



Konsultacje Botanika i fizjologia roślin 7 marca 2022

Mgr Justyna Brańska-Januszewska

ZAKŁAD BIOLOGII

Opracowanie: prof. dr hab. Halina Ostrowska
mgr Justyna Brańska-Januszewska
mgr Katarzyna Krukowska



Ministerstwo
Edukacji i Nauki

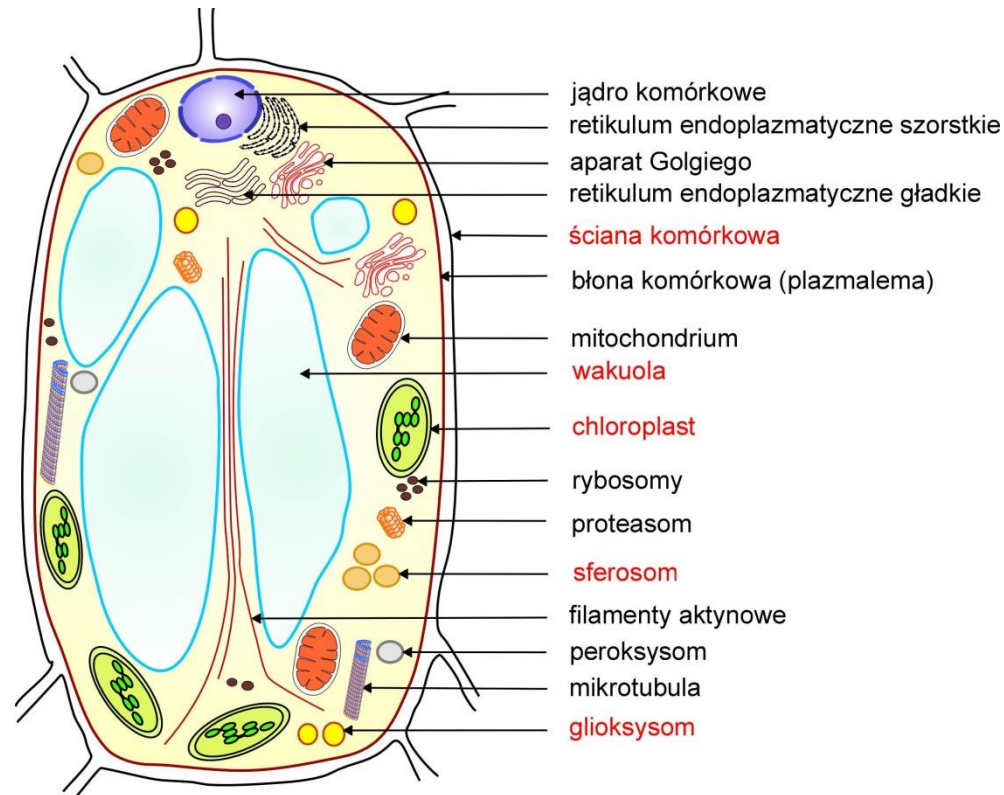


DOFINANSOWANO ZE ŚRODKÓW BUDŻETU PAŃSTWA
PROGRAM SPOŁECZNA ODPOWIEDZIALNOŚĆ NAUKI
- POPULARYZACJA NAUKI I PROMOCJA SPORTU MINISTRA EDUKACJI I NAUKI
Biologia i Chemia po akademicku
DOFINANSOWANIE
40 000 zł
CAŁKOWITA WARTOŚĆ
45 000 zł

SPECYFICZNE CECHY KOMÓRKI ROŚLINNEJ:

- ściana komórkowa,
- plastydy (chloroplasty, leukoplasty, chromoplasty),
- wakuola (wodniczki),
- glioksysomy i sferosomy.

Jądro komórkowe spychane jest przez powiększające się wodniczki ku błonie komórkowej.



Cytoplazma wraz z organellami, strukturami i błoną komórkową (**plazmolemą**) to **protoplast**.

Ściana komórkowa

Stanowi wzmocnienie komórki i chroni przed drobnoustrojami. Jest zbudowana z:

- **celulozy** (długołańcuchowe polimery złożone z reszt glukozy) – tworzy rusztowanie ścian komórkowych we wszystkich komórkach roślin; u grzybów wyższych występuje chityna,
- **macierzy podstawowej**, w skład której wchodzi: **pektyny i hemicelulozy oraz** niewielkie ilości glikoprotein bogatych w hydroksyprolinę (mogą stanowić ok. 10% suchej masy; uszczelniają i umacniają ścianę).

Łańcuchy celulozy (fibryle elementarne) łączą się w równoległe wiązki – **mikrofibryle**. Pęczki mikrofibryl tworzą **makrofibryle**.

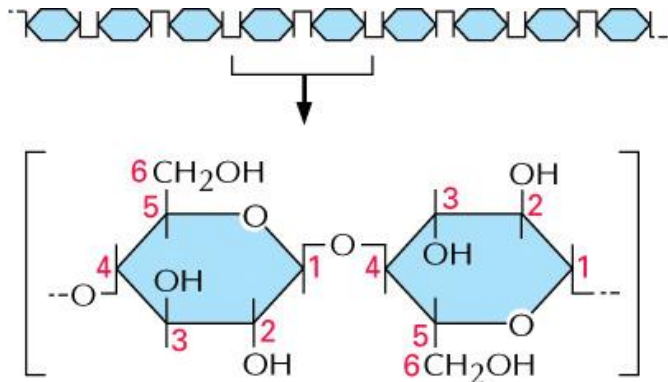


Figure 19-70. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

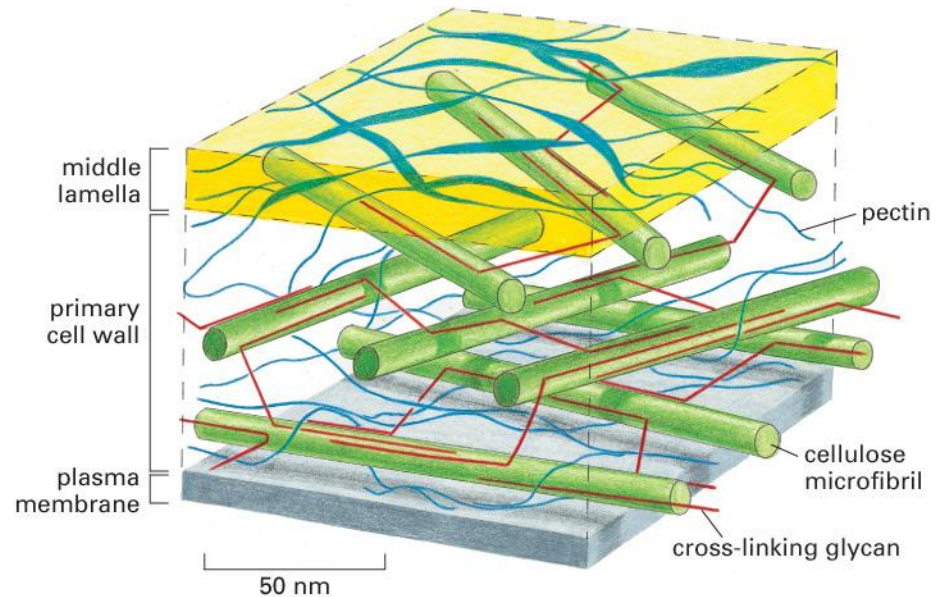
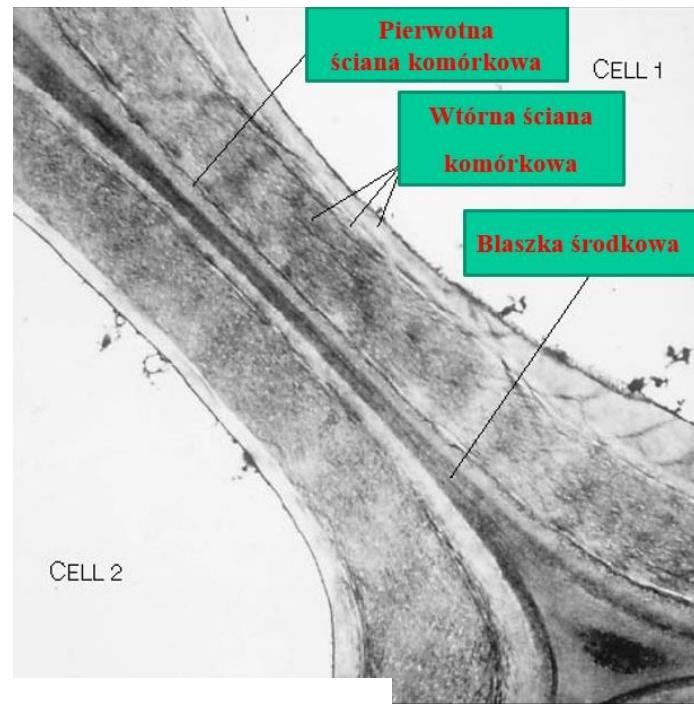


Figure 19-71. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Warstwy ściany komórkowej

ściana pierwotna - jest zbudowana z macierzy podstawowej (pektyn, hemiceluloz, białek enzymatycznych) i celulozy, która stanowi tylko 20% suchej masy. Jest silnie uwodniona; okrywa młode komórki roślin; jest elastyczna i rozciąga się podczas wzrostu komórki,

ściana wtórna - składa się w **60% z celulozy**, resztę stanowią hemicelulozy; powstaje po okresie wzrostu komórek (pomiędzy ścianą pierwotną i plazmolemą); stanowi wzmocnienie dla ściany pierwotnej.



©1999 Addison Wesley Longman, Inc.

Błaszka środkowa - łączy komórki roślinne w tkankach; znajduje się pomiędzy ścianami pierwotnymi sąsiadujących komórek; jest utworzona z pektynianu wapnia.

Ściana komórkowa (pierwotna i wtórna) zawiera pory (jamki), przez które przechodzą cienkie pasma cytoplazmy otoczone błoną – **plazmodesmy**; łączą one ze sobą protoplasty sąsiadujących komórek. Każda plazmodesma zawiera desmotubulę (wywodzi się z retikulum endoplazmatycznego gładkiego).

Plazmodesmy pozwalają na przechodzenie jonów i małych cząsteczek.

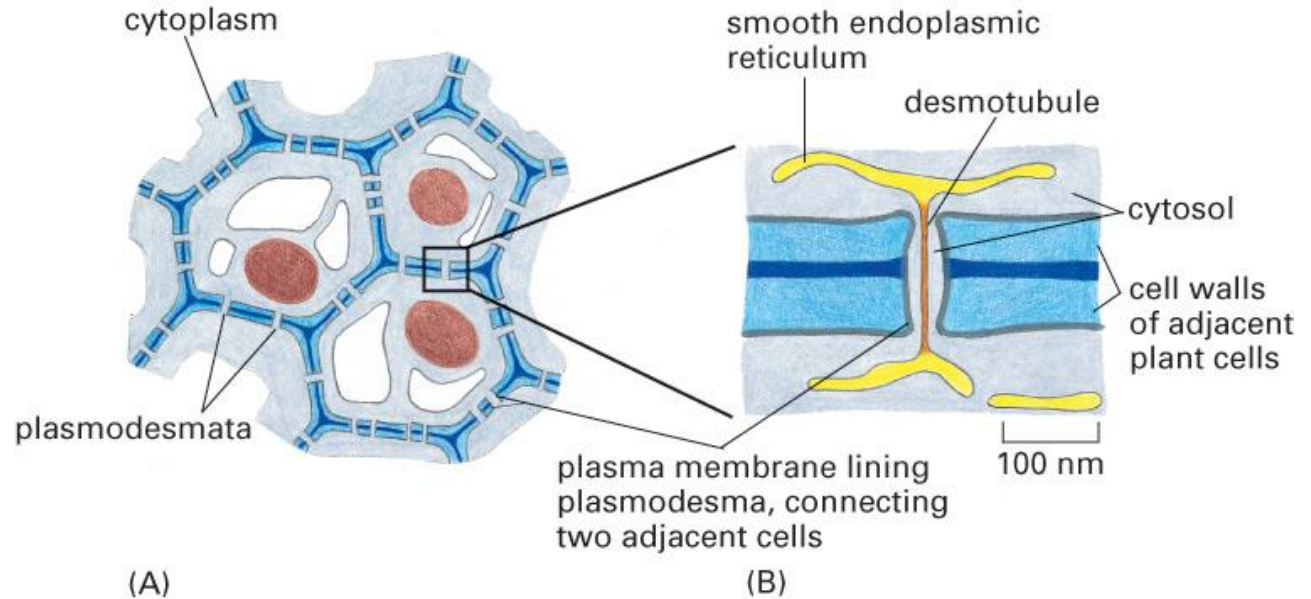
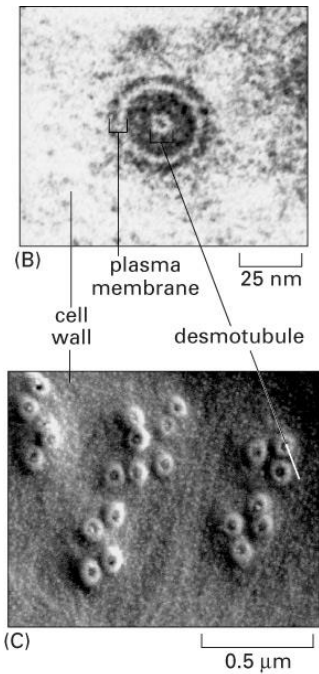


Figure 19–20. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Modyfikacje chemiczne ściany komórkowej: inkrustacje i adkrustacje

Inkrustacje czyli odkładanie się między fibrylami celulozowymi:

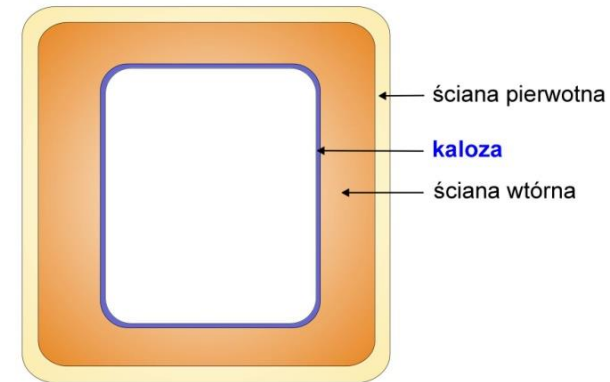
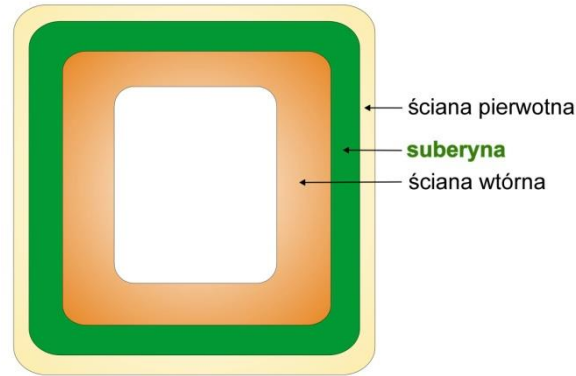
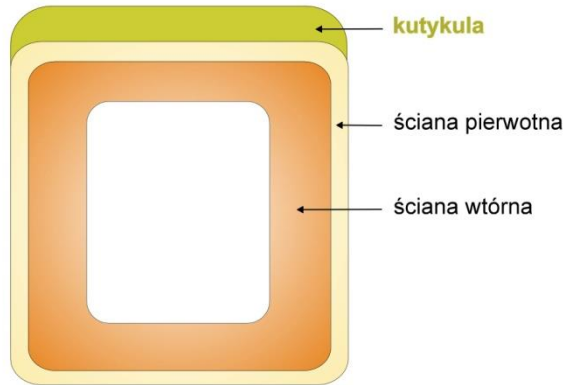
- **ligniny** (drzewnik) - po zakończeniu wzrostu komórki; proces lignifikacji (drewnienia) może zachodzić w ścianie pierwotnej, ścianie wtórnej i blaszce środkowej; po zdrewnieniu komórka obumiera,
- związków nieorganicznych (**mineralizacja**): **krzemionki** (np. inkrustacja ściany komórkowej skórki liści traw i turzyc krzemionką powoduje, że są one ostre i szorstkie) i **solii wapnia** (np. odkładanie się trudno rozpuszczalnego węglanu wapnia powoduje powstanie specjalnych narośli – **cystolitów** u niektórych roślin),
- związków organicznych: garbników, barwników, żywic.

Adkrustacje, czyli odkładanie się na powierzchni ściany komórkowej:

- o substancji o charakterze lipidowym:

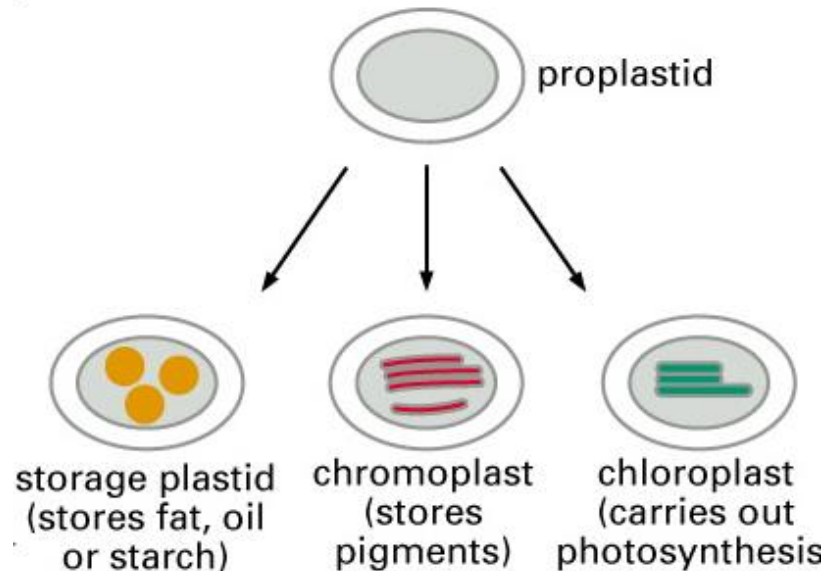
kutyny i wosku - po stronie zewnętrznej ściany pierwotnej; **kutykula** jest charakterystyczną cechą komórek skórki w nadziemnych częściach roślin lądowych, **suberyny** - po stronie wewnętrznej (pomiędzy pierwotną i wtórną ścianą komórkową); tworzy blaszkę korkową (suberynową); po jej wytworzeniu komórka obumiera.

