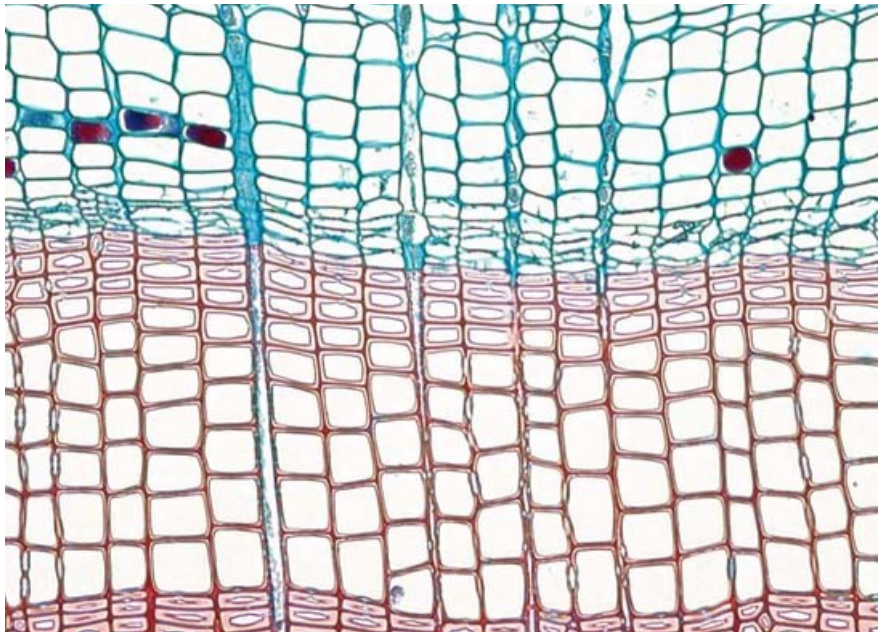
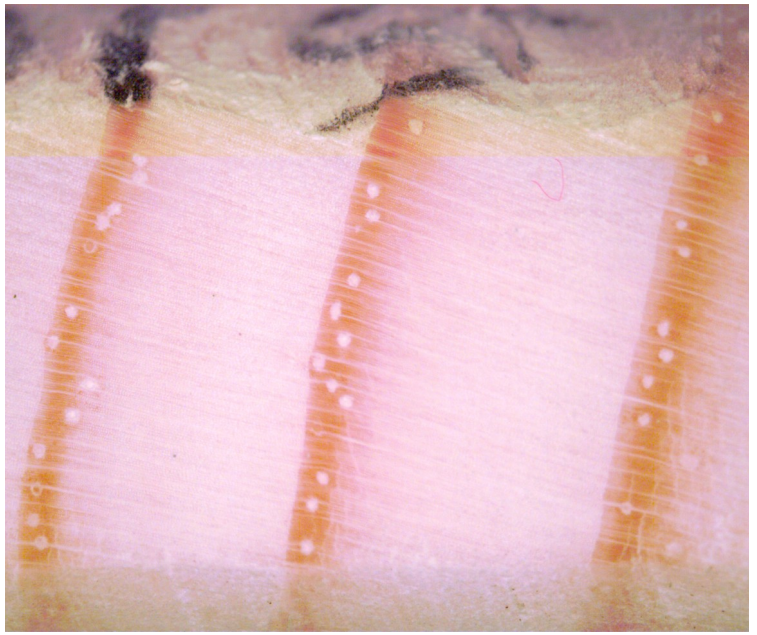
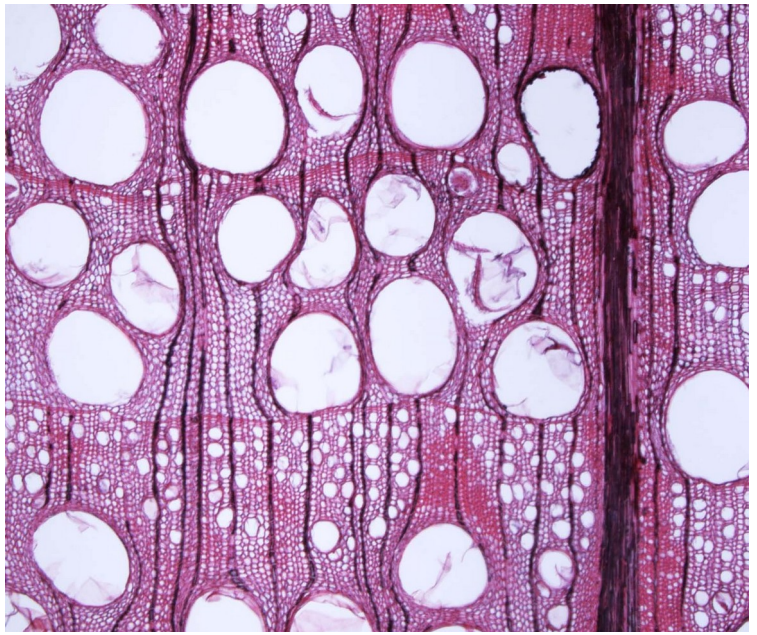
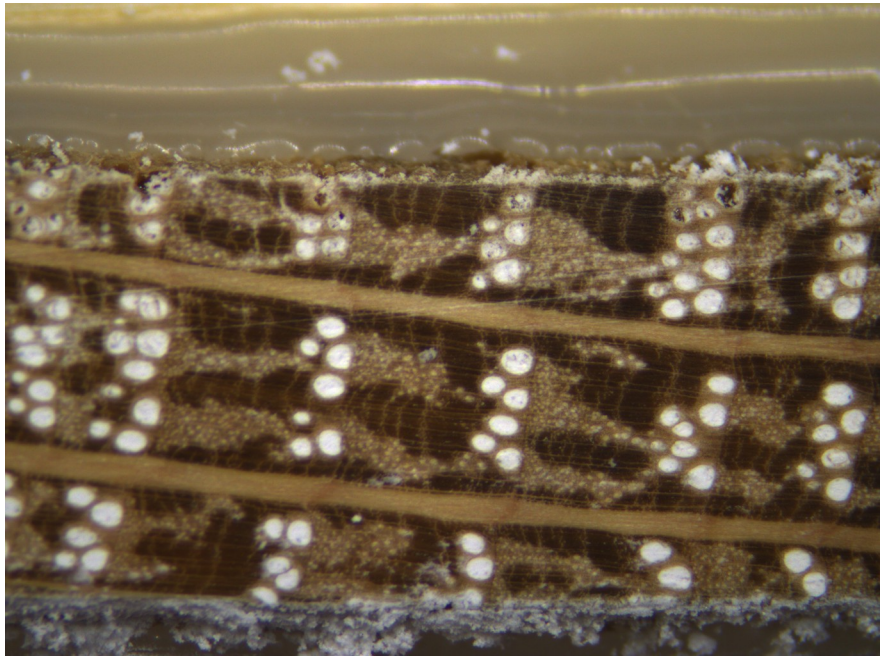








Makro in mikroskopske značilnosti lesa

prof. dr. Tom Levanič
FAMNIT & Gozdarski inštitut Slovenije

Namen predavanja

Seznaniti se z osnovnimi značilnostmi lesa na mikro in makro nivoju

Definicije lesa

- Les je sekundarni ksilem, ki ga kambij v procesu debelinske rasti producira navznoter, t.j. v smeri stržena (botanična definicija)
- Les je trda vlaknena snov, ki se nahaja pod skorjo debla in vej pri drevesih in grmih (tehnična definicija)
- Les je snov sestavljena pretežno iz celuloze, hemiceluloze in lignina (kemijska definicija)
- Les je porozno, vlakneno strukturno tkivo, ki ga najdemo v deblih, koreninah in vejah lesnatih rastlin

Les

Le je naraven, obnovljiv material, ki v drevesu opravlja tri pomembne funkcije:

- **mehansko** – povezuje korenine s krošnjo, nosi krošnjo
- **prevodno** – prevaja vodo+minerale po deblu navzgor (iz korenin v krošnjo)
- **skladiščno** – v lesu so shranjene rezervne snovi, ki jih drevo aktivira po potrebi

Les je bolj ali manj mrtev material – večina celic v lesu ne bi mogla opravljati svoje naloge, če bi bile žive. Žive so samo parenhimske celice v beljavi (zaradi skladiščenja hranil) in kambij.

Les je higroskopen material, voda se veže na molekule celuloze, zato je les stalno nekoliko vlažen (100% suhega lesa ni!)

Les je heterogen material sestavljen iz različnih tkiv in celic – heterogenost se kaže v razlikah med ranim in kasnim lesom, med beljavo in jedrovine, med adultnim in juvenilnim lesom; razlike so tudi med različno širokimi branikami…

Prednosti lesa

- Naraven in obnovljiv material, ki nastaja ob blagodejnem učinku na okolje
- Je vsesplošno razširjen in vsestransko uporaben
- Je biološko razgradljiv, ga je mogoče reciklirati
- Izdelava proizvodov iz lesa je energijsko manj potratna v primerjavi z drugimi materiali
- Relativna enostavnost in čistost pridobivanja, predelave in obdelave
- Visoka trdnost glede na gostoto
- Občutek topline, je dekorativen (naraven) material (tekstura)
- Gozdovi zmanjšujejo učinek tople grede (vezava ogljika)

Slabosti lesa

Slabosti lesa, ki otežujejo njegovo predelavo in obdelavo ter vplivajo na uporabnost:

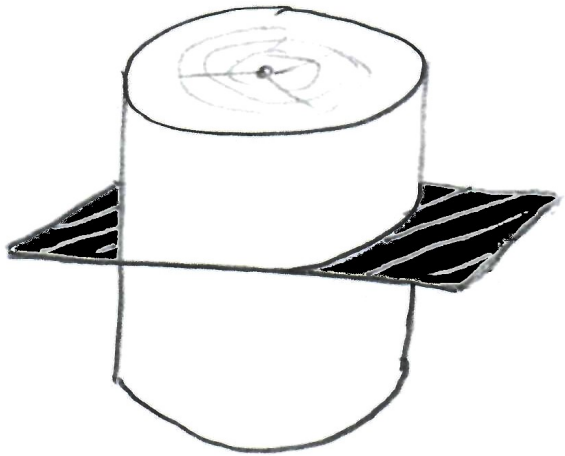
- **Anizotropnost** – v različnih smereh ima različne lastnosti (zaradi usmerjenosti tkiv)
- **Heterogenost** – sestavljajo ga različnih tipi tkiv in celic
- **Variabilnost** – znotraj in med branikami, v različnih delih debla, …
- **Biološka neodpornost** – relativno lahko ga razgrajujejo glive, insekti,…
- **Higroskopnost** – cca. 45-50% lesa predstavlja celuloza, le-ta je zelo higroskopna.

Makroskopska zgradba lesa

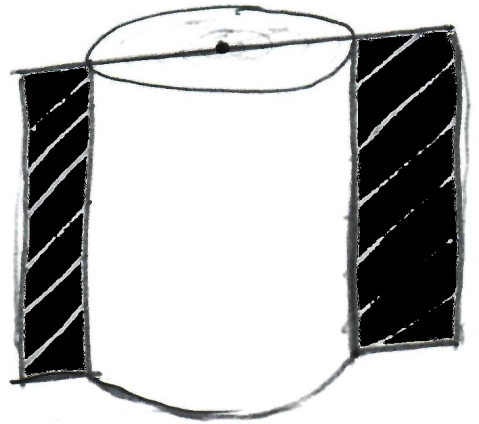
Preučujemo jo v treh značilnih prerezih

- **prečno** – prerez prečno (pravokotno) na os debla (X)
- **radialno** – prerez vzporedno na os debla točno v sredino do stržena (R)
- **tangencialno** – vzporedno z osjo debla in prereže strženove trakove (T)

