

ZAJĘCIA nr 8

ZAGADNIENIA TEORETYCZNE DO PRZYGOTOWANIA NA ĆWICZENIE: „Korzeń i pęd”

Główne zagadnienia: Korzeń: systemy korzeniowe; podział korzeni ze względu na pełnione funkcje; strefy korzenia; budowa pierwotna i wtórna. Pęd: morfologia (rozgałęzienia pędu, typy pączków); modyfikacje pędu (klącze, rozłogi, bulwa, cebula, głąb, ciernie, wąsy czepne); budowa pierwotna i wtórna łodygi.

LITERATURA

1. Szwejkowscy A.J.: *Botanika*. PWN, Warszawa 2012.
2. Broda B. *Zarys botaniki farmaceutycznej*, PZWL, Warszawa 2012.

I. Część teoretyczna

1. Korzeń

Korzeń to zwykle podziemny organ rośliny, który umocowuje ją w podłożu oraz pobiera wodę i substancje mineralne. Wyróżnia się 2 systemy korzeniowe:

- palowy – korzeń główny rozwija się z korzenia zarodkowego i rośnie przez całe życie przybierając kształt wrzecionowaty lub kulisty, a z niego wyrastają korzenie boczne; jest charakterystyczny dla roślin nagozalążkowych i dwuliściennych,
- wiązkowy – korzeń główny zanika, a u nasady pędu rozwijają się liczne korzenie przybyszowe; jest charakterystyczny dla roślin jednoliściennych.

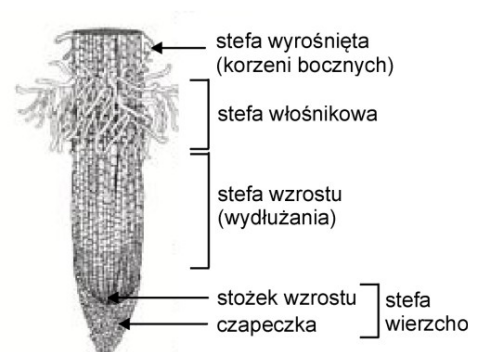
Pod względem pełnionej funkcji wyróżnia się korzenie:

- spichrzowe (bulwiaste) – magazynują substancje pokarmowe; są grube i mięsiste z rozbudowanym miękiszem spichrzowym; występują jako zgrubiały korzeń główny (np. u pietruszki zwyczajnej *Petroselinum sativum* i marchwi zwyczajnej *Daucus carota*), bulwki korzeniowe (powstają z korzeni bocznych i przybyszowych; np. u dalii *Dahlia* sp.) lub jako połączenie korzenia właściwego i części podliścieniowej pędu (np. u buraka zwyczajnego *Beta vulgaris* i rzodkwi zwyczajnej *Raphanus sativus*),
- czepne – wyrastają z pędów roślin pnących i służą do przyczepienia się do podpory (np. u bluszczu pospolitego *Hedera helix*),

- kurczliwe (wciągające) – utrzymują bulwy, cebule lub kłącza roślin na odpowiedniej głębokości w glebie, wciągając je dzięki zdolności do skracania swych górnych części; występują zwłaszcza u roślin kielkujących na powierzchni gleby (np. u cebuli zwyczajnej *Allium cepa*),
- podporowe – są długie, wyrastają z pędów; występują np. u kukurydzy zwyczajnej *Zea mays*, tropikalnych mangrowców rosnących na bagnistych wybrzeżach oceanów; służą do zakotwiczenia się rośliny w mule i zapewniają dostęp powietrza (tzw. pneumatofory); ich odmianą są korzenie szkarpowe u drzew tropikalnych bagien oraz korzenie kolumnowe u epifitów, np. u lian i figowców,
- powietrzne – wyrastają z pędów nadziemnych; występują głównie u roślin z grupy epifitów (np. u storczyków); służą do pobierania wody z atmosfery; są pokryte gąbczastą, martwą tkanką chłonącą wodę tzw. welamenem,
- przybyszowe – wyrastają na pędach nadziemnych, a nawet liściach; umożliwiają wegetatywne rozmnażanie roślin z sadzonek pędowych i liściowych,
- ssawki (haustoria) – to korzenie roślin pasożytniczych (np. łuskiewnik różowy *Lathraea squamaria*) i półpasożytów (np. pszeniec gajowy *Melampyrum nemorosum*, szelężnik *Rinanthus sp.*); wrastają do wiązek przewodzących roślin, pobierają wodę i asymilaty; mają zdolność do asymilacji u półpasożytów (np. jemiola biała *Viscum album*).

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),
- wyrośnięta – to strefa korzeni bocznych; utrzymuje roślinę w glebie, przewodzi roztwory wodne pobrane przez włosniki; w jej obrębie zachodzi przyrost wtórny na grubość



Budowa pierwotna korzenia

Budowę pierwotną posiadają korzenie roślin jednorocznych (zielnych) przez całe życie oraz korzenie roślin wieloletnich tylko w pierwszym roku wegetacji. Na budowę pierwotną korzenia (patrz fotografia poniżej) składają się:

