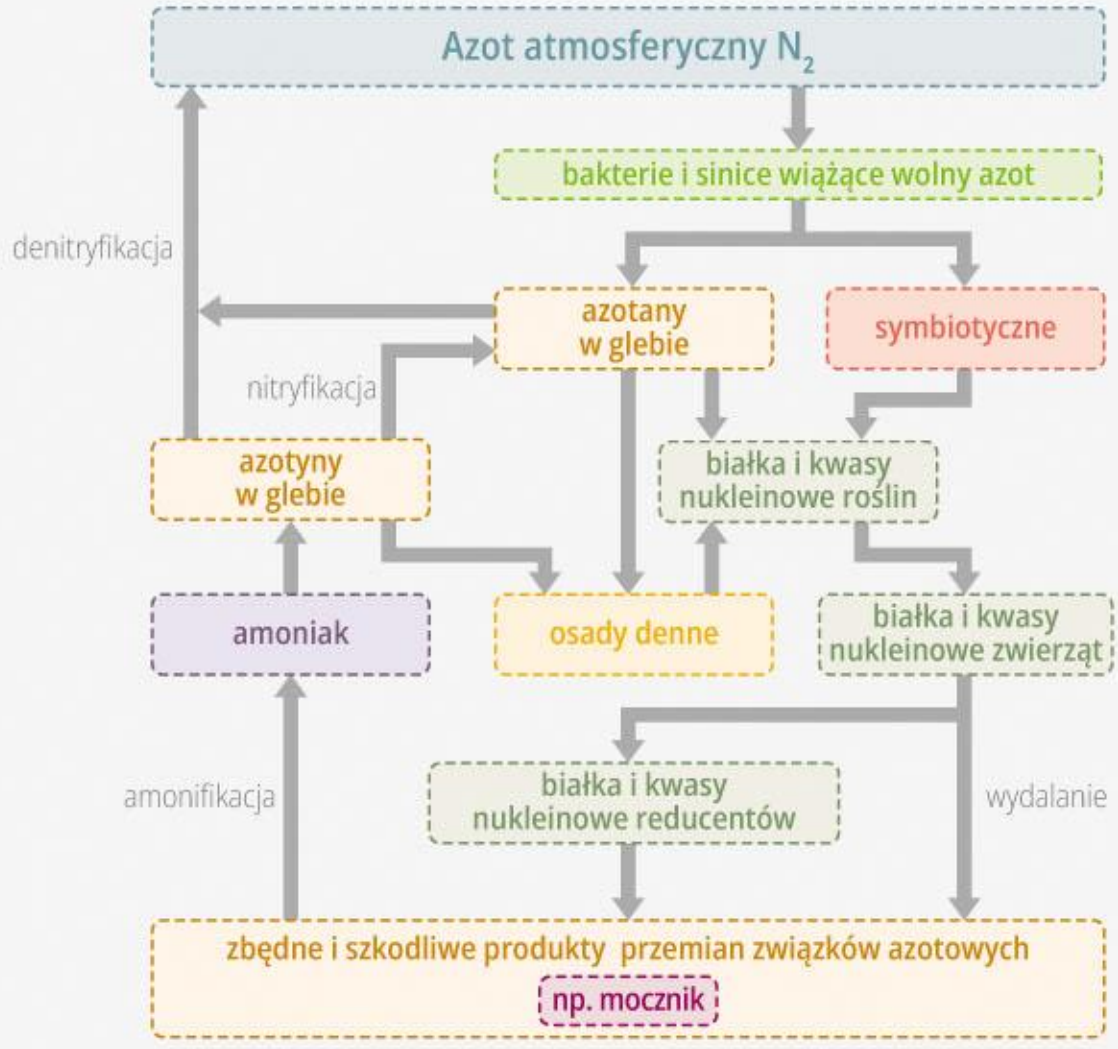
Procesy biologiczne i geochemiczne pozwalają na krążenie składników pokarmowych między organicznymi a nieorganicznymi częściami ekosystemu. Organizm po śmierci, dzięki działalności destruentów, uwalnia proste związki nieorganiczne do atmosfery, wody lub gleby. Są one wykorzystywane przez rośliny i inne autotrofy do produkcji materii organicznej. Część organizmów ulega fosylizacji, procesowi polegającemu na rozkładzie tkanek miękkich oraz zwęglaniu części twardych (jak kości, pancerze, drewno) lub ich zastąpieniu przez minerały, np. przez krzemionkę, węglan wapnia i inne związki.

Obieg węgla w przyrodzie



- fotosynteza i oddychanie stanowią dwa przeciwstawne procesy odpowiadające za obieg węgla;
- konsumenci i reducenci wykorzystują węgiel do budowy swoich organizmów;
- dodatkowym źródłem CO_2 jest spalanie paliw kopalnianych, wietrzenie skał osadowych (głównie wapieni).

Obieg azotu w przyrodzie



Rola bakterii w krążeniu azotu

- wiązanie wolnego azotu atmosferycznego przez bakterie azotowe (np. *Rhizobium* – bakterie brodawkowe i wolnożyjące bakterie glebowe – *Azotobacter*) oraz sinice i wytworzenie soli amonowych;
- bakterie nitryfikacyjne w procesie nitryfikacji przekształcają sole amonowe w sole kwasu azotowego(III) (*Nitrosomonas*) i następnie w sole kwasu azotowego(V) (*Nitrobacter*), które są najbardziej dostępną formą azotu dla roślin;

- pobieranie i asymilacja soli azotu z gleby, azot zostaje wbudowany w białka i kwasy nukleinowe producentów, które pobierają z pokarmem roślinożercy i kolejne ogniwa łańcucha pokarmowego;
- destruenci rozkładają materię organiczną i przekształcają organiczne związki azotu do amoniaku lub jonów amonowych w procesie amonifikacji; amoniak w reakcji z wodą znajdującą się w glebie przekształca się w jony amonowe;
- w procesie denitryfikacji bakterie denitryfikacyjne uwalniają azot w postaci cząsteczkowej do atmosfery.

12.6. Sukcesja ekologiczna

Sukcesja ekologiczna

Sukcesja ekologiczna – stopniowy proces ciągłych, kierunkowych zmian składu gatunkowego i struktury naturalnych biocenoz, prowadzący do powstania bardziej złożonych ekosystemów. Składa się ona z szeregu tzw. **stadiów sukcesyjnych**, w których stopniowo przekształcające się biocenozy zmieniają swoje środowisko, coraz bardziej je modyfikując. Biocenozy kolejno następujące po sobie w ciągu sukcesyjnym nazywamy **serą** lub **serią**.

Końcowe, najbardziej trwałe i zrównoważone w danych warunkach klimatycznych i glebowych ekologiczne stadium jest nazywane **klimaksem** (równowaga produkcji, rozkładu i liczby gatunków, zdolne do regeneracji po zaburzeniu).

Sukcesja pierwotna – zachodzi w środowiskach dotychczas niezajętych przez żadną biocenozę, w których brak jest materii organicznej (płaty zastygłej lawy, świeżo odsłonięte powierzchnie skał czy złóż aluwialnych, tereny odsłonięte przez wycofujący się lodowiec).

Sukcesja wtórna – zachodzi w środowiskach zajętych wcześniej przez biocenozę, która została zniszczona na skutek działalności człowieka lub czynników abiotycznych, takich jak np. wichury, powodzie czy pożary (ugory, wyręby, pogorzeliska).

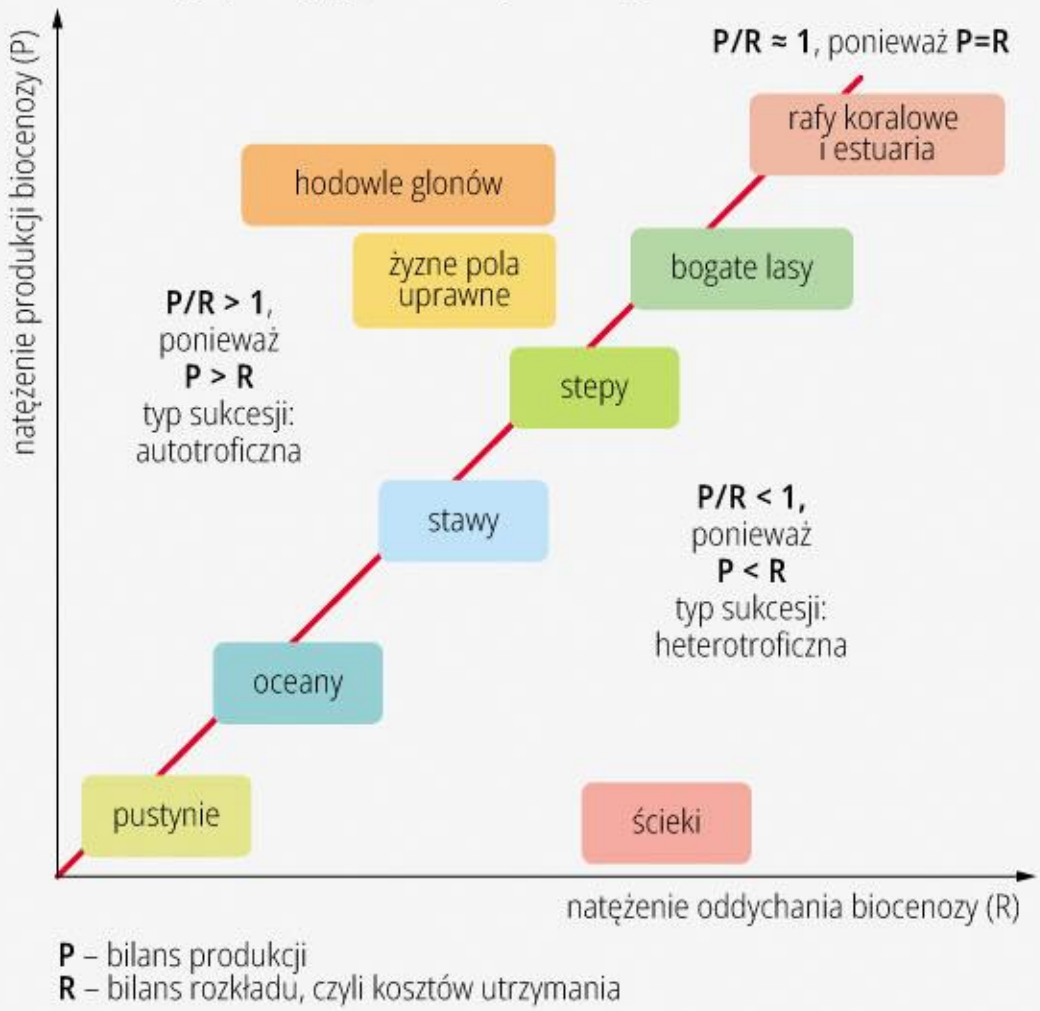
Charakterystyka sukcesji ekologicznej

Wybrane cechy	Stadium pionierskie	Stadium klimaksowe
biomasa	mała	duża
ilość związków mineralnych	mała	duża
łańcuchy pokarmowe	krótkie	długie
liczba gatunków	mała	duża
różnorodność gatunków	mała	duża
liczba nisz ekologicznych	mała	duża
konkurencja międzygatunkowa	mała	duża
liczba potomstwa i jego ochrona	duża, słaba ochrona	mała, silna ochrona
zdolność nasion do rozprzestrzenia się	mała	duża

Sukcesja pierwotna i wtórna

Sukcesja	
pierwotna – zarastanie wydmy	**wtórna – zarastanie jeziora**
• piaszczyste, jałowe podłoże, zasolone, pozbawione roślinności • umacnianie podłoża, zatrzymanie ruchu piasku • powstanie piaszczystej gleby • pojawienie się traw – wydmuchrzycy, piaskownicy oraz mikołajka nadmorskiego • gromadzenie się nawiewanego pyłu i detrytusu • pojawienie się innych gatunków traw, kocanek, bratka nadmorskiego • porastanie gleby wrzosami i wierzbą piaskową • pojawienie się suchego boru sosnowego	• materia odkładająca się na dnie tworzy znaczne pokłady mułu • pojawienie się roślin podwodnych o liściach pływających, np. grążeli żółtych • powstanie łąk podwodnych, złożonych między innymi z moczarki kanadyjskiej i rogatka sztywnego • przesuwanie się granicy wody i lądu • wypłycanie brzegów jeziora i zanikanie roślinności o liściach pływających i zanurzonych • porastanie jeziora roślinnością przybrzeżno-błotną, np. sitowiem, turzycami, mchem torfowcem • przekształcenie jeziora w bagno • zarastanie bagna lasem bagiennym – olsem z olchą, brzozą, czeremchą, trzmieliną i wierzbą • przekształcenie lasu bagiennego w las grądowy z dębami, grabami, klonami, jesionami, lipami i wiązami

Podział ekosystemów uwzględniający bilanse produkcji i rozkładu



P – bilans produkcji
R – bilans rozkładu, czyli kosztów utrzymania

Podział ekosystemów ze względu na dostęp energii świetlnej

Ekosystemy	
autotroficzne	**heterotroficzne**
• mają dostęp do energii świetlnej • występują w nich wszystkie poziomy troficzne, a materia (**materia autochtoniczna**) jest wytwarzana przez producentów, co gwarantuje samowystarczalność i niezależność tych ekosystemów od innych	• nie mają dostępu do światła • brakuje producentów, a materia (**materia allochtoniczna**) jest dostarczana z zewnątrz
np. las, torfowisko, łąka, jezioro	np. głębie oceaniczne, jaskinie

Podział ekosystemów ze względu na stopień przekształcenia środowiska przez człowieka

Ekosystemy		
naturalne	**półnaturalne**	**sztuczne**
bez udziału człowieka, w pewnym stopniu przez niego przekształcane	powstają w wyniku przekształcenia środowiska naturalnego przez człowieka	stworzone przez człowieka, w których człowiek decyduje o składzie gatunkowym
las • **warstwy lasu:** korona drzew (drzewostan), podszyt, runo, ściółka, gleba leśna jezioro • **strefy pionowe** (zależna od temperatury i składu chemicznego wody): epilimnion (warstwa ciepłej wody), metalimnion (warstwa chłodniejszej wody, której temperatura spada wraz z głębokością), hipolimnion (warstwa przydenna o temperaturze 4°C, o największej gęstości) • **strefy poziome:** litoral (płytka strefa przybrzeżna, w której występują następujące grupy ekologiczne organizmów: makrofity, peryfiton, neuston, nekton, bentos), pelagial (strefa otwartej wody z częścią naświetloną – fotyczną i częścią bez światła – afotyczną; zamieszkują je następujące grupy ekologiczne organizmów: plankton, nekton), profundal (strefa przydenna zamieszkana przez bentos) morze i ocean • **strefy pionowe mórz i oceanów**: epipelagial, batypelagial, abisal, hadal • **strefy poziome mórz i oceanów**: litoral (strefa przybrzeżna), pelagial (strefa otwartej toni wodnej), bental (strefa denna)	• łąki koszone • pastwiska z wypasem zwierząt	• pole uprawne • sad • las gospodarczy • staw rybny • zalew

13

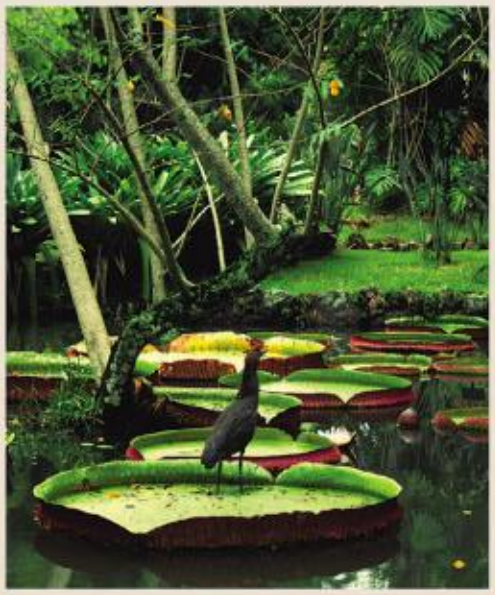
Różnorodność biologiczna

13.1. Różnorodność biologiczna

Różnorodność biologiczna (bioróżnorodność, ang. *biodiversity*) to zróżnicowanie wszystkich żywych organizmów występujących na Ziemi w ekosystemach lądowych, morskich i słodkowodnych oraz zespołach ekologicznych.

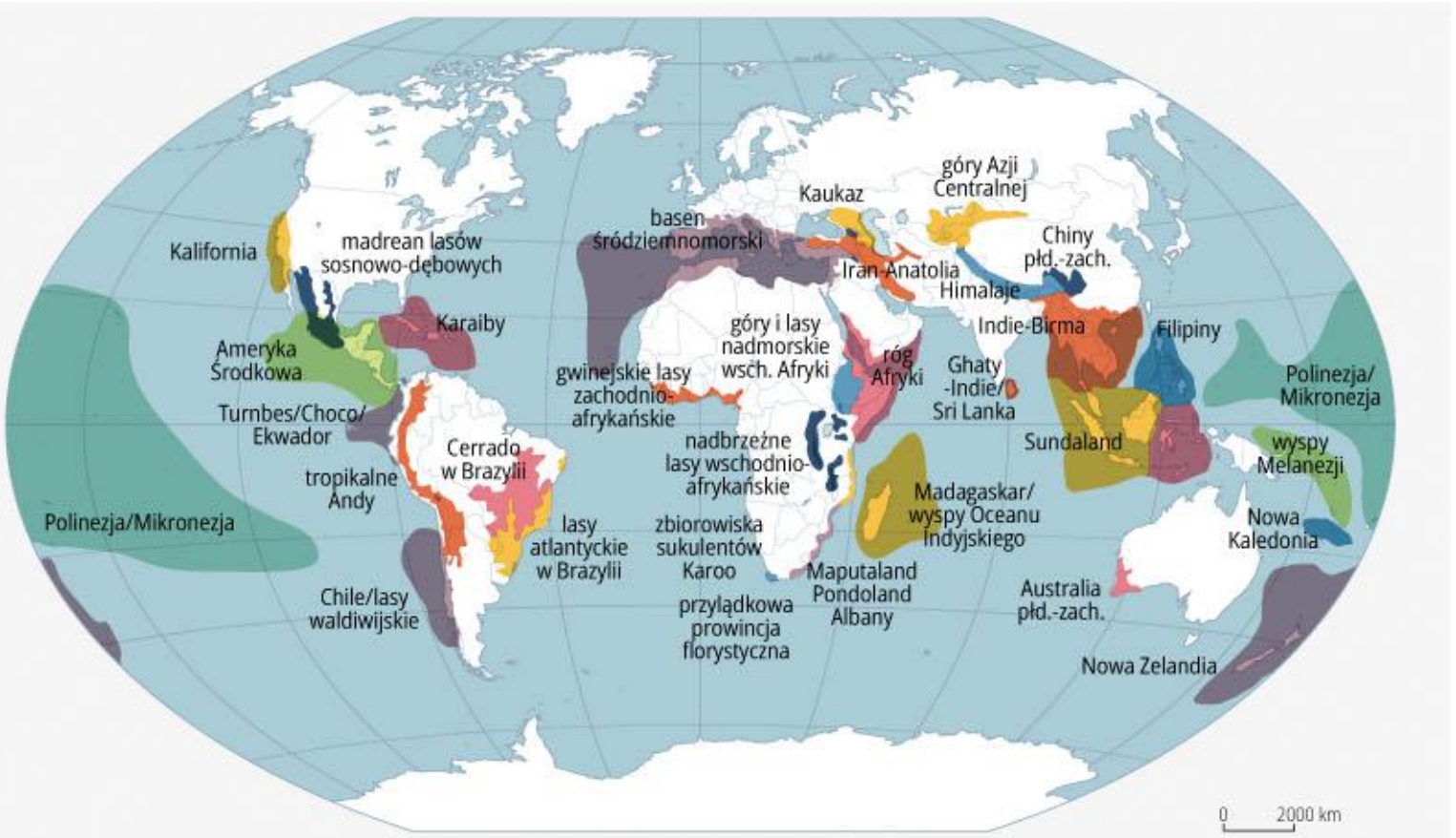
Poziomy organizacji różnorodności biologicznej

Różnorodność biologiczną rozpatruje się na trzech poziomach organizacji przyrody: genetycznym, gatunkowym i ekosystemowym.

Poziomy różnorodności biologicznej		
różnorodność genetyczna	**różnorodność gatunkowa**	**różnorodność ekosystemowa**
• oznacza zróżnicowanie pul genowych poszczególnych gatunków • jest wynikiem spontanicznych mutacji w DNA • duża różnorodność genetyczna zwiększa szanse przetrwania gatunku, pozwala na przystosowanie się do nowego środowiska lub ułatwia przetrwanie w środowiskach bardziej zróżnicowanych • ograniczająco na różnorodność genetyczną wpływa dobór sztuczny, dryf genetyczny i chów wsobny	• oznacza liczbę i częstość występowania gatunków na terenie ekosystemu, biomu lub planety • duża różnorodność gatunkowa zwiększa liczbę zależności i form współżycia organizmów, a tym samym – obieg materii i przepływ energii w ekosystemie (pozwala na zachowanie stabilności ekosystemu)	• oznacza zróżnicowanie ekosystemów na danym obszarze i na całej planecie • duża różnorodność ekosystemów umożliwia przetrwanie gatunkom roślin i zwierząt o różnych wymaganiach, jest istotna dla zachowania różnorodności genetycznej i gatunkowej • decyduje o stabilności i rozwoju całej biosfery oraz możliwości przetrwania gatunków
		

Ogniska różnorodności biologicznej

Regiony świata różnią się liczbą zasiedlających je gatunków. Istnieją na świecie miejsca odznaczające się szczególnym bogactwem gatunkowym – **ogniska różnorodności biologicznej**. Są one wyróżniane na podstawie liczby **endemitów**, czyli gatunków występujących tylko na niewielkim, określonym obszarze geograficznym. Endemity mają zazwyczaj wąski zakres tolerancji ekologicznej. Ogniska różnorodności biologicznej zajmują niewiele ponad 2% obszaru Ziemi, ale żyje na nich połowa wszystkich gatunków roślin i większość gatunków zwierząt. Ekosystemami charakteryzującym się największą różnorodnością na świecie jest Wielka Rafa Koralowa u wybrzeży Australii oraz wilgotny las równikowy, a w Polsce – las.



Rozmieszczenie ognisk różnorodności biologicznej na świecie – większość ognisk znajduje się w strefach ciepłych i wilgotnych (np. Azja Południowo-Wschodnia, Ameryka Środkowa) oraz w górach (np. Andy, Himalaje) a w obszarach podbiegunowych brak takich ognisk.

Czynniki kształtujące różnorodność biologiczną

Czynniki geograficzne – klimat i ukształtowanie powierzchni

Spośród czynników klimatycznych najistotniejsze w kształtowaniu różnorodności biologicznej są: temperatura, ilość opadów, nasłonecznienie, a także zlodowacenia.

klimat	temperatura	• wraz ze wzrostem średniej rocznej temperatury oraz ilości opadów wzrasta różnorodność biologiczna • jest niewielka w okolicach biegunów i rośnie proporcjonalnie w kierunku strefy równikowej, gdzie osiąga największe bogactwo • więcej gatunków żyje w klimacie wilgotnym i ciepłym niż w suchym i zimnym
	zlodowacenia (okresy znacznego ochłodzenia klimatu)	• niska temperatura oraz pokrycie powierzchni lodem spowodowało wymieranie gatunków, które nie mogły się szybko przemieścić (zmniejszenie różnorodności biologicznej) • zmiany zasięgów występowania niektórych gatunków • powstanie **refugiów**, czyli ostoi polodowcowych (miejsc o korzystnych warunkach środowiska, głównie klimacie) dla ciepłolubnych gatunków roślin i zwierząt • ocieplenie klimatu i ustąpienie lądolodów pozwoliło na ponowne zasiedlenie terenów opuszczonych podczas zlodowaceń, gatunki zimnolubne przesunęły się na północ, część z nich przetrwała we własnych ostojach położonych wysoko w górach
	prądy morskie (ruchy mas wody)	• ruch mas wody powoduje mieszanie się materii nieorganicznej i przenoszenie organizmów, co sprzyja tworzeniu złożonych sieci pokarmowych, a tym samym – wzrostowi różnorodności biologicznej • ciepłe prądy podnoszą temperaturę wody, co stwarza bardzo dobre warunki do życia dla wielu gatunków • pozostałością po zlodowaceniach są **relikty polodowcowe** (po ustąpieniu lodowca i ociepleniu klimatu pozostały w swoich ostojach)
	ukształtowanie powierzchni	• obszary na Ziemi o urozmaiconym ukształtowaniu terenu – obszary gór wysokich odznaczają się większą różnorodnością biologiczną (wynika to ze zróżnicowania podłoża i warunków klimatycznych) • wraz ze wzrostem wysokości spada temperatura i wrasta wilgotność powietrza; takie warunki klimatyczne prowadzą do powstania piętrowości w rozmieszczeniu roślin, np. piętra roślinne w górach

Relikty

Reliktami są te gatunki, które kiedyś występowały powszechnie i miały szeroki zasięg geograficzny, a obecnie są spotykane tylko na niewielkim obszarze. Są one świadectwem zachodzących w przeszłości przemian świata żywego.