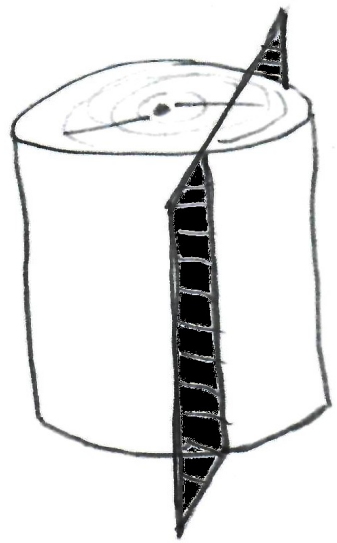
X



R

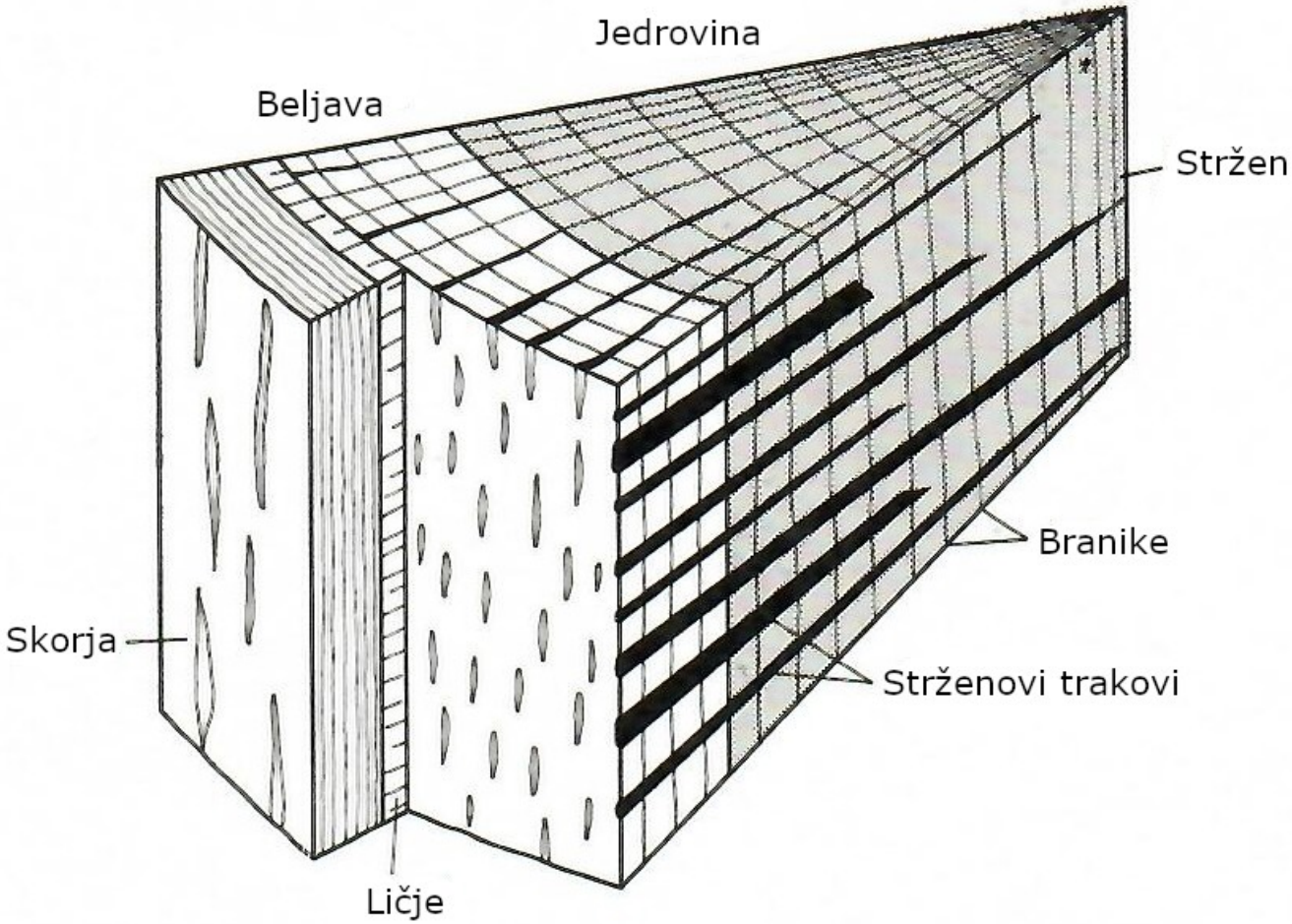


T



Tipične makroskopske značilnosti lesa

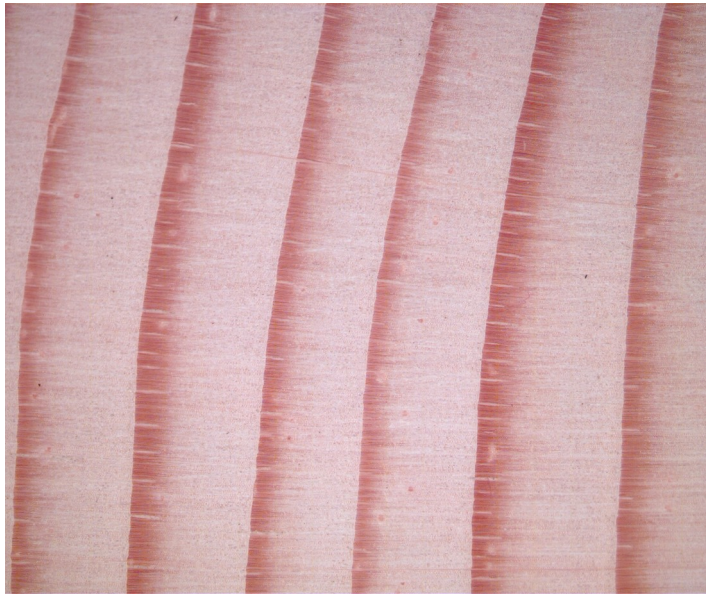
- Stržen
- Strženovi trakovi
- Branike in letnice
- Beljava
- Jedrovina
- Ličje
- Skorja



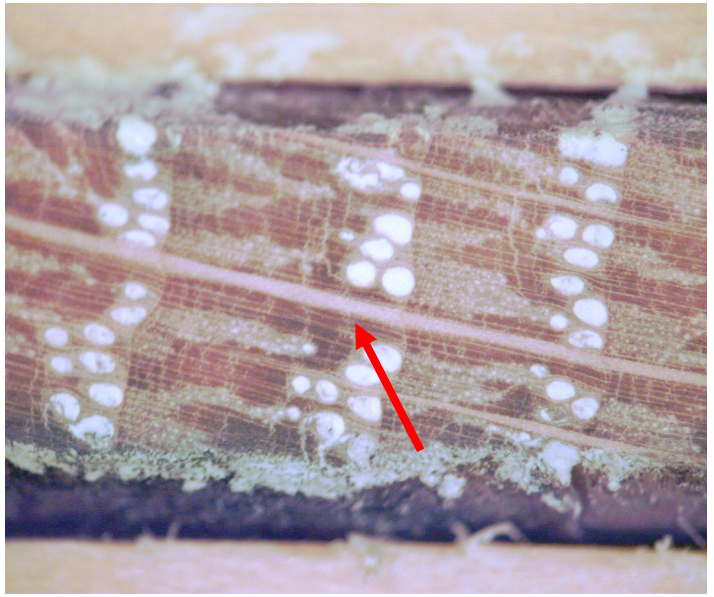
Stržen

- nahaja se v centru debla
- stržen je odmrlo parenhimsko tkivo
- premer stržena je enega do več milimetrov (10-12mm)
- stržena nima enotne okrogle oblike ampak ima lahko različne oblike:
  - eliptično (lipa, javor, brest,…)
  - trikotno (jelše, bukev, breza,…)
  - tetragonalno (jesen,…)
  - petkotno (hrast)
  - zvezdasto (bori)

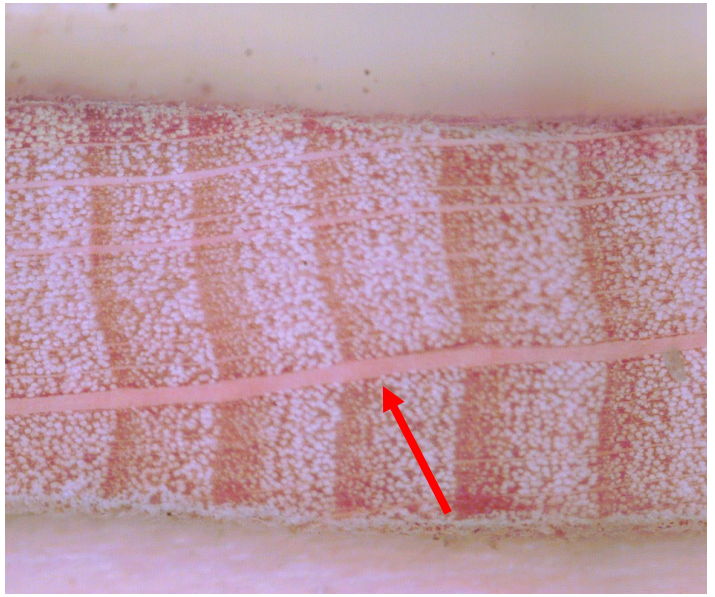




Smreka



Hrast



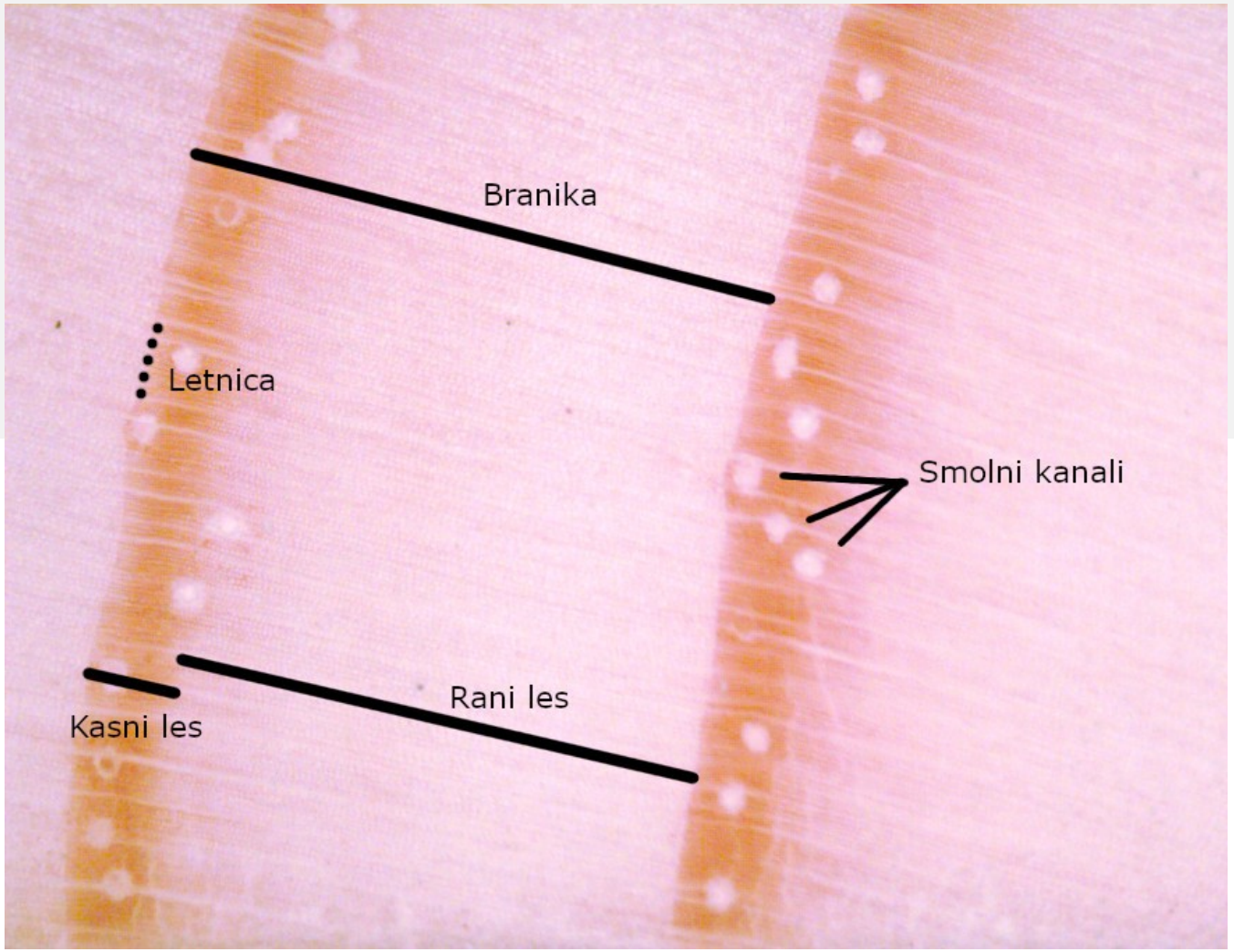
Bukev

Strženovi trakovi (ali trakovi)

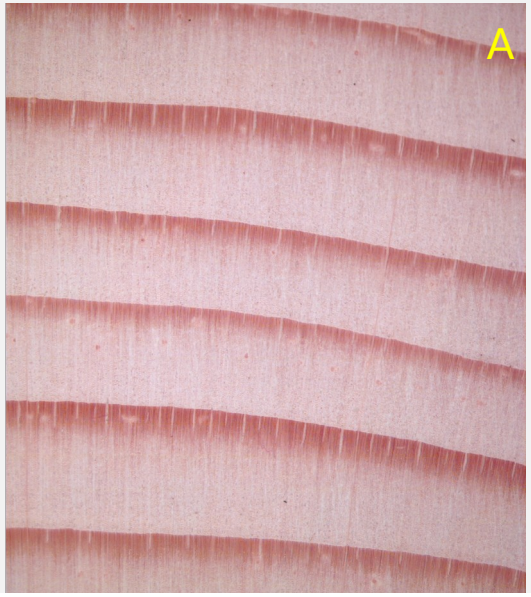
- Fine, radialno usmerjene linije
- Trakovi so namenjene horizontalnemu prevajanju in skladiščenju hranil
- Prisotni so pri iglavcih in listavcih
- S prosti očesom so vidni samo pri drevesnih vrstah, ki imajo visoke in široke, večredne trakove npr. bukev ali hrast (glej sliko)
- Pri iglavcih s prostim očesom niso vidni

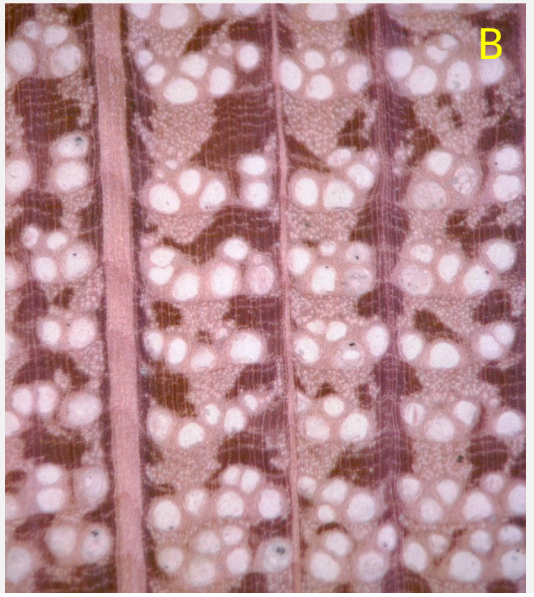
Branike in letnice

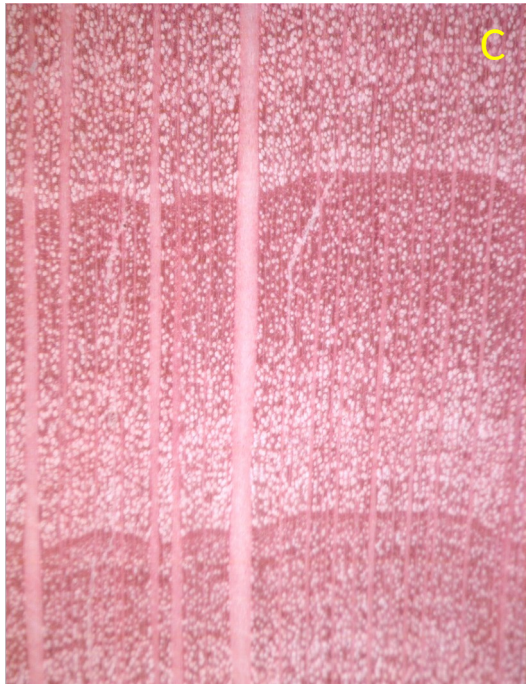
- Branika ali letni prirastek drevesa
- Letnica – meja med dvema branikama
- Rani les
- Kasni les
- Smolni kanali

