

Vybrané úkoly ke studiu biologie dřevin

Ve školním roce 2007/2008 bylo v rámci projektu STM – Morava v sekci Věda je zábava vyhlášeno i téma z oboru dendrologie – Stromy okolo nás. Toto téma bylo zaměřeno na komplexní poznávání dřevin (především jejich morfologii, anatomii a ekologii).

Zadané téma zpracovávali studenti od září do dubna, tedy mimo hlavní vegetační sezónu. Do jisté míry byly proto omezené možnosti terénního floristického průzkumu a sledování změn dřevin během vegetační sezóny, omezené možnosti studia reprodukčních orgánů aj. Badatelské kolektivy středních škol se proto zaměřily především na studium anatomie a morfologie vegetativních orgánů a plodů a inventarizační průzkum dřevin v okolí školy. Některé badatelské kolektivy navázaly spoluprací s místními organizacemi ochrany přírody a jejich práce přinesla i řadu zajímavých, prakticky využitelných, poznatků z ekologie a ochrany stromů a keřů.

Následující text přináší popis některých vybraných řešených úkolů s didaktickými poznámkami. Popisy úkolů jsou zpracovány komplexně, včetně stručného teoretického úvodu ke studované problematice, takže mohou být přímo využity jako metodický materiál v botanických kroužcích na středních školách, přírodovědných táborech, jako rozšiřující učivo v biologickém praktiku na středních školách nebo jako náměty pro přírodovědné soutěže s botanickou tematikou.

Plnění jednotlivých úkolů přispívá především k rozvoji kompetencí k učení (např. studium odborné literatury, vyhledávání informací na internetu), kompetencí pracovních (např. samostatná příprava preparátů, mikroskopování) a kompetencí komunikativních a sociálních (např. schopnost týmové spolupráce, formulace výsledků v závěrečné písemné práci, schopnost prezentace výsledků na konferenci mladých přírodovědců).

Vybrané úkoly ke studiu biologie dřevin

1. Srovnání fytolitů v pletivech různých druhů dřevin.
2. Klasifikace stomat v epidermis listů podle počtu, tvaru a uspořádání epidermálních buněk obklopujících stomata.
3. Rozlišení dřeva jehličnanů a listnáčů na základě mikroskopických znaků.
4. Srovnání anatomické a morfologické stavby slunných listů z obvodu koruny a zastíněných listů z vnitřní části koruny.
5. Inventarizace dřevin vybraného území.

1. Srovnání fytolitů v pletivech různých druhů dřevin

Teoretický úvod

Při mikroskopickém pozorování vnitřní stavby rostlin upoutá často pozornost studentů přítomnost zajímavých struktur, tzv. **fytolitů**. Fytolity jsou mikroskopické útvary inkrustující buněčné stěny nebo krystalické inkluze nacházející se uvnitř buněk. Pravděpodobně slouží jako depo zásobních látek (např. vápníku) využitelných v případě potřeby nebo depo odpadních produktů buňky. Inkrustace buněčných stěn také přispívá ke zpevnění rostlinných pletiv a chrání rostliny před okusem býložravců.

Tvar fytolitů, způsob uložení v buňce a chemické složení fytolitů se liší u různých systematických skupin rostlin. Specifického utváření fytolitů a jejich schopnosti dlouhodobě přetrvávat v půdě nebo sedimentech využívá **fytolitová analýza**. Fytolity se získávají dekompozicí nebo spálením rostlinných zbytků, poté jsou podrobeny mikroskopické analýze. Využití fytolitové analýzy je mnohostranné (především využití silikátových fytolitů). Využívá se např. při rekonstrukci vegetace příslušného období (nejčastěji starší holocén, pleistocén, ale i starší období), v archeologii při determinaci pěstovaných rostlin (často bývá zkoumán obsah obilných jam), při identifikaci fosilních půd, v některých případech umožňuje fytolitová analýza rozlišit mořské a terestrické sedimenty, může sloužit jako forenzní nástroj v kriminalistice aj.

Zajímavým výsledkem fytolitové analýzy je doložení trávožravého sauropodního dinosaura v Indii z doby před 65 – 70 milióny lety. Důkazem je přítomnost silikátových travních fytolitů nalezených v dinosauřím trusu.