Przykłady reliktów

- Relikty polodowcowe to gatunki, które po ustąpieniu lodowca i ociepleniu klimatu pozostały w swoich ostojach, nie rozprzestrzeniały się ponownie na większy obszar, np. kasztanowiec zwyczajny.
- Reliktami są gatunki zimnolubne, które pozostały w ostojach górskich po ociepleniu się klimatu i ustąpieniu lodowca, np. dębik ośmiopłatkowy.
- Reliktami są także gatunki będące pozostałością po wymarłych w przeszłości grupach organizmów, takie jak latimeria, hatteria, dziobak, skrzypłocz czy miłorząb japoński.
- Część reliktów stanowi świadectwo i obrazuje etapy pośrednie ewolucji, np. ryby dwudyszne.



Dębik ośmiopłatkowy (*Dryas octopetala*)



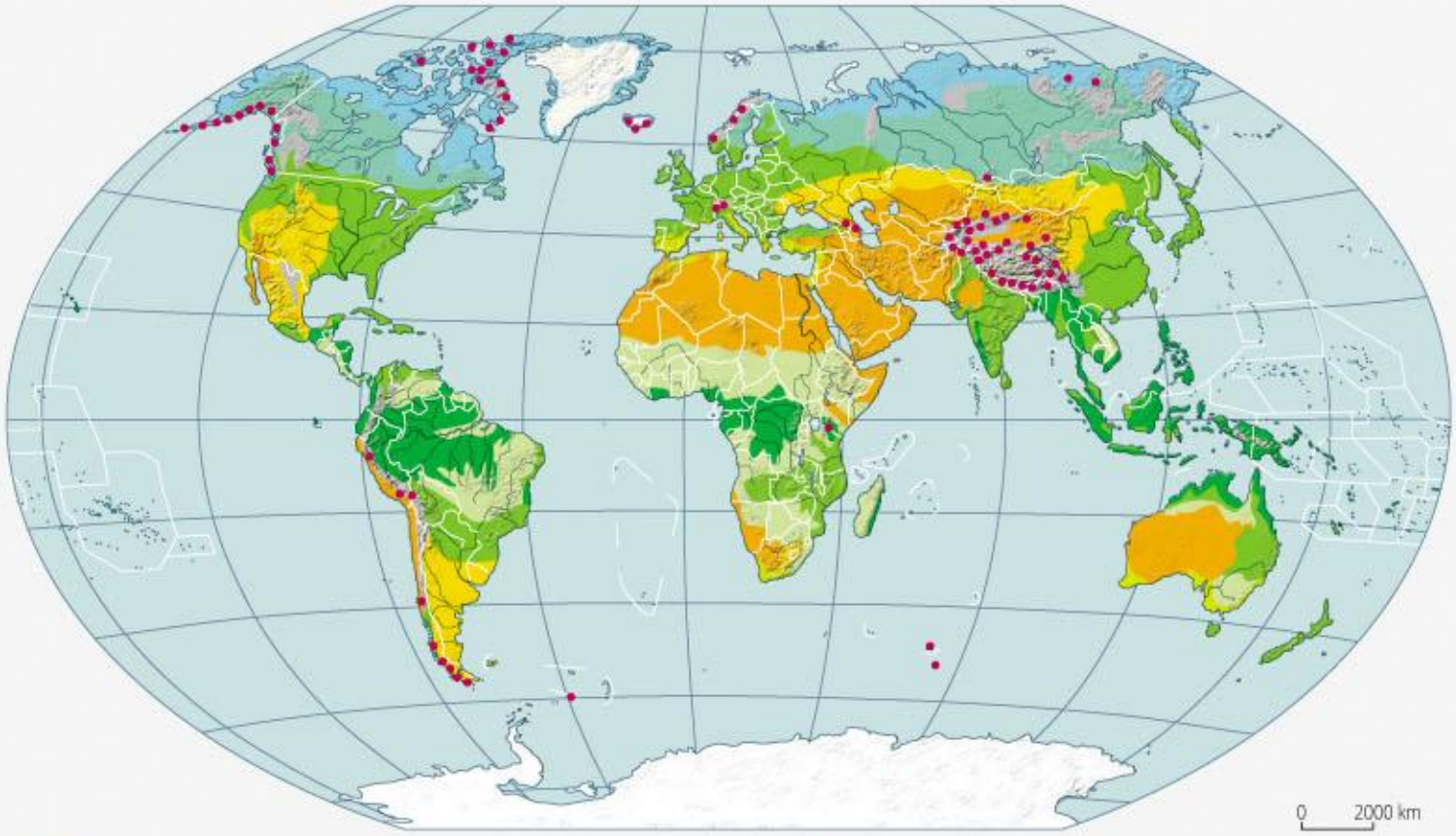
Prapłetwiec (*Protopterus* sp.) – przedstawiciel ryb dwudysznych

Biomy

Ekosystemy charakteryzujące się podobnym klimatem (temperatura i opady), ukształtowaniem powierzchni i składem gatunkowym zajmujące rozległy obszar Ziemi tworzą biomy. Organizmy tworzące określony biom wykazują podobne przystosowania niezależnie od położenia geograficznego (np. w wilgotnych lasach równikowych na wszystkich kontynentach występują pnącza i epifity).

Rozmieszczenie biomów w dużym stopniu pokrywa się z rozmieszczeniem stref klimatycznych na Ziemi.

Rozmieszczenie biomów na kuli ziemskiej



Charakterystyka biomów lądowych

Biom	Klimat	Charakterystyczne rośliny i zwierzęta
tundra 	krótkie i chłodne lato, długa i mroźna zima, krótki okres wegetacji, wieczna zmarzlina	porosty, mchy, krzewinki, karłowate wierzby i brzozy renifery, zające, lemingi, gronostaje; wilki, lisy i sowy polarne
tajga 	krótkie i ciepłe lato, długa i mroźna zima, wieczna zmarzlina	lasy iglaste (świerki, jodły syberyjskie, sosny, modrzewie, limby) wilki, rysie, niedźwiedzie brunatne, sobole, łosie, rosomaki, gronostaje
lasy liściaste strefy umiarkowanej 	ciepłe lato, chłodna, śnieżna zima, lasy mieszane z drzewami zrzucającymi liście na zimę, piętrowy układ roślinności	klony, dęby, buki, graby lisy, sarny, jelenie, dziki, wilki, sowy, orły, jastrzębie, dzięcioły

Biom	Klimat	Charakterystyczne rośliny i zwierzęta
wilgotny las równikowy 	obfite opady, duża wilgotność powietrza, wysoka temperatura, mało żyzne gleby	wielowarstwowy układ drzew (duże bogactwo gatunków np. mahoniowce, bananowce, kakaowce), pnącza i epifity (np. storczyki), paprocie drzewiaste duże bogactwo nadrzewnych gatunków zwierząt (np. małp), leniwce, lamparty, tapiry, papugi
sawanny 	dwie pory roku – sucha i deszczowa	trawy, akacje, baobaby antylopy, słonie, żyrafy, lwy, gepardy, krokuty (hieny)
pustynie i półpustynie 	gorące lato z niewielkimi opadami	suchorośla, kaktusy, wilczomlecze, agawy skorpiony, jaszczurki, węże, sępy, skoczki pustynne, wielbłądy, fenki
step 	gorące lato, mroźna zima	roślinność trawiasta pozbawiona drzew pieski preriowe, susły, bizony, antylopy, wilki grzywiaste
wiecznie zielone zarośla (roślinność śródziemnomorska) 	gorące i suche lato, chłodna i deszczowa zima	drzewiaste i krzewiaste rośliny zimozielone, dęby korkowe, pistacje, wawrzyny, rozmaryny muflony, daniele, jeżozwierze
biomy wysokogórskie 	spadek temperatury wraz ze wzrostem wysokości	piętrowy układ roślinności od lasów mieszanych przez iglaste, hale (łąki) kozice, koziorożce, muflony, kozły śnieżne, świstaki, niedźwiedzie himalajskie

Charakterystyka biomów wodnych

Biom	Charakterystyka	Dominujące rośliny i zwierzęta
jeziora 	słodkowodne zbiorniki stojące, dostęp światła maleje wraz ze wzrostem głębokości, strefowy układ temperatury, zawartość tlenu i związków pokarmowych różna dla poszczególnych jezior	warstwy powierzchniowe – fitoplankton; trzciny, grążele, rzęsa wodna, głębiej – brunatnice i krasnorosty bobry, żaby, okonie, szczupaki, liczne bezkręgowce (np. raki, krewetki, ślimaki, małże), liczne gatunki ptaków wodnych, np. perkozy
rzeki i strumienie  	słodkowodne zbiorniki płynące, zmienne w przebiegu, w górnym biegu bliżej źródła szybki nurt, wody bogate w tlen, niska temperatura, z małą zawartością materii organicznej; w dolnym biegu bliżej ujścia powolny nurt, wody cieplejsze, bogate w materię organiczną pochodzącą ze spływów z obszarów lądowych	fitoplankton, zakorzenione rośliny wodne ryby – pstrąg potokowy, lipień głowacz, brzana, liczne gatunki bezkręgowców (np. rak rzeczny, larwy owadów, ślimaki, małże)
strefy pływów 	okresowo zalewane podczas przypływów i odsłaniane podczas odpływów tereny u wybrzeży morskich, wysokie stężenie tlenu, wysoka zawartość związków organicznych; podłoże skaliste lub piaszczyste	fitoplankton, trawy morskie, lasy namorzynowe bezkręgowce (np. skorupiaki, ślimaki, jeżowce, strzykwy), ptaki wodne i brodzące (np. siewki, brodźce, mewy, kaczki), ssaki (np. szopy, lisy)
oceaniczne strefy otwartej toni wodnej 	prądy oceaniczne, światło i temperatura zmieniają się wraz z głębokością, duża zawartość tlenu, mniejsza zawartość materii organicznej	fitoplankton (głównie zielenice, brunatnice, okrzemki) liczne bezkręgowce (np. parzydełkowce, skorupiaki, głowonogi), ryby (np. śledzie, wieloryby, rekiny), żółwie morskie, ssaki morskie, np. delfiny
morska strefa bentosowa 	warstwa dna morskiego, brak światła, warstwowy układ temperatury i ciśnienia, wraz z głębokością wzrasta ciśnienie, a spada temperatura	zielenice, otwornice, brunatnice, krasnorosty, rośliny naczyniowe, np. rdestnice liczne bezkręgowce (np. gąbki, parzydełkowce, wieloszczety, ślimaki, kraby, jeżowce, wężowidła, strzykwy)

Biom	Charakterystyka	Dominujące rośliny i zwierzęta
rafy koralowe 	obszary morskie położone w strefie klimatu równikowego, wysoka temperatura, wysokie stężenie tlenu, duża dostępność światła	rośliny pierwotnie wodne, np. krasnorosty bogactwo gatunków bezkręgowców (np. korale madreporowe, gąbki, stułbiopławy, wieloszczety, skorupiaki, mięczaki, szkarłupnie), ryby (np. ustniki, błazenki, pławikoniki, rekiny, płaszczki, mureny), żółwie morskie np. karetta

Strefowy układ biomów wodnych

Biomy wodne ze względu na dostęp do światła, głębokość i odległość od strefy brzegowej mają układ strefowy. Ze względu na odmienne warunki panujące w każdej ze stref rozwija się w nich inny zespół organizmów.

Strefy jeziora	Charakterystyka
strefa brzegowa	najbliższa lądu, nigdy nie jest zanurzana, z dużymi zakresami temperatur, z dużą koncentracją substancji mineralnych i organicznych naniesionych z lądu przez fale wody
litoral	rozciąga się od pobrzeża aż do głębokości przenikania światła, obejmuje obszar występowania roślin naczyniowych, z dużymi wahaniami temperatury oraz zawartości tlenu
pelagial	otwarta woda, obejmuje środkową część jeziora, warunki tej strefy zmieniają się wraz ze wzrostem głębokości: światła przenika mniej, obniża się temperatura i zmniejsza się zawartość tlenu, a wzrasta ciśnienie
profundal	dno jeziora i kontaktującej się z nią warstwy wody, obfita w szczątki materii organicznej docierającej ze strefy litoralnej, intensywne procesy rozkładu tej materii pogarszają warunki tlenowe, temperatura utrzymuje się przez cały czas na poziomie 4°C.

Organizmy żyjące w poszczególnych strefach wodnych

plankton	drobne organizmy unoszące się w toni wodnej bez zdolności aktywnego ruchu (np. sinice, okrzemki, wrotki, wioślarki)
nekton	zespół organizmów poruszających się w sposób czynny w wodzie (ryby, np. sielawa, stynka, ukleja, sandacz; ptaki, np. mewy, kaczki, perkozy, łabędzie; ssaki, np. bóbr, piżmak, wydra, nutria)
neuston	zespół organizmów, których środowiskiem życia jest błonka powierzchniowa (bakterie, wrotki, pluskwiak nartnik, larwy owadów, np. muchówek, chrząszcze wodne, niektóre mięczaki i ryby)
pleuston	duża grupa organizmów pływająca po powierzchni wody (skrętnica, gałęzatka, rzęsa wodna, salwinia pływająca)
bentos	organizmy żyjące na dnie środowisk wodnych (bakterie, okrzemki, sinice, larwy owadów, np. ważek, ślimaki, małże, skąposzczety)
peryfiton	zespół drobnych organizmów zasiedlających różnego rodzaju podłoża stałe (zielenice, okrzemki, skrętnice, gąbki, skąposzczety, nicienie, larwy ochotkowatych, jętek; mięczaki, np. racicznice)
psammon	zespół organizmów żyjących w piaskach zanurzonych (bakterie, sinice, okrzemki, zielenice, korzenionóżki, wrotki, wirki, nicienie, skąposzczety)
makrofity	przytwierdzone do dna rośliny naczyniowe (np. rdest ziemnowodny, strzałka wodna, żabiściek) i ramienice

W morzach i oceanach na podstawie tych samych kryteriów wyróżnia się podobne strefy jak w biomach słodkowodnych. **Strefa litoralu** w biomach słonowodnych jest okresowo zalewana podczas przypływów, a **strefa głębinowa** odznacza się małą zawartością tlenu.

13.2. Wpływ człowieka na różnorodność biologiczną

Czynniki antropogeniczne mogą prowadzić zarówno do spadku, jak i do wzrostu różnorodności biologicznej.

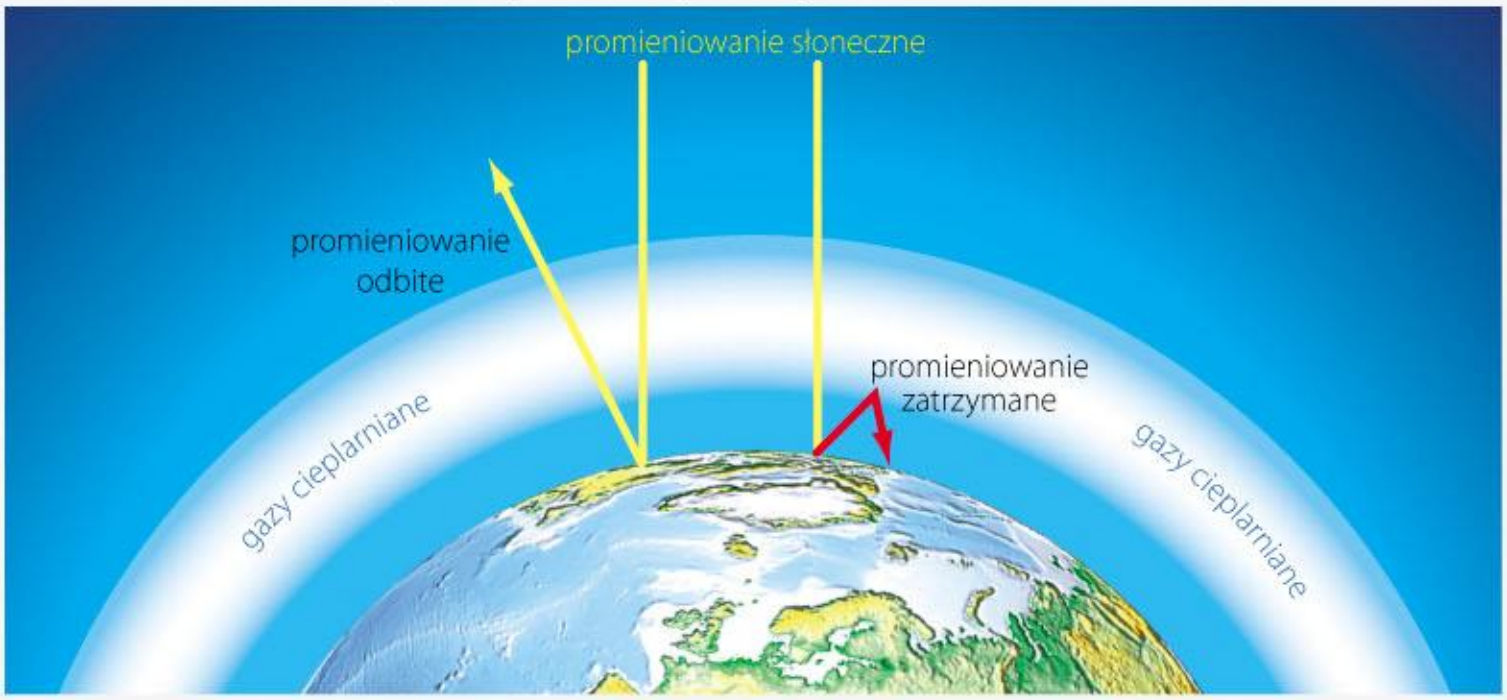
Działalność człowieka	Zagrożenia	Skutki
gospodarka przestrzenna (niszczenie siedlisk i ekosystemów)	• wzrost populacji ludzkiej • rozwój rolnictwa • komunikacja (emisja spalin, generowanie hałasu, emisja spalin) • fragmentacja (podzielenie siedliska o charakterze ciągłym na mniejsze fragmenty pod budowę dróg, kolei, autostrad, lotnisk, zbiorników zaporowych, pod uprawy rolnicze, pastwiska)	• zmniejszenie różnorodności gatunkowej: wyginięcie wielu gatunków roślin i zwierząt (często endemitów), ekosystemów i siedlisk • w małych populacjach zmniejsza się różnorodność genetyczna, a tym samym przystosowanie do zmian w środowisku (częste jest krzyżowanie wsobne)
leśnictwo	• wycinka drzew w związku z rozwojem przemysłu, komunikacji i intensywnej gospodarki rolnej (nawozy sztuczne, głęboka orka itp.) • nadmierne pozyskiwanie drewna dla celów gospodarczych • nadmierne pozyskiwanie runa leśnego • wprowadzanie obcych gatunków • niewłaściwa gospodarka wodna na terenach niezalesionych (melioracje, studnie głębinowe, eksploatacja kopalin) • składowanie odpadów i ekspansja turystyczna	• zmniejszenie różnorodności gatunkowej, ekosystemów i siedlisk • spadek retencji • obniżenie poziomu wód gruntowych • erozja odsłoniętych gleb • zmniejszenie ilości tlenu, a wzrost dwutlenku węgla w atmosferze • wypieranie lokalnych gatunków
rolnictwo	• stosowanie jednolitych monokultur: hodowla i uprawa jednolitych genetycznie ras zwierząt i odmian roślin uzyskanych drogą doboru sztucznego • stosowanie środków ochrony roślin –pestycydów (herbicydów, fungicydów, insektycydów), chemicznych regulatorów wzrostu (retardantów), antybiotyków, nawozów mineralnych • produkcja dużej ilości amoniaku w fermach hodowlanych • wprowadzanie do hodowli i upraw, zwierząt i roślin modyfikowanych genetycznie	• spadek różnorodności genetycznej, gatunkowej i ekosystemowej • degradacja gleb, szybki rozwój szkodników (zjawisko gradacji) • kumulacja w łańcuchu troficznym chemicznych środków ochrony roślin (np. DDT), które powodują zatrucie zjadających je kolejnych rzędów konsumentów • przeżyźnienie zbiorników wodnych, co jest przyczyną eutrofizacji wód • wypieranie rodzimych ras zwierząt i odmian roślin przez zwierzęta i rośliny modyfikowane genetycznie • niebezpieczeństwo krzyżowania organizmów modyfikowanych genetycznie z rodzimymi, co może doprowadzić do powstania np. superchwastów

Działalność człowieka	Zagrożenia	Skutki
gospodarka łowiecka	• wycinanie lasów • fragmentacja lasów (podzielenie terytoriów łowieckich dużych drapieżników na mniejsze) • kłusownictwo • introdukcja obcych gatunków	• spadek różnorodności genetycznej i gatunkowej • zanikanie populacji dużych drapieżników, np. lwów, wilków, tygrysów, co zakłóca naturalne procesy biocenotyczne (niekontrolowane mnożenia przy braku naturalnych wrogów) • wypieranie gatunków lokalnych
rybactwo i wędkarstwo	• nadmierne wykorzystywanie naturalnych łowisk bez uwzględnienia możliwości odnowy populacji • prowadzenie jednogatunkowych hodowli ryb • introdukcja obcych gatunków	• spadek różnorodności genetycznej i gatunkowej • zmniejszenie populacji wielu gatunków ryb, np. dorsza, tuńczyka oraz zasobów omułków, ostryg i skorupiaków • zagrożenie większości dużych waleni, m.in. płetwali błękitnych i humbaków • zagrożenie naturalnych mechanizmów selekcyjnych • wypieranie gatunków lokalnych
gospodarka wodna i morska	• zmiana stosunków wodnych (melioracje) • regulacja rzek • tworzenie nowych zbiorników wodnych • budowa progów wodnych • zanieczyszczenia zbiorników słodkowodnych (komunalne, przemysłowe i rolnicze) • zanieczyszczenia mórz (np. wycieki ropy z tankowców, wybuchy i zatonięcia platform wiertniczych, spływ zanieczyszczeń ze zbiorników słodkowodnych)	• spadek różnorodności gatunkowej i ekosystemowej • zanikanie terenów podmokłych wraz z zamieszkującymi je organizmami, np. rozlewiska Warty i Biebrzy czy wysychanie Jeziora Aralskiego • kumulacja zanieczyszczeń w łańcuchu troficznym, które powodują zatrucie zjadających je kolejnych rzędów konsumentów • stwarzanie warunków do rozwoju gatunków inwazyjnych, które mogą zagrażać gatunkom lokalnym, np. rozwój olbrzymich małży szczeżuj chińskich w systemie podgrzanych wód jezior konińskich
kolekcjonerstwo	• pozyskiwanie roślin i zwierząt cennych pod względem handlowo-dekoracyjnym	• spadek różnorodności gatunkowej • niebezpieczeństwo przypadkowego zawleczenia obcych gatunków, które mogą zagrażać rodzimej faunie lub florze
inne zagrożenia	• zanieczyszczenia gleby i powietrza • rozprzestrzenianie się gatunków inwazyjnych • introdukcja (świadome) lub zawleczenie (przez przypadek) gatunków obcych • rozwój gatunków synantropijnych związanych ze środowiskami antropogenicznymi	• spadek różnorodności gatunkowej i ekosystemowej • niekontrolowane rozmnażanie się obcych gatunków wobec braku wrogów naturalnych, np. amur biały czy norka amerykańska w Europie • wypieranie lokalnych gatunków przez gatunki obce, np. króliki w Australii • krzyżowanie obcych gatunków z lokalnymi często prowadzi do powstania bardzo groźnych krzyżówek, np. krzyżówka pszczoły afrykańskiej z pszczołami naturalnie żyjącymi w Brazylii jest zagrożeniem dla ludzi i rodzimych gatunków pszczół • zakłócanie naturalnych procesów biocenotycznych przez nadmierny wzrost gatunków synantropijnych, np. mucha domowa, mysz domowa, szczur wędrowny, mól odzieżowy, wróbel domowy

Zagrożenia dla spadku różnorodności biologicznej – efekt cieplarniany, kwaśne deszcze, smog i eutrofizacja wód

Efekt cieplarniany

Efekt cieplarniany to proces wzrostu temperatury w wyniku zatrzymywania pewnej ilości ciepła emitowanego do atmosfery. Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi jest przez nią pochłaniane. Ziemia nagrzewa się i emituje promieniowanie cieplne, które częściowo rozprasza się w przestrzeń kosmiczną, a część jest pochłaniana przez gazy cieplarniane (szklarniowe, przede wszystkim dwutlenek węgla, metan, freon). Gazy cieplarniane emitują energię z powrotem na powierzchnię Ziemi, powodując jej ogrzewanie. Wzrost gazów cieplarnianych (szklarniowych), przede wszystkim dwutlenku węgla, freonów, metanu, podtlenku azotu oraz w mniejszym stopniu tlenków węgla, węglowodorów i tlenków azotu, powoduje efekt cieplarniany.