- o polisacharydu – **kalozy** po wewnętrznej stronie ściany, najczęściej w komórkach rurek sitowych i ziaren pyłku.



Plastydy

Prekursorami plastydów są **proplastydy** komórek embrionalnych zarodka. Wraz ze wzrostem i specjalizacją komórek proplastydy przekształcają się w: **bezbarwne leukoplasty** oraz **barwne chloroplasty i chromoplasty**; wszystkie otoczone są **podwójną błoną (osłonką)**, która ogranicza ich wnętrze - **stromę**.



Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

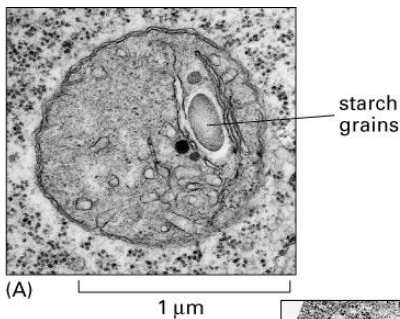
Leukoplasty

mają postać kulistą lub wrzecionowatą; syntetyzują i gromadzą materiały zapasowe:

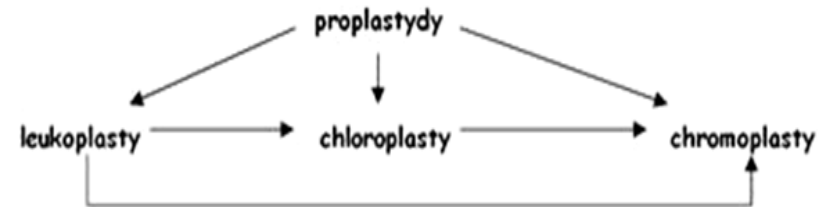
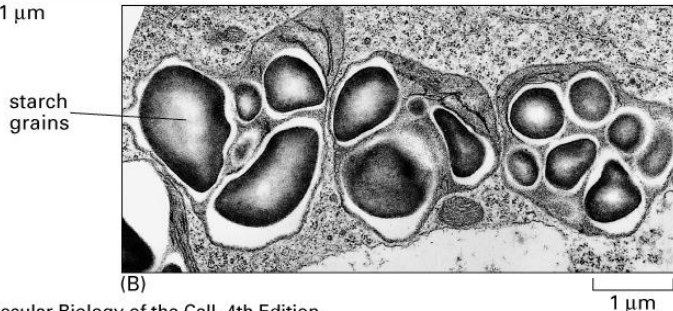
- **skrobię** zapasową (amyloplasty),
- **białka pod postacią ziaren aleuronowych** (proteinoplasty)
- **tluszcze** (elajoplasty; lipidoplasty).

Powstają w organach podziemnych roślin (korzenie, bulwy, kłącza); mogą przekształcać się na świetle w chloroplasty (np. w bulwach ziemniaka) lub w chromoplasty (np. w kłączach).

Proplastyd z ziarnami skrobi



Amyloplasty



Chromoplasty

mają kształt owalny, ale w następstwie zawartych w nich barwników przybierają często postać nieregularnych płytek lub kryształków.

W ich stromie znajdują się **karoteny** (np. β – karoten) i **ksantofile** (np. luteina, zeaksantyna), które warunkują zabarwienie pomarańczowe, żółte lub brązowe różnych organów roślin: płatków kwiatów, owoców i korzeni;

Ich pojawienie się w liściach jest objawem starzenia się komórek (np. żółknięcie liści jesienią).



J. Leśniewska, UwB

Komórki miękiszu z chromoplastami
Sorbus aucuparia



<https://pl.123rf.com/>

Chloroplasty

Powstały najprawdopodobniej przez wchłonięcie fotosyntetyzującej komórki prokariotycznej przez tlenowa komórkę eukariotyczną.

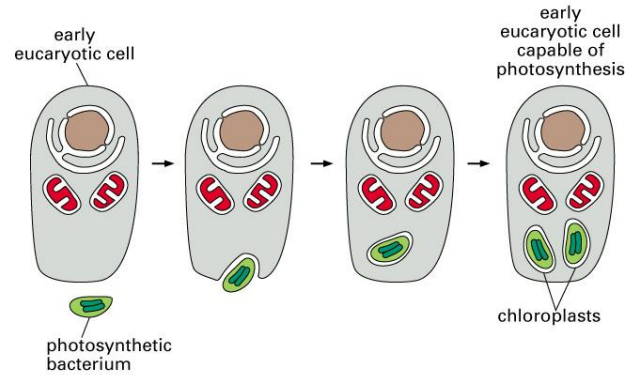


Figure 1-37. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

U roślin wyższych w każdej komórce miękiszu asymilacyjnego występuje 50-200 chloroplastów.

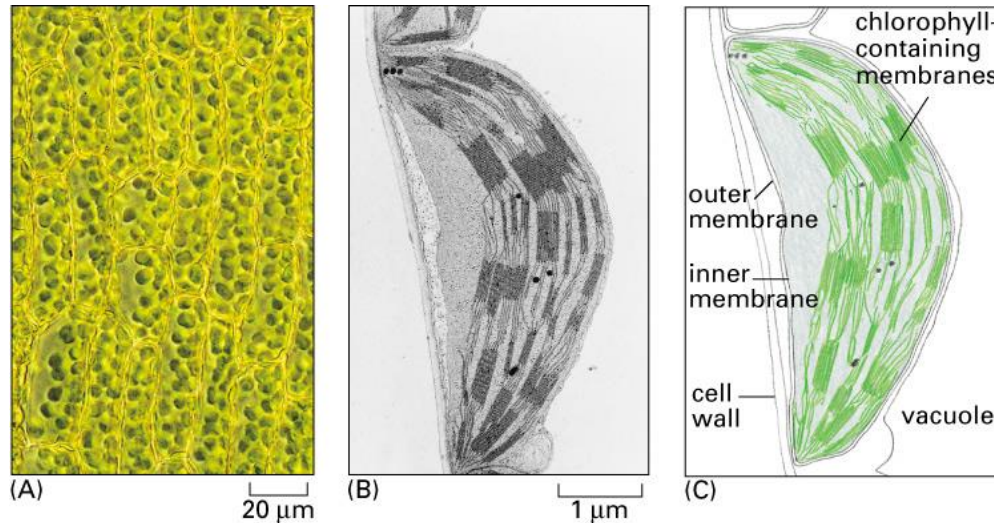


Figure 1-36. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Budowa

Trzy odrębne błony:

- błona zewnętrzna – dobrze przepuszczalna,
- błona wewnętrzna – otacza stromę i zawiera białka przENOŚnikowe,
- błona tylakoidu – buduje układ spłaszczonych cystern – **tylakoidów** i zawiera systemy zbierające energię świetlną (chlorofile, karotenoidy), łańcuch transportu elektronów oraz syntazę ATP.

Pojedyncze tylakoidy są połączone ze sobą i tworzą **grana**.

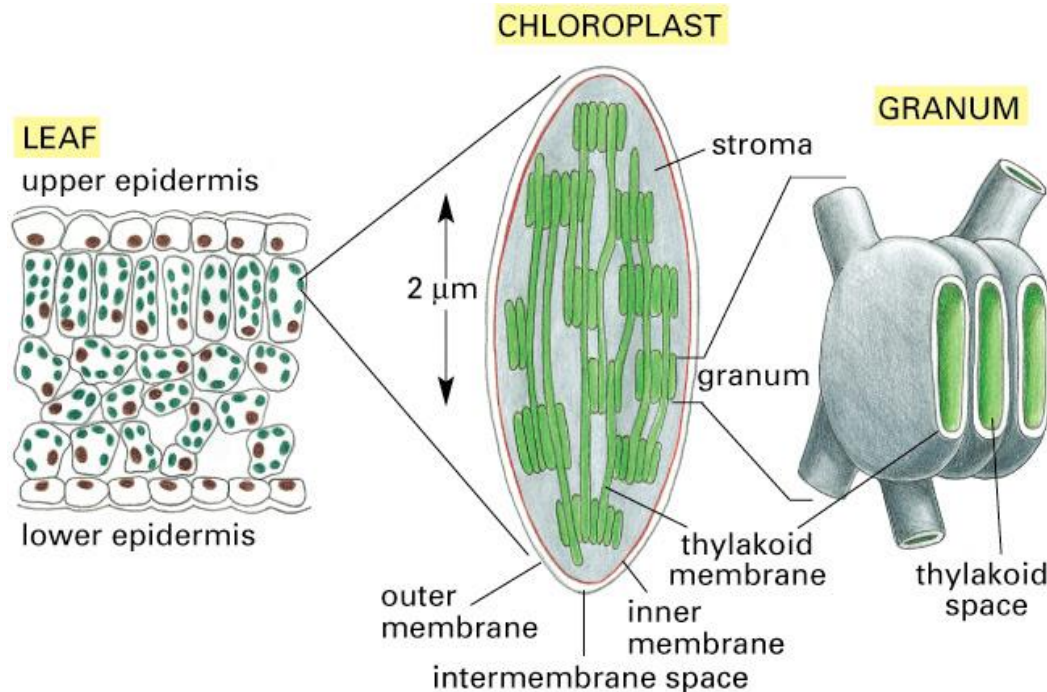


Figure 14–35. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Barwniki fotosyntetyczne błon tylakoidów

zasadnicze: chlorofile - bezpośrednio zaangażowane w proces fotosyntezy:

a – zielony barwnik, występuje u wszystkich fotoautotrofów

b – zielonożółty barwnik, u roślin wyższych i zielenic; śladowe ilości u brunatnic

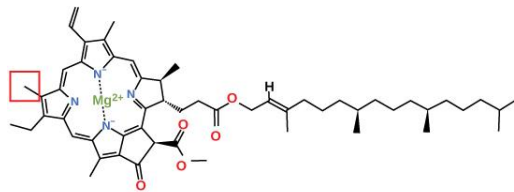
c – brązowy u okrzemek i brunatnic

d – czerwony u krasnorostów

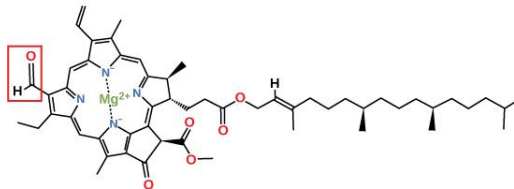
osłaniające i wspomagające:

○ karotenoidy: pomarańczowe karoteny i żółte ksantofile (rośliny wyższe, glony)

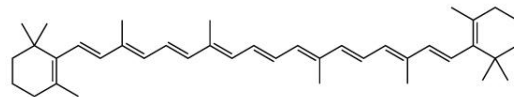
○ fikobiliny: niebieska fikocyjanina (krasnorosty, cyjanobakterie), czerwona fikoerytryna (krasnorosty, cyjanobakterie), brązowa fukoksantyna (okrzemki, brunatnice).



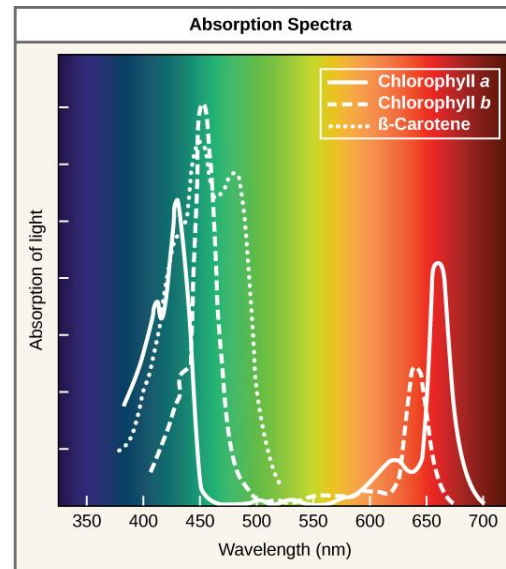
(a)



(b)



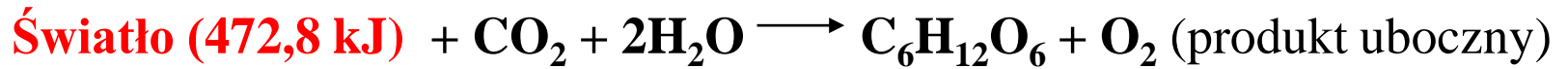
(c)



(d)

Fotosynteza

Chloroplasty wykazują zdolność do syntezy związków organicznych (cukrów) z CO_2 i H_2O przy udziale energii świetlnej w procesie fotosyntezy zgodnie z równaniem:



Fotosynteza składa się z dwóch grup reakcji:

- **fotosyntetycznego transportu elektronów (reakcje świetlne)**, w wyniku których powstają : **ATP i NADPH+ H+**, oraz **produkt uboczny – O₂**; cały aparat fazy świetlnej fotosyntezy wbudowany jest w błony tylakoidów.
- **reakcje wiązania węgla (reakcje ciemne)** – ATP i NADPH służą odpowiednio jako źródło energii i siła redukcyjna do przekształcania CO_2 w glukozę w cyklu Calvina; Proces ten zachodzi w stromie.

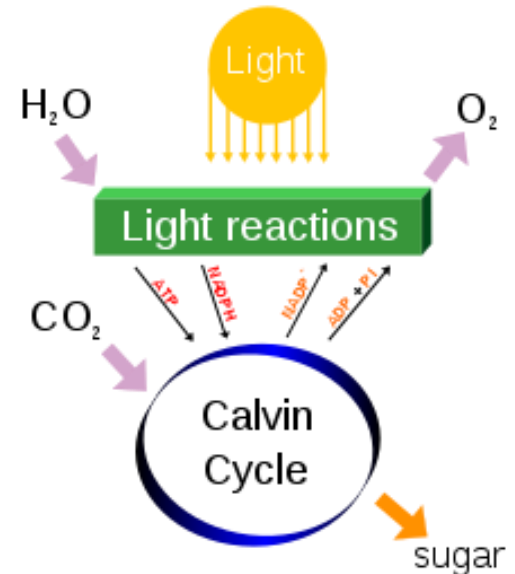
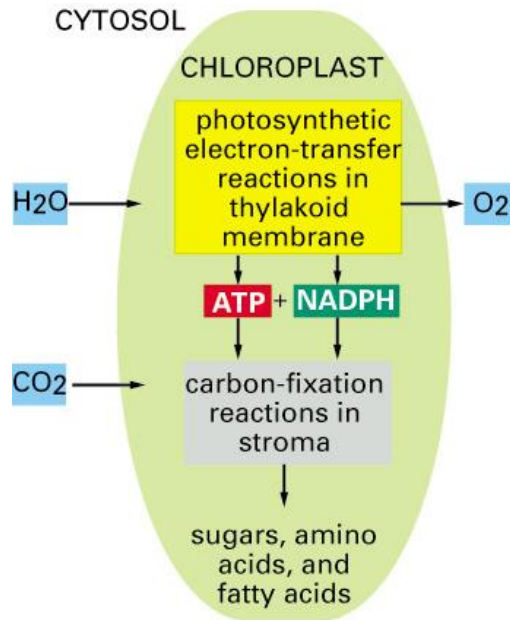


Figure 14-37. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Faza świetlna fotosyntezy

Aparat fazy świetlnej fotosyntezy jest wbudowany w błonę tylakoidów i zawiera:

- fotosystem I (PSI): chlorofil **a** i karoteny; pochłania światło o max absorpcji 700 nm,
- fotosystem II (PSII): chlorofil **b** i chlorofil **a** (centrum reakcji) i ksantofile; pochłania światło o max absorpcji 680 nm.
- kompleks cytochromowy, reduktazę ferredoksyna-NADP i syntazę ATP.

Przenośniki elektronów (plastochinon, plastocyjanina i ferredoksyna) są luźno związane z błoną tylakoidów.

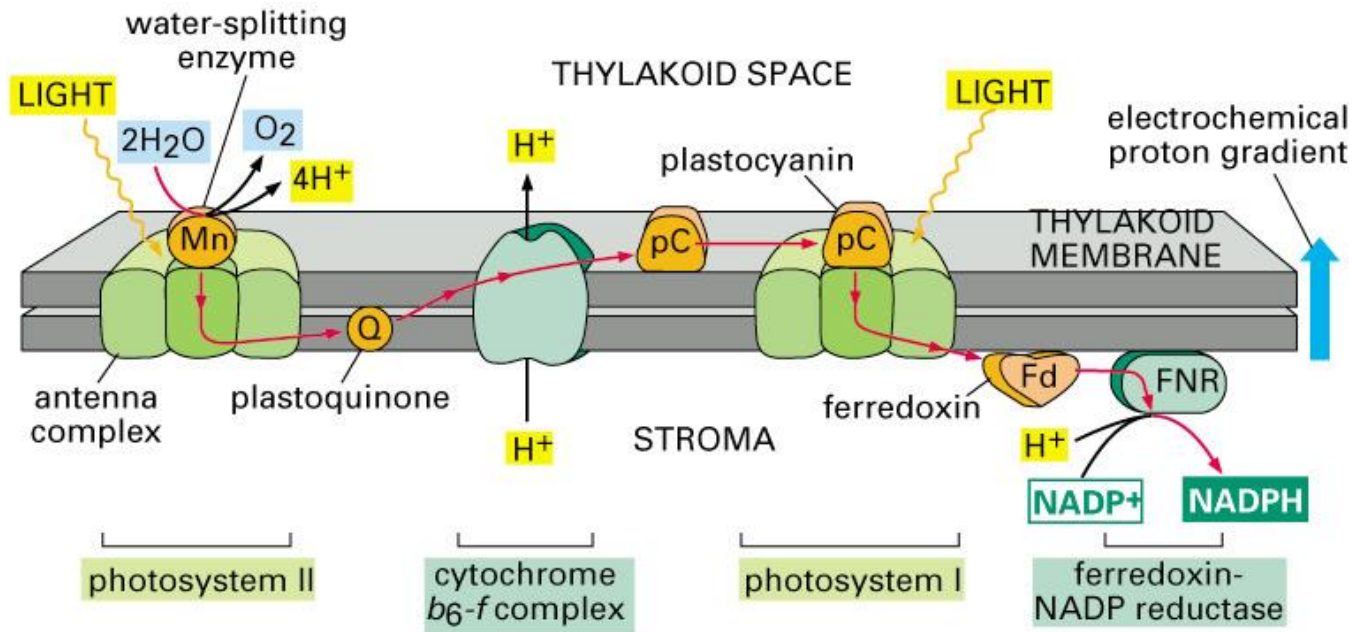


Figure 14-46. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Przebieg fazy świetlej

- o światło słoneczne wzbudza elektrony znajdujące się wewnątrz sieci wiązań pierścienia porfirynowego chlorofilu **a** obu fotosystemów,
- o wybite elektrony są przekazywane za pośrednictwem plastochinonu (Q) na kompleks cytochromów (b6f), a następnie plastocyaninę (pC) i białko – ferredoksynę (Fd), co prowadzi do redukcji NADP⁺ do NADPH (**siła asymilacyjna**). „Luka” w PSII powstała po wybiciu elektronów z chlorofilu **a** jest uzupełniana dzięki **fotolizie wody**, zachodzącej przy udziale enzymu zawierającego mangan. Produktem ubocznym rozkładu wody jest tlen.
- o w trakcie transportu elektronów następuje również transport protonów ze stromy do wnętrza tylakoidów, co prowadzi do powstania gradientu stężeń po obu stronach błony tylakoidu. Umożliwia to **syntezę ATP** przez błonową syntazę ATP.