- 1) **ryzoderma** (epiblema) – jednowarstwowa tkanka okrywająca zbudowana z komórek o cienkich ścianach łatwo przepuszczających wodę; część z nich przekształca się we włosniki. Funkcjonuje krótko, obumiera i złuszcza się. W starszych korzeniach jej funkcję przejmują zazwyczaj pierwsze partie kory pierwotnej zwane egzoderma.
- 2) **kora pierwotna** – tworzą ją trzy rodzaje tkanek:
 - egzoderma (podskórnia) – zewnętrzna warstwa, występująca wyłącznie w korzeniach roślin okrytozalążkowych; jest zbudowana z komórek ściśle przylegających do siebie (bez przestworów międzykomórkowych); ściany komórkowe są adkrustowane suberyną, w związku z czym pełni rolę izolacyjno-ochronną dla kory pierwotnej,
 - miękisz kory pierwotnej - to wielowarstwowa tkanka zbudowana z komórek miękiszowych z dużymi przestworami; u niektórych roślin (np. palm) w występują tu również pęczki włókien sklerenchymatycznych,
 - endoderma (śródkórnia) – oddziela korę pierwotną od walca osiowego; to pojedyncza warstwa komórek ściśle przylegających do siebie. U roślin jednoliściennych komórki endodermi mają ściany wewnętrzne (styczne i promieniowe) silnie zgrubiałe (w postaci litery U) i zdrewniałe (wysyczone ligniną); stanowią one barierę dla przepływu wody. Niektóre komórki leżące naprzeciwko tkanki naczyniowej (ksylemu) są cienkościenne i pełnią funkcję komórek przepustowych, czyli umożliwiają swobodne przemieszczanie się wody z kory pierwotnej do walca osiowego. U roślin dwuliściennych w ścianach promieniowych endodermi występują pasemkami Caspary'ego tj. zgrubienia utworzone głównie z suberyny, a przepływ wody do walca osiowego odbywa się przez plazmolemę z wykorzystaniem energii wytworzonej przez komórkę.

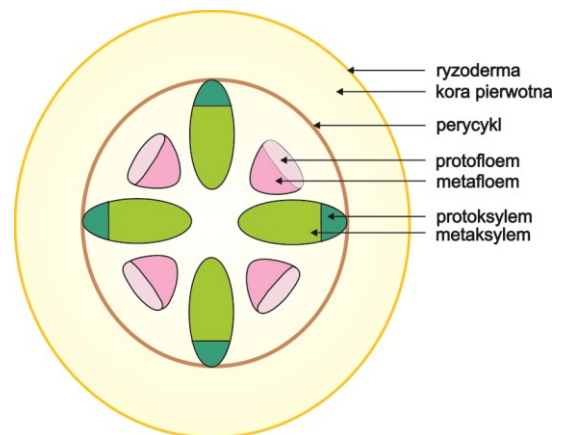


Budowa pierwotna korzenia kosaćca (*Iris germanica*)

3) walec osiowy - składnikami są:

- o perytykl (okolnica) - pierwotna tkanka twórcza, granicząca z endodermą; w korzeniu roślin nagonasiennych perytykl jest wielowarstwowy, natomiast w korzeniu roślin okrytonasiennych – jednowarstwowy. Daje on początek tkance twórczej wtórnej; powstają z niego również wierzchołki wzrostu korzeni bocznych,
- o wiązka przewodząca radialna (promienista) - ma kształt gwiazdy z różną liczbą promieni; u roślin okrytonasiennych (patrz schemat poniżej) tworzą ją naczynia protoksylemu (pierścieniowate i spiralne) i metaksylemu (drabinkowate) oraz leżące między nimi wysepki protofloemu i metafloemu (tj. rurki sitowe i komórki przyrurkowe). Liczba promieni decyduje o tym czy jest to wiązka radialna di-, tri-, tetra-, pentaarchiczna (korzenie roślin nagozalążkowych i dwuliściennych) lub poliarchiczna (wielopromieniowa >7), charakterystyczna dla korzeni roślin jednoliściennych.

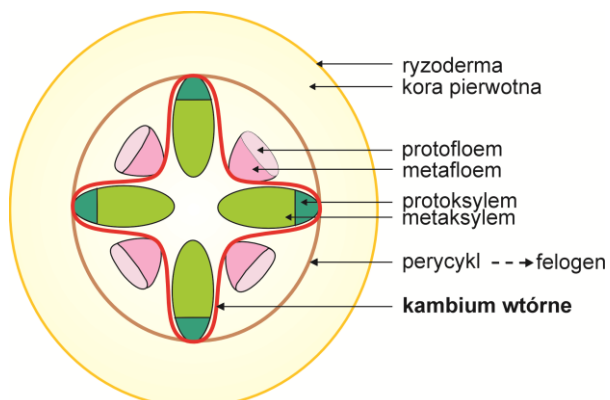
Wszystkie elementy wiązki radialnej różnicują się dośrodkowo (patrz schemat obok). Dlatego młodsze naczynia o większej średnicy (tj. metaksylem) oraz młodsze elementy floemu (tj. metafloem) zlokalizowane są bliżej środka korzenia. Natomiast starsze elementy o mniejszej średnicy (tj. protoksylem i protofloem) położone są bliżej perytyklu.



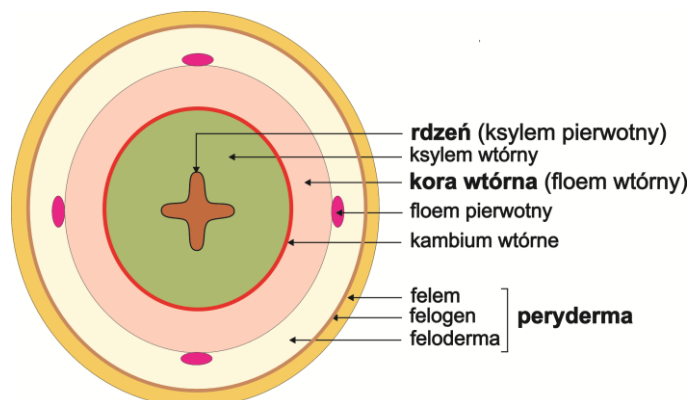
- rdzeń – leży w środku walca; zbudowany jest z cienkościennych komórek miękiszowych z małymi przestworami międzykomórkowymi (tzw. miękisz drzewny) lub z komórek o ścianach zgrubiałych o różnym stopniu zdrewnienia. U większości roślin dwuliściennych nie wyróżnia się rdzenia; środek walca osiowego zajmują elementy ksylemu.