Wzrost **gazów szklarniowych** spowodowanych rozwojem przemysłu i niszczeniem ekosystemów leśnych może wywołać wzrost globalnej temperatury, co prowadzi do:

- topnienia lodowców na biegunach (na Antarktydzie i Grenlandii), podniesienia poziomu mórz i w wyniku tego do zatopienia wielu nizinnych obszarów lądów;
- zalania i zniszczenia **estuariów** – najbardziej produktywnych i odznaczających się największą różnorodnością biologiczną ekosystemów wodnych;
- zmian składu gatunkowego ekosystemów morskich – znikną niektóre gatunki ryb ważne dla rybołówstwa;
- wyginięcia gatunków o małych zdolnościach adaptacyjnych;
- zwiększenia częstości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak fale upałów, powodzie i huragany, co prowadzi do śmierci wielu organizmów.

Ozon jest jedną z odmian tlenu, powstaje w wyższych warstwach atmosfery (stratosfery) i tworzy tzw. warstwę ozonową, która pochłania promieniowanie UV emitowane przez Słońce.

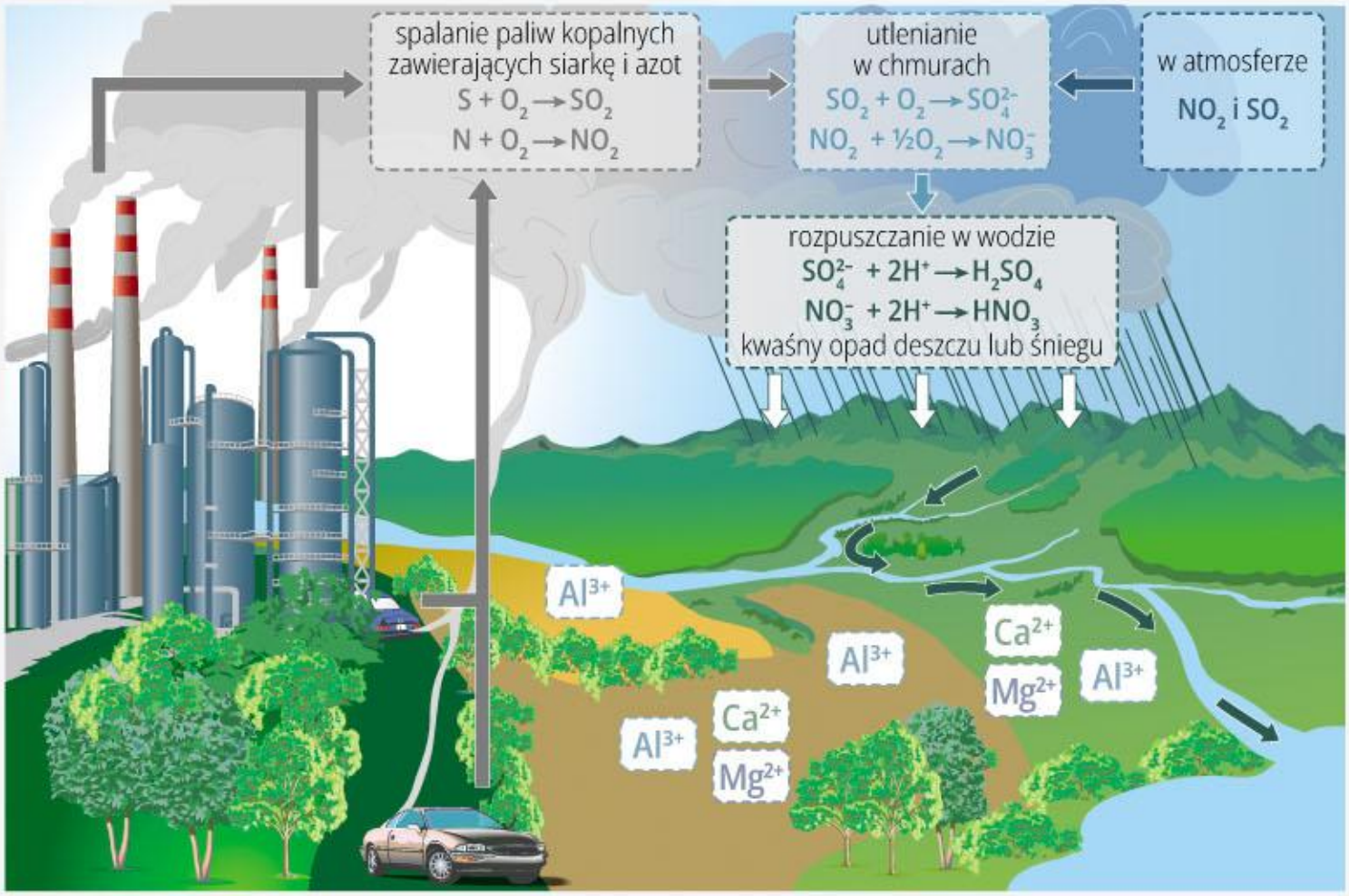
Dziura ozonowa jest spowodowana spadkiem zawartości ozonu w wyższych warstwach atmosfery w wyniku produkowanych przez człowieka i emitowanych do atmosfery freonów i halonów.

Dziura ozonowa może spowodować: u człowieka choroby nowotworowe np. raka skóry, osłabienie systemu immunologicznego; zmniejszenie biomasy producentów w oceanach; zmniejszenie plonów niektórych roślin np. soi, ochłodzenie stratosfery.

Kwaśne deszcze

Kwaśne deszcze to opady atmosferyczne, np. deszczu i śniegu, powstające w wyniku emitowania do atmosfery nadmiernych ilości tlenków siarki (zwłaszcza SO_2) i tlenków azotu pochodzących głównie ze spalania paliw z elektrowni, elektrociepłowni, silników samochodowych i z przemysłu. Niewielkie ilości SO_2 i tlenków azotu powstają także w środowisku naturalnym jako efekt np. erupcji wulkanów, wyładowań atmosferycznych czy pożarów. Tlenki siarki i azotu w powietrzu atmosferycznym po zetknięciu się z parą wodną tworzą kwasy: siarkowy i azotowy, które docierają do powierzchni Ziemi i przyczyniają się do takich zmian jak:

- zakwaszenie gleby i wód powierzchniowych;
- powstawanie zakwitów glonów na skutek nadmiaru jonów NO_3^- w wodzie;
- usuwanie z gleby jonów wapnia, magnezu i potasu, prowadzące do zaburzenia syntezy chlorofilu, a tym samym – fotosyntezy;
- niszczenie woskowej warstwy ochronnej na igłach, zakłócające bilans wodny roślin;
- osłabienie symbiozy drzew z grzybami mikoryzowymi;
- zmniejszenie odporności roślin na czynniki stresowe, takie jak susza i mróz;
- uwalnianie metali ciężkich z gleby, które są łatwo przyswajalne dla roślin i powodują zatrucie plonów.



Smog

Zjawisko powstające w wyniku połączenia się zanieczyszczeń powietrza spowodowanych działalnością człowieka (zanieczyszczenia uwalniane przez zakłady przemysłowe, samochody, domy i mieszkania ogrzewane piecami) przy niekorzystnych, naturalnych zjawiskach atmosferycznych, takich jak znaczna wilgotność (mgła) i brak wiatru. Wyróżnia się smog fotochemiczny i kwaśny.

Cecha	Smog	
	Typ Los Angeles	**Typ „londyński"**
rodzaj	fotochemiczny, utleniający, letni	kwaśny, mgła przemysłowa, zimowy
skład chemiczny	CO, NO, NO_2, aldehydy, węglowodory aromatyczne, alkeny, nadtlenki organiczne	SO_2, CO_2, dym węglowy
warunki występowania	• lipiec–październik • słoneczne dni • wczesne popołudnie, • przy temperaturze 24–35°C • prędkość wiatru poniżej 2 m/s • wilgotność powietrza poniżej 70% • ograniczenie widoczności do 0,8–1,6 km (powietrze ma brązowawe zabarwienie)	• listopad–styczeń • mgliste dni • rano, po wschodzie słońca • przy temperaturze 3–5°C • bezwietrzna pogoda • wilgotność powietrza ponad 80% • ograniczenie widoczności nawet do kilkudziesięciu metrów
szkodliwość	• człowiek: łzawienie, kaszel, nasilenie astmy, zapalenie płuc, wzrost wrażliwości na infekcje • rośliny: choroby, spadek szybkości fotosyntezy • powoduje rozpad: gumy, kauczuku, syntetycznych tekstyliów	• człowiek: duszność, łzawienie, zaburzenie pracy układu krążenia, podrażnienie skóry, • wywiera silne działanie korozyjne

Eutrofizacja wód

Proces prowadzący do gwałtownego przyspieszenia wzrostu żyzności (trofii) wód, przede wszystkim jezior, związany najczęściej z dostawaniem się do wody ścieków komunalnych i przemysłowych oraz nawozów stosowanych w rolnictwie. Rozkładające się w wodzie ścieki i nawozy są źródłem związków azotu i fosforu (tzw. pierwiastki biogenne, potrzebne wszystkim organizmom do budowy ciała i prawidłowego funkcjonowania). Ich nadmiar powoduje gwałtowny rozwój fitoplanktonu (glonów i sinic), prowadzący do zmniejszenia przezroczystości wody, która przybiera najczęściej kolor zielony lub niebiesko-zielony (tzw. zakwit wód). Nieuniknione obumieranie tej masy fitoplanktonu i rozkład martwych szczątków skutkuje spadkiem ilości tlenu w wodzie. Brak tlenu w wodzie powoduje z kolei masową śmiertelność wielu gatunków ryb i bezkręgowców.



Podział jezior ze względu na żyzność

Jeziora	
oligotroficzne	**eutroficzne**
• niska zawartość biogenów i substancji odżywczych • zbiorniki głębokie • woda nasycona tlenem • woda przejrzysta (barwy niebieskiej, zielonej, szafirowej) • mała ilość osadów dennych (cała materia organiczna ulega procesowi mineralizacji i powraca do obiegu) • uboga roślinność wyższa, słabo rozwinięte glony (brak zakwitów) • przykłady: jeziora górskie, np. Czarny Staw, Morskie Oko, na nizinach jezioro Hańcza na Suwalszczyźnie	• duża zawartość biogenów i substancji odżywczych • zbiorniki stosunkowo płytkie • częste deficyty tlenowe w przydennych warstwach wody • woda o małej przezroczystości (barwy zielonej, żółtej) • duża ilość osadów dennych • bogata roślinność przybrzeżna, wysoka liczebność glonów (częste zakwity) • jeziora te mogą z czasem przekształcić się w torfowiska lub zanikają • przykłady: jeziora mazurskie, np. Śniardwy, Mikołajskie, Niegocin

Pośrednie miejsce między jeziorami oligotroficznymi a eutroficznymi zajmują jeziora średnio żyzne, zwane **mezotroficznymi**. Odmienny typ stanowią jeziora **dystroficzne**. Są to przeważnie małe, śródleśne jeziora, które często przekształcają się w torfowiska. Woda w tych zbiornikach jest koloru żółtego lub brunatnego, o małej przezroczystości, słabo natleniona. Zawiera duże ilości humusu. W jeziorach dystroficznych występuje bardzo mało gatunków roślin i zwierząt, brak zakwitów.



Czarny Staw – jezioro oligotroficzne



Jezioro Mikołajskie – jezioro eutroficzne



Jezioro Białe Wigierskie (Pojezierze Mazurskie) – jezioro mezotroficzne



Rezerwat leśne Oczko (Kaszubski Park Krajobrazowy) – jezioro dystroficzne

Gatunki inwazyjne w Polsce

W drugiej połowie XX w. zaobserwowano nasilenie pojawiania się gatunków obcych inwazyjnych, co stanowi jedno z głównych zagrożeń dla różnorodności biologicznej. Przyczyniły się do tego następujące elementy:

- silny wzrost populacji ludzkiej i oddziaływanie na przyrodę;
- umyślne lub przypadkowe sprowadzenie egzotycznych roślin i zwierząt;
- likwidowanie wskutek działalności człowieka barier geograficznych i ekologicznych;
- powstanie monokultur drzewostanów, monokultur w uprawach rolnych i sadowniczych (gradacje owadów – roślinożernych, szkodników zwierzęcych i grzybowych);
- intensyfikacja transportu lotniczego, wodnego i lądowego;
- budowa kanałów łączących dorzecza.

Gatunek obcy – gatunek, który został introdukowany (przeniesiony świadomie) lub zawleczony (nieświadomie) poza zasięg, w którym występuje lub występował w przeszłości.

Gatunek obcy inwazyjny – gatunek, którego pojawienie się zagraża lokalnej różnorodności biologicznej lub/i gospodarce człowieka.

Gatunek obcy poinwazyjny – gatunek, który pojawił się przed 1900 r. i nie jest w pełni zaaklimatyzowany w naturalnym środowisku; nie wykazuje już istotnych zmian w rozmieszczeniu.

Gatunek utrwalony (zaadaptowany) – gatunek, który z powodzeniem rozmnaża się w naturalnym środowisku.

Wybrane przykłady gatunków inwazyjnych w Polsce

Norka amerykańska (*Mustela visonz*)

Naturalny zasięg występowania norki amerykańskiej to Ameryka Północna bez obszarów daleko wysuniętych na północ kontynentu. Gatunek ten ze względu na gęste futro nabrał znaczenia gospodarczego w połowie XX w. Uciekające z ferm osobniki dały początek dzikiej populacji rozmnażającej się na wolności. Kolonizację Europy norka rozpoczęła od Skandynawii, Wysp Brytyjskich i Rosji. Inwazja w Polsce prowadziła głównie dolinami rzecznymi z północnego wschodu kraju. Norka amerykańska jest niebezpiecznym drapieżnikiem dla rodzimych gatunków ptaków – kaczek, gęsi, łysek i perkozów. Powoduje znaczne spustoszenia w gniazdach tych gatunków.



Babka bycza (*Neogobius melanostomus*)

Naturalny zasięg występowania tej ryby to strefy przybrzeżne Morza Czarnego, Azowskiego i Kaspijskiego. W Europie zaczęła się rozprzestrzeniać wraz z wodami balastowymi statków w latach osiemdziesiątych XX w. Do Polski gatunek ten dotarł w latach dziewięćdziesiątych XX w. i zasiedla wody przybrzeżne Bałtyku. Babka bycza wypiera rodzime gatunki babkowatych i zajmuje ich schronienia. Efektem tego jest wzmożona śmiertelność krajowych babkowatych wystawionych na działanie drapieżników (ryb, ptaków). Babka bycza masowo odżywia się małżami, głównie omułkami.



Niecierpek gruczołowaty (*Impatiens glandulifera*)



Naturalny zasięg występowania tej rośliny to Azja Środkowa, rejon Himalajów oraz zachodnie Indie i Pakistan. Do Europy dotarł w na początku XX w., a w Polsce rozprzestrzenił się w latach sześćdziesiątych XX w. Inwazja niecierpka nastąpiła z miejsc upraw i obejmuje obecnie rozległe obszary naszego kraju, głównie wilgotne siedliska w dolinach rzecznych i na brzegach jezior (wilgotne łąki, turzycowiska, zbiorowiska leśne – olsy i łęgi). Niecierpek gruczołowaty produkuje ogromne ilości nasion. Wystrzeliwuje je na odległość do 6 m. Nasiona są łatwo przenoszone przez wodę. Dzięki temu niecierpek wypiera naturalną roślinność. Występuje masowo wzdłuż cieków wodnych i wytwarza ogromną biomasę, dlatego może powodować blokowanie koryt rzecznych (lokalne podtopienia, zagrożenie powodziowe).

Żebropław (*Ctenophora*)



Naturalny zasięg występowania tego gatunku to atlantyckie wybrzeża Ameryki Północnej. Do Europy dostał się z wodami balastowymi statków w latach osiemdziesiątych XX w. W Polsce został odnotowany w Zatoce Puckiej w 2007 r. Odżywia się dużą ilością zooplanktonu, ikrą oraz narybkiem. Jeśli jego liczebność będzie gwałtownie rosła, może wyraźnie zmniejszyć liczebność ryb użytkowych, głównie szprota i śledzia. Takie zjawisko odnotowano w Morzu Azowskim i Czarnym w latach dziewięćdziesiątych XX w.

Synantropizacja

Synantropizacja – zjawisko zajmowania przez różne organizmy obszarów związanych z życiem i działalnością człowieka, np. osiedlanie się wielu gatunków ptaków dawniej związanych z krajobrazem rolniczym (gawrony, kawki, szpaki, kosy i inne) w miastach i osiedlach ludzkich. Z powodu zmniejszania się naturalnych siedlisk wiele gatunków żyje w pobliżu osiedli ludzkich, np. sarny, lisy, zające czy myszy.

Gatunki synantropijne – gatunki towarzyszące człowiekowi, zamieszkujące osiedla ludzkie i korzystające z zasobów pokarmowych człowieka, np. mucha domowa, mysz domowa, szczur wędrowny, mól odzieżowy. Istnieje też duża grupa roślin synantropijnych (np. pokrzywa, chaber).

13.3. Wzrost różnorodności biologicznej

Korzyści z ochrony różnorodności biologicznej

Korzyści zaopatrzeniowe – bioróżnorodność dostarcza bogactwa pożywienia, materiałów budowlanych, nawozów naturalnych, substancji leczniczych.

Korzyści regulacyjne – oczyszczanie powietrza z zanieczyszczeń, gleby i wody z nadmiaru biogenów i zanieczyszczeń chemicznych; zapewnia naturalną retencję wód, utrzymuje stałość i łagodzi klimat.

Korzyści wspierające – zapewnia krążenie materii i przepływ energii, ułatwia uzyskiwanie plonów dzięki organizmom zapylającym.

Korzyści ekonomiczne – zyski z turystyki, połowów ryb i owoców morza, hodowli zwierząt i roślin.

Korzyści pozamaterialne – zaspokojenie potrzeb estetycznych, duchowych, religijnych.

Formy ochrony różnorodności biologicznej

Ochrona *in situ* (w naturalnych warunkach środowiskowych)

- Zachowanie naturalnych ekosystemów poprzez tworzenie obszarów chronionych o ograniczonej działalności człowieka, np. parki narodowe, rezerwaty (ochrona bierna).
- Renaturyzacja, czyli przywrócenie do poprzedniego stanu zdegradowanych ekosystemów, np. przywracanie naturalnego koryta rzek, zachowanie terenów zalewowych, spiętrzenie wód zaporami z przepławkami dla ryb (ochrona czynna).
- Rekultywacja (przywracanie wartości użytkowej i przyrodniczej) zniszczonych terenów, np. hałd przemysłowych, wyrobisk, terenów kopalnych poprzez zalesianie, zalewanie czy zasypywanie (ochrona czynna).
- Odbudowanie, czyli restytucja zdolnych do życia populacji gatunków w ich naturalnym środowisku poprzez: **reintrodukuję** (ponowne wprowadzenie w stare miejsce bytowania) gatunków rodzimych, eliminację gatunków obcych mogących zagrozić rodzimym (ochrona czynna).

Restytucja jest to proces odtwarzania zniszczonych siedlisk i ekosystemów dzięki naturalnym zasobom gatunkowym oraz ludzkim umiejętnościom, bazujący na zdolnościach systemów do samoistnej naprawy. Pozytywna restytucja zapewnia w ekosystemach różnorodność biotyczną i prawidłową dynamikę zachodzących w nich procesów. Tworzenie siedlisk polega zatem na przeobrażaniu zdegradowanego krajobrazu w pełnowartościowe dla dzikiej przyrody miejsce z odniesieniem do stanu, jaki istniał w przeszłości. Wartość restytucji ekologicznej powinna polegać na likwidowaniu negatywnych przejawów działalności człowieka w przyrodzie, nie zaś na ustawicznym usuwaniu zniszczeń. Restytucja ekologiczna przeciwdziała utracie różnorodności biologicznej i zniszczeniom naturalnych środowisk.

Ochrona starych ras zwierząt gospodarskich oraz starych odmian roślin

Stare rasy zwierząt i odmiany roślin były hodowane i uprawiane przez drobnych rolników przed okresem intensyfikacji rolnictwa w wielu częściach Europy. Dawniej ze względów ekonomicznych rolnicy preferowali zróżnicowanie gatunkowe, które dawało im niezależność od zmian w środowisku naturalnym. Obecnie starym rasom i odmianom grozi wyginięcie, ponieważ są zastępowane przez bardziej produktywne organizmy modyfikowane genetycznie. Stare odmiany i rasy są niepowtarzalnym materiałem genetycznym, który może być wykorzystany w przyszłości.

W Polsce dzięki słabo rozwiniętemu rolnictwu tradycyjnemu zachowało się wiele cennych odmian i ras, np. polska owca górska, świnie złotnickie, królik popielniański, konik polski, kury zielononóżki, stare odmiany jabłek, grusz, śliw.

Ochrona *ex-situ* (poza środowiskiem naturalnym)

- Przeniesienie populacji do ekosystemów zastępczych.
- Przeniesienie wybranych osobników do ogrodów zoologicznych, botanicznych lub arboretum w celu ich rozmnożenia i późniejszego wprowadzenia do środowisk naturalnych.
- Tworzenie banków genów, w których są przechowywane tkanki, nasiona, pyłek lub ekstrakty DNA.
- Zachowanie korytarzy ekologicznych – naturalnych obszarów łączących płaty obszarów siedliskowych, umożliwiające przemieszczanie się organizmów z jednego siedliska do drugiego.

Idea zrównoważonego rozwoju

Idea zrównoważonego rozwoju (ang. *suistainable development*) pojawiła się w 1987 r. w raporcie Komisji Środowiska i Rozwoju ONZ. Według tej koncepcji ochrona przyrody żywej powinna być zgodna z trwałym rozwojem świata. Należy racjonalnie gospodarować zasobami przyrody (np. zmniejszając zużycie zasobów naturalnych, korzystając z odnawialnych źródeł energii) i chronić środowisko naturalne, aby zaspokoić potrzeby obecnych i przyszłych pokoleń człowieka.

zrównoważony rozwój = wzrost gospodarczy + ochrona przyrody i środowiska + odpowiedzialność społeczna

Działania konieczne dla ochrony różnorodności biologicznej

- opracowanie krajowych strategii, planów i programów ochrony i zróżnicowanego użytkowania różnorodności biologicznej;
- inwentaryzacja elementów różnorodności genetycznej, gatunkowej i ekosystemowej;
- określenie procesów i zjawisk mających istotny wpływ na kształtowanie różnorodności;
- wprowadzenie odpowiednich regulacji prawnych;
- międzynarodowa współpraca i wymiana informacji, tworzenie baz danych.

Współczesne rolnictwo a różnorodność biologiczna

Rolnictwo w przeszłości odgrywało ważną rolę w tworzeniu i ochronie środowisk. Obecnie tylko niektóre sposoby uprawy umożliwiają zachowanie różnorodności biologicznej. W ciągu 12 tys. lat upraw, człowiek uprawiał 7 tys. gatunków roślin, a obecnie tylko 26 gatunków (m.in. kukurydza, ryż, pszenica, żyto, palma kokosowa, orzech ziemny, rzepak, soja, fasola, ziemniak, kapusta, trzcina cukrowa). Spośród znanych ponad 15 tys. gatunków ssaków i ptaków, współcześnie tylko 40 gatunków jest wykorzystywanych gospodarczo (głównie bydło, owce, kozy, świnie, kury). W XX w. wyginęło ok. tysiąca ras zwierząt gospodarskich, a zagrożonych jest ponad 20%.

Dużym wyzwaniem dla współczesnego rolnictwa są organizmy modyfikowane genetycznie. Powstają w celu uzyskania większych plonów, zwiększenia odporności na szkodniki i choroby. W przypadku niekorzystnego krzyżowania organizmów modyfikowanych genetycznie z odmianami dzikimi, mogą powstać tzw. **superchwasty**. Niekiedy nawet wygrywają one konkurencję z rodzimymi gatunkami, przez co ograniczają różnorodność biologiczną.

Współczesne rolnictwo rozwija się w trzech kierunkach: nowoczesnym, tradycyjnym oraz ekologicznym.