Klasifikace fytolitů je značně nejednotná, existuje několik přístupů k jejich systematickému třídění. V pedagogické praxi se osvědčila tradiční klasifikace fytolitů podle jejich struktury, distribuce v pletivech a podle chemického složení (příklady obr. 1, 2, 3).

V buňkách mohou fytolity vytvářet:

- **krystalický písek:** drobné krystaly vyskytující se ve velkém množství;
- **styloidy:** jednotlivé větší hranolovité krystaly;
- **rafidy:** svazky tenkých jehlicovitých zašpičatělých krystalů;
- **drůzy:** srostlice tvořené více krystaly;
- **sférity (sférokrytaly):** radiálně uspořádané jehlicovité krystaly.

Velmi rozšířeným typem fytolitů jsou **krystaly šťavelanu vápenatého** (obr.1–6). Vyskytují se v monoklinické (jednoklonné) soustavě jako monohydrát $(\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$ nebo v tetragonální (čtverečné) soustavě jako trihydrát $(\text{COO})_2\text{Ca} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$. Krystaly šťavelanu vápenatého se tvoří v cytoplazmě, později mohou vnikat do vakuol. Poměrně často se vyskytují v pletivech dřevin šťavelanové drůzy, např. u lípy (*Tilia*), topolu (*Populus*). Dalšími příklady krystalických inkluzí šťavelanu vápenatého jsou krystalický písek ve stoncích bezů (*Sambucus*), styloidy v mezofylu a v řapících listů révy vinné (*Vitis vinifera*), topolů (*Populus*).

Uhličitan vápenatý (CaCO_3) vytváří u některých rostlin hroznovité shluky, tzv. **cystolity**, např. v buňkách epidermis listu fíkovníku pryžodárného (*Ficus elastica*). Svrchní epidermis listu fíkovníku pryžodárného je třívrstevná. Některé epidermální buňky, tzv. **lithocysty**, jsou nápadně větší (příklad idioblastu). V nich jsou na tenkých, lopatkovitě rozšířených, celulosních stopkách uloženy cystolity. Cystolity lze rozpustit přidáním kapky HCl , uvolní se bubliny CO_2 , celulosní stopka však zůstane zachována. Vápník deponovaný v cystolitech může být pravděpodobně rostlinou metabolicky využíván – stupeň inkrustace cystolitů uhličitanem vápenatým a také množství cystolitů se může měnit v souvislosti s obsahem vápníku v půdě. Lithocysty s cystolity se u různých rostlin nacházejí v různých orgánech (nejčastěji v epidermis listů, ale i v parenchymu listů, stonků a kořenů), rozdílný je rovněž i tvar a velikost cystolitů.

Uhličitan vápenatý se také nachází v buňkách starších letokruhů dřeva mnohých dřevin, např. jilmu (*Ulmus*), buku (*Fagus*), hrušně (*Pyrus*).

Kyselina křemičitá ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) inkrustuje buněčné stěny epidermis ve formě pevného silikátového polymeru ($\text{HO-Si-O} \dots \text{Si-O-Si-OH}$), např. u palem (*Arecaceae*). Silikátové fytolity mohou mít i formu cystolitů, např. u fíkovníku sykomory (*Ficus sycomorus*).

U některých druhů bambusů (bambus lze v širším slova smyslu považovat za dřevinu, dřevnatá tráva) jsou interceluláry v internodiích stébel vyplněny křemičitými konkréciemi známými jako tabašir.

Vzácně se vyskytují i inkluze jiného chemického složení. Např. v buňkách epidermis kapary trnité (*Capparis spinosa*) jsou uloženy krystaly síranu vápenatého (sádrovec) v podobě tyčinek a sféritů, v buňkách žloutnoucích listů révy vinné (*Vitis vinifera*) se nacházejí krystaly vinanu vápenatého.