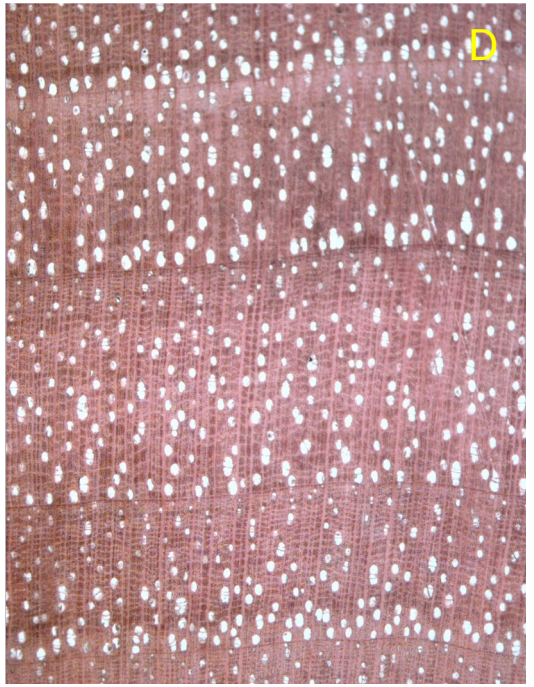


Porazdelitev prevodnih elementov v branikah

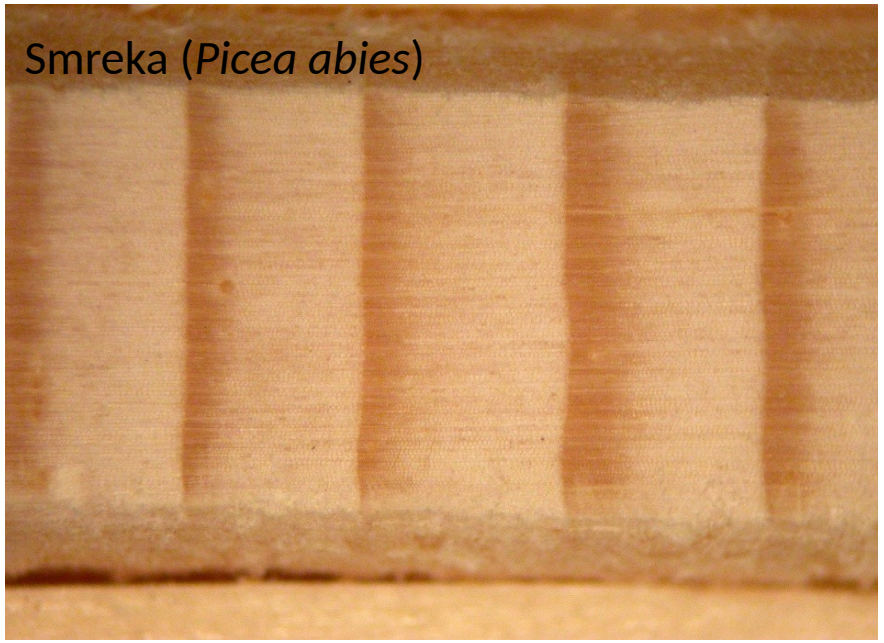


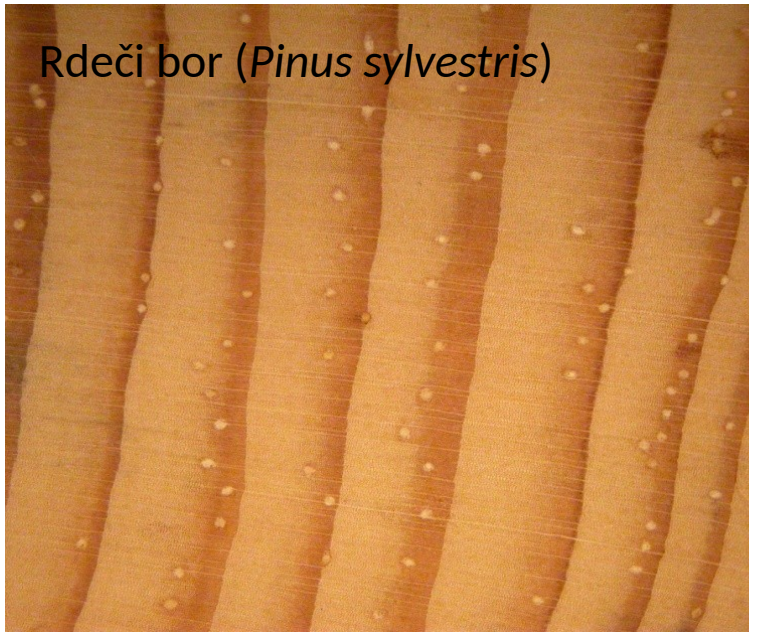


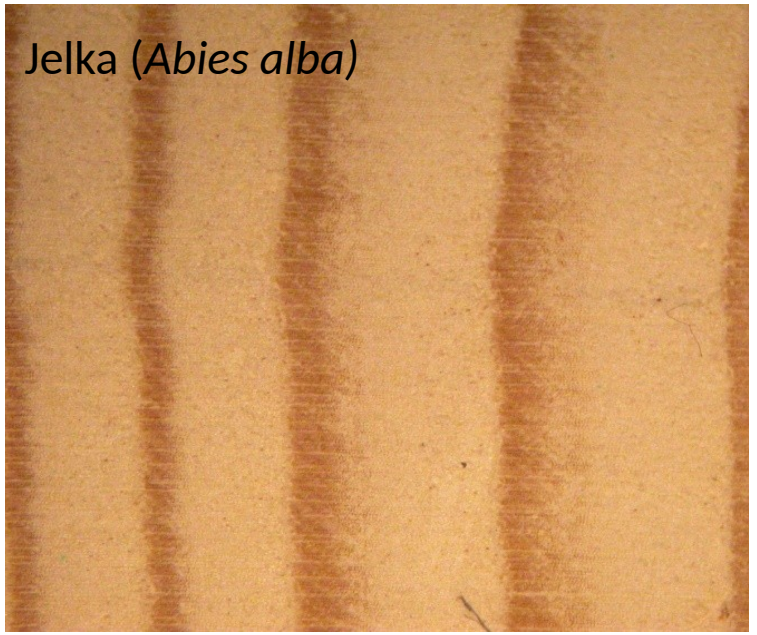




- Iglavci
  - ni neke izrazite razporeditve prevodnih elementov, bistvena je predvsem debelina celične stene in velikost lumna, ki se razlikujejo v ranem in kasnem lesu (A)
- Listavci
  - venčastoporozne vrste (npr. hrasti, jeseni (B))
  - difurzno porozne vrste (npr. bukev, javorji (C))
  - semi venčasto porozne vrste (npr. oreh (D))

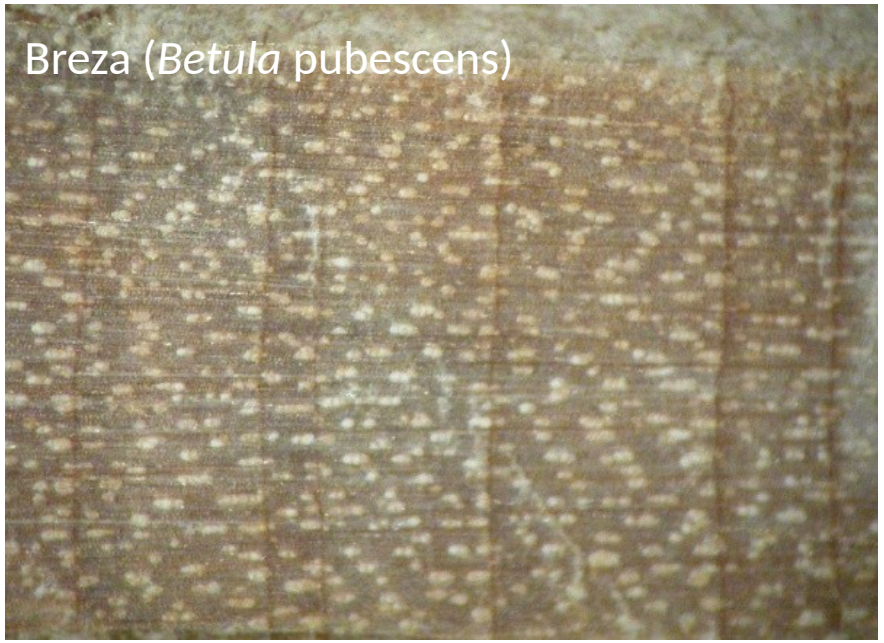

Smreka (*Picea abies*)
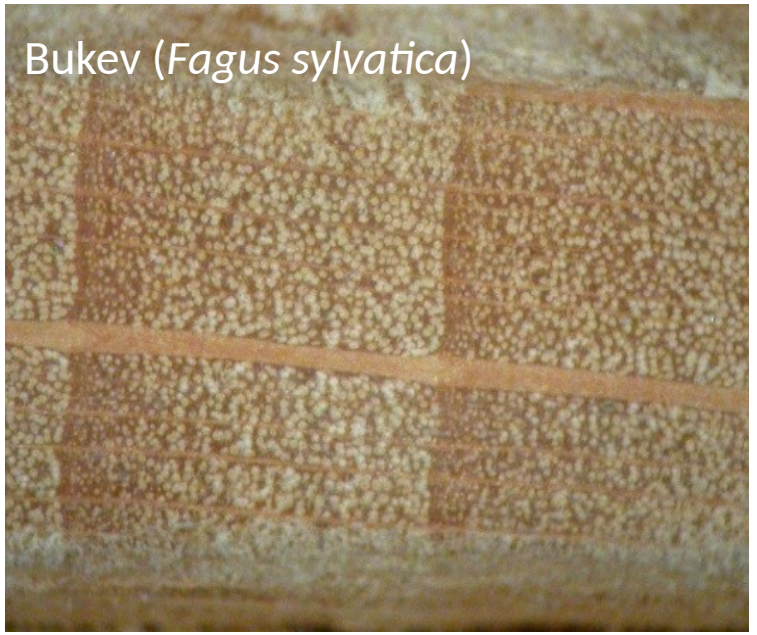

Rdeči bor (*Pinus sylvestris*)

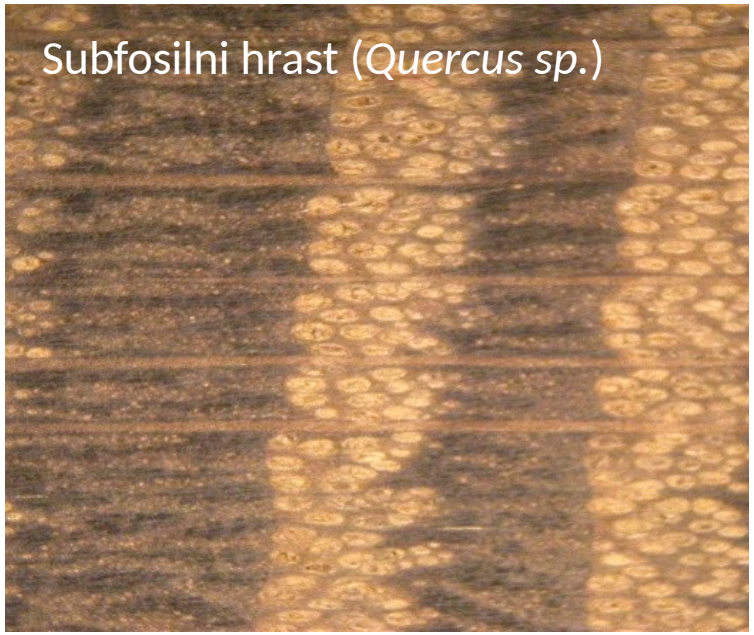

Jelka (*Abies alba)*

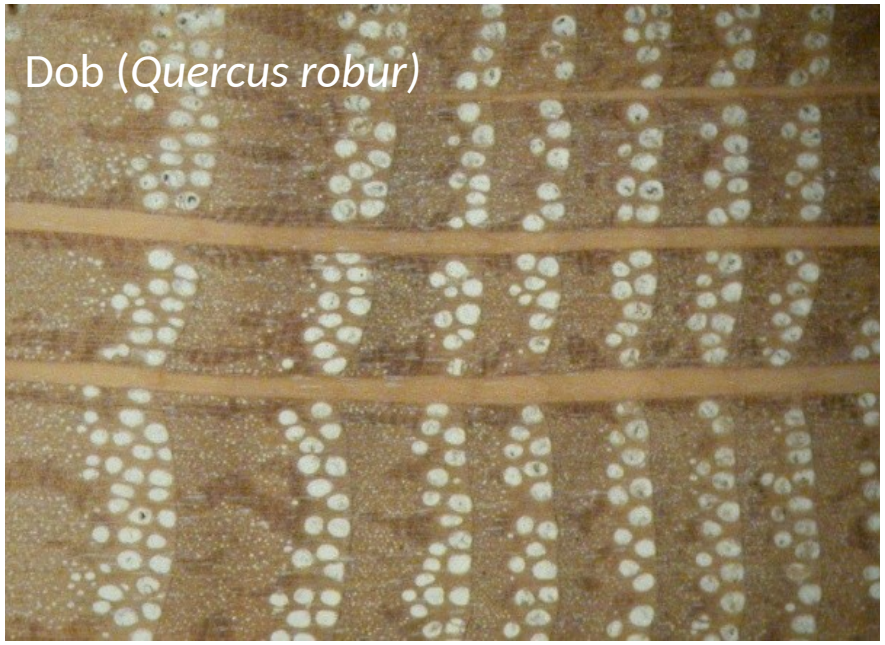

Macesen (*Larix decidua*)

Branike različnih vrst iglavcev


Breza (*Betula* pubescens)


Bukev (*Fagus sylvatica*)