Rolnictwo		
nowoczesne (intensywne)	**tradycyjne (konwencjonalne)**	**ekologiczne**
• stosuje metody intensywnej (uprzemysłowionej) gospodarki (nowoczesne maszyny rolnicze, nadmierne ilości nawozów mineralnych, pestycydów, syntetycznych regulatorów wzrostu) **Znaczenie dla bioróżnorodności** • zubożenie ekosystemów przez degradację gleb, chemizację rolnictwa, obniżenie poziomu wód, eutrofizację wód • utrata naturalnych siedlisk wielu gatunków • utrata genów odmian niewykorzystanych • zaburzenie naturalnych zależności pokarmowych w ekosystemach 	• mniej produktywne, ale bardziej pracochłonne • opiera się na konwencjonalnych metodach uprawy roślin i hodowli zwierząt (mała ilość nawozów mineralnych, pestycydów, syntetycznych regulatorów wzrostu) **Znaczenie dla bioróżnorodności** • rozdrobnione uprawy stwarzają siedliska dla wielu gatunków • zachowanie naturalnych siedlisk pozwala na funkcjonowanie populacji drobnych roślinożerców i polujących na nie drapieżników • rozdrobnienie upraw ogranicza rozprzestrzenianie się szkodników i ich gradacje 	• stosuje się głównie nawozy organiczne i biologiczne metody ochrony roślin • używa się syntetycznych nawozów i pestycydów (ale przy ciągłej obserwacji skutków przyrodniczych) • dążenie do osiągnięcia jak najwyższej produkcji w sposób możliwie ograniczający skażenia gleby, wód i plonów • poprzez propagowanie życia w symbiozie z przyrodą przedkłada cele przyrodnicze nad ekonomiczne **Znaczenie dla bioróżnorodności** • zachowanie naturalnych siedlisk dla wielu gatunków • funkcjonowanie populacji drobnych roślinożerców i polujących na nie drapieżników  Znak rolnictwa ekologicznego

Odmiany rolnictwa ekologicznego	
biodynamiczne	**organiczno-biologiczne**
• całkowicie wyeliminowanie chemicznych środków ochrony roślin i nawozów mineralnych – gospodarstwa wielokierunkowe, a nie wyspecjalizowane • prowadzona równocześnie uprawa zbóż, warzyw, ziół i owoców oraz hodowla zwierząt • otrzymuje się tzw. czystą żywność	• całkowicie wyeliminowanie chemicznych środków ochrony roślin i nawozów mineralnych • stosowanie wydłużonego płodozmianu • stosowanie nawozów organicznych (gnojówka, gnojowica) • graniczenie orki gleby • szkodniki i choroby zwalczane środkami biologicznymi, a chwasty mechanicznymi
Znaczenie dla różnorodności biologicznej • rolnik, w swojej pracy kierując się zasadą Ziemia – Człowiek – Kosmos, zapewnia równocześnie ochronę środowiska i różnorodności biologicznej na wszystkich poziomach	

Rozwiązania mające na celu zachowanie różnorodności biologicznej na terenach zurbanizowanych

Przejścia podziemne

– tunele dla małych zwierząt;

– płotki naprowadzające na przepusty i zabezpieczające przed wchodzeniem płazów na jezdnię.

Przejścia nadziemne

– zielone mosty dla zwierząt nad autostradami;

– przepławki dla ryb pozwalające na swobodny ruch w dół lub górę rzeki, budowane obok zapór spiętrzających wodę;

– znaki ostrzegawcze na drogach informujące o możliwości przemieszczania się zwierząt;

– szklane ekrany akustyczne z rysunkami ptaków drapieżnych umieszczane przy ruchliwych drogach chroniące ptaki przed zderzeniem się z niewidzialną przeszkodą;

– sokolnicy zatrudniani przy lotniskach w celu płoszenia ptaków mogących zakłócać start i lądowanie samolotów.

13.4. Ochrona gatunków i ekosystemów

Na drodze ewolucji powstają nowe gatunki o nowych cechach, które zwiększają prawdopodobieństwo ich przetrwania mimo zmian zachodzących w środowisku. Dzięki różnorodności biologicznej gatunki i ekosystemy mogą przetrwać niekorzystne zmiany w środowisku. Różnorodność biologiczna jest szczególną wartością całej żywej przyrody. Chroniąc różnorodność biologiczną, chronimy także przyrodę.

Ochrona przyrody

Ochrona przyrody – wszelkie działania, których celem jest zapobiegnięcie zniszczeniu lub uszkodzeniu elementów przyrody, dziko występujących gatunków oraz utworów przyrody nieożywionej poprzez ochronę gatunkową, tworzenie parków narodowych, rezerwatów i innych form ochrony.

Motywy ochrony przyrody



Cele ochrony przyrody

- utrzymanie procesów ekologicznych i stabilności ekosystemów,
- zachowanie różnorodności biologicznej,
- zachowanie dziedzictwa geologicznego i paleontologicznego,
- zapewnienie ciągłości istnienia gatunków wraz z siedliskami,
- kształtowanie właściwych postaw człowieka wobec przyrody.

Działania w zakresie ochrony przyrody

- tworzenie systemów prawnych, zawieranie umów międzynarodowych,
- prace naukowo-badawcze dotyczące stanu i przeobrażeń przyrody (inwentaryzacja, monitoring),
- ochrona terenów cennych przyrodniczo przed wszelkimi formami skażeń i dewastacją,
- promowanie akcji edukacyjnych w celu zwiększenia świadomości społecznej dotyczącej problemów ochrony środowiska (ochrona środowiska zajmuje się zmianami zachodzącymi w środowisku pod wpływem działalności człowieka i zapobieganiu ich skutkom).

Bierna i czynna ochrona przyrody

Ochrona bierna polega na powstrzymywaniu się od jakiejkolwiek działalności mogącej zmienić przyrodę chronionego obszaru (np. tworzenie rezerwatów ścisłych).

Ochrona czynna to działalność mająca na celu zachowanie chronionego obiektu w określonym stanie lub przywracanie stanu pożądanego (np. poprzez poprawę stosunków wodnych, koszenie łąk powstrzymujące sukcesję).

Formy ochrony przyrody w Polsce

Obszary chronione

- **Park narodowy** – obszar o powierzchni minimum 1000 ha o szczególnych wartościach przyrodniczych, kulturowych, naukowych, społecznych i wychowawczych. Ochronie podlega tu cała przyroda i krajobraz. Jest to najwyższa rangą forma ochrony przyrody w Polsce. Według stanu na 31 grudnia 2021 r. w Polsce są 23 parki narodowe.
- **Rezerwat przyrody** – obszar obejmujący ekosystem zachowany w stanie naturalnym lub mało zmienionym wraz z gatunkami roślin i zwierząt, a także elementami przyrody nieożywionej o wartości przyrodniczej, naukowej, kulturowej lub krajobrazowej. Rezerwaty tworzy się w celu ochrony konkretnego elementu środowiska. Wyróżnia się rezerwaty leśne, florystyczne, faunistyczne, torfowiskowe, krajobrazowe, stepowe, wodne, słonoroślowe i rezerwaty przyrody nieożywionej. Istnieją rezerwaty ścisłe, w których nie prowadzi się żadnych prac o charakterze gospodarczym, oraz rezerwaty częściowe, w których dozwolone są zabiegi gospodarcze zabezpieczające trwałość istniejących obiektów. W sumie w Polsce jest ponad 1500 rezerwatów.
- **Park krajobrazowy** – stosunkowo duży obszar chroniony ze względu na wartości przyrodnicze, historyczne i kulturowe. W Polsce jest ponad 120 parków krajobrazowych, dość równomiernie pokrywających cały obszar Polski. Oprócz ochrony przyrody i krajobrazu parki krajobrazowe pełnią też funkcje turystyczne i edukacyjne. Ich ranga jest niższa niż parków narodowych i rezerwatów. Najstarszym parkiem krajobrazowym jest Suwalski Park Krajobrazowy (utworzony w 1976 r.), a największym – Park Krajobrazowy Dolina Baryczy.
- **Obszar chronionego krajobrazu** – wyróżniający się krajobrazowo teren o różnych typach ekosystemów, wartościowy dla turystyki i wypoczynku lub chroniony ze względu na istniejące albo odtwarzane korytarze ekologiczne. W Polsce jest ok. 400 obszarów chronionego krajobrazu.
- **Obszary Natura 2000** obejmują obszary specjalnej ochrony (OSO) wyznaczone dla ochrony ostoi dziko występujących gatunków ptaków i specjalne obszary ochrony (SOO) wyznaczone dla ochrony siedlisk przyrodniczych lub dla siedlisk dziko występujących roślin lub siedlisk zwierząt. W Polsce wprowadzane są od 2004 r. w ramach europejskiej sieci ekologicznej realizowanej przez kraje Unii Europejskiej. Łącznie Obszary Natura 2000 obejmują prawie 1/5 powierzchni kraju (145 obszarów ochrony ptasiej i 864 obszarów ochrony siedliskowej).

Obiekty chronione

- **Pomnik przyrody** – pojedynczy obiekt przyrodniczy, a także ich zespoły, o szczególnej wartości naukowej, kulturowej, historyczno-pamiątkowej i krajobrazowej, np. sędziwe i okazałych rozmiarów drzewa i krzewy, głazy narzutowe, źródła, wodospady, jaskinie itp.
  W Polsce jest ponad 36000 pomników przyrody, najwięcej w województwie mazowieckim, a najmniej w opolskim.
- **Użytek ekologiczny** – pozostałości ekosystemów, mające znaczenie ze względu na zachowanie unikatowych typów środowiska, takich jak naturalne zbiorniki wodne, śródpolne i śródleśne oczka wodne, kępy drzew i krzewów, starorzecza, wydmy, torfowiska itp. oraz stanowiska rzadkich i chronionych gatunków. Użytki ekologiczne są podstawą ochrony różnorodności biologicznej na szczeblu lokalnym i regionalnym. W Polsce jest ponad 8200 użytków ekologicznych.
- **Stanowisko dokumentacyjne** – ważne pod względem naukowym i dydaktycznym miejsce występowania formacji geologicznych, nagromadzeń skamieniałości lub tworów mineralnych oraz fragmenty eksploatowanych oraz nieczynnych wyrobisk powierzchniowych i podziemnych. W Polsce jest ponad 180 stanowisk dokumentacyjnych.
- **Zespół przyrodniczo-krajobrazowy** – fragment krajobrazu przyrodniczego i kulturowego chronionego ze względów estetycznych. W Polsce jest zarejestrowanych ponad 330 zespołów przyrodniczo-krajobrazowych.

Uwaga: terminy „park narodowy" i „pomnik przyrody" wg definicji IUCN nie są tożsame z tymi pojęciami odnoszącymi się do form ochrony przyrody w Polsce.



Białowieski Park Narodowy – najstarszy park narodowy w Polsce



Park Narodowy „Ujście Warty" – najmłodszy park narodowy w Polsce



Ojcowski Park Narodowy – najmniejszy park narodowy w Polsce



Biebrzański Park Narodowy – największy park narodowy w Polsce

Kategorie obszarów chronionych według Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody i jej Zasobów (IUCN)

Kategoria	Opis
Ia	obszar ścisłej ochrony – użytkowanie tylko w celach naukowych
Ib	obszar naturalny – ochrona nienaruszonej przyrody
II	park narodowy – ochrona ekosystemów i terenów rekreacji
III	pomnik przyrody – ochrona specyficznych walorów przyrodniczych
IV	obszar ochrony siedliskowej/gatunkowej – działalność interwencyjna
V	obszar chronionego krajobrazu/morza – ochrona i rekreacja
VI	obszar chroniony o użytkowanych zasobach – trwałe użytkowanie naturalnych ekosystemów

Parki narodowe w Polsce (stan na 31.12.2021 r.)

Nazwa parku	Rok utworzenia	Powierzchnia (km²)	Charakterystyka
Babiogórski Park Narodowy	1954	33,92	Masyw Babiej Góry (Beskid Żywiecki) – najwyższe po Tatrach pasmo górskie w Polsce; rezerwat biosfery UNESCO.
Białowieski Park Narodowy	1947	105,02	Fragment Puszczy Białowieskiej będący najbardziej naturalnym kompleksem leśnym w Europie z żyjącymi na wolności żubrami; rezerwat biosfery UNESCO wpisany na listę Światowego Dziedzictwa Ludzkości.
Biebrzański Park Narodowy	1993	592,23	Największy w środkowej i zachodniej Europie kompleks naturalnych torfowisk i mokradeł w Dolinie Biebrzy, unikatowa w Europie ostoja ptaków wodnych i błotnych.
Bieszczadzki Park Narodowy	1973	292,01	Najwyżej położone partie Bieszczadów; rezerwat biosfery UNESCO.
Drawieński Park Narodowy	1990	113,42	Fragment Puszczy Drawskiej z głęboko wciętymi dolinami rzek i licznymi jeziorami.
Gorczański Park Narodowy	1981	70,30	Fragment pasma Gorców (Beskidy).
Kampinoski Park Narodowy	1959	385,48	Puszcza Kampinoska z wydmami, bagnami i torfowiskami w pradolinie Wisły; rezerwat biosfery UNESCO.
Karkonoski Park Narodowy	1959	55,76	Najwyższe partie Sudetów z alpejskim krajobrazem; rezerwat biosfery UNESCO.
Magurski Park Narodowy	1995	194,39	Fragment Beskidu Niskiego.
Narwiański Park Narodowy	1996	73,50	Bagienna dolina górnej Narwi z rozbudowanym systemem koryt rzecznych i starorzeczy.
Ojcowski Park Narodowy	1956	21,46	Krajobraz Jury Krakowsko-Częstochowskiej z ostańcami i jaskiniami.
Park Narodowy „Bory Tucholskie”	1996	47,98	Kompleks leśny Borów Tucholskich z rzekami, jeziorami i torfowiskami, rezerwat biosfery UNESCO
Park Narodowy Gór Stołowych	1993	63,39	Fragment pasma unikatowych Gór Stołowych ze skałami o fantastycznych kształtach.
Park Narodowy „Ujście Warty”	2001	80,38	Deltowe ujście Warty do Odry z torfowiskami i zalewanymi łąkami; ostoja ptaków wodnych i błotnych.
Pieniński Park Narodowy	1932	23,46	Najwyższa część Pienińskiego Pasa Skałkowego z przełomem Dunajca.
Poleski Park Narodowy	1990	97,62	Kompleks torfowisk, bagien i jezior Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego; rezerwat biosfery UNESCO.
Roztoczański Park Narodowy	1974	84,83	Najcenniejsze przyrodniczo obszary Roztocza w dolinie górnego Wieprza.
Słowiński Park Narodowy	1967	327,44	Wybrzeże Bałtyku, ruchome wydmy, jeziora przymorskie; rezerwat biosfery UNESCO.
Świętokrzyski Park Narodowy	1950	76,26	Najstarsze w Polsce pasmo Gór Świętokrzyskich z gołoborzami i Puszczą Jodłową.

Nazwa parku	Rok utworzenia	Powierzchnia (km²)	Charakterystyka
Tatrzański Park Narodowy	1954	211,64	Najwyższe i jedyne w Polsce góry typu alpejskiego z licznymi potokami, wodospadami i jeziorami; rezerwat biosfery UNESCO.
Wielkopolski Park Narodowy	1957	75,84	Fragment Pojezierza Poznańskiego obejmujący wysoczyznę morenową z licznymi jeziorami różnych typów oraz przełom Warty.
Wigierski Park Narodowy	1989	150,85	Krajobraz polodowcowy Pojezierza Suwalskiego z dużym i głębokim jeziorem Wigry.
Woliński Park Narodowy	1960	109,43	Najwyższe w Polsce wybrzeże klifowe z polodowcową moreną czołową, jeziorami i pasem przybrzeżnych wód Bałtyku.

Rezerwaty biosfery

Rezerwaty biosfery to chronione obszary danego kraju, pod patronatem UNESCO, obejmujące ekosystemy reprezentatywne dla głównych biomów świata (lub ważne dla danego kraju z innych powodów). Mają one naturalny charakter, są praktycznie niezniszczone i dostępne dla monitoringu i badań naukowych. Według stanu na 31.12.2021 r. na terenie Polski było 11 rezerwatów biosfery. Część z nich ma charakter transgraniczny – obejmują obszary chronione państw sąsiednich; przez teren rezerwatu przebiega granica między państwami. Celem tworzenia i ochrony **rezerwatów transgranicznych** jest wspólna, racjonalna i zrównoważona gospodarka ich zasobami i wartościami przyrodniczymi, oparta na współpracy i prawodawstwie respektowanym przez wszystkie graniczące ze sobą państwa.

Rezerwaty biosfery w Polsce

1. „Babia Góra" (obejmuje Babiogórski Park Narodowy).

2. „Białowieża" (Białowieski Park Narodowy i obszar po stronie białoruskiej).

3. „Jezioro Łuknajno" (rezerwat przyrody „Jezioro Łuknajno"), a w 2017 r. w jego miejsce powstał Rezerwat Biosfery Jeziora Mazurskie.

4. „Słowiński" (Słowiński Park Narodowy).

5. „Karpaty Wschodnie" (obejmuje po polskiej stronie Bieszczadzki Park Narodowy i dwa parki krajobrazowe – Ciśniańsko-Wetliński Park Krajobrazowy i Park Krajobrazowy Doliny Sanu oraz tereny chronione po stronie słowackiej i ukraińskiej).

6. „Tatry" (Tatrzański Park Narodowy i park po stronie słowackiej).

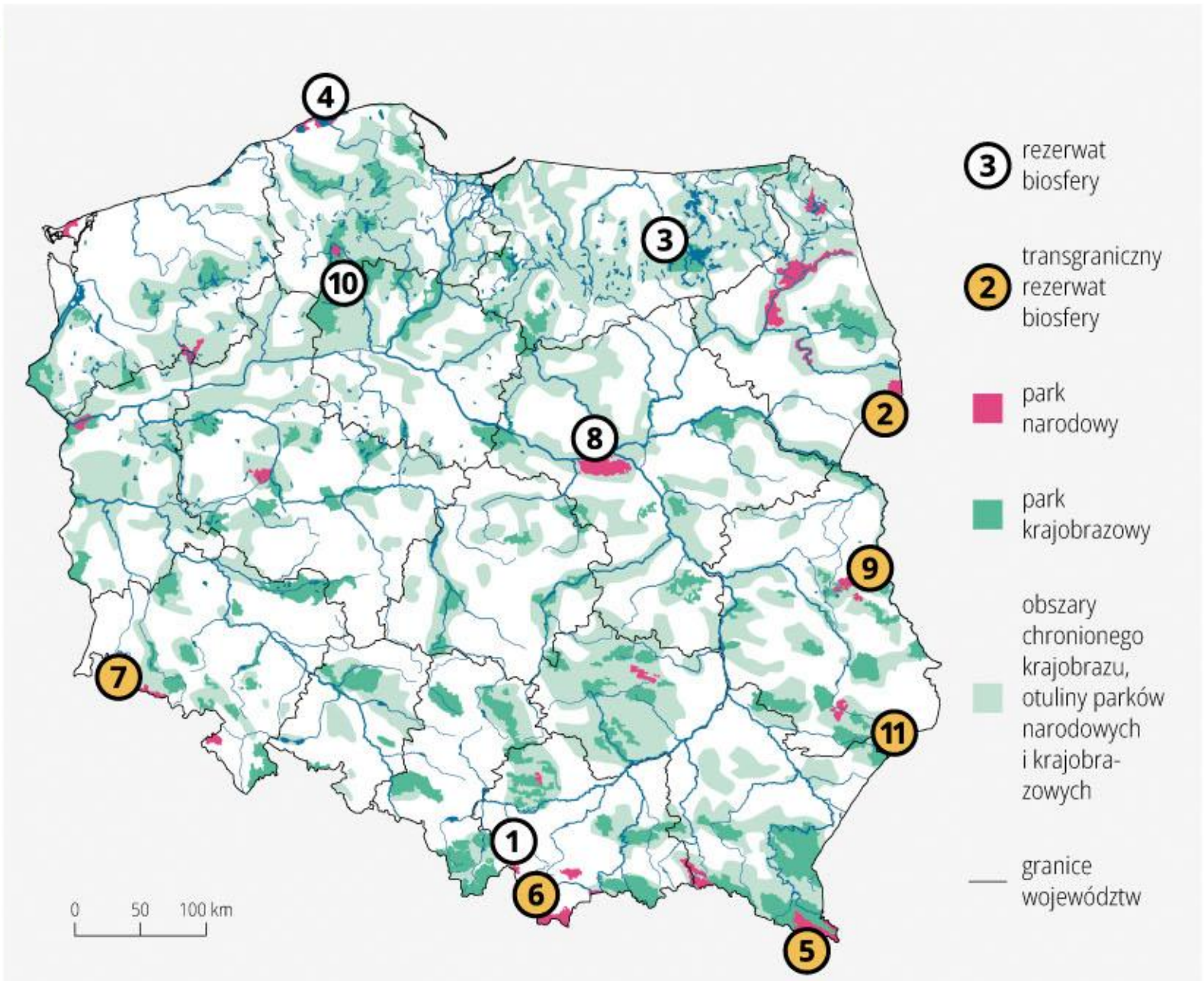
7. „Karkonosze" (Karkonoski Park Narodowy i park po stronie czeskiej).

8. „Puszcza Kampinoska" (Kampinoski Park Narodowy z otuliną).

9. „Polesie Zachodnie" (obejmuje Poleski Park Narodowy z otuliną i trzy parki krajobrazowe po stronie polskiej – Sobiborski Park Krajobrazowy, Poleski Park Krajobrazowy, Park Krajobrazowy Pojezierze Łęczyńskie oraz obszary chronione po stronie ukraińskiej i białoruskiej).

10. „Bory Tucholskie" (obejmuje Park Narodowy Bory Tucholskie i cztery parki krajobrazowe: Tucholski Park Krajobrazowy, Wdecki Park Krajobrazowy, Wdzydzki Park Krajobrazowy i Zaborski Park Krajobrazowy).

11. „Roztocze" (obejmuje Roztoczański Park Narodowy, cztery parki krajobrazowe: Krasnobrodzki Park Krajobrazowy, Park Krajobrazowy Puszczy Solskiej, Południoworoztoczański Park Krajobrazowy, Szczebrzeszyński Park Krajobrazowy oraz rezerwat przyrody po stronie ukraińskiej).



Wybrane parki narodowe świata

Nazwa parku	Położenie	Rok utworzenia	Charakterystyka
Park Narodowy Yellowstone	Ameryka Pn., USA	1872	Góry Skaliste, zjawiska geotermalne (gejzery, gorące źródła, wulkany błotne), bardzo bogata flora i fauna; najstarszy park narodowy na świecie.
Park Narodowy Wielkiego Kanionu	Ameryka Pn., USA	1919	Kanion o długości 350 km, osiągający 1800 m głębokości, wyżłobiony przez rzekę Kolorado.
Park Narodowy Galapagos	Ocean Spokojny	1934	Wyspy wulkaniczne oddalone o 1000 km od Ameryki Pd. (należące do Ekwadoru) z unikalną fauną badaną przez Karola Darwina.
Park Narodowy Iguaçu	Ameryka Pd., Brazylia, Argentyna	1934	Wodospad o szerokości 2,5 km, składający się z ok. 270 kaskad w otoczeniu wilgotnych lasów równikowych.

Nazwa parku	Położenie	Rok utworzenia	Charakterystyka
Park Narodowy Komodo	Azja, Indonezja	1980	Liczne wyspy (największa – Komodo); park utworzono dla ochrony największych jaszczurek – endemicznych waranów, osiągających długość 3 m.
Park Narodowy Sagarmatha	Azja, Nepal	1976	Park obejmuje masywy górskie, w tym najwyższy szczyt Ziemi – Mount Everest; chroni florę i faunę Himalajów.
Park Narodowy Jezior Plitwickich	Europa, Chorwacja	1949	Jeziora o krystalicznej wodzie, wodospady, jaskinie i góry na obszarze krasowym.
Park Narodowy Lemmenjoki	Europa, Finlandia	1956	Dziewicza przyroda w górzystej części Laponii: lasy, torfowiska, renifery, wilki, niedźwiedzie.
Park Narodowy Serengeti	Afryka, Tanzania	1951	Stepowy płaskowyż – największy na świecie obszar wędrówek zwierząt kopytnych oraz bogactwo ssaków drapieżnych i ptaków.
Park Narodowy Kilimandżaro	Afryka, Tanzania	1987	Masyw wulkaniczny – najwyższy szczyt Afryki obejmujący bogactwo roślinności wszystkich stref klimatycznych oraz lodowce.
Park Narodowy Wielkiej Rafy Koralowej	Australia	1975	Największa na Ziemi rafa koralowa o długości ponad 2 tys. km; ekosystem o ogromnej różnorodności biologicznej.

Ochrona gatunkowa – ma na celu zabezpieczenie ciągłości występowania wybranych gatunków oraz ich siedlisk, a w szczególności gatunków rzadko występujących, endemicznych, podatnych na zagrożenia i zagrożonych wyginięciem. W ochronie gatunkowej wyodrębnia się **ochronę ścisłą**, całkowicie zakazującą pozyskiwania określonych gatunków i niszczenia ich siedlisk, oraz **ochronę częściową**, która dopuszcza częściowe pozyskiwanie gatunków chronionych z wyznaczonych obszarów, np. w celach naukowych, leczniczych, gospodarczych. Listę gatunków chronionych ściśle i częściowo ustala minister środowiska, który ją systematycznie aktualizuje. Ochronie gatunkowej podlegają populacje zagrożone wyginięciem według kategorii określonych przez Międzynarodową Unię Ochrony Przyrody i jej Zasobów (IUCN) na szczeblu krajowym i międzynarodowym oraz organizmy uznane za pożyteczne. Wykaz gatunków zagrożonych publikowany jest w tzw. czerwonych księgach lub w formie uproszczonej na czerwonych listach.

