

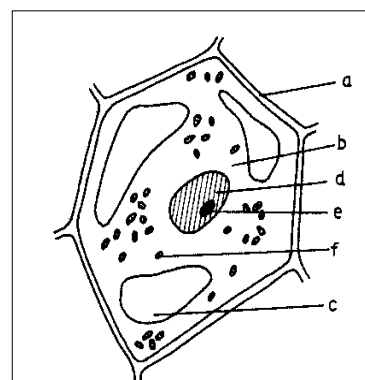
Mikroskopická stavba dreva

Stavba bunky

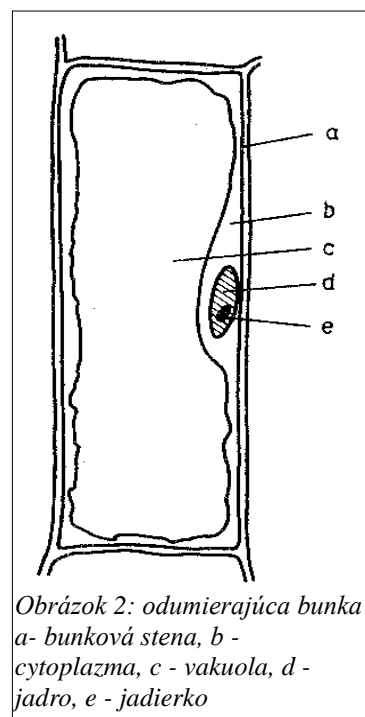
Bunka je základná stavebná jednotka dreva, ktorá je za určitých podmienok schopná samostatného života. Živý strom sa skladá z rôznych typov živých a odumretých buniek z ktorých má každý typ svoju funkciu.

Rastlinná bunka sa vo všeobecnosti skladá z **bunkovej steny**, ktorej obsahom je **protoplazma**, v ktorej prebiehajú všetky procesy spojené so životom bunky (obr.1). Protoplazmu tvoria:

- **jadro** (nukleus) - riadi všetky procesy prebiehajúce v živej bunke. Tvorí ho vonkajší hustejší obal a vnútorný obsah sieťovitej štruktúry z lignínových vlákien,
- **jadierko** (nukleolus) - nachádza sa vo vnútri jadra. Jeho funkcia nie je plne objasnená,
- **plastidy** - sú drobné telieska šošovkovitého tvaru, ktorých podstatou sú bielkoviny. Podľa zafarbenia a funkcie ich delíme na:
 - **chloroplasty** – zelené zrnká chlorofylu, ktorý je organickým katalyzátorom pri fotosyntéze. Vyskytujú sa v bunkách všetkých zelených častí rastlín,
 - **chromoplasty** – sú oranžové telieska, rôznych tvarov, ktoré obsahujú žlté a červené farbivo. Obsahujú ich najmä bunky červeno zafarbených častí rastlín (šípky, mrkva, plody jarabiny, ...),
 - **leukoplasty** – sú bezfarebné guľovité telieska, ktoré sú schopné sa pôsobením svetla zmeniť na chloroplasty alebo chromoplasty. Vyskytujú sa najmä v bunkách podzemných častí rastlín, semenách a zásobovacích pletivách.
- **cytoplazma** – sivastá tekutina obalujúca jadro a plastidy, ktorá sa konzistenciou podobá vaječnému bielku a tvorí podstatnú časť protoplazmy. Hlavnou zložkou cytolazmy sú bielkoviny (30 až 40%). Pri zväčšovaní bunky nestačí cytoplazma vyplniť celý priestor bunky a vytvárajú sa v nej **vakuoly**. Dorastaním a starnutím bunky sa vakuoly zväčšujú a vytvára sa **bunková dutina (lúmen)**, ktorá vytláča cytolazmu k stenám bunky. Cytoplazma sa ukladá na vnútornú stranu bunkovej steny, ktorá tak hrubne, mení sa jej chemické zloženie a bunka odumiera (obr.2).



Obrázok 1: Živá bunka a - bunková stena, b - cytoplazma, c - vakuola, d - jadro, e - jadierko, f - plastidy

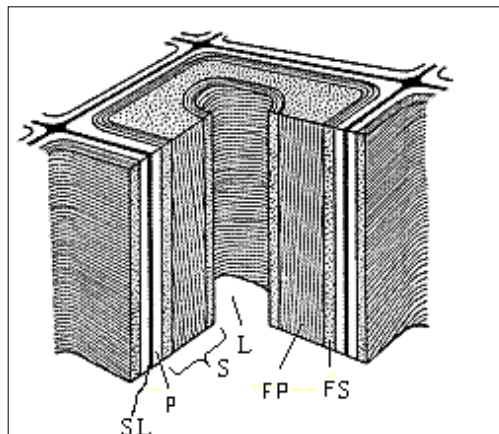


Obrázok 2: odumierajúca bunka a- bunková stena, b - cytoplazma, c - vakuola, d - jadro, e - jadierko