Budowa wtórna korzenia

U jednorocznych roślin dwuliściennych korzeń zachowuje przez całe życie budowę pierwotną. U pozostałych roślin dwuliściennych (dwuletnie, byliny, krzewy i drzewa) i u drzew nagonasiennych występują przyrosty na grubość, które powodują spore zwiększenie objętości systemu przewodzącego. Zmiany rozpoczynają się od metafloemu, a komórki miękiszu leżące tuż przy metafloemie nabierają właściwości tkanki twórczej. Jednocześnie w stan czynny przechodzą odcinki perycyklu sąsiadujące z protoksylemem. W ten sposób między protoksylem i protofloemem powstaje pas **kambium wtórne (miazga;** patrz schemat poniżej). Najpierw kambium wtórne tworzy linię o falistym przebiegu (wewnątrz znajduje się ksylem, na zewnątrz – floem), a następnie odkłada on do wewnątrz ksylem wtórny (drewno wtórne), zaś na zewnątrz wtórny floem (łyko wtórne). Faliste kambium wtórne wyrównuje się przyjmując kształt walca; wtórny floem zostaje całkowicie oddalony od wtórnego ksylemu. Tak więc w budowie wtórnej korzenia zostaje zniszczony radialny układ wiązki przewodzącej. W końcowym etapie przyrostu wtórnego floem pierwotny (tj. proto- i metafloem) pozostaje tylko w postaci wysepek na zewnątrz od floemu wtórnego, a ksylem pierwotny (tj. proto- i metaksylem) tworzy rdzeń, który ztraca swój miękiszowy charakter. Pozostałe elementy budowy pierwotnej, a więc ryzoderma i kora pierwotna złuszczają się i odpadają, natomiast perycykl przekształca się w felogen, który od tej chwili wytwarza perydermę (tj. wtórną tkankę okrywającą).



Powstawanie kambium wtórnego
w korzeniu roślin dwuliściennych
i nagonasiennych



Budowa wtórna korzenia roślin
dwuliściennych i nagonasiennych

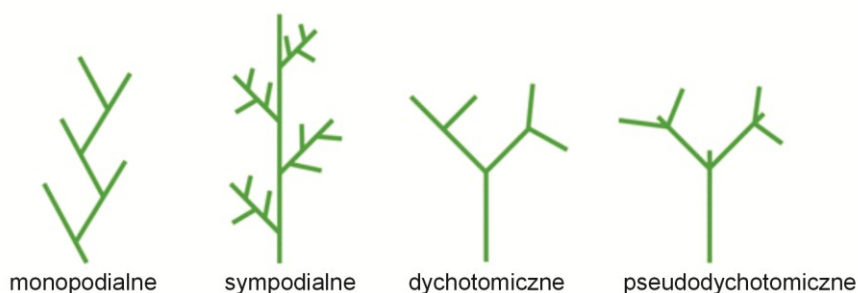
Na budowę wtórną korzenia składają się następujące tkanki:

- 1) **peryderma** - wtórna tkanka okrywająca zbudowana z kilkunastu warstw komórek korka (felem) oraz z kilku warstw komórek miękiszowych, które tworzą felodermę,
- 2) **kora wtórna** - zewnętrzną warstwę stanowi pierścień wzmacniający (zbudowany z komórek kamiennych – sklereidów i włókien o ścianach zdrewniałych), pod którym leży pasmo floemu wtórnego (łyko wtórne) utworzone z elementów przewodzących (rurki sitowe, komórki przyrurkowe, miękisz przewodzący) oraz elementów wzmacniających - włókien łykowych. W skład floemu wchodzi również promienie rdzeniowe (pierwotne i wtórne), utworzone z komórek miękiszowych,
- 3) **kambium wtórne** (miazga) - cienka tkanka leżąca między łykiem a drewnem,
- 4) **ksylem wtórny (drewno wtórne)** - jest zbudowany z naczyń, cewek i komórek miękiszu przewodzącego, które tworzą promienie rdzeniowe, dochodzące aż do części środkowej korzenia (tj. rdzenia),
- 5) **rdzeń** – jest zbudowany z komórek należących do ksylemu pierwotnego.

2. Pęd

Pęd to zwykle nadziemny organ występujący u roślin wyższych. Złożony jest z zielnej lub zdrewniałej łodygi, liści oraz kwiatów, a później owoców. U większości roślin naczyniowych pęd główny tworzy rozgałęzienia boczne (I-go, II-go i/lub III-go rzędu). Rozgałęzienia pędu (patrz schemat poniżej) mogą być:

- monopodialne (jednoosiowe) – powstają gdy oś pierwotna rośnie szybciej niż jej boczne odgałęzienia, te zaś szybciej niż powstające na nich odgałęzienia II-go rzędu; są charakterystyczne dla drzew szpilkowych oraz niektórych drzew liściastych, np. u buku zwyczajnego *Fagus sylvatica*, klonu *Acer* sp., jesionu *Fraxinus* sp., dębu *Quercus* sp. oraz derenia *Cornus* sp.,
- sympodialne (wieloosiowe) – 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 *Carpinus betulus*, lipy *Tilia* sp., wiązu *Ulmus* sp., kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum*, u wszystkich drzew „owocowych”, u roślin tworzących kłącza (np. u konwalii majowej *Convallaria majalis* oraz u wielu tropikalnych storczyków,
- dychotomiczne (widlaste) - tworzą się na skutek podziału stożka wzrostu znajdującego się na szczycie pędu na dwa jednakowe nowe stożki; są charakterystyczne dla widłaków,



- pseudodychotomiczne (pozornie widlaste) – powstają gdy z dwóch naprzeciwległych pąków pachwinowych rozwijają się dwa odgałęzienia boczne, a pęd pierwotny przestaje rosnąć; występują u bzu lilaka *Syringa vulgaris*, jemioli pospolitej *Viscum album* i magnolii *Magnolia* sp.