Przykłady gatunków nieobecnych w Polsce lub obecnych dzięki udanej introdukcji

Drop (*Otis tarda*)

Przyczyną wyginięcia tego gatunku ptaka, oprócz polowań i kłusownictwa, była mechanizacja i chemizacja rolnictwa oraz budowa sieci linii przesyłowych. Ostatnie gniazdo dropia stwierdzono w Wielkopolsce w latach osiemdziesiątych XX w. Eksperymenty nad wprowadzeniem tego gatunku są prowadzone w innych państwach, m.in. w Wielkiej Brytanii. Dropie przetrwały i żyją na wolności w Hiszpanii, Portugalii, wschodnich Niemczech, na Słowacji, w Czechach i na Węgrzech.



Skójka perłorodna (perłoródka rzeczna, *Margaritifera margaritifera*)

Występuje w potokach spływających ze stromych krystalicznych masywów górskich. Na obszarze Polski perłoródka wymarła w czasach historycznych. Występowała licznie w wodach Dolnego Śląska. W średniowieczu Dolny Śląsk był ważnym ośrodkiem pozyskiwania „słodkowodnych pereł". Małże te łowiono nie tylko dla pereł, lecz także w celu pozyskiwania masy perłowej, która służyła m.in. do produkcji guzików. Skójki były również pokarmem zwierząt gospodarskich oraz pożywieniem dla ludzi. W związku z tym pod koniec XIX w. perłoródka stała się niezwykle rzadkim gatunkiem. Do wyginięcia perłoródki rzecznej przyczyniły się także zanieczyszczenia przemysłowe i rolnicze ekosystemów wodnych oraz pojawienie się w nich nowych gatunków zwierząt – pstrąga tęczowego i piżmaka. Pstrąg tęczowy wyparł naturalnego żywiciela larw perłoródki – pstrąga potokowego, a dla piżmaka perłoródka stała się łatwym do zdobycia pokarmem. Próba restytucji perłoródki podjęta w 1965 r. w Śnieżnym Potoku na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego i w górnym biegu Kwisy nie powiodła się.



Popielica (*Glis glis*)

W północno-zachodniej Polsce prawie całkowicie wyginęła popielica – gryzoń wielkością zbliżony do szczura. Przyczyną wyginięcia było wycinanie starych lasów bukowych, które stanowiły jej naturalne siedlisko. W zachodniej Polsce istnieją dwa stanowiska występowania popielicy – jedno na Pomorzu i jedno w Wielkopolsce. Są to jednak środowiska izolowane, wyraźnie ograniczone (np. przez pola, lasy iglaste), przez co zwierzęta mają utrudnioną migrację. Udaną reintrodukcję popielicy przeprowadzono w Sierakowskim Parku Krajobrazowym i Puszczy Bukowej w Szczecińskim Parku Krajobrazowym. Obecnie jest prowadzona trzecia na terenie Barlinecko-Gorzowskiego Parku Krajobrazowego.



Marsylia czterolistna (*Marsilea quadrifolia*)

Marsylia czterolistna jest paprocią wodną. W Polsce występowała naturalnie na Śląsku. W 1871 r. odkryto stanowisko w obrębie współczesnych granic Rybnika. Ostatnie potwierdzenie istnienia tego stanowiska miało miejsce w 1929 r. Od tego roku uznano paproć za wymarłą w Polsce. W 1973 r. odnaleziono przypadkowo okaz marsylii czterolistnej na brzegu Zbiornika Goczałkowickiego. Został on przekazany do Ogrodu Botanicznego w Warszawie, gdzie przez kilka lat utrzymywany był w basenach tego ogrodu. Po namnożeniu marsylii, część roślin trafiła do arboretum w Bolestraszycach (koło Przemyśla), skąd pod koniec XX w. została introdukowana do zbiorników w okolicach Puław. Od 2018 r. paproć ponownie występuje na brzegu Jeziora Goczałkowickiego.



Niektóre kategorie i kryteria zagrożonych gatunków według Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody i Jej Zasobów (IUCN)

Kategoria	Kryteria
1. Wymarłe (EX) (*extinct*)	Brak danych o istnieniu osobników określonych gatunków, np. w Polsce małż perłoródka rzeczna (*Margaritifera margaritifera*).
2. Wymarłe na wolności (EW) (*extinct in the wild*)	Osobniki żyjące tylko w hodowli i w populacjach przywróconych do natury poza dawnym zasięgiem, np. roślina warzucha polska (*Cochlearia polonica*).

Kategoria	Kryteria
3. Krytycznie zagrożone (CR) (*critically endangered*)	Gatunki, których liczebność zmalała w kraju do poziomu krytycznego, lub takie, które występują tylko na pojedynczych stanowiskach, np. motyl niepylak apollo (*Parnassius apollo*).
4. Zagrożone (EN) (*endangered*)	Gatunki silnie zagrożone wyginięciem ze względu na niepokojące tempo zanikania populacji i porozrywany, wyspowy zasięg, np. chrząszcz nadobnica alpejska (*Rosalia alpina*).
5. Narażone na wymarcie (VU) (*vulnerable*)	Gatunki, u których obserwuje się spadki populacyjne i które nie mają dobrych perspektyw rozwojowych (np. straty siedlisk), np. ślimak poczwarówka jajowata (*Vertigo moulinsiana*).
6. Bliskie zagrożenia (mniej narażone) (NT) (*near threatened*)	Gatunki bliskie poprzedniej kategorii, jednak jeszcze się do niej nie kwalifikujące, np. pijawka lekarska (*Hirudo medicinalis*).
7. Najmniejszej troski (LC) (*least concern*)	Gatunki szeroko rozpowszechnione i pospolite, którym na razie nic nie grozi, np. ślimak żółtawy (*Helix lutescens*).
8. Gatunki o nieokreślonym stopniu zagrożenia (DD) (*data deficient*)	Gatunki, o których brak dostatecznych danych o rozmieszczeniu i częstości występowania; istnieje prawdopodobieństwo zaliczenia ich do jednej z kategorii zagrożenia po uzupełnieniu danych, np. roślina krwawnik wyprostowany (*Achillea stricta*).
9. Gatunki nieoszacowane według kryteriów IUCN (NE) (*not evaluated*)	Gatunki niepoddane jeszcze ocenie.

Ochrona gatunkowa roślin, zwierząt i grzybów

W Polsce ochroną gatunkową objęto ponad 750 gatunków zwierząt (w tym ok. 220 gatunków bezkręgowców), ponad 470 gatunków lub całych rodzajów roślin i 120 gatunków grzybów razem z porostami. Gatunki mogą być chronione całkowicie, przez cały rok lub też objęte częściową ochroną gospodarczo wykorzystywane według określonych przepisów prawnych.

Oprócz gatunków roślin ochronie podlegają zagrożone zbiorowiska ich występowania: wodne, torfowiskowe i bagienne, a także gatunki zwierząt, miejsca ich rozrodu lub regularnego przebywania. Dla grzybów, których nie można hodować poza miejscem ich naturalnego występowania, oprócz ochrony gatunkowej prowadzi się ochronę siedliskową.



Ślimak winniczek (*Helix pomatia*) przez 31 dni każdego roku (od 1 do 31 maja) może być zbierany w celach konsumpcyjnych (średnica muszli ślimaka powinna być większa niż 3 cm).

Dla zwierząt cennych gospodarczo, tzw. zwierzyny łownej oraz niektórych roślin leczniczych czy ślimaków winniczków, wprowadzono **okresy ochronne** (okres m.in. rozrodu, w którym nie można ich pozyskiwać) oraz **wymiary ochronne** (wymiary ciała, poniżej których nie można odławiać osobników), a dla ryb także limity dziennego połowu.

Genetyczna ochrona gatunku

Populacje danego gatunku mogą się charakteryzować różną zmiennością genetyczną i jej tempem. Im bardziej zredukowana jest zmienność i wzrasta stopień specjalizacji gatunku, tym mniej dany gatunek będzie zdolny do reagowania na zmieniające się warunki środowiska oraz może utracić zdolność ponownego kolonizowania przywróconych siedlisk. Ograniczenie zmienności genetycznej wiąże się z utratą części gatunku, odpowiadającą za różne rasy geograficzne lub odmiany barwne, a więc potencjał ewolucyjny gatunku maleje. Duża utrata tej zmienności wymaga interwencji człowieka w celu ochrony gatunku. Przykładem ochrony genetycznej jest ochrona koali w Australii. Działania ochronne mają na celu zapobieganie mieszaniu się genotypów bardzo odległych populacji, prowadzących do utraty zmienności oraz lokalnych przystosowań. Między sąsiadującymi populacjami natomiast należy utrzymać kontakt, aby nie doszło do izolacji genetycznej, a w konsekwencji do utraty zmienności.

Czerwona Księga Zwierząt, Roślin i Grzybów

Rejestr gatunków ginących, zagrożonych wyginięciem i już nieobecnych w faunie i florze poszczególnych państw, od 1966 r. jest publikowany przez Międzynarodową Unię Ochrony Przyrody i jej Zasobów (IUCN) w postaci tzw. **Czerwonej Księgi**.

Regulacje prawne dotyczące ochrony przyrody i różnorodności biologicznej

Konwencja CITES

Konwencja o międzynarodowym handlu dzikimi zwierzętami i roślinami gatunków zagrożonych wyginięciem (tzw. Konwencja waszyngtońska lub Konwencja CITES, ang. The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild fauna and Flora).

Konwencja zakazuje handlu gatunkami uznanymi za wymierające i wykonanymi z nich przedmiotami (np. wyroby z kości słoniowej). Na listach konwencji znajduje się ponad 50 tysięcy gatunków i podgatunków podlegających ochronie.

Logo Konwencji waszyngtońskiej

Wybrane akty prawne, konwencje europejskie i międzynarodowe dotyczące ochrony różnorodności biologicznej

Aspekt/element środowiska	Nazwa aktu	Miejsce i rok podpisania	Status aktu w Polsce
różnorodność biologiczna	Protokół kartageński o bezpieczeństwie genetycznym	Montreal, 2000 r.	ratyfikowany w 2004 r.
ochrona gatunków i siedlisk	Protokół dotyczący dostępu do zasobów genetycznych oraz uczciwego i sprawiedliwego podziału korzyści wynikających z ich wykorzystania	Nagoya, 2010 r.	ratyfikowany w 2014 r.
	Konwencja o międzynarodowym handlu dzikimi zwierzętami i roślinami gatunków zagrożonych wyginięciem (CITES)	Waszyngton, 1973	ratyfikowana w 1977 r.
	Konwencja o ochronie wędrownych gatunków dzikich zwierząt (konwencja bońska)	Bonn, 1979 r.	ratyfikowana w 1995 r.
	Konwencja o ochronie gatunków dzikiej fauny i flory europejskiej oraz ich siedlisk naturalnych (zapoczątkowała sieć ekologiczną Natura 2000) (konwencja berneńska)	Brno, 1979 r.	ratyfikowana w 1996 r.
ochrona Bałtyku	Porozumienie o ochronie małych waleni Bałtyku i Morza Północnego	Nowy Jork, 1992 r.	ratyfikowane w 1992 r.
	Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego (konwencja helsińska)	Helsinki, 1992 r.	ratyfikowana w 1999 r.
światowe dziedzictwo kulturowe i przyrodnicze	Konwencja o ochronie światowego dziedzictwa kulturowego i przyrodniczego (konwencja paryska)	Paryż, 1975 r.	ratyfikowana w 1976 r.

Wybrane akty prawne, konwencje europejskie i międzynarodowe dotyczące ochrony środowiska

Aspekt/element środowiska	Nazwa aktu	Miejsce i rok podpisania	Status aktu w Polsce
klimat	Konwencja ramowa Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (konwencja klimatyczna)	Nowy Jork, 1992 r.	ratyfikowana w 1994 r.
ochrona warstwy ozonowej	Konwencja wiedeńska o ochronie warstwy ozonowej	Wiedeń, 1985 r.	ratyfikowana w 1990 r.
	Protokół montrealski w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową (Protokół montrealski)	Montreal, 1987 r.	ratyfikowany w 1990 r.
	Konwencja o ochronie nietoperzy w Europie (EUROBATS)	Londyn,1991 r.	ratyfikowana w 1996 r.
ochrona powietrza	Konwencja w sprawie transgenicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości	Genewa, 1979 r.	ratyfikowana w 1985 r.
odpady	Konwencja bazylejska o kontroli transgenicznego przemieszczania i usuwania odpadów niebezpiecznych	Bazylea, 1989 r.	ratyfikowana w 1992 r.

Szczególnie istotne były konwencje podpisane w ramach dokumentu zwanego **Agendą 21** na konferencji w Rio de Janeiro w 1992 r. (tzw. Szczyt Ziemi). Agenda 21 jest światowym programem działań na rzecz środowiska, wskazującym na powiązanie rozwoju gospodarczego i społecznego z poszanowaniem środowiska (wprowadzenie strategii zrównoważonego rozwoju).

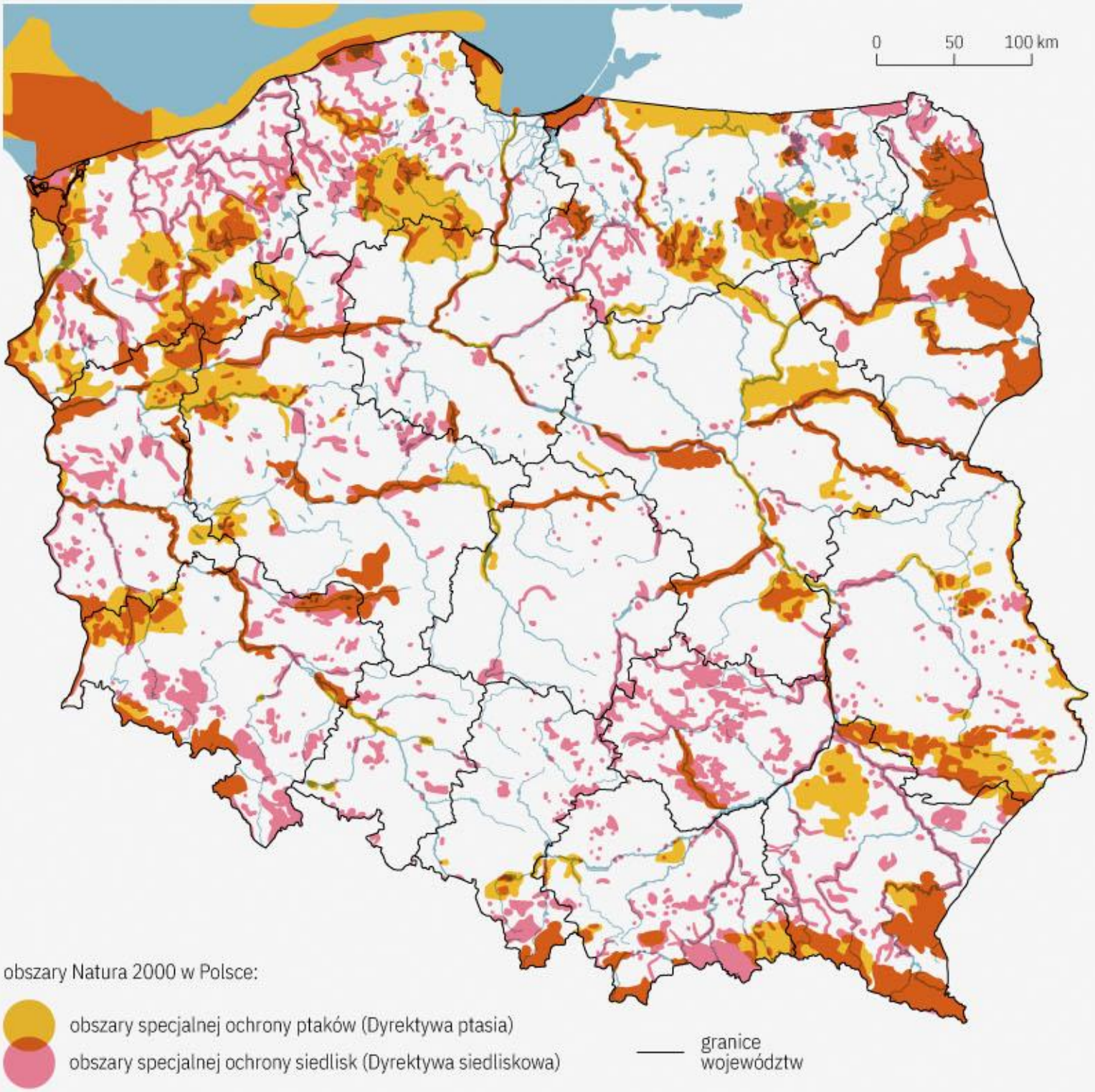
Poszczególne konwencje z upływem czasu rozszerzały swoje akty prawne o odpowiednie protokoły, np. konwencja klimatyczna, tzw. Protokół z Kioto z 1997 r. oraz Porozumienie Paryskie z 2015 r.

Ważną inicjatywą europejską jest **Dyrektywa w sprawie dzikiego ptactwa** oraz **Dyrektywa w sprawie ochrony siedlisk naturalnych dzikiej fauny i flory**. Dyrektywy te są podstawą prawną sieci Natura 2000. W ramach tego programu każde z państw Unii Europejskiej wyznacza ochronę obszarową lub gatunkową z uwzględnieniem gospodarki człowieka.

Dyrektywa ptasia i siedliskowa



Natura 2000	
Dyrektywa siedliskowa	Dyrektywa ptasia
Dyrektywa Rady o ochronie naturalnych siedlisk oraz dziko żyjącej fauny i flory (92/43/EWG) z 21 maja 1992 r. • celem jest ochrona pozostałych gatunków zwierząt innych niż ptaki, a także roślin i siedlisk przyrodniczych oraz procedury ochrony obszarów szczególnie ważnych przyrodniczo	Dyrektywa Rady o ochronie dziko żyjących ptaków (79/409/EWG) z 2 kwietnia 1979 r. • celem jest ochrona i zachowanie wszystkich gatunków ptaków występujących naturalnie w stanie dzikim oraz prawna regulacja zakazu handlu i pozyskiwania ptaków łownych



Obszary Polski objęte Dyrektywą ptasią i Dyrektywą siedliskową

Inną ważną inicjatywą europejską jest tworzenie ogólnoeuropejskiej sieci ochrony przyrody – **ECONET** oraz **Paneuropejska Strategia Ochrony Różnorodności Biologicznej i Krajobrazowej**. Strategia ma zapewnić ochronę i zrównoważone użytkowanie różnorodności biologicznej w Europie. Polska jako członek Unii Europejskiej aktywnie uczestniczy w tych działaniach. Dopiero działanie Wspólnoty Europejskiej w realizacji polityki ochrony środowiska znacznie zmniejszy, a także częściowo przynajmniej zlikwiduje szereg zagrożeń różnorodności biologicznej.

WYBRANE WZORY I STAŁE FIZYKOCHEMICZNE NA EGZAMIN MATURALNY Z BIOLOGII, CHEMII I FIZYKI

Potencjał wody w komórce roślinnej

$\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P$

Ψ_W – potencjał wody

Ψ_S – potencjał osmotyczny

Ψ_P – potencjał ciśnienia

Równanie Hardy'ego–Weinberga

$p + q = 1$

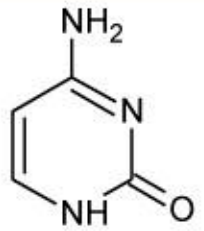
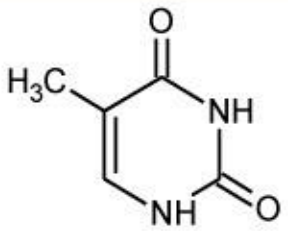
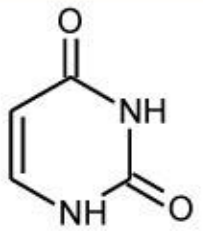
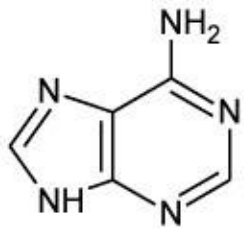
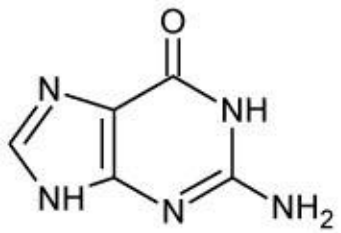
$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$

gdzie:

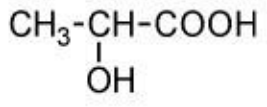
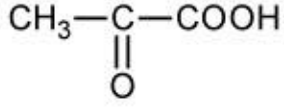
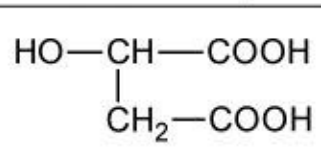
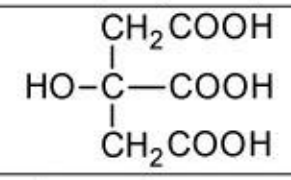
p – częstość allelu dominującego w populacji,

q – częstość allelu recesywnego w populacji.

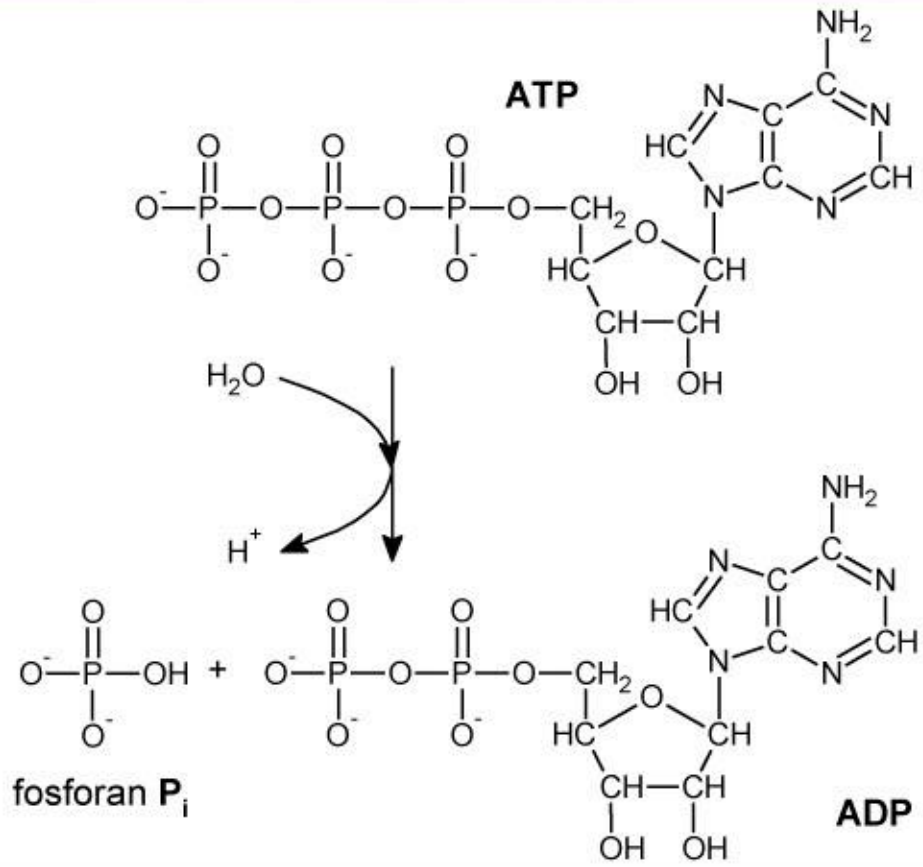
Zasady azotowe

		
Cytozyna (C)	Tymina (T)	Uracyl (U)
		
Adenina (A)	Guanina (G)	

Wybrane kwasy organiczne

	
kwas mlekowy	**kwas pirogronowy**
	
kwas jabłkowy	**kwas cytrynowy**

Hydroliza ATP



PODSTAWOWE WZORY ZE STATYSTYKI

Średnia arytmetyczna

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

n – liczebność próby
$x_1, x_2, \ldots, x_n$ – kolejne obserwacje

Średnia ważona

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \cdots + w_n}$$

n – liczebność próby
$x_1, x_2, \ldots, x_n$ – kolejne obserwacje
$w_1, w_2, \ldots, w_n$ – wagi przyporządkowane kolejnym obserwacjom