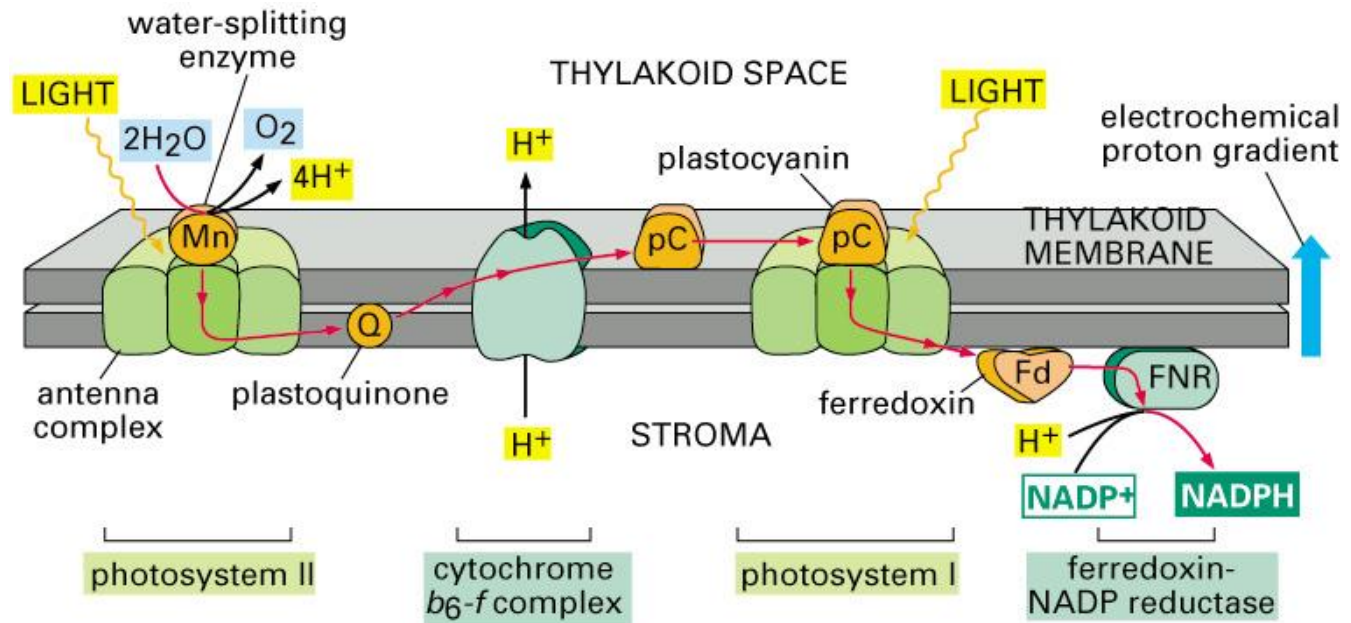
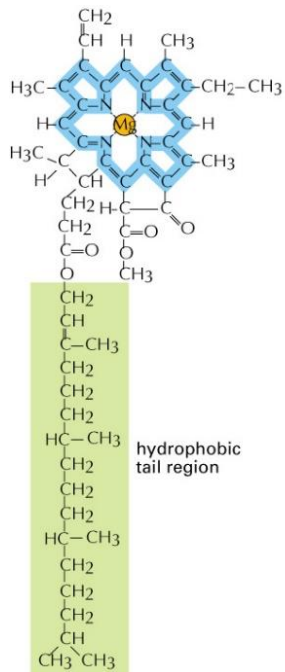


Figure 14–46. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Ciemna faza fotosyntezy

zachodzi w stromie; następuje **asymilacja dwutlenku węgla i jego redukcja do cukrów prostych** z użyciem ATP i NADPH wyprodukowanych w fazie jasnej.

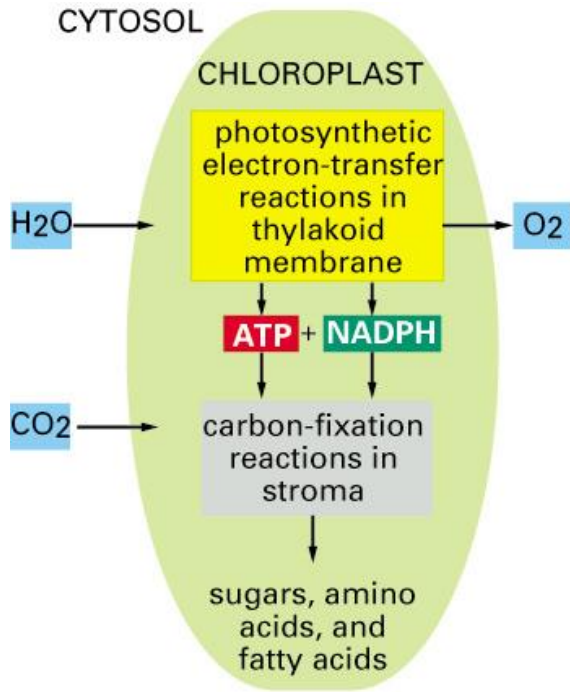


Figure 14-37. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

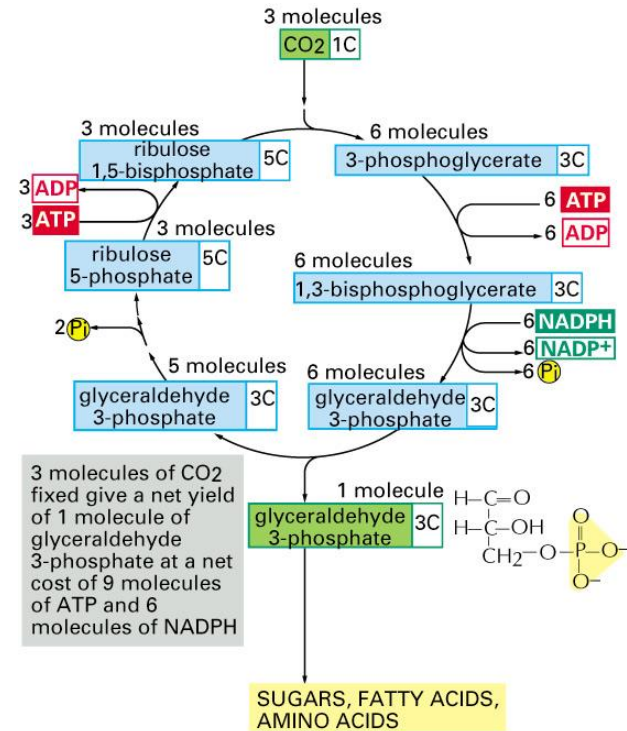


Figure 14-39. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Dalsze reakcje tj. wytwarzanie sacharozy i wielu innych związków organicznych w liściach zachodzą w cytozolu. Substancje te są transportowane do tkanek różnych organów jako źródło związków organicznych i jako źródło energii koniecznej do wzrostu rośliny.

Stroma chloroplastów, oprócz tylakoidów, zawiera:

- swoisty kolisty genom (wielkość ok. 120 000 pz i 120 genów), RNA i rybosomy (70S) niezbędne do syntezy białek kodowanych przez te geny,
- ziarna skrobi asymilacyjnej, która w nocy ulega rozkładowi do sacharozy, transportowanej do amyloplastów i tam przekształcanej w ziarna skrobi zapasowej,
- krople lipidowe – plastoglobule,
- wiele enzymów niezbędnych do metabolizmu skrobi i syntezy lipidów.

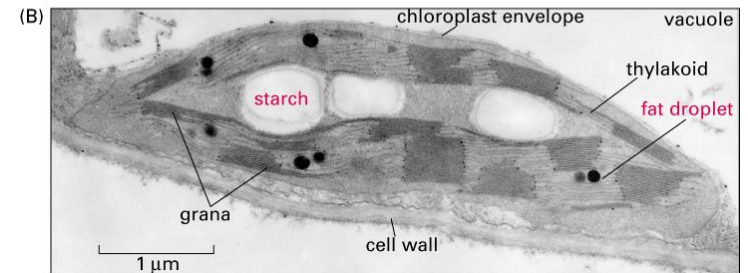
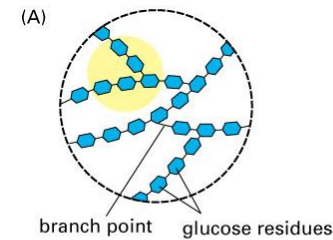
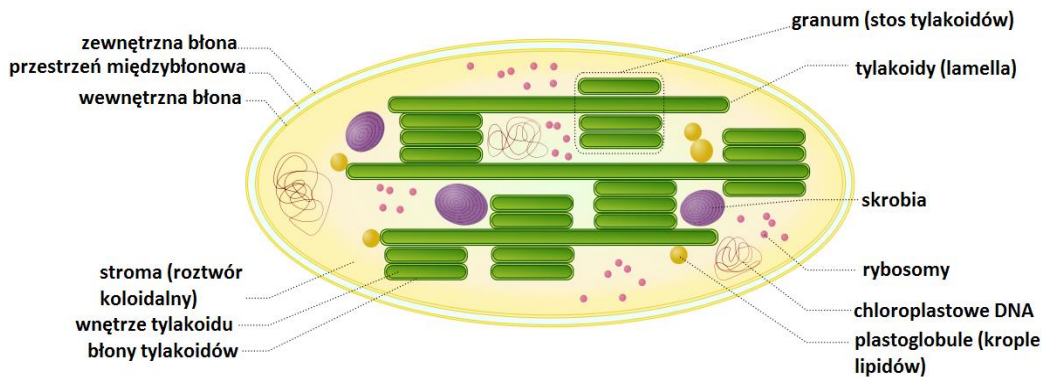


Figure 2-83 part 1 of 2. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Wakuole (wodniczki)

To mniejsze lub większe organella oddzielone od cytoplazmy **pojedynczą błoną – tonoplastem** i zawierające wodny roztwór – **sok komórkowy**.

Powstają w młodych dzielących się komórkach przez zlewanie się małych pęcherzyków pochodzących z siateczki śródplazmatycznej lub diktiosomów.

W dojrzałych komórkach tkanki mięsистой roślin w wyniku łączenia się wakuol powstaje duża **centralna wakuola** (zajmuje nawet 90% objętości komórki); rozpada się ona na mniejsze wakuole i pęcherzyki w trakcie cyklu komórkowego i ponownie powstaje po zakończeniu podziału komórkowego.

Młoda komórka

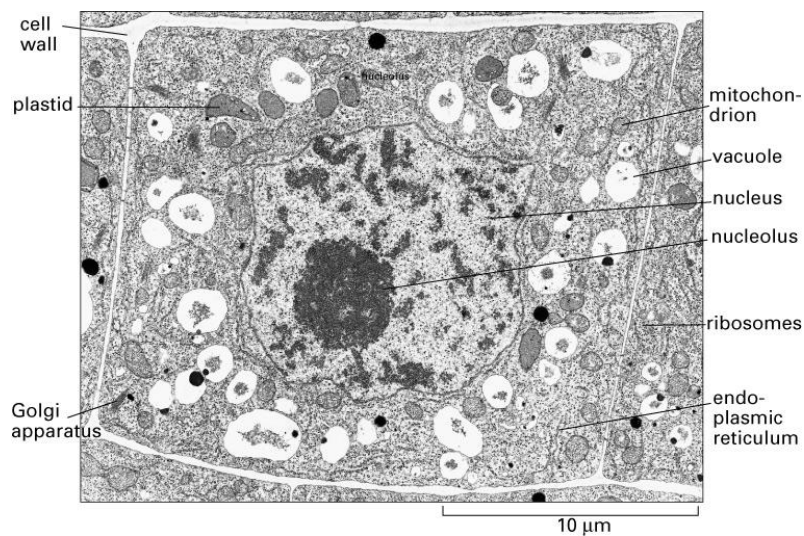
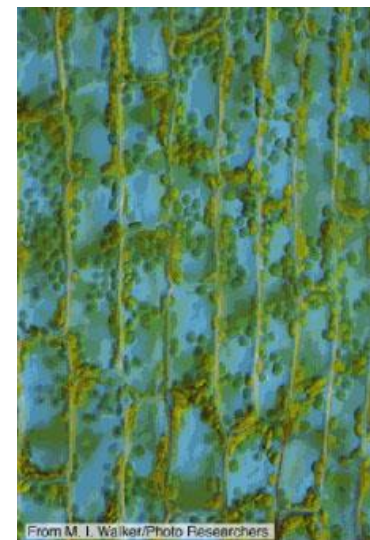
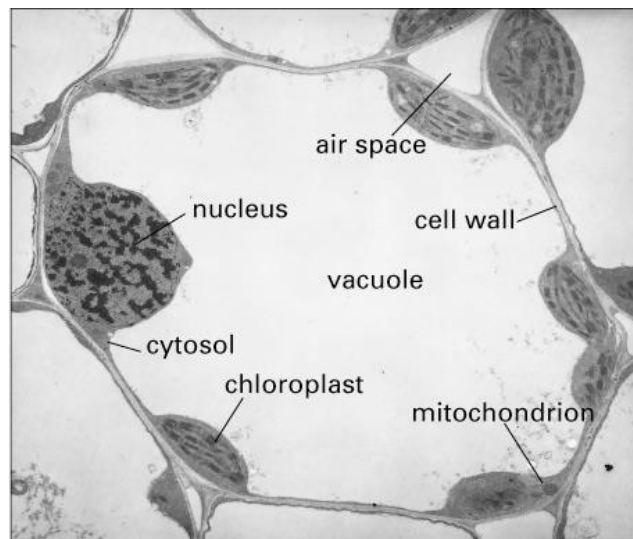


Figure 9-25. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Wakuola centralna w dojrzałej komórce tkanki mięsистой



Funkcje **centralnej wakuoli** roślin:

- jest magazynem wielu substancji nieorganicznych i organicznych, w tym wtórnych metabolitów
- sok komórkowy cechuje się wysoką wartością ciśnienia osmotycznego, co warunkuje zdolność do wchłaniania wody oraz utrzymywania turgoru (napięcia) w tkankach roślinnych.

Składniki soku komórkowego:

1/ woda (90%) – jest rozpuszczalnikiem

2/ związki nieorganiczne (np. sole potasu, sodu, wapnia, żelaza, magnezu miedzi w postaci azotanów, siarczanów, fosforanów, chlorków itp.) i organiczne (np. kwasy organiczne i ich sole, cukry, aminokwasy i rozpuszczalne białka, witaminy rozpuszczalne w wodzie, alkaloidy, garbniki, glikozydy, saponiny, śluzy, olejki gorczyczne, olejki lotne, balsamy, gumy, barwniki wakuolarne:

antocyjany (czerwone, niebieskie lub fioletowe) np. cyjanina w kwiatach chabra bławatka, owocach bzu czarnego, liściach kapusty głowiastej czerwonej, pelargonina w płatkach pelargonii, delfinina w owocach winorośli właściwej, bzu czarnego,

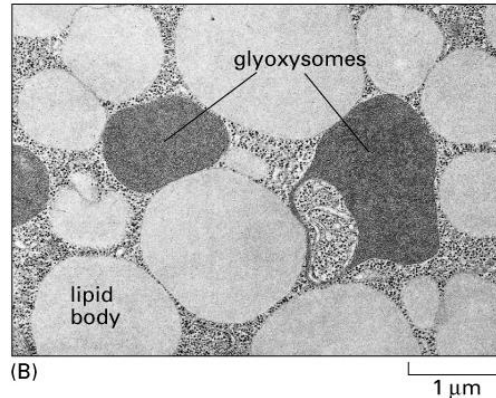
flawony (żółte), np. w owocach mandarynki;

flawonole (żółte), np. w kwiatach pierwiosnka.

Betalainy – niebiałkowe związki azotu; np. w korzeniu buraka ćwikłowego

Glioksysomy

organella otoczone pojedynczą błoną; występują **tylko w tkankach roślinnych: liścieniach i endospermie kielkujących roślin nasiennych**; przekształcają kwasy tłuszczowe zmagazynowane w lipidach nasion do cukrów (niezbędnych do intensywnego wzrostu kielkującej rośliny) w tzw. cyklu glioksylanowym.



komórka liścienia
gromadząca tłuszcze

Figure 12-33. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Sferosomy

kuliste pęcherzyki otoczone pojedynczą błoną; na powierzchni zakotwiczone są białka – **oleozyny**, pełniące funkcje stabilizującą, powstają w obrębie siateczki śródplazmatycznej gładkiej, gromadzą materiał zapasowy (krople triacylogliceroli) w tkankach spichrzowych roślin, gdzie mogą przekształcać się w ciała tłuszczowe; szczególnie liczne w bielmie nasion roślin oleistych (rzepak, słonecznik), liścieniach i niektórych owocach np. oliwki, owoce awokado, zawierają enzymy hydrolityczne, co wskazuje na ich udział w procesach wewnątrzkomórkowego trawienia.

