

Biologija rastlin

Ime in priimek avtorja: **doc. dr. Živa Fišer**

Naslov: **Biologija rastlin**

Študijski program in predmet:

- Študijski program: **Agronomija, dodiplomski visokošolski strokovni študijski program**
- Študijski predmet: **Biologija rastlin**
- Izvajalka študijskega programa: **Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije**

Študijsko leto: **2024/2025**

Kraj in letnica izdelave: **Izola, 2025**

KOLOFON

Ime in priimek avtorja: **doc. dr. Živa Fišer**

Naslov dela: **Biologija rastlin**

Tipologija dela: **2.05 Drugo učno gradivo**

Kraj in letnica izdelave: **Izola, 2025**

Založba: **Samozaložba**

Licenciranje: **Odprti dostop Creative Commons CC BY-SA**



KAZALO

UVOD	4
1. RASTLINE IN ČLOVEK.....	5
2. CITOLOGIJA	7
3. RASTLINSKA TKIVA	16
4. RASTLINSKI ORGANI	29
5. SEKUNDARNA RAST	41
6. RAZMNOŽEVANJE	45
7. CELIČNI CIKEL	52
8. IZVLEČEK	55
9. UPORABLJENA LITERATURA IN VIRI	56
10. SEZNAM PRIPOROČENE LITERATURE ZA ŠTUDIJ	56

UVOD

Gradivo je namenjena študentom prvega letnika študijskega programa Agronomija na Fakulteti za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije Univerze na Primorskem.

Predmet Biologija rastlin je eden od prvih predmetov, s katerim se študentje srečate na začetku svoje študijske poti in predstavlja osnovo za nekatere predmete, ki sledijo tekom dodiplomskega študija (npr. Osnove fiziologije rastlin). Namen predmeta je spoznati zgradbo in osnove sistematike rastlin. Pri tem se predmet osredotoča predvsem na višje rastline - semenke, le poglavje o celici obravnava tudi zgradbo enostavnejših (prokariontskih) celic ter nekaj primerov alg.

Predmet obsega več sklopov: v poglavju o citologiji (celici) boste spoznali celice kot osnovne gradbene enote vsega živega, seznanili se boste s ključnimi značilnostmi prokariontske in evkariontske celice ter z razlikami med živalsko in rastlinsko celico. V poglavju o histologiji boste spoznali osnovne tipe tkiv ter kompleksnejše sestavljena tkiva, ki služijo specifičnim namenom. V poglavju o organih pa boste usvojili anatomsko in morfološko zgradbo stebela, listov in korenin. Na kratko boste spoznali tudi kako poteka sekundarna rast in nastanek lesa, zadnji del gradiva pa predstavlja razmnoževanje rastlin. Zaradi omejenega obsega predmeta je skop sistematike omejen na spoznavanje za človeka enkonomske najpomembnejših družin, ki so predstavljene v drugem gradivu.

Želim si, da bi tekom predmeta spoznali, da so rastline zanimive in da v sebi skrivajo marsikaj nepredvidljivega. Žal se v 70 urah, kolikor je namenjenih za vaje pri tem predmetu, ne moremo posvetiti številnim zanimivostim, ki jih ponuja rastlinski svet in bi vas gotovo spodbudile k nadaljnjemu branju in raziskovanju. Upam, da bodo kljub vsemu pripomogle k temu, da se jim bo kdo od vas posvetil tudi v prihodnosti.

V Novi Gorici, dne 14. 10. 2024

Doc. dr. Živa Fišer

1. RASTLINE IN ČLOVEK

Brez rastlin si ne moremo predstavljati življenja na Zemlji. Za človeka in živali predstavljajo enega ključnih virov prehrane, bodisi neposredno za herbivore in rastlinojedce in vsejedce, pa tudi posredno za mesojede živali. Rastline v svojih tkivih kopičijo hranilne snovi, kot so ogljikovi hidrati, maščobe in proteini. Poleg tega pa proizvajajo tudi številne organske spojine, ki neposredno ali posredno vplivajo na zdravje živali in ljudi, na primer vitamine in vlakna.

Nekatere rastline tvorijo tekom svoje presnove različne sekundarne metabolite, ki imajo na človeka in živali zdravilne učinke, zaradi česar je človek take rastline začel izkoriščati v zdravstvene namene.

Preglednica: Primer uporabe rastlin za pridobivanje zdravilnih učinkovin.

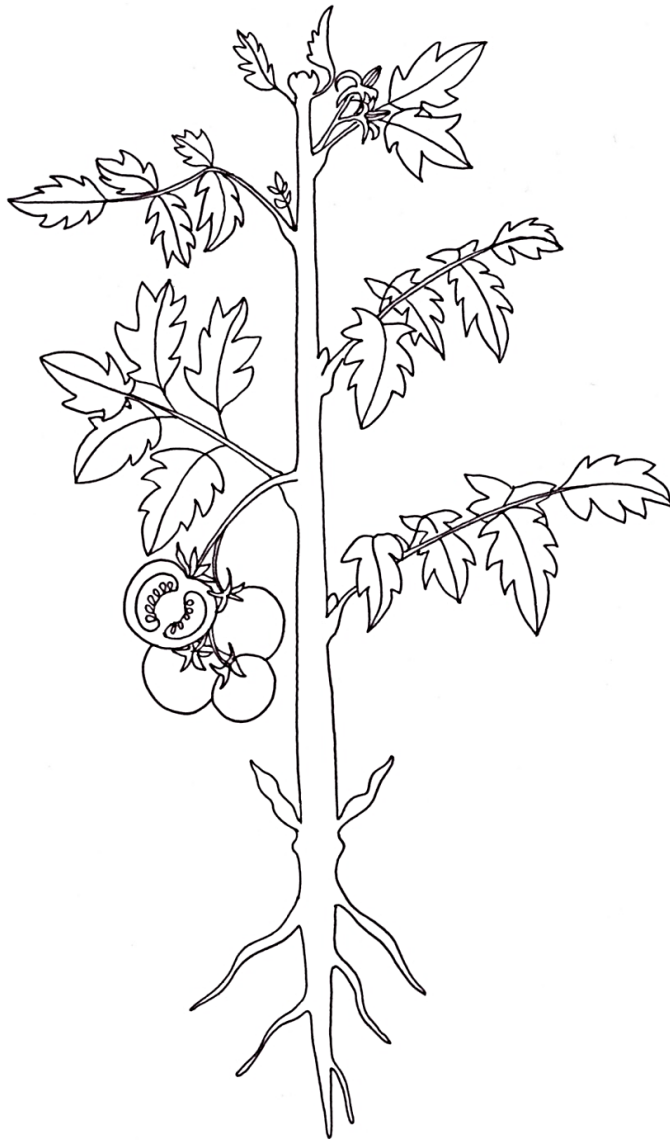
rastlina	učinkovina	uporaba
<i>Catharanthus roseus</i> (L.) Don	vinivblasti, vinikristin	zdravljenje različnih vrst raka
<i>Cinchona officinalis</i> L.	kinidin	zdravljenje motenj srčnega ritma
	kinin	zdravljenje malarije, lajšanje nočnih mišičnih krčev
<i>Digitalis purpurea</i> L.	digitalin	zdravljenje kongestivnega srčnega popuščanja in nekaterih vrst aritmij
<i>Ephedra sinica</i> Stapf	pseudoefedrin	dekongestiv za lajšanje zamašenega nosu, povezanega s prehladom, sinusitisom, in alergijami
<i>Hyosciamus niger</i> L.	skopolamin	preprečevanje in zdravljenje slabosti in bruhanja, povezanih z gibanjem (morska bolezen), ter za zdravljenje pooperativne slabosti
<i>Papaver somniferum</i> L.	kodein	analgetik za lajšanje blagih do zmernih bolečin in kot antitusicik za zatiranje kašlja
<i>Strychnos nux-vomica</i> L.	strihnin	v medicini uporablja zelo redko in običajno le v raziskovalne namene. V preteklosti se je uporabljal kot stimulant centralnega živčnega sistema.
<i>Salix alba</i> L.	saligenin	Protivnetno in analgetično sredstvo. Je predhodnik aspirina in se uporablja za lajšanje bolečin, vročine in vnetij.
<i>Taxus brevifolia</i> Nutt.	taksol	zdravljenje nekaterih oblik raka
<i>Artemisia annua</i> L.	artemisinin	tretiranje malarije
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	silimarin	za tretiranje bolezni jeter
<i>Capsicum annuum</i> L.	kapsaicin	lajšanje bolečin

Poleg omenjenih očitnih pozitivnih učinkov pa imajo rastline še številne druge pomene, kot je vzdrževanje stabilne atmosfere: preko fiksacije ogljikovega dioksida v organske spojine

predstavljajo ponor ogljika in tako vplivajo na vzdrževanje stabilne temperature. Rastline omogočajo tudi vzdrževanje zračne vlage; na območjih, kjer je prisoten rastlinski pokrova, je ozračje znatno bolj vlažno kot tam, ker rastlinskega pokrova ni.

Rastline nudijo ljudem tudi vir vlaken za izdelavo oblačil in drugih tekstilnih izdelkov ter vir lesa za izgradnjo prebivališč in drugih stavb ter orodja. Nekatere rastline omogočajo pridobivanje barvil, gumijev, smol in drugih snovi, uporabnih v vsakdanjem življenju človega.

In nenazadnje, prisotnost rastlin ima dokazan pozitiven vpliv na psihično stanje človeka in živali, kar postaja danes vse bolj pomembno tudi v arhitekturi in notranji opreми prostorov.



Slika 1: Zunanja zgradba rastline paradižnika (*Lycopersicon lycopersicum*).

2. CITOLOGIJA

Vsi organizmi so sestavljeni iz celic, vendar te celice niso enako zgrajene v vseh organizmih. Bakterije (vključno s cianobakterijami in mikoplazmami) imajo preprostejše celice, kjer je vsebina celic (protoplast) slabo diferencirana v posamezna "delovna" območja. Ta območja niso oddeljena z membranami kot pri višjih celicah. Bakterije na primer nimajo jedra, kot ga poznamo pri višjih celicah. Namesto tega se v sredini celice nahaja območje, kjer je obročkasto zvita molekula DNK. Tudi ostali organeli niso izdiferencirani, celice pa so majhne. Imenujemo jih praelice ali protocite, organizme, ki so iz takih celic sestavljeni, pa prokarionti. Metabolni procesi potekajo pri njih v citoplazmi ali na celični membrani. Vsi ostali organizmi so sestavljeni iz evkariontskih celic (evcit). Te celice so kompleksnejše zgrajene, imajo jedro, obdano z dvema membranama, ter druge organele, ki so prav tako obdani z enojno ali dvojno membrano. V protocitah je celična plazma želatinasta, medtem ko imajo evcite tekočo citoplazmo. Imajo pa tako eni kot drugi ribosome, čeprav se med skupinama nekoliko razlikujejo.

PROKARIONTSKA CELICA

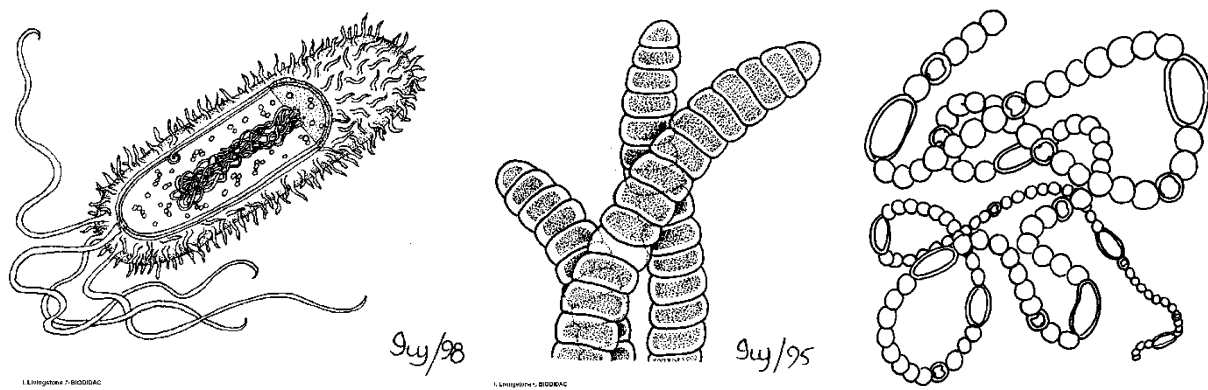
Prvotni organizmi na Zemlji so bili prokarionti. Gre za (večinoma) enocelične organizme, ki vključujejo arheobakterije, evbakterije ter mikoplazme. V primerjavi z evkariontskimi so prokariontske celice majhne; povprečna velikost bakterij znaša 2 μm , medtem ko so mikoplazme velike le okoli 0,3 μm . Posledično je manjša tudi vsebnost dednega materiala (ki se nahaja v obliki enega ali več krožnih kromosomov, nameščenih na mesto v celici, ki ga imenujemo nukleoid), saj prokarionska DNA nosi zapis za približno 3.000 proteinov (mikoplazma le za 500), evkariontska pa lahko tudi do 30.000. Posledica majhne velikosti prokariontov je kratek generacijski čas, ki v optimalnih razmerah lahko znaša tudi samo 20 min (npr. pri bakteriji *Escherichia coli*). Delitev celice in dednega materiala poteče brez procesa mitoze; prokarionti nimajo ne mikrotubulov, ne aktinskih filamentov. Membranskih organelov prokariontske celice nimajo, vsebujejo pa ribosome s sedimentacijsko konstanto 70S (ta konstanta pove, kako hitro se posedejo po centrifugiranju: prokarionski ribosomi so manjši, zato se posedejo počasneje, evkariontski pa so večji - 80S - in se posedejo hitreje). Razlikujejo se tudi funkcionalno - številni antibiotiki zavirajo translacijo v 70S ribosomih, medtem ko so neaktivni napram 80S ribosomom. To je osnova delovanja antibiotikov. Kljub temu, da pri večini prokariontov - tako kot pri rastlinah - govorimo o celični steni, se ti popolnoma razlikujeta. Celična stena je pri prokariontih bolj raznolika - obstajajo velike razlike med steno arhej, pa tudi znotraj samih evbakterij (ravno na podlagi strukture stene ločujemo gram-pozitivne od gram-negativnih bakterij).

Kljub temu, da so prokarionti brez izjeme mikroskopsko majhni, je ena izmed njihovih značilnosti izjemna raznolikost, ki se kaže predvsem v specifičnih metabolnih poteh, ki jih pri evkariontih ne poznamo.

Pomembno skupino prokariontskih organizmov predstavljajo cianobakterije. To so aerobne fototrofne bakterije, ki jih zaradi navidezne podobnosti z algami pogosto nepravilno imenujejo

modrozelenih alge. Kot nekatere druge bakterije so tudi številne cianobakterije sposobne fiksacije atmosferskega dušika. Fiksacija poteka ponavadi v posebnih celicah heterocistah, ki se od ostalih celic (protocit) ločijo po debeli celični steni in šibkejši pigmentaciji. Pri cianobakterijah lahko znotraj celic z elektronskim mikroskopom opazimo strukture, ki spominjajo na tilakoide kloroplastov. Gre za sploščene invaginacije plazemske membrane, na katerih se nahajajo fotosintetski pigmenti. V osrednjem delu takih celic lahko opazimo nukleoid, ki je pri večjih cianobakterijskih celicah viden celo s svetlobnim mikroskopom.

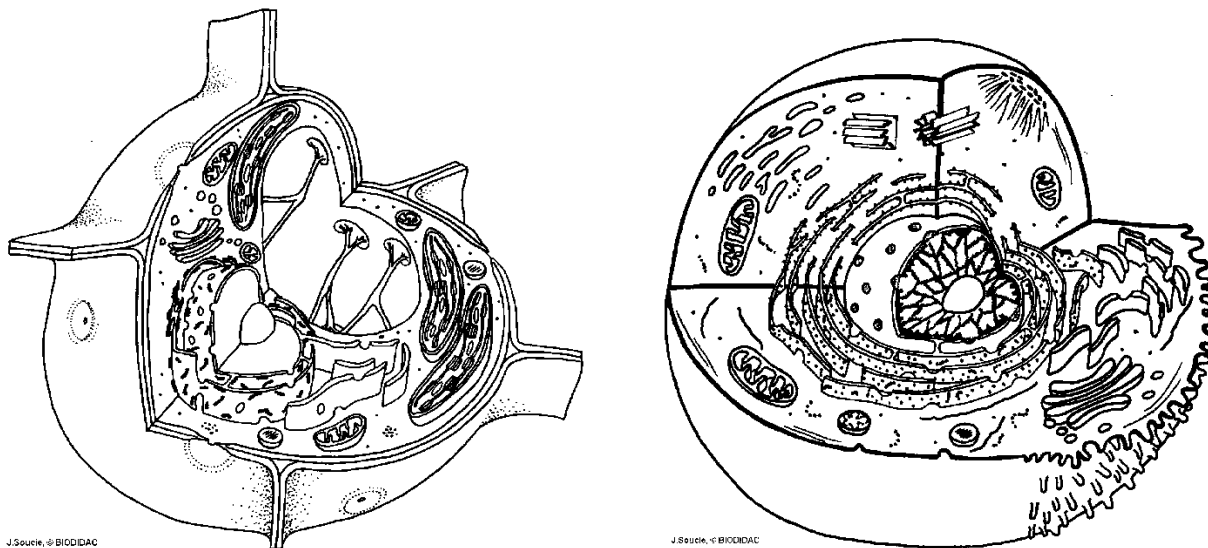
Trenutni dokazi kažejo na to, da so se prvi fotosintetski organizmi (bakterije) pojavili pred 3,2–3,5 milijardami let. Te bakterije so povzročile drastične spremembe v kemizmu vode in nato Zemeljske atmosfere in omogočile razvoj življenja, kot ga poznamo danes. Sproščen kisik omogoča dihanje aerobnim organizmom – živalim in ljudem.



Slika 2. Levo: Primer prokariotske celice. Sredina: prokariot *Oscillatoria* in desno: *Nostoc*. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

EVKARIONTSKA CELICA

Evkariontske celice so večje od prokariotskih, njihove velikosti se gibljejo večinoma med 10–100 μm , čeprav so lahko nekatere rastlinske celice tudi veliko večje oziroma daljše (nekatere večjedrne celice mlečnih cevi so dolge tudi več metrov). Oblika rastlinskih celic je različna, odvisna od tega, kakšno vlogo imajo in kje se nahajajo. Večinoma so po obliki kroglaste ali kockaste, če pa je njihova vloga prevajanje snovi po rastlini, so podaljšane.



Slika 3: Primerjava rastlinske (levo) in živalske (desno) evkarionske celice. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Evkarionske celice so od okolja ločene s celično membrano plazmalemo, polprepustno bariero, znotraj katere se nahajajo jedro in citoplazma. Plazmalema je fosfolipidni dvosloj, ki omejuje celico od okolja. Debela je od 7 do 10 nm in je selektivno prepustna za snovi, ki v celico vstopajo ali izstopajo iz nje. Pod pojmom citoplazma opisujemo vse celične strukture v notranjosti celice razen jedra.

Jedro

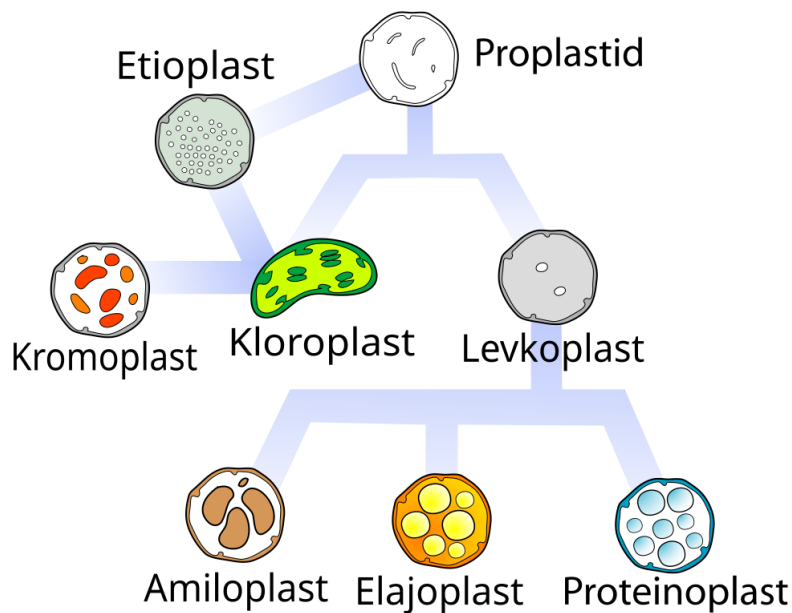
Jedro (nukleus) je organel, ki služi skladiščenju genskih informacij. Obdaja ga jedrna ovojnica iz dveh membran: notranje in zunanje; slednja se povezuje z membrano endoplazmatskega retikuluma. Med membranama je 20–40 nm širok prostor. Jedrne pore potekajo preko obeh membran in povezujejo notranjost jedra in citoplazmo; preko njih potujejo mRNA, nukleotidi in ribosomalne podenote. Znotraj jedra je nukleopazma iz encimov, različnih vrst RNA, vode in nekaterih drugih snovi. DNA se v jedru nahaja kot evkromatin (razrahljan, se prepisuje v mRNA) in heterokromatin (gosto navit, se ne prepisuje). Znotraj jedra lahko včasih opazimo eno ali več jedrc (nukleolusov), v katerih poteka sinteza ribosomskih podenot.

Plastidi

Plastidi so organeli, značilni samo za rastline. Obdani so s plastidno ovojnico iz dveh membran: zunanje in notranje, ki je nagubana in tvori notranji membranski sistem. V notranjosti plastidov je gosta zrnata stroma s plastidno DNA in ribosomi.