Szczytowym zakończeniem pędu i jego rozgałęzień są **pączki**. Składają się one ze stożka wzrostu pędu oraz gęsto ułożonych zawiązków liści i pączków bocznych (gdy pozostają one w spoczynku przez pewien okres czasu, określane są jako pączki śpiące). W pączku zawiązują się organy pędu, co decyduje o ich podziale na:

- pędowe - wytwarzają łodygę i liście,
- kwiatowe - wytwarzają tylko kwiaty,
- mieszane - dają początek liściom i kwiatom i występują u większości roślin zielnych m.in. u kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum*.

Pączki mogą być nagie (nieosłonięte łuskami okrywowymi; ale zawiązki liści w pączku są silnie owłosione; występują u większości roślin zielnych) lub okryte (czyli zimowe charakterystyczne dla drzew i krzewów). Pączki te są osłonięte łuskami skorkowaciałymi lub skutynizowanymi, zaopatrzonymi w sklereidy; na wewnętrznej stronie łusek znajduje się kutner, włoski gruczołowe wydzielające lepkie substancje, gumy lub żywice. Ilość łusek i ich układ stanowi cechę morfologiczno-diagnostyczną pączków.

Pędy (nadziemne i podziemne) tworzą różnego rodzaju modyfikacje:

- kłacze – podziemny pęd o nieograniczonym wzroście, zwykle mniej lub bardziej zgrubiały, zaopatrzony w zredukowane, łuskowate liście (co odróżnia go od korzenia); jest organem przetrwalnikowym niektórych bylin (np. u konwalii *Convallaria* sp., kosaćca *Iris* sp., perzu *Agropyron* sp., szparaga lekarskiego *Asparagus officinalis*, imbiru lekarskiego *Zingiber officinale*), magazynuje również substancje zapasowe; na wiosnę z kątów łuskowatych liści wyrastają nowe pędy nadziemne.
- rozłogi (stolony, pędy płożące) – to przekształcone pędy boczne, rosnące poziomo lub ukośnie przy powierzchni ziemi albo rzadziej pod ziemią; charakteryzują się wydłużonymi międzywęzłami i często zredukowanymi liśćmi; są organami rozmnażania wegetatywnego; w ich węzłach tworzą się korzenie przybyszowe, a nowe rośliny wyrastają z pączków zlokalizowanych w kątach łuskowatych liści (np. u poziomki pospolitej *Fragaria vesca*, niektórych traw i turzyc). Natomiast rozłogi podziemne, na których końcach rozwijają się bulwy występują np. u ziemniaka zwyczajnego *Solanum tuberosum*,

- bulwa – to zgrubiała podziemna część roślin pochodzenia pędowego (np. u ziemniaka zwyczajnego *Solanum tuberosum*), słonecznika bulwiastego *Helianthus tuberosus*) lub korzeniowego (np. u batata *Ipomoea batatas*), dalii *Dahlia* sp., manioka jadalnego *Manihot esculenta*). Pełni funkcję organu spichrzowego (gromadzi głównie cukry np. skrobię oraz białko zapasowe); umożliwia także rozmnażanie wegetatywne rośliny (np. tzw. oczka, czyli zagłębienia zawierające pąki boczne na bulwach pędowych *Solanum tuberosum*),
- cebula – to podziemny pęd o bardzo skróconej łodydze tworzącej tzw. piętke, z której wyrastają zgrubiałe, mięsiste łuski, pełniące funkcję organów spichrzowych: łuskowate liście dolne, np. u tulipana *Tulipa* sp., szachownicy *Fritillaria* sp., lilii *Lilium* sp., pochwy liściowe obumarłych liści właściwych, np. u czosnku *Allium* sp. lub liście dolne i pochwy liściowe występujące jednocześnie, np. u hiacynta *Hyacinthus* sp. Na zewnątrz cebuli występują zwykle skórzaste, martwe łuski (pełnią funkcję ochronną), u szczytu piętki wytwarza się pąk wierzchołkowy, z którego wiosną wyrasta pęd nadziemny. Cebule występują u roślin jednoliściennych z rodziny *Liliaceae* liliowate,
- ciernie – powstają wskutek przekształcenia pędów (np. u głogu *Crataegus*, śliwy tarniny *Prunus spinosa*), liści (np. u berberysu *Berberis vulgaris*, kaktusów) lub przylistków (np. u robinii *Robinia pseudoacacia*, niektórych wilczomleczowatych *Euphorbiaceae*),
- głąb – to nierozgałęziona, gruba i soczysta łodyga skróconego pędu kapusty głowiastej *Brassica oleracea* var. *capitata*, 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,
- wąsy czepne – to przekształcone pędy główne, pozbawione tkanki wzmacniającej (np. u winorośli właściwej *Vitis vinifera*, winobluszcza pięciolistkowego *Parthenocissus quinquefolia*, bluszczu pospolitego *Hedera helix*, psianki słodkogórz *Solanum dulcamara* lub pędy boczne (np. u męczennicy *Passiflora* sp.).