Korzeń

Morfologia i anatomia

Korzeń to zwykle podziemny organ rośliny, który umocowuje ją w podłożu oraz pobiera wodę i substancje mineralne.

Systemy korzeniowe

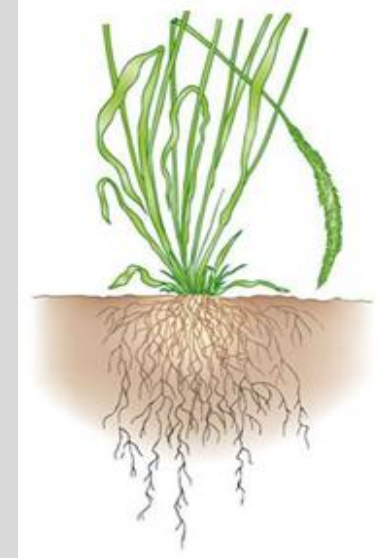
palowy

korzeń główny rozwija się z korzenia zarodkowego i rośnie przez całe życie przybierając kształt wrzecionowaty lub kulisty, z niego wyrastają korzenie boczne;
charakterystyczny dla roślin nagozalążkowych i dwuliściennych.



wiązkowy

korzeń główny zanika, a u nasady pędu rozwijają się liczne korzenie przybyszowe;
charakterystyczny dla roślin jednoliściennych.



Modyfikacje korzeni

Korzenie spichrzowe:

są grube i mięsiste z rozbudowanym miękiszem spichrzowym

- magazynują substancje pokarmowe
- występują jako zgrubiały korzeń główny, bulwki korzeniowe lub jako połączenie korzenia właściwego i części podliścieniowej pędu

Korzenie czepne:

- wyrastają z pędów roślin pnących
- służą do przyczepienia się do podpory
- występują np. u bluszczu pospolitego

Korzenie kurczliwe:

- utrzymują bulwy, cebule lub kłącza roślin na odpowiedniej głębokości w glebie, wciągając je dzięki zdolności do skracania swych górnych części
- występują u roślin kiełkujących na powierzchni gleby np. cebuli

Korzenie podporowe:

- są długie, wyrastają z pędów na pewnej wysokości nad ziemią, następnie wrastają do gleby i dodatkowo umocowujące roślinę w podłożu
- występują np. u kukurydzy, tropikalnych mangrowców rosnących na bagnistych wybrzeżach oceanów
- ich odmianą są korzenie szkarpowe u drzew tropikalnych bagien oraz korzenie kolumnowe u epifitów, np. u lian i figowców

Korzenie powietrzne:

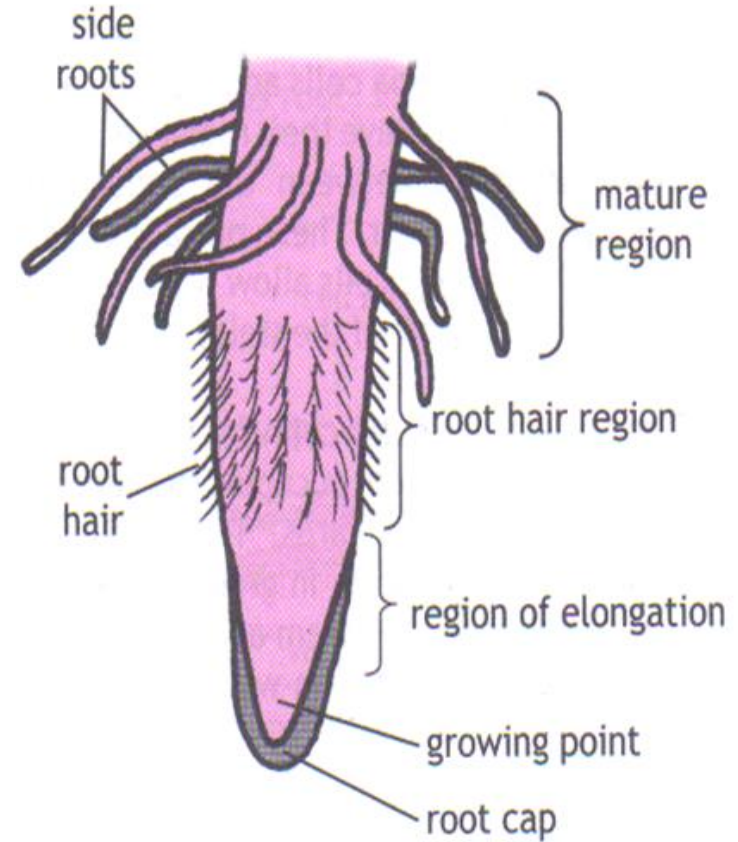
- wyrastają z pędów nadziemnych
- służą do pobierania wody z atmosfery; są pokryte gąbczastą, martwą tkanką chłoniącą wodę tzw. welamenem
- występują głównie u epifitów (np. u storczyków)

Korzenie przybyszowe:

- wyrastają na pędach nadziemnych, a nawet liściach
- umożliwiają wegetatywne rozmnażanie roślin z sadzonek pędowych i liściowych
- występują np. u niecierpka gruczołowatego

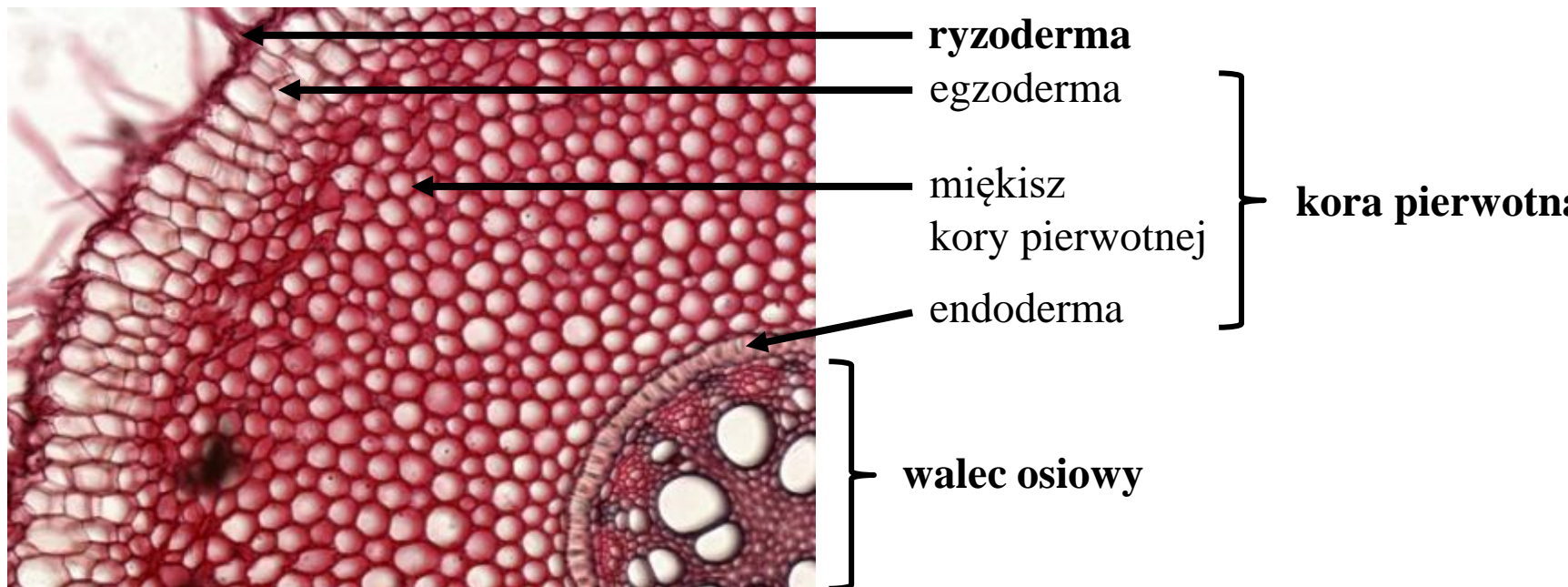
Strefy korzenia:

- wierzchołkowa – stanowi ją stożek wzrostu okryty czapeczką (kaliptrą),
- wzrostu (wydłużania) – 5-10 mm odcinek, w którym zachodzi intensywne wydłużanie się nowo powstałych komórek,
- włosnikowa – włosniki zwiększają powierzchnię chłonną systemu korzeniowego; nie występują u roślin wodnych i błotnych (chłoną wodę całą powierzchnią korzenia),
- korzeni bocznych – utrzymuje roślinę w glebie, przewodzi roztwory wodne pobrane przez włosniki; w jej obrębie zachodzi przyrost wtórny na grubość.



Budowa pierwotna korzenia

występuje u roślin jednorocznych (zielnych) przez całe życie oraz u roślin wieloletnich tylko w pierwszym roku wegetacji



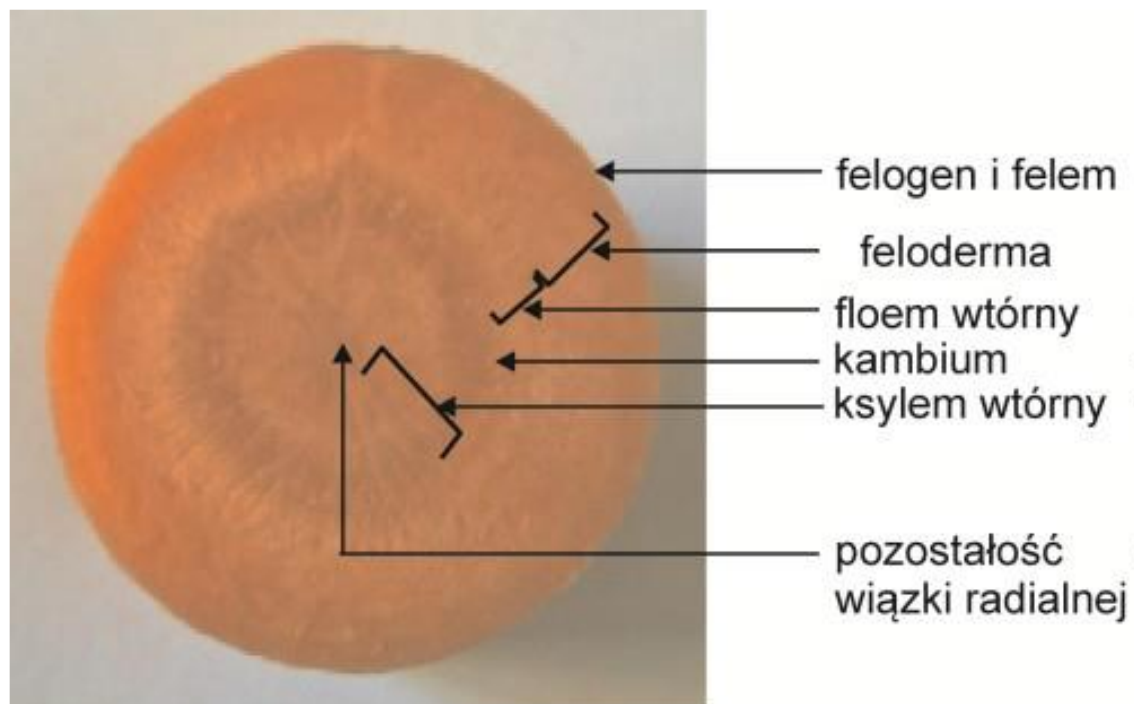
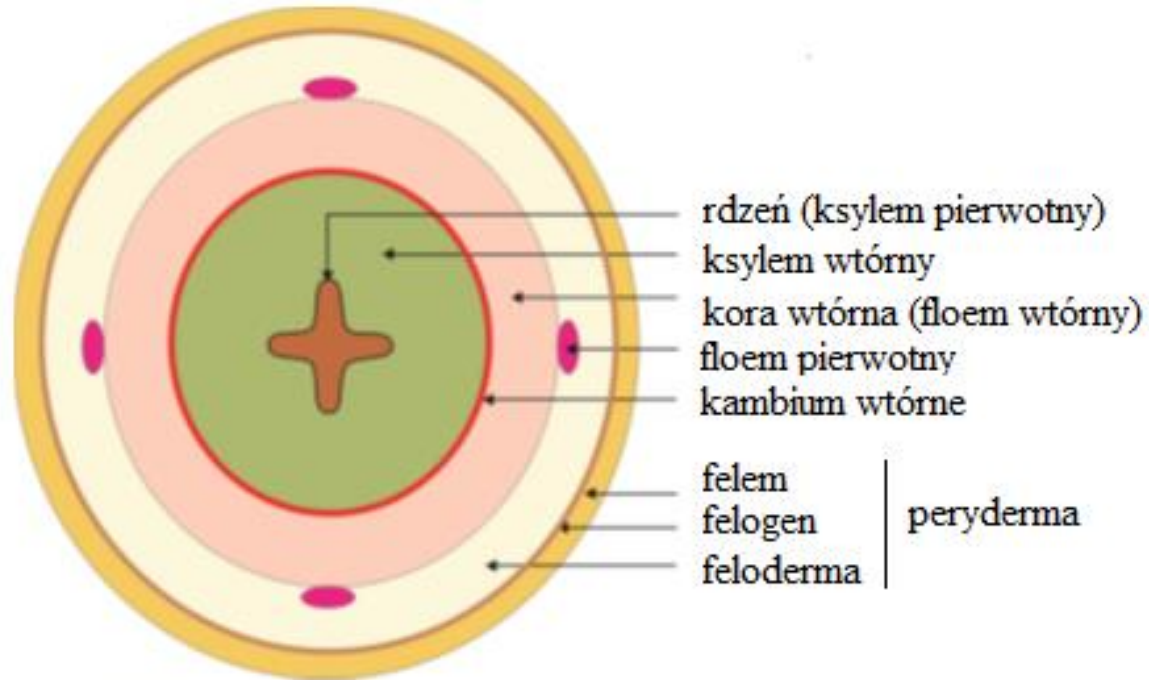
Korzeń kosańca *Iris germanica*

Budowa wtórna korzenia

występuje u roślin nagonasiennych oraz dwuliściennych (dwuletnie, byliny, krzewy i drzewa); u dwuliściennych jednorocznych korzeń zachowuje przez całe życie budowę pierwotną.

Elementy budowy wtórnej korzenia:

- peryderma - wtórna tkanka okrywająca (felem, felogen i feloderma),
- kora wtórna - zewnętrzną warstwę stanowi pierścień wzmacniający zbudowany ze sklereidów i włókien o ścianach zdrewniałych, pod nim leży pasmo floemu wtórnego utworzone z elementów przewodzących (rurki sitowe, komórki przyrurkowe, miękisz łykowy) oraz elementów wzmacniających - włókien łykowych; w skład floemu wchodzi również promienie rdzeniowe (pierwotne i wtórne) utworzone z komórek miękiszowych,
- kambium wtórne - cienka tkanka leżąca między łykiem a drewnem,
- ksylem wtórny - jest zbudowany z naczyń lub cewek i komórek miękiszu drzewnego, które tworzą promienie rdzeniowe, dochodzące aż do rdzenia korzenia,
- rdzeń - jest zbudowany z komórek należących do ksylemu pierwotnego.



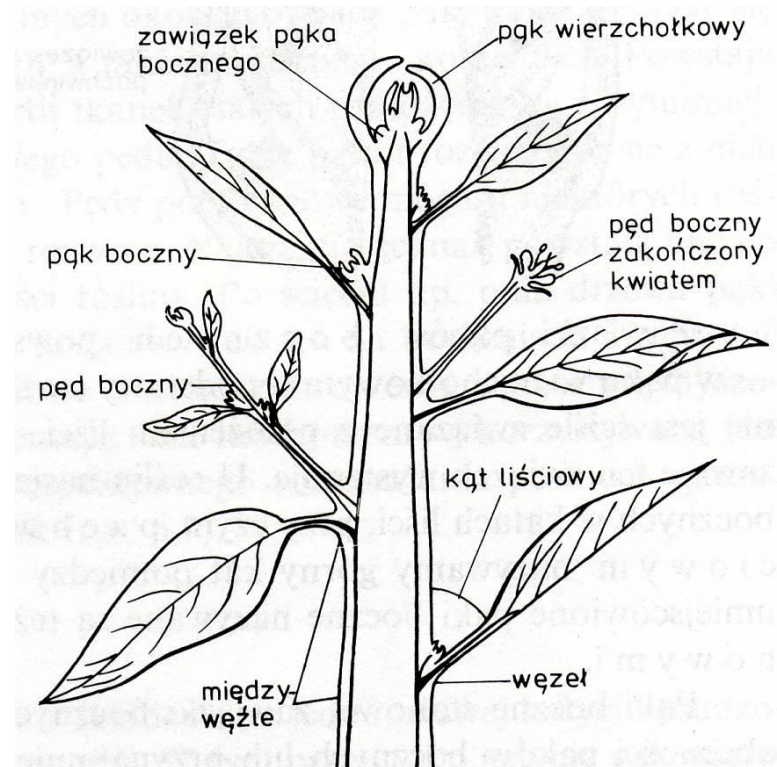
Pęđ

Morfologia i anatomia łodygi

Pęd to zwykle nadziemny organ występujący u roślin wyższych.