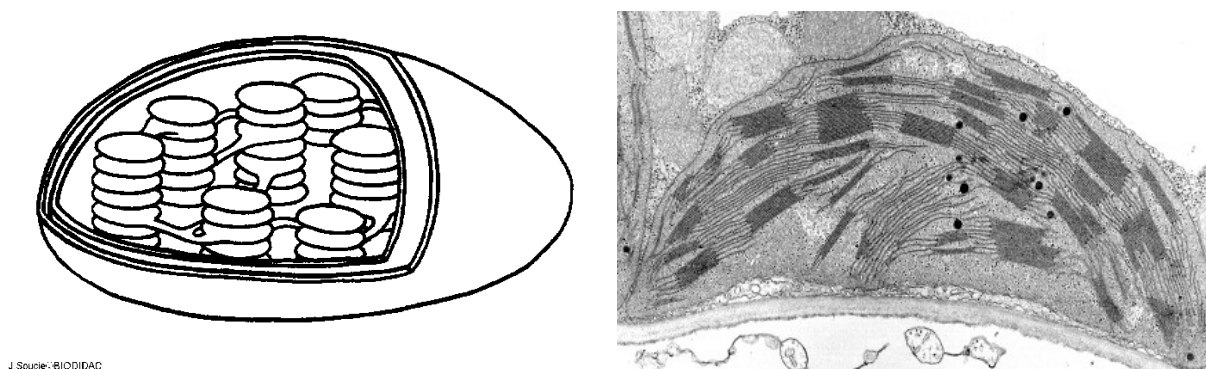
Glede na različno funkcijo delimo plastide na naslednje skupine:

Proplastidi se nahajajo v mladih celicah, so majhni in neobarvani in se lahko pod vplivom različnih ekoloških dejavnikov razvijejo v vse ostale vrste plastidov.



Slika 4: Možne pretvorbe plastidov. Vir: sl.wikipedia.org

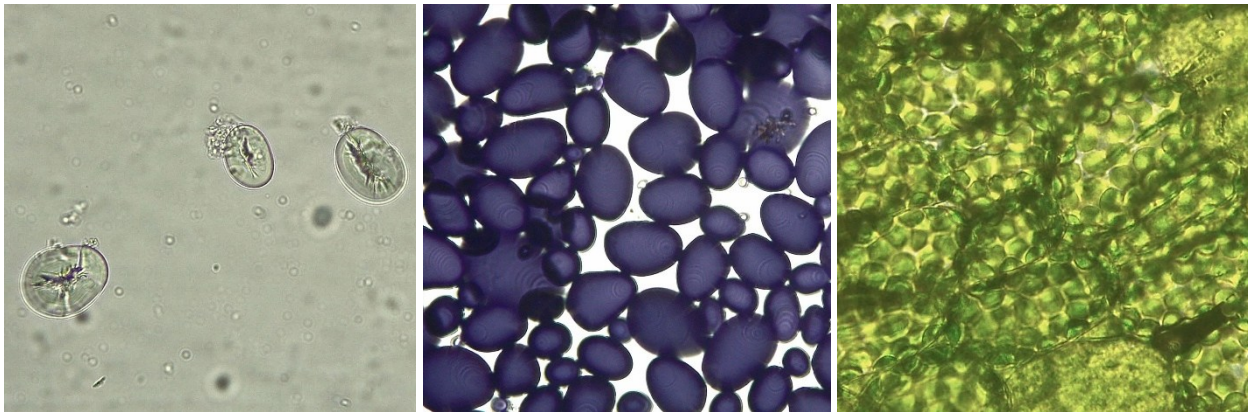
Kloroplasti vsebujejo klorofila a in b, ki jim dajeta zeleno barvo (vsebujejo pa tudi karotenoide). V njih poteka fotosinteza. Notranji membranski sistem kloroplastov je sestavljen iz tilakoid (na katerih je vezan klorofil in kjer potekajo svetlobne reakcije fotosinteze) in skladovnic, imenovanih grana. Temotne reakcije fotosinteze potekajo v tekoči stromi. V stromi se lahko podnevi začasno kopiči tudi asimilacijski škrob. Posamezna celica lahko vsebuje veliko število kloroplastov - nekatere celice v listih jih vsebujejo tudi več kot 50. V rastlinah, ki jih s svetlobe prestavimo v temo, poteče pretvorba iz kloroplastov v etioplaste. Reakcija je reverzibilna, kar pomeni, da se pod vplivom svetlobe lahko ponovno pretvorijo v kloroplaste.



Slika 5: Levo: shematski prikaz kloroplasta. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>. Desno: detajl sistema tilakoid. Elektronska mikrofija kloroplasta. Vir: sl.wikipedia.org

Kromoplasti vsebujejo karotenoide in so rumeno, rdeče, oranžno ali rjavo obarvani. Tilakoide so razvite, vendar ne tvorijo gran, barvila so prosta v stromi. Kromoplasti so fotosintetsko neaktivni, njihova glavna vloga je obarvanje cvetov, plodov in listov.

Levkoplasti so neobarvani plastidi. Obstaja jih več vrst, mednje uvrščamo amiloplaste, proteinoplaste in elaioplaste. V amiloplastih se v obliki škrobnih zrn shranjuje založni škrob. V proteinoplastih se kopičijo proteini, v elaioplastih pa lipidi. Rastline, ki rastejo v temi, razvijejo neobarvane plastide etioplaste (same rastline, ki rastejo v temi, pa imenujemo etiolirane rastline). Njihov notranji membranski sistem je urejen v prolamelarno telo; to se ob osvetlitvi preuredi v tilakoide in tako nastane fotosintetsko aktiven kloroplast.



Slika 6: Levo: neobarvana škrobna zrna fižola. Sredina: škrobna zrna krompirja, obarvana s kalijevim jodidom (jodovico). Desno: kloroplasti v fotosintetskem tkivu.

Celična stena

Celično steno na zunanjo stran celice izloča plazmalema. Gradijo jo tri vrste polisaharidov (celuloza, hemiceluloze in pektini) ter glikoproteini. Vse rastlinske celice imajo tanjšo in prožnejšo primarno celično steno, ki vsebuje manjši delež celuloze (do 25 %). To jim omogoča rast, delitev in diferenciacijo v druge celične tipe. Nekatere celice po končani rasti naložijo še sekundarno steno, ki vsebuje več celuloze, pa tudi lignin. Zaradi tega je ta stena bolj toga in ima predvsem oporno funkcijo. Primer celic s sekundarno celično steno so celice lesa, v katerih je kar 25 % lignina, kar jim daje veliko trdnost in odpornost na razkroj. Take celice so ob zrelosti večinoma mrtve.

Med dvema celičnima stenama sosednjih celic je pektinska plast, imenovana osrednja lamela, ki celice drži skupaj. Če se pektini razgradijo, se povezava med celicami omehča in tkivo postane bolj rahlo. To se posebno dobro vidi pri zorenju sadja, kjer postajajo osrednje lamele vedno šibkejšje.

Čeprav je celična stena trdna struktura, lahko sosednje celice med seboj še vedno komunicirajo preko ozkih kanalčkov plazmodezem. Te so široke okoli 30 nm, zgrajene iz plazmaleme, skozi pa gre endoplazmatski retikel in proteini.

Območja primarne stene, kjer ni sekundarne stene, imenujemo piknje. Te so tako velike, da jih lahko opazujemo tudi s svetlobnim mikroskopom. Enostavno piknjo gradi osrednja lamela s primarno celično steno na obeh straneh. Ob debeljenju sekundarne celične stene postaja piknja cevasta; nastaja kanalska piknja. Specifičen tip pikenj predstavljajo obokane piknje, ki jih najdemo v ksilemskih prevajalnih elementih golosemenk.

Vakuola

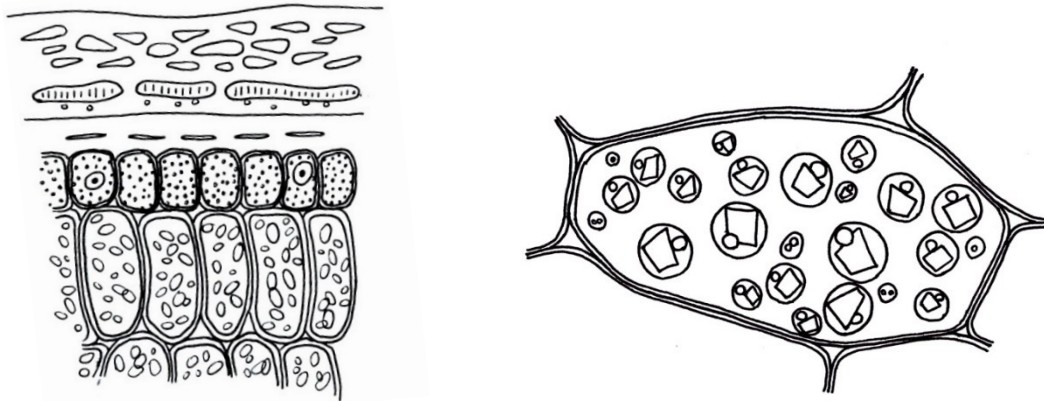
Vakuola predstavlja pri zrelih rastlinskih celicah največji organel, saj lahko zavzema tudi 90 % prostornine celice. Vakuola nastane s povečevanjem cistern endoplazmatskega retikuluma (ER), z odvajanjem in povečevanjem Golgijevih veziklov (GA) ali z invaginacijo celične membrane - plazmaleme. Sprva je znotraj celice prisotnih več majhnih vakuol, te pa se kasneje ponavadi združijo v eno ali dve veliki. Sistem več vakuol v celici imenujemo vakuom. Ko je v celici ena sama vakuola, se ta nahaja na sredini in tako potisne citoplazmo proti celični steni. Vakuola je obdana z membrano tonoplastom, ki po zgradbi spominja na plazmalemo, vendar je količina fosfolipidov večja kot v plazmalemi. Znotraj vakuole se nahaja vakuolni sok, sestavljen iz vode, encimov, ionov, soli, barvil, kristalov, alkaloidov, rastnih hormonov itd. Vakuola ima glede na sestavo vakuolnega soka različne funkcije.

V vakuoli se lahko kopičijo vodotopna barvila, ki dajejo barvo plodovom, cvetovom in listom. Vodotopna barvila so rdeči, modri, škrlatni, vijolični antociani (njihova barva pa je odvisna od pH-vrednosti raztopine v vakuoli) ter bledorumeni antoksantini, oboja pa uvrščamo v skupino flavonoidov.

Lahko pa vakuola služi tudi skladiščenju založnih (ogljikovi hidrati, beljakovine, olja) ali odpadnih produktov metabolizma. V vakuoli se lahko kopičijo topni sladkorji, na primer inulin. Ta založni oligosaharid, značilen za nekatere družine (na primer nebinovke in zvončičevke), je sestavljen iz fruktoznih podenot. Inulin lahko z etanolom oborimo v kristale. V svežem tkivu so raztopljene v vakuoli, v suhem tkivu pa so oborjene in tvorijo kristalom podobne tvorbe - alevronska zrna, ki jih sestavljajo večji kristaloidi in manjši globoidi. Vsako alevronsko zrno je nastalo iz posamezne vakuole, zato ga obdaja tonoplast.

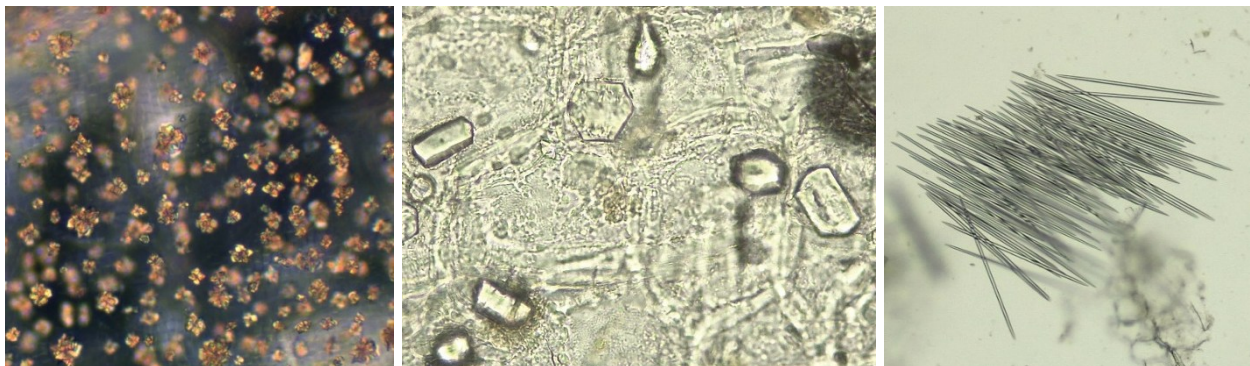
Nekatere rastlinske celice imajo oljne vakuole. Olja in maščobe v rastlinskih celicah predstavljajo rezervo (nekatera semena jih vsebujejo 50 % ali več), obarvamo pa jih z lipofilnim barvilom Sudan III, ki celice obarva rdečerrjavo.

V vakuoli se lahko kopičijo tudi povečini toksični glikozidi, ki rastline ščitijo pred objedanjem. Med glikozide uvrščamo na primer digitalin, prisoten pri rodu naprstcev (*Digitalis*) ali amigdalinalin v semenih mandlja, marelice, breskve, jablane itd. Eterična olja, balzami, smole in kavčuk so terpenski derivati, njihova prisotnost v rastlinah ima različne vloge.



Slika 7: Levo: Alevronska plast v zrnju pšenice (*Triticum vulgare*) in alevronska zrna v endospermu semena kloščevca (*Ricinus communis*).

Kot produkt celičnega metabolizma se v celičnem soku kopičijo anorganske snovi, ki tvorijo kristale: kloridi, nitrati, sulfati, fosfati, ter magnezijeve, kalijeve in kalcijeve soli (kalcijev oksalat monohidrat ali dihidrat). Kristali se kopičijo v listih in jih je s staranjem vedno več - rastlina se jih znebi z odpadanjem listov. Organske kisline v celici povzročajo kislost citosola (pH okoli 5,5). Zaradi kislosti celičnega soka organske snovi kristalizirajo v značilne tvorbe, na primer druse (kopuče), tetragonske prizme, rafide ali pa so prisotne kot kristalni pesek.



Slika 8: Levo: številni drusi ali kopuče v listu vrste *Mallotus paniculatus*, slikanih s svetlobnim mikroskopom pod polarizacijsko svetlobo. Sredina: tetragonski kristali v luskolistih čebule. Desno: raztreseni rafidi iz lista agave.

Ostale strukture

Preostalih organelov z običajnim svetlobnim mikroskopom ne opazimo; lahko pa jih opazujemo z elektronskim mikroskopom (predvsem s transmisijskim – TEM). Glede na to, ali so ti obdani z membrano ali ne, jih delimo na membranske in nemembranske organele.

MEMBRANSKI ORGANELI

- Mitohondriji so organeli, v katerih poteka celično dihanje. Obdani z dvema membranama, notranja je nagubana v kriste. Znotraj mitohondrija je matriks z mitohondrijsko DNA in ribosomi.
- Sistem sploščenih cevi in veziklov, ki služi za sintezo beljakovin, fosfolipidov in sestavin celične stene, imenujemo endoplazmatski retikel (ER). Obdan je z enojno membrano, na njegovi zunanji strani so lahko vezani ribosomi. Glede na prisotnost ali odsotnost ribosomov ločimo zrnati in gladki ER.
- Golgijev aparat (GA) ali diktiosom je sestavljen iz večjih sploščenih in manjših kroglastih veziklov, obdanih z enojno membrano. Njegova funkcija je sprejem beljakovin in lipidov od ER, njihova kemijska pretvorba in prenos na ustrezna mesta v celici. Tu nastajajo smole, nektar in sestavine celične stene.
- Majhni organeli, obdani z enoslojno membrano, so mikrotelesca. Mednje uvrščamo peroksisome, ki razgrajujejo strupene produkte metabolizma (peroksid), in glioksisome, ki razgrajujejo maščobne kisline do acetil koencima A (ta je potreben pri sintezi ogljikovih hidratov). Peroksisomi so pogosti ob kloroplastih, medtem ko glioksisome najpogosteje najdemo v oljnih semenih.

NEMEMBRANSKE SESTAVINE CELICE

- Ribosome gradita dve podenoti različnih velikosti (evkarionti imajo ribosome velikosti 80 S iz podenot s sedimentacijskima konstantama 60 S in 40 S, prokarionti pa ribosome velikosti 70 S s podenotama 50 S in 30 S). Sestavljeni so iz rRNA in beljakovin. Lahko se nahajajo prosto v citosolu ali pa so vezani na membrano ER. Na njih poteka sinteza beljakovin.
- Notranjost celice zapolnjuje citosol, sestavljen iz vode, encimov, kemičnih prekurzorjev, ter vmesnih in končnih produktov encimskih reakcij.
- Citoskelet je omrežje iz beljakovinskih mikrotubulov in aktinskih filamentov. Ta omogoča znotrajcelično oporo, določa lego organelov, vodi celično rast, potovanje kromosomov med delitvijo itd. Pod plazmalemo je mikrotubulov in aktinskih filamentov več, zato je tam citoplazma bolj gosta kot v notranjosti. Zaradi teh razlik nastane citoplazemski tok ali cikloza, ki nosi organele po celici.

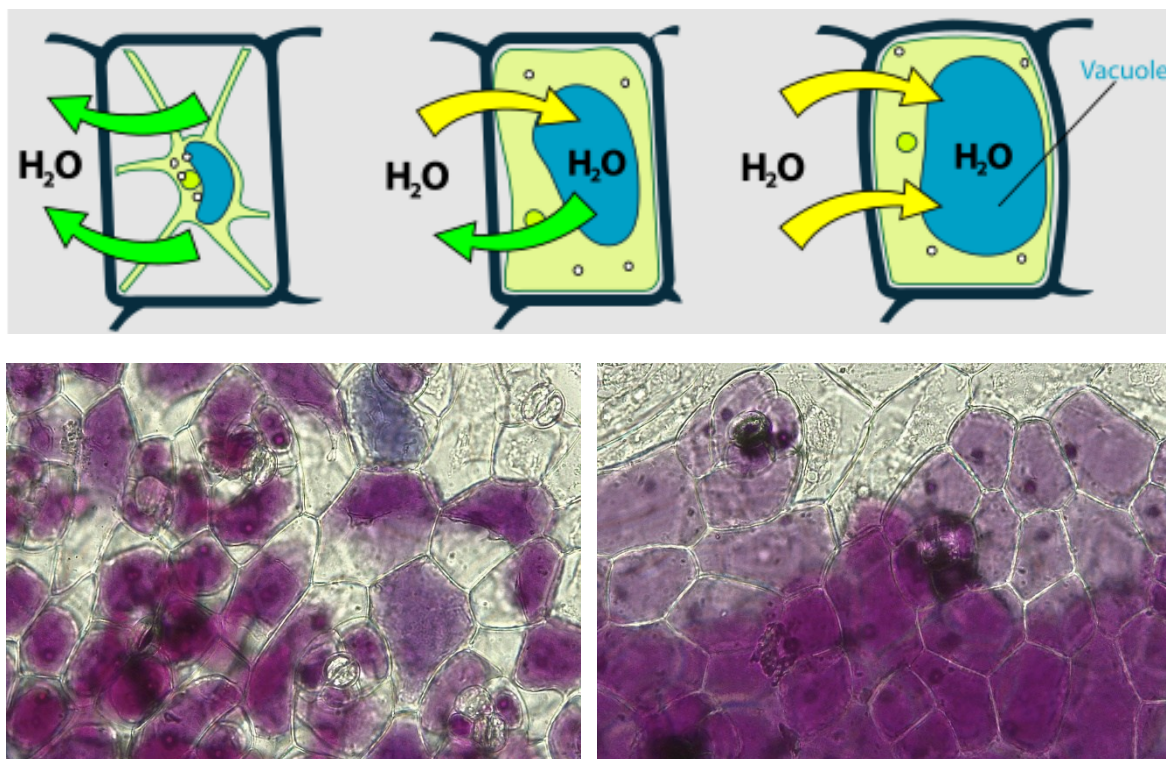
TURGOR IN PLAZMOLIZA

Vodne molekule prehajajo čez celične membrane neovirano - tako prosto gibanje imenujemo pasivni transport. Difuzija vode skozi polprepustno membrano je zaradi pomembne vloge, ki jo igra v različnih procesih v celici, dobila svoje ime - osmoza.

Na osmozo vpliva vodni potencial na obeh straneh membrane: voda prehaja preko membrane v smeri iz raztopine višje koncentracije proti raztopini z nižjo koncentracijo. Če celico položimo v okolico, kjer je koncentracija raztopine večja kot v celici, bo voda iztekala preko celične membrane v okolico in citoplazma celice se bo skrčila. V živalski celici se bo skrčila celotna celica, medtem ko bo oblika rastlinske celice ostala zaradi celične stene enaka, skrčila se bo le citoplazma.

Vakuola daje rastlinski celici čvrstost. Napetost rastlinske celice je posledica pritiska celične stene in pritiska protoplasta. To napetost imenujemo turgor. Celice, ki so v izotonični raztopini, torej raztopini, ki ima enako koncentracijo (osmotski pritisk) kot citosol, so napete ali turgidne. Če damo celice v raztopino, ki je bolj koncentrirana od celičnega soka (torej je hipertonična), bodo rastlinske celice izgubljale tekočino in postale »ohlapne« - potekla bo plazmoliza. Ko damo take celice nazaj v vodo, bo prišlo do deplazmolize - vakuole bodo sprejemale vodo in celice bo ponovno postale turgidne.

Če damo celice iz izotonične v hipotonično raztopino (raztopino, ki je manj koncentrirana od celičnega soka, na primer destilirana voda), bo voda do določene mere vdiral v celice.