Postup

- **Sběr materiálu:** z vybraných dřevin odebereme kousky větvíček (přibližně v síle tužky) a kousky listů (řapíků i čepelí). Materiál fixujeme v glycerolalkoholu (3 :1) a pečlivě

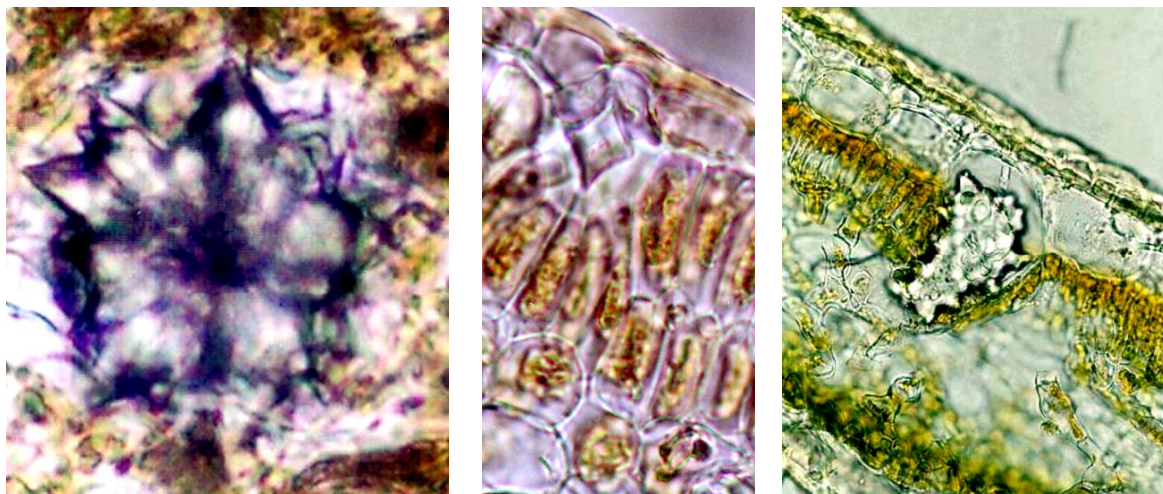
popíšeme (druh dřeviny, datum a místo sběru). Využíváme i subtropických a tropických dřevin pěstovaných jako pokojové rostliny nebo ve skleníku.

- Příprava preparátu: žiletkou zhotovíme několik příčných řezů větvičkami a listy (listové čepele a řapíky upevníme do podélně rozkrojené bezové duše). Řezy přeneseme na podložní sklíčko do kapky vody nebo glycerolu a přikryjeme krycím sklíčkem. Preparáty nebarvíme.
- Pozorování pod mikroskopem: vyhledáme vhodný objekt při malém zvětšení a poté pozorujeme při středním zvětšení. Zhotovíme jednoduchý nákres, popř. fotodokumentaci. Pokusíme se určit o jaký typ fytolitu se jedná (klasifikace fytolitů). Na závěr sestavíme přehlednou tabulku srovnání fytolitů studovaných dřevin.

Didaktické poznámky

Tento úkol je vhodný pro studenty, kteří již zvládli základy mikroskopické techniky a základy kresby biologických objektů. Před vlastním provedením je nutná teoretická příprava (student musí vědět, co má v preparátu hledat), zopakování postupu přípravy jednoduchých vodních preparátů a také zopakování zásad správného mikroskopování.

Jako vhodná vyučovací forma se osvědčila individuální práce studentů, kdy každý zkoumá vzorky jiných dřevin. Podaří se tak zachytit širší spektrum fytolitů.



Obr. 1 Drůza (srostlice krystalů) šťavelanu vápenatého v listu topolu černého (*Populus nigra*).

Obr. 2 Krystal šťavelanu vápenatého ve zveličelé buňce (idioblast) listu citroníku (*Citrus lemon*).

Obr. 3 Příčný řez listem fíkovníku bengálského (*Ficus bengalensis*) s fytolitem. Ve třívrstevné svrchní epidermis se nacházejí zveličelé buňky – lithocysty, v nichž se na celulosních stopkách vytvářejí hroznovité shluky uhličitanu vápenatého – cystolity.

2. Klasifikace stomat v epidermis listů podle počtu, tvaru a uspořádání epidermálních buněk obklopujících stomata

Teoretický úvod

Jedním z problémů, se kterým se řešitelé tématu Stromy okolo nás setkávali, byla klasifikace stomat listové epidermis.