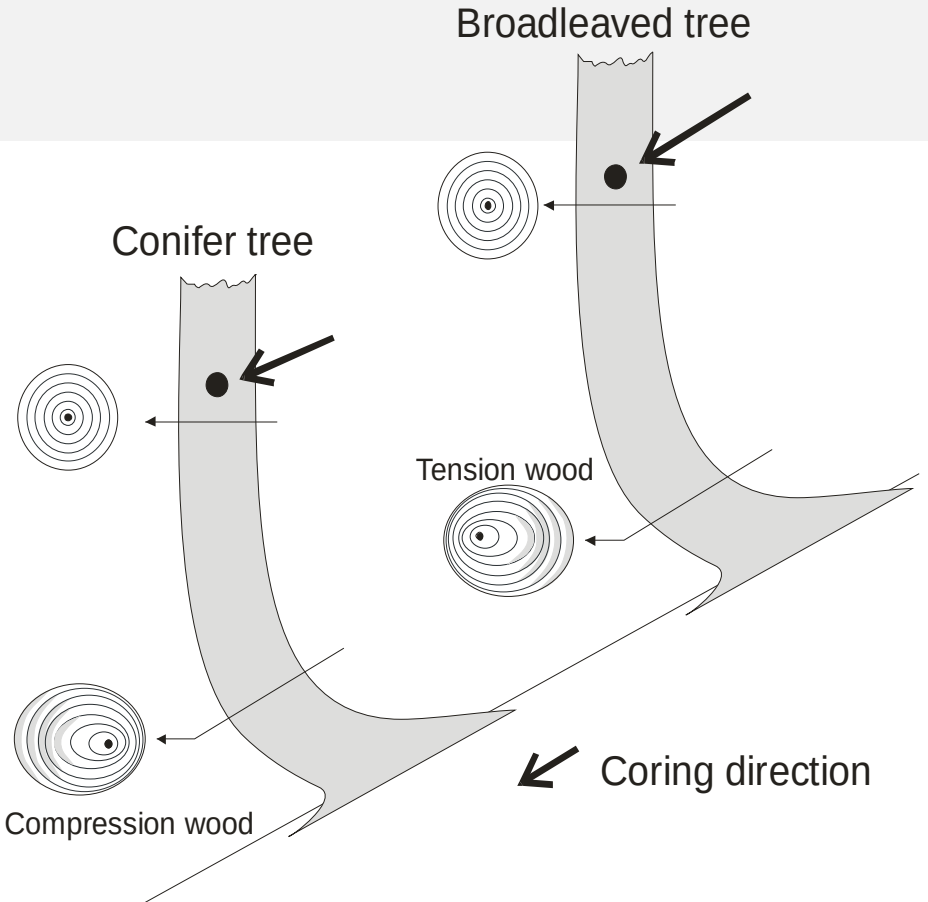

Subfosilni hrast (*Quercus sp.*)


Dob (*Quercus robur*)

Branike venčasto in difuznoporoznih drevesnih vrst

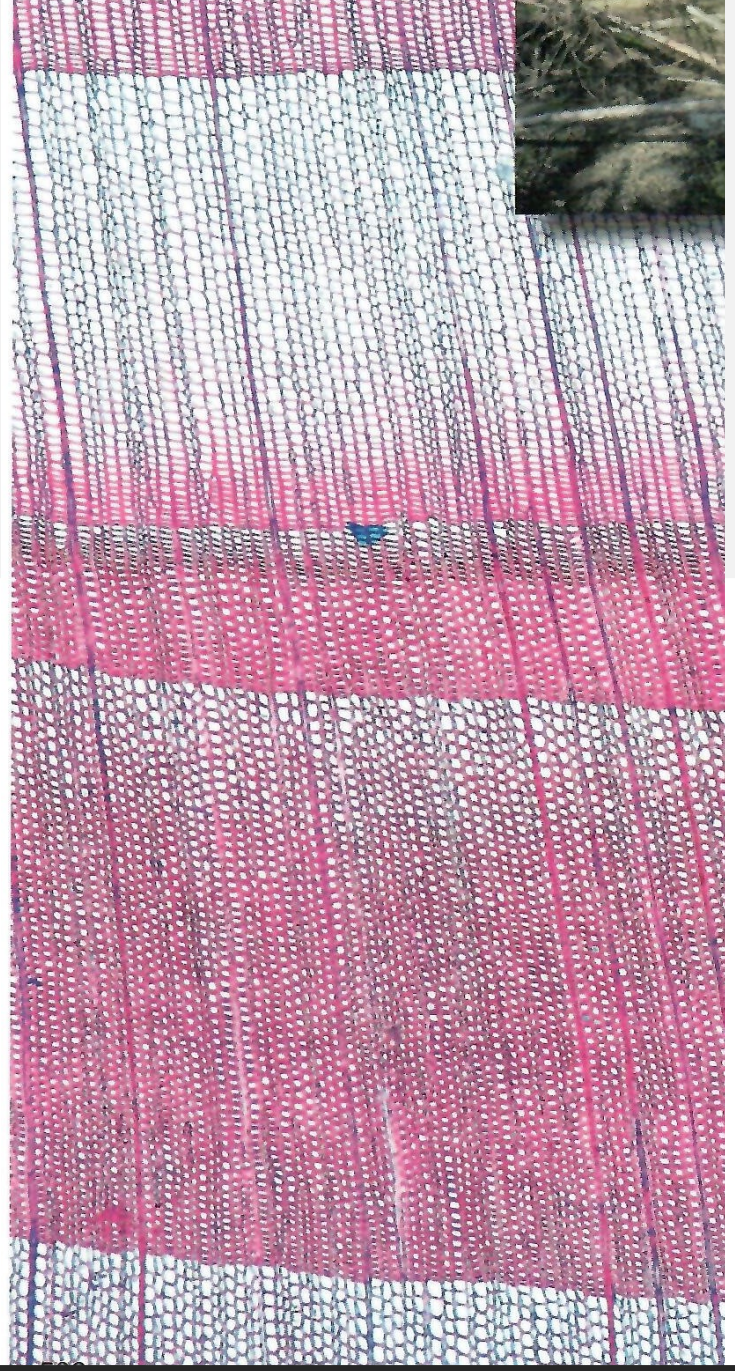
Anomalne branike - reakcijski les

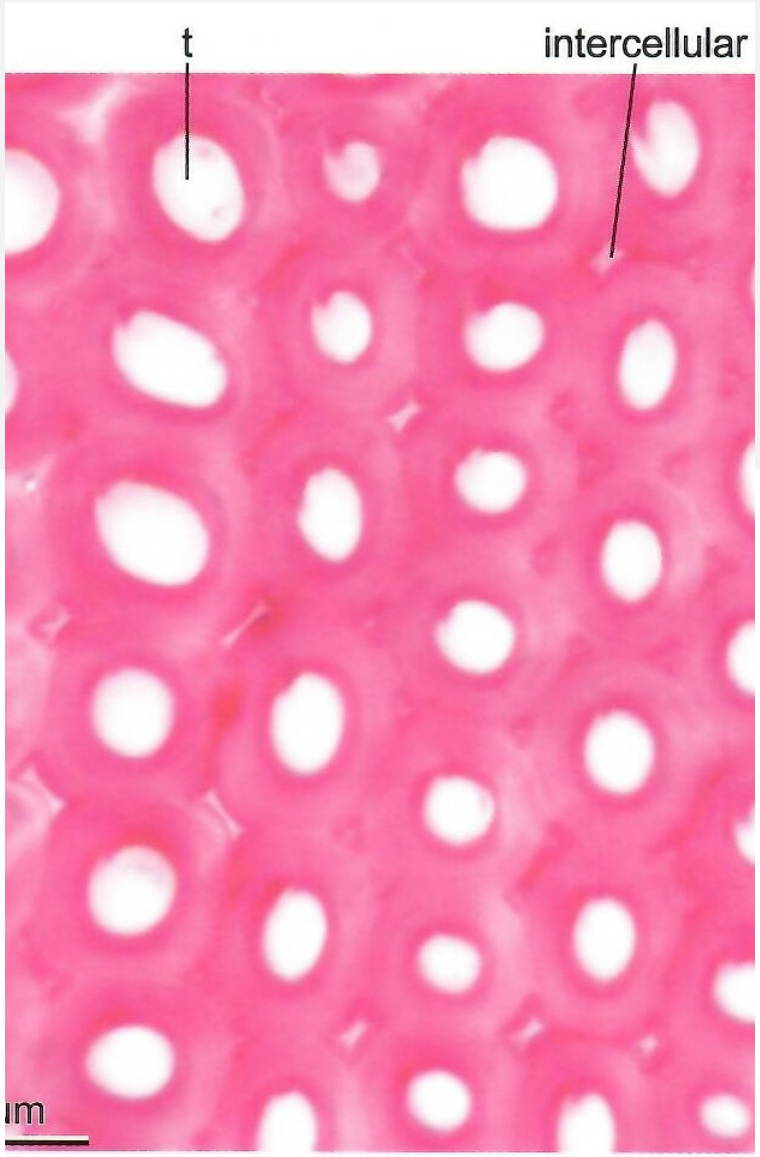
- Reakcijski les je aktivno usmerjevalno tkivo v deblih in vejah lesnatih rastlin
- Pri iglavcih se imenuje kompresijski les, pri listavcih pa tenzijski les
- Pojavi se v aktivni, rastoči braniki v trenutku, ko je ovirana vertikalna rast (negativni geotropizem)
- Reakcijski les nastane, če se os drevesa zamakne iz vertikale zaradi:
  - premika pobočja (npr. plazovi)
  - naklona podlage (zdrs pobočja)
  - konstantnega vetra (npr. burja)
- Nastanek reakcijskega lesa uravnavajo:
  - rastni hormoni (auksini)
  - gravitacija (težnost), ki vpliva na razporeditev hormonov



Kompresijski les - reakcijski les pri iglavcih

- Nastaja na strani debla, ki je v smeri nagiba
- Celice imajo močno povečano vsebnost lignina v celični steni
- Celične stene so zelo debele
- Les ima slabe fizikalne in tehnološke lastnosti



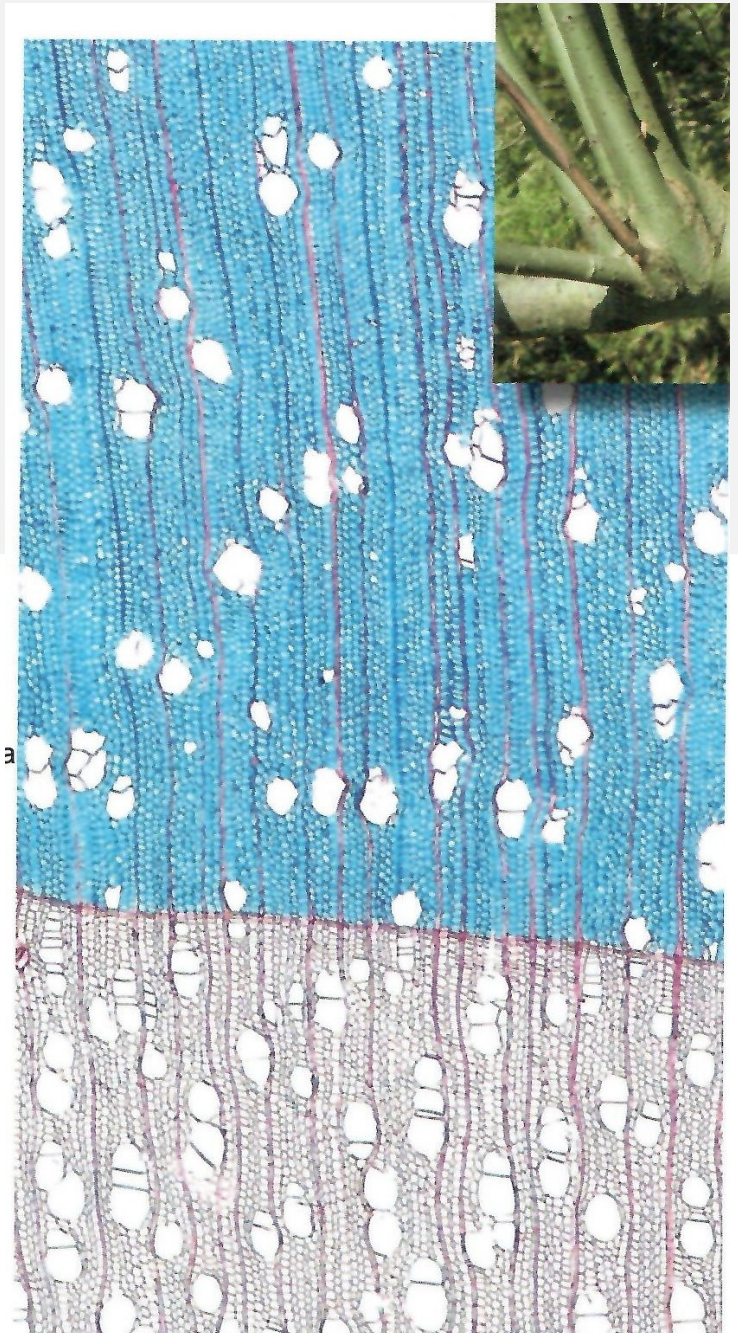


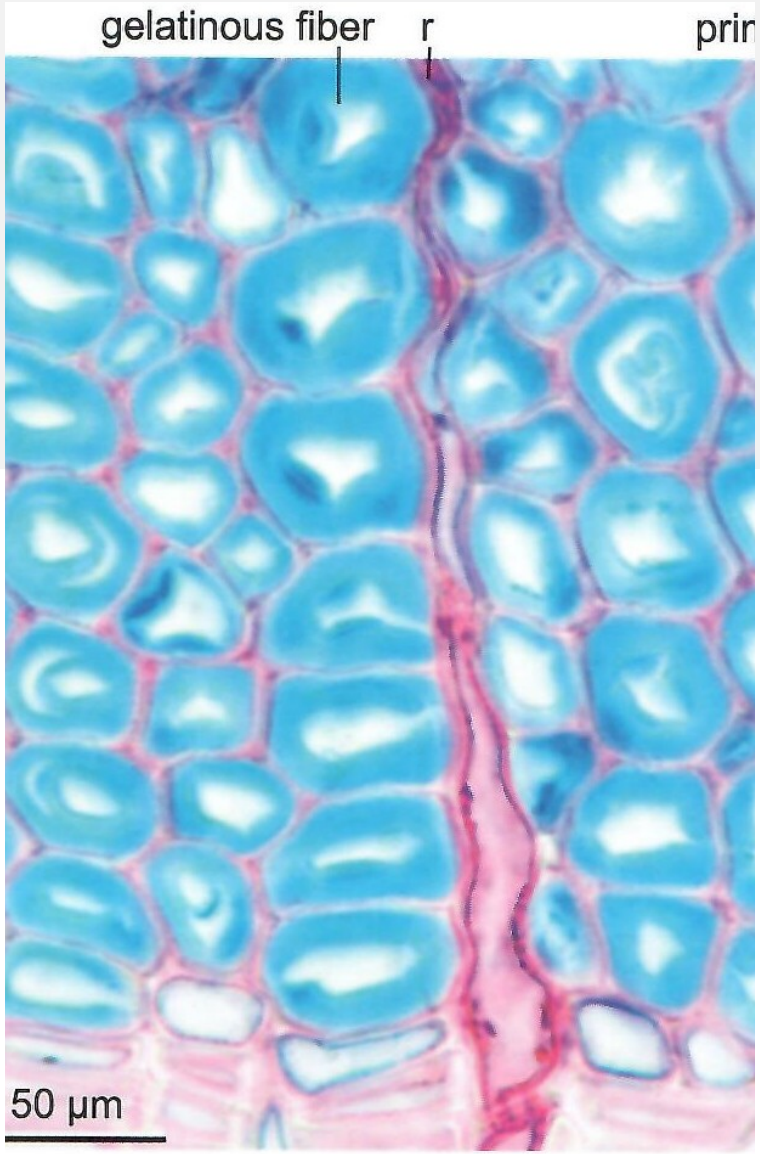
Makroskopske značilnosti kompresijskega lesa