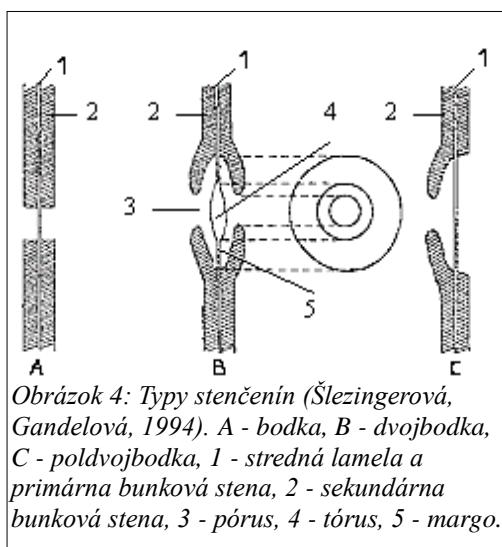
Z hľadiska využitia dreva je najdôležitejšou časťou bunky **bunková stena**, pretože spoločne so **strednou lamelou**, ktorá vyplňa medzibunkový priestor udáva fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva. Stavba bunkovej steny odumretej bunky je zložitá. Zjednodušene však môžeme povedať, že je zložená z dvoch vrstiev s rôznou hrúbkou (obr.3):

- **primárna stena** (hrúbka 0,1 až 0,2 nm) – tvorí ju pôvodná bunková stena živej bunky. Obsahuje len málo celulózy s nižším polymerizačným stupňom. Je silne lignifikovaná.
- **sekundárna stena** (hrúbka 1 až 10 nm) tvorí podstatnú časť bunkovej steny odumretej bunky. Obsahuje podstatne viac celulózy s vyšším polymerizačným stupňom a len malé množstvo lignínu. Sekundárna stena sa vytvorila počas starnutia a odumierania bunky ukladaním bunkového obsahu na vnútornú stranu bunky. Usadzovanie však nie je rovnomerné a v bunkovej stene tak vznikli stenčieniny s rôznymi tvarmi. Sú to prechody medzi susednými bunkami, ktorými v strome prúdia živiny. Stenčieniny delíme na (obr.4):

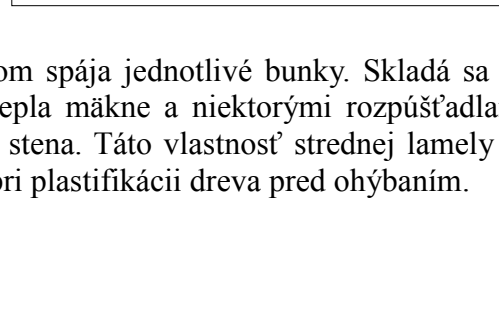
- **bodka** – najjednoduchšia stenčienina, jednoduchý otvor s kruhovým tvarom, rozdelený membránou, ktorú tvoria primárne steny susediacich buniek a stredná lamela,
- **dvojbodka** – má komplikovaný tvar. Membrána má zhrubnutý stredný terčik (tórus) a otvor prechodu (pórus) tvoria vydutiny, ktoré sa klenú z obidvoch strán nad membránou,
- **poldvojbodka** (jednostranná dvojbodka) – zo strany jednej bunky má tvar dvojbodky, zo strany druhej bunky má tvar bodky.



Obrázok 3: Štruktúra bunkovej steny (Balabán, 1955). SL - stredná lamela, P - primárna stena, S - sekundárna stena, L - lumen, FP - pozdĺžne uložené fibrily, FS - špirálovito uložené fibrily.



Obrázok 4: Typy stenčienín (Šlezingerová, Gandelová, 1994). A - bodka, B - dvojbodka, C - poldvojbodka, 1 - stredná lamela a primárna bunková stena, 2 - sekundárna bunková stena, 3 - pórus, 4 - tórus, 5 - margo.



Obrázok 5: Usporiadanie dvojbodiek na stenách ciev. 1 - schodovité, 2 - protistojné, 3 - radové.

Stredná lamela vyplňa medzibunkový priestor a navzájom spája jednotlivé bunky. Skladá sa zo 70% lignínu a má hrúbku maximálne 2 nm. Účinkom tepla mäkne a niektorými rozpúšťadlami (napr. CaHSO_3) sa rozpúšťa podstatne skôr ako bunková stena. Táto vlastnosť strednej lamely sa využíva pri rozvláknovaní dreva chemickým spôsobom a pri plastifikácii dreva pred ohýbaním.