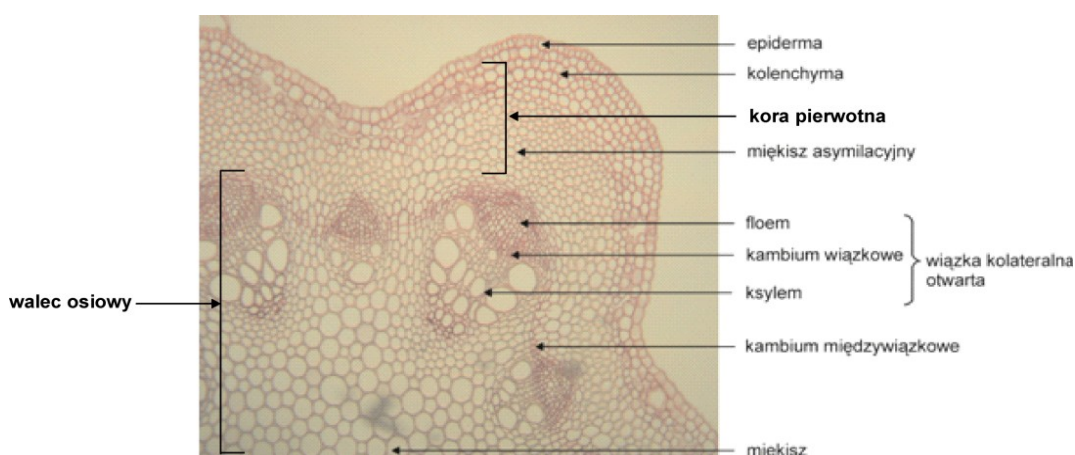
Łodyga - budowa pierwotna i wtórna

Łodygi o budowie pierwotnej występują u roślin jednorocznych (zielnych) przez cały okres wegetacyjny, a u roślin wieloletnich (z przyrostem wtórnym) tylko w pierwszym roku wegetacji.

Budowa pierwotna łodygi

Na budowę pierwotną łodygi **roślin dwuliściennych** (patrz fotografia poniżej) składają się:

- 1) **epiderma** (jednowarstwowa) i jej wytwory (aparaty szparkowe i włoski); komórki epidermy mają ściany zewnętrzne mocno zgrubiałe i pokryte kutykulą,
- 2) **kora pierwotna** - tworzą ją kolejno:
 - o kilkuwarstwowa kolenchyma płatowa - nadaje młodej roślinie giętkość i wytrzymałość na zginanie; z niej założą się później felogen,
 - o miękisz kory pierwotnej - duże cienkościenne komórki z przestworami międzykomórkowymi; u niektórych roślin dwuliściennych zawiera rury mleczne i zbiorniki wydzielnicze,
 - o endoderma – pojedyncza warstwa komórek nazywana pochwą skrobiową (ziarna skrobi występujące w tych komórkach nie są materiałem zapasowym; biorą udział w zjawisku ujemnego geotropizmu). Endoderma z pasemkami Caspary'ego występuje tylko w podziemnych i przyziemnych łodygach (np. u ziemniaka, dyni).

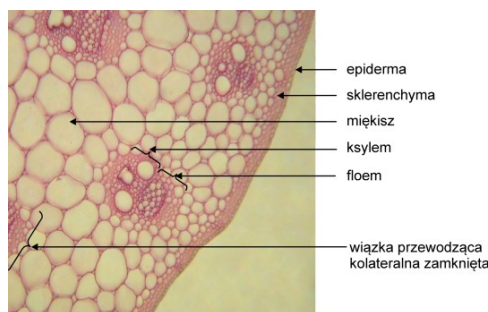


Budowa pierwotna łodygi roślin dwuliściennych na przykładzie *Clematis* sp. (powojnik).

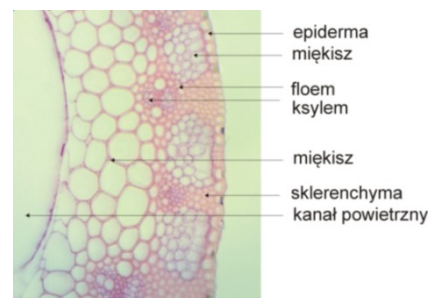
3) **walec osiowy** - jest utworzony przez:

- perycykl – u większości roślin nasiennych perycykl nie występuje; miękisz kory pierwotnej graniczy bezpośrednio z wiązkami przewodzącymi; u pozostałych roślin perycykl jest jedno- lub wielorzędowy; zawiera prawie wyłącznie włókna sklerenchymatyczne i niewiele komórek mięksiszowych;
- wiązki kolateralne otwarte i/lub bikolateralne - są ułożone cylindrycznie, tworząc pierścień (taki układ umożliwia później przyrost wtórny łodygi na grubość); pomiędzy wiązkami występują pasma mięksiszu. Wiązki powstają z prakambium, które w partiach wierzchołkowych łodyg różnicuje się w elementy pierwotnego ksylemu i floemu,
- rdzeń – zajmuje środkową części łodygi; jest zbudowany z komórek parenchymy; może zawierać stereidy, sklereidy i rury mleczne. U niektórych gatunków (np. u słonecznika *Helianthus* sp.) komórki mięksiszu obumierają, wypełniają się powietrzem i przyjmują barwę białą (z wyjątkiem węzłów łodygi).