- Debla so ukrivljena
- Debla so ekscentrična – stržen ni v sredini debla ampak je zamaknjen proti pobočju / smeri nasprotni odklonu
- Kompresijski les je temnejše barve, zelo podoben kasnemu lesu, ranega lesa v branikah s kompresijskim lesom praktično ni – v braniki prevladuje “kasni les”
- Zelo težko se ga obdeluje in barvno močno odstopa od barve normalnega lesa - je brez leska

Tenzijski les - reakcijski les pri listavcih

- Nastaja na strani debla, ki je nasprotno od smeri nagiba
- Celice imajo močno povečan delež celuloze v celičnih stenah (modra barva na slikah)
- Se močno krči, deske rade pokajo, nezaželena tehnološka lastnost





Makroskopske značilnosti tenzijskega lesa

- Debla so ukrivljena
- Debla so ekscentrična – stržen ni v sredini debla ampak je zamaknjen v smeri stran od pobočja / v smeri odklona
- Tenzijski les je svetlejše barve, zdi se nekoliko svilnat, kar je posledica velike vsebnosti celuloze v celičnih stenah, kasni les skorajda ni prisoten
- Podobno kot kompresijski les, se tudi tenzijski les težko obdeluje. Predvsem zato ker orodja celuloznih vlaken ne režejo ampak jih trgajo
- Je svetle barve, celulozna vlakna se svetlikajo, kot bi gledali srebrne nitke

Sekundarne spremembe v lesu

Beljava

Jedrovina

Diskoloriran les

Beljava in jedrovina

Beljava – periferni del debla ali veje v katerem se nahajajo žive parenhimske celice, ki skladiščijo rezervne snovi. Beljava prevaja vodo z mineralnimi snovmi in vzdržuje metabolizen (tudi skladišči snovi). Večina prevajanja vode se vrši v vaskularnem tkivu, pri nekaterih drevesih (npr. hrastih) pa samo v zadnji braniki pod skorjo.
Celice, ki prevajajo vodo so mrtve - dokler ne odmrejo, ne morejo opravljati fiunkcije prevajanja.

Jedrovina – jedrovinske snovi se začnejo kopičiti v živih parenhimskih celicah v “prehodni coni”. Jedrovinske snovi so praviloma toksične in imajo potencial za industrijsko rabo. Nahajajo se v celičnih stenah (t.i. ekstaktivi). Jedrovina je lahko neobarvana (npr. smreka, jelke) ali obarvana (npr. bori, macesen, duglazija, hrast, robinija). Obarvani jedrovini rečemo tudi črnjava, ker je zelo temna.



Beljava in jedrovina





- Obravana in neobravana jedrovina pri smreki (levo) in macesnu (zgoraj) – obe drevesni vrsti imata jedrovino!
- Poznamo drevesne vrste z vedno obravano jedrovino (npr. hrast) in tiste s fakultativno obarvano jedrovino (npr. bukev)

Diskoloriran les

Diskoloriran les – ni starosten ampak patološki pojav, največkrat je reakcija na ranitev oz. odpad suhe veje, odziv na poškodovanje je močno odvisen od letnega časa.

Dve tipični obliki diskoloracije sta **sušina** in **mokrina**.

- Sušina se pojavi, ko zaradi mehanske poškodbe pride do vdora kisika, pade sposobnost prevajanja vode, vlažnost tkiva / lesa upade in v kombinaciji s prisotnimi fenoli pride do pojava diskoloracije oz. bravnih lis
- Mokrina se pojavlja pri določenih drevesnih vrstah (jelka, topol, vrbe). Mokrina se nahaja v sredini debla in je območje s povečano vlažnostjo lesa, pogosto jo spremlja okužba in ima neprijeten vonj – npr. mokrina pri jelki ima vonj po pokvarjenem maslu





Druge makroskopske značilnosti lesa

Tekstura

- Lesno teksturo v svojem bistvu določa celična zgradba oz. porazdelitev in velikosti različnih celičnih elementov in tkiv
- Definira jo drevesna vrsta – nekatere DV imajo zelo gladek les (npr. lipa), nekatere DV vrste pa imajo že na otip grob les (npr. hrast)
- Definira jo tudi smer reza lesa – teksture v radialni, tangenciali ali prečni smeri so različne, četudi gre za isto drevesno vrsto
- Odvisna je tudi od barve lesa in napak v lesu – optično pogojena tekstura

- **Iglavci** imajo ponavadi fino do neizrazito teksturo (razen pri zelo širokih branikah)
- **Venčasto porozni listavci** imajo načeloma neenakomerno strukturo zaradi razmerje med ranim in kasnim lesom – hrast s širokimi trahejami in gostim kasnim lesom in tudi grobo teksturo; počasi rastoč hrast pa ima bolj enakomerno teksturo
- **Difuznoporozni listavci** imajo drobnejše traheje in majhno razliko med ranim in kasnim lesom – tekstura je enakomerna in fina

Klasifikacija lesnih tekstur (po Torelliju, 1998, Les, št.50)

Teksture (t.) v lesu s pravilno anatomsko zgradbo, priraščanjem in ravno rastjo

- neizrazita t.
- frontalna t.
- tangencialna t.
- jerebičja t.
- radialna t.
- progasta t.
- zrcalna t.
- polzrcalna t.

Teksture v lesu z neravno rastjo, nepravilnim priraščanjem vključno s koreninami, bulami, gomolji in ostalim

- rebrasta t.
- nepravilna groba rebrasta t.
- pisana t.
- t. pretrganih prog
- lisasta in drobno lisasta t.
- drobno- in plamenasto- marmorirana t.
- plamenasta t.
- žuljasta, drobno- in grobo- žuljasta t.
- ikrasta t.
- t. ptičjih oči
- leščava t.
- peresasta in piramidna t.

Druge makroskopske značilnosti lesa

Barva in sijaj

- Barva je zaznavanje elektomagnetenga valovanja v razponu od 380 – 750 nm (vidna svetloba)
- Lesovi drevesnih vrst imajo celo paleto barv, barva lesa je močno odvisna od:
  - drevesne vrste
  - anatomskih značilnosti
  - fizikalnih lastnosti (npr. vlažnost)
  - kemičnih lastnosti,
  - položaja v drevesu in položaja znotraj debla,
  - rastišča,
  - načina obdelave,
  - prereza in
  - svetlobe v kateri opazujemo les
- Barvni odtenek lesa se spreminja v odvisnosti od trajanja izpostavljenosti lesa zunanjim dejavnik – zlasti UV žarki močno vplivajo na barvo lesa

Druge makroskopske značilnosti lesa

Značilni barvni odtenki

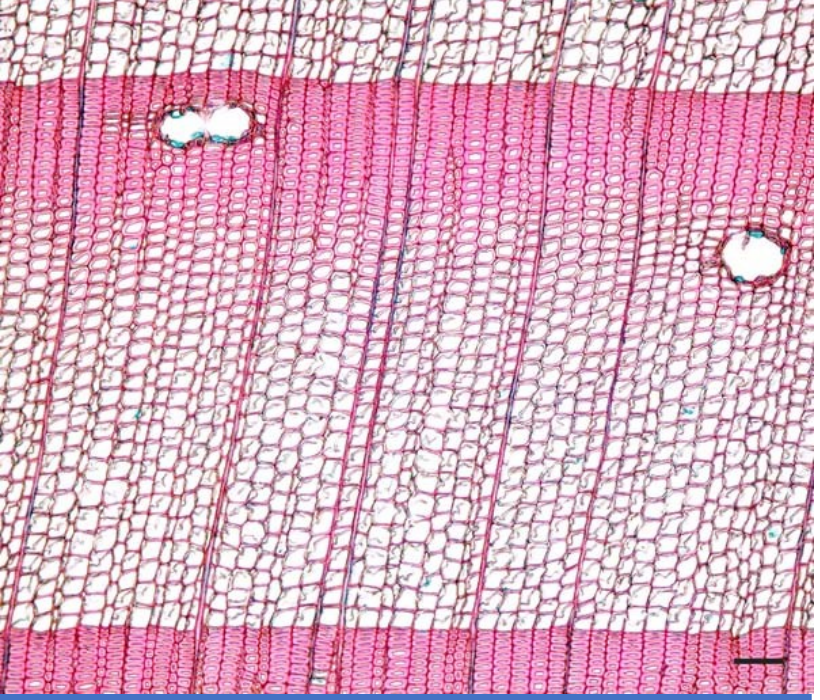
Barvni odtenek	Drevesna vrsta
belkast	breza, gaber, topol, javor, vrbe
rumenkast	smreka, jelke
rdečkast do rdečerjav	črna jelša, bukev, češnja, hruška, bor, duglazija, macesen
svetlo rjav do rjavkast	hrasti, pravi kostanj, jesen, brest
zelenkast z odtenkom zlate	robinija
sivkast do črn	oreh, ebenovec

Druge makroskopske značilnosti lesa

Vonj

- Nekatere drevesne vrste skladiščijo v lesu
  - eterična olja
  - smole, voske
  - tanine
  - kafro (močno diše voskasta snov)
- Te snovi so zelo uporabne v različnih panogah (npr. v kozmetični in kemični industriji,…)
- Nekateri lesovi imaje zelo tipičen vonj in se jih da po vonju identificirati
- Nekateri lesovi imajo prijeten vonj, npr. brin ali lejlandia
- Nekateri lesovi pa nimajo prijetnega vonja, npr. jelovina ima zaradi mokrega srca zelo neprijeten vonj, ki tudi po sušenju ne izgine v celoti

Mikroskopska zgradba lesa listavcev in iglavcev



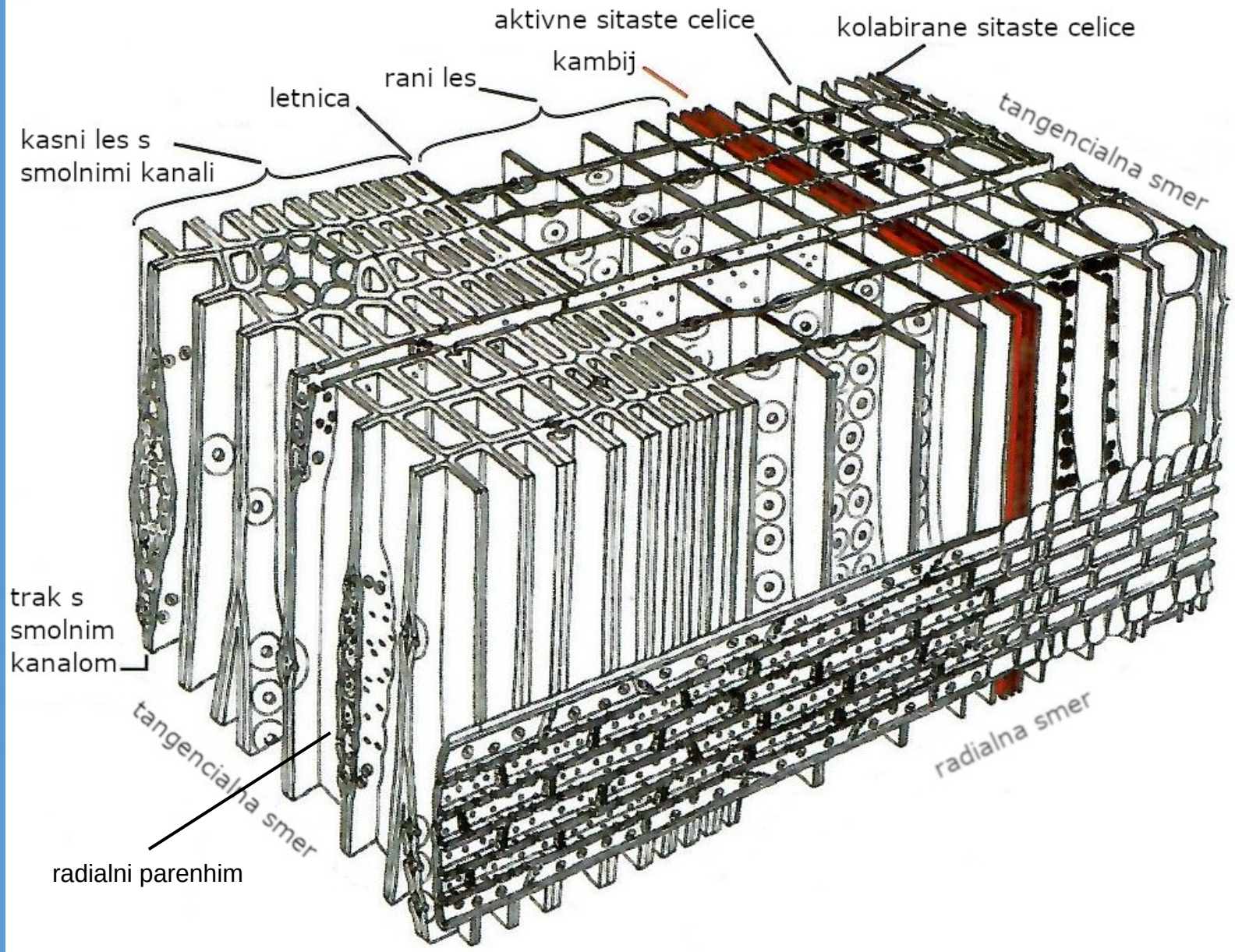
Mikroskopska zgradba lesa iglavcev

- Les iglavcev je v primerjavi z lesom iglavcev bistveno bolj enostaven
- Evolucijsko so iglavci starejši od listavcev, vendar je znanih vrst drevesnih listavcev precej več (cca 30.000) v primerjavi z iglavci, kjer poznamo nekaj več kot 580 vrst.