Jest złożony z:

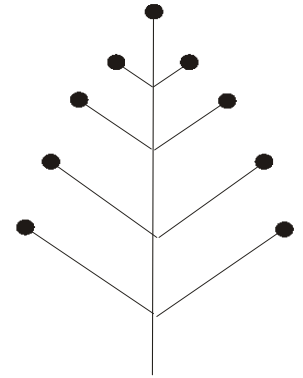
- zielonej lub zdrewniałej **łodygi** – pojedynczej (jednoosiowej) lub częściej z bocznymi rozgałęzieniami,
- **liści** – wyrastają z węzłów, które dzielą łodygę na odcinki - międzywęzła,
- **pąków** - są szczytowym zakończeniem pędu i jego rozgałęzień



Schemat ukształtowania pędu rośliny dwuliściennej (wg Szweykowskich)

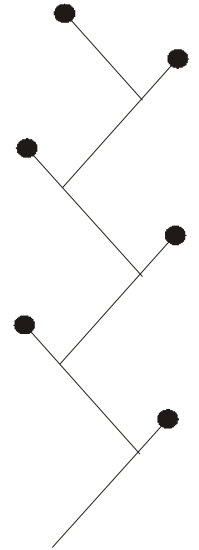
Rozgałęzienia monopodialne

- powstają, gdy oś pierwotna rośnie szybciej niż jej boczne odgałęzienia, te zaś szybciej niż powstające na nich odgałęzienia II-go rzędu;
- występują u drzew szpilkowych oraz niektórych drzew liściastych (np. u buku zwyczajnego, klonu, jesionu oraz dębu)



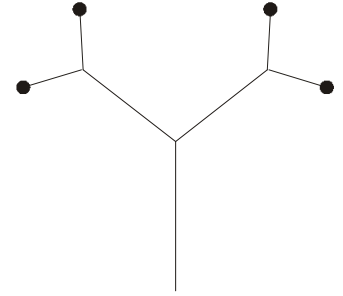
Rozgałęzienia sympodialne

- powstają gdy odgałęzienie boczne rośnie szybciej niż oś pierwotna, z kolei odgałęzienie II-go rzędu rośnie szybciej niż odgałęzienie I-go rzędu;
- występują np. u grabu zwyczajnego, lipy, wiązu, u wielu drzew owocowych, a także u konwalii majowej oraz tropikalnych storczyków.



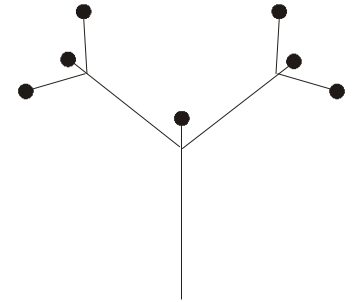
Rozgałęzienia dychotomiczne

- tworzą się na skutek podziału stożka wzrostu znajdującego się na szczycie pędu na dwa jednakowe nowe stożki;
- występują u widłaków



Rozgałęzienia pseudodychotomiczne (pozornie widlaste)

- powstają, gdy z dwóch naprzeciwległych pąków pachwinowych rozwijają się dwa odgałęzienia boczne, a pęd pierwotny przestaje rosnać;
- występują u bzu lilaka, jemioli pospolitej i magnolii.



Modyfikacje pędów

Kłacze to pęd **podziemny** o nieograniczonym wzroście, zwykle mniej lub bardziej zgrubiały, zaopatrzony w zredukowane, łuskowate liście; jest organem przetrwalnym niektórych bylin; magazynuje również substancje zapasowe; na wiosnę z kątów łuskowatych liści wyrastają nowe pędy nadziemne;

Wąsy czepne – to przekształcone **pędy główne**, pozbawione tkanki wzmacniającej (np. u winorośli właściwej, winobluszczu pięciolistkowego, bluszczu pospolitego, psianki słodkogórz lub pędy boczne (np. u męczennicy);

Ciernie powstają wskutek:

- przekształcenia pędów, np. u głogu, śliwy tarniny,
- przekształcenia liści (np. u berberysu, kaktusów) lub przylistków (np. u robinii, niektórych wilczomleczowatych).

Cebula to **podziemny pęd** o bardzo skróconej łodydze tworzącej tzw. piętękę, z której wyrastają zgrubiałe, **mięsiste łuski** pełniące funkcję **organów spichrzowych**:

- łuskowate liście dolne, np. u tulipana,
- pochwy liściowe obumarłych liści właściwych, np. u czosnku,
- liście dolne i pochwy liściowe, np. u hiacynta.

Na zewnątrz cebuli występują zwykle skórzaste, **martwe łuski** pełniące **funkcję ochronną**.
U szczytu piętki wytwarza się pąk wierzchołkowy, z którego wiosną wyrasta pęd nadziemny.

Głęb to nierozgałęziona, gruba i soczysta **łodyga skróconego pędu** kapusty głowiastej, z której wyrastają liczne liście spichrzowe; w pierwszym roku wegetacji gromadzi materiały zapasowe, a w drugim roku „główka” kapusty wysadzona do gleby wyrasta w pęd, wytwarzający kwiaty i owoce.

Rozłogi – to **przekształcone pędy boczne**; rosną poziomo lub ukośnie przy powierzchni ziemi; mają wydłużone międzywęzła i często zredukowane liście; są organami rozmnażania wegetatywnego; w ich węzłach tworzą się korzenie przybyszowe, a nowe rośliny wyrastają z pąków zlokalizowanych w kątach łuskowatych liści (np. u poziomki, niektórych traw i turzyc). Rozłogi podziemne, na których końcach rozwijają się bulwy występują np. u ziemniaka zwyczajnego.

Bulwa pędowa to zgrubiały **podziemny pęd**.

Powstaje wskutek silnego skrócenia się i zgrubienia łodygi, której liście uległy całkowitemu uwstecznieniu. **Umożliwia rozmnażanie wegetatywne** - na dojrzałej bulwie widać wyraźnie pąki boczne, czyli oczka, wiosną wyrastają z nich nowe pędy nadziemne (np. u ziemniaka zwyczajnego). Bulwa pędowa pełni także funkcję organu spichrzowego (gromadzi głównie cukry np. skrobię oraz białko zapasowe).

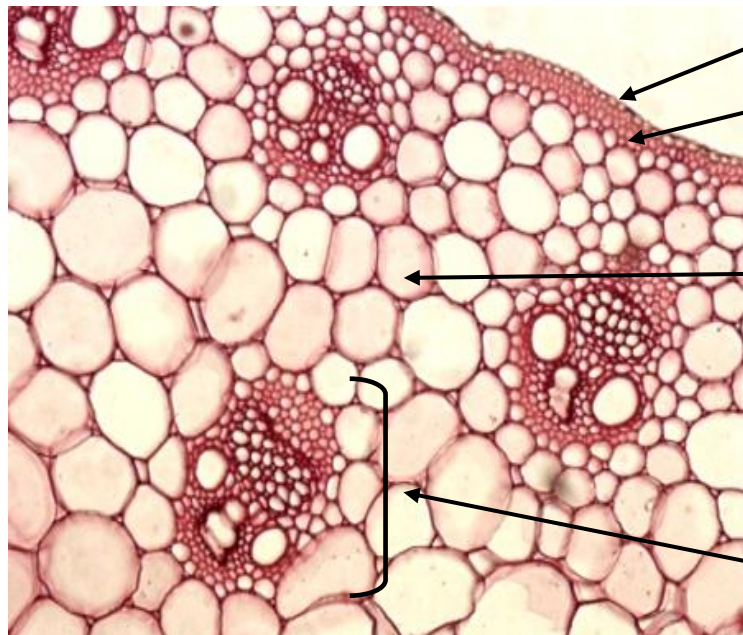
Anatomia łodygi

Łodygi o budowie pierwotnej występują u roślin:

- **jednoroocznych (zielnych) przez cały okres wegetacyjny,**
- **wieloletnich (z przyrostem wtórnym) tylko w pierwszym roku wegetacji.**

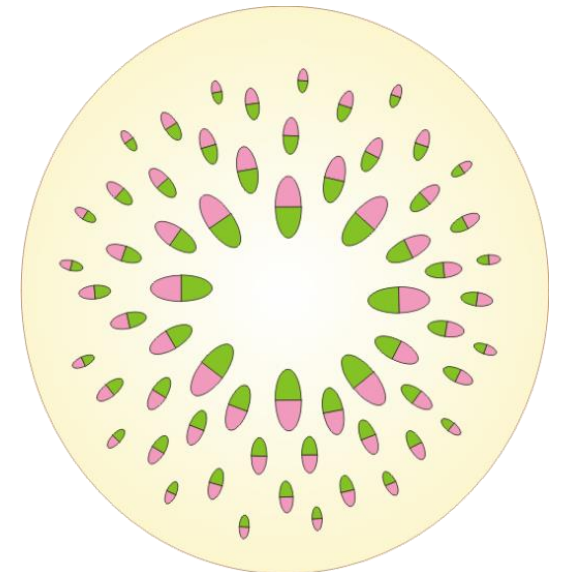
Budowa pierwotna łodygi **roślin jednoliściennych**

- jednowarstwowa **epiderma**
- kilkuwarstwowa **sklerenchyma** (nazywana hipoderma – podskórnią); pełni funkcję wzmacniającą
- wiązki **kolateralne zamknięte**
- **mięksisz**
- **brak wyraźnej granicy pomiędzy korą pierwotną i walcem osiowym**



epiderma
sklerenchyma
mięksisz
wiązka kolateralna zamknięta

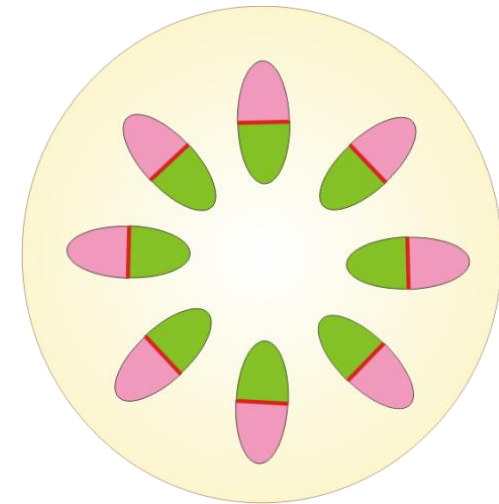
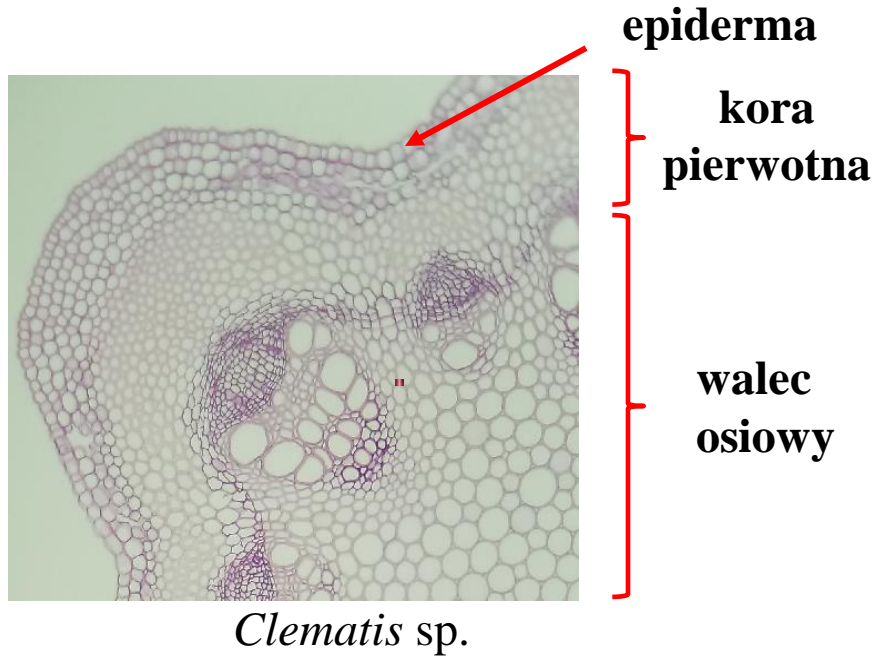
walec osiowy: ataktostela



Zea mays

Budowa pierwotna łodygi **roślin dwuliściennych**:

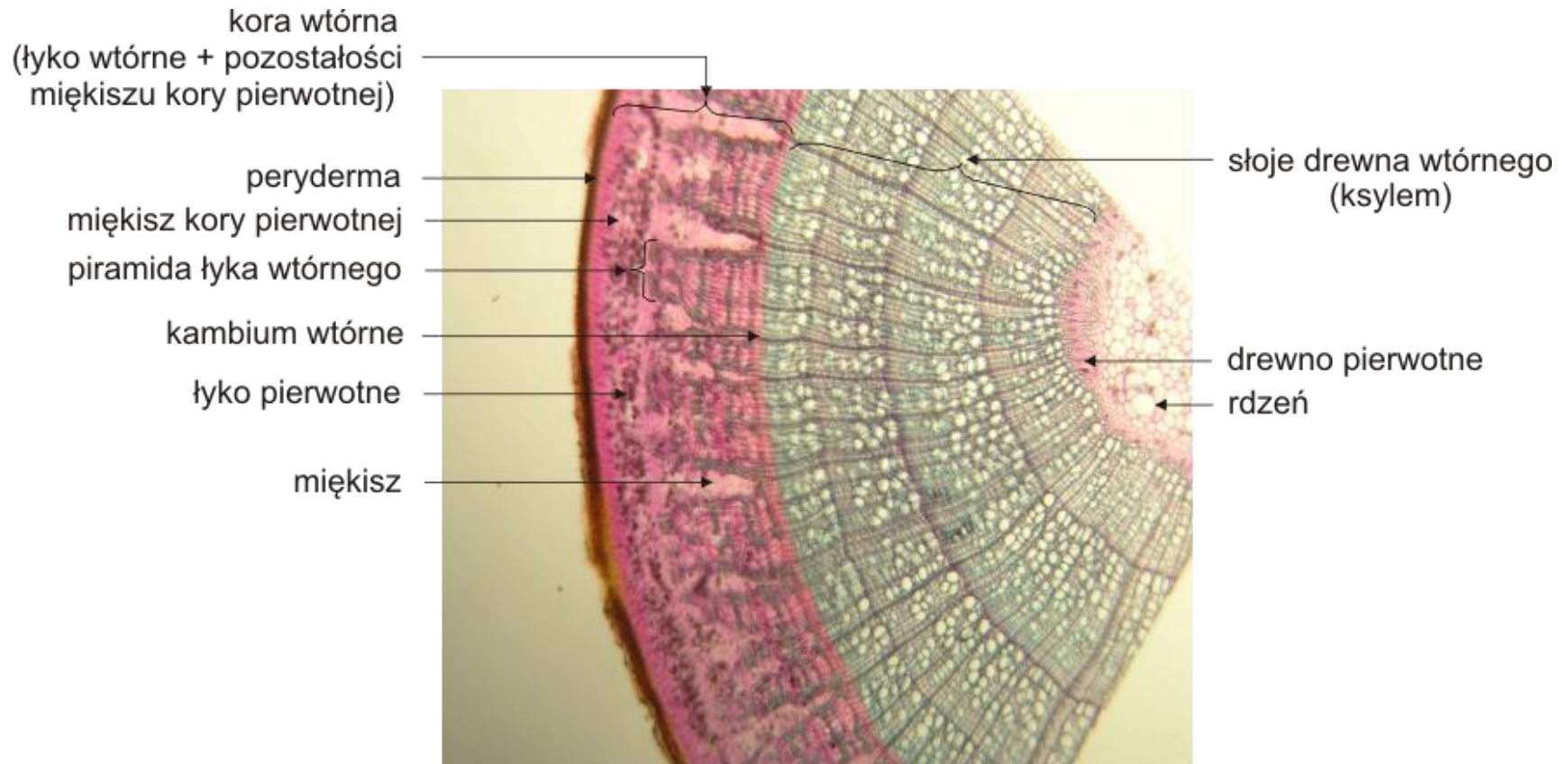
- **epiderma**
- **kora pierwotna**: kolenchyma płatowa, miękisz kory pierwotnej, endoderma
- **walec osiowy**: perycykl, wiązki kolateralne otwarte i/lub bikolateralne, rdzeń



Walec osiowy: eustela
występuje w łodygach
roślin dwuliściennych i nagonasiennych

Budowa wtórna łodygi

posiadają ją łodygi roślin nagonasiennych i wieloletnich roślin dwuliściennych

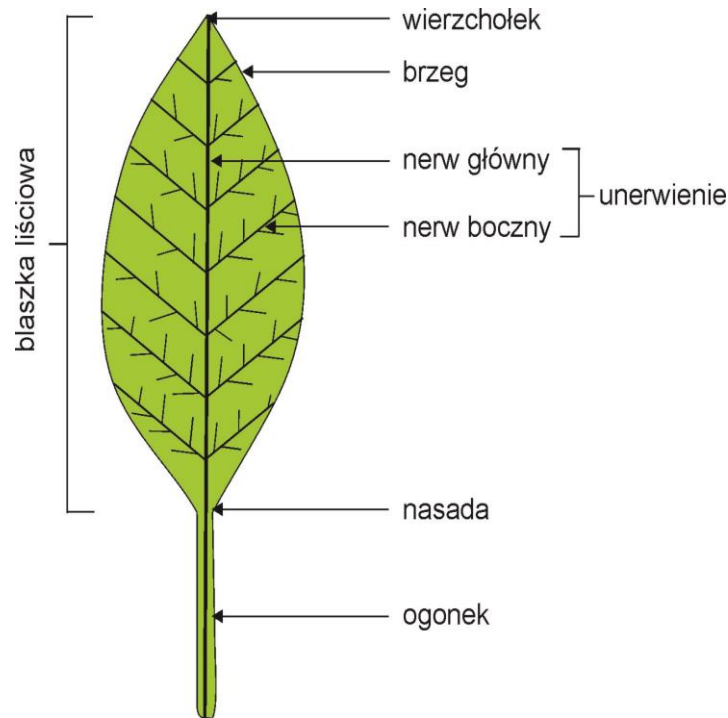


Tilia sp. (lipa)

Morfologia liścia

Typowy liść rośliny okrytozalążkowej składa się z:

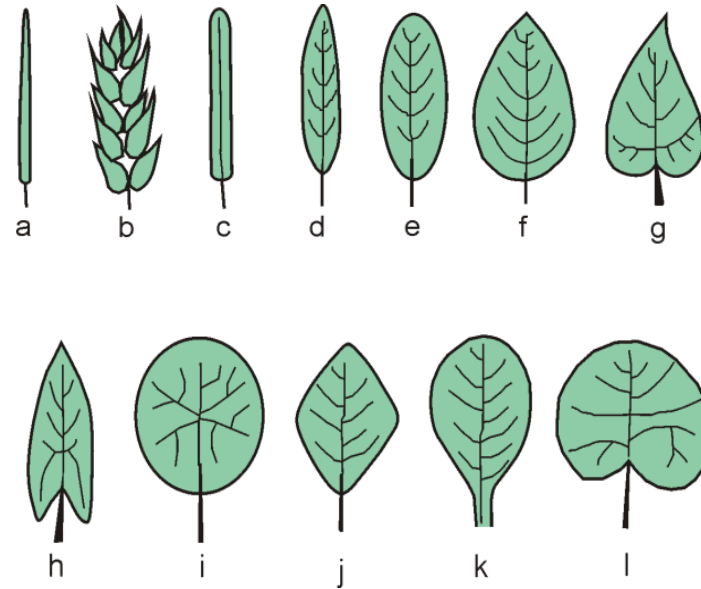
- **blaszki liściowej** - zwykle cienka i płaska; zapewnia łatwy dostęp do powietrza i światła,
- **ogonka liściowego** - może być obły, spłaszczony, kanciasty, rynienkowaty; często u nasady bywa rozszerzony i obejmuje pęd tworząc tzw. pochwę liściową (np. w rodzinie baldaszkowatych oraz u traw).