Stomata (průduchy) patří k provětrávacímu systému primárního krycího pletiva (epidermis, pokožka). Zajišťují výměnu plynů a vodních par mezi ovzduším a mezofylem listů. Umožňují příjem oxidu uhličitého potřebného k fotosyntéze a příjem kyslíku potřebného k respiraci. Průduchovými štěrbinami stomat také difunduje vodní pára z listu do ovzduší (stomatární transpirace). Stomatární transpirace uvádí do pohybu transpirační proud a ochlazuje listy. Význam stomat při zajišťování základních životních funkcí rostliny dokládá skutečnost, že funkční stomata byla zjištěna již u nejstarších suchozemských cévnatých rostlin.

Stomata lze klasifikovat z různých hledisek. Základní kriteria klasifikace stomat jsou umístění stomat na listu, poloha stomat vzhledem k rovině epidermis, ontogenetický vývoj stomat, anatomická stavba stomat a počet, uspořádání a tvar epidermálních buněk obklopujících stomata. Nejvýznamnější kvantitativní klasifikační znaky jsou délka stomat a hustota stomat (počet stomat/mm²).

Z hlediska systematické botaniky je významná klasifikace stomat podle počtu, uspořádání a tvaru epidermálních buněk obklopujících stomata. V zásadě lze rozlišit dva základní typy stomat a mnoho typů odvozených:

- **stomata izocytická (anocytická):** epidermální buňky obklopující stomata se neliší od ostatních buněk epidermis (obr. 6);
- **stomata anizocytická:** epidermální buňky obklopující stomata se liší od ostatních buněk epidermis (obr. 5). Dosud bylo popsáno několik desítek typů anizocytických stomat. Základní typy izocytických a anizocytických stomat ilustruje obrázek 4.

Postup

- **Sběr materiálu:** z vybraných dřevin odebereme mladší zdravé listy a umístíme do igelitových pytlíků s popiskami. Vybíráme i dřeviny pěstované jako pokojové rostliny nebo ve skleníku.
- **Zhotovení preparátů:** v podmínkách středních škol lze zhotovit preparáty vhodné pro klasifikaci stomat následujícími způsoby:

- zhotovení otiskového preparátu pomocí laku na nehty (mikroreliefová metoda) – na spodní stranu listu nanese tenkou vrstvu bezbarvého laku na nehty, necháme zaschnout, stáhneme pomocí bezbarvé izolepy a přilepíme na podložní sklíčko, pozorujeme při silnějším zablácení;
- zhotovení preparátu stažením malého kousku epidermis spodní strany listu a přenesením do kapky vody na podložní sklíčko.