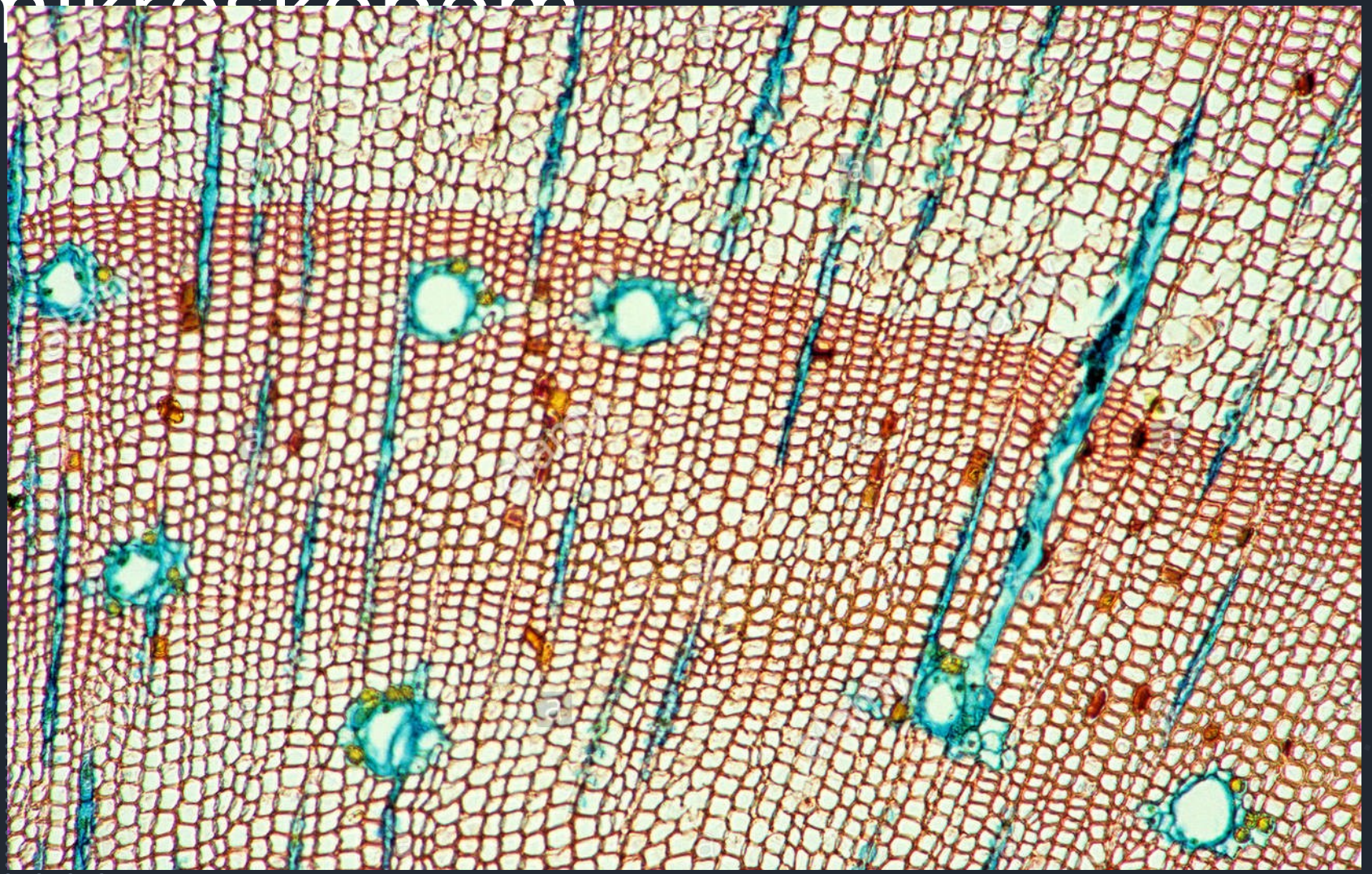
Les iglavcev ima enostavno anatomsko zgradbo

Les iglavcev sestavjajo:

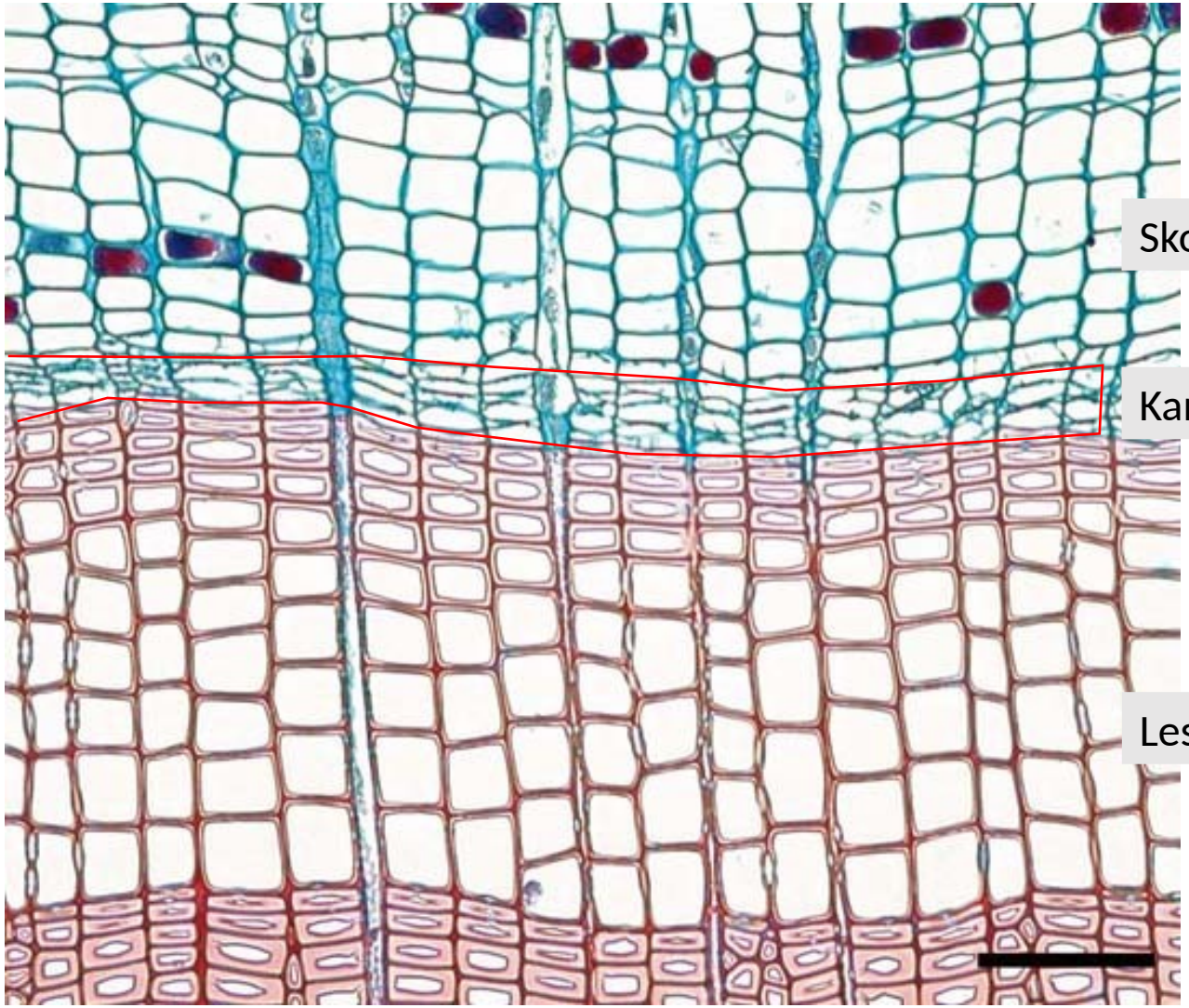
- traheide
  - traheide ranega in kasnega lesa
  - trakovne traheide
- parenhimske celice
  - aksialni parenhim
  - radialni parenhim
- epitelijske celice



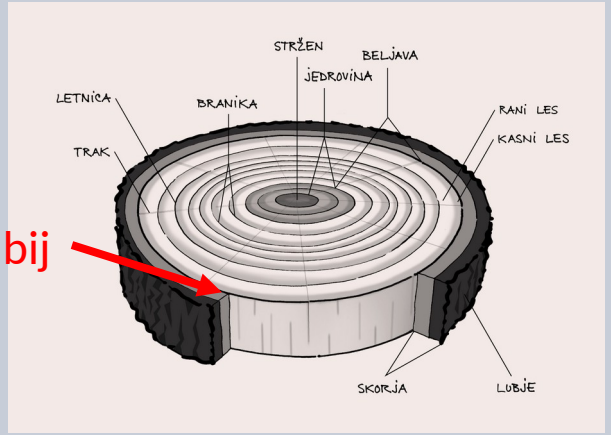
Les iglavcev pod mikroskopom



Kambij

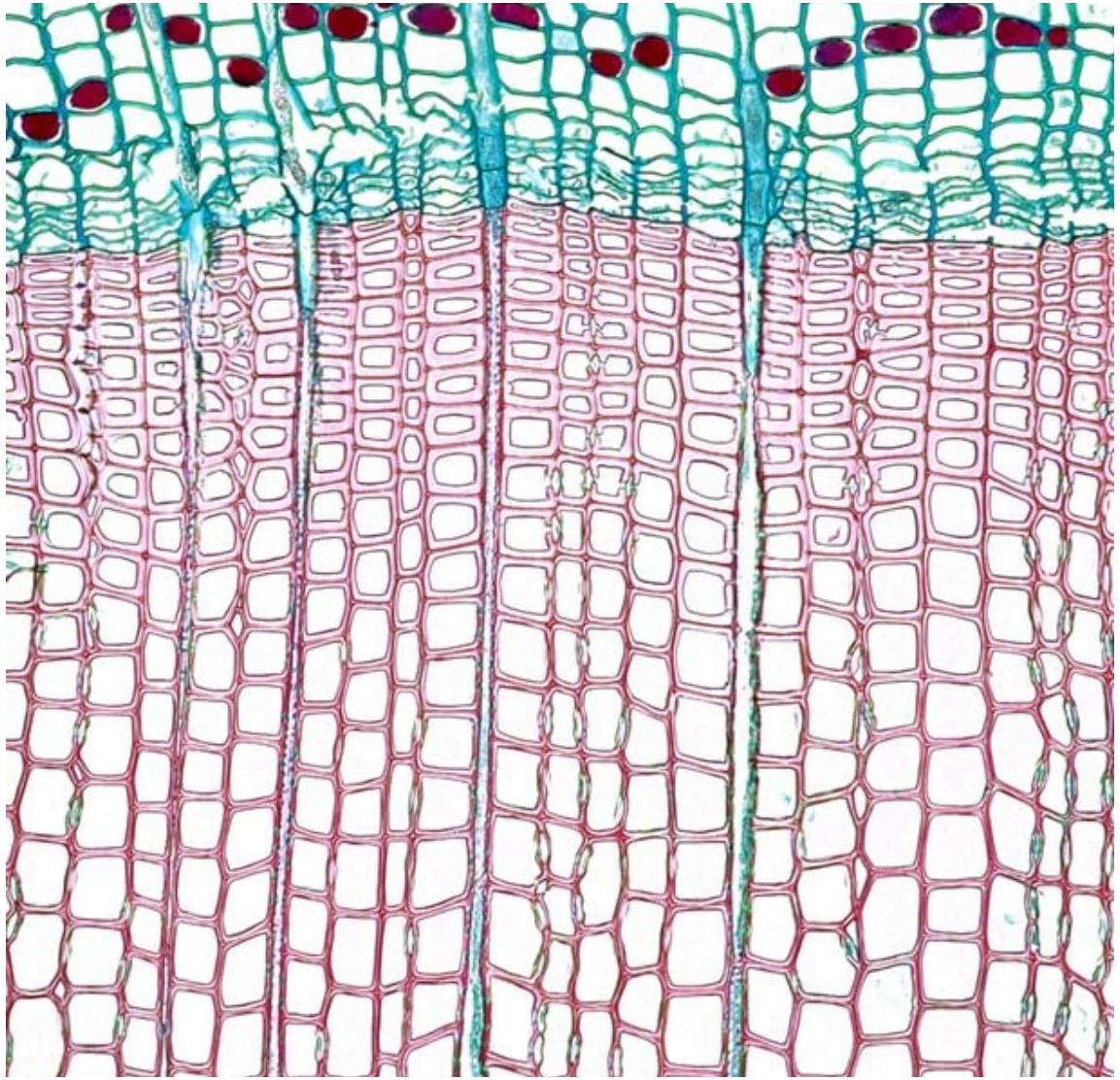


- Tanek in nepretrgan obroč med lesom in skorjo
- Sekundarni, lateralni meristem, ki omogoča debelinsko rast
- Sestavlja ga plast celic, ki se v rastni sezoni aktivno delijo