Slika 9: Plazmoliza v rastlinski celici. V izotonični raztopini (sredina zgoraj in desno spodaj) molekule voda vstopajo v celico in izstopajo iz nje. V hipotonični raztopini (desno zgoraj) so vakuole napolnjene z vodo. V hipertonični raztopini (levo zgoraj in levo spodaj) vakuola izgublja vodo, citoplazma se skrči (plazmoliza), kloroplaste opazimo v sredini celice. Vir risbe: en.wikipedia.org

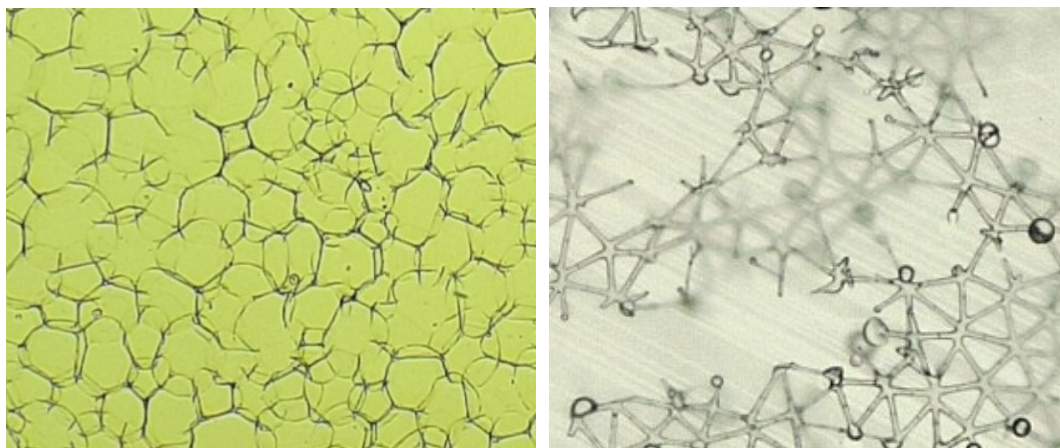
3. RASTLINSKA TKIVA

Že površen pogled pod mikroskopom razkrije, da so rastline sestavljene iz velikega števila različnih tkiv in celic. Kljub tej pestrosti lahko različne celice na podlagi strukture celične stene uvrstimo v tri glavne razrede: parenhimske, kolenhimske in sklerenhimske celice. Če je posamezno tkivo sestavljeno iz pretežno enega samega tipa celic, govorimo o osnovnem tkivu, ki ga poimenujemo po tipu celic, ki ga sestavlja. Tako ločimo najpreprostejši parenhim trer kolenhim in sklerenhim, ki imata predvsem mehansko vlogo.

Če pa so tkiva sestavljena iz različnih tipov celic, gre za sestavljena tkiva. Sestavljena tkiva so krovna tkiv (npr. povrhnjica), izločalna tkiva, prevodna tkiva (ksilem in floem). Posebno tkivo je zarodno (meristemsko), ki se lahko diferencira v različne druge tipe.

PARENHIM

Osnovno tkivo višjih rastlin, sestavljeno iz izodiametričnih celic s tankimi primarnimi celičnimi stenami (sekundarnih sten ni), imenujemo parenhim. Parenhim predstavlja največji del mase zelnatih rastlin. Njegova značilnost je, da je relativno nespecializiran in ima intercelularje ali medcelične prostore, ki služijo prezračevanju. Parenhimske celice se lahko diferencirajo v ostale celične tipe - pravimo, da so totipotentne.



Slika 10: Parenhimsko tkivo v strženu črnega bezga (levo) in ločka (desno) s številnimi medceličnimi prostori.

Parenhim najdemo v vseh rastlinskih organih, glede na funkcijo pa ga delimo na več vrst:

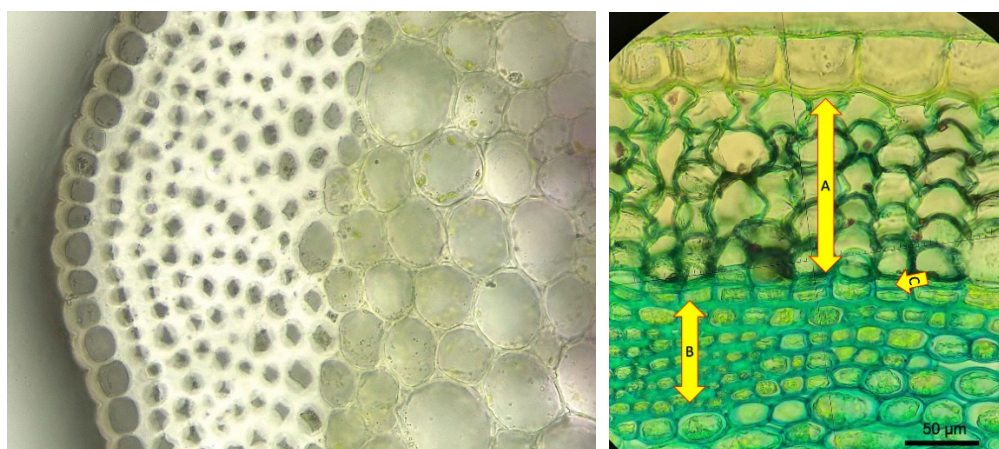
- **Asimilacijski ali fotosintetski parenhim ali klorenhim:** Njegova glavna funkcija je fotosinteza, zato je ta tip parenhima razvit v listih in stebelu. Celice vsebujejo veliko kloroplastov in imajo zračne intercelularje, ki omogočajo difuzijo plinov med celicami.

- **Založni parenhim:** V celicah založnega parenhima rastlina shranjuje rezervne snovi (škrob, beljakovine, maščobe), zato je ta parenhim najpogosteje razvit v korenih, korenikah in gomoljih, pa tudi v endospermu semen. Primeri založnega parenhima so endosperm zrna koruze, notranjost gomolja krompirja z amiloplasti ter parenhim v semenih kakija (celice z odebeljenimi primarnimi celičnimi stenami, ki vsebujejo hemiceluloze kot energetska rezervo za kalček).
- **Vodni parenhim:** Nahaja se v rastlinah, ki imajo omesenela stebila ali liste, v katerih se shranjuje voda. Take rastline imenujemo sukulente rastline, rastejo pa v okoljih, kjer je varčevanje z vodo nujnega pomena za preživetje (puščave, soline...).
- **Zračni parenhim ali aerenhim:** Aerenhim najdemo v delih rastlin, ki potrebujejo učinkovito izmenjavo plinov. Aerenhim omogoča močvirskim rastlinam prezračevanje korenin (saj so korenine stalno zalite z vodo), poleg tega pa nudi tudi oporo vodnim rastlinam. S tem rastline varčujejo, saj jim ni treba vlagati energije v izgradnjo dodatnih opornih tkiv.

Prevajalni parenhim: Sem uvrščamo na primer floemske elemente (sitaste cevi, sitaste celice).

KOLENHIM

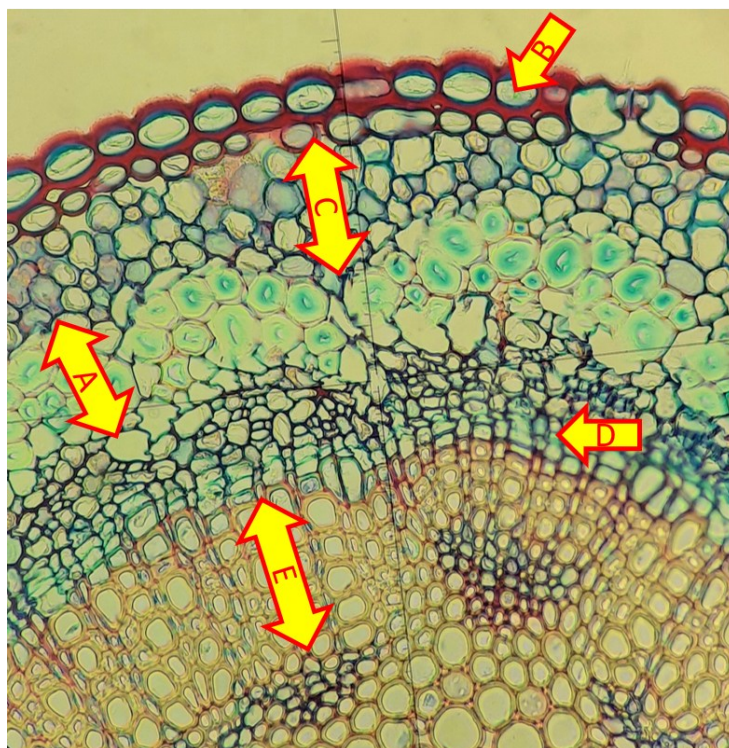
Kolenhim gradijo žive celice, ki so sposobne rasti in delitev. To tkivo najdemo kot oporno tkivo v delih rastline, ki še rastejo - listih, listnih pecljih in steblih. Kolenhimske celice imajo odebeljene dele celičnih sten, njihova stena je plastična in se ob delovanju deformacijskih sil spremeni. Glede na mesto odebelitev ga delimo na vogalni, ploskovni in luknjičasti kolenhim. Pri ploskovnem kolenhimu so odebeljene stene, vzporedne s površino stebila. Vogalni kolenhim ima odebeljene celične stene na vogalih celic, luknjičasti kolenhim pa ima številne medcelične prostore, celične stene pa so najbolj odebeljene ravno v bližini intracelularjev.



Slika 11: Detajl prečnega prereza listnega peclja zelene z vogalnim kolenhimom (levo) ter stebila črnega bezga (desno) z debelo plastjo ploskovnega kolenhima (B). Na sliki je vidna tudi tanka plast plute (A) in plutni kambij (C), nad pluto pa je povrhnjica.

SKLERENHIM

Zrele sklerenhimske celice so mrtve, poleg primarnih imajo tudi sekundarne celulozne celične stene odebeljene, ki so običajno impregnirane z ligninom. V nasprotju s plastičnim kolenhimom je sklerenhim elastičen. Lumen celic je zelo majhen in lahko tudi popolnoma izgine. Sklerenhim ima pomembno oporno vlogo, odgovoren je za trdost semen in plodov - v tem primeru govorimo o mehanskem sklerenhimu (datljeva semena, orehova lupina), igra pa tudi pomembno vlogo pri transportu vode v rastlini (prevodni sklerenhim - ksilemski elementi trahej in traheid). Sklerenhim lahko najdemo v vseh rastlinskih organih, vendar je ponavadi v koreninah odsoten.



Slika 12: Skupek sklerenhimskih vlaken (A) v prečnem prerezu stebela lanu. Na sliki so vidne tudi povrhnjica (B), parenhimsko tkivo (C), floem (D) in ksilem (E).

Ločimo dva tipa sklerenhimskih celic:

- **Sklereide** so celice nepravilnih oblik. Njihova celična stena je debela, trda in lignificirana, zaradi česar je lumen celic majhen. V odebeljeni steni se nahajajo enostavne kanalske piknje, ki povezujejo sosednje celice. Sklereide pogosto najdemo v sadju in semenih. Zaradi značilnih oblik so dobile sklereide različna imena: osteosklereide, makrosklereide, astrosklereide, trihosklereide, brahisklereide...

- **Sklerenhimska vlakna** so podolgovate (prozenhimatske) celice, ki so se razvile iz mladih celic prizmatskih oblik. Konice celic so zašiljene, stena je debela in lumen celic relativno majhen. Oblikujejo se sekundarne celične stene, impregnirane z ligninom, v katerih so prisotne enostavne

piknje. Vlakna so pogosta v prevajalnem tkivu kritosemenk (ovojnice žil). Delimo jih na ksilemska - lesna vlakna in floemska - likova vlakna. Lesna ali ksilemska vlakna se nahajajo v lesu, njihove stene so olesenele s poševno nameščenimi kanalskimi piknjami. Likova vlakna so floemska, najdemo jih v primarni in sekundarni skorji, včasih so združena v svežnje - v tem primeru govorimo o ličju. Celice so zelo iztegnjene, imajo odebeljene celulozne celične stene in so elastične, zaradi česar so uporabne v tekstilni industriji.

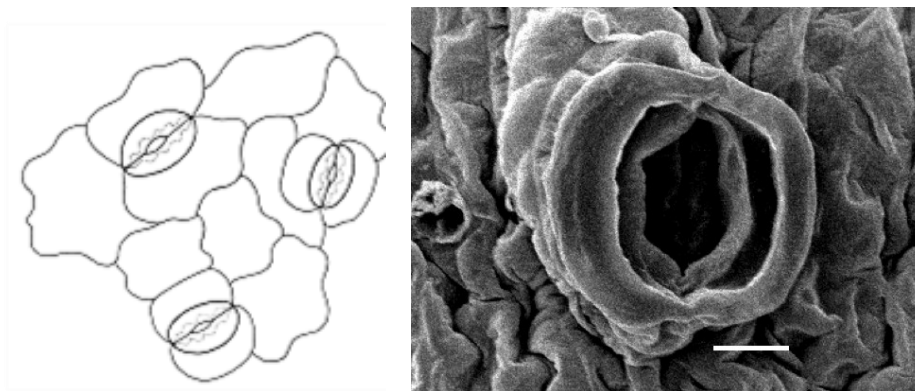
POVRHNJICA ali EPIDERMIS

Krovna tkiva so se razvila, ko so rastline prešle iz vodnega na kopenski način življenja. Zaradi svoje izpostavljenosti imajo krovna tkiva številne naloge. Med drugim ščitijo rastline pred izsušitvijo in mehanskimi poškodbami, regulirajo pa tudi izmenjavo snovi med rastlino in okolico.

Povrhnjica ali epidermis je najbolj zunanje tkivo, ki rastlino ščiti pred mehaničnimi poškodbami, uravnava izmenjavo plinov in s tem fotosintezo in dihanje, preko transpiracije in sprejema vode regulira tudi vodni režim rastline. Lahko je eno- ali večplastna - dodatne plasti še dodatno preprečujejo izgubo vode skozi površino rastline. Celice so med seboj tesno povezane, medceličnih prostorov ni. V celicah povrhnjice so od plastidov prisotni levkoplasti. Lahko pa so v celicah povrhnjice prisotni antociani - ti dajejo na primer barvo rdečemu zelju. Zunanje stene povrhnjice so odebeljene in dodatno impregnirane s kutinom – to plast imenujemo kutikula, njena vloga pa je zaščita pred izsuševanjem rastline in vzdrževanje vodnega okolja znotraj rastline. Rastline, ki živijo v sušnih predelih, imajo ponavadi debelo plast kutikule nad epidermisom.

Listne reže

Reže ali stomata so epidermalne tvorbe na zelenih delih rastline (listi, steblo, peclji...), ki omogočajo aktivno regulacijo transpiracije, izmenjavo plinov in hlajenje listov - s tem posredno regulirajo tudi fotosintezo. Včasih so prisotne tudi na venčnih listih. Posamezna listna reža je sestavljena iz dveh zapiralk, med katerima je odprtina porus. Celici zapiralki obdajajo spremljevalne celice.



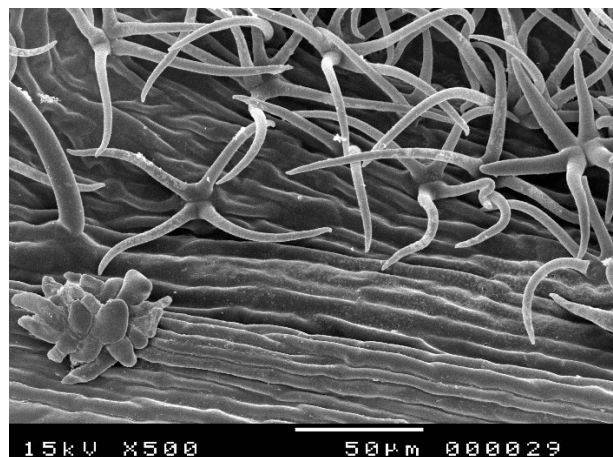
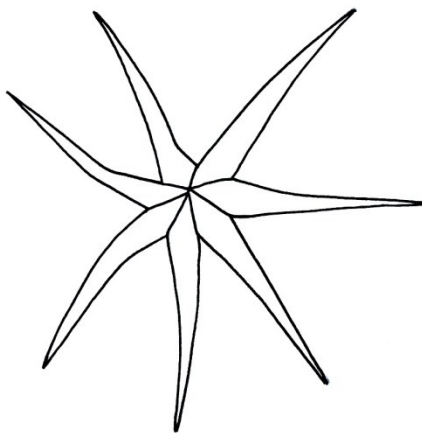
Slika 13: Levo: listne reže na povrhnjici lista. Režni kompleks je sestavljen iz dveh zapiralk in po dveh spremljevalnih celic. Desno: listne reža, slikana z vrstičnim elektronskim mikroskopom.

Celice zapiralke se hitro ločijo od ostalih celic povrhnjice, saj so drugače oblikovane, poleg tega vsebujejo tudi kloroplaste (celice povrhnjice jih ne vsebujejo), ki preko procesa fotosinteze sodelujejo pri odpiranju in zapiranju rež.

Listne reže se pri večini rastlin zmerne pasu pojavljajo predvsem na spodnji strani listov, razen pri travah, ki imajo reže enakomerno razporejene po obeh površinah. Pri rastlinah, ki živijo v sušnih predelih sveta se reže nahajajo na obeh listnih površinah in so ponavadi ugreznjene. Ta prilagoditev jim omogoča vzdrževanje zračne vlage v okolici listne reže. Plavajoče rastline imajo reže samo na zgornji površini listov, potopljene rastline pa reže nimajo.

Laski ali trihomi

So eno- ali večcelične tvorbe, ki so se razvile iz celic povrhnjice. Sprva so vedno enocelični, s celičnimi delitvami pa lahko postanejo večcelični. Trihomi lahko delimo tudi na nerazvejane ali razvejane ter na nežlezne in žlezne. Nežlezni trihomi imajo raznolike vloge, na primer preprečevanje prekomernega izhlapevanja preko površine rastline, zaščita pred nizkimi temperaturami, zaščita pred sončnim sevanjem in pred objedanjem herbivorov. Žlezni laski so sestavljeni iz kratkega ali dolgega peclja in žlezne glave. Lahko izločajo eterična olja, kot na primer številni predstavniki družine ustnatic (materina dušica (*Thymus* sp.), meta (*Mentha* sp.) ali prebavne sokove (žlezni laski nekaterih mesojedih rastlin).



Slika 14: Primer večceličnih nežleznih zvezdastih trihomov.

Med ekonomsko najbolj uporabljene trihomi spadajo bombažna vlakna, ki izraščajo iz povrhnjice bombaževih semen.

IZLOČALNA TKIVA

Rastline izločajo izločke na površino rastline preko struktur zunanjega izločanja ali pa v notranjost rastline preko struktur notranjega izločanja.

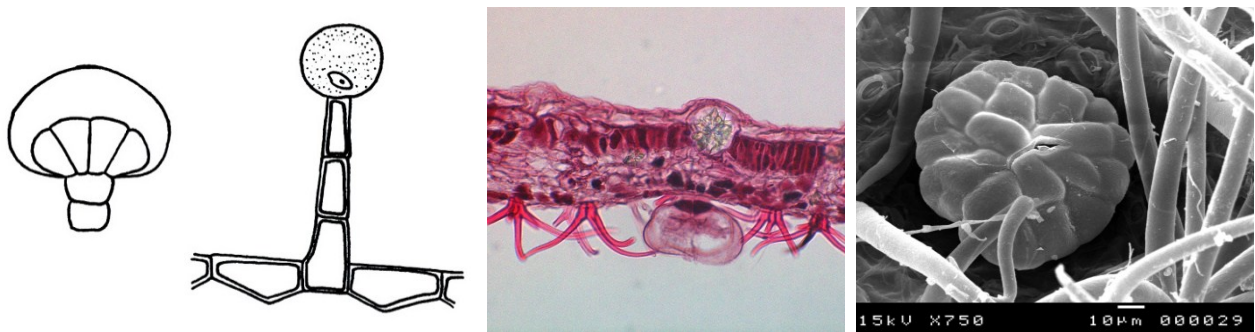
Nektariji so strukture, ki s sodelovanjem floema izločajo nektar na površino rastlinskih delov. Nektar je izloček protoplazme, ki vsebuje vodo, glukozo, fruktozo, saharozo, beljakovine, aminokisline, ione, vitamine itd. Če se nektariji nahajajo ob cvetovih (floralni nektariji), je njihova vloga privabljanje opraševalcev. Rastline v floralnih nektarijih ponudijo le malo nektarja, tako da so opraševalci prisiljeni obiskati več cvetov zaporedoma, s tem pa sodelujejo pri opraševanju. Če pa se nahajajo izven cvetov (ekstrafloralni nektariji), na primer na listih, po ponavadi povezani z obrambo rastlin: nektar privablja mravlje, ki rastlino ščitijo pred drugimi herbivori.



Slika 15: Levo: Nektar v cvetu dinarske smiljke. Desno: Ekstrafloralni nektarij na robovih listov jagode. Vir: en.wikipedia.org

Hidatode so strukture, ki iz rastline izločajo vodo v procesu gutacije. Anatomsko so hidatode rahli skupki parenhimskih celic, ki se nahajajo na koncih žil na robovih listov. Odprtine, skozi katere prehaja voda, so modificirane vedno odprte listne reže.

Žlezni trihomi so večinoma večcelične strukture, ki izraščajo iz epidermisa. Glede na to, kje v rastlini se nahajajo, imajo različne vloge, najpogostejše pa je njihova vloga zaščita pred herbivori. Izločki žlezni trihomov so tudi ekonomsko uporabni: iz eteričnega olja mete (*Mentha piperita*) pridobivajo mentol, trihomi indijske konoplje (*Cannabis sativa*) pa vsebujejo tetrahidrokanabinol (THC). Prečiščena smola iz indijske konoplje je hašiš.



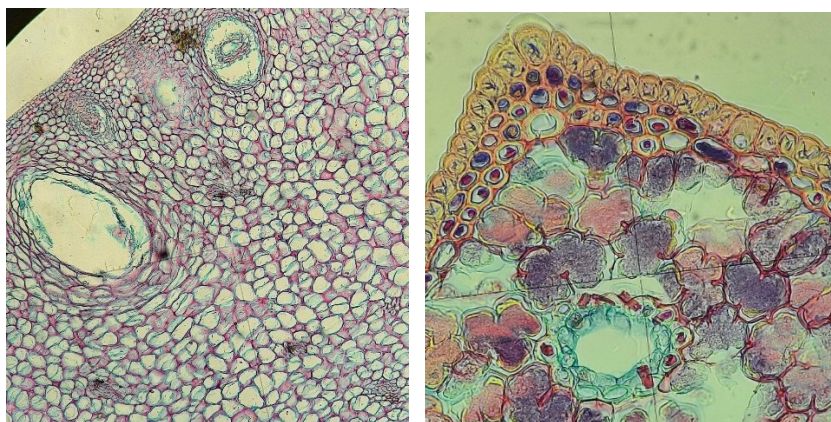
Slika 16: Primeri žlezni trihomov.