Odchylenie standardowe

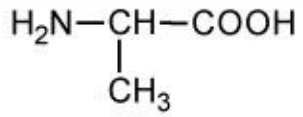
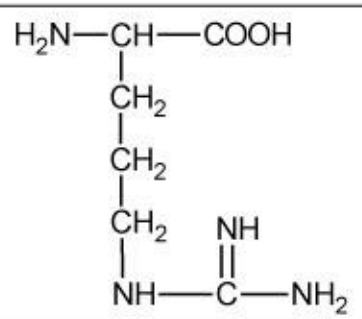
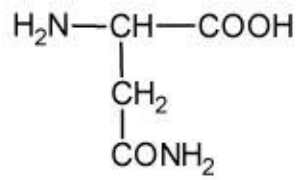
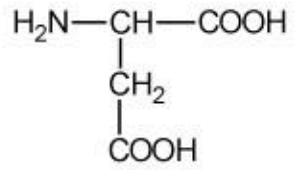
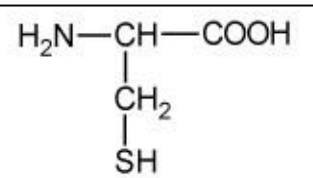
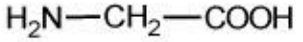
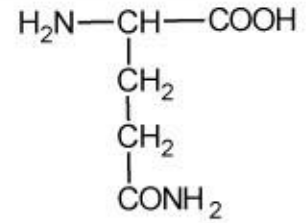
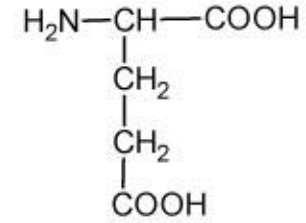
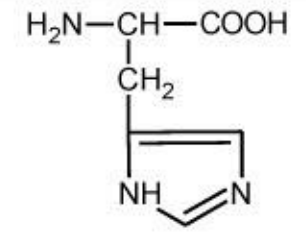
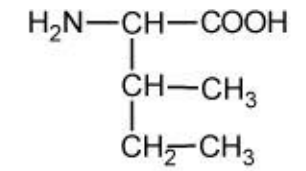
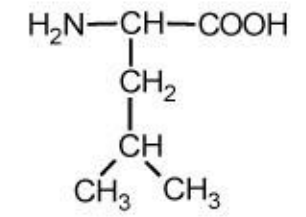
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

x_i – i-ta obserwacja
$\bar{x}$ – średnia arytmetyczna
n – liczba obserwacji

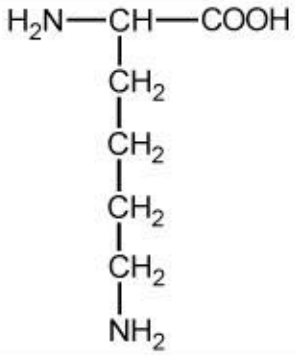
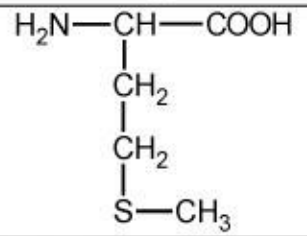
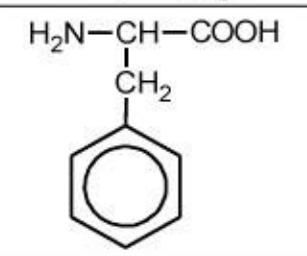
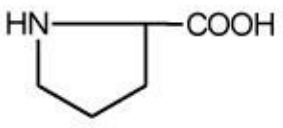
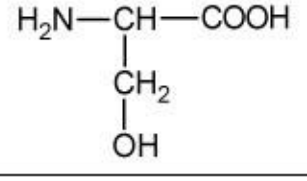
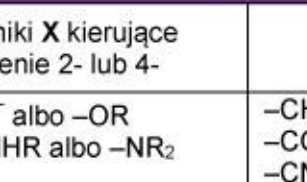
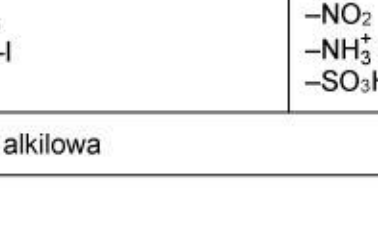
KOD GENETYCZNY

Pierwsza pozycja	Druga pozycja: U	Druga pozycja: C	Druga pozycja: A	Druga pozycja: G	Trzecia pozycja
U	UUU fenyloalanina	UCU seryna	UAU tyrozyna	UGU cysteina	U
	UUC fenyloalanina	UCC seryna	UAC tyrozyna	UGC cysteina	C
	UUA leucyna	UCA seryna	UAA *STOP*	UGA *STOP*	A
	UUG leucyna	UCG seryna	UAG *STOP*	UGG tryptofan	G
C	CUU leucyna	CCU prolina	CAU histydyna	CGU arginina	U
	CUC leucyna	CCC prolina	CAC histydyna	CGC arginina	C
	CUA leucyna	CCA prolina	CAA glutamina	CGA arginina	A
	CUG leucyna	CCG prolina	CAG glutamina	CGG arginina	G
A	AUU izoleucyna	ACU treonina	AAU asparagina	AGU seryna	U
	AUC izoleucyna	ACC treonina	AAC asparagina	AGC seryna	C
	AUA izoleucyna	ACA treonina	AAA lizyna	AGA arginina	A
	AUG metionina, *START*	ACG treonina	AAG lizyna	AGG arginina	G
G	GUU walina	GCU alanina	GAU kw. asparaginowy	GGU glicyna	U
	GUC walina	GCC alanina	GAC kw. Asparaginowy	GGC glicyna	C
	GUA walina	GCA alanina	GAA kw. glutaminowy	GGA glicyna	A
	GUG walina	GCG alanina	GAG kw. glutaminowy	GGG glicyna	G

Wybrane aminokwasy białkowe

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Alanina		Ala	6,00
Arginina		Arg	10,76
Asparagina		Asn	5,41
Kwas asparaginowy		Asp	2,77
Cysteina		Cys	5,07
Glicyna		Gly	5,97
Glutamina		Gln	5,65
Kwas glutaminowy		Glu	3,22
Histydyna		His	7,59
Izoleucyna		Ile	6,02
Leucyna		Leu	5,98

WYBRANE AMINOKWASY BIAŁKOWE – CD.

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Lizyna		**Lys**	9,74
Metionina		**Met**	5,74
Fenyloalanina		**Phe**	5,48
Prolina		**Pro**	6,30
Seryna		**Ser**	5,68
Treonina		**Thr**	5,60
Tryptofan		**Trp**	5,89
Tyrozyna		**Tyr**	5,66
Walina		**Val**	5,96

WPŁYW KIERUJĄCY PODSTAWNIKÓW W PIERŚCIENIU AROMATYCZNYM

Podstawniki **X** kierujące w położenie 2- lub 4-	Podstawniki **X** kierujące w położenie 3-
–OH albo $–O^-$ albo –OR $–NH_2$ albo –NHR albo $–NR_2$ –NHCOR $–R$, $–C_6H_5$ –Cl, –Br, –I	–CHO, –COR –COOH albo –COOR –CN $–NO_2$ $–NH_3^+$ albo $–NR_3^+$ $–SO_3H$

R – grupa alkilowa

STAŁE DYSOCJACJI DLA GRUP FUNKCYJNYCH AMINOKWASÓW W TEMPERATURZE 25 °C

Skrót	Nazwa aminokwasu	dla grupy karboksylowej				dla sprotonowanej grupy aminowej				dla innych grup	
		przy atomie C_α		dodatkowej		przy atomie C_α		dodatkowej			
		K_a	pK_a	K_a	pK_a	K_a	pK_a	K_a	pK_a	K_a	pK_a
Ala	alanina	$4{,}68 \cdot 10^{-3}$	2,33	–	–	$1{,}95 \cdot 10^{-10}$	9,71	–	–	–	–
Arg	arginina	$9{,}33 \cdot 10^{-3}$	2,03	–	–	$1{,}00 \cdot 10^{-9}$	9,00	$7{,}94 \cdot 10^{-13}$	12,10	–	–
Asn	asparagina	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	–	–	$1{,}86 \cdot 10^{-9}$	8,73	–	–	–	–
Asp	kwas asparaginowy	$1{,}12 \cdot 10^{-2}$	1,95	$1{,}95 \cdot 10^{-4}$	3,71	$2{,}19 \cdot 10^{-10}$	9,66	–	–	–	–
Cys	cysteina	$1{,}23 \cdot 10^{-2}$	1,91	–	–	$5{,}25 \cdot 10^{-11}$	10,28	–	–	$7{,}24 \cdot 10^{-9}$	8,14 (–SH)
Gln	glutamina	$6{,}61 \cdot 10^{-3}$	2,18	–	–	$1{,}00 \cdot 10^{-9}$	9,00	–	–	–	–
Glu	kwas glutaminowy	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	$7{,}08 \cdot 10^{-5}$	4,15	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	–	–	–	–
Gly	glicyna	$4{,}57 \cdot 10^{-3}$	2,34	–	–	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	–	–	–	–
His	histydyna	$2{,}00 \cdot 10^{-2}$	1,70	–	–	$8{,}13 \cdot 10^{-10}$	9,09	$9{,}12 \cdot 10^{-7}$	6,04	–	–
Ile	izoleucyna	$5{,}50 \cdot 10^{-3}$	2,26	–	–	$2{,}51 \cdot 10^{-10}$	9,60	–	–	–	–
Leu	leucyna	$4{,}79 \cdot 10^{-3}$	2,32	–	–	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	–	–	–	–
Lys	lizyna	$7{,}08 \cdot 10^{-3}$	2,15	–	–	$6{,}92 \cdot 10^{-10}$	9,16	$2{,}14 \cdot 10^{-11}$	10,67	–	–
Met	metionina	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	–	–	$8{,}32 \cdot 10^{-10}$	9,08	–	–	–	–
Phe	fenyloalanina	$6{,}61 \cdot 10^{-3}$	2,18	–	–	$8{,}13 \cdot 10^{-10}$	9,09	–	–	–	–
Pro	prolina	$1{,}12 \cdot 10^{-2}$	1,95	–	–	$3{,}39 \cdot 10^{-11}$	10,47	–	–	–	–
Ser	seryna	$7{,}41 \cdot 10^{-3}$	2,13	–	–	$8{,}91 \cdot 10^{-10}$	9,05	–	–	–	–
Thr	treonina	$6{,}31 \cdot 10^{-3}$	2,20	–	–	$1{,}10 \cdot 10^{-9}$	8,96	–	–	–	–
Trp	tryptofan	$4{,}17 \cdot 10^{-3}$	2,38	–	–	$4{,}57 \cdot 10^{-10}$	9,34	–	–	–	–
Tyr	tyrozyna	$5{,}75 \cdot 10^{-3}$	2,24	–	–	$9{,}12 \cdot 10^{-10}$	9,04	–	–	$7{,}94 \cdot 10^{-11}$	10,10 (–OH)
Val	walina	$5{,}37 \cdot 10^{-3}$	2,27	–	–	$3{,}02 \cdot 10^{-10}$	9,52	–	–	–	–

Wartości stałej dysocjacji wybranych kwasów i zasad w temperaturze 25 °C

Kwasy nieorganiczne

Wzór kwasu	Nazwa	Etap	K_a	pK_a
HF	kwas fluorowodorowy		$6{,}31 \cdot 10^{-4}$	3,20
HCl	kwas chlorowodorowy		10^{7}	–7,0
HBr	kwas bromowodorowy		10^{9}	–9,0
HI	kwas jodowodorowy		10^{10}	–10,0
H_2S	kwas siarkowodorowy	1 2	$8{,}91 \cdot 10^{-8}$ 10^{-19}	7,05 19,0
H_2Se	kwas selenowodorowy	1 2	$1{,}29 \cdot 10^{-4}$ 10^{-11}	3,89 11,0
H_2Te	kwas tellurowodorowy	1 2	$1{,}51 \cdot 10^{-3}$ 10^{-11}	2,6 11,0
HClO	kwas chlorowy(I)		$3{,}98 \cdot 10^{-8}$	7,40
$HClO_2$	kwas chlorowy(III)		$1{,}15 \cdot 10^{-2}$	1,94
HNO_2	kwas azotowy(III)		$5{,}62 \cdot 10^{-4}$	3,25
H_2SO_3	kwas siarkowy(IV)	1 2	$1{,}41 \cdot 10^{-2}$ $6{,}31 \cdot 10^{-8}$	1,85 7,20
H_2SO_4	kwas siarkowy(VI)	2	$1{,}02 \cdot 10^{-2}$	1,99
H_3BO_3	kwas borowy	1 2	$5{,}37 \cdot 10^{-10}$ 10^{-14}	9,27 14,0
H_3AsO_4	kwas ortoarsenowy(V)	1 2 3	$5{,}50 \cdot 10^{-3}$ $1{,}74 \cdot 10^{-7}$ $5{,}13 \cdot 10^{-12}$	2,26 6,76 11,29
H_3PO_4	kwas ortofosforowy(V)	1 2 3	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$ $6{,}17 \cdot 10^{-8}$ $4{,}79 \cdot 10^{-13}$	2,16 7,21 12,32
H_4SiO_4	kwas ortokrzemowy	1 2 3 4	$1{,}26 \cdot 10^{-10}$ $1{,}58 \cdot 10^{-12}$ 10^{-12} 10^{-12}	9,9 11,8 12,0 12,0
H_2CO_3	kwas węglowy	1 2	$4{,}47 \cdot 10^{-7}$ $4{,}68 \cdot 10^{-11}$	6,35 10,33

Kwasy organiczne

$H_2C_2O_4$	kwas szczawiowy	1 2	$5{,}62 \cdot 10^{-2}$ $1{,}55 \cdot 10^{-4}$	1,25 3,81

Kwasy organiczne – cd.

Wzór kwasu	Nazwa	K_a	pK_a
HCOOH	kwas mrówkowy	$1{,}78 \cdot 10^{-4}$	3,75
CH_3COOH	kwas octowy	$1{,}75 \cdot 10^{-5}$	4,756
CH_3CH_2COOH	kwas propanowy	$1{,}35 \cdot 10^{-5}$	4,87
C_6H_5COOH	kwas benzoesowy	$6{,}25 \cdot 10^{-5}$	4,20
C_6H_5OH	fenol	$1{,}02 \cdot 10^{-10}$	9,99

Zasady

Wzór zasady	Nazwa	K_b	pK_b
NH_3	amoniak	$1{,}78 \cdot 10^{-5}$	4,75
CH_3NH_2	metanoamina	$4{,}57 \cdot 10^{-4}$	3,34
$CH_3CH_2NH_2$	etanoamina	$4{,}47 \cdot 10^{-4}$	3,35
$CH_3CH_2CH_2NH_2$	propano-1-amina	$3{,}47 \cdot 10^{-4}$	3,46
$(CH_3)_2NH$	*N*-metylometanoamina	$5{,}37 \cdot 10^{-4}$	3,27
$(CH_3)_3N$	*N,N*-dimetylometanoamina	$6{,}31 \cdot 10^{-5}$	4,20
$C_6H_5NH_2$	anilina	$7{,}41 \cdot 10^{-10}$	9,13

Średnie długości wiązań w cząsteczkach w fazie gazowej

Wiązania pojedyncze		Wiązania wielokrotne	
Wiązanie	**Długość, pm**	**Wiązanie**	**Długość, pm**
Br–Br	228	C=C	134
C–C	153	C=O	121
Cl–Cl	199	N=O	118
H–H	74	O=O	121
I–I	267	S=O	148
O–H	96	N≡N	113
H–F	92	C≡C	120
H–Cl	128	C≡N	116
H–Br	141		
H–I	161		
C–O	142		
N–O	143		

Wartości iloczynu rozpuszczalności wybranych substancji w temperaturze 25 °C

Wzór	Nazwa	K_s	pK_s
AgBr	bromek srebra(I)	$5{,}35 \cdot 10^{-13}$	12,27
AgCl	chlorek srebra(I)	$1{,}77 \cdot 10^{-10}$	9,75
AgI	jodek srebra(I)	$8{,}52 \cdot 10^{-17}$	16,07
Ag_3PO_4	fosforan(V) srebra(I)	$8{,}89 \cdot 10^{-17}$	16,05
Ag_2SO_4	siarczan(VI) srebra(I)	$1{,}20 \cdot 10^{-5}$	4,92
$AlPO_4$	fosforan(V) glinu	$9{,}84 \cdot 10^{-21}$	20,0
$BaCO_3$	węglan baru	$2{,}58 \cdot 10^{-9}$	8,59
$BaCrO_4$	chromian(VI) baru	$1{,}17 \cdot 10^{-10}$	9,93
BaF_2	fluorek baru	$1{,}84 \cdot 10^{-7}$	6,74
$Ba(OH)_2$	wodorotlenek baru	$2{,}55 \cdot 10^{-4}$	3,59
$BaSO_4$	siarczan(VI) baru	$1{,}08 \cdot 10^{-10}$	9,97
$CaCO_3$	węglan wapnia	$3{,}36 \cdot 10^{-9}$	8,47
CaF_2	fluorek wapnia	$3{,}45 \cdot 10^{-11}$	10,46
$Ca(OH)_2$	wodorotlenek wapnia	$5{,}02 \cdot 10^{-6}$	5,30
$Ca_3(PO_4)_2$	fosforan(V) wapnia	$2{,}07 \cdot 10^{-33}$	32,68
$CaSO_4$	siarczan(VI) wapnia	$4{,}93 \cdot 10^{-5}$	4,31
CuBr	bromek miedzi(I)	$6{,}27 \cdot 10^{-9}$	8,20
$Cu_3(PO_4)_2$	fosforan(V) miedzi(II)	$1{,}40 \cdot 10^{-37}$	36,85
$FeCO_3$	węglan żelaza(II)	$3{,}13 \cdot 10^{-11}$	10,50
$Fe(OH)_2$	wodorotlenek żelaza(II)	$4{,}87 \cdot 10^{-17}$	16,31
$Fe(OH)_3$	wodorotlenek żelaza(III)	$2{,}79 \cdot 10^{-39}$	38,55
$FePO_4$	fosforan(V) żelaza(III)	$9{,}91 \cdot 10^{-16}$	15,00
$KClO_4$	chloran(VII) potasu	$1{,}05 \cdot 10^{-2}$	1,98
$MgCO_3$	węglan magnezu	$6{,}82 \cdot 10^{-6}$	5,17
MgF_2	fluorek magnezu	$5{,}16 \cdot 10^{-11}$	10,29
$Mg(OH)_2$	wodorotlenek magnezu	$5{,}61 \cdot 10^{-12}$	11,25
$Mg_3(PO_4)_2$	fosforan(V) magnezu	$1{,}04 \cdot 10^{-24}$	23,98
$PbCl_2$	chlorek ołowiu(II)	$1{,}70 \cdot 10^{-5}$	4,77
PbI_2	jodek ołowiu(II)	$9{,}8 \cdot 10^{-9}$	8,01
$PbSO_4$	siarczan(VI) ołowiu(II)	$2{,}53 \cdot 10^{-8}$	7,60
$Zn(OH)_2$	wodorotlenek cynku	$3{,}00 \cdot 10^{-17}$	16,52
$ZnCO_3$	węglan cynku	$1{,}46 \cdot 10^{-10}$	9,84

Tabela wartości logarytmów dziesiętnych

x	$\log x$	x	$\log x$	x	$\log x$	x	$\log x$
0,01	–2,000	**0,26**	–0,585	**0,51**	–0,292	**0,76**	–0,119
0,02	–1,699	**0,27**	–0,569	**0,52**	–0,284	**0,77**	–0,114
0,03	–1,523	**0,28**	–0,553	**0,53**	–0,276	**0,78**	–0,108
0,04	–1,398	**0,29**	–0,538	**0,54**	–0,268	**0,79**	–0,102
0,05	–1,301	**0,30**	–0,523	**0,55**	–0,260	**0,80**	–0,097
0,06	–1,222	**0,31**	–0,509	**0,56**	–0,252	**0,81**	–0,092
0,07	–1,155	**0,32**	–0,495	**0,57**	–0,244	**0,82**	–0,086
0,08	–1,097	**0,33**	–0,481	**0,58**	–0,237	**0,83**	–0,081
0,09	–1,046	**0,34**	–0,469	**0,59**	–0,229	**0,84**	–0,076
0,10	–1,000	**0,35**	–0,456	**0,60**	–0,222	**0,85**	–0,071
0,11	–0,959	**0,36**	–0,444	**0,61**	–0,215	**0,86**	–0,066
0,12	–0,921	**0,37**	–0,432	**0,62**	–0,208	**0,87**	–0,060
0,13	–0,886	**0,38**	–0,420	**0,63**	–0,201	**0,88**	–0,056
0,14	–0,854	**0,39**	–0,409	**0,64**	–0,194	**0,89**	–0,051
0,15	–0,824	**0,40**	–0,398	**0,65**	–0,187	**0,90**	–0,046
0,16	–0,796	**0,41**	–0,387	**0,66**	–0,180	**0,91**	–0,041
0,17	–0,770	**0,42**	–0,377	**0,67**	–0,174	**0,92**	–0,036
0,18	–0,745	**0,43**	–0,367	**0,68**	–0,167	**0,93**	–0,032
0,19	–0,721	**0,44**	–0,357	**0,69**	–0,161	**0,94**	–0,027
0,20	–0,699	**0,45**	–0,347	**0,70**	–0,155	**0,95**	–0,022
0,21	–0,678	**0,46**	–0,337	**0,71**	–0,149	**0,96**	–0,018
0,22	–0,658	**0,47**	–0,328	**0,72**	–0,143	**0,97**	–0,013
0,23	–0,638	**0,48**	–0,319	**0,73**	–0,137	**0,98**	–0,009
0,24	–0,620	**0,49**	–0,310	**0,74**	–0,131	**0,99**	–0,004
0,25	–0,602	**0,50**	–0,301	**0,75**	–0,125	**1,00**	0,000

WYBRANE WSKAŹNIKI KWASOWO-ZASADOWE

Wskaźnik	Zakres pH zmiany barwy	Barwa w roztworze wodnym		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
		forma kwasowa	forma zasadowa	
oranż metylowy	3,1 – 4,4	czerwona	żółta	
czerwień Kongo	3,0 – 5,0	niebieskofioletowa	czerwona	
zieleń bromokrezolowa	4,0 – 5,6	żółta	niebieska	
błękit bromotymolowy	6,0 – 7,6	żółta	niebieska	
czerwień fenolowa	6,4 – 8,0	żółta	czerwona	
czerwień obojętna	6,8 – 8,0	czerwona	żółta	
czerwień krezolowa	7,2 – 8,8	żółta	czerwona	
fenoloftaleina	8,0 – 10,0	bezbarwna	różowoczerwona	
tymoloftaleina	9,4 – 10,6	bezbarwna	niebieska	
błękit Nilu	10,1 – 11,1	niebieska	czerwona	

POTENCJAŁ STANDARDOWY REDUKCJI	
Równanie reakcji	$E°$, V
$Ag^+ + e \rightleftharpoons Ag$	0,800
$AgBr + e \rightleftharpoons Ag + Br^-$	0,071
$AgCl + e \rightleftharpoons Ag + Cl^-$	0,222
$Au^{3+} + 3e \rightleftharpoons Au$	1,498
$Al^{3+} + 3e \rightleftharpoons Al$	–1,676
$Al(OH)_4^- + 3e \rightleftharpoons Al + 4OH^-$	–2,300
$Ba^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ba$	–2,912
$Be^{2+} + 2e \rightleftharpoons Be$	–1,847
$Bi^{3+} + 3e \rightleftharpoons Bi$	0,308
$Br_2(c) + 2e \rightleftharpoons 2\,Br^-$	1,066
$BrO_3^- + 6H^+ + 6e \rightleftharpoons Br^- + 3H_2O$	1,423
$BrO_3^- + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons Br^- + 6OH^-$	0,610
$CO_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons HCOOH$	–0,199
$Ca^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ca$	–2,868
$Cd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cd$	–0,403
$Cd(OH)_4^{2-} + 2e \rightleftharpoons Cd + 4OH^-$	–0,658
$Cl_2(g) + 2e \rightleftharpoons 2Cl^-$	1,358
$ClO_3^- + 6H^+ + 6e \rightleftharpoons Cl^- + 3H_2O$	1,451
$ClO_3^- + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons Cl^- + 6OH^-$	0,620
$Co^{2+} + 2e \rightleftharpoons Co$	–0,280
$Co^{3+} + e \rightleftharpoons Co^{2+}$	1,920
$Cr^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cr$	–0,913
$Cr^{3+} + e \rightleftharpoons Cr^{2+}$	–0,407
$Cr^{3+} + 3e \rightleftharpoons Cr$	–0,744
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,360
$CrO_4^{2-} + 4H_2O + 3e \rightleftharpoons Cr(OH)_3 + 5OH^-$	–0,130
$Cs^+ + e \rightleftharpoons Cs$	–3,026
$Cu^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cu$	0,342
$Cu_2O + H_2O + 2e \rightleftharpoons 2Cu + 2OH^-$	–0,360
$2Cu(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Cu_2O + 2OH^- + H_2O$	–0,080
$F_2 + 2e \rightleftharpoons 2F^-$	2,866
$Fe^{2+} + 2e \rightleftharpoons Fe$	–0,447
$Fe^{3+} + 3e \rightleftharpoons Fe$	–0,037
$Fe^{3+} + e \rightleftharpoons Fe^{2+}$	0,771