Wiele roślin posiada liście bezogonkowe, czyli siedzące, np. gwiazdnica wielkokwiatowa.

Kształt blaszki liściowej może być:

- (a) szpilkowaty, np. u sosny,
- (b) łuskowaty, np. u żywotnika,
- (c) równowąski, np., u traw i turzyc,
- (d) lancetowaty, np. u wierzby,
- (e) eliptyczny, np. u bukszpana,
- (f) jajowaty, np. u gruszy,
- (g) sercowaty, np. u lipy,
- (h) strzałkowaty, np. u szczawiu,
- (i) okrągły, np. u grzybienia,
- (j) rombowski, np. u brzozy,
- (k) łopatkowaty, np. u stokrotki,
- (l) nerkowaty, np. u kopytnika.



Ciekawostka

Największe na świecie liście ma wiktoria królewska (*Victoria amazonica*) rosnąca w dorzeczu Amazonki. Ich średnica dochodzi do 4 m. Wielkość i specyficzna konstrukcja zapewniają im tak dużą wyporność, że potrafią unieść dorosłe osoby ważące nawet 75 kg.



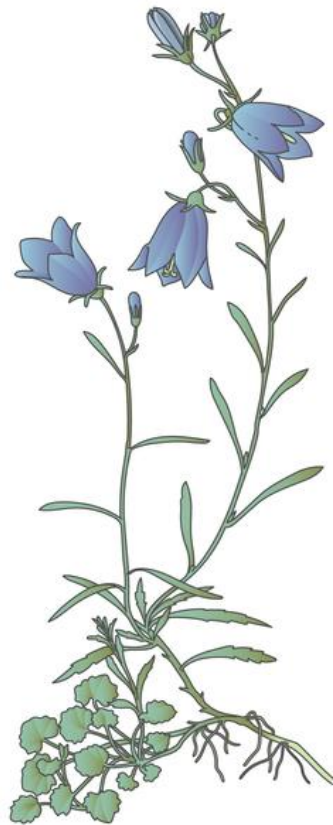
<https://www.quora.com/What-are-Amazon-water-lilies>

Kształt liści niektórych roślin zależy od warunków środowiska, w jakich żyją.

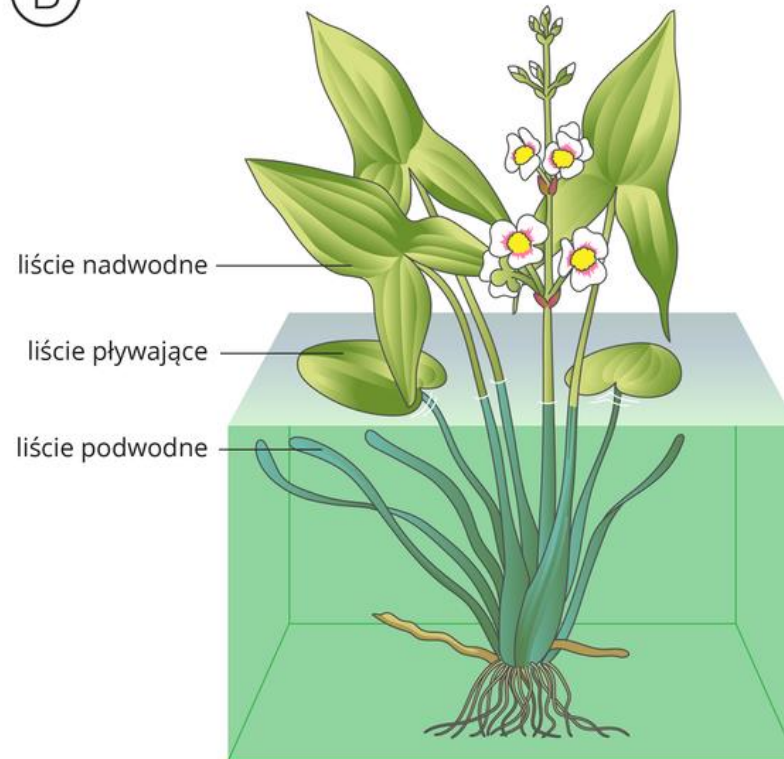
- Dzwonek okrągłolistny (A) wykształca liście podłużne, gdy rośnie w miejscach nasłonecznionych, a okrągłe - kiedy rośnie w cieniu.

- Strzałka wodna (B) wykształca trzy rodzaje liści: taśmowate – całkowicie zanurzone w wodzie, owalne – pływające na powierzchni wody i strzałkowate – nadwodne.

(A)



(B)



Ze względu na **liczbę blaszek liściowych** wyróżnia się:

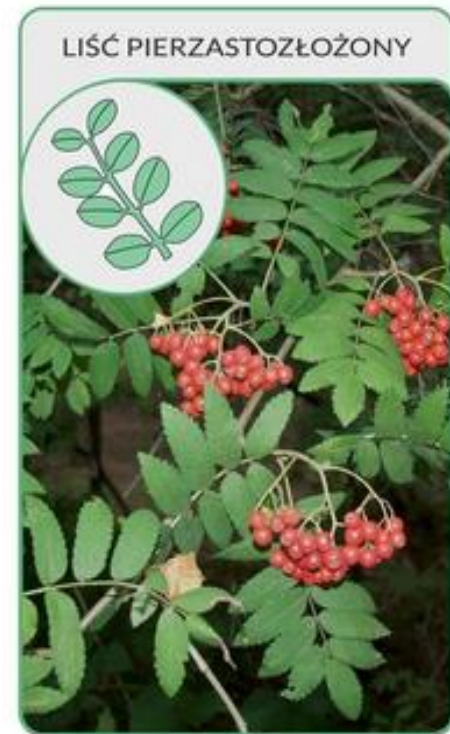
- **liście pojedyncze** - posiadają jedną blaszkę, mogą być całobrzegie lub w różny sposób rozczłonkowane; układ wcięć może być dłoniasty lub pierzasty,
- **liście złożone** - na jednym ogonku osadzonych jest kilka blaszek (tzw. listków); mogą być one złożone dłoniasto (kasztanowiec zwyczajny) lub pierzasto (jarząb pospolity).



lipa



kasztanowiec



jarząbina

W zależności od **głębokości wcięć w blaszce liściowej** liście pojedyncze dzieli się na:

wrębne

klapowane

dzielne

sieczne

w c i ę c i e b l a s z k i :

do 1/4 szerokości
np. liść
pierzastowrębny
dębu.

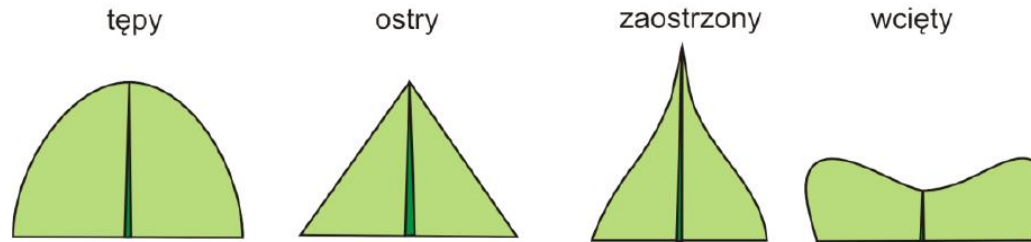
do 1/3 szerokości
np. liść
dłoniastoklapowany
klonu.

do 2/3 szerokości
np. liść
pierzastodzielny
maku.

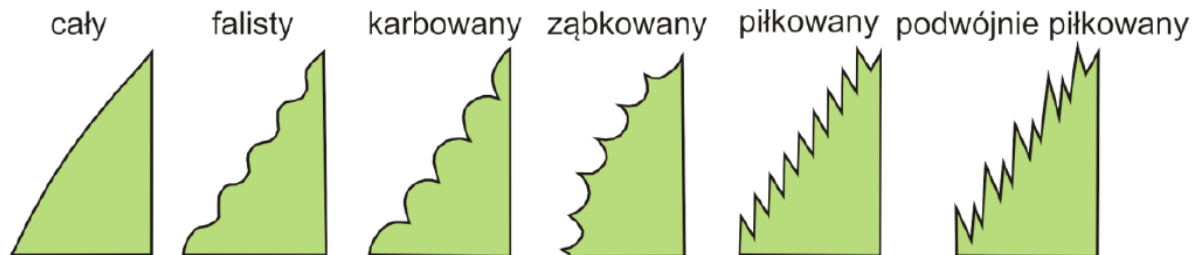
prawie do nerwu
głównego
np. liść
dłoniastosieczny
zawilca.

Wierzchołek liścia może być:

tępy (np. u szaławii lekarskiej), ostry (np. u olchy szarej), zaokrąglony (np. u konwalii majowej), wcięty (np. u olchy czarnej).

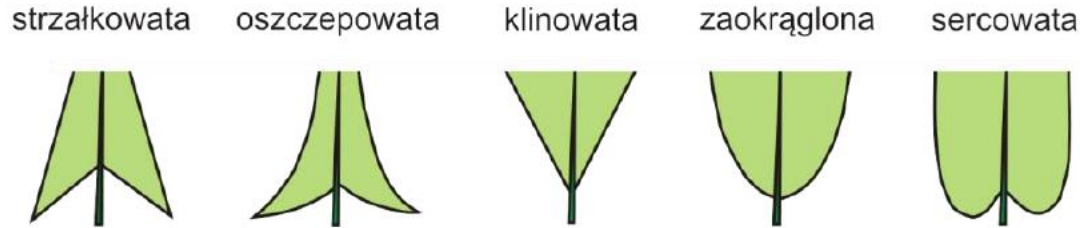


Brzeg blaszki liściowej może być: cały (np. u malwy), falisty (np. u pierwiosnka), karbowany (np. u ziarnopłonu wiosennego), ząbkowany (np. u porzeczki czarnej), piłkowany (np. u gruszy), podwójnie piłkowany (np. u wiązu).

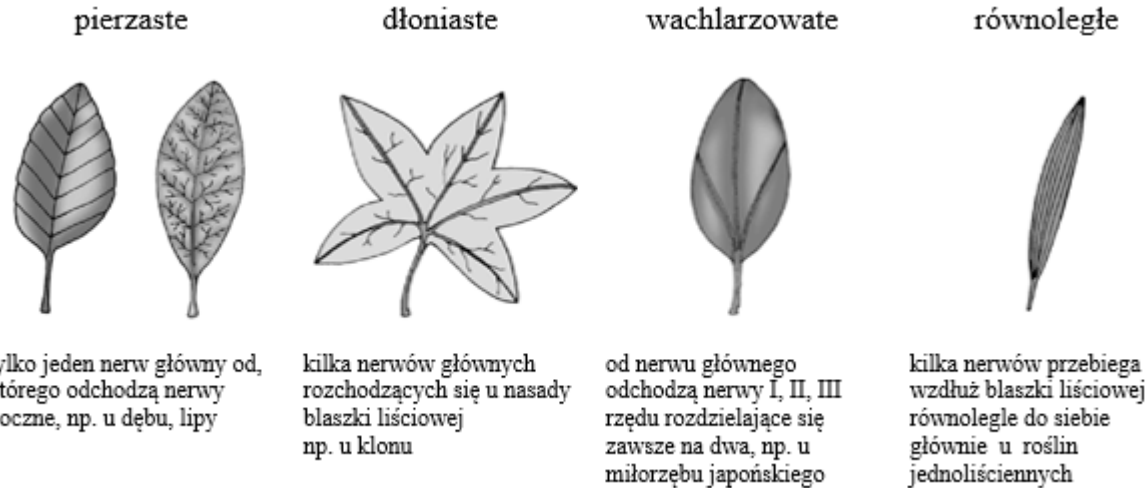


Nasada liścia może przyjmować kształt:

strzałkowy (np. liście pływające na powierzchni wody u strzałki wodnej), oszczepowaty (np. u szczawiu), klinowaty (np. u wierzby) lub zaokrąglony (np. u wiązowca), sercowaty (np. u lipy).



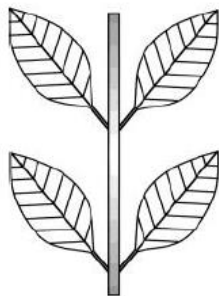
Unerwienie liścia:



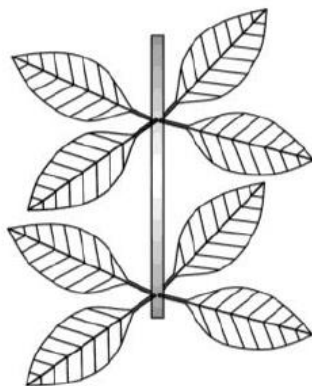
Ulistnienie (filotaksja) czyli ułożenie liści na łodydze; jest uwarunkowane genetycznie i zapewnia roślinie pełny dostęp do światła

Osadzenie liści może być:

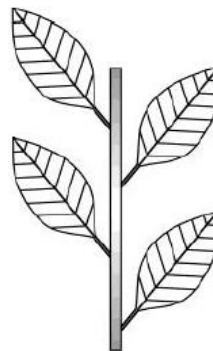
naprzeciwległe



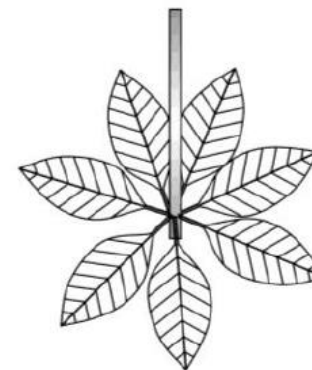
okółkowe



skrętoległe



różyczkowe



Modyfikacje liści:

- liście zarodkowe (liścienie) – to pierwsze liście rozwijające się podczas kiełkowania nasion (często gromadzą materiały zapasowe umożliwiające rozwój młodej roślinie w pierwszym okresie po kiełkowaniu); zwykle wyrastają ponad ziemię i zielenieją,
- ciernie – ostro zakończone liście roślinne (np. u berberysu) lub przylistki (np. u niektórych wilczomleczowatych) o sztywnym kształcie; zmniejszają powierzchnię transpiracyjną rośliny, a także chronią ją przed zjedzeniem przez zwierzęta roślinożerne; charakterystyczne są dla kserofitów,
- wąsy – mogą być utworzone z całego liścia (funkcje asymilująca przejmują wówczas przylistki) lub z części liścia (np. u nasturcji ogrodowej z ogonków liściowych, a u grochu ze szczytowych listków liścia złożonego),
- liście spichrzowe – przystosowane do gromadzenia składników pokarmowych, np. liście łuskowate u cebuli i liście agawy,

- liściaki – zmodyfikowane ogonki liściowe, które przejmują funkcję asymilacyjną liści; występują u roślin, u których blaszki liściowe uległy zredukowaniu, np. u akacji,
- liście przykwiatowe: przysadki (pod kwiatami), podsadki (pod kwiatostanami), podkwiatki (pod szypułką kwiatową),
- liście kwiatowe – budują kwiaty; mogą być: płone (działki kielicha i płatki korony) i płodne (pręcikowie, słupkowie),
- liście roślin owadożernych – przekształcone są w swoiste urządzenia pułapkowe, służące do chwytania i trawienia drobnych zwierząt, np. rosiczka wytwarza przyziemną rozetę liści pokrytych licznymi włoskami gruczołowymi; pływacz pospolity tworzy liczne pęcherzyki pułapkowe na części blaszki liściowej, a liście muchołówki zamykają wewnątrz owady, siedzące na blaszce liściowej.

Budowa anatomiczna liścia na przykładzie jabłoni *Malus sp.*



Epiderma (górną i dolną) jest zbudowana z 1 warstwy komórek cienkościennych, które zawierają aparaty szparkowe, nie zawierają natomiast chloroplastów. Epiderma górną pokryta jest często kutikulą oraz włoskami (ochrona przed nadmierną utratą wody).