Rastline, ki rastejo na zasoljenih tleh, imajo izločalne strukture, imenovane **solne žleze**, skozi katere izločajo sol. Solne žleze so nekakšna odlagališča, ki rastlini pomagajo vzdrževati ugodno koncentracijo ionov v rastlini.

Med žlezne trihome uvrščamo tudi **prebavne žleze mesojedih rastlin**. Mesojede rastline imajo na svoji površini trihome, ki izločajo prebavne encime. Z njimi rastline prebavijo plen (npr. žuželke), natančneje iz živalskih proteinov pridobijo dušik. Mesojede rastline namreč uspevajo na revnih tleh, kjer dušika primanjkuje, zato ga pridobijo iz živali.

Izločalne ali sekretorne celice so velike celice znotraj parenhimskega tkiva, v katerih se kopičijo različni produkti, na primer olja, tanini, smole, kristali... Njihova vloga je različna, od zaščite pred herbivori do shranjevanja rezervnih snovi. Izločalne celice so pomembne tudi za človeka, saj se v njih kopičijo številna olja, ki jih uporabljamo v vsakdanjem življenju (arašidovo olje, cimetovo olje, olje iz klinčkov...)

Olja se kopičijo tudi v večjih strukturah, kot so **kanali, dukti (vodi) in votline**. Citrusi in evkaliptusi izločajo eterična olja v kanale, dukte in votline z namenom odganjanja herbivorov. Smolni kanali borov služijo za zapiranje ran, nastalih v tkivu.



Slika 17: Levo: Izločalne votline v olupku pomaranče. Desno: smolni kanal v borovi iglici.

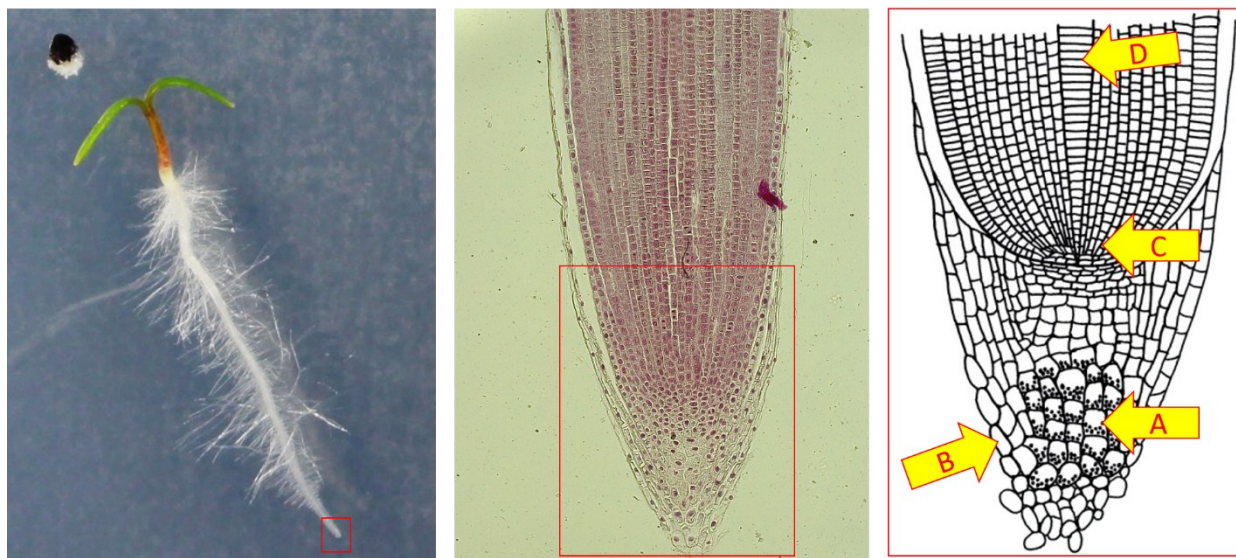
Mlečni vodi ali laticifere so izločalne strukture, v katerih se kopiči mleček ali lateks. Gre za citoplazmo, ki vsebuje različne ogljikove hidrate, organske kisline, alkaloide, terpene, olja, smole, encime in gume. Mleček odganja herbivore in ima vlogo pri zapiranju ran. Ekonomsko spada mleček (lateks) med izjemno pomembne produkte za človeštvo, saj iz njega pridobivajo farmacevtsko pomembne snovi (opij, morfin in kodein so derivati mlečka iz vrtnega maka, iz mlečka brazilkega kavčukovca pridobivajo gume...).

MERISTEMI

Meristemi so rastlinska tkiva, sestavljena iz nediferenciranih celic, ki imajo sposobnost mitotskih delitev, zato jim pravimo tudi zarodna (embrionalna) tkiva. Celice, ki gradijo meristeme, so meristemske celice. Z delitvami meristemskih celic nastajajo nove celice in tkiva in rastline na ta način rastejo. Meristemske celice so majhne, imajo majhne vakuole in so popolnoma zapolnjene s protoplazmo (protoplasma je sestavljena iz citoplazme in nukleoplazme - vsebine celičnega jedra). V njihovi citoplazmi ni izdiferenciranih plastidov, prisotni so proplastidi. Celice so nameščene tesno skupaj, medceličnih prostorov ni. Celična stena meristemskih celic je tanka in sestavljena samo iz primarne stene. V meristemih potekata dva nasprotujoča si procesa: iniciacija rasti organov in obnavljanje meristemskih celic.

Meristemi se nahajajo na vršičku korenine in stebela (apikalni meristemi), v medžilnem in plutnem kambiju (lateralni meristemi) ter v listih, plodovih itd. V grobem ločimo pet različnih tipov meristemov:

Apikalni meristemi se nahajajo na koncu korenin in poganjkov in so zadolženi za primarno rast in tvorbo primarnih tkiv. Apikalni meristemi so popolnoma nediferencirani meristemi. Najdemo jih v korenini in stebelu. Tam rastejo nedeterminirano, torej vse življenje. Pri tem gre za rast rastlinskih organov v dolžino ter za formacijo novih rastlinskih organov. Vsi deli rastlinskih organov izvirajo iz celic potomk apikalnih meristemov. Ločimo dva tipa apikalnih meristemov apikalni meristem stebelnega vršička ter apikalni meristem korenine.



Slika 18: Koreninski vršiček. Levo: mlada rastlinica z dobro ravito korenino s številnimi koreninskimi laski. Sredina: vršiček korenine s koreninko čepico. Desno: koreninska čepica z osrednjimi celicami kolumele s statoliti (A) ter stranske celice koreninske čepice (B), ki izločajo mucigel. Nad koreninsko čepico je apikalni meristem korenine (C). Nastajajoč prevodni cilinder je označen z D.

Zalistni (aksilarni) meristemi se nahajajo v zalistju ali listni aksili in lahko daljši čas preživijo v dormanci (so neaktivni). Iz njih se lahko razvijejo stranski poganjki (veje) ali cvetovi.

Lateralni meristemi so cilindrični meristemi, ki se razvijejo v lesnih rastlinah. Ime so dobili po tem, ker obkrožajo steblo in sodelujejo pri lateralni rasti rastlin (v širino). Obstajata dva tipa lateralnih meristemov: medžilni kambij, ki proizvaja celice sekundarnega ksilema (lesa) in sekundarnega floema, ter plutni kambij ali felogen, ki je odgovoren za proizvodnjo plute.

Interkalarni meristemi se nahajajo med zreli tkivi. Sposobni so celičnih delitev in omogočajo hitro rast pri enokaličnicah, zlasti travah. Pri travah se nahajajo na bazah listov in omogočajo obnavljanje poškodovanih listov po objedanju herbivorov ali po košnji.

PREVODNA TKIVA IN UREDITEV V ŽILE

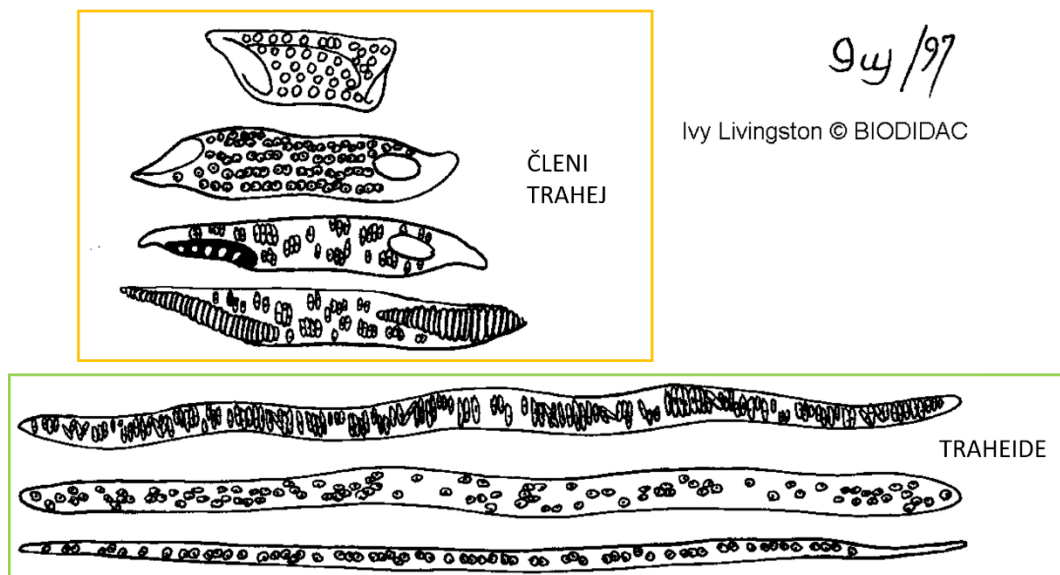
Prevajalna tkiva omogočajo rastlinam prenos snovi po rastlini. Rastline morajo namreč črpati iz tal vodo z raztopljenimi anorganskimi snovmi ter jo prečrpati v liste. Po drugi strani morajo organske snovi, ki nastanejo predvsem v listih v procesu fotosinteze, prenesti v ostale rastlinske organe. Dvojna vloga prevajalnih tkiv se odraža v zgradbi žil, ki so sestavljene iz dveh delov – ksilema in floema.

KSILEM

Ksilem ima vlogo prevajanja vode in mineralnih ionov iz korenin v liste. Gre za sestavljeno tkivo, ki ga gradi več različnih celičnih tipov. Ksilemske celice so povečini mrtve, njihove stene so sekundarno odebeljene in olesenele. V stebalu je ksilem orientiran proti središču rastline. Prevajalne celice, ki gradijo ksilem, so elementi trahej in traheide, med njimi so lahko prisotne tudi parenhimske celice. Prevajalne celice so podaljšane in mrtve ob zrelosti; njihove sekundarne celične stene so debele in lignificirane.

V zelnatih rastlinah je razvit le primarni ksilem. Olesenele rastline pa razvijejo sekundarni ksilem, ki mu z drugo besedo pravimo tudi les. Celični tipi so enaki kot v primarnem ksilemu, le pojavljajo se v drugačnem razmerju.

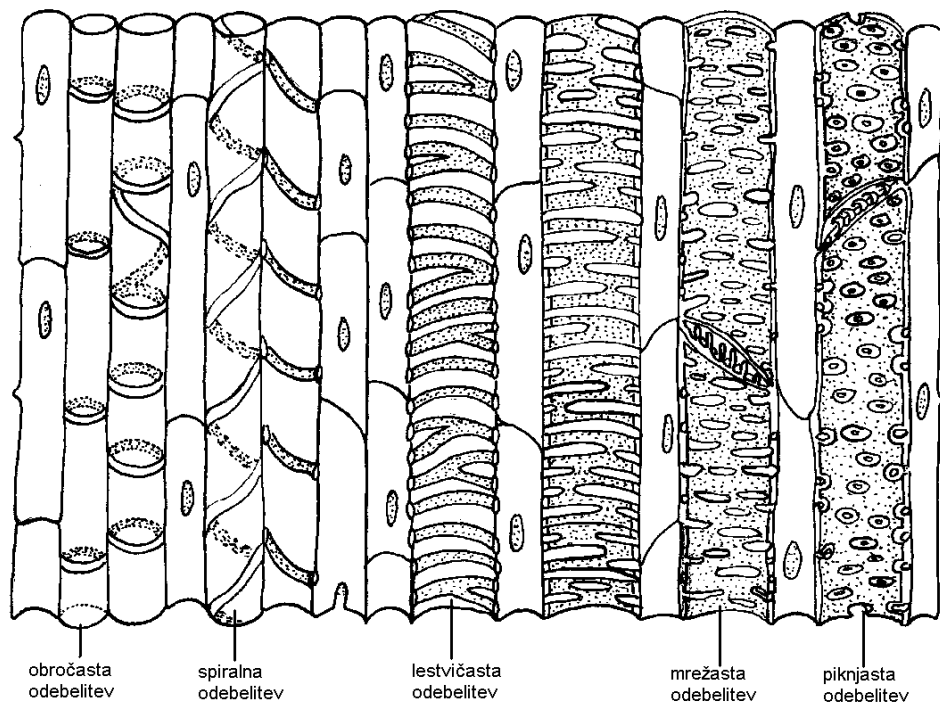
Traheide so manj specializirani ksilemski elementi in hkrati tudi edini prevajalni elementi v lesu golosemenk. To so podolgovate celice, v olesenelih stenah so prisotne številne piknje (pri golosemenkah so to obokane piknje). Traheide so dolge celice, njihova povprečna dolžina znaša med 1 in 4 mm, vendar se ne združujejo v cevi. Nekatere traheide imajo lahko tudi obročaste, spiralaste in mrežaste odebelitve.



Slika 19: Primerjava traheid in členov trahej. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>.

Členi trahej gradijo vodovodne cevi traheje. Traheje nastanejo iz številnih kratkih in širokih celic, nameščenih ena nad drugo tako, da oblikujejo cev. Prečne stene, ki v začetku ločujejo celice v stolpcu, se sčasoma razkrojijo in resorbirajo - tako nastanejo dolge (povprečno okoli 10 cm, v poletnem lesu hrasta 2 m, nekatere liane 3-5 m) in relativno široke cevi (do 0,7 mm). Za traheje so

značilne specifične odebelitve sekundarne celične stene: spiralaste, obročaste, lestvičaste, mrežaste, piknjaste ter prehodne oblike med dvema tipoma.



Slika 20: Tipi odebelitev celičnih sten v ksilemskih prevodnih celicah. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

FLOEM

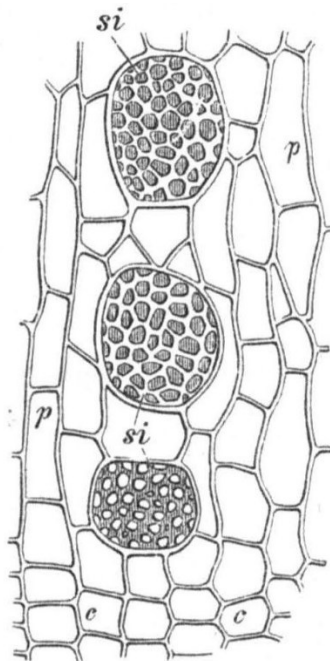
V nasprotju z vodovodnim ksilemom služi floem za prevajanje organskih hranil po rastlini. Floem gradijo parenhimske celice, med katerimi so lahko pri nekaterih vrstah prisotna tudi sklerenhimska vlakna. Prevodne celice floema so žive, prevajanje sladkorjev poteka aktivno. V stebelu je floem orientiran proti obodu rastline, medtem ko je ksilem orientiran proti notranjosti.

Prevodne celice floema imajo le primarno celično steno. Ob zorenju se plazmodezme, preko katerih so povezane sosednje celice, povečajo – imenujemo jih sitaste pore (po sitastih porah so dobile floemske prevajalne celice tudi skupno ime – sitasti elementi). Te pore so zelo široke, saj lahko njihov premer znaša tudi več kot 1 μm . Zaradi lažjega prenosa snovi so pore sosednjih celic poravnane. Območja, kjer se pojavljajo pore, imenujemo sitasta območja.

Celice, po katerih poteka prevajanje snovi po floemu, imenujemo s skupnim imenom sitasti elementi, ti pa se pri golosemenkah in kritosemenkah nekoliko razlikujejo, zato imajo tudi različna

imena. Golosemenke imajo sitaste celice - to so podaljšane vretenaste celice, pri katerih se sitasta območja nahajajo po celi njihovi površini. Ta celični tip je izvirno starejši (najdemo ga v starejših fosilih), danes ga najdemo predvsem v praprotnicah in golosemenkah. Kritosemenke imajo celice sitastih cevi. Te so podobno kot traheje poravnane v sitaste cevi, sitasta območja so velika in se nahajajo na koncih celic, pore so zelo široke. Ta končna območja s porami imenujemo sitaste plošče. Poleg teh se na stranskih stenah pojavljajo tudi sitasta območja, vendar so ta manj obsežna od sitastih plošč. Celice sitastih cevi so filogenetsko mlajše in so značilne za kritosemenke.

Čeprav so sitasti elementi živi, se njihova jedra razgradijo. Celice tako ne morejo same nadzorovati procesov, ki potekajo v citoplazmi. To vlogo so prevzele manjše nadzorne celice z velikimi jedri in gosto citoplazmo, ki se tesno prilegajo sitastim elementom. Nadzor sitastih celic so prevzele albuminozne celice, celice sitastih cevi pa nadzorujejo celice spremljevalke. Nadzorne celice so preko plazmodezem povezane s sitastimi elementi.



Slika 21: Floem v žili buče (*Cucurbita pepo*): si - sitasta plošča, p – parenhim, c – kambij. Vir: de.wikipedia.org

ŽILE

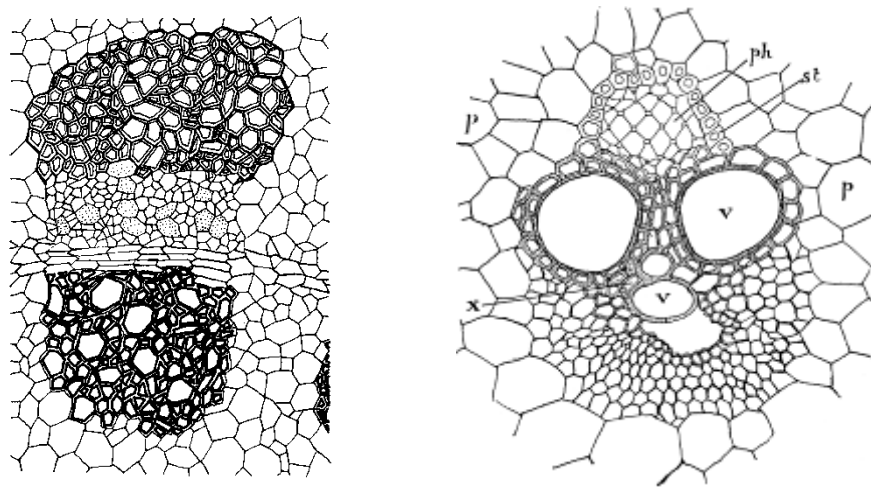
Kot je opisano zgoraj, poteka transport vode in organskih snovi po rastlini po dveh različnih tkivih – ksilemu in floemu. Obe tkivi pa sta vedno blizu skupaj, saj so organske snovi, ki se pretakajo po floemu, vedno raztopljene v vodi, to vodo pa dobijo iz ksilema. Organizacijo floema in ksilema v skupno tvorbo imenujemo žila. Glede na položaj floema in ksilema ločimo več tipov žil. V steblih in listih večine rastlin najdemo kolateralne žile, ki imajo na enem koncu floem, na drugem pa ksilem.

Obstaja več podtipov kolateralnih žil, ki se med seboj razlikujejo predvsem v prisotnosti in položaju kambija:

- v steblih enokaličnic in listih dvokaličnic najdemo dovršene kolateralne žile. Prepoznamo jih po tem, da floem meji direktno na ksilem,
- v steblih golosemenk in dvokaličnic najdemo nedovršene kolateralne žile, ki imajo med floemom in ksilemom pas žilnega kambija.

V koreninah se nahaja po ena radialna žila. Za tako žilo je značilno, da je ksilem prisoten v več »žarkih«, med njimi pa se nahaja floem. Enokaličnice imajo ksilem s številnimi žarki (takim žilam rečemo poliarhne), dvokaličnice pa imajo do štiri ksilemske žarke. Med žarki ksilema se nahaja floem.

Obstajajo tudi drugačni tipi žil, ki pa so redkejši in jih najdemo predvsem pri nižjih evolucijskih stopnjah (npr. praprotnice).



Slika 22: Prečni prerez kolateralnih žil. Levo: nedovršena žila v stebli dvokaličnice. Desno: dovršena žila v stebli korusze. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

4. RASTLINSKI ORGANI

STEBLO

Glavni nalogi stebela sta opora rastlini ter prevajanje snovi med koreninami in listi oziroma cvetovi. Na stebelu so tudi nameščeni listi in razmnoževalni organi. Steblo se lahko preobrazi in njegove funkcije se spremenijo. V njem se lahko shranjujejo rezervne snovi in voda, lahko služi vegetativnemu razmnoževanju ali pa prevzame funkcijo fotosinteze (kaktusi).

Preobražena stebela

Spremenjena (preobražena) stebela lahko prevzamejo različne naloge, kar jim omogoča preživetje v raznovrstnih okoljih. Rastline jih lahko uporabljajo za razmnoževanje, plezanje, fotosintezo, zaščito in shranjevanje rezervnih snovi. Čeprav se preobražena stebela navzven popolnoma razlikujejo od navadnih stebel, ostane njihova notranja zgradba enaka. Preobražena stebela se lahko nahajajo nad ali pod zemljo.