POTENCJAŁ STANDARDOWY REDUKCJI – CD.	
Równanie reakcji	$E°$, V
$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$	0,000
$2H_2O + 2e \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	–0,828
$Hg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Hg$	0,851
$I_2 + 2e \rightleftharpoons 2I^-$	0,536
$IO_3^- + 6H^+ + 6e \rightleftharpoons I^- + 3H_2O$	1,085
$K^+ + e \rightleftharpoons K$	–2,931
$Li^+ + e \rightleftharpoons Li$	–3,040
$Mg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mg$	–2,372
$Mn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mn$	–1,185
$MnO_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$	1,224
$MnO_4^- + e \rightleftharpoons MnO_4^{2-}$	0,558
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	1,507
$MnO_4^- + 2H_2O + 3e \rightleftharpoons MnO_2 + 4OH^-$	0,595
$MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2e \rightleftharpoons MnO_2 + 4OH^-$	0,600
$NO_3^- + 4H^+ + 3e \rightleftharpoons NO + 2H_2O$	0,957
$2NO_3^- + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons N_2O_4 + 2H_2O$	0,803
$Na^+ + e \rightleftharpoons Na$	–2,710
$Ni^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ni$	–0,257
$O_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2O_2$	0,695
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$	1,229
$O_2 + 2H_2O + 4e \rightleftharpoons 4OH^-$	0,401
$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb$	–0,126
$PbO_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2\,H_2O$	1,455
$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons PbSO_4 + 2H_2O$	1,691
$PbSO_4 + 2e \rightleftharpoons Pb + SO_4^{2-}$	–0,359
$Pt^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pt$	1,180
$Rb^+ + e \rightleftharpoons Rb$	–2,980
$S + 2e \rightleftharpoons S^{2-}$	–0,476
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e \rightleftharpoons SO_3^{2-} + 2OH^-$	–0,930
$Sn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sn$	–0,138
$Sn^{4+} + 2e \rightleftharpoons Sn^{2+}$	0,151
$Sr^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sr$	–2,899
$Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn$	–0,762
$Zn(OH)_4^{2-} + 2e \rightleftharpoons Zn + 4OH^-$	–1,199

WARTOŚCI STANDARDOWEJ MOLOWEJ ENTALPII TWORZENIA	
Wzór związku	**ΔH_t^0, kJ · mol^{-1}**
$Al_2O_3(s)$	–1675,7
$CO(g)$	–110,5
$CO_2(g)$	–393,5
$CaC_2(s)$	–62,8
$CaO(s)$	–634,9
$Ca(OH)_2(s)$	–985,9
$Cr_2O_3(s)$	–1140,6
$FeO(s)$	–266,5
$Fe_2O_3(s)$	–822,1
$FeS(s)$	–95,1
$HBr(g)$	–36,3
$HCl(g)$	–92,3
$HF(g)$	–273,3
$HI(g)$	26,5
$H_2O(c)$	–285,8
$H_2O(g)$	–241,8
$H_2S(g)$	–20,6
$MgO(s)$	–601,6
$MnO_2(s)$	–521,9
$NH_3(g)$	–45,9
$NO(g)$	91,3
$NO_2(g)$	34,2
$NaCl(s)$	– 411,3
$SiO_2(s)$	– 910,7

Objętość 1 mola gazu doskonałego w warunkach normalnych t = 0 °C oraz p = 1013,25 hPa	V = 22,41 dm^3 · mol^{-1}
Stała Faradaya	$F = N_A \cdot e$ $F \approx 9{,}6485 \cdot 10^4$ C · mol^{-1}

WARTOŚCI STANDARDOWEJ MOLOWEJ ENTALPII SPALANIA	
Nazwa związku	**ΔH_s^0, kJ · mol^{-1}**
benzen(c)	–3268,4
butan(g)	–2877,6
etan(g)	–1560,5
etanol(c)	–1357,2
eten(g)	–1411,1
etyn(g)	–1300,3
glicerol(c)	–1655,4
glukoza(s)	–2802,7
heksan(c)	–4163,2
kwas benzoesowy(s)	–3226,9
kwas etanowy(c)	–868,8
kwas stearynowy(s)	–11280,0
metan(g)	–890,6
metanol(c)	–726,3
pentan(c)	–3509,0
propan(g)	–2219,2
sacharoza(s)	–5640,2
toluen(c)	–3910,3

Logarytmem $\log_a c$ dodatniej liczby c przy podstawie a ($a > 0$ i $a \neq 1$) nazywamy wykładnik b potęgi, do której należy podnieść podstawę a, aby otrzymać liczbę c:

$\log_a c = b$ wtedy i tylko wtedy, gdy $a^b = c$

$\log x$ oraz $\lg x$ oznaczają $\log_{10} x$

Dla $x > 0$, $y > 0$ i $a > 0$ oraz $a \neq 0$ prawdziwa jest równość:

$$\log_a(x \cdot y) = \log_a x + \log_a y$$

Równanie kwadratowe $ax^2 + bx + c = 0$, gdzie $a \neq 0$, ma rozwiązania rzeczywiste wtedy i tylko wtedy, gdy $\Delta = b^2 - 4ac \geq 0$. Rozwiązania te wyrażają się wzorami:

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \quad , \quad x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

Rozpuszczalność soli i wodorotlenków w wodzie w temperaturze 25 °C, g/(100 g H_2O)												
Jon	**Cl^-**	**Br^-**	**I^-**	**NO_3^-**	**CH_3COO^-**	**S^{2-}**	**SO_3^{2-}**	**SO_4^{2-}**	**CO_3^{2-}**	**CrO_4^{2-}**	**PO_4^{3-}**	**OH^-**
Ag^+	T	T	T	R (235)	S (1,0)$^{20\ °C}$	T	T	S (0,8)	T	T	T	T → d
Al^{3+}	R (45,1)	R → d	R → d	R (68,9)	d	d	—	R (38,5)	—	T	T	T
Ba^{2+}	R (37,0)	R (100)	R (221)	R (10,3)	R (79,2)	R → d	T	T	T	T	T	R (4,9)
Ca^{2+}	R (81,3)	R (156)	R (216)	R (144)	R (34,7)	T → d	T	S (0,2)	T	S (2,0)	T	S (0,2)
Cr^{3+}	R	R	R	R (81,2)	R	T → d	—	R (64)	—	T	T	T
Cu^{2+}	R (75,8)	R (126)	—	R (145)	R (6,8)	T	T	R (22)	T → d	T	T	T
Fe^{2+}	R (65,0)	R (120)	R	R (87,2)	R	T	T	R (29,5)	T	—	T	T
Fe^{3+}	R (91,2)	R (455)	d	R (87,5)	—	d	—	R (440)	—	T	T	T
K^+	R (35,5)	R (67,8)	R (148)	R (38,3)	R (269)	R → d	R (106)	R (12,0)	R (111)	R (65,0)	R (106)	R (121)
Mg^{2+}	R (56,0)	R (102)	R (146)	R (71,2)	R (65,6)	d	S (0,5)	R (35,7)	T	R (54,8)	T	T
Mn^{2+}	R (77,3)	R (151)	R → d	R (161)	R (49)	T	T	R (63,7)	T	T	T	T
NH_4^+	R (39,6)	R (78,3)	R (178)	R (213)	R (148)	d	R (64,2)	R (76,4)	R → d	R (37,4)	R (18,3)	R (44,9)
Na^+	R (35,9)	R (94,6)	R (184)	R (91,2)	R (50,5)	R (20,6)	R (30,7)	R (28,1)	R (30,7)	R (87,6)	R (14,4)	R (100)
Pb^{2+}	S (1,1)	S (1,0)	S (0,1)	R (59,7)	R (44,3)	T	T	T	T	T	T	T
Sn^{2+}	R (178)$^{10\ °C}$	R (85)$^{0\ °C}$	S (0,98)	R → d	—	T	—	R (18,8)	—	—	T	T
Zn^{2+}	R (408)	R (488)	R (438)	R (120)	R (30,0)	T	S (0,2)	R (57,7)	T	R (3,1)	T	T

R – substancja dobrze rozpuszczalna (>2 g/100 g H_2O); **S** – substancja średnio rozpuszczalna (0,1 g–2 g/100 g H_2O);
T – substancja trudno rozpuszczalna (<0,1 g/100 g H_2O); **d** – związek ulega rozkładowi w wodzie, (**—**) związek jest nietrwały, nie został otrzymany lub brak jest danych

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.

UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW

1												13	14	15	16	17	18
1H Wodór 1,008 2,2	2																2He Hel 4,00
3Li Lit 6,94 1,0	4Be Beryl 9,01 1,6											5B Bor 10,81 2,0	6C Węgiel 12,01 2,6	7N Azot 14,01 3,0	8O Tlen 16,00 3,4	9F Fluor 19,00 4,0	10Ne Neon 20,18
11Na Sód 23,00 0,9	12Mg Magnez 24,31 1,3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13Al Glin 26,98 1,6	14Si Krzem 28,09 1,9	15P Fosfor 30,97 2,2	16S Siarka 32,06 2,6	17Cl Chlor 35,45 3,2	18Ar Argon 39,95
19K Potas 39,10 0,8	20Ca Wapń 40,08 1,0	21Sc Skand 44,96 1,4	22Ti Tytan 47,87 1,5	23V Wanad 50,94 1,6	24Cr Chrom 52,00 1,7	25Mn Mangan 54,94 1,6	26Fe Żelazo 55,85 1,8	27Co Kobalt 58,93 1,9	28Ni Nikiel 58,69 1,9	29Cu Miedź 63,55 1,9	30Zn Cynk 65,38 1,7	31Ga Gal 69,72 1,8	32Ge German 72,63 2,0	33As Arsen 74,92 2,0	34Se Selen 78,96 2,6	35Br Brom 79,90 3,0	36Kr Krypton 83,80
37Rb Rubid 85,47 0,8	38Sr Stront 87,62 1,0	39Y Itr 88,91 1,2	40Zr Cyrkon 91,22 1,3	41Nb Niob 92,91 1,6	42Mo Molibden 95,95 2,2	43Tc Technet [97,91] 2,1	44Ru Ruten 101,07 2,2	45Rh Rod 102,91 2,3	46Pd Pallad 106,42 2,2	47Ag Srebro 107,87 1,9	48Cd Kadm 112,41 1,7	49In Ind 114,82 1,8	50Sn Cyna 118,71 2,0	51Sb Antymon 121,76 2,1	52Te Tellur 127,60 2,1	53I Jod 126,90 2,7	54Xe Ksenon 131,29
55Cs Cez 132,91 0,8	56Ba Bar 137,33 0,9	57La* Lantan 138,91 1,1	72Hf Hafn 178,49 1,3	73Ta Tantal 180,95 1,5	74W Wolfram 183,84 1,7	75Re Ren 186,21 1,9	76Os Osm 190,23 2,2	77Ir Iryd 192,22 2,2	78Pt Platyna 195,08 2,2	79Au Złoto 196,97 2,4	80Hg Rtęć 200,59 1,9	81Tl Tal 204,38 1,8	82Pb Ołów 207,2 1,8	83Bi Bizmut 208,98 1,9	84Po Polon [208,98] 2,0	85At Astat [209,99] 2,2	86Rn Radon [222,02]
87Fr Frans [223,02] 0,7	88Ra Rad [226,03] 0,9	89Ac** Aktyn [227,03]	104Rf Rutherford [267,12]	105Db Dubn [268,13]	106Sg Seaborg [271,13]	107Bh Bohr [272,14]	108Hs Has [270,13]	109Mt Meitner [276,15]	110Ds Darmsztadt [281,17]	111Rg Roentgen [280,17]	112Cn Kopernik [285,18]	113Nh Nihon [284,18]	114Fl Flerow [289,19]	115Mc Moskow [288,19]	116Lv Liwermor [293,20]	117Ts Tenes [292,21]	118Og Oganeson [294,21]

Liczba atomowa (liczba porządkowa) — 20Ca — Symbol pierwiastka
Wapń — Nazwa
40,08 — Masa atomowa, u
Elektroujemność w skali Paulinga — 1,0

*	58Ce Cer 140,12	59Pr Prazeodym 140,91	60Nd Neodym 144,24	61Pm Promet [144,91]	62Sm Samar 150,36	63Eu Europ 151,96	64Gd Gadolin 157,25	65Tb Terb 158,93	66Dy Dysproz 162,50	67Ho Holm 164,93	68Er Erb 167,26	69Tm Tul 168,93	70Yb Iterb 173,04	71Lu Lutet 174,97
**	90Th Tor 232,04	91Pa Protaktyn 231,04	92U Uran 238,03	93Np Neptun [237,05]	94Pu Pluton [244,06]	95Am Ameryk [243,06]	96Cm Kiur [247,07]	97Bk Berkel [247,07]	98Cf Kaliforn [251,08]	99Es Einstein [252,08]	100Fm Ferm [257,10]	101Md Mendelew [258,10]	102No Nobel [259,10]	103Lr Lorens [262,11]

METALE
PÓŁMETALE
NIEMETALE
GAZY SZLACHETNE

Dla pierwiastków promieniotwórczych, które nie mają stabilnych izotopów, podano masę atomową najtrwalszego izotopu.

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017
oraz https://www.nist.gov/pml/atomic-weights-and-isotopic-compositions-relative-atomic-masses

W poniższym zestawie przedstawiono wybrane wzory oraz stałe fizyczne. Przy każdym wzorze zapisano nazwę wielkości lub prawa albo zjawiska, którego wzór dotyczy. Symboli wszystkich wielkości występujących we wzorach nie opisano – przyjęto dla nich powszechnie używane oznaczenia. Podobnie nie opisano warunków i zakresów stosowalności przedstawionych wzorów. Wartości wielkości wektorowych zapisano bez symbolu wektora.

KINEMATYKA

prędkość	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$
przyśpieszenie	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$
prędkość kątowa	$\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$
związek między wartościami prędkości kątowej i liniowej	$v = \omega r$
związki w ruchu jednostajnym po okręgu	$\omega = \frac{2\pi}{T}\ ;\quad T = \frac{1}{f}$
przyśpieszenie dośrodkowe	$a_{do} = \frac{v^2}{r} = v\omega = \omega^2 r$
przyśpieszenie kątowe	$\epsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$
przyśpieszenie styczne	$a_{st} = \epsilon r$
prędkość w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$
droga w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym	$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

SIŁY TARCIA I SIŁA SPRĘŻYSTOŚCI

siła tarcia kinetycznego	$T_k = \mu_k F_N$
siła tarcia statycznego	$T_s \leq \mu_s F_N$
siła sprężystości	$\vec{F}_s = -k\vec{x}$
energia potencjalna sprężystości	$E_{pot} = \frac{1}{2}kx^2$

DYNAMIKA

pęd	$\vec{p} = m\vec{v}$
II zasada dynamiki (w układzie inercjalnym)	$m\vec{a} = \vec{F}\ ;\quad \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$
wartość momentu pędu punktu materialnego	$L = rp \sin \sphericalangle(\vec{r}, \vec{p})$
wartość momentu siły	$M = rF \sin \sphericalangle(\vec{r}, \vec{F})$
moment bezwładności	$I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$
związek między wartościami prędkości kątowej i momentu pędu bryły sztywnej	$L = I\omega$
II zasada dynamiki ruchu obrotowego (zapis skalarny)	$I\epsilon = M$
praca siły, praca momentu siły	$W_F = F\Delta r \cos \sphericalangle(\vec{F}, \Delta\vec{r})$ $W_M = M\Delta\alpha$
moc	$P = \frac{W}{\Delta t}$
energia kinetyczna ruchu postępowego	$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$
energia kinetyczna ruchu obrotowego	$E_{kin} = \frac{1}{2}I\omega^2$

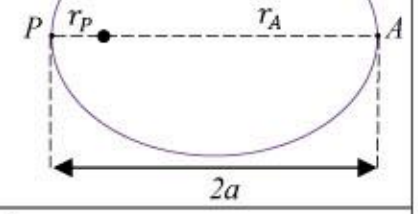
GRAWITACJA I ELEMENTY ASTRONOMII

prawo powszechnego ciążenia	$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$
natężenie pola grawitacyjnego, przyśpieszenie grawitacyjne	$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m}\ ;\quad \vec{a}_g = \vec{\gamma}$
energia potencjalna grawitacji	$E_{pot} = -\frac{Gm_1m_2}{r}$
zmiana energii potencjalnej przy powierzchni Ziemi	$\Delta E_p = mg\Delta h$

prędkość na orbicie kołowej $v_{or} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

prędkość ucieczki $v_u = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$

orbita eliptyczna
a – półoś wielka
r_P – najmniejsza odległość do centrum
r_A – największa odległość do centrum



II prawo Keplera i zachowanie momentu pędu $\vec{L}$ na orbicie (ΔS – pole zakreślone przez promień wodzący planety)	$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const}\ ;\ \vec{L} = \overrightarrow{\text{const}}$
III prawo Keplera (a jest promieniem orbity kołowej lub półosią wielką elipsy)	$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{const}$
prawo Hubble'a	$v = Hd$

DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE

równania ruchu harmonicznego	$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$ $v(t) = A\,\omega\cos(\omega t + \varphi_0)$ $a(t) = -A\omega^2\sin(\omega t + \varphi_0)$ $x_{max} = A \quad v_{max} = A\omega \quad a_{max} = A\omega^2$
siła harmoniczna	$\vec{F}_h = -m\omega^2\vec{x}$
częstość kołowa małych drgań masy na sprężynie i wahadła matematycznego	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}\,; \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$
całkowita energia mechaniczna oscylatora	$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$
związki między parametrami ruchu fali	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f\,; \quad T = \frac{1}{f}$
faza fali w punkcie x i chwili t	$\varphi(t) = \frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi_0$
warunki maksymalnego wzmocnienia i osłabienia fali w punkcie	$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi n$ $\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi\left(n + \frac{1}{2}\right)$
natężenie fali, jego związek z energią E i amplitudą A fali	$I = \frac{E}{S\Delta t}\;; \quad I \sim A^2$
zależność natężenia fali kulistej od odległości	$I \sim \frac{1}{r^2}$
załamanie fali na granicy ośrodków 1 i 2	$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

wzory przybliżone na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła:

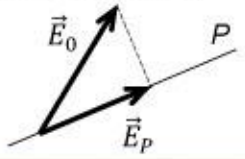
źródło oddala się	źródło zbliża się
$v_{źr} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 - \frac{\lvert v_{źr} - v_{ob}\rvert}{v_d}\right)$	$v_{źr} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 + \frac{\lvert v_{źr} - v_{ob}\rvert}{v_d}\right)$
$v_{źr} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 - \frac{v_{źr}}{c}\right)$	$v_{źr} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 + \frac{v_{źr}}{c}\right)$

DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE – CD.

wzory ścisłe na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła	$f_{ob} = f_{źr}\frac{v_d \mp v_{ob}}{v_d \pm v_{źr}}$ $f_{ob} = f_{źr}\sqrt{\frac{c \mp v_{źr}}{c \pm v_{źr}}}$
siatka dyfrakcyjna	$d\sin\alpha_n = n\lambda$

światło po przejściu przez polaryzator o osi polaryzacji P

amplitudy pola elektrycznego:
$\vec{E}_0$ – padającego na polaryzator
$\vec{E}_P$ – po przejściu przez polaryzator



OPTYKA GEOMETRYCZNA

kąt graniczny dla przejścia światła z ośrodka 2 do 1	$\sin\alpha_{2\,gr} = \frac{n_1}{n_2}$
warunek polaryzacji światła przy odbiciu	$\alpha_{pad1} + \alpha_{zał2} = 90°$
równanie soczewki i zwierciadła:	$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}\;; \quad x > 0$

$y > 0$, $y < 0$ – położenie obrazu rzeczywistego, pozornego
$f > 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła skupiającego
$f < 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła rozpraszającego

wzór na ogniskową soczewki	$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{socz}}{n_{otocz}} - 1\right)\left(\pm\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}\right)$

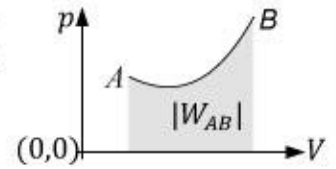
(+)/(–) – przy promieniu powierzchni wypukłej / wklęsłej

HYDROSTATYKA, AEROSTATYKA

siła parcia i ciśnienie	$F = p\Delta S, \quad \vec{F} \perp \Delta S$
zmiana ciśnienia hydro- i aerostatycznego	$\Delta p = \rho g \Delta h$
siła wyporu	$F_{wyp} = \rho V_{zan} g$

V_{zan} – objętość zanurzonej części ciała
ρ – gęstość cieczy (lub gazu)

TERMODYNAMIKA

I zasada termodynamiki	$\Delta U = Q + W$
praca siły parcia, gdy p = const	$\lvert W\rvert = p\lvert\Delta V\rvert$
związek pracy siły parcia z polem pod wykresem zależności $p(V)$ – ciśnienia od objętości $\lvert W_{AB}\rvert$ = Pole pod AB	
ciepło właściwe	$c_w = \frac{Q}{m\Delta T}$
ciepło molowe	$C = \frac{Q}{n\Delta T}$
ciepło przemiany fazowej	$L = \frac{Q}{m}$
średnia energia ruchu cząsteczki gazu doskonałego	$E_{śr} = \frac{s}{2}k_B T$

s – liczba współrzędnych opisujących położenie cząsteczki w przestrzeni

równanie stanu gazu doskonałego (Clapeyrona)	$pV = nRT$
związek między ciepłami molowymi gazu doskonałego	$C_p = C_V + R$
praca i ciepło w cyklu silnika i pompy cieplnej	$0 = Q_{calk} + W_{calk}$

Q_{calk} – całkowite ciepło wymienione w cyklu z otoczeniem
W_{calk} – całkowita praca mechaniczna wykonana w cyklu (nad i przez otoczenie)

sprawność silnika cieplnego	$\eta = \frac{\lvert W_{calk}\rvert}{\lvert Q_{pob}\rvert} = \frac{\lvert Q_{pob}\rvert - \lvert Q_{odd}\rvert}{\lvert Q_{pob}\rvert}$

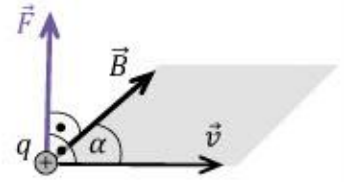
Elektrostatyka

prawo Coulomba	$F_e = \frac{kq_1q_2}{r^2}\ ;\ k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	
natężenie pola elektrycznego	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$	
wartość natężenia na zewnątrz sferycznego rozkładu ładunku	$E = \frac{kQ}{r^2}$	
napięcie pomiędzy punktami *A* i *B* pola elektrycznego	$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$	W_{AB} – praca przeciw sile elektrycznej
związek napięcia z potencjałami elektrycznymi	$U_{AB} = V_B - V_A$	
energia potencjalna elektryczna układu ładunków	$E_{pot} = \frac{kq_1q_2}{r}$	
związek napięcia z natężeniem w polu jednorodnym	$U = Ed$	
natężenie między płytami naładowanymi różnoimiennie	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\ ;\ \sigma = \frac{Q}{\Delta S} = \text{const}$	
natężenie pola elektrycznego wewnątrz dielektryka	$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r}$	$\vec{E}_0$ – natężenie zewnętrzne
pojemność kondensatora	$C = \frac{Q}{U}$	
pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem	$C = \varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S}{d}$	
energia elektryczna kondensatora	$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}U^2C$	
własności pola wewnątrz i na powierzchni bryły przewodnika	$\vec{E}_{wew} = 0\ ;\ \vec{E}_{pow} \perp \Delta S$	

Prąd elektryczny

natężenie prądu	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
definicja oporu elektrycznego przewodnika	$R = \frac{U}{I}$
prawo Ohma (dla stałej temperatury przewodnika)	$\frac{U}{I} = \text{const}$
związek oporu R przewodnika z drutu z oporem właściwym ρ	$R = \rho\frac{l}{S}$
moc prądu stałego wydzielona na oporniku	$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$
zależność oporu metali od temperatury (w pewnym zakresie temperatur)	$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T)\ ;$ $\Delta T = T - T_0$
dodawanie napięć pomiędzy punktami przewodnika	$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$
II prawo Kirchhoffa dla obwodu (lub oczka)	$\sum_{i=1}^{k}(\pm\mathcal{E}_i) - \sum_{j=1}^{n}(\pm U_j) = 0$
związek siły elektromotorycznej z napięciem na baterii	$\mathcal{E} = U + IR_w$
opór zastępczy oporników połączonych szeregowo	$R_z = \sum_{i=1}^{n} R_i$
opór zastępczy oporników połączonych równolegle	$\frac{1}{R_z} = \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{R_i}$

Magnetyzm

siła Lorentza, wektor indukcji magnetycznej	$F = qvB\sin\alpha$
$\alpha = \sphericalangle(\vec{v}, \vec{B})$ $\vec{F} \perp \vec{v}$ $\vec{F} \perp \vec{B}$	
siła elektrodynamiczna	$F = I\Delta lB\sin\sphericalangle(\Delta\vec{l}, \vec{B})$
pole w próżni dookoła długiego, prostoliniowego przewodnika	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
pole w próżni wewnątrz długiej, gęsto nawiniętej zwojnicy	$B = \mu_0\frac{NI}{L}$
wartość momentu siły działającego na pętlę z prądem w polu mag.	$M = ISB\sin\sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$
strumień pola magnetycznego przez powierzchnię	$\Phi_B = BS\cos\sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$
siła elektromotoryczna indukcji	$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$
siła elektromotoryczna prądnicy	$\mathcal{E} = NBS\omega\sin\sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$ $\sphericalangle(\vec{S}, \vec{B}) = \omega t + \varphi_0$
praca prądu sinusoidalnego w czasie okresu	$W = \frac{1}{2}U_0I_0T$
napięcie i natężenie skuteczne przebiegu sinusoidalnego	$I_{sk} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}\quad U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$
uproszczony model transformatora	$I_1U_1 = I_2U_2\ ;\ \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