Základné typy drevných buniek

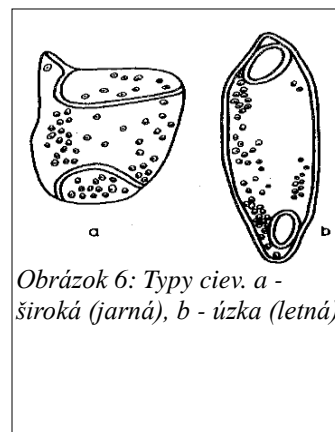
Drevo tvoria prevažne odumreté bunky, ktoré majú vo všeobecnosti tvar uzatvorených rúrok a v dreve sú väčšinou uložené rovnobežne s osou kmeňa. Spojenie jednotlivých buniek do kompaktného celku zabezpečuje stredná lamela, priechodnosť medzi bunkami zasa stenčneniny v stenách.

Podľa tvaru, funkcie a umiestnenia v dreve rozdeľujeme bunky na:

- cieвовité,
- sklerenchymatické,
- parenchymatické

Cieвовité bunky majú prevažne vodivú a vystužovaciú funkciu, rozdeľujeme ich na:

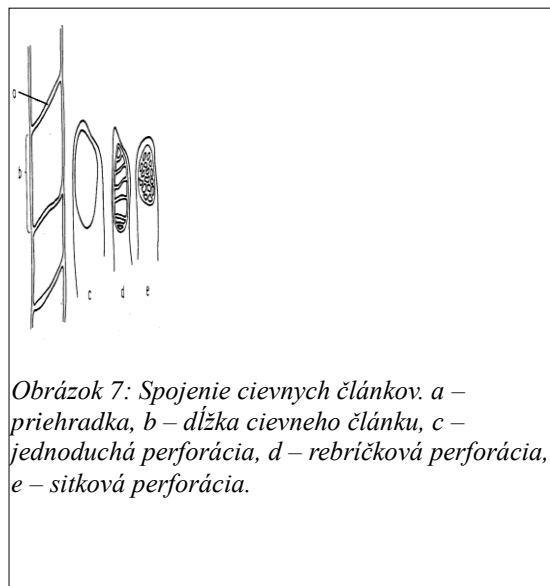
- cievy – tracheje (pri listnatých stromoch),
- cievice - tracheidy (pri ihličnatých stromoch), ktoré ďalej delíme na:
 - jarné tracheidy,
 - letné tracheidy.



Obrázok 6: Typy ciev. a - široká (jarná), b - úzka (letná)

Cievy sú typické vodivé bunky s pomerne malými rozmermi. Majú priemer až 0,4 mm (sú dobre viditeľné voľným okom). Lúmen je veľmi široký, stena cievy je nepravidelne zhrubnutá s množstvom stenčnenín ako sú dvojbodky (obr.6). Cievy v dreve vytvárajú

vertikálny vodivý systém, ktorý vzniká spojením niekoľkých ciev do tvaru rúrok, ktoré niekedy dosahujú dĺžku až 7 m. Tieto vodivé kanáliky sú na začiatku prerušované dotýkajúcimi sa bunkovými stenami. Tie sa však postupne otvárajú a nastáva perforácia, ktorá môže byť jednoduchá (priehradka sa úplne odstráni) alebo čiastočná, ktorá môže byť rebríčková alebo sitková (obr.7).



Obrázok 7: Spojenie cievnych článkov. a – priehradka, b – dĺžka cievneho článku, c – jednoduchá perforácia, d – rebríčková perforácia, e – sitková perforácia.

Cievice v dreve ihličnatých drevín majú funkciu ciev, ktoré sa v nich nevyskytujú. Majú typicky vláknitý tvar, dosahujú dĺžku 2 až 7 mm a priemer bunky je 0,009 až 0,04 mm. Jarné cievice majú široký lúmen a pomerne tenkú stenu s veľkým množstvom priepustných dvojbodiek (až 300 na jednej tracheide). Letné cievice majú hrubšiu stenu s menším počtom stenčnenín. Sú zahrotené, navzájom do seba vkladajú a plnia aj vystužovaciú funkciu.

Sklerenchymatické bunky (libriformné vlákna) sú vláknité bunky s veľmi úzkym lúmenom a veľmi zhrubnutou stenou a malým množstvom stenčnenín – bodiek. Zakončenie buniek umožňuje vzájomné vkladanie, ktoré dodáva drevu veľkú pevnosť. Dĺžka libriformných vlákien je v rozmedzí 0,2 až 1,2 mm a priemer 0,03 až 0,05 mm. Libriformné vlákna sú typické vystužovacie bunky listnatých drevín.

Parenchymatické bunky majú rôzne tvary a v dreve plnia rôzne funkcie, najmä vyživovaciú, zásobovaciú a čiastočne aj vodivú. Bunková stena je tenká s množstvom stenčienín, väčšinou bodiek. Parenchymatické bunky zostávajú dlho živé a bunkový obsah strácajú pomaly. Obsahujú množstvo živcových kyselín, trieslovín a minerálnych látok.