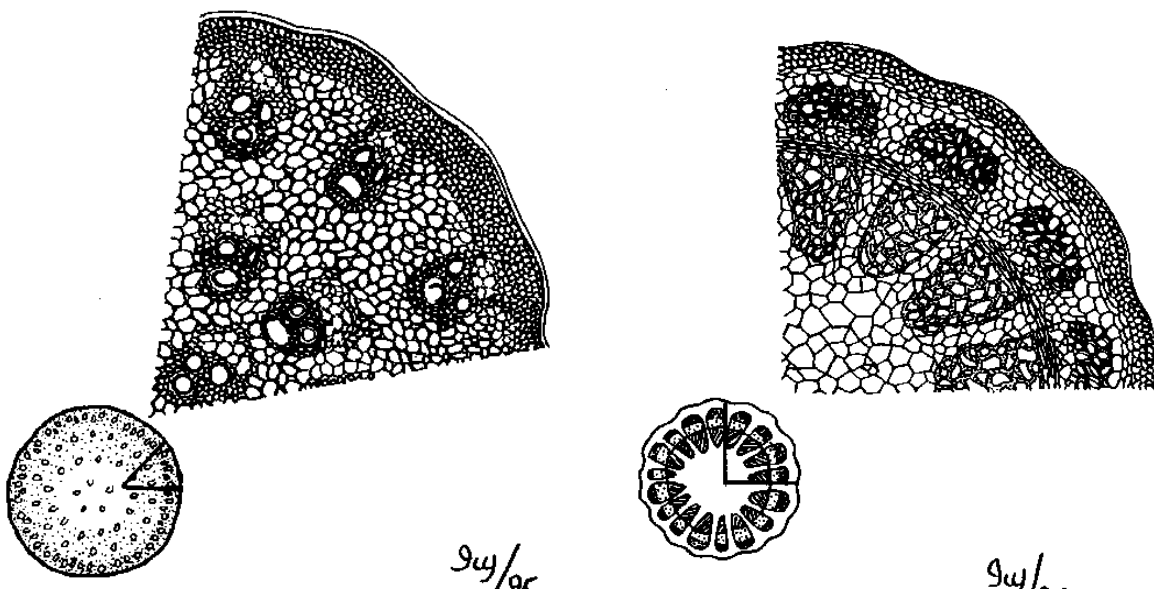
Ploščati zeleni stebelni poganjki, ki spominjajo na liste, so platikladiji. Med njimi ločimo ploščate kratke poganjke filokladije in ploščate dolge parenhimske poganjke kladodije. Filokladije opazujemo pri bodeči lobodiki (*Ruscus aculeatus*). Kladodiji so razviti pri sukulentskih rastlinah (opunciji in listnatih kaktejah) in so nastali kot posledica redukcije listov. Imajo jih namreč rastline, ki živijo v okolju z malo vode (na primer puščave). Listi so pri teh rastlinah ponavadi spremenjeni v listne trne, steblo pa se odebeli zaradi kopičenja vode v vodnem parenhimu in izvaja fotosintezo. Nekatere rastline, na primer hmelj (*Humulus lupulus*), fižol (*Phaseolus vulgaris*) ali pasijonka (*Passiflora caerulea*) so razvile plezajoče steblo, s katerim se vzpenjajo proti svetlobi. Stebelne vitice so stranski poganjki, ki omogočajo oprijemanje in oporo. Pojavljajo se na primer pri vinski trti (*Vitis vinifera*), pasijonki (*Passiflora coerulea*) in viniki (*Parthenocissus* sp.). Pri glogu (*Crataegus* sp.), črnem trnu (*Prunus spinosa*) in nekaterih drugih rastlinah se v zalistju razvijejo kratki poganjki, preobraženi v stebelne trne. Ob trnih so lističi in speči popki. Njihova vloga je predvsem obramba pred rastlinojedi. Nadzemne ali podzemne stranske poganjke, ki se razraščajo stran od materinske rastline in omogočajo vegetativno razmnoževanje z ukoreninjenjem, imenujemo stoloni. Z oddaljevanjem od materinske rastline postajajo internodiji vedno krajši, na koncu stolona so kolenca blizu skupaj in iz njih izraščajo listi v obliki rozete, na spodnji strani stolona pa se razvijejo nadomestne korenine. Sčasoma se povezava z materinsko rastlino prekine in nastane nova rastlina, ki pa je genetsko popolnoma enaka materinski (klon). Nadzemne stolone imenujemo pritlike, najdemo pa jih pri plazečem skrečniku (*Ajuga reptans*), jagodnjaku (*Fragaria vesca*), plazeči zlatici (*Ranunculus repens*), grenkuljici (*Glechoma hederacea*) ali navadni latovki (*Poa trivialis*). Podzemni stoloni so živice; pojavljajo se pri plazeči pirnici (*Agropyron repens*), plazeči šopulji (*Agrostis stolonifera*), navadni regačici (*Aegopodium podagraria*), krompirju (*Solanum tuberosum*) itd. Stebelni gomolji so kroglasto odebeljena podzemna preobražena stebela. Pokriti so z majhnimi luskastimi ali večjimi listi, ki odpadejo in za njimi ostanejo brazgotine. Stebelni gomolji imajo tudi končni ali terminalni popek in stranske popke - očesca. Nam najbolj poznan stebelni gomolj je

krompir. Posebna oblika stebelnih gomoljev so čebulasti stebelni gomolji. Gre za navpično odebeljeno podzemno steblo, ki služi shranjevanju rezervnih snovi, značilno pa je za žafrane ali gladiole. Korenika ali rizom pa je vodoravno usmerjeno preobraženo steblo, ki je odebeljeno in ima kratke internodije in luskaste liste, na spodnji strani pa tvori adventivne korenine. Čebulni krožec je skrajšano, odebeljeno steblo z rozetasto nameščenimi omesenelimi luskolisti, v katerih se kopičijo rezervne snovi. Omesenele luskoliste prekrivajo suhi luskolisti. Primer takega preobraženega stebela je čebula.

Anatomija zelnatega stebela

V prečnem prerezu zelnatega stebela prepoznamo tri tipe tkiv: povrhnjico, osnovno tkivo (skorja in stržen) in prevodno tkivo (žile).

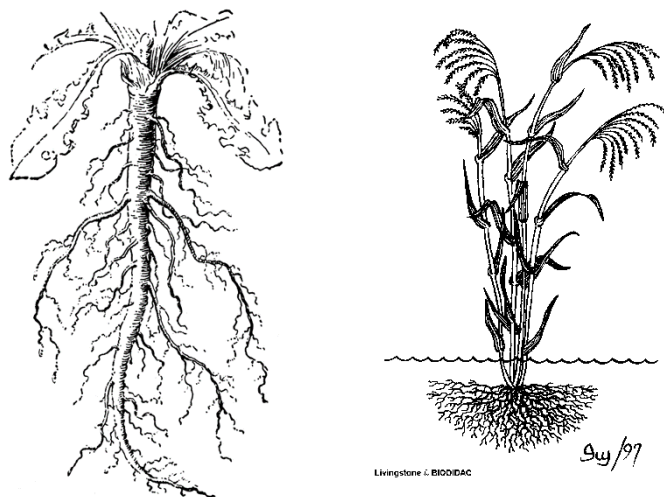
Najbolj zunanje tkivo je povrhnjica, ki je ponavadi enoplastna in brezbarvna, saj ne vsebuje kloroplastov. Iz nje pogosto izraščajo trihomi, lahko so prisotne listne reže, prekrita je s kutikulo. Pod povrhnjico se nahaja skorja, ki jo gradijo predvsem parenhimske celice. V skorji lahko med fotosintezo nastajajo in se tam shranjujejo ogljikovih hidrati. Neredko najdemo v skorji tudi kolenhimske in sklerenhimske celice, ki služijo za oporo. Proti sredini stebela je razvit sistem žil z vmesnim parenhimom. Floem (z likovimi vlakni, če so ta prisotna), predstavlja zunanjo mejo žile. Pri travah, ki imajo žile razporejene skoraj do povrhnjice, mejo med skorjo in žilami težko določimo. Žile v stebelu so kolateralne, torej vsebujejo notranji vodovodni ksilem ter zunanji floem. Žile so v stebelu golosemenk in dvokaličnic urejene v cilindru in so nedovršene. Enokaličnice imajo dovršene žile, ki so razporejene na videz raztreseno po stebelu. Pri dvokaličnicah se lahko osrednji stržen, ki se nahaja znotraj prevodnega cilindra, strga in steblo postane votlo.



Slika 23: Primerjava prečnega prereza stebela enokaličnice z ataktostelo (levo) in dvokaličnice z evstelo (desno). Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

KORENINA

Korenine pritrjujejo rastlino v tla, iz njih črpajo vodo in raztopljene anorganske soli, shranjujejo rezervno hrano in prevajajo snovi proti steblu in obratno. Lahko sodelujejo tudi pri nespolnem (vegetativnem) razmnoževanju. Večinoma se nahajajo pod zemljo. Ločimo dva osnovna tipa koreninskih sistemov: koreninski sistem z glavno korenino, ki je značilen za dvokaličnice, in šopast koreninski sistem, značilen predvsem za enokaličnice. Glede na izvor ločimo prave korenine, ki se razvijejo iz radikule (zarodne koreninice v semenu) ter nadomestne ali adventivne korenine, ki izraščajo iz stebela ali listov.

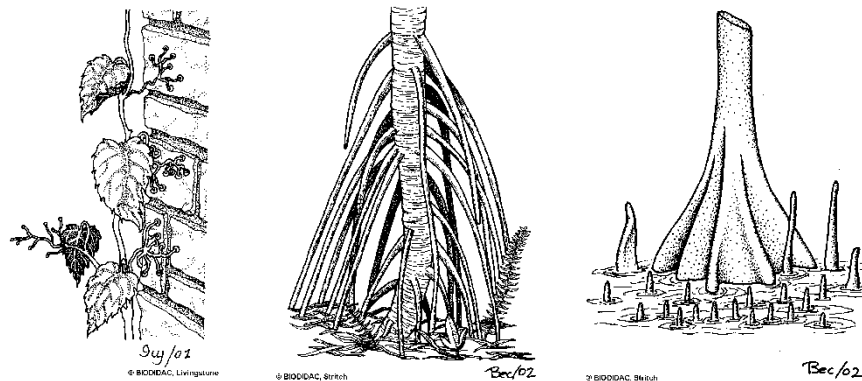


Slika 24: Koreninski sistem z glavno in stranskimi koreninami (levo) in šopast koreninski sistem (desno). Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Preobražene korenine

Tudi korenine se lahko spremenijo za opravljanje posebnih nalog. Zaradi povečevanja zalog hrane se lahko prave ali nadomestne korenine odebelijo in tako nastanejo kroglasti koreninski gomolji (rdeča pesa, kukavice, lopatica) in podolgovati koreni (korenje, peteršilj, sladkorna pesa, repa, hren). Koreninski gomolji se od stebelnih ločijo po tem, da nimajo popkov in niso olistani. Nadomestne korenine se lahko spremenijo v nadzemne oporne (koruza), oprijemalne (bršljan, vinika) ali zračne korenine (epifitske orhideje, monstera). Sesalne ali zajedalske korenine so preobražene nadomestne korenine, ki se pojavljajo pri polparazitih (na primer pri beli omeli) ali pri pravih parazitih (pojalnik). Na koreninah metuljnic (na primer detelje) nastanejo koreninski noduli, v katerih so bakterije, ki vežejo dušik. Tudi večina drugih rastlin ima v koreninah razvito simbiozo z glivami (mikoriza), kar jim omogoča boljšo preskrbo z vodo, dušikom in fosforjem ter zaščito pred patogeni. Mnoge zelne trajnice rastejo najbolj ugodno v določeni globini zemlje. Potovanje do te

globine jim omogočajo kontraktilne korenine preko krčenja (kontrakcije). Kontraktilne korenine imajo vrste iz rodu lilijevk, gladiole, žafrani...

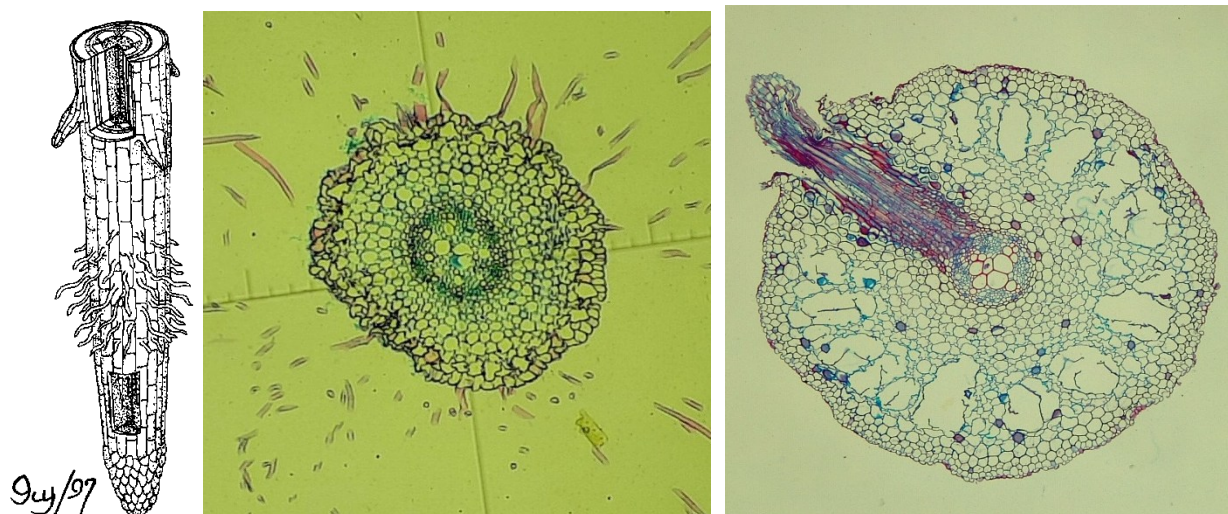


Slika 25: Različni tipi koreninskih sistemov: oprijemalne korenine, oporne korenine in zračne korenine - pnevmatofore). Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Anatomska zgradba korenine

V grobem lahko prečni prerez korenine razdelimo povrhnjico, osrednji del – prevodni cilinder ter skorjo, ki se nahaja med njima. Najbolj zunanji sloj celic predstavlja povrhnjico (ki ima pri koreninah posebno ime – rečemo ji rizoderm). Ko rizoderm propade, krovno funkcijo prevzame zunanja plast primarne skorje. Primarno skorjo gradijo parenhimske celice, ki imajo lahko založno funkcijo. Primarna skorja založnih organov (koreni, koreninski gomolji) je zelo odebeljena (primarna debelitev korenine). Najgloblji sloj primarne skorje, ki je pomemben za selektiven transport mineralov v rastlino, se imenuje endoderm. Najgloblje v korenini se nahaja centralni cilinder, ki obsega eno ali večslojni pericikel in radialno žilo.

Organizacija primarnih tkiv v koreninah različnih vrst razlikuje predvsem v količini primarnega floema in primarnega ksilema ter v prisotnosti oz. odsotnosti stržena. Za korenino dvokaličnice je značilna oligarhna žila, ki se nahaja v njenem osrednjem delu, medtem ko je za korenino enokaličnice značilna poliarhna žila. Žilo obdaja pericikel, ki je še del prevodnega cilindra. Periciklu sledi enocelična plast, ki jo imenujemo endodermis - gre za najbolj notranjo plast skorje. Zanj so značilne Kasparijeve proge v celični steni, ki preprečujejo nenadzorovano prehajanje ionov iz skorje v prevodni cilinder. Med endodermisom in povrhnjico se nahajajo parenhimske celice, ki predstavljajo osrednji del skorje. V skorji nekaterih rastlin opazimo velike zračne prostore (aerenhim), ki služijo prevajanju kisika iz nadzemnih delov v korenino. Številne rastline imajo v skorji poleg endodermisa razvit tudi eno ali večceličen eksodermis. Tudi zanj so značilne Kasparijeve proge.



Slika 26: Levo: vzdolžni pogled na koreninski vršiček. Sredina: prečni prerez vršička korenine v coni diferenciacije. Desno: prečni prerez mlade korenine z izraščajočo stransko korenino. V skorji so dobro vidni obsežni zračni prostori (intercelularji).

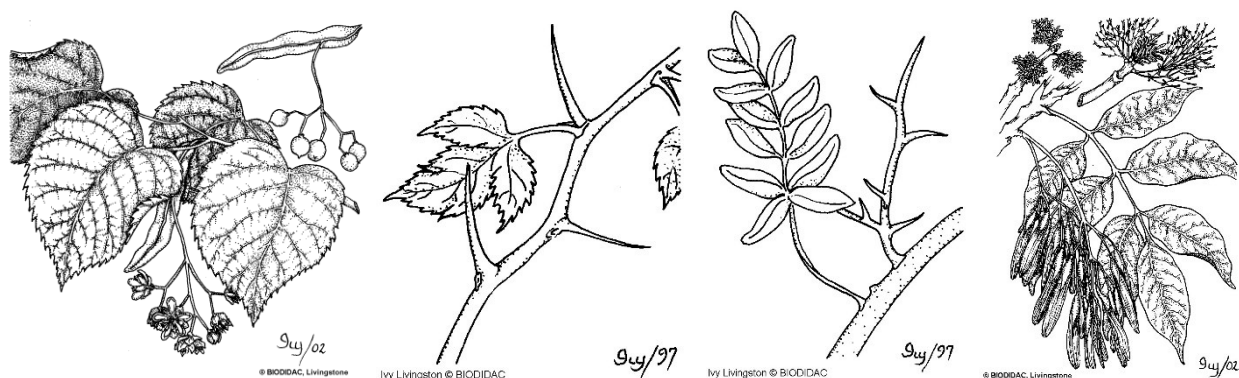
Stranske korenine nastanejo tako, da se začno celice pericikla, ki so nad ksilemskimi žarki, znova deliti. Korenina lahko sekundarno odebeli (oleseni). Nastane kambijalni obroč, ki je v celoti sekundarni meristem, saj nastane iz parenhima med ksilemom in floemom, nad ksilemskimi žarki pa iz dela pericikla. Kambijalni obroč na začetku sledi obliki žile (zvezdast), z nalaganjem plasti celic lesa in skorje pa dobi obliko prstana. Navzven tvori sekundarno skorjo, navznoter pa les. Iz ostanka pericikla nastane felogen, ki tvori pluto.

Koreninski vršiček

V mladi korenini ločimo štiri območja, ki se med seboj razlikujejo po vlogi. Koreninski vršiček je prekrit s koreninsko čepico, ki ščiti apikalni meristem. Nad njo se nahaja območje delitve celic, v katerem potekajo intenzivne delitve celic – to je apikalni meristem. Ti dve območji skupaj zavzemata približno 1 mm dolžine. V območju podaljševanja (elongacije) se celice podaljšujejo na račun velikih vakuol, napolnjenih z vodo. To območje je odgovorno za porivanje koreninske čepice in apikalnega dela korenine skozi zemljo. Cono diferenciacije spoznamo po številnih drobnih koreninskih laskih. Ti močno povečajo površino za absorpcijo vode in nutrientov, potrebnih za rast. Posamezen koreninski lasek živi do nekaj dni, vendar se pod propadlimi laski (bliže vršičku korenine) neprestano tvorijo novi. Coni elongacije in diferenciacije zavzemata območje, ki se razteza 4-5 cm od vršička.

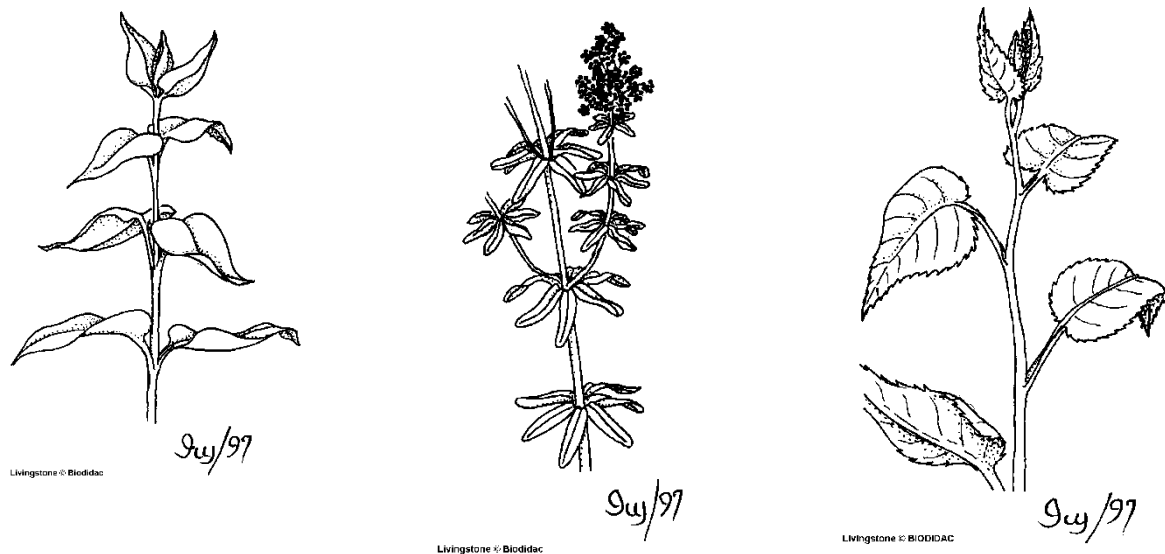
LIST

Listi so rastlinski organi, katerih osrednji nalogi sta sprejemanje sončne svetlobe in izmenjava plinov ter z njima povezana fotosinteza. S fotosintezo nastajajo sladkorji, ki rastlini služijo kot vir hrane. V procesu fotosinteze iz vode (H_2O , vir O in H) in ogljikovega dioksida (CO_2 , vir C) nastane sladkorji ($C_6H_{12}O_6$) in kisik (O_2), pri čemer služi svetloba kot vir energije. Fotosinteza poteka v kloroplastih fotosintetskega tkiva. Voda se preko ksilema prevaja iz koreninskega sistema v liste; CO_2 prehaja z difuzijo skozi listen režo ter skozi medcelične prostore gobastega parenhima. Produkt fotosinteze, sladkorji, se preko floema prevajajo po celi rastlini. Kisik, ki se sprošča pri svetlobnih reakcijah, ter molekule vode se sproščajo iz rastline skozi listne reže.