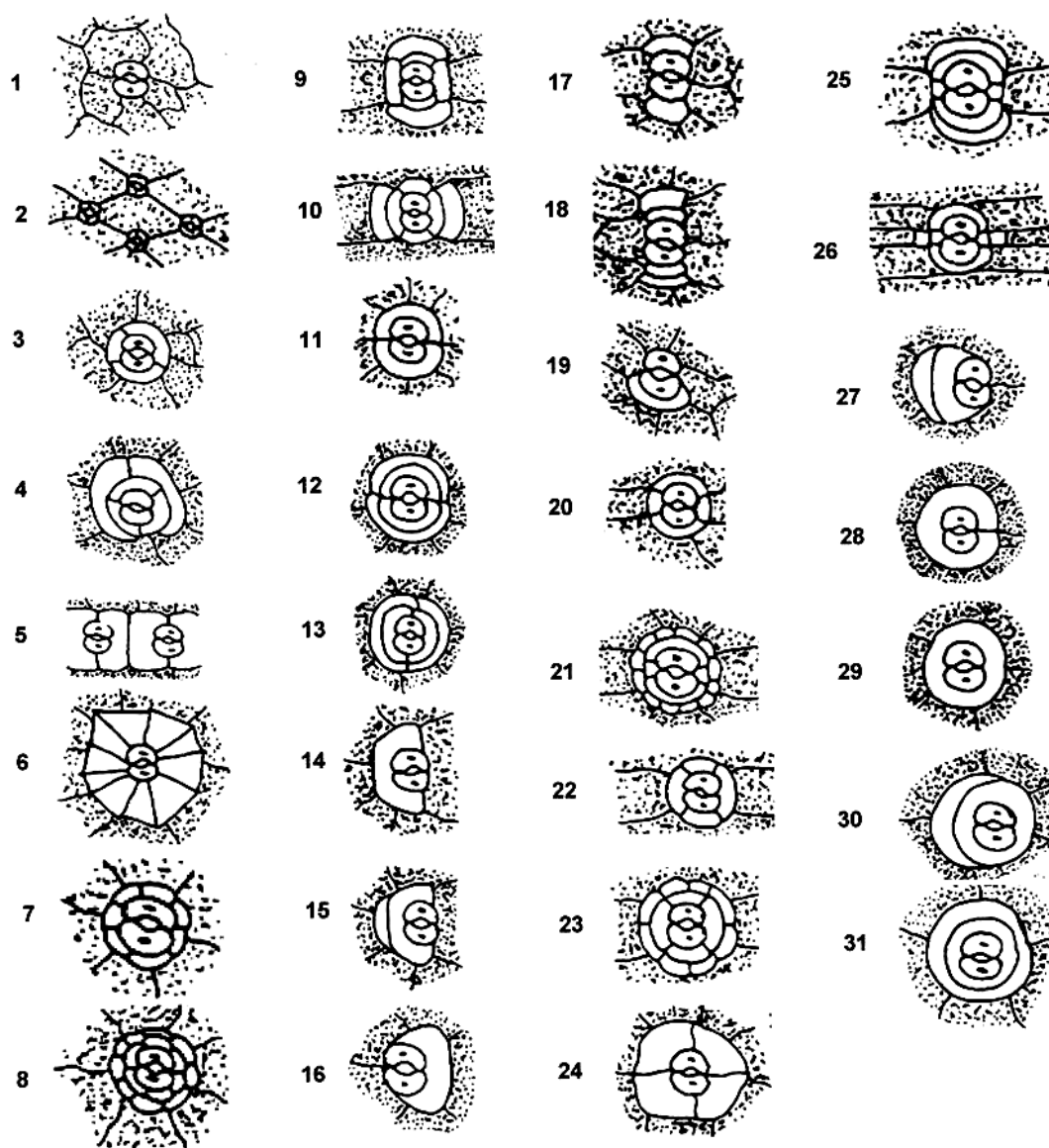
Každá z uvedených metod má své přednosti i nedostatky. Příprava otiskových preparátů je rychlá a jednoduchá, preparáty bývají velmi přehledné, především u listů s tenkou kutikulou na povrchu epidermis. Špatné jsou otiskové preparáty z listů se silnou kutikulou, popř. voskovou vrstvou, nebo s hrubě utvářenou epidermis, jakou má např. javor klen (*Acer pseudoplatanus*) nebo jabloň (*Malus*). Otiskové preparáty také neumožňují, na rozdíl od nativních preparátů, pozorovat vnitřní struktury buněk, např. jádro, cytoplazmu, chloroplasty.

- **Pozorování pod mikroskopem:** vybereme nejlepší část preparátu, zakreslíme několik stomat s okolními epidermálními buňkami a pokusíme se určit typ stomat (využijeme obrázek 4).

Didaktické poznámky

Pozorování a klasifikace stomat vyžaduje již určité dovednosti a zkušenosti s mikroskopickou technikou. Nezbytným předpokladem je také pečlivá teoretická příprava.