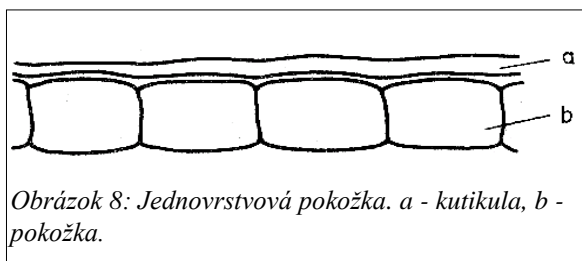
Druhy bunkových pletív

Pletivo je súbor buniek, ktoré majú rovnakú funkciu a približne rovnaký tvar. Pre život stromu sú bezpodmienečne nevyhnutné tri druhy pletiva:

- pokožkové,
- základné,
- vodivé.

Pokožkové pletivo (krycie) pokrýva všetky orgány stromu. Chráni ich proti baktériám, plesniam, vysychaniu a účinkom vody, pred kolísaním teploty a proti mechanickému poškodeniu. Umožňuje však výmenu plynov a vodnej pary s vzduchom. Pokožkové pletivo rozoznávame:

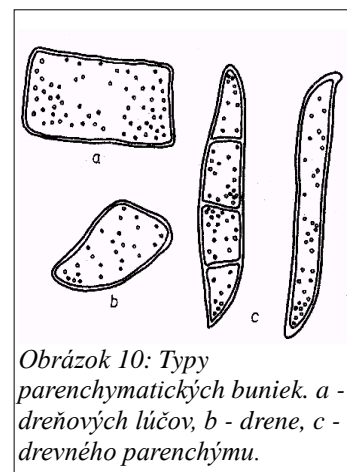
- *jednovrstvové (epidermis)*, ktoré sa skladá z jednej vrstvy pokožkových buniek pokrytých nepriepustnou vrstvou – kutikulou (obr.8). Pokrýva listy a mladé nezdrevnateľé časti rastliny. Má veľké množstvo priechodov, ktoré dovoľujú napríklad listom prijímať zo vzduchu oxid uhličitý.
- *viacvrstvové (peridermis)* pokrýva staršie viacročné časti stromu. Pod pokožkou je vrstva skorkovatených buniek a druhotné delivé pletivo kôry – felogén (parakambium) vytvára smerom k drevu parenchymatické bunky, ktoré nazývame zelená kôra – feloderm (obr.9).



Obrázok 8: Jednovrstvová pokožka. a - kutikula, b - pokožka.



Obrázok 9: Viacvrstvová pokožka. a - kutikula, b - pokožka, c - korková vrstva, d - felogén (parakambium), e - feloderm (zelená kôra).



Obrázok 10: Typy parenchymatických buniek. a - dreňových lúčov, b - drene, c - dreveného parenchýmu.

Základné pletivo sa skladá z parenchymatických buniek (obr.10) zoskupených v dreni a dreňových lúčoch. Tu sa ukladajú produkty látkovej premeny, zásobovacie látky, éterické oleje (silice), triesloviny atď. Dreň tvoria bunky nepravidelného tvaru, ktoré zostávajú veľmi dlho živé (niekedy počas celého života stromu). dreňové lúče sa skladajú z hranolovitých, tehlovito uložených buniek. Niektoré dreňové lúče, ktoré nazývame primárne alebo pravé, vychádzajú z drene a siahajú až do vrstvy lyka. Ostatné, ktoré nazývame sekundárne alebo nepravé, vychádzajú z niektorého ročného kruhu a siahajú do lyka.

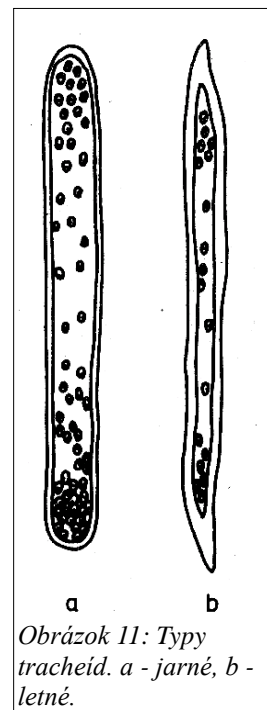
Vodivé pletivo vytvárajú cievne zväzky *lyka* a *dreva*.

Lyko (floém) sa skladá zo:

- *sitkovic* – dlhé tenkostenné bunky s perforovanými priehradkami. Ich úlohou je privádzať asimiláty z listov koruny do stavebných miest, pričom sú dôležité dreňové lúče, ktorými sa tieto látky rozvádzajú na ktorékoľvek miesto v dreve,
- *lykového parenchýmu a sklerenchýmu* – je len málo vyvinutý. Sklerenchymatické pletivo vytvárajú dlhé a pevné vlákna, ktoré umožňujú priemyselné spracovanie dreva.