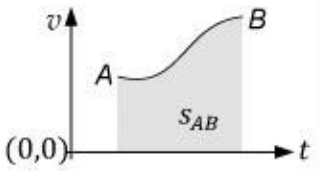
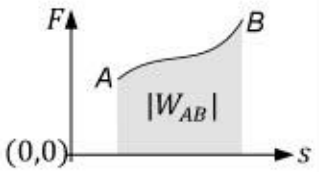
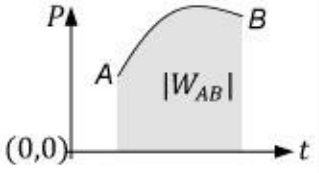
Elementy mechaniki relatywistycznej

energia całkowita ciała poruszającego się w układzie inercjalnym (t, x)	$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad ; \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
równoważność masy i energii spoczynkowej	$E_0 = mc^2$
związek między zmianą masy układu a energią pochłoniętą / emitowaną przez układ	$\Delta E = \Delta m c^2$
pęd	$p = \frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad ; \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
niezmiennik relatywistyczny (dynamiczny)	$E_0^2 = E^2 - (cp)^2$
energia kinetyczna poruszającego się ciała	$E_{kin} = E - E_0$

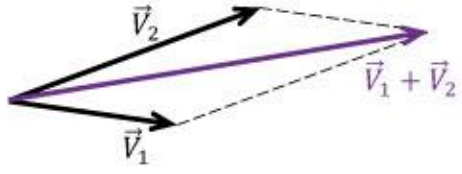
Elementy fizyki atomowej i jądrowej

prawo Wiena (b – stała Wiena)	$\lambda_{max} T = b$
prawo Stefana–Boltzmanna (moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała)	$I = \sigma T^4 \quad ; \quad [I] = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$
energia i pęd fotonu	$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad ; \quad p_f = \frac{h}{\lambda}$
Zjawisko fotoelektryczne	$E_f = W_{el} + E_{kin\ el\ max}$
emisja lub absorpcja fotonu przez atom (E_m, E_n – energie elektronu w atomie)	$E_m - E_n = hf_{mn} + E_{\mathrm{odrzutu}}$ $m > n$
poziomy energetyczne atomu wodoru	$E_n = -\frac{13{,}606\ \mathrm{eV}}{n^2}$
długość fali de Broglie'a cząstki swobodnej	$\lambda = \frac{h}{p}$
zasady zachowania (niektóre) w procesach na poziomie fundamentalnym	• zachowanie ładunku układu • zachowanie energii układu • zachowanie pędu układu • zachowanie liczby nukleonów w układzie
statystyczne prawo rozpadu promieniotwórczego	$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$

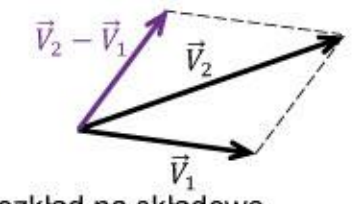
Wybrane zależności

środek masy układu n punktów materialnych	$\vec{r}_{SM} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$
związek drogi z polem pod wykresem zależności $v(t)$ – prędkości od czasu s_{AB} = Pole pod AB	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $F(s)$ – siły od drogi $\lvert W_{AB}\rvert$ = Pole pod AB	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $P(t)$ – mocy od czasu $\lvert W_{AB}\rvert$ = Pole pod AB	

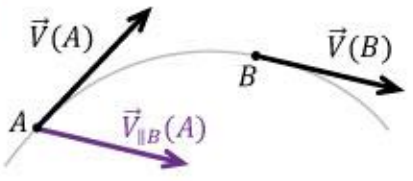
dodawanie wektorów



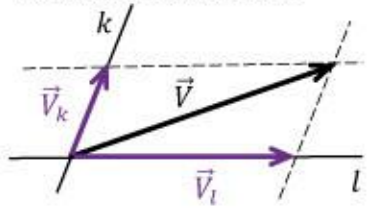
odejmowanie wektorów



przeniesienie równoległe



rozkład na składowe



Podstawowe jednostki układu SI

nazwa	metr	kilogram	sekunda	amper	kelwin	mol	kandela
symbol	m	kg	s	A	K	mol	cd
wielkość	długość	masa	czas	natężenie prądu	temperatura	liczność materii	światłość

Przedrostki jednostek miar

mnożnik	10^{24}	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10^{1}	10^{0}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
nazwa	jotta	zetta	eksa	peta	tera	giga	mega	kilo	hekto	deka		decy	centy	mili	mikro	nano	piko	femto	atto	zepto	jokto
oznaczenie	Y	Z	E	P	T	G	M	k	ha	da		d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

Źródło: Centralna Komisja Egzaminacyjna, *Wybrane wzory i stałe fizykochemiczne na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki*, cke.gov.pl, czerwiec 2022 r.

Niektóre wartości stałych fizycznych oraz parametrów astronomicznych podano zaokrąglone z możliwie największą dokładnością – taką, aby ostatnia cyfra zaokrąglenia nie zmieniała się przy uwzględnieniu niepewności pomiaru.

Na podstawie: M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), *Physical Review* D 98, 030001 (2018) and 2019 update.

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH	
prędkość światła w próżni	c = 299 792 458 m/s (wartość dokładna)
stała Plancka	h = 6,626 070 15·10^{-34} J·s (wartość dokładna)
ładunek elementarny	e = 1,602 176 634·10^{-19} C (wartość dokładna)
Stała Boltzmanna	k_B = 1,380 649·10^{-23} J/K (wartość dokładna)
Stała Avogadro	N_A = 6,022 140 76·10^{23} mol^{-1} (wartość dokładna)
uniwersalna stała gazowa	R = 8,314 462 618 2 J/(K·mol) (wartość dokładna)
stała grawitacji	G = 6,674·10^{-11} N·m^2/kg^2
przenikalność magnetyczna próżni	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A^2
przenikalność elektryczna próżni, stała elektryczna	ε_0 = 8,854 187 81·10^{-12} C^2/(N·m^2) $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ = 8,987 551 8 · 10^9 N · m^2/C^2
związek między c, μ_0, ε_0	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$
masa elektronu	m_e = 9,109 383 7·10^{-31} kg
masa protonu	m_p = 1,672 621 92 ·10^{-27} kg
masa neutronu	m_n = 1,674 927 49 ·10^{-27} kg
jednostka masy atomowej	1 u = 1,660 539 066 6·10^{-27} kg

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH – CD.	
przyśpieszenie ziemskie (standardowe)	g = 9,806 65 m/s^2 (wartość dokładna odpowiadająca przyśpieszeniu na szerokości geograficznej ok. 45,5° na poziomie morza)
Stała Wiena	b = 2,897 771 955… ·10^{-3} m·K (wartość dokładna)
Stała Stefana-Boltzmanna	σ = 5,670 374 419…·10^{-8} W/(m^2·K^4) (wartość dokładna)

WYBRANE STAŁE I PARAMETRY ASTROFIZYCZNE	
jednostka astronomiczna	1 au = 1,49 597 870 7·10^{11} m (wartość dokładna)
parsek	1 pc = 3,085 677 581 49·10^{16} m (wartość dokładna)
rok świetlny	1 ly = 0,946 073…·10^{16} m = 0,306 601… pc
masa Słońca	M_S = 1,988·10^{30} kg
odległość Słońca od centrum galaktyki	R_0 = 27 kly
masa Ziemi	M_Z = 5,972·10^{24} kg
nominalny promień równikowy Ziemi	R_Z = 6,3781·10^6 m (wartość dokładna)
stała Hubble'a	$H_0 \approx$ 70 (km/s)/Mpc
temperatura promieniowania tła	T_0 = 2,7 K

WARTOŚCI WYBRANYCH JEDNOSTEK SPOZA UKŁADU SI		
1 eV = 1,602 176 634·10^{-19} J (wartość dokładna)		0 °C ≡ 273,15 K
1 atmosfera ≡ 101 325 Pa	1 G ≡ 10^{-4} T	1 Å = 0,1 nm

π = 3,141 592 653 589 793… (liczba pi) e = 2,718 281 828 459 045… (liczba Eulera)

Indeks

A

acetylokoenzym A 74
akomodacja oka 427
alergia 337
allele wielokrotne 498
allelopatia 581
allochoria 189
altruizm 576
amensalizm 582
aminokwasy 28
amitoza 65
anabolizm 72
analiza rodowodów 529
anizogamia 133
antropogeneza 562
antybiogram 123
antygeny 330
antykoncepcja 468
antyport 44
aparat Golgiego 51
apoptoza 66
archeony 118
autochoria 189
autosomy 505
autotrofy 87

B

bakterie 110
  autotroficzne 113
  beztlenowe 114
  brodawkowe 199
  Gram-dodatnie 112
  Gram-ujemne 112
  heterotroficzne 113
  tlenowe 114
barwniki fotosyntetyczne 88
bezczaszkowce 266
białka 24, 28, 313
  ostrej fazy 332
bilans wodny 197
biogeneza 559
biokatalizatory 80
biomy 604
  lądowe 605
  wodne 607
biotechnologia 532
  tradycyjna 533
błona
  biologiczna 42
  śluzowa 321
błonnik pokarmowy 315
błony płodowe 461, 471

C

cechy
  sprzężone z płcią 508
  związane z płcią 508
centrosom 64
centrum aktywne 76
cewka nerwowa 265
cewki 162
chemosynteza 93
chlorofil 89
chloroplast 53
cholesterol 42, 314
choroby
  bakteryjne 120
  chromosomalne 525
  genetyczne 520
  immunizacyjne 337
  jednogenowe 520
  mitochondrialne 527
  narządu wzroku 427
  skóry 457
  układu krwionośnego 368
  układu nerwowego 416
  układu oddechowego 348
  układu pokarmowego 329
  układu rozrodczego 473
  układu ruchu 452
  układu wydalniczego 385
  wirusowe 106
  wywołane przez protisty 137
chromatyna 34
chromosomowa teoria dziedziczenia 502
chromosomy 60
  płci 507
ciśnienie krwi 366
cukrzyca 394
cykl
  jajnikowy 466
  komórkowy 60
  Krebsa 83
  lityczny 101
  lizogeniczny 101
  maciczny 465
  miesiączkowy 465
cykle biogeochemiczne 596
cysty 115
cytokineza 64
cytokiny 332
cytoszkielet 48
cytozol 48
czaszka 440
cząsteczki MHC 336
Czerwona Księga 628
czynniki
  ewolucji 555
  mutagenne 514

D

datowanie skamieniałości 552
depolaryzacja błony 399
determinacja płci 504
diagnostyka prenatalna 472
dializa 386
disacharydy 26
DNA 32
dobór
  kierunkowy 556

krewniaczy 556
naturalny 556
płciowy 556
różnicujący 556
stabilizujący 556
dominacja
niezupełna 498
zupełna 498
dominanta 14
dowody
ewolucji 552
drapieżnictwo 582
drewno 162
dryf genetyczny 555
drzewo filogenetyczne 99, 553
dwuliścienne 191
dynamika populacji 578
dyrektywa
ptasia 629
siedliskowa 629
dywergencja 553
dziedziczenie pozajądrowe 509
dziura ozonowa 611

E

efekt
cieplarniany 611
„wąskiego gardła" 555
założyciela 555
ekologia 566
ekosystem 589
ekosystemy
autotroficzne 600
heterotroficzne 600
naturalne 600
półnaturalne 600
sztuczne 600
ekspresja genów 489
elektroforeza 538
elongacja
replikacji 478
transkrypcji 483
translacji 487
embriogeneza 201
endocytoza 44, 126, 127
endospory 115
enzymy 75
restrykcyjne 534
eutrofizacja wód 613
ewolucja 550

F

fagocytoza 44, 126
fazy snu 416
fermentacja 84
alkoholowa 85
mlekowa 85
fitohormony 205
fluktuacje 579
formy
kokalne 152
kolonijne 152
monadalne 152
nitkowate 153
plechowe 153
fosfolipidy 42
fosforylacja 75
cykliczna 90
niecykliczna 90
oksydacyjna 83
fotoperiodyzm 203
fotosynteza 87
anoksygeniczna 113
oksygeniczna 114
fotosystemy 89

G

gąbki 212
gady 277
galukocystofity 154
gametogeneza 467
gatunek 557
gatunki
dominujące 592
inwazyjne 614
obce 614
założycielskie 593
zwornikowe 593
genetyka klasyczna 494
genom 479
geny 480
dopełniające 499
epistatyczne 500
hipostatyczne 500
kumulatywne 500
glikolipidy 42
glikoliza 82
glista ludzka 232
glukoneogeneza 87
głos 343
gruczoły dokrewne 390
grupy
ekologiczne 568
funkcyjne 19
taksonomiczne 98
grzybnia 138
grzyby 138

H

heterotrofy 87
homeostaza 307
hormony 387
łożyskowe 470
tkankowe 390
hybrydyzacja 537

I

impuls nerwowy 399
informacja genetyczna 476
inhibitory enzymów 78
inicjacja
replikacji 477
transkrypcji 483
translacji 486
interfaza 62
inżynieria genetyczna 534

izogamia 133
izolacja
  prezygotyczna 558
  rozrodcza 558

J

jaja 460
jądro komórkowe 47
jednoliścienne 191
jeziora
  eutroficzne 613
  oligotroficzne 613

K

kariotyp 61
katabolizm 72
kiełkowanie
  epigeiczne 202
  hipogeiczne 202
klad 96
kladogram 99
klatka piersiowa 442
klonowanie 545
  DNA 536
  terapeutyczne 546
kod genetyczny 481
kodominacja 498
koewolucja 586
komensalizm 581
komórka 40, 292
  bakteryjna 41
  eukariotyczna 41
  grzybowa 41
  prokariotyczna 41
komórki
  limfatyczne 331
  macierzyste 546
  parzydełkowe 217
  sitowe 162
kompartmenty 43
koniugacja 116
konkurencja 581
  międzygatunkowa 583
  wewnątrzgatunkowa 583
konkurencyjne rozszczepienie cech 585
konkurencyjne uwolnienie 584
konsumenci 590
konwencja CITES 628
konwergencja 553
kończyny 443
korzeń 164
kości 436
krasnorosty 154
krągłouste 268
krążenie materii 595
kresomózgowie 407
krew 300
kręgosłup 441
kręgowce 266
krzepnięcie krwi 366
krzywe przeżywania 577
krzyżówka testowa 496
kwadrat Punnetta 495
kwasy nukleinowe 25, 31
kwaśne deszcze 611
kwitnienie 203

L

larwy mięczaków 257
larwy stawonogów 251
leukocyty 303
liczebność populacji 579
limfa 303
lipidy 24, 27
listki zarodkowe 293
liście 170
lizosomy 51

Ł

łańcuch oddechowy 83
łańcuch pokarmowy 591
łodyga 167
łożysko 470
łożyskowce 289
łuk odruchowy 403
łuki skrzelowe 435
łuski 270
łyko 162

M

makroelementy 20
makroewolucja 559
mapowanie genów 504
materiał badawczy 11
mediana 14
meduza 216
mejoza 68
metabolizm 72
metapopulacje 580
miażdżyca 371
mięczaki 254
międzymózgowie 409
mięsień 445
mięsożercy 310
mikoryza 140, 198
  ektotroficzna 140
  endotroficzna 140
mikrociałka 52
mikroelementy 20
mikroewolucja 559
mikroskop
  elektronowy 13
  optyczny 13
miksotrofizm 128
miłorzębowe 183
mitochondrium 53
mitoza 62
mocz 380
model
  naukowy 11
  wstępujący 592
  zstępujący 592
modyfikacje posttranslacyjne 488
monosacharydy 26
mózg 397

mszaki 174
mutacje 513
  chromosomowe 518
  genowe 516
  punktowe 517
mutageny 514
mutualizm 581
  obronny 583

N

naczynia 162
  krwionośne 358
  włosowate 359
naprawa DNA 519
narząd 292
  słuchu 422
  wzroku 421
narządy
  analogiczne 553
  homologiczne 553
  równowagi 422
  wydalnicze 374
  wymiany gazowej 339
  zmysłów 419
nasiona
  bezbielmowe 188
  bielmowe 188
  obielmowe 188
naskórek 454
nastie 208
nefron 379
nekroza 66
nerka 378
nerw 411
neuron 305
neutralizm 582
nicienie 230
niedobór odporności 338
niepewności pomiaru 15
nisza ekologiczna 566
norma reakcji genotypu 511

O

obieg
  azotu 597
  węgla 597
obróbka posttranskrypcyjna 484
obserwacje mikroskopowe 12
obszar chronionego krajobrazu 620
obszar Natura 2000 620
ochrona
  bierna 619
  czynna 619
  ex-situ 616
  gatunkowa 625
  in situ 616
  przyrody 618
odchylenie standardowe 15
oddychanie
  beztlenowe 84
  komórkowe 81
odnóża gębowe 243
odnóża tułowiowe 244
odporność
  humoralna 334
odporność
  komórkowa 334
  swoista 334
odpowiedź
  immunologiczna 333
  nieswoista 333
  swoista 333
odruch warunkowy 404
odruchy 402
odwrotna transkrypcja 484
ogniska różnorodności biologicznej 602
oko 423
  złożone 249
okres zarodkowy 469
onkogeny 67
ontogeneza 460, 474
  roślin 200
oogamia 133
operon laktozowy 491
operony bakteryjne 490
opłucna 344
organelle komórkowe 47
organizmy
  genetycznie zmodyfikowane 542
  modelowe 11
  wskaźnikowe 573
organogeneza 470
organy
  generatywne 163
  wegetatywne 163
oscylacja liczebności 579
osłonice 266
osmoregulacja 372
  ryb 271
osmoza 46
osteoblasty 300
osteocyty 300
osteoklasty 300
ośrodkowy układ nerwowy 397
owoc 188

P

pamięć 406
  immunologiczna 335
paprociowe 177
park krajobrazowy 620
park narodowy 620
parzydełkowce 215
pasożytnictwo 582
pasożyty 589
pęcherzyki płucne 344
pień mózgu 409
pierścienice 235
pierwiastki biogenne 21
pinocytoza 44, 126
pióra 281
piramidy wiekowo-płciowe 580
plasmodesmy 59
plastydy 54
płazińce 221

płazy 273
beznogie 277
bezogonowe 277
ogoniaste 277
plejotropia 501
plemnik 463
płuca 344
płucotchawki 247
płyny ciała 354
pneumatyczne kości 280
poczwarka 252
podwójne oddychanie 283
pojemność płuc 345
pojemność środowiskowa 578
polaryzacja błony 399
połączenia międzykomórkowe 58
polimorfizm 587
polip 216
polisacharydy 26
pomnik przyrody 620
pompa protonowa 52
populacja 574
poród 471
porosty 148
potencjał wody 194
poziomy troficzne 590
półdesmosomy 58
półkule mózgowe 408
praca serca 363
prawa Mendla 494
prawo Hardy'ego–Weinberga 554
pręcik 184
priony 109
procesy biotechnologiczne 532
producenci 590
produkcja pierwotna 594
produktywność ekosystemów 593
protisty 123
protokooperacja 581
przeciwciała 332
przemiana heteromorficzna 132
przemiana izomorficzna 132
przeobrażenie
niezupełne 250
zupełne 250
przeżuwacze 312
ptaki 280
bezgrzebienowe 285
grzebieniowe 285

R

rdzeń kręgowy 410
reakcja PCR 538
reakcja pomostowa 82
receptory 419
reducenci 590
refrakcja 401
regulacja hormonalna 389
regulacja oddychania 346
rekombinacja DNA 534
relikty 604
replikacja DNA 476
repolaryzacja błony 400
retrowirusy 103
rezerwat przyrody 620
rezerwaty biosfery 623
RNA 34
rolnictwo
ekologiczne 617
nowoczesne 617
tradycyjne 617
roślinożercy 310
roślinożerność 582
rośliny
hydrolabilne 198
hydrostabilne 198
nagonasienne 180
okrytozalążkowe 184
pierwotnie wodne 152
zarodnikowe 174, 176
rozmnażanie
bezpłciowe 458
płciowe 460
roztwór
hipertoniczny 46
hipotoniczny 46
izotoniczny 46
rozwój
prenatalny 469, 471
zarodkowy 460
życia na Ziemi 561
różnorodność
biologiczna 602
ekosystemowa 602
gatunkowa 602
genetyczna 602
ruch 432
pełzakowaty 126
undulipodialny 125
ruchy
turgorowe 206
wzrostowe 206
rurki sitowe 162
rybosomy 50
ryby 269
chrzęstnoszkieletowe 272
kostnoszkieletowe 272
ryniofity 155

S

samoprzerzedzanie się 584
saprobionty 591
saprofagi 591
saprofity 591
sarkomer 446
serce 362
siateczka śródplazmatyczna 49
sieć pokarmowa 591
skamieniałości 551
skóra 455
skrzela 247
skurcz 450
skurcz mięśnia 447
słupek 184
smog 612
specjacja 558

splicing alternatywny 493
sprzężenie genów 502
ssaki 286
stadium
  generatywne 203
  wegetatywne 202
stanowisko dokumentacyjne 620
stan zapalny 334
statystyka 13
stawonogi 241
stawy 438
stekowce 289
strategia życiowa 577
strategie rozrodcze 578
strefy wodne 608
struktura socjalna 575
struna grzbietowa 265
strunowce 264
sukcesja
  ekologiczna 598
  pierwotna 599
  wtórna 599
symbioza 581
symetria
  dwuboczna 211
  promienista 211
symport 44
synantropizacja 615
synapsy 401
systematyka filogenetyczna 98
systemy korzeniowe 164
szczepienia 336
szkarłupnie 260
szkielet 433
szpilkowe 183

Ś

ściana komórkowa 56
ślinianki 324
średnia
  arytmetyczna 13
  ważona 14

T

tabela kodu genetycznego 482
taksony 96
tasiemce 222
tchawki 247
tempo metabolizmu 309
teoria
  Darwina 550
  endosymbiozy 55
  telomowa 156
teorie ewolucji 550
terapia genowa 547
terminacja
  replikacji 478
  transkrypcji 483
  translacji 488
termogeneza 308
tętnice 359
tkanka 292
  chrzęstna 299
  glejowa 305
  kostna 299
  łączna 297
  miękiszowa 158
  mięśniowa 304
  nabłonkowa 293
  nerwowa 305
  okrywająca 159
  przewodząca 162
  wydzielnicza 163
  wzmacniająca 161
tkanki
  roślinne 156
  stałe 158
  twórcze 157
tłuszcze pokarmowe 313
tolerancja ekologiczna 567
torbacze 289
transdukcja 117
transformacja 116
  genetyczna 535
transkrypcja 482
translacja 485
transpiracja 196
transplantacja 337
transport
  dwutlenku węgla 352
  tlenu 351
  transbłonowy 43
trawienie 311, 325
trochofory 238
tropizmy 207
trzustka 324
typy rozmieszczenia 575

U

ucho 428
uczenie się 405
układ
  hormonalny 387
  krwionośny 354
  limbiczny 408
  mięśniowy 444
  moczowy 376
  nerwowy 395
  oddechowy 342
  odpornościowy 330
  pokarmowy 312, 320
  przywspółczulny 413
  rozrodczy 462
  ruchu 436
  wieńcowy 363
  wodny 261
  współczulny 413
  zgodności tkankowej 336
uniport 43
urwistki 149
użytek ekologiczny 620

W

wakuola 57
wątroba 324
wektory 535
wentylacja płuc 344
węglowodany 24, 25, 314

wiązania
jonowe 18
kowalencyjne 18
peptydowe 29
wodorowe 18
wiązki przewodzące 168
widłakowe 177
wiroidy 109
wirusy 99
onkogenne 106
witaminy 315
włókna mięśniowe 449
włosień kręty 233
woda 36
wrotki 227
wrzeciono podziałowe 64
wszystkożercy 310
wydalanie 376
wydzielanie komórkowe 296
wymiana gazowa 339, 350
wyrostki 149
wytwory naskórka 456
wzrost wegetatywny 203

Z

zagęszczanie moczu 382
załadunek łyka 200
zależności
międzygatunkowe 581
pokarmowe 594
zapłodnienie 459, 468
zastawki 363
zęby 322
zespół przyrodniczo-krajobrazowy 620
zielenice 154
zmienność
ciągła 511
genetyczna 512
mutacyjna 512
nieciągła 511
organizmów 510
środowiskowa 510
zmysł
smaku 431
węchu 431
zrównoważony rozwój 616
zwierzęta
pierwouste 210
transgeniczne 543
wtórouste 210

Ż

żyły 359