Slika 27: enostaven list lipe (*Tilia* sp.), dlanasto deljen list gloga (*Crataegus* sp.), sodo pernat sestavljen list gledičije (*Gleditschia* sp.) in liho pernat list jesena (*Fraxinus* sp.). Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

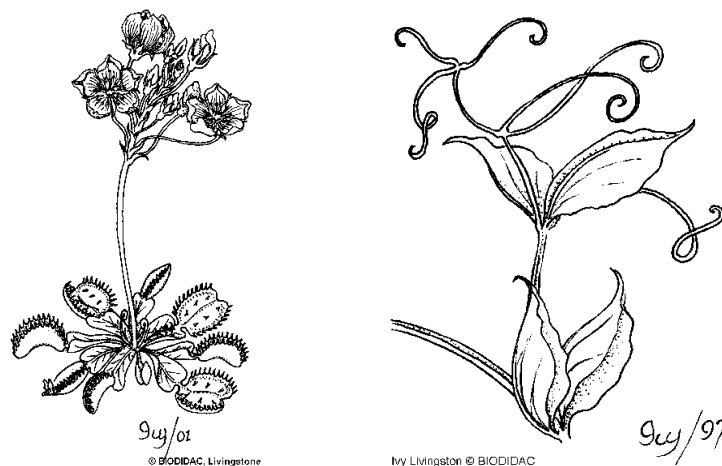
Na večini zelenih listov ločimo listno ploskev ali lamino, pecelj in listno bazo ali dno, s katerim je list prirasel na steblo. Nekateri listi, posebno listi enokaličnic, nimajo peclja - pravimo, da so sedeči. Listna baza večine rastlin je slabo razvita, dobro razvita je predvsem pri kobulnicah in enokaličnicah, kjer se pojavlja v obliki listne nožnice (vagine). Listi so različno oblikovani, glede na deljenost ploskve so lahko enostavni, deljeni in sestavljeni. Oblike listnih ploskev so lahko jajčaste, suličaste, ledvičaste, rombaste, lopatičaste itd., njihov rob pa je lahko cel, valovit, nazobčan, napiljen, narezan itd. Sestavljeni listi so zgrajeni iz lihega ali sodega števila lističev, ki so pritrjeni na listno vreteno. Pri enokaličnicah potekajo žile navadno vzporedno (progasto), pri dvokaličnicah pa mrežasto. Na steblo so listi nameščeni v nodijih ali kolencih. Način namestitve imenujemo filotaksija, ta pa je lahko nasprotna, vretenčasta ali premenjalna.



Slika 28: Nasprotna, vretenčasta in premenjalna (spiralna) filotaksija. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

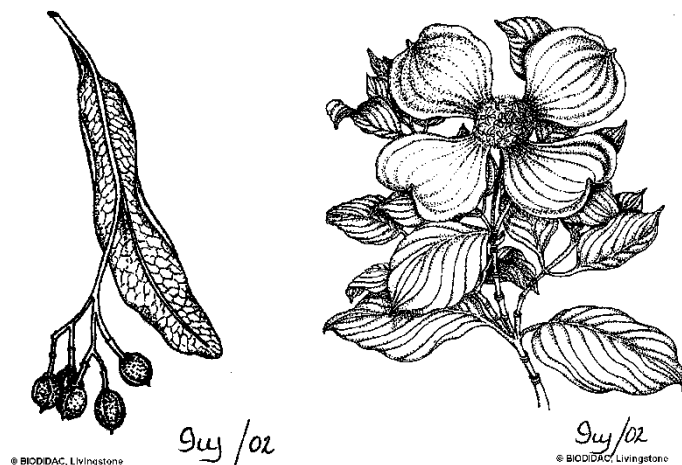
Preobraženi listi

Listne vitice pri grahu (*Pisum sativum*), grašici (*Vicia* sp.) ali grahorju (*Lathyrus* sp.) se razvijejo iz končnega lističa. Pri buči (*Cucurbita pepo*) in kumari (*Cucumis sativus*) se vitice razvijejo iz celih listov. Podobno kot pri listnih viticah se listi, bodisi celi ali samo njihovi terminalni deli, lahko pa tudi samo prilisti, preobrazijo v listne trne. Listne trne lahko opazujemo pri češminu (*Berberis* sp.), prilistne trne pa pri robiniji (*Robinia pseudacacia*). Čebula (*Allium cepa*) ima značilno omesenele listne baze luskolistov (ali dničnih listov). Pri nekaterih rastlinah, ki živijo v *okolju* s pomanjkanjem mineralnih snovi (npr. barja), se listi lahko preobrazijo v lovilne pasti mesojedih rastlin (npr. *Dionaea muscipula*).

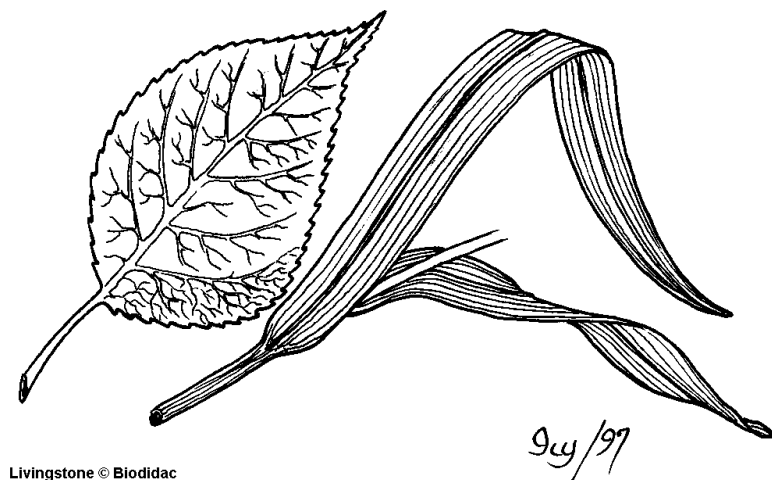


Slika 29: Lovilne pasti mesojede rastline in listne vitice pri grahu. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Ovršni listi ali brakteje so nameščeni na vrhu stebela v reproduktivni regiji. Ščitijo razvijajoče se popke (takrat jih imenujemo podporni listi), lahko pa pridobijo tudi ekološko funkcijo (npr. privabljanje žuželk) in tako spominjajo na liste cvetnega odevala (so barviti). V tem primeru jih imenujemo krovni listi ali brakteje. Med brakteje spadajo spata pri sobni kali (*Calla* sp.), kačnikovkah in flaminogovcu (*Anthurium* sp.) ali rdeči zgornji listi pri božični zvezdi (*Euphorbia pulcherrina*).



Slika 30: Brakteje pri lipi (*Tilia* sp.) in drenu (*Cornus* sp.). Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>



Slika 31: Primerjava lista dvo- in enokaličnice. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Anatomska zgradba listov

Listi so se evolucijsko razvili iz stebela za bolj učinkovito absorpcijo svetlobnih žarkov. Velika večina odraslih, popolnoma razvitih listov, kaže nekatere skupne značilnosti: so bifacialni (imajo dve površini, zgornjo ter spodnjo, ki se ponavadi razlikujeta). Če jih prerežemo prečno, opazimo značilno razporeditev tkiv: na zgornji strani je zgornja povrhnjica (epidermis), pod katero se nahaja fotosintetsko tkivo - eno- ali večplastni palisadni parenhim. Pod njim se nahaja gobasti parenhim, najbolj zunaj pa je spodnja povrhnjica. Spodnja povrhnjica vsebuje diferencirane epidermalne celice – zapiralke, ki oblikujejo kompleks listnih rež. Nad listnimi režami se nahaja zračni prostor v gobastem mezofilu. Ker je gobasti mezofil prepreden z medceličnimi prostori, ga imenujemo tudi fotosintetski aerenhim, saj služi prezračevanju lista. Listne reže se v manjšem številu lahko nahajajo tudi v zgornji povrhnjici. Iz povrhnjice lahko izraščajo žlezni ali nežlezni trihomi. Med palisadnim in gobastim parenhimom se nahajajo žile. Takemu »nespecializiranemu« listu pravimo mezomorfen list.

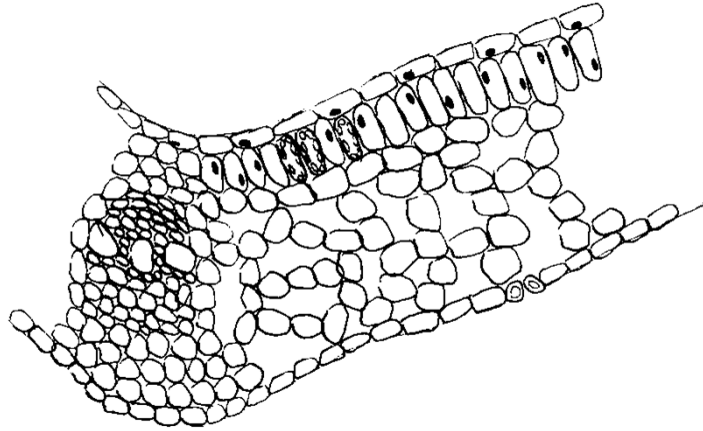


Slika 32: Primer bifacialnega mezomorfnega lista.

Poleg omenjenega bifacialnega tipa lista poznamo tudi ekvifacialen tip lista, pri katerem sta zgornja in spodnja stran lista sta enaki, listna sredica pa je enotna. Primer takega lista je na primer borova iglica. Tretji tip lista je unifacialen: ta ima razvito le eno stran lista, listna sredica je enotna. Primer je okrogel list čebule (*Allium cepa*) ali drobnjaka (*Allium schoenoprasum*) ali list perunike (*Iris* sp.).

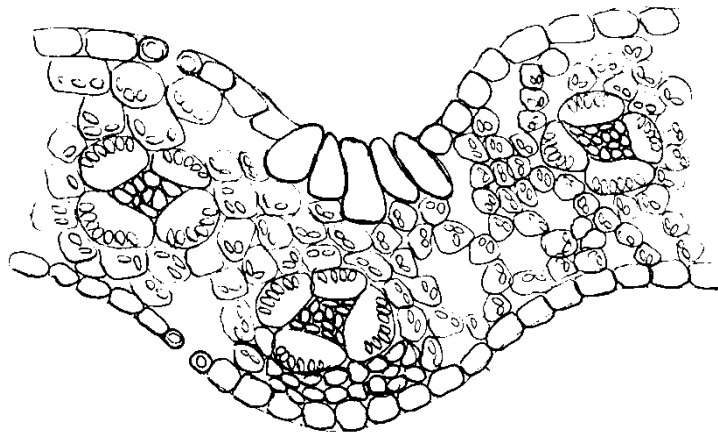
Listi pa so prilagojeni tudi na drugačna življenjska okolja. Govorimo o ekoloških prilagoditvah. Zgoraj omenjeni mezomorfni listi so značilni za rastline iz zmerno vlažnih okolij. Zaradi zmerne okolja ne potrebujejo večjih prilagoditev, kljub temu pa morajo preživeti obdobja suše ali mraza. Zaradi težkih zimskih razmer številne mezomorfne rastline jeseni odvržejo liste in spomladi naredijo nove.

V sušnejših okoljih najdemo rastline s kseromorfnimi listi, prilagojenimi na sušo, v vodnih okoljih pa hidromorfne liste, ki so prilagojeni na življenje v vodi.



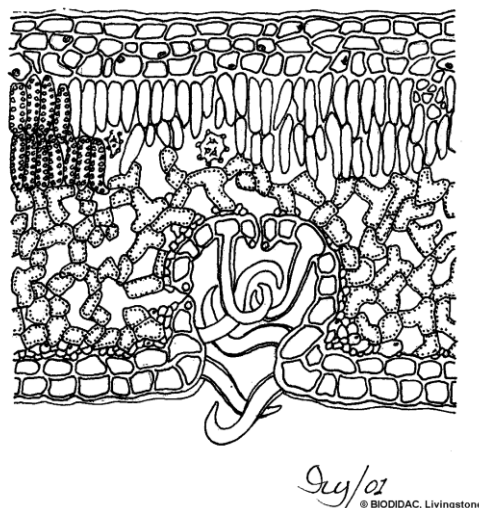
Slika 33: Prečni prerez mezomorfne lista.

Med kseromorfni listi bomo omenili liste koruze, ki kažejo tako anatomske kot fiziološke prilagoditve na sušo. Koruza (*Zea mays*) je trava, torej predstavnica enokaličnic. Enokaličniški listi so ponavadi vzporedno žilnati, zato v prečnem prerezu opazimo vse žile prerezane enako - prečno. Koruza ima navpično usmerjene liste, ki imajo enoten mezofil - ni diferenciacije na gobasto in palisadno tkivo. Žile so obdane z opaznimi parenhimskimi celicami žilne ovojnice. Te celice igrajo vlogo pri C4 fotosintezi. Večje žile imajo na spodnji in zgornji strani sklerenhimska vlakna, ki nudijo listu oporo. Listne reže so prisotne na obeh straneh. Poleg listnih rež pa v zgornji povrhnjici opazimo tudi specializirane epidermalne celice, t.i. mehurjaste celice s tankimi stenami, ki pomagajo pri zvijanju listov v sušnih pogojih. Ob pomanjkanju vode v njih turgor pade, celice uplahnejo, zgornja povrhnjica pa zaradi tega postane manj napeta, zato se listi zvijejo.



Slika 34: Prečni prerez lista koruze z detajlom žile.

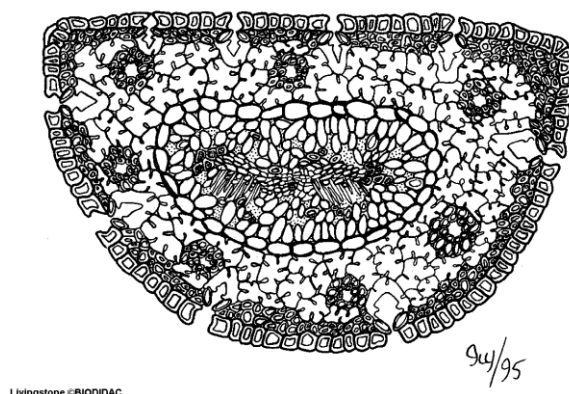
Rastline, ki rastejo v sušnih okoljih, so neredko podvržene suši in intenzivnemu sončnemu sevanju. Take rastline imajo kseromorfne značilnosti, rastlinam pa pravimo kserofiti. Take rastline so ponavadi s pomočjo globokega koreninskega sistema sposobne črpati vodo iz zemlje ter jo shranjevati v tkivih. Zaradi pomanjkanja vode morajo rastline z njo varčevati – razvile so se številne prilagoditve, ki jim pomagajo preživetje v težkih razmerah. Kaktusi imajo liste preobražene v trne, s čimer zmanjšujejo transpiracijo, v steblih pa imajo posebno tkivo, v katerem shranjujejo vodo. Fotosinteza poteka v preobraženem stebelu. Debela kutikula, prisotna pri številnih kseromorfih rastlinah, zmanjšuje izgubo vode skozi povrhnjico. Tudi sama povrhnjica je lahko večplastna, vsaka dodatna plast predstavlja oviro za molekule vode. Listne reže se pri številnih rastlinah pojavljajo izključno na spodnji strani listov. Dodatne prilagoditve vključujejo prisotnost laskov in ugreznjenih listnih rež. Poleg tega lahko rastline prenašajo močno sončno sevanje (radiacijo). Palisadni parenhim je lahko večplasten, kar je značilno za liste, ki rastejo v močno osvetljenih razmerah. Primer kseromorfne lista je list oleandra.



Slika 35: Prečni prerez kseromorfne lista - oleandra. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Tudi iglice golosemenk so listi, ki pa so se na sušno okolje prilagodile s specifično obliko in anatomskimi značilnostmi. Klub temu, da številne golosemenke rastejo v relativno vlažnih okoljih, listov v neugodnih razmerah (pozimi) ne odvržejo. Takrat se srečajo s sušo, saj je voda v zamrznjenih tleh za rastline nedostopna.

Ker se pri iglicah zgornja in spodnja stran listov ne razlikujeta, govorimo o ekvifacialnem tipu lista. Debelostenska povrhnjica je pri borovi iglici pokrita z debelo kutikulo. Pod povrhnjico se nahaja hipoderm iz sklerenhimskih celic, v katere so ugreznjene listne reže. Fotosinteza poteka v krpatih celicah - to so značilno oblikovane celice, ki ležijo pod hipodermom. Med fotosintetskim tkivom so razporejeni smolni kanali - votline, obdane z žleznimi celicami. Na sredini iglice se nahaja prevodni cilindar. Obdan je z endodermom (brez Kasparijevih prog). Znotraj prevodnega cilindra sta dve kolateralni žili, med katerima je transfuzijsko tkivo iz parenhimskih celic in traheid.



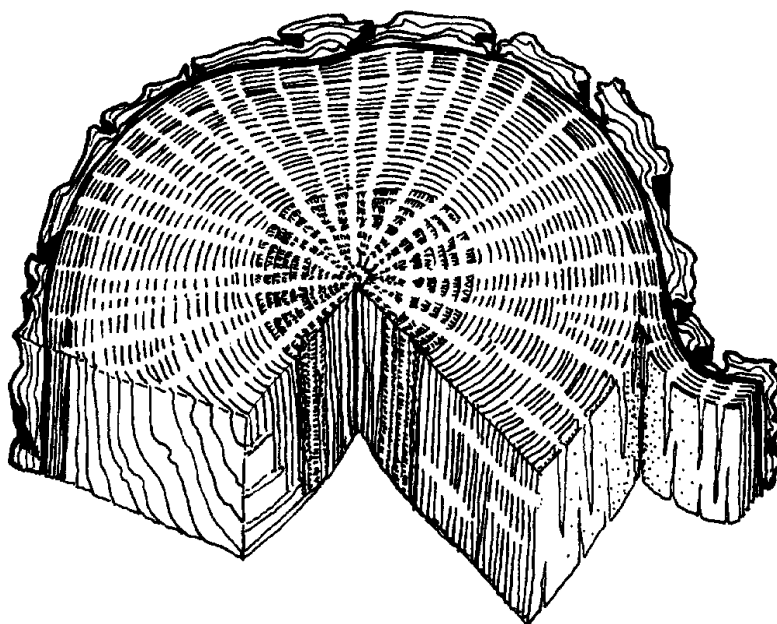
Slika 36: Prečni prerez kseromorfne lista – borove iglice. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Nekatere rastline preživijo v sušnih okoljih z malo padavinami s kombinacijo kseromorfni značilnosti ter metabolnimi prilagoditvami (npr. CAM metabolizem). Nekatere kopičijo vodo v specializiranih tkivih v steblu ali listih - takim rastlinam pravimo sukulente. Tkiva za shranjevanje vode se razvijejo iz klorenhimskih celic, ki močno nabreknejo, njihova osrednja vakuola pa se poveča. Razlika med palisadnim in gobastim mezofilom se zmanjša ali celo izgine. Izgubo vode preprečujejo z zapiranjem listnih rež podnevi. Odprejo se šele ponoči, ko temperatura pade in se vlažnost poveča. Ponoči torej rastline absorbirajo CO_2 in ga v vakuolah v obliki malata shranijo čez noč. Podnevi se malat sprosti in pretvori v piruvat ter vstopi v svetlobne faze fotosinteze. CAM metabolizem je bil najprej odkrit pri tolstičevkah (*Crassulaceae*), pojavlja pa se tudi pri dvokaličnicah in številnih enokaličnicah, med drugim na primer pri ananasu in taščinem jeziku (*Sansevieria*).

Popolnoma drugačne prilagoditve pa kažejo rastline vlažnih okolij - higrofiti. Take rastline imajo hidromorfne liste, prilagojene na razmere, v katerih živijo. Njihova povrhnjica je enoplastna, kutikula je ponavadi tanka (razen pri plavajočih listih, ki imajo lahko zelo debelo kutikulo na zgornji strani lista), izbočene listne reže in reducirano oporno tkivo. Rastline s plavajočimi listi lebdijo na vodni površini s pomočjo velikih zračnih medceličnih prostorov v gobastem parenhimu. Zaradi svoje lege so izpostavljeni močnemu sevanju in imajo zato razvito debelo kutikulo. V nasprotju z večino kopenskih rastlin so listne reže locirane samo na zgornji strani lista. Zaradi močnega sončnega sevanja je ponavadi razvita večplasten palisadni parenhima. Obsežni zračni prostori v listih in steblu omogočajo difuzijo kisika iz lista preko stebra v korenine. Popolnoma potopljeni listi ne potrebujejo listnih rež, saj poteka izmenjava kisika in ogljikovega dioksida preko tanke prepustne kutikule. Epidermis takih rastlin je slabo razvit ali celo manjka, listi pa so tanki, včasih nitasti, da prispevajo k ugodnemu razmerju med površino in volumenom. Kljub reduciranim opornim tkivom rastjo potopljene rastline pokonci proti svetlobi - oporo jim dajejo zračni kanali. Vodni transportni sistem je močno reduciran, saj je voda prisotna okoli in okoli rastline. Palisadnega parenhima ni, saj je intenziteta svetlobe znotraj vodnih teles majhna.

5. SEKUNDARNA RAST

Rast v višino omogoča rastlinam kar čim večji izkoristek svetlobe, vendar rabijo zaradi tega rastline dodatno oporo. Parenhim in sklerenhimska vlakna namreč ne nudita več zadostne opore, zato se je pri takih rastlinah razvila sekundarna rast. Meristema, ki omogočata rast v širino, sta prevodni in plutni kambij. Poleg opore pa služijo tkiva, ki so se razvila s sekundarno rastjo, tudi za prevajanje snovi po rastlini. Sekundarna rast je značilna za dvokaličnice in golosemenke. Pri enokaličnicah normalne sekundarne rasti ne poznamo, se pa pri nekaterih rodovih pojavlja neobičajna sekundarna rast (juka, zmajevcevec, palme...).