Drevo (floém) tvoria tri druhy buniek:

- *vodivé bunky (tracheje a tracheidy)* (obr.11) – ich funkciou je prívod vody s rozpustenými minerálnymi látkami do koruny a listov, odkiaľ sa produkty fotosyntézy vracajú lykom do vyživovacích miest,
- *drevný parenchým*, ktorý má funkciu zásobárne výživných látok. Podľa miesta výskytu v dreve sa rozdeľuje na:
 - *paratracheálny (sprievodný) parenchým*, ktorý obklopuje cievy,
 - *metatracheálny parenchým*, ktorý vytvárajú kruhovito zoskupené bunky nezávisle od polohy ciev,
 - *difúzny parenchým*, ktorý predstavujú parenchymatické bunky roztrúsené medzi ostatnými druhmi buniek,
 - *terminálny parenchým*, zoskupený na okraji ročných kruhov.
- *drevný sklerenchým*, ktorý vytvárajú skupiny hrubostenných libriformných vlákien, ktoré dodávajú drevu pevnosť.



Dôležitú funkciu v živote stromu má pletivo, ktorého bunky si zachovávajú delivú schopnosť počas celého života stromu. Po skončení primárneho (výškového) rastu stromu sa po obvode drevnej časti kmeňa vytvára súvislá jednobunková vrstva delivých buniek – *kambium*. Z kambiových buniek sa tangenciálnymi priehradkami oddeľujú nové bunky dreva a nastáva sekundárny (hrúbkový) rast stromu.

Anatomická stavba kôry

Kôra je ochranný obal drevnatých častí stromu. Chráni aktívne pletivá pred nepriaznivými vonkajšími vplyvmi, sprostredkúva výmenu plynov a vodnej pary so vzduchom.

Kôra sa skladá z niekoľkých vrstiev, z ktorých každá má svoju špeciálnu funkciu. Sekundárny (hrúbkový) rast kôry zabezpečuje delivé pletivo – *felogén*. Má podobnú činnosť ako kambium, preto sa nazýva aj parakambium alebo korkové kambium. Na vonkajšiu stranu sa z felogénu oddeľujú korkové bunky, na vnútornú stranu parenchymatické bunky s vysokým obsahom chlorofylu, ktoré tvoria vrstvu zelenej kôry – *feloderm*.

Korkové bunky sú elastické, majú pevne spojené bunkové steny obsahujúce vysoké percento

suberínu, ktorý obmedzuje ich priepustnosť vody a vzduchu. V kôre sa vyskytujú kruhové alebo šošovkovité úseky kyprého pletiva – lentricely, ktoré pôsobia ako priechody.

V niektorých drevinách prvý felogén po čase odumiera a vytvára sa ďalší felogén vo vrstve felodermu. Vrstvy nad prvým felodermom odumierajú a vytvárajú borku. Táto odumretá vrstva kôry sa nestačí prispôbiť hrubnutiu kmeňa, praská a odlupuje sa. Dreviny, pri ktorých sa ďalší felogén netvorí nemajú borku a ich kôra je na povrchu hladká (napr. buk, hrab).

Anatomická stavba lyka

Lyko je pomerne tenká vrstva pletiva, ktorá má vodivú funkciu. Je uložená medzi kôrou a drevom. Vzniká činnosťou kambia, ktoré na vonkajšiu stranu produkuje lykové bunky rôzneho tvaru a funkcie:

- sitkovice,
- lykové vlákna,
- lykový parenchým,
- sklerenchymatické bunky.