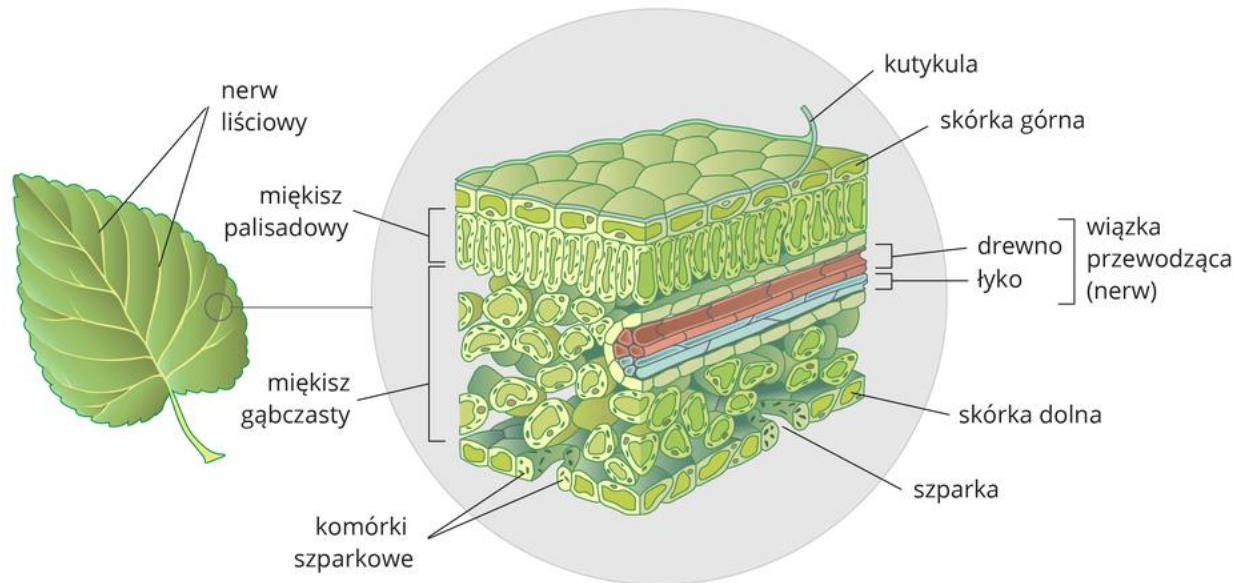
Podział liści w zależności od rozmieszczenia aparatów szparkowych:

- amfistomatyczne – aparaty szparkowe są na dolnej i górnej powierzchni liścia (trawy),
- epistomatyczne – aparaty szparkowe tylko w epidermie górnej liścia (np. u roślin wodnych o liściach pływających),
- hipostomatyczne – aparaty szparkowe tylko w epidermie dolnej (u większości roślin lądowych).

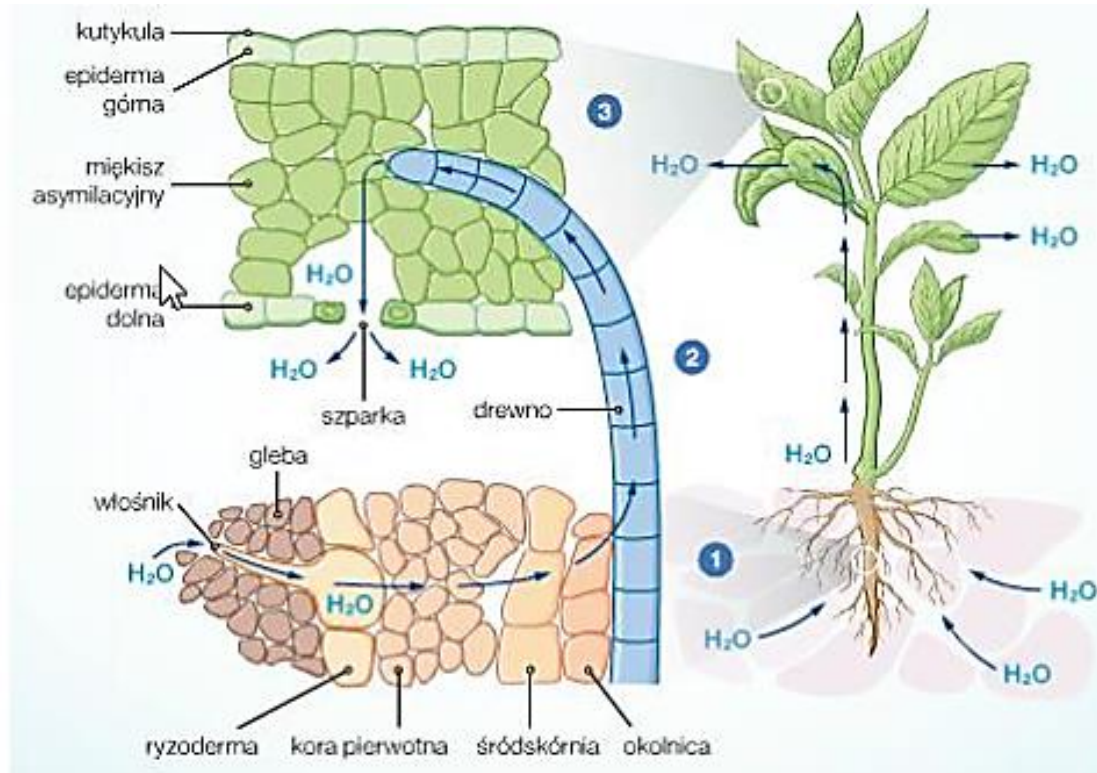
Mezofil to miękisz asymilacyjny (zieleniowy), w którym zachodzi proces fotosyntezy; u większości roślin naczyniowych zróżnicowany na miękisz palisadowy i gąbczasty.

- miękisz palisadowy - jedna lub kilka warstw komórek zwykle pod górną epidermą liścia, komórki ściśle przylegają do siebie; zawiera 3/4 wszystkich chloroplastów
- miękisz gąbczasty - komórki luźno ułożone, tworzą liczne komory powietrzne ułatwiające wymianę gazową; zawiera 1/4 chloroplastów.

Wiązki przewodzące występują w środkowej części liścia, odpowiadają za transport wody i soli mineralnych do liścia (drewno) i zsyntetyzowanych asymilatów do innych organów (łyko). Najgrubsze z wiązek tworzą na powierzchni liścia tzw. nerwy.



Transport wody w roślinie

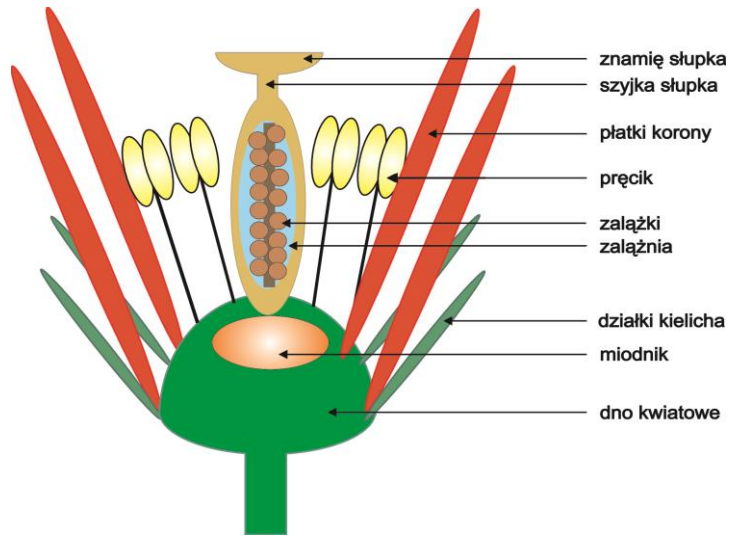


Kwiaty i kwiatostany

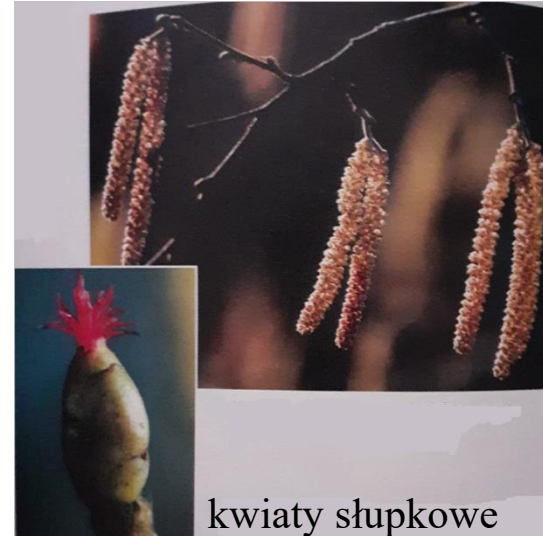
Kwiat

to skrócony i silnie zmodyfikowany pęd, służący rozmnażaniu generatywnemu.

kwiat obupłciowy



kwiaty rozdzielnopłciowe



kwiaty pręcikowe
(męskie) leszczyny

kwiaty słupkowe
(żeńskie) leszczyny

okwiat - to działki kielicha i płatki korony

perigonium – to okwiat niezróżnicowany na kielich i koronę

Kwiat obupłciowy zawiera pręciki i słupki.

Kwiat rozdzielnopłciowy zawiera albo same pręciki, albo tylko słupki.

Szypułka kwiatowa to zakończenie pędu, powyżej którego znajduje się dno kwiatowe.

Układ poszczególnych elementów na dnie kwiatowym może być:

spiralny – na wypukłym dnie kwiatowym, znajdują się osadzone spiralnie liczne pręciki i słupki; występuje np. u przedstawicieli jaskrowatych;

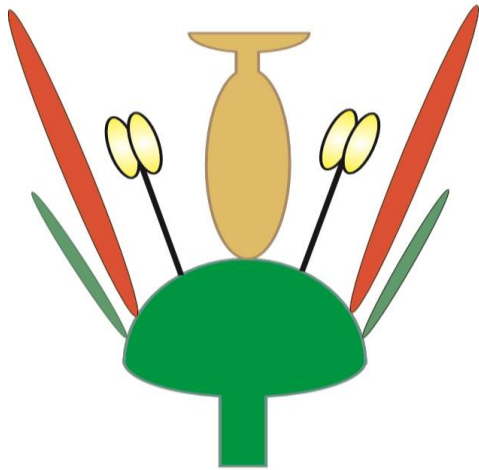
okółkowy - gdy co najmniej trzy elementy kwiatu rozmieszczone są wokół osi i położone na tej samej wysokości; występuje u większości roślin okrytonasiennych

Symetria kwiatów:

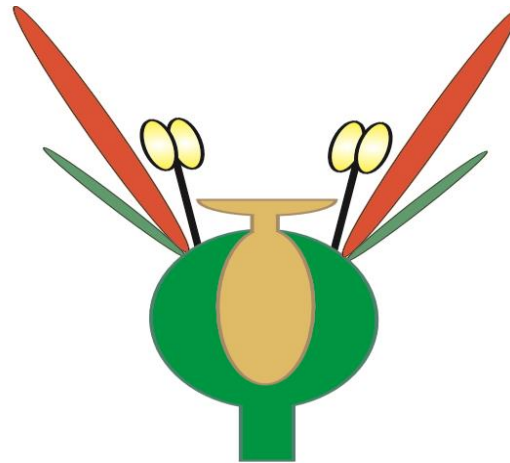
- **promienista** - np. u pięciornika, złoci,
- **grzbiecista:** motylkowa (bobowate), wargowa (jasnotowate), języczkowa i nibyjęzyczkowa (astrowate, np. u mniszka lekarskiego).

Ze względu na położenie słupków w kwiecie wyróżnia się:

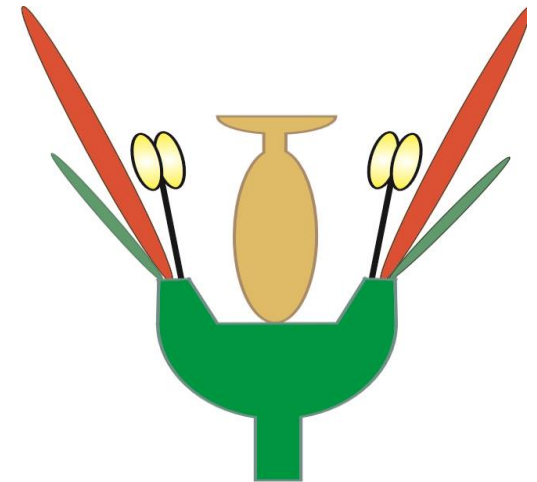
słupek górny



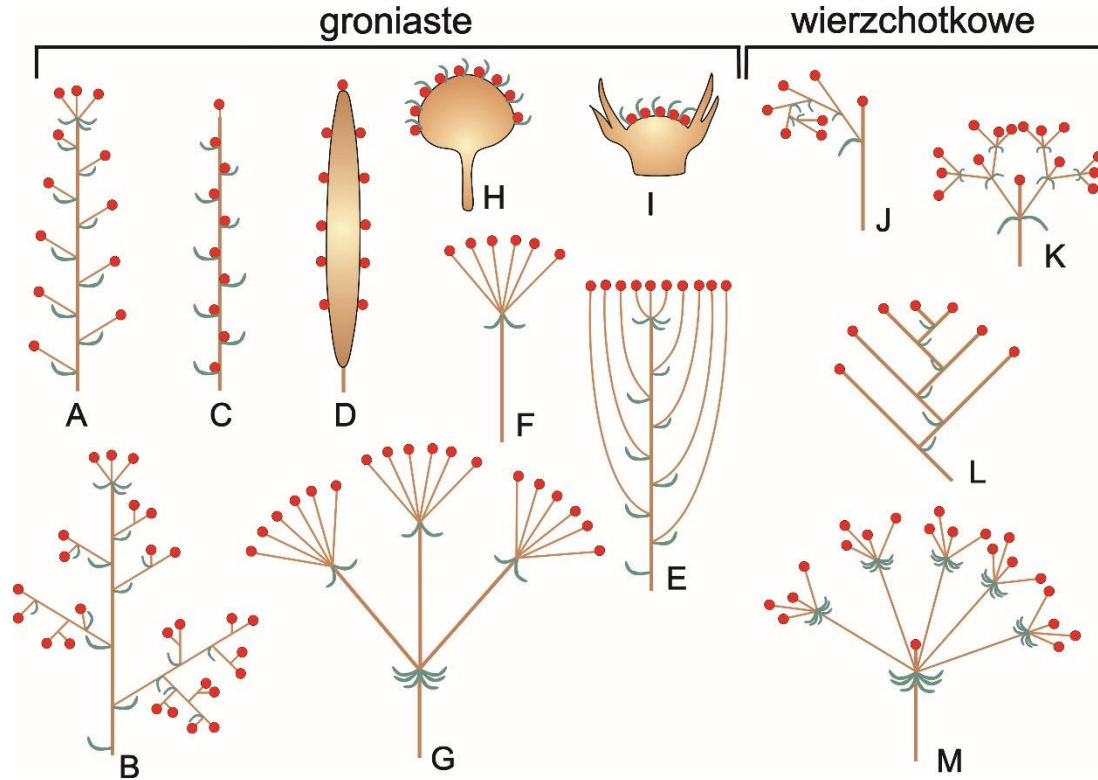
słupek dolny



słupek pośredni

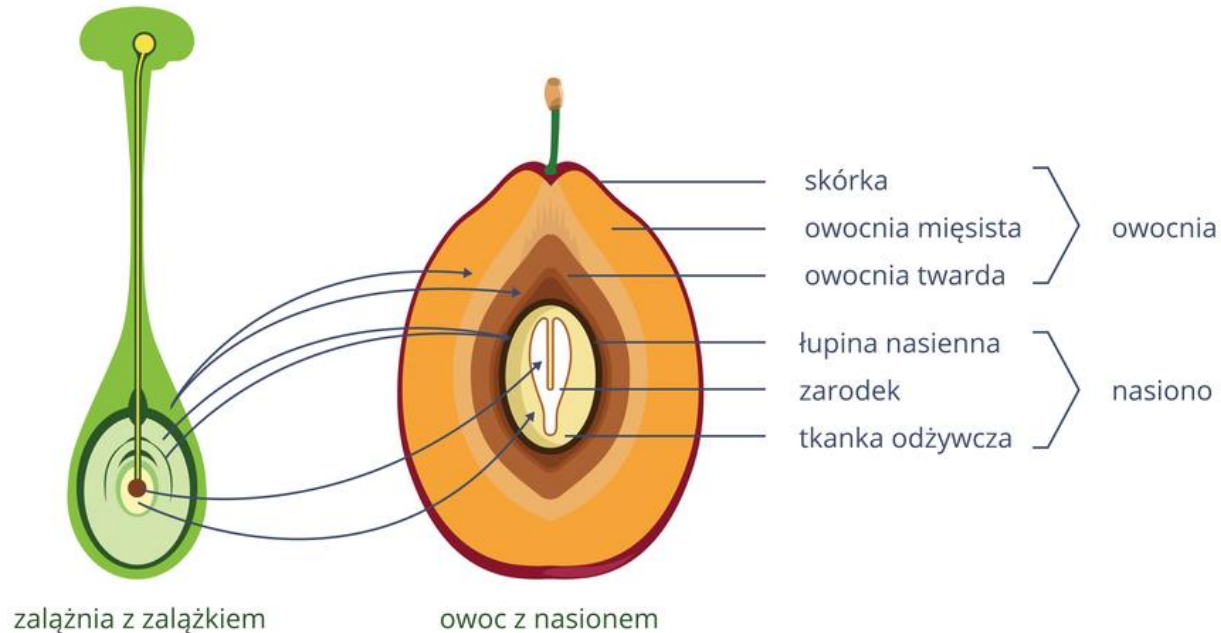


U roślin okrytonasiennych kwiaty są zwykle zebrane w **kwiatostany** i osadzone na wspólnej osi zwanej **osadnikiem**.



Typy kwiatostanów. A – grono, B – wiecha, C – kłos, D – kolba, E – baldachogrono, F – baldach prosty, G – baldach złożony, H – główka, I – koszyczek, J – sierpik, K – wierzchotka dwuramienna, L – wachlarzyk, M – wierzchotka wieloramienna.

Owoc to organ charakterystyczny dla roślin okrytonasiennych; wykształca się z zalążni słupka zwykle po procesie zapłodnienia (owoc rzeczywisty); w jego budowie mogą brać udział również inne części kwiatu, między innymi dno kwiatowe, takie owoce określa się **szupinkami** (np. owoc jabłoni *Malus sp.* – jabłko).



Owocnia (perykarp) - to zrosnięta ściana zalążni; otacza dojrzewające nasiona, często też bierze udział w ich rozsiewaniu.