Slika 37: Prečni prerez starejšega debla z vidnimi tremi prerezi: prečnim, tangencialnim in radialnim. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Sekundarna rast se začne z nastankom medžilnega kambija. Ta se razvije iz parenhimskih celic in se postopoma poveže z žilnim kambijem v sklenjen kambialni obroč - prevodni kambij. Prevodni kambij proizvaja navznoter celice sekundarnega ksilema (les), navzven pa sekundarni floem (ličje). Medžilni kambij proizvaja tudi žive parenhimske celice - sekundarne strženove trakove. Ti potekajo radialno in omogočajo transport organskih snovi iz skorje v les.

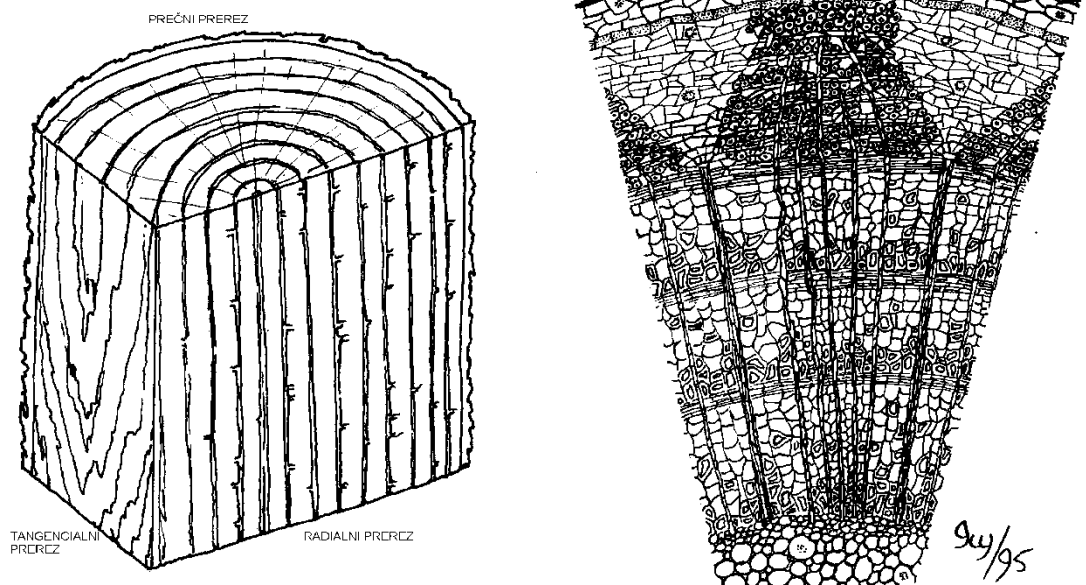
V korenini nastane prevodni kambij iz parenhimskih celic med ksilemom in floemom ter iz pericikla nad ksilemskimi žarki. Sprva je kambijalni obroč zvezdast (sledi obliki žile), sčasoma pa se spremeni v krožnega. V zmernih klimatih lahko opazimo, da je kambij najbolj aktiven spomladi in poleti, jeseni in pozimi pa njegova aktivnost upade oz. miruje. Zaradi razlik v hitrosti nastajanja sekundarnega ksilema in floema lahko v prerezu debla opazimo letnice.

SEKUNDARNI KSILEM ALI LES

Prečni prerez lesa razkrije prisotnost letnic in branik, ki predstavljajo enoletni prirast lesa. V njih ločimo spomladanski (rani) les s širokimi trahejami (samo pri dvokaličnicah) in traheidami s tankimi celičnimi stenami. Spomladanski les prehaja v poletni pozni les, ki ga gradijo traheje in traheide z ožjimi lumni in debelejšimi celičnimi stenami. Jeseni se rast v našem podnebju zaključi, ponovno se začne naslednje leto spomladi. Razlika med poletnim in spomladanskim lesom predstavlja letnico, enoletni prirast lesa pa imenujemo branika. V tropskem podnebju, kjer letnih časov ni, rastejo drevesa neprekinjeno in letnic ni.

V osrednjem delu debla je les ponavadi temnejši in ga imenujemo črnjava. Ta del ponavadi služi zgolj za oporo, saj je zamašen, poleg tega pa je impregniran s produkti čreslovin (flabofeni), ki les ščitijo pred trohnenjem. Zunanji del lesa je svetlejši in mu pravimo beljava.

Les golosemenk gradijo samo traheide (pri njih vidimo specializirano oblikovane obokane piknje), ki služijo za prevajanje vode in kot opora. Traheje niso prisotne, pojavijo se pri dvokaličnicah, kjer so skupaj s parenhimskimi celicami prevzele vlogo prevajanja snovi po lesu. Prisotni so tudi smolni kanali, ki potekajo tako vzdolžno kot tudi prečno. V lesu golosemenk so parenhimske celice večinoma omejene na strženove trakove in smolne kanale. Les dvokaličnic je kompleksnejše zgrajen kot les golosemenk, saj ga sestavlja več različnih celičnih tipov (npr. traheje, traheide, lesna vlakna, vlaknaste traheide in s škrobom bogate parenhimske celice), prevajanje vode pa je učinkovitejše kot pri golosemenkah.



Slika 39: Levo: možni načini prereza olesenelega stebra. Desno: Prečni prerez starejšega olesenelega stebra lipe (*Tilia* sp.). Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Pri nekaterih dvokaličnicah nastajajo traheje z velikimi lumni skozi vso rastno sezono, zato so v prečnem prerezu razporejene bolj ali manj enakomerno. Lipov les zato štejemo kot raztreseno porozen les. Nekatere druge vrste olesenelih dvokaličnic, na primer hrasti, imajo traheje samo v spomladanskem lesu, v poletnem jih skorajda ni. Tak les je venčasto porozen. Zaradi velikega števila trahej prevajajo lesnate dvokaličnice vodo bolj učinkovito kot golosemenke, ki imajo za prevajanje vode na voljo le traheide. Dobro prevajanje vode je nujno potrebno zaradi večje transpiracije, saj dvokaličnice izgubljajo večje količine vode skozi liste kot je izgubljajo kserofitske golosemenke skozi iglice.

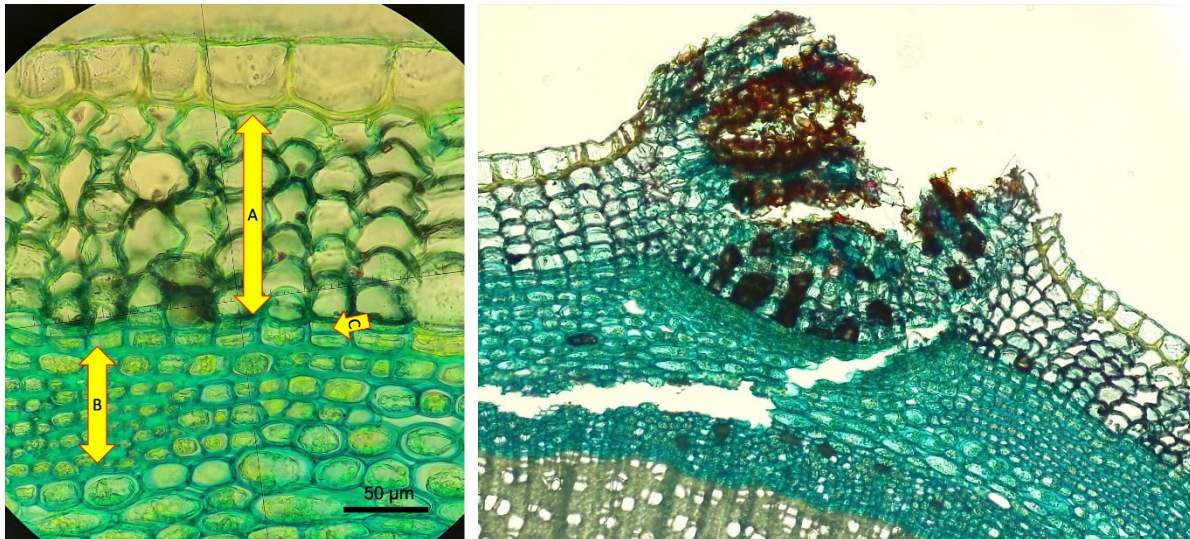
SEKUNDARNI FLOEM ALI LIČJE

Naloge sekundarnega floema so prenos asimilatov na daljše razdalje, njihovo shranjevanje ter zaščita pred infekcijami (čreslovine, smola, mleček). Ličje je sestavljeno iz izmenjujočih se mehkih in trdih delov. Mehke dele sestavljajo žive parenhimske celice, prevajalne floemske celice (sitaste celice ali celice sitastih cevi) in spremljevalke oz. albuminske celice, trde dele pa likova vlakna. V enem letu nastaneta tako mehek kot trd del skorje. Parenhimske celice sekundarne skorje sledijo sekundarni debelitvi - se razširjajo. V starejših plasteh sekundarne skorje izginejo sitasti elementi, nadomestijo jih parenhimske celice in likova vlakna. Celice strženovih trakov omogočajo povezavo med sekundarno skorjo, lesom in korenino.

SEKUNDARNA KROVNA TKIVA - PERIDERM ALI PLUTA

Ko pride do sekundarne rasti in olesenevanja, tanka povrhnjica ne more več služiti svojemu prvotnemu namenu zaščite zelnate rastline. Ob sekundarni debelitvi stebela nastajajo pritiski, zaradi katerih začne povrhnjica pokati. Iz celic, ki so pod epidermisom, se razvije sekundarno krovno tkivo periderm. Periderm je sestavljen iz treh območij (felem ali pluta, felogen ali plutni kambij in feloderm), med katerimi je najdebelejši del pluta. Pluta preprečuje transpiracijo še bolj kot povrhnjica, nudi pa tudi fizično zaščito pred poškodbami in mrazom. Za namene prezračevanja tkiv pod pluto pa se v njej razvijejo posebne strukture, imenovane lenticеле. Te nastanejo tako, da plutni kambij proizvaja kroglaste polnilne celice, obdane z velikimi medceličnimi prostori. Skozi lenticеле poteka pasivna transpiracija.

Mrtva tkiva, ki se nahajajo nad floemom, imenujemo lubje.



Slika 39: Levo: vrhnje plasti mladega poganjka črnega bezga. Tanjši sloj celic predstavlja plutni kambij ali felogen (C), nad njim pa se nahaja pluta ali felem (A). S črko B je označen ploskovni kolenhim. Desno: lenticela v steblu črnega bezga.

6. RAZMNOŽEVANJE

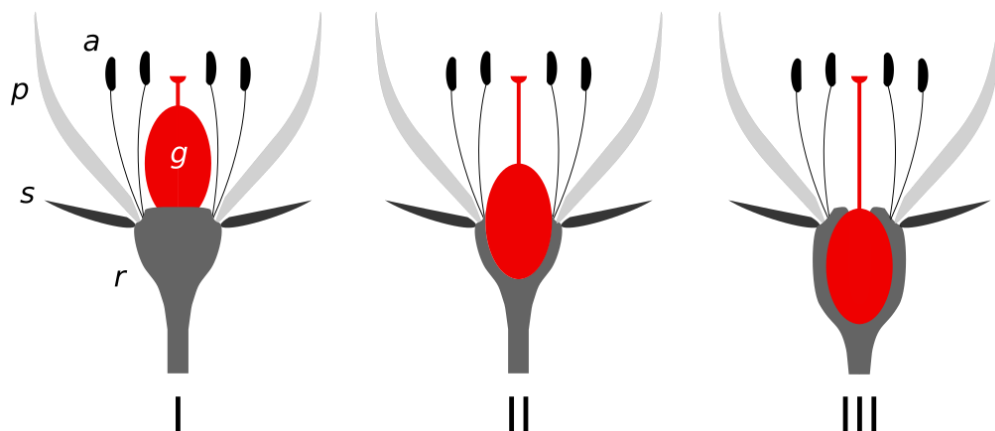
CVET

Cvetovi so rastlinski organi, prisotni pri vseh semenkah. Pri golosemenkah je cvet zelo poenostavljen, gol in s semenskimi zasnovami, ki jih ne obdaja stena plodnice, temveč prosto sedijo na plodnih listih (karpelih) ali v njihovih zalistjih. Pri kritosemenkah so semenske zasnove znotraj pestiča, ki nastane iz enega ali več zraslih plodnih listov. V nadaljevanju je opisana zgradba cvetov in način razmnoževanja pri kritosemenkah.

Cvet je kratek poganjek z omejeno rastjo, ki ga tvori reproduktivni apikalni meristem. Cvetni pecelj se konča z odebeljenim koncem peclja - cvetiščem (pecelj in cvetišče skupaj imenujemo cvetna os), na katerem so nameščeni cvetni deli: cvetno odevalo, prašni listi (prašniki) in plodni listi (karpeli), ki gradijo pestič. Pri pecljatih cvetovih je cvetni pecelj dobro razvit in viden, pri sedečih cvetovih pa je cvetni pecelj slabo viden ali ga sploh ni. Cvetišče je lahko ploščato, izbočeno (jagodnjak) ali vrčasto (šipek). Cvetno odevalo je dvojno, če ga sestavljata dva kroga cvetnih listov - čašni in venčni. Oboji so sterilni, lahko so med seboj zrasli ali prosti. Z izjemo nekaterih izvirnih skupin, pri katerih so cvetni listi nameščeni spiralasto (na primer pri magnolijah), so pri večini rastlin nameščeni vretenasto. Glede na število cvetnih listov na posameznem vretencu ločimo trištevne, štirištevne in petštevne cvetove. V cvetovih kritosemenk so cvetni listi razmeščeni večinoma v petih ali štirih vretencih (pentaciklični oz. tetraciklični cvetovi). Če je cvetno odevalo enojno, ga imenujemo perigon. Tako odevalo sestavljajo cvetni listi, ki so si po barvi in obliki podobni (na primer lilija, tulipan...). Pri nekaterih vrstah cvetno odevalo ni razvito - takim cvetovom pravimo goli cvetovi.



Slika 40: Zvezdasto someren cvet jetrnika (levo) in dvobočno someren cvet kadulje (desno).

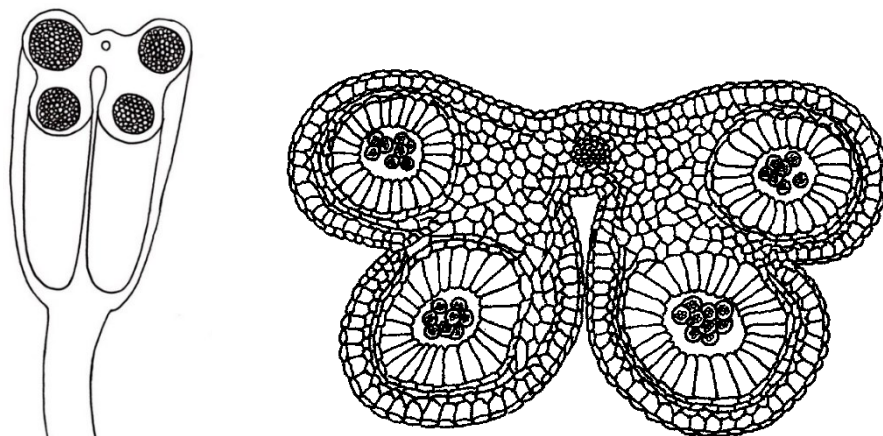


Slika 41: Zgoraj: tipi placencije: levo aksilarna, sredina prosta centralna, desno parietalna. Spodaj: lega plodnice (rdeče) v cvetu: I nadrasla, II polpodrasla, III podrasla. Vir: <https://en.wikipedia.org/>

Prašniki

Prašnik je sestavljen iz prašnične niti (filamenta) in prašnice (antere). Vsaka prašnica je iz dveh polprašnic s po dvema pelodnima vrečkama ali mikrosporangijema, v katerih se nahaja sporogeno tkivo. Pri nekaterih vrstah so prašniki brez prašnične niti. Prašniki so v cvetu lahko prosti ali pa so med seboj zrasli s prašničnimi nitmi ali s prašnicami. Prašniki enega cveta so lahko vsi enako veliki ali pa so različno dolgi, npr. pri družinah ustnatic (Lamiaceae) ali križnic (Brassicaceae).

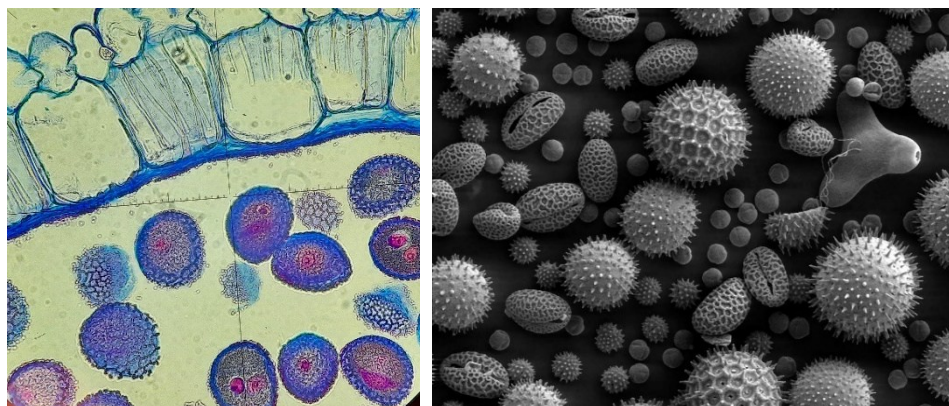
Na prečnem prerezu prašnice sta jasno vidni dve enaki polovici, ki ju imenujemo polprašnici; vsaka ima dve pelodni vrečki, v katerih se bodo razvila pelodna zrna (cvetni prah). Pelodne vrečke so obdane s steno prašnika; najbolj zunanji del stene (površino prašnika) prekriva enoslojna povrhnjica, pod njo se nahaja enoplastni endotecij s posebnimi stenskimi odebelitvami, pod njim pa še 1-3 osrednje plasti celic stene: Najbolj notranja plast stene je tapetum, ki prehranjuje nastajajoča pelodna zrna. V osrednjem delu prašnika se nahaja parenhimsko tkivo, ki predstavlja mesto pritrditve prašnice na prašnično nit. Ob zrelosti se polprašnici razpreta na mestu, kjer je tkivo najtanjše - to mesto imenujemo ustje ali stomij. Pri odpiranju imajo vlogo značilne stenske odebelitve endotecija.



Slika 42: Levo: prečni prerez prašnika. Desno: podelj prečnega prereza prapnika s štirimi pelodnimi vrečkami (mikrosporangiji). Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Pelodna zrna nastajajo v sporognem tkivu pelodnih vrečk. Pri mejotski delitvi nastanejo iz vsake materinske celice mikrospore po štiri haploidne mikrospore (pelodna zrna). Vsaka mikrospora se naknadno mitotsko deli - tako nastane dvoceličen mikrogametofit z vegetativno in generativno celico. Pelodna zrna so obdana z odporno dvoplastno pelodno steno. Notranja plast intina je celulozna, zunanja eksina pa je iz sporopolenina, ene najodpornejših organskih snovi v naravi, ki pelodu omogoča dolgotrajno preživetje peloda. V pelodni steni so aperture, skozi katere požene po oploditvi pelodni mešiček. Oblike aperture in strukturiranost pelodne stene lahko služita kot določevalni znak, saj sta rodovno ali vrstno specifična. Trave imajo na primer bolj ali manj gladko eksino, medtem ko je pri sončnici eksina izrazito bodičasta.

Za tem sledi še ena mitotska delitev, v kateri nastaneta dve spermalni celici (mikrogameti). V tem stadiju je pelodno zrno tricelično. Do zadnje delitve pride ponavadi šele takrat, ko pelodno zrno pade na brazdo pestiča.



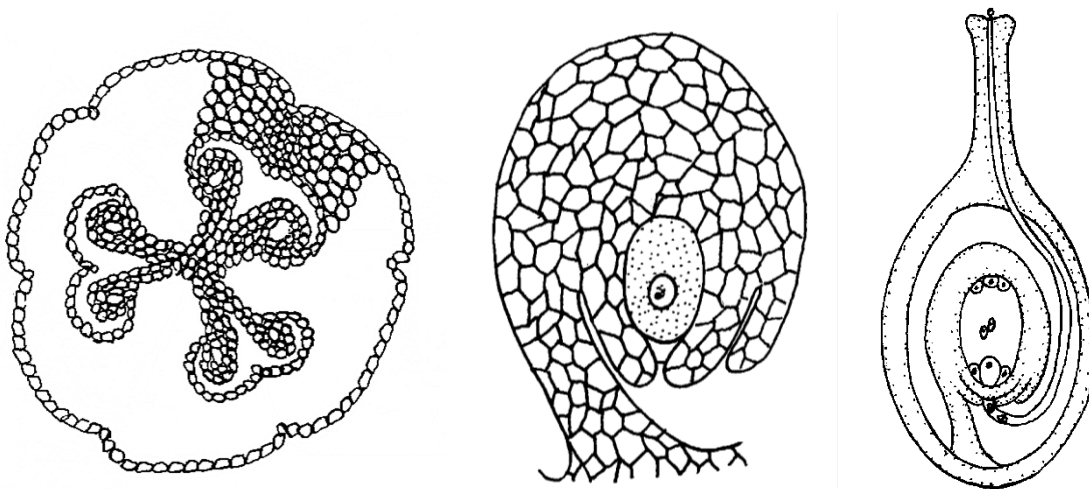
Slika 43: Levo: Razvijajoča se pelodna zrna v mikrosporangiju. Lepo je viden endotecij z odebelitvami celične stene ter pelodna zrna v enojedrnem in dvojedrnem stadiju. Desno: mešanica pelodnih zrn različnih rastlin. Vir: <https://sl.wikipedia.org/>

Pestič

Pestič je sestavljen iz plodnice, vratu pestiča in ene ali več brazd. Sprejemno mesto za pelod je brazda pestiča. Ta je zato specifično oblikovana. Ko ustrezno pelodno zrno pade na brazdo, začne kaliti. Skozi aperturo v steni požene pelodni mešiček, ki prodira po vratu pestiča proti semenski zasnovi. Takrat pride ponavadi tudi do mitotske delitve generativnega jedra, v kateri nastaneta dve spermalni jedri/celici (mikrogameti). Do zadnje delitve pride ponavadi takrat, ko pelodno zrno pade na brazdo pestiča.