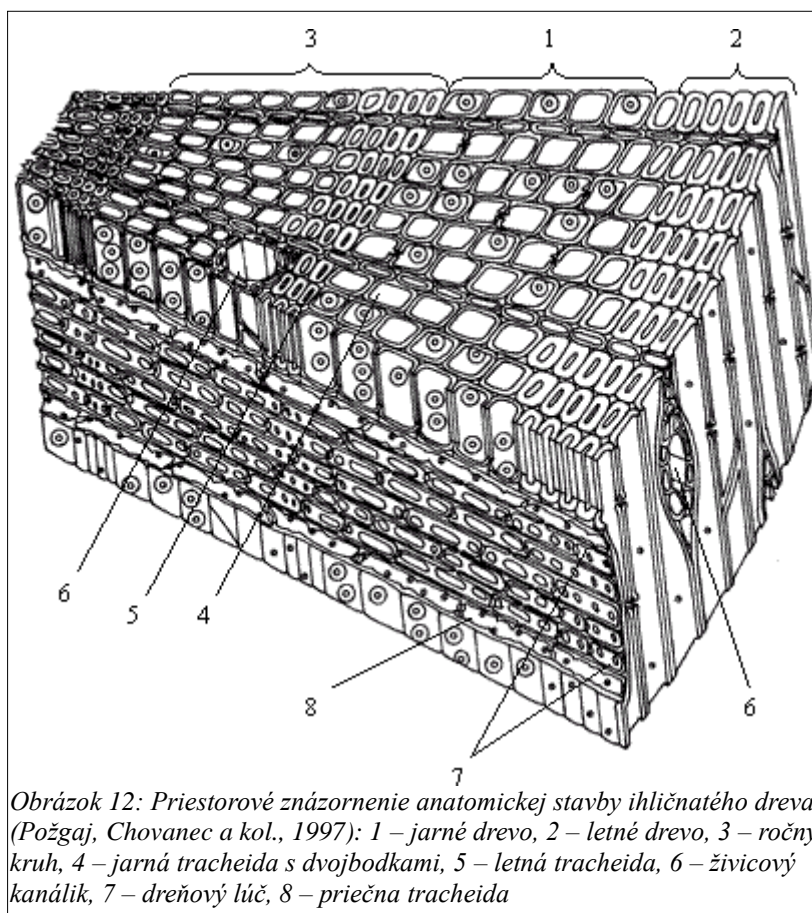
Najdôležitejšiu funkciu majú sitkovice. Prechádza nimi zostupný prúd asimilátov vytvorených fotosyntézou v listoch a dreňovými lúčmi sa rozvádza na vyživovacie miesta vnútri kmeňa. Ostatné druhy lykových buniek nie sú tak vyvinuté ako sitkovice. Len v niektorých drevinách (napr. lipa) sú bohatšie zastúpené dlhé lykové vlákna, takže lyko môžeme aj priemyselne spracovať.

Anatomická stavba ihličnanov

Stavba ihličnatého dreva je oveľa jednoduchšia ako stavba listnatého dreva. Podstatnú časť tvoria tracheidy, ktorých je viac ako 90%. Sú usporiadané v pravidelných radiálnych radoch. Ročné kruhy sú pri ihličnanoch dobre viditeľné, pretože rozdiel medzi jarnými a letnými tracheidami je veľký.

Tracheidy letného dreva majú oveľa hrubšiu stenu a ich lúmeny sú v radiálnom reze zúžené a javia sa ako dlhé vertikálne uložené vlákna pokryté veľkým množstvom dvojbodiek. Časť tracheíd je pokrytá dreňovými lúčmi. Ich uloženie medzi tracheidami je najlepšie vidieť na tangenciálnom reze.

Pri ihličnanoch sa najčastejšie vyskytujú jednoradové dreňové lúče. pri drevinách, ktoré obsahujú živicu sú bežné aj viacradové dreňové lúče, ktoré majú v strede živicový kanálik. Celkový objem dreňových lúčov je pri ihličnatom dreve maximálne 10%. Živicové kanáliky predstavujú len 1% celkového objemu a pri niektorých drevinách (napr. jedľa) úplne chýbajú.



Obrázok 12: Priestorové znázornenie anatomickej stavby ihličnatého dreva (Požgaj, Chovanec a kol., 1997): 1 – jarné drevo, 2 – letné drevo, 3 – ročný kruh, 4 – jarná tracheida s dvojbodkami, 5 – letná tracheida, 6 – živcový kanálik, 7 – dreňový lúč, 8 – pričná tracheida

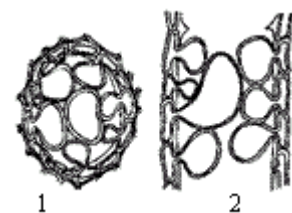
Anatomická stavba listnáčov

Stavba listnatého dreva je oveľa zložitejšia ako stavba ihličnatého dreva. Cievnité prvky (tracheje) tvoria pri listnáčoch len asi 20% celkového objemu dreva. Aj voľným okom sú viditeľné cievy jarného dreva, ktoré majú pomerne väčšie lúmeny ako cievy letného dreva. Tento rozdiel je dobre vidieť najmä pri kruhovito-cievnatých drevinách (napr. dub, jaseň), kde veľké jarné tracheje sú v jarnom dreve zoskupené pri hranici ročných kruhov. Cievy letného dreva sú menej viditeľné, pri niektorých drevinách sú usporiadané pravidelne. Napríklad letné cievy brestového dreva možno na priečnom reze pozorovať v typickom usporiadaní – vlnkách. Toto usporiadanie sa na radiálnom, ale najmä tangenciálnom reze, prejavuje osobitou kresbou.