W łodygach naziemnych **roślin jednoliściennych** (patrz fotografie poniżej) pod jednowarstwową epidermą znajduje się kilkuwarstwowa sklerenchyma (nazywana hipodermą – podskórną), pełniąca funkcję wzmacniającą. W łodygach tych roślin **nie wyróżnia się kory pierwotnej i walca osiowego** z uwagi na brak endodermi. Wiązki **kolateralne zamknięte** są nieregularnie rozmieszczone w mięksiszu (np. u kukurydzy) lub tworzą bardziej regularny układ i skupiają się blisko obwodu łodygi (u większości traw, np. u żyta). Budowa pierwotna łodygi podziemnej (kłącza) jest omówiona w części praktycznej.



Budowa pierwotna łodygi kukurydzy
Zea mays

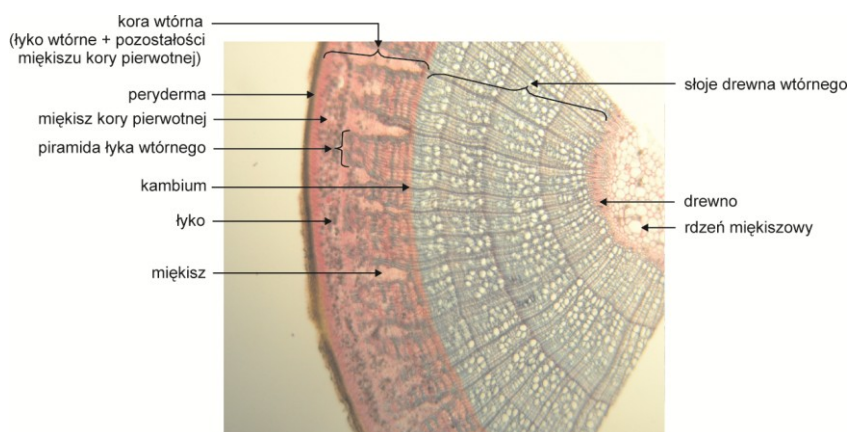


Budowa pierwotna łodygi żyta
Secale cereale

Łodyga **roślin nagonasiennych** charakteryzuje się nieco odmienną budową pierwotną niż łodyga roślin dwuliściennych: powierzchnia epidermy jest nierówna i silnie pofałdowana, **nie występuje kolenchyma**, a w warstwie miękiszu znajdują się liczne przestrzenie międzykomórkowe i kanały żywiczne; w młodych łodygach endoderma występuje w postaci pochwy skrobionośnej, w starszych łodygach zanika. Wiązki przewodzące **kolateralne otwarte** są ułożone ściśle obok siebie, rozdzielone wąskimi pasmami miękiszu.

Budowa wtórna łodygi

Budowę wtórną posiadają łodygi roślin nagonasiennych i wieloletnich roślin dwuliściennych.



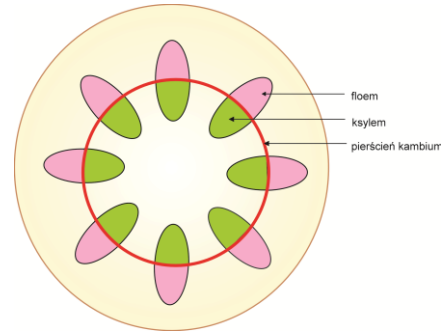
Budowa wtórna łodygi *Tilia* sp. (lipa). Łodyga 5-letnia: 4 słoje przyrostu rocznego drewna wtórnego + 1 rok budowy pierwotnej.

Na budowę wtórną łodygi składają się w kolejności:

- 1) **peryderma** - powstaje na skutek aktywności felogenu. Poprzez zakładanie się coraz głębiej kolejnego pierścienia felogenu tworzy się martwica korkowa (korkowica).
- 2) **kora wtórna** – leży pod perydermą, obejmuje pozostałości miękiszu kory pierwotnej i floem wtórny (w tzw. piramidach); sięga aż do pierścienia kambium. W warstwie łyka wtórnego przebiegają prostopadle wtórne promienie rdzeniowe (łykowe). Zbudowane są one z cienkościennych komórek miękiszowych (przewodzą lub gromadzą substancje zapasowe).

- 3) **kambium wtórne** - powstaje z komórek miękiszu (leżą one na przedłużeniach kambium pierwotnego wiązkowego), które uzyskują *de novo* charakter tkanki twórczej. Pierwotne kambium wewnątrzwiązkowe i wtórne kambium międzywiązkowe łączą się ze sobą, tworząc ciągły pierścień tkanki merystema tyczej (schemat poniżej).

Kambium działa w sposób typowy, czyli odkłada floem wtórny (łyko wtórne) ku obwodowi łodygi i ksylem wtórny (drewno wtórne) do wnętrza łodygi. Zostaje zniszczony system wiązkowy tj. najstarsze partie drewna pierwotnego (protoksylen i metaksylen) odsuwane są stopniowo ku środka łodygi, a najstarsze partie łyka pierwotnego (protofloem i metafloem) – ku obwodowi.



- 4) **ksylem wtórny** – tworzy w każdym sezonie wegetacyjnym tzw. **słoje przyrostu rocznego**. W ich skład wchodzi drewno wiosenne (tzw. wczesne: zawiera cewki i naczynia o dużej średnicy, na przekroju pnia jasna warstwa) i drewno letnie (tzw. późne: cewki i naczynia o małej średnicy, na przekroju pnia ciemna warstwa). Różnice między drewnem wiosennym i letnim zaznaczają się wyraźnie u roślin nagonaśiennych i niektórych dwuliściennych (np. u dębu, jesionu, wiązu). Na podstawie ilości słoje przyrostu rocznego drewna określa się wiek drzewa. We wtórnym ksylemie przebiegają miękiszowe wtórne promienie rdzeniowe (drzewne). W młodych pniach i gałęziach całe drewno (wtórne i pierwotne) pełni funkcję przewodzącą.