Składa się z 3 warstw:

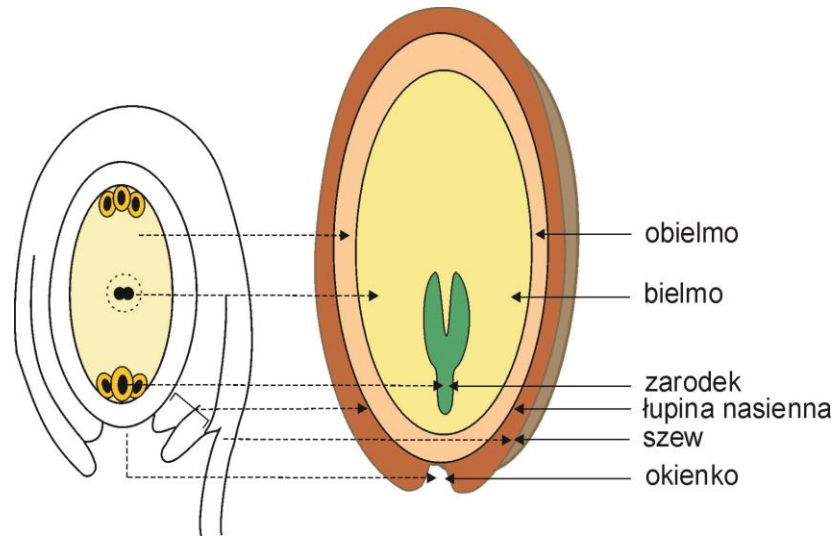
- zewnętrznej (egzokarp) - tworzy najczęściej skórkę owocu,
- środkowej (mezokarp) - w owocach mięsistych rozwija się w tkankę znacznej grubości,
- wewnętrznej (endokarp) - w niektórych owocach silnie drewnieje i tworzy pestkę, wewnątrz której leży nasienie (np. u śliwy domowej, moreli zwyczajnej, brzoskwini zwyczajnej).



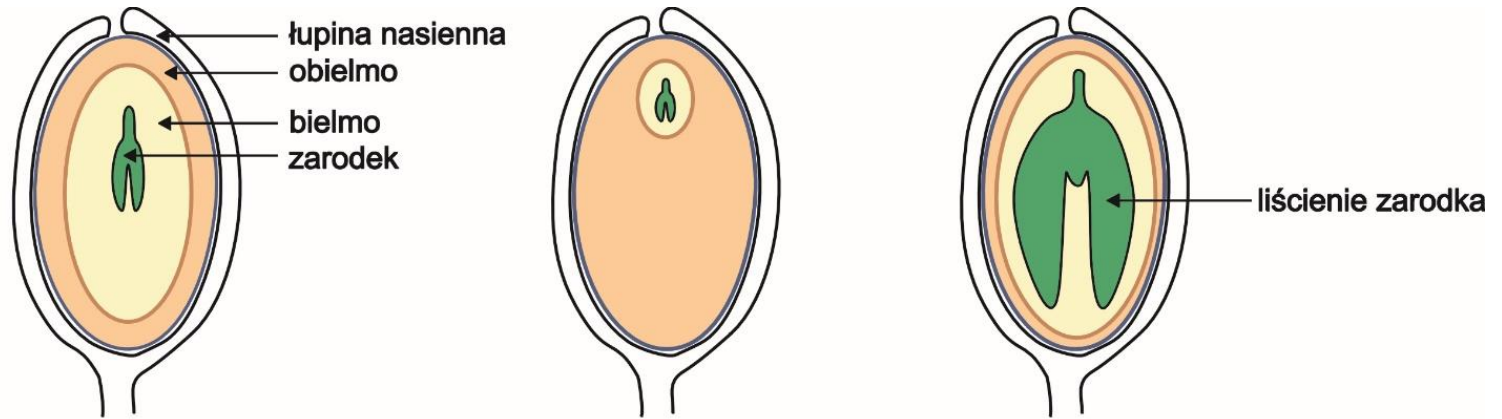
Nasiona są organami o charakterze przetrwalnikowym; służą do generatywnego rozmnażania roślin; rozwijają się poprzez **przekształcenie zalążków**, po uprzednim zapyleniu i podwójnym zapłodnieniu.

Typowe nasienie składa się z:

- **łupiny nasiennej** - rozwija się z przekształconych osłonek zalążka,
- diploidalnego **zarodka** - rozwija się z zapłodnionej komórki jajowej,
- **bielma** - powstaje z zapłodnionego jądra wtórnego woreczka zalążkowego.



Rodzaje nasion roślin okrytonasiennych:



nasienie bielmowe

nasienie obielfmowe

nasienie bezbielmowe

Owoce

pod względem morfologicznym dzieli się na:

- pojedyncze
- zbiorowe
- owocostany

Owoce pojedyncze

powstają z **jednej zalążni**; jeśli w kwiecie występuje kilka słupków z każdego z nich może rozwinąć się pojedynczy owoc, np. u jaskrowatych;

Owoce pojedyncze mogą być:

- **suche** - owocnia w trakcie dojrzewania wysycha; dzieli się je na:
 - pękające - gdy dojrzała owocnia sama się otwiera i wysypuje nasiona,
 - niepękające - gdy dojrzała owocnia nie otwiera się, a nasienie odpada wraz z owocnią
- **mięiste** - owocnia jest mięsista

Owoce pojedyncze **suche pękające:**

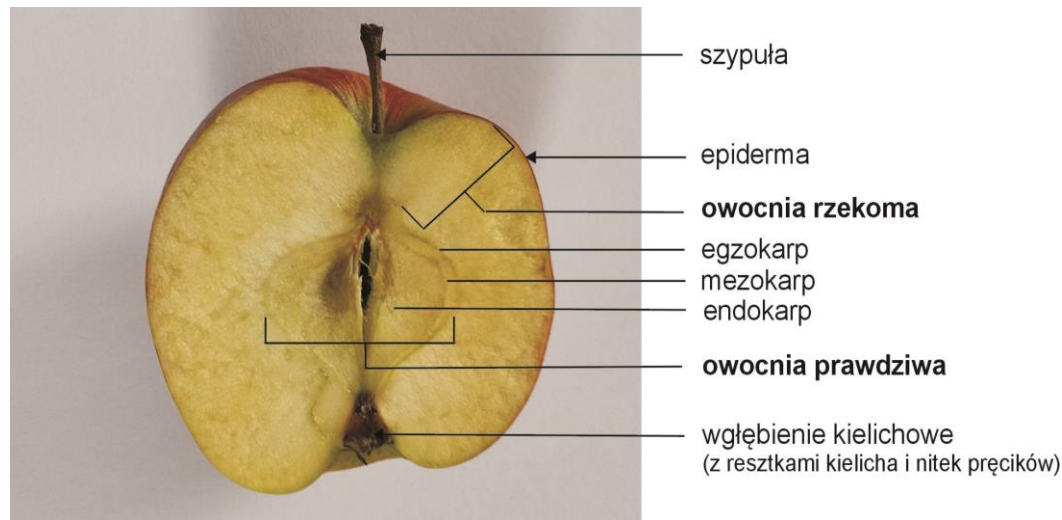
- mieszek
- strąk
- łuszczyzna i łuszczyznka
- torebka

Owoce pojedyncze **suche niepękające:**

- niełupka
- skrzydlak
- orzech
- orzeszek
- ziarniak
- rozłupnia

Owoce pojedyncze **mięsiste**:

- pestkowiec
- jagoda
- owoc typu jabłko – w budowie tego owocu bierze udział **dno kwiatowe**, z którego powstaje mięsista, jadalna część jabłka; wewnętrzna część i łuski otaczające nasiona powstają ze ścian zalążni i stanowią prawdziwy owoc.



Budowa owocu typu jabłko - jabłoń domowa,
przekrój podłużny.

Owoce zbiorowe:

- wielopestkowiec
- wieloorzeszkowiec

Owocostany





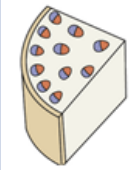
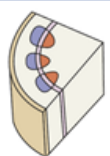




powstają z przekształcenia całych kwiatostanów, a w ich wytworzeniu oprócz zalążni wielu kwiatów mogą brać udział także dna kwiatowe, okwiat, liście przykwiatowe i osłona kwiatostanu.

- jagodostan
- owocostan pestkowcowy
- owocostan orzeszkowy

Ciekawostka

Drzewa bochenkowe *Artocarpus heterophyllus* rodzą jedne z największych owoców świata, mogą one ważyć nawet do 40 kg, osiągają 30-90 cm długości i 20-25 cm średnicy; powstają z wielu kwiatów osadzonych na wspólnej osi; zewnętrzna okrywa owocu jest tak twarda, że dojrzały owoc trzeba rąbać tasakiem, aby dostać się do jego wnętrza. Owoce nazywane jackfruit, bogate w skrobię i cukry, spożywane są na surowo lub w postaci dżemów. Drzewa bochenkowe rosną w Indiach, Malezji i Indonezji.



	Rośliny jednoliścienne	Rośliny dwuliścienne
zarodek	jeden liścień 	dwa liścienie 
liście	wydłużone, równowąskie unerwienie równoległe 	różne kształty unerwienie nieregularne, np. pierzaste, dłonaste 
łodyga	wiązki przewodzące rozproszone, kolateralne zamknięte brak kambium i przyrostu na grubość (wyjątek np. agawa, dracena) 	wiązki przewodzące ułożone pierścieniowo, kolateralne otwarte kambium i przyrost na grubość 
korzeń	system wiązkowy 	system palowy 
kwiaty	3-krotne, okwiat nieróżnicowany na kielich i koronę 	4- lub 5-krotne, okwiat różnicowany na kielich i koronę 

Rozmnażanie roślin okrytozalążkowych

Występuje przemiana pokoleń; gametofit (faza haploidalna) jest silnie zredukowany;

- gametofitem męskim jest ziarno pyłku
- gametofitem żeńskim jest woreczek zalążkowy

Sposoby rozmnażania u roślin okrytozalążkowych:

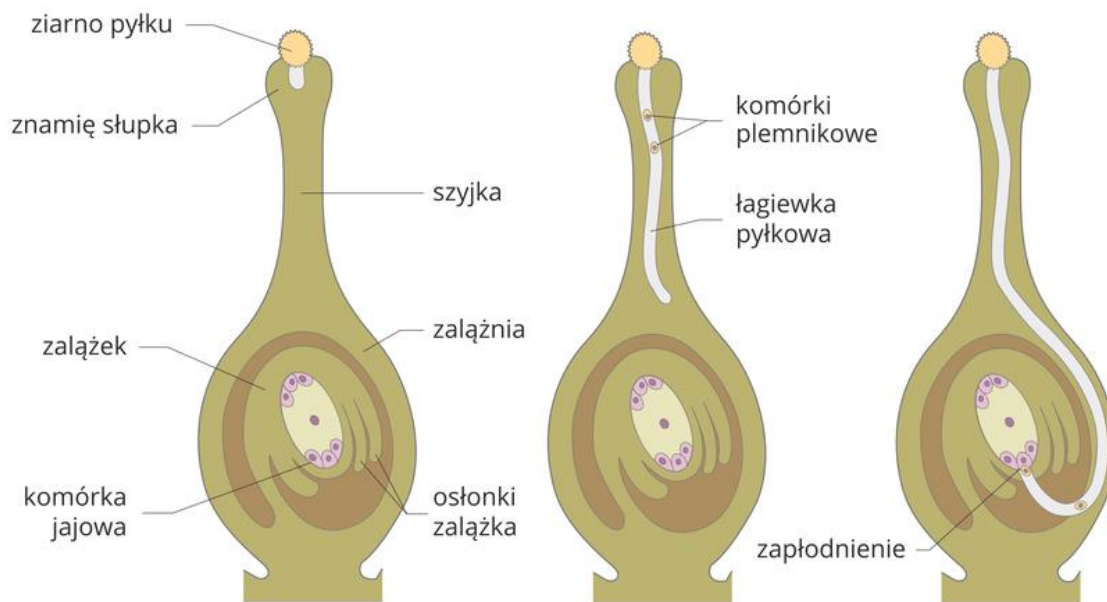
- **rozmnażanie płciowe** - poprzez gamety
- **rozmnażanie wegetatywne**

Rozwój gametofitu męskiego:

Ziarna pyłku (homolog mikrospor) powstają z komórek macierzystych, które tworzą tkankę archesporialną woreczka pyłkowego; każda z tych komórek przechodzi mejozę i staje się ziarnem pyłku; w nim rozwija się gametofit męski

Ziarno pyłku składające się z dwóch komórek: mniejszej generatywnej i większej wegetatywnej, nazywamy dojrzałym ziarnem pyłku.

Kiedy dojrzałe ziarno pyłku pada na znamię słupka (tzw. zapylenie), komórka wegetatywna wydłuża się, stając się komórką łągiewkową, a komórka generatywna przechodzi podział mitotyczny, powstają dwa plemniki. Następuje zapłodnienie.

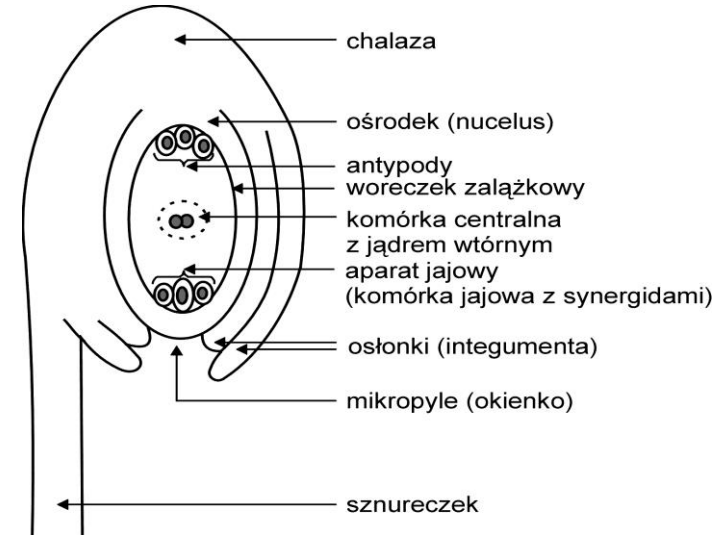


Rozwój gametofitu żeńskiego:

Woreczki zalążkowe (homolog makrospor) powstają z komórek macierzystych, które tworzą tkankę archesporialną ośrodka (*nucellus*) zalążka.

Budowa zalążka

- **chalaza** - okrywa zalążka
- **sznureczek** – umożliwia odżywianie zalążka
- wiązka przewodząca wyrastająca z łożyska (placenty).
- dwie **osłonki** (*integumentum*) – okrywają każdy zalążek; na szczycie nie zrastają się ze sobą i w ten sposób tworzy się **okienko** (mikropyle) stanowiące miejsce dla łagiewki pyłkowej.



Schemat budowy zalążka odwróconego i dojrzałego woreczka zalążkowego

Wnętrze zalążka wypełnia diploidalny **ośrodek** (nucellus), którego tylko jedna z komórek podlega mejozie, w wyniku czego powstaje tetrada haploidalnych komórek.

Najgłębiej położona komórka rozwija się w woreczek zalążkowy, a w nim – gametofit żeński.

Jądro woreczka zalążkowego przechodzi 3 następujące po sobie podziały mitotyczne; podczas 1-go podziału jądra potomne przesuwały się do przeciwległych (mikropylarnego i chalazalnego) biegunów i ostatecznie powstaje 8 jąder potomnych, po 4 na każdym z biegunów; od każdego z nich oddzieliła się po jednym jądrze, wędrują one do środka woreczka zalążkowego, tworząc diploidalne jądro wtórne; trzy jądra od strony mikropyle (górny biegun) tworzą aparat jajowy (z właściwą komórką jajową i dwoma synergidami), natomiast trzy jądra dolnego bieguna tworzą antypody.

W zależności od położenia sznureczka względem osi zalążka rozróżnia się zalążek:

- prosty (ortotropowy) – np. u pokrzywowatych (*Urticaceae*),
- zgięty (kampylotropowy) – np. u jaskrowatych (*Ranunculaceae*),
- odwrócony (anatropowy) – np. u astrowatych (*Asteraceae*).

Rozmnażanie wegetatywne roślin odbywa się poprzez:

- fragmentację rośliny, np. moczarka kanadyjska,
- pączkowanie, np. rzęsa,
- cebule, np. liczne gatunki liliowatych,
- bulwy pochodzenia pędowego, np. ziemniak zwyczajny,
- bulwy pochodzenia korzeniowego, np. ziarnopłon wiosenny,
- rozmnóżki liściowe, np. wiele gatunków roślin tropikalnych uprawianych doniczkowo,
- rozłogi, kłącza, np. poziomka, perz,
- odkłady (odgięte i zakorzenione pędy), np. drzewa i krzewy owocowe; ten rodzaj rozmnażania polega na usamodzielnieniu się odgiętego i zakorzeniającego się pędu, który oddziela się od rośliny macierzystej.

Rozmnażanie roślin nagozalążkowych

Nagozalążkowe mają zalążki nie osłonięte zalążnią i dlatego stykają się one ze środowiskiem zewnętrznym. Konsekwencją braku zalążni jest brak typowych owoców (u niektórych rodzajów powstają ich analogi).

Kwiaty współcześnie żyjących nagonasiennych są rozdzielнопłciowe, pozbawione okwiatu, zawsze zebrane w kwiatostany występujące na okazach jednopiennych (większość gatunków) lub dwupiennych, np. jałowiec pospolity.

GAMETOFIT MĘSKI	GAMETOFIT ŻEŃSKI
kwiatostan męski ♂ kłos pręcików	kwiatostan żeński ♀ szyszka
pręcik bez okwiatu	łuska nasienna
woreczek pyłkowy	nagi zalążek
komórka macierzysta pyłku	komórka macierzysta woreczka zalążkowego
MEJOZA	
ziarno pyłku (homolog mikrospory)	woreczek zalążkowy (homolog makrospory)
gametofit męski	gametofit żeński
komórka wegetatywna i generatywna	haploidalne bielmo pierwotne i 2 rodnie