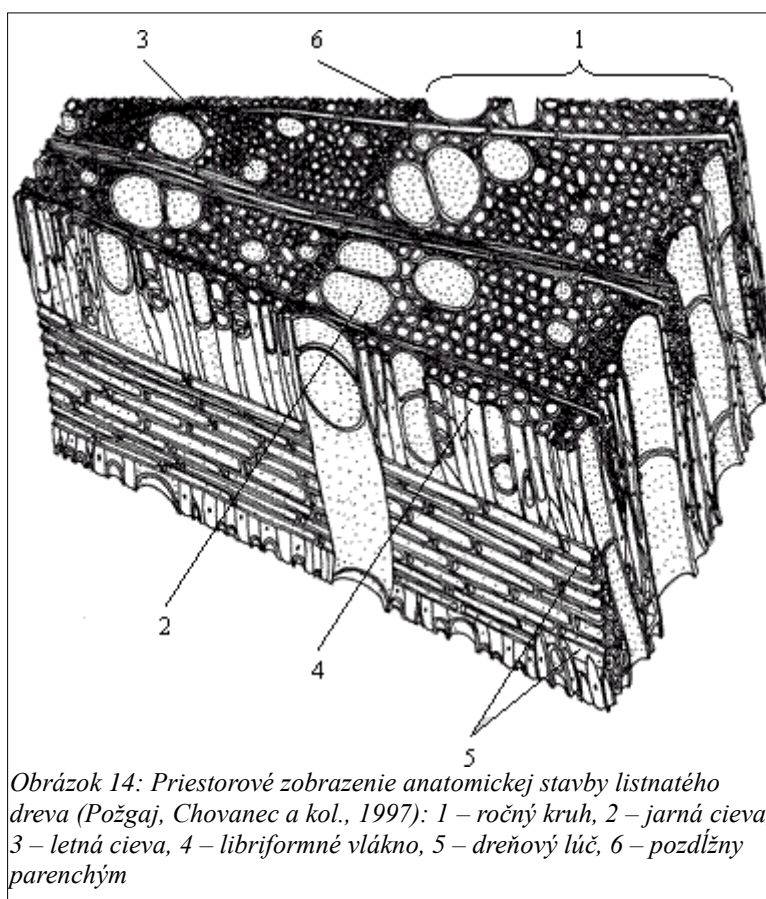
Podstatnú časť hmoty listnatého dreva tvoria libriformné vlákna, ktorých podiel je až 50% celkového objemu. Sú to typické stavebné prvky s mechanickou funkciou, ktoré dodávajú drevu pevnosť a tvrdosť. Majú veľmi úzke lúmeny, ktoré aj pod mikroskopom takmer nezbadateľné a veľmi hrubú a zdrevnatelú bunkovú stenu. Dĺžka libriformných vlákien je od 1,0 do 1,8 mm.

Dreňové lúče listnatých drevín sú častejšie viacradové. Niektoré dreviny (napr. dub) majú šírku niekoľko desiatok radov buniek, iné (napr. hrab, jelša) majú nevýrazné jednoradové dreňové lúče združené do nepravých združených dreňových lúčov.

Drevný parenchým je v listnatých drevinách zastúpený viac ako v ihličnanoch. Bunky paratracheálneho parenchýmu tvoria okolo cievy prstenec tenkostenných buniek, ktorých steny často prerastajú stenčeninami do cievných lúmenov a vytvárajú tyly. Podstatný vplyv na tvorbu tylov má zníženie tlaku v cievach, ku ktorému dochádza najmä vo vyzretom jarnom dreve. Tyly nepriaznivo ovplyvňujú priechodnosť ciev, čo spôsobuje, že jadrové drevo sa ťažko impregnuje. Silne vyvinutý je aj metatracheálny a difúzny parenchým. Príčinou väčšieho podielu parenchýmu v listnatých drevinách je, že tieto dreviny zhadzujú lístie a na začiatku vegetácie potom potrebujú väčšie množstvo zásobných látok na vytvorenie nových listov.



Obrázok 13: Cieva vyplnená tyľmi (Matovič, 1981). 1 – priečny rez, 2 – pozdĺžny rez



Obrázok 14: Priestorové zobrazenie anatomickej stavby listnatého dreva (Požgaj, Chovanec a kol., 1997): 1 – ročný kruh, 2 – jarná cieva, 3 – letná cieva, 4 – librifórmne vlákno, 5 – dreňový lúč, 6 – pozdĺžny parenchým

Submikroskopická stavba bunkovej steny

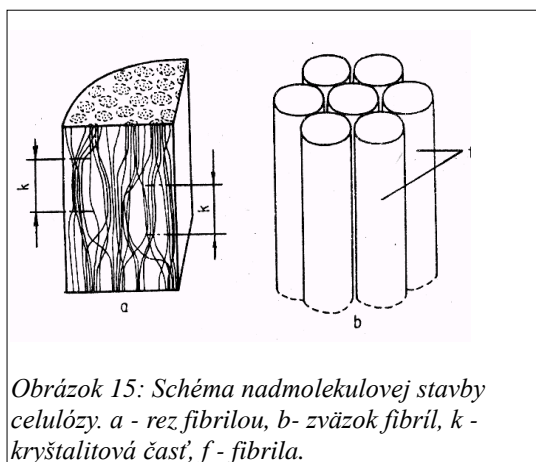
Bunková stena odumretej bunky vznikla postupným ukladaním bunkového obsahu na pôvodnú bunkovú stenu živej bunky, čím vznikla vrstevnatá bunková stena. Zjednodušene môžeme povedať, že bunková stena sa skladá z **dvoch vrstiev**:

- **primárna stena** je vlastne pôvodný obal živej bunky. Má veľmi malú hrúbku od 0,1 do 0,2 nm. Táto vrstva tesne susedí so strednou lamelou a obsahuje veľké množstvo lignínu. Celulózové vlákna sa vyskytujú v menšom množstve a v neusporiadaných zväzkoch.

- **sekundárna stena** sa vytvorila ukladaním najmä celulózových vlákien na primárnu stenu. Jej celková hrúbka je od 1 do 10 nm. Elektronovým mikroskopom v nej môžeme pozorovať tri vrstvy, ktoré sa od seba odlišujú orientáciou celulózových zväzkov:
 - **vrstva S_1** susedí s primárnou stenou. Má malú hrúbku (0,1 nm) a vyznačuje sa veľkým obsahom lignínu. Smer celulózových vlákien (fibríl) zvierá s osou bunky uhol 60 až 70°,
 - **stredná vrstva S_2** je podstatne hrubšia (1 až 10 nm) a obsah lignínu je zanedbateľný. Fibrily sú orientované takmer rovnobežne s osou vlákien (najväčší uhol je približne 18°),
 - **vrstva S_3** je veľmi tenká (maximálne 0,1 nm) a skladá sa len z celulózy. Fibrily zvierajú z osou bunky uhol 45°.

Hmotu bunkovej steny teda tvorí prevažne celulóza - makromolekulová látka, zložená z jednotiek β -D-glukopyranózy, ktoré sú spojené do lineárnych reťazcov. Sumárny vzorec celulózy je $(C_6H_{10}O_5)_n$, kde n znamená stupeň polymerizácie, teda počet molekúl v reťazci makromolekuly. Drevná celulóza má stupeň polymerizácie približne 8000. Dĺžka reťazca je 0,4 až $1,2 \cdot 10^{-6}$ m, šírka a hrúbka v priemere $5 \cdot 10^{-10}$ m.

Jednotlivé reťazce celulózy sú zoradené prevažne rovnobežne. Neprebiehajú však samostatne, ale sú navzájom spojené vedľajšími valenciami. Tvoria tak submikroskopické zväzky, usporiadané mriežkové útvary – **kryštality** (obr.15). Ich dĺžka je približne $6 \cdot 10^{-8}$ m a priemer od 0,6 do $0,9 \cdot 10^{-8}$ m. Pri porovnaní ich dĺžky s dĺžkou celulózových reťazcov vidíme, že reťazce celulózy sú podstatne dlhšie. Znamená to, že reťazce prechádzajú niekoľkými kryštalitmi, dĺžkovo ich spájajú a vytvárajú tak kryštalitové pásy. Niekoľko takýchto pásov spolu tvorí elementárne fibrily – **mikrofibrily**, ktorých priemer je približne 1 až $2 \cdot 10^{-8}$ m.



Obrázok 15: Schéma nadmolekulovej stavby celulózy. a - rez fibrilou, b- zväzok fibríl, k - kryštalitová časť, f - fibrila.

Spájaním kryštalitových pásov do fibríl sa medzi kryštalitmi utvárajú drobné dutinky, nazývané submikroskopické štrbiny alebo aj **intermicelárne priestory**. Tieto štrbiny majú veľký význam z hľadiska hydrofobnosti dreva, lebo práve v týchto priestoroch sa ukladá absorbovaná voda, odtláča od seba kryštality, čím drevo zväčšuje svoje rozmery – napúča.

Mikrofibrily však nie sú najvyššou organizovanou formou celulózy. Zväzky 10 až 500 mikrofibríl vytvárajú vyššie jednotky – **sekundárne fibrily**, ktoré majú priemer približne 0,2 až $0,3 \cdot 10^{-6}$ m. Uloženie sekundárnych fibríl, ich sklon v bunkovej stene vzhľadom na os bunky má veľký vplyv na rozdielne napúčanie dreva v jednotlivých smeroch.

Zdroje:

Kadleček, F.: Materiály pre 1. a 2. ročník stredných priemyselných škôl drevárskych. Bratislava: Alfa 1980.

Požgaj A., Chovanec D., Kurjatko S., Babiak M.: Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda 1997.

Šlezingerová J., Gandelová L.: Stavba dreva. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně 1994.

<http://www.vscht.cz>