Natomiast w starszych pniach najbardziej wewnętrzne partie ksylemu stanowią tzw. **twardziel** (nie przewodzi wody, pełni wyłącznie funkcję mechaniczną). Czynną funkcję przewodzącą zachowują zewnętrzne (tj. najmłodsze) słoje ksylemu tzw. **biel**.



Drewno w łodydze sosny zwyczajnej

- 5) **rdzeń** – jest zbudowany z komórek miękiszowych, żywych lub martwych (wypełnione powietrzem, garbnikami, żywicą); u niektórych gatunków (np. u wierzby *Salix* sp.) rdzeń zanika.

Łodygi większości jednoliściennych nie mają przyrostu wtórnego. Jednakże u niektórych palm i form drzewiastych (np. u juki *Yucca* sp., draceny *Dracaena* sp.) występuje nietypowy przyrost wtórny. Kambium tworzy oddzielny cylinder, wywodzący się z merystemu wierzchołkowego. Na zewnątrz od kambium występują komórki miękiszowe, a od wnętrza wiązki przewodzące kolateralne zamknięte. Kambium odkłada nowe komórki tylko w jedną stronę – do środka łodygi; różnicują się one zarówno w nowe wiązki przewodzące jak i komórki miękiszowe.

Podsumowanie

Porównanie budowy pierwotnej i wtórnej korzenia

Budowa pierwotna korzenia (nagonasienne, dwu- i jednoliścienne)	Budowa wtórna korzenia (nagonasienne i dwuliścienne wieloletnie)
Działają merystemy pierwotne	Działają merystemy wtórne
Plan budowy: ryzoderma, kora pierwotna, walec osiowy z wiązką radialną, rdzeń miękiszowy lub ksylemowy	Plan budowy: peryderma, floem wtórny, kambium, ksylem wtórny

Porównanie budowy pierwotnej i wtórnej łodygi

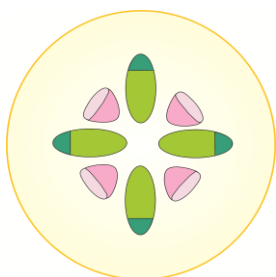
Budowa pierwotna łodygi	Budowa wtórna łodygi
Działają merystemy pierwotne i merystemoidy	Działają merystemy wtórne
Plan budowy: epiderma, tkanki wzmacniające, kora pierwotna, walec osiowy (różne typy steli), rdzeń miękiszowy	Plan budowy: peryderma, kora wtórna, kambium, drewno wtórne w słojach przyrostu rocznego, promienie rdzeniowe
Taki plan budowy zachowują: rośliny jednoliścienne i dwuliścienne jednoroczne przez całe życie, dwuletnie, byliny, krzewy i drzewa (nagonasienne i dwuliścienne) tylko w pierwszym roku wegetacji	Taki plan zachowują rośliny dwuliścienne wieloletnie oraz nagozalążkowe



Typ walca osiowego w korzeniu i łodydze

Aktynostela

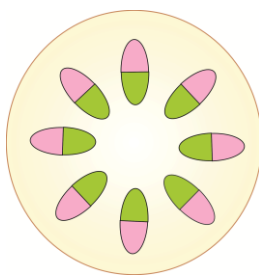
korzeń wszystkich roślin



naprzemianległe rozmieszczenie
ksylemu i floemu

Eustela

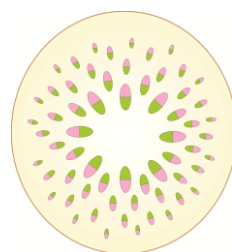
łodyga roślin dwuliściennych
i nagonasiennych



wiązki kolateralne otwarte
tworzą pierścień

Ataktostela

łodyga roślin jednoliściennych

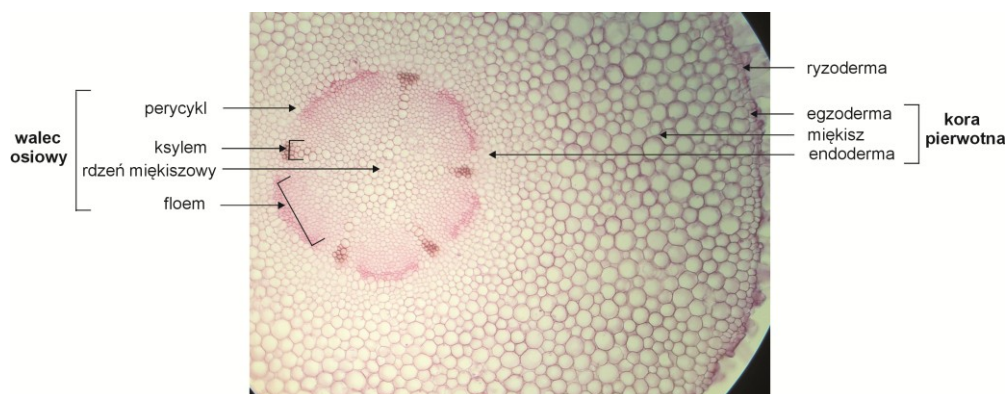


wiązki kolateralne zamknięte
rozmieszczone nieregularnie
„rozstrzelone”