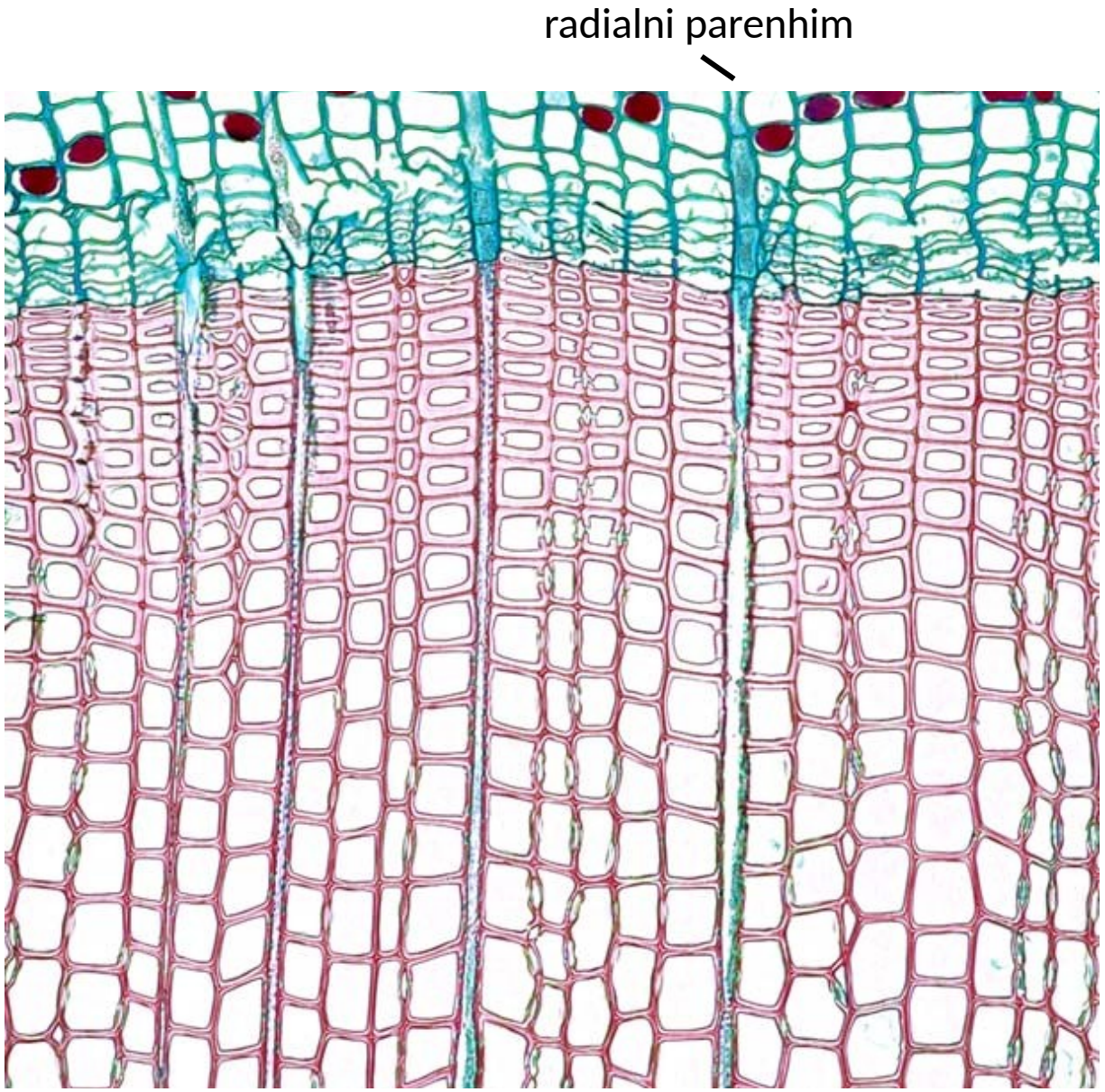
Traheide

- traheide so mrtve celice, ki ne morejo opravljati svoje funkcije dokler ne odmrejo in se lumen ne izprazni – programirana smrt ali apoptoza
- potekajo v aksialni smeri (vzdolž debla)
- prevodna funkcija, posebej v traheidah ranega lesa, ki ima tanke celične stene in velike lumne
- mehanska funkcija v traheidah kasnega lesa, debele celične stene, majhna lumni
- traheide so med seboj povezane, da lahko prevajajo vodo v vse dele drevesa, voda se prevaja med dvema traheidama preko pikenj
- dolžina traheid je med 2900 in 4500 μm, premer v radialni smeri pa med 35 in 50 μm



Parenhimske celice

- parenhimske celice so žive celice, v njih se skladiščijo hranilne snovi, predvsem ogljikovi hidrati
- parenhim poteka v aksialni ali radialni smeri
- glavna naloga parenhima je prenos in shranjevanje hranilnih snovi in snovi potrebnih za rast (v bistvu produktov fotosinteze)
- po potrebi se hranila iz parenhimskih celic sproščajo

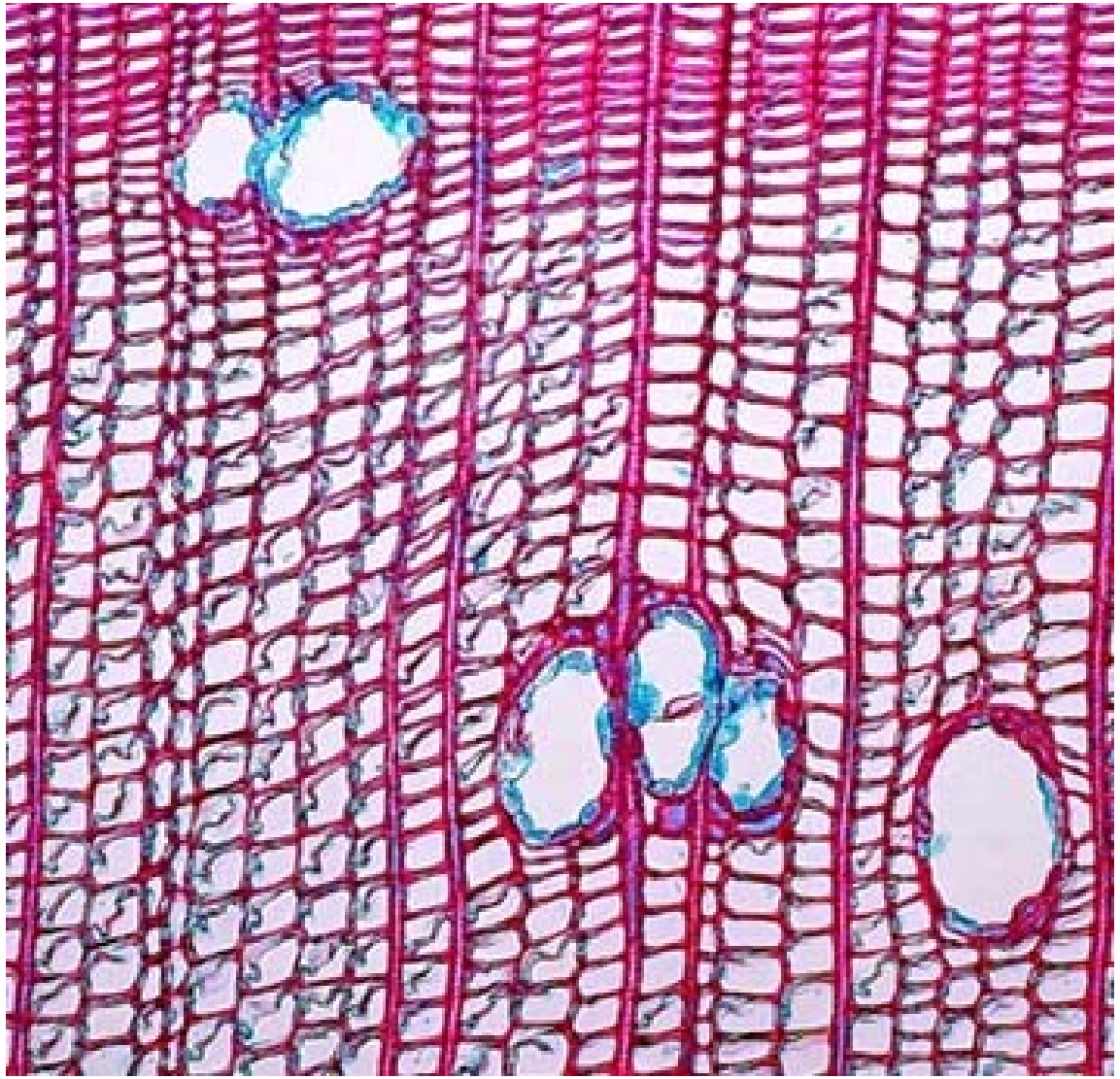


Parenhim

- **Aksialni parenhim**
  - v lesu iglavcev ga je zelo malo, nahaja se na koncu branike (na letnici) – pri kanadski čugi ali je raztresen po braniki – pri sekvoji, fitzroji, brinih in libocedrusih
- **Radialni parenhim**
  - poteka v radialni smeri,
  - služi prevajanju in skladiščenju hranilnih snovi,
  - poznamo homocelularne in heterocelularne parenhimske trakove
  - glede na širino ločimo enocelične in vretenaste trakove,
  - glede na višino pa ločimo nizke (1-3 celice) – npr. tisa in visoke (>3 celice) npr. jelke (do 25 celic)
  - glede na način združevanja so lahko homocelularni (samo parenhimske celice - tisa, jelka, brin) in heterocelulrne, ki so kombinacija parenhimskih celic in trakovnih traheid (npr. bori, smreka, duglazija, macesen)
- **Parenhimske celice so žive celice !**

Epitelijske celice

- parenhimatske ekskrecijske celice
- žive celice, ki v intercelularni prostor odvajajo smolo
- pri nekaterih iglavcih so epitelijske celice debelostene (smreka, macesen, duglazija), pri drugih so tankostene (bori)
- Epitelijske celice so predvsem aktivne v beljavi, kjer proizvajajo smolo, ki v primeru poškodb zapira poškodovana mesta
- pri določenih iglavcih smola nastaja samo v primeru poškodb (jelke, cedar, sekvoja, čuga), pri ostalih pa je stalno prisotna (bori, smreka, macesen, duglazija)



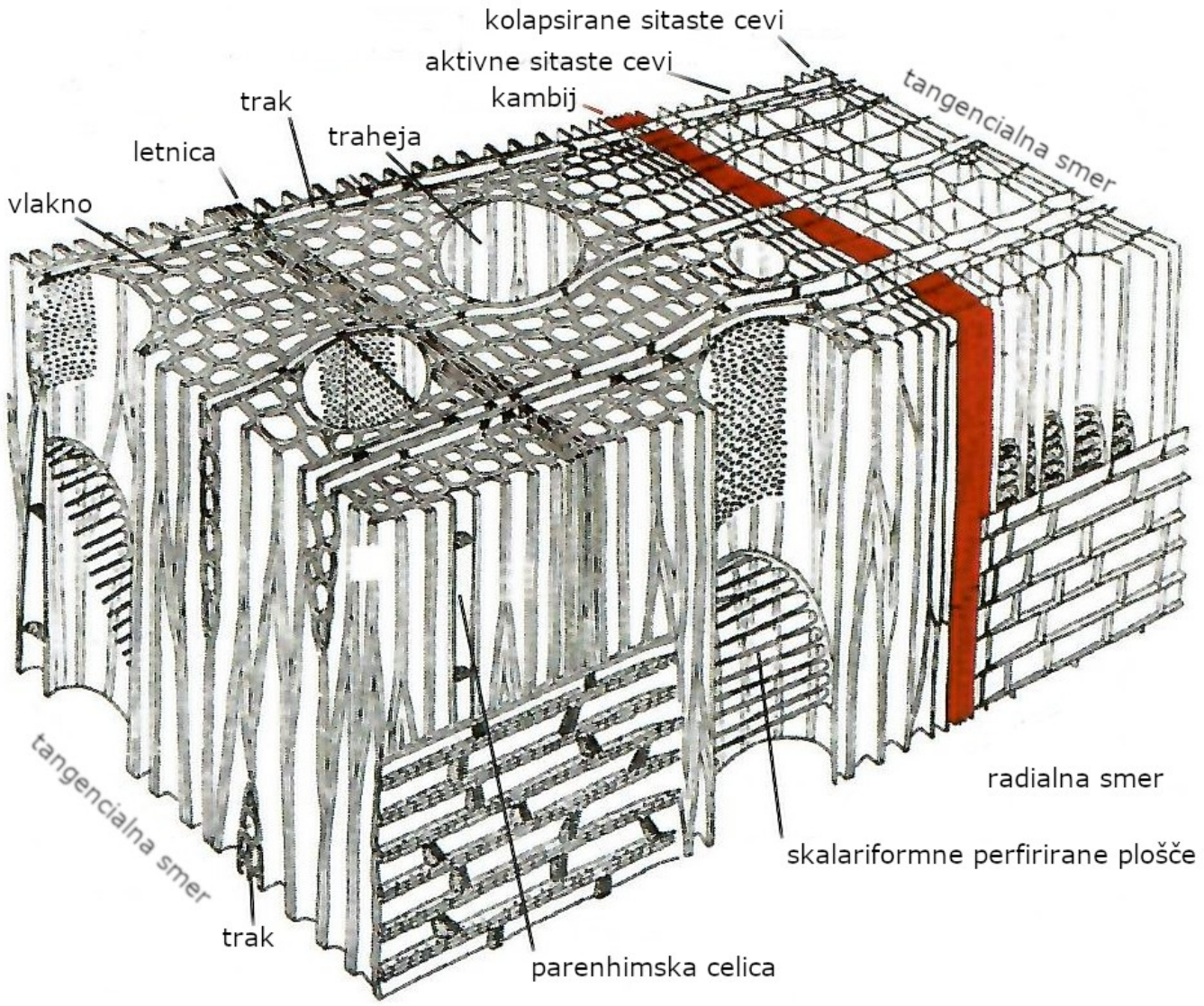


Mikroskopska zgradba lesa listavcev

- Anatomska zgradba lesa listavcev je kompleksnejša kot pri iglavcih
- Evolucijsko so listavci naprednejši od iglavcev.

Les listavcev ima kompleksno anatomsko zgradbo

- Prevodna funkcija
  - traheje
  - traheide
  - vazicentrične traheide
- Mehanska funkcija
  - libriformska vlakna
  - vlaknaste traheide
- Skladiščna funkcija
  - radialni parenhim
  - aksialni parenhim
  - epitelijske celice