Spermalni jedri vstopita preko drobne odprtine (mikropile) v embrionalno vrečko. Eno spermalno jedro se z jajčno celico združi v diploidno zigoto, drugo pa se združi s polnima jedroma v triploidni endosperm. Ta dogodek imenujemo dvojna oploditev. Iz zigote se razvije zarodek (embrio), ki z mitotskimi delitvami raste: najprej je zarodek kroglast, kasneje se razvijejo klični listi, nato pa zarodek podaljša, razvijejo se še radikula, hipokotil in epikotil.

Plodnica je struktura iz enega ali več predalov, v katerih so na različne načine nameščene semenske zasnove. Iz vsake (oplojene) semenske zasnove se lahko razvije seme. Po legi v cvetu je plodnica lahko nadrasla, podrasla ali polpodrasla. Nadrasla plodnica se nahaja na površini cvetišča, podrasla plodnica je zrasla s cvetiščem tako, da so vsi cvetni deli nad cvetiščem, polpodrasla plodnica pa je v spodnjem delu zrasla s cvetiščem, zgornji del pa je prost. Iz plodnice (včasih pa tudi iz dodatnih drugih cvetnih struktur) se razvije plod.



Slika 44: Levo: prečni prerez plodnice. Sredina in desno: detajl semenske zasnove in dvojna oploditev. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

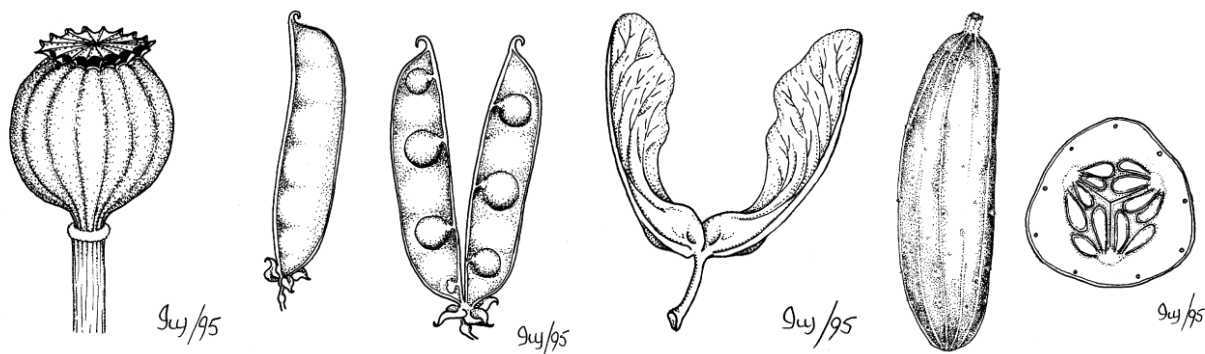
PLOD

Po oploditvi se iz semenske zasnove razvije seme, hkrati pa se iz plodnice (karpelov) - včasih pa tudi iz drugih cvetnih delov - začne razvijati plod. Glede na morfologijo delimo plodove na a) enostavne, ki se razvijejo iz enega samega pestiča, b) birne, ki se razvijejo iz več nezraslih pestičev enega cveta ter na c) soplodja, ki nastanejo iz socvetja.

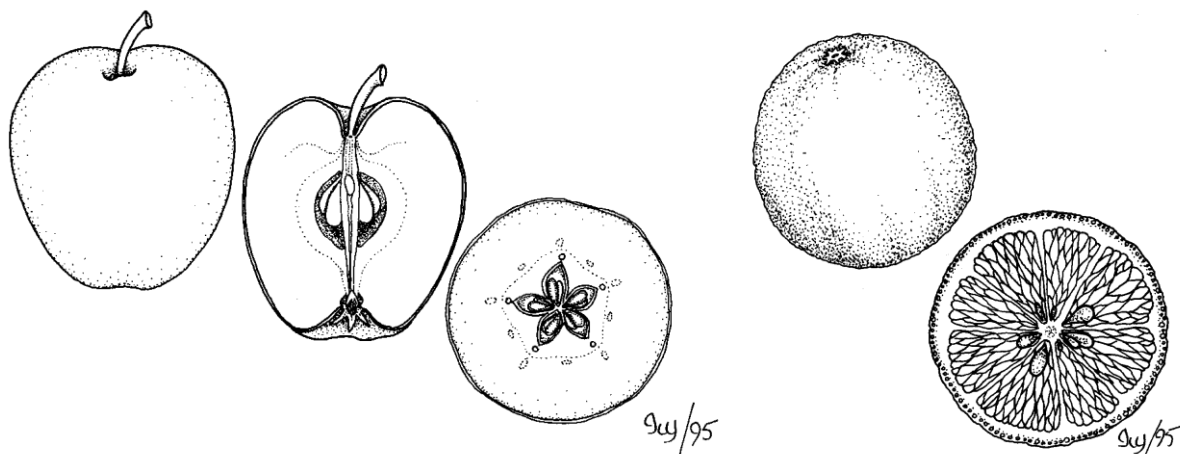
1. Enostavni plodovi

Stena ploda (perikarp) je pogosto sestavljena iz treh plasti: zunanjega eksokarpa, sestavljenega iz zunanje povrhnjice in njenih derivatov; sredinskega mezokarpa, ter notranjega endokarpa, ki vključuje notranjo povrhnjico z derivati.

Za enostavne plodove je značilno, da nastanejo iz enega pestiča (če je v cvetu več ločenih pestičev, nastane več plodov). Lahko so sočni ali suhi. Oboje naprej razdelimo na sejalne (se odpirajo in semena se iztresejo) in zaprte plodove (se ne odpirajo).



Slika 45: Makova glavica, grahov strok, javorjev pokovec in jagoda kumare. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>



Slika 46: Pečkat plod jabolka in jagoda pomaranče. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

Enostaven plod je sestavljen iz semen in osemenja (stene ploda ali perikarpa). Njegov glavni namen je zaščita in raznos semen. Osemenje je sestavljeno iz treh slojev: zunanjega eksokarpa, sestavljnega iz zunanje povrhnjice in njenih derivatov; sredinskega mezokarpa, ter notranjega endokarpa, ki vključuje notranjo povrhnjico z derivati, izvira pa iz stene plodnice (zraslih plodnih listov). Na zunanjem eksokarpu so pogosto izrastki, ki pomagajo pri razširjanju plodov. Endokarp je pogosto trd in sklerenhimski, saj tako najbolje ščiti kalček semena. Mezokarp je pogosto debel, sočen in parenhimatski, izvira iz sredice plodnih listov.

Za enostavne sejalne plodove je značilno, da se semena iztrosijo, osemenje je suho, prisotnih je več semen. Taki plodovi se lahko razvijejo iz enega ali več plodnih listov (karpelov). Iz enega plodnega lista nastaneta mešiček (zlatičnice) in strok, iz dveh ali več karpelov pa glavica (pri maku se odpira s porami, pri peruniki z vzdolžnimi razpokami, pri klinčnicah z zobci, pri trpotcu s pokrovcem). Tudi plod divjega kostanja (*Aesculus hippocastaneum*) je 1-3 predalasta bodičasta glavica z 1-3 semeni. Iz 2 zraslih karpelov nastaneta lusk in lušček (križnice), ki tudi spadata k podskupini glavic. Za enostavne sejalne plodove je značilno, da se perikarp prej ali slej posuši, kar povzroči njegovo sunkovito odpiranje, pri čemer se semena iztrosijo. Izjemoma imajo sejalni plodovi omesenel perikarp (sočne glavice nedotike).

Enostavne zaprte plodove trajno obdaja osemenje in semena odpadejo skupaj z njim. Lahko so sočni ali suhi. Med sočne zaprte plodove uvrščamo jagode, koščičaste plodove in pečkate plodove. Jagode imajo sočno osemenje in večje število semen. Primere jagod najdemo v grozdu vinske trte, pri paradižniku, papriki, kumari, buči, borovnici, limonovcu, ribezu, kakiju, kiviju ali češminu. Koščičasti plodovi imajo eksokarp v obliki kože, sočen mezokarp ter koščičast sklerenhimski endokarp. Koščilčaste plodove imajo na primer oljka, oreh, kokos ali številne rožnice (*Prunoidae*) iz rodu *Prunus* (sliva, češnja, breskev, marelica). Pečkati plodovi so podskupina koščičastih plodov, ki jih najdemo pri rodovih rožnic iz skupine *Maloidae*, kot so glog, jablana, hruška, jerebika ali kutina.

Zaprte suhi plodovi se tudi ob zrelosti ne odprejo. Orehi so zaprti, suhi, večinoma enosemnski plodovi zlatice, srobota ali sretene (brazda in vrat pestiča se ohranita in prevzameta funkcijo razširjanja semen); orehi so tudi lešniki, bukov žir, hrastov želod in plod pravega kostanja (*Castanea sativa*). Krilati oreški imajo krilate izrastke plodnice in so nastali iz dveh zraslih plodnih listov, kot npr. pri brezi, brestu ali jesenu. Pokovci so zaprti suhi plodovi iz 2 ali več karpelov, združenih na skupnem pecljatem plodonoscu. Ob zrelosti razpadejo na plodiče, ki odpadejo, na rastlini pa ostane plodonosec. Značilni so za kobulnice. Sem štejemo tudi javorov plod, ki ima krilate izrastke plodnice za razširjanje plodov. Členasti plodovi so večsemnski lomljivi plodovi, ki razpadejo v enosemnske plodiče. Med suhe plodove sodijo tudi golci trav in rožke (ahene) košarnic.

2. Birni plodovi

Nastanejo iz več pestičev enega samega cveta. Pri jagodnjaku se posamezni pestiči razvijejo v oreške, ki se nahajajo na omesenelem cvetišču. Pri šipku so oreški ugreznjeni v omesenelo cvetišče, pri malini in robidi pa posamezni pestiči omeseni in se razvijejo v koščičaste plodnice, ki se med seboj povežejo v birni plod.

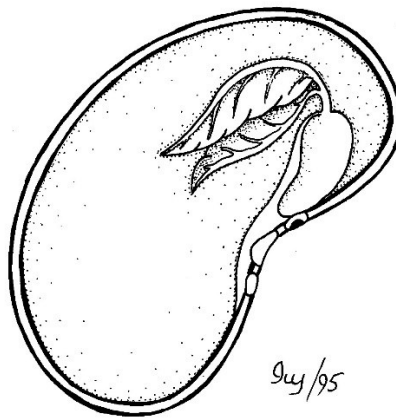
3. Soplodja

Pri soplodjih se celotno socvetje razvije v en plod in služi kot enota za razširjanje semen. Primer soplodjij predstavljajo figa, murva, ananas, hmelj, storži iglavcev...

Pri nekaterih rastlinah se plodovi razvijejo brez oploditve. Ta pojav imenujemo partenokarpija. Taki plodovi so brez semen ali pa so semena prazna ali slabo razvita. Pogosti so pri kultiviranih rastlinah (jablane, hruške, trta, pomaranče, ananas, banane).

SEME

Seme, v katerem je glavni vir hranil v triploidnem endospermu, je albuminozno seme. V nekaterih semenih pa se hranila prenesejo v klične liste, ki se močno odebelijo, endosperm pa propade. Tako seme imenujemo eksalbuminozno seme. Seme je sestavljeno iz kalčka (mladega sporofita) in endosperma, ki ju obdaja semenska lupina (testa). Sočasno z razvojem semena se razvija tudi plod. Plod se razvije iz stene plodnice, lahko pa se vanj spremenijo tudi drugi deli cveta, na primer cvetno odevalo in cvetišče. Če plod nastane iz enega samega pestiča, je to enostaven plod, če pa se razvije iz več nezraslih pestičev, je to birni plod. Iz socvetja se razvije soplodje.



Livingstone & BIODIDAC

Slika 47: Prečni prerez semena fižola, v katerem klični list zavzema največ prostora, lepo pa sta že vidna prva prava lista. Vir: <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>

7. CELIČNI CIKEL

Pri vseh evkariontskih organizmih poteka delitev celice na podoben način v procesu, ki mu rečemo mitozo. Pri tem procesu pride najprej do podvojitve dednega materiala, nato pa do njegove prerazporeditve v dve hčerinski celici.

Število kromosomov je karakteristično značilno za vsako vrsto. Človek ima na primer 46 kromosomov, pšenica 42 in korenje 18. Vsak kromosom ponavadi nastopa v paru, tako da ima človek 23 parov kromosomov, pšenica 21, korenje pa 9 parov. Kromosoma, ki pripadata istemu paru, sta homologna, organizem pa je v tem primeru diploiden (označuje se z $2N$). Številne kulturne rastline imajo pomnoženo število kromosomov – govorimo o poliploidih. Banana (*Musa paradisiaca*), ki jo poznamo kot sadež, ima 3 kromosomske sete, torej je triploidna. Med kritosemenkami je skoraj polovica poliploidov.

Pri mitozni vsaka hčerinska celica dobi eno kopijo vsakega kromosoma. Število kromosomov se tako ohranja - taka delitev je značilna za telesne (somatske) celice. V nasprotju z mitozo pride pri mejozi do redukcijske delitve kromosomov - hčerinski celici imata na koncu pol manj kromosomov kot materinska.

Mitoza poteka v več stopnjah (fazah), ki prehajajo ena v drugo: profaza, metafaza, anafaza, telofaza. V obdobju med dvema mitotskima delitvama je celica v interfazi. Celični cikel poteka različno dolgo, dolžina je odvisna tudi od zunanjih dejavnikov (na primer temperature), povečini pa traja od nekaj ur do nekaj dni. Najdaljša faza je interfaza, obdobje pred celično delitvijo. Čeprav na prvi pogled izgleda, da se med interfazo v celici ne dogaja nič pomembnejšega, poteka v tej fazi poteka sinteza celičnih komponent, replikacija DNA in podvajanje kromosomov.

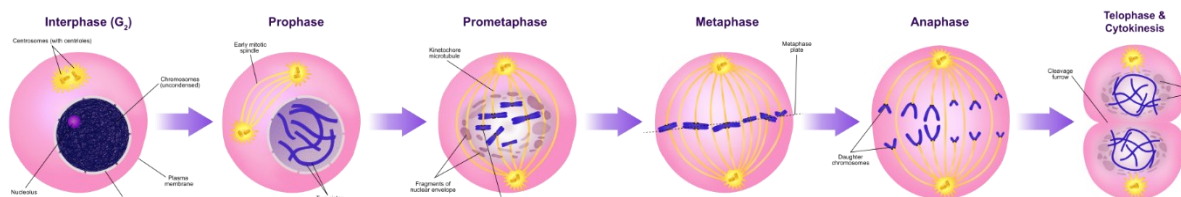


Slika 48: Diagram kromosoma v metafazi. Kromosom je sestavljen iz dveh kromatid (dveh identičnih delov kromosoma, ki nastaneta v S fazi interfaze). Vsaka kromatida ima daljšo in krajšo ročico. Mesto, kjer se kromatidi stikata in kamor se pripnejo mikrotubuli, je centromera.

V zgodnji profazi se kromosomi začnejo zvijati v procesu spiralizacije kromosomov. Vsak kromosom je sestavljen iz dveh enakih podolgovatih delov, kromatid. Vsako kromatido tvori ena zvita molekula DNK. V citoplazmi začnejo nastajati mikrotubuli delitvenega vretena, ki omogočajo potovanje

kromosomov na nasprotna pola celice. Jedrni ovoj razpade. V metafazi niti delitvenega vretena povlečejo kromosome na ekvatorialno ravnino celice. Ker so v tej fazi kromosomi najkrajši in najdebelejši, jih je takrat najlažje opazovati. V anafazi se kromatidi ločita tako, da se materinski kromosom iz dveh kromatid razdeli na dva enokromatidna (hčerinska) kromosoma, niti delitvenega vretena pa ju potegnejo proti nasprotnima poloma. Ko kromosomi dosežejo pol, se anafaza prevesi v telofazo. Med telofazo se mikrotubuli delitvenega vretena postopoma razgradijo, ponovno se začne oblikovati jedrni ovoj. Kromosomi se odvijajo (despiralizirajo) do svoje funkcionalne oblike, znotraj jedra pa se oblikuje jedrce. Sledi citokineza, med katero iz razgrajenega delitvenega vretena nastane obroč, ki prešči pne citoplazmo v dva enaka dela.

Interfaza	Profaza	Metafaza	Anafaza	Telofaza
Jedro v celicah je dobro vidno in obdano z jedrno ovojnico, kromatin je razvit (se podvaja) in v jedru so prisotna so jedrca, središča sinteze rRNA.	Kromatin se začne zvijati in gubati in kromosomi postajajo bolj vidni. Jedrca se zmanjšujejo in nazadnje izginejo, prav tako jedrna ovojnica. Pojavijo se tudi mikrotubuli delitvenega vretena, ki se raztezajo od celičnega pola proti ekvatorialni ravnini.	Kromosomi so jasno vidni, postavijo se v ekvatorialno ravnino celice (v ekvatorialno ravnino so poravnane centromere). Na centromere se pripnejo mikrotubuli delitvenega vretena. Opazne so tanke črte, ki se vlečejo od pola do pola ter od kromosomov proti vsakemu polu.	Mikrotubuli delitvenega vretena začnejo vleči kromatide na nasprotna pola - vidna sta dva skupka kromatid, ki ležita blizu pola celice. Zaradi vlečenja dobijo kromatide obliko črke V. Genetska snov se enako porazdeli med hčerinski jedri.	DNA je vidna kot dva skupka vsak na svojem polu celice. Vsaka hčerinska celica je sestavljena iz enakega števila kromosomov kot starševska. Kromosomi se začnejo razpletati, pojavi se jedrna ovojnica in jedrce. Med jedroma začne nastajati celična plošča, delitveno vreteno izgine.



Slika 49: Faze celičnega cikla. V interfazi kromosomi niso opazni, DNA je prisotna v obliki kromatina znotraj jedrne ovojnice. V profazi DNA kondenzira in kromosomi postanejo vidni. Formira se delitveno vreteno in jedrna ovojnica se razgradi. Kromosomi se v metafazi poravnajo v ekvatorialno ravnino. Sestrski kromatidi se v anafazi ločita in začneta premikati proti poloma. Migracija kromatid je v telofazi zaključena in kromosomi se razpletejo. Pojavi se jedrna ovojnica in jedrca. Vir: en.wikipedia.org

MEJOZA

Do mejotske delitve pride pri spolnem razmnoževanju ob nastanku ženske in moške spolne celice (gamete). Pri mejozi se diploidno število kromosomov zmanjša na haploidno – to se zgodi v dveh korakih. V prvem koraku (mejoza I) poteče prva redukcijska delitev, v kateri se homologni kromosomi razidejo v dve hčerinski celici, število kromosomov v celicah potomkah se zmanjša na polovico. V drugem koraku (mejoza II) poteče običajna mitotska delitev.

8. IZVLEČEK

Gradivo za predmet Biologija rastlin, ki ga poslušajo študentje prvega letnika Agronomije na UP FAMNIT, ponuja pregled ključnih konceptov in znanj, ki so nujna za razumevanje rastlinskega sveta. Gradivo obsega poglavja, ki zajemajo širok spekter tem: od odnosa med rastlinami in človekom, preko citologije, kjer študenti spoznajo celično strukturo in funkcijo, do rastlinskih tkiv in organov, vključno s sekundarno rastjo. Posebna pozornost je namenjena razmnoževanju, ki je ključnega pomena za proizvodnjo kmetijskih produktov, kot sta sadje in semena. Gradivo je podkrepljeno s slikovnimi viri, med katerimi so številni viri avtorski in rezultat lastnega raziskovalnega in pedagoškega dela. Ob koncu dobijo študentje tudi priporočila glede uporabne literature in virov za nadaljnji študij.

Avtorica izraža željo, da bi študenti skozi študij spoznali fascinantni svet rastlin in morda našli navdih za nadaljnje raziskovanje tega področja. Kljub omejenemu času, namenjenemu predmetu, ponuja gradivo bogato izhodišče za poglobljeno študijo rastlin in njihovih procesov, kar je ključno za bodoče agronome pri reševanju globalnih izzivov v kmetijstvu in prehranski varnosti.

9. UPORABLJENA LITERATURA IN VIRI

Uporabljena literatura:

- Bresinsky A., Körner C., Kadereit J.W., Neuhaus G., Sonnewald U. 2013. Strasburger's Plant Sciences. Springer Berlin, Heidelberg. 1302 str.
- Dermastia M. 2007. Pogled v rastline. Ljubljana: Nacionalni inštitut za biologijo. 237 str.
- Evert R.F., Eichhorn S.E. Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development. 3rd Edition. Wiley-Liss. 624 str.
- Martinčič A. in sod. 2010. Mala flora Slovenije: ključ za določanje praprotnic in semenk. 4., dopolnjena in spremenjena izd. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije. 967 str.
- Mauseth J.D. 2019. Botany: An Introduction to Plant Biology: 7th Edition. Jones & Bartlett Learning. 844 str.
- Peterson R.L., Peterson C.A., Melville L.H. 2008. Teaching Plant Anatomy Through Creative Laboratory Exercises. Canadian Science Publishing. 154 str.

Viri slik:

- Živa Fišer: 1, 6-18, 26-27, 32, 39, 40, 42-43, 48
- Dunja Vidič: 33-34, 44
- Ivy Livingstone, Biodidac, <https://omeka.uottawa.ca/biodidac/>: 2-3, 5, 19, 20, 22-31, 35-39, 42, 44-47
- <https://sl.wikipedia.org>: 4-5, 43
- <https://en.wikipedia.org>: 9-10, 15, 19, 41, 49
- <https://de.wikipedia.org>: 21

10. SEZNAM PRIPOROČENE LITERATURE ZA ŠTUDIJO

- Dermastia M. 2007. Pogled v rastline. Ljubljana: Nacionalni inštitut za biologijo. 237 str.
- Mauseth J.D. 2019. Botany: An Introduction to Plant Biology: 7th Edition. Jones & Bartlett Learning. 844 str.
- Peterson R.L., Peterson C.A., Melville L.H. 2008. Teaching Plant Anatomy Through Creative Laboratory Exercises. Canadian Science Publishing. 154 str.