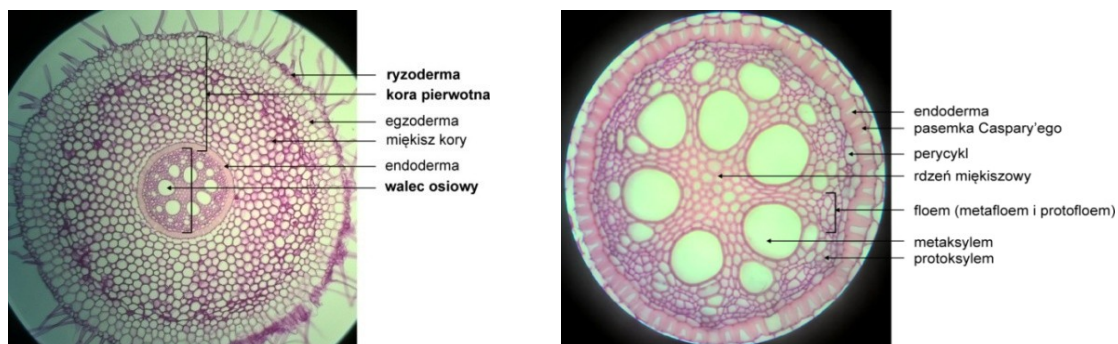
II. Część praktyczna

1. Korzeń - budowa pierwotna i wtórna:

- o obserwacja morfologii korzenia i modyfikacji korzeni na podstawie okazów zielnikowych.
- o obserwacje mikroskopowe budowy pierwotnej korzenia bobu (*Vicia faba*),



- o obserwacje mikroskopowe budowy pierwotnej korzenia kosaćca (*Iris germanica*)

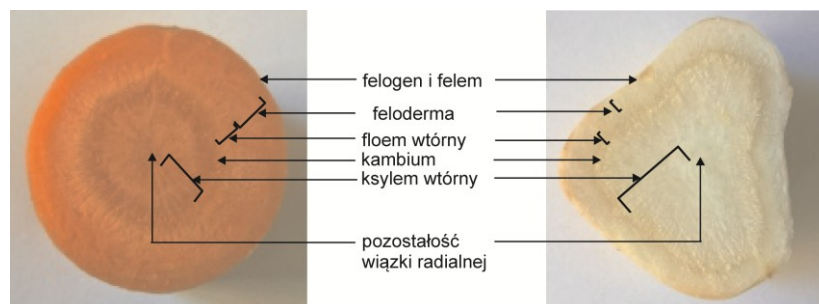


Przekrój poprzeczny przez korzeń kosaćca

Walec osiowy korzenia kosaćca

- o obserwacja makroskopowa korzenia o budowie wtórnej na przykładzie korzenia marchwi *Daucus carota* i pietruszki zwyczajnej *Petroselinum sativum* (patrz fotografia poniżej).

Oba korzenie okrywa peryderma (felem, felogen, feloderma); feloderma graniczy bezpośrednio z floemem wtórnym i słabo widocznym floemem pierwotnym (występuje w postaci wysepek). Kambium tworzy szeroki jasny pierścień. Tuż pod nim



znajduje się ksylem wtórny (drewno wtórne), a w środku korzenia pozostałości ksylemu pierwotnego (2 wiązki). W korzeniu marchwi więcej jest floemu wtórnego (łyka wtórnego) niż ksylemu (drewna) wtórnego. Natomiast, w korzeniu pietruszki przeważa ksylem wtórny.

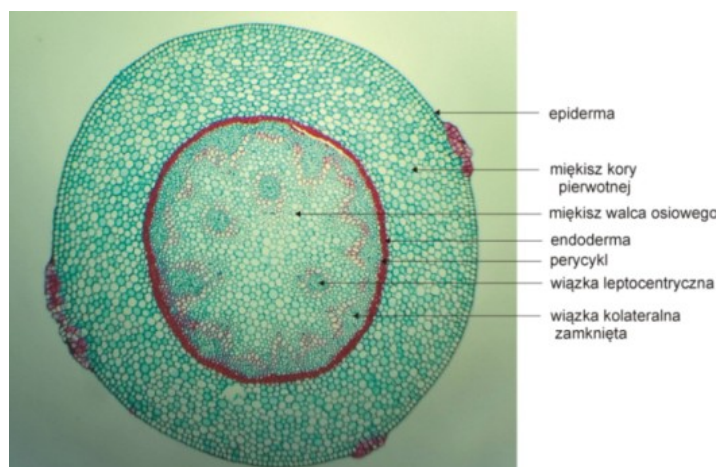
2. Łodyga – budowa pierwotna i wtórna :

- o obserwacje mikroskopowe budowy pierwotnej łodygi roślin jednoliściennych:

kukurydzy zwyczajnej (*Zea mays*),

żyta zwyczajnego (*Secale cereale*),

konwalii majowej (*Convallaria majalis*) – **kłącze podziemne** charakteryzuje się wyraźnym podziałem na część korową i walec osiowy. Endoderma jest 2-warstwowa; komórki posiadają ściany zgrubiałe (w postaci litery U) i skorkowaciałe. Perycykl tworzą 2 lub 3 warstwy komórek miękiszowych. Występują 2 rodzaje wiązek przewodzących: kolateralne zamknięte (tworzą pierścień pod perycyklem) i leptocentryczne (leżą głębiej, są nieregularnie rozmieszczone w miękiszu).



Budowa pierwotna kłącza konwalii majowej

- obserwacja mikroskopowa budowy pierwotnej łodygi roślin dwuliściennych na przykładzie powojnika (*Clematis* sp.),
- obserwacja mikroskopowa budowy wtórnej łodygi roślin dwuliściennych na przykładzie lipy *Tilia* sp.

3. Obserwacja morfologii korzeni i pędu na podstawie okazów zielnikowych i świeżych.