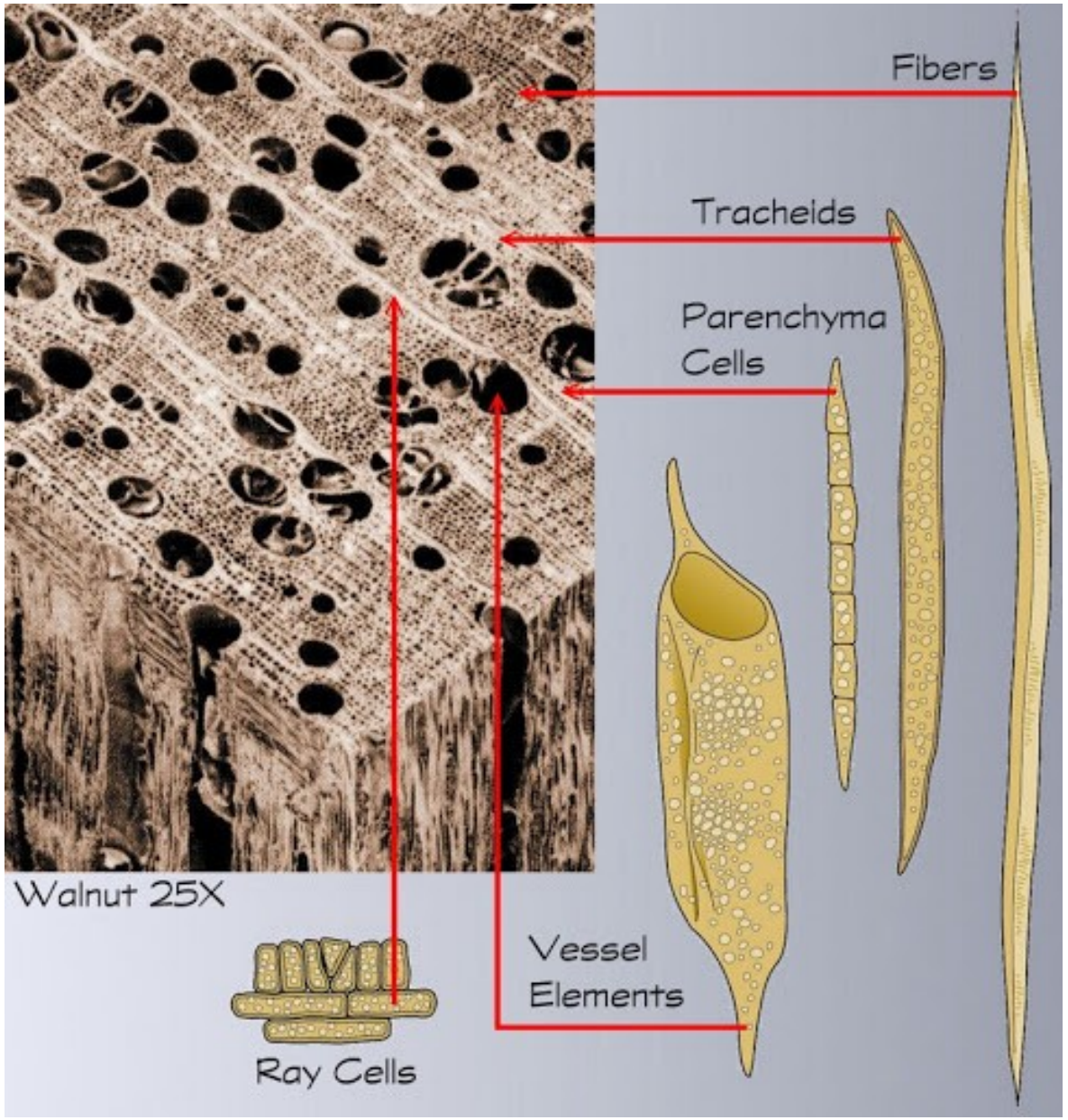


Traheje

- Osnovna vloga je prevajanje vode med koreninami in krošnjo, lahko tudi hranijo vodo, v njih je lahko tudi zrak.
- Traheje so mrtve, olesenele celice, ki nastanejo s spajanjem trahejnih elementov
- V RL so traheje nekoliko krajše kot v KL, dolžina pa je od manj kot 350 μm do preko 800 μm
- Najkrajše traheje ima robinija – 180 μm, najdaljše pa črna jelša – 850 – 1230 μm.
- Hrast ima izrazito velike premere trahej – 150-350 μm v RL, in relativno kratke – 300-460 μm

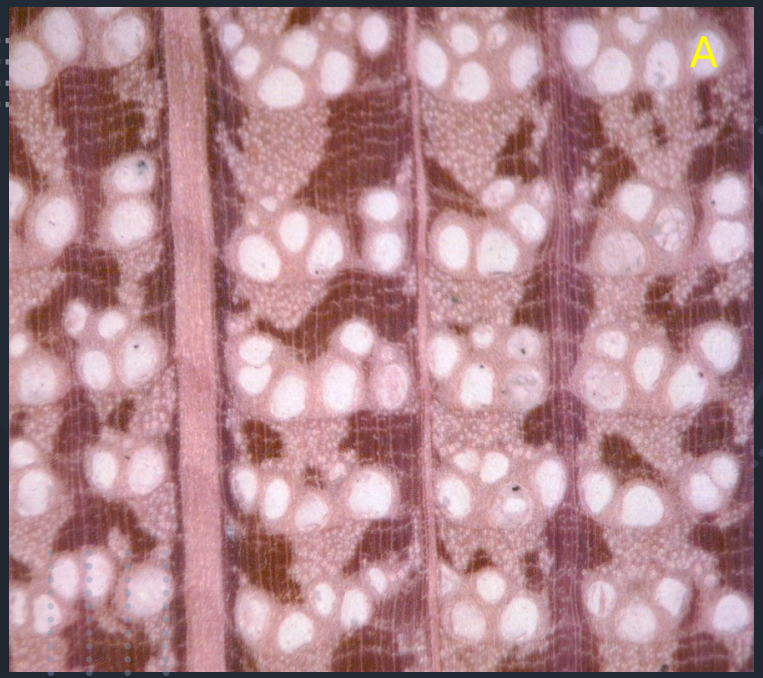


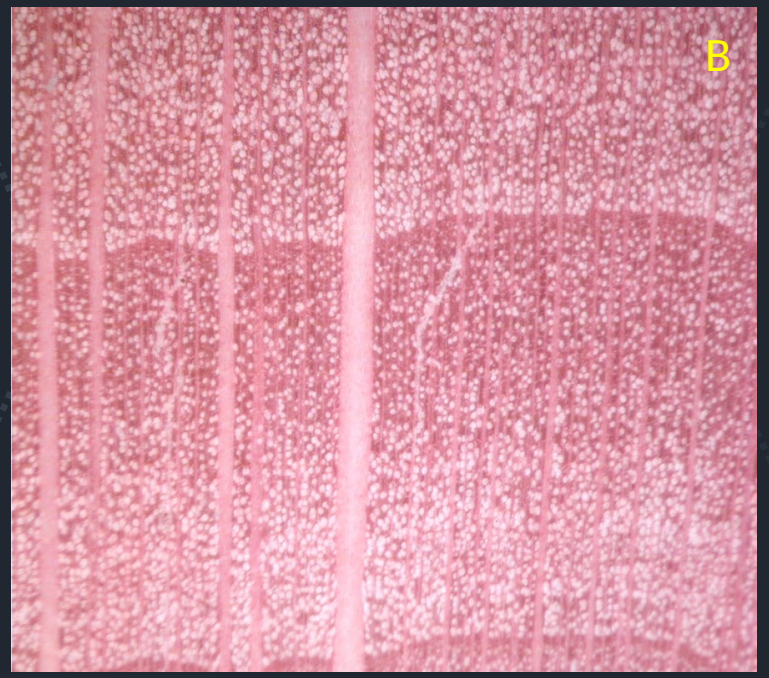
Primerjava glavnih anatomskih elementov lesa listavcev

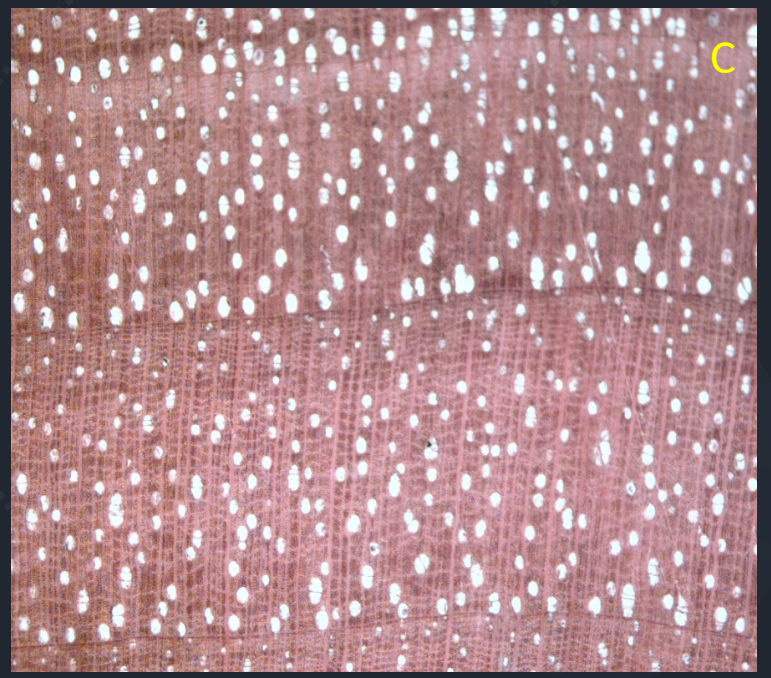


Porazdelitev trahej v branikah pri listavcih

- venčastoporozne vrste (npr. hrasti, jeseni (A))
- difuzno porozne vrste (npr. bukev, javorji (B))
- polvenčasto porozne vrste (npr. oreh (C))
- 90% vseh listavcev je difuznoporoznih, 6% venčasto in 4% polvenčasto poroznih





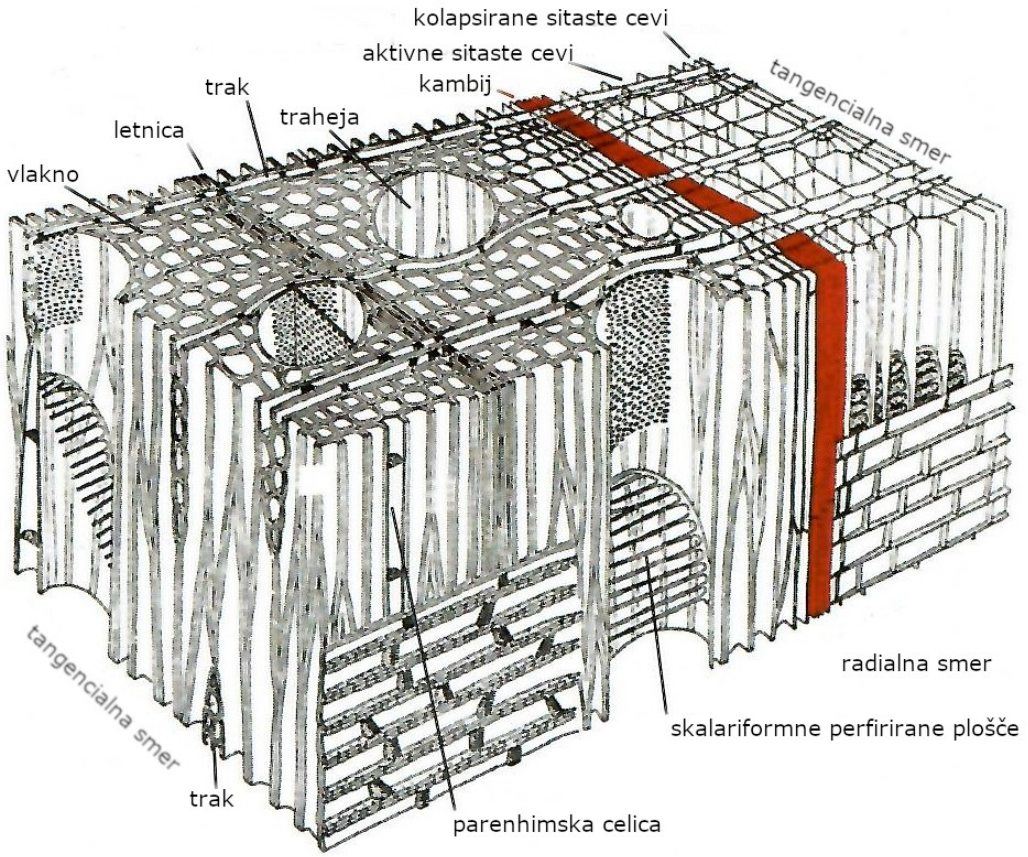


Libriformska vlakna (ali samo vlakna)

- Libriformska vlakna (LV) so aksialno usmerjene celice z debelimi stenami in majhnimi lumni – v prečnem prerezu spominjajo na celice kasnega lesa pri iglavcih
- So mrtve celice, ki prevajajo vodo ali pa vsebujejo zrak
- LV so med seboj tesno spojena, na način da pride do prekrivanja, pri topolih je to prekrivanje v RL skoraj 25%
- LV predstavljajo pri večini listavcev 50-60% lesa in zato močno vplivajo na gostoto lesa, mehanske in obdelavnostne lastnosti
- Glede na obliko preseka, so lahko LV 4- do 6-kotna, redkokdaj so okrogla ali ovalna
- Lumen je pri debelostenih LV okrogel, pri tankostenih pa oglat
- Dolžina LV je med 850 μm pri javorju in 1700 μm pri bukvi, pri iglavcih pa so lahko dolga tudi 6100 μm, debelina celične stene je med 2 in 5 μm

Radialni parenhim – strženovi trakovi (ali samo trakovi)

- Radialni parenhim ali strženovi trakovi so radialno usmerjeni skupki celic, ki se raztezajo iz floema do ksilema
- Skupaj z aksialnim parenhimom tvorijo mrežo živih celic v deblu, igrajo še posebej pomembno vlogo na začetku rasti, pred olistanjem, ko začnejo dovajati hranila na mesta kjer so potrebna
- Strženovi trakovi se med drevesnimi vrstami precej razlikujejo, glede na obliko, sestavo in velikost, zato so dober identifikacijski znak za določanje drevesne vrste
- Ločimo primarne in sekundarne trakove – primarni povezujejo stržen s floemom, sekundarni pa se pojavljajo med primarnimi, ne povezujejo stržena s floemom, ampak tečejo od floema v ksilem, kjer se končajo





Skorja

Česa nismo bolj natančno omenili

- Kambija in nastanek lesa
  - Torelli, Niko. "Ksilogeneza." Les (Ljubljana) letnik 52. številka 10 (2000) str. 325-335. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-GWU6BCL3
  - Gričar, Jožica. "Prevodni kambij." Les (Ljubljana) letnik 61. številka 11/12 (2009) str. 444-450. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-0SM7VJ8P
- Traheid v lesu listavcev, axialnega parenhima, pikenj in različnih oblik pikenj v celicah lesa
  - Torelli, Niko. "Evolucija lesnih rastlin." Les (Ljubljana) letnik 50. številka 7/8 (1998) str. 205-208. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-3WY3KNSZ
  - Torelli, Niko. "Evolucija lesnih rastlin." Les (Ljubljana) letnik 50. številka 9 (1998) str. 249-257. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-8ZHL2H9S
- Intercelularnih prehodov in intercelularnih prostorov v lesu (smola, gumozni ekstrakti, lateks,...)
- Submikroskopske zgradbe lesa
  - Gričar, Jožica. "Celična stena rastlin in nova spoznanja o procesih nastanka lesa." Les (Ljubljana) letnik 62. številka 1 (2010) str. 2-9. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-LHDYYVHN

Viri

- Torelli, Niko. "Reakcijski les in njegova mehanika." Les (Ljubljana) letnik 54. številka 5 (2002) str. 140-147. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-0QK07OG5
- Torelli, Niko. "Ojedritev - vloga in proces." Les (Ljubljana) letnik 55. številka 11 (2003) str. 368-378. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-BHUJUP9X
- Torelli, Niko. "Lesna tekstura." Les (Ljubljana) letnik 50. številka 1/2 (1998) str. 11-12. http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-DQVMB67D
- Wagenfuehr, Rudi. “Anatomi des Holzes”, 1989, 4. izdaja