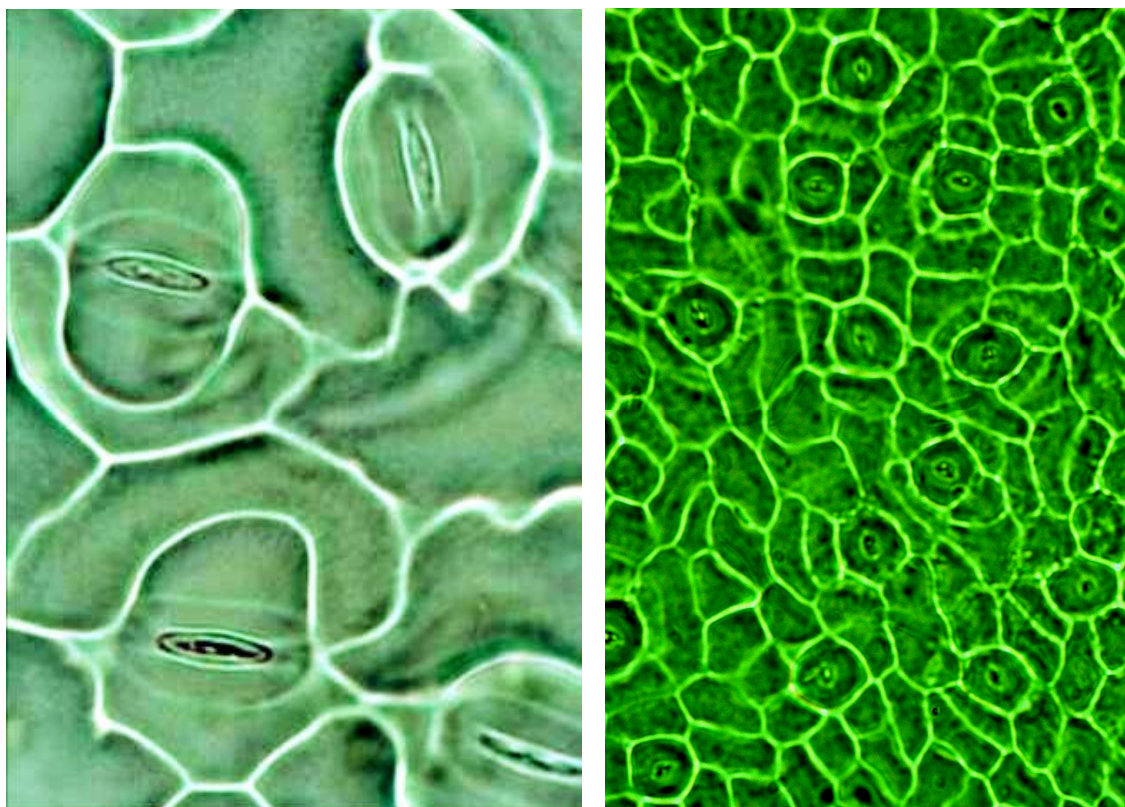
Vhodné je využít práce ve skupinách, kdy každá skupina pozoruje stomata jiných druhů dřevin. Po splnění úkolu je vhodné zařadit diskusi, v níž studenti prezentují, diskutují a porovnávají dosažené výsledky. K prezentaci výsledků v závěrečné diskusi se osvědčil projekční mikroskop nebo prezentace mikrofotografií stomat formou powerpointových snímků. Pokud není k dispozici mikroskop s fotozařízením, lze zhotovit mikrofotografie preparátů pouhým přiložením objektivu obyčejného digitálního fotoaparátu k okuláru mikroskopu (tuto metodu používají někteří studenti PřF UP na cvičeních z anatomie rostlin ke zhotovení jednoduché dokumentace, pokud je dobrý preparát bývá kvalita snímků často překvapivě dobrá). Další možností je navázání kontaktu s vysokými školami – studenti zhotoví preparáty, které se následně fotografují na kvalitních mikroskopech, jimiž jsou vybavena vysokoškolská pracoviště.



Obr.4 Klasifikace stomat podle počtu, tvaru a uspořádání sousedních epidermálních buněk.

Stomata izocytická: 1-anomocytická, 2-anomotetracytická.

Stomata anizocytická: 3-základní anizocytický typ, 4-amfianizocytická, 5-diacytická, 6-aktinocytická, 7-cyklocytická, 8-amficyklocytická, 9-brachyparahexacytická-monopolární typ, 10-brachyparahexacytická-dipolární typ, 11-paracytická, 12-amfiparacytická, 13-amfidiacytická, 14-polocytická, 15-kopolocytická, 16-axillocytická, 17-brachyparacytická, 18-amfibrachyparacytická, 19-hemiparacytická, 20-paratetracytická, 21-amfiparatetracytická, 22-brachyparatetracytická, 23-amfibrachyparatetracytická, 24-staurocytická, 25-parahexacytická-monopolární typ, 26- parahexacytická-dipolární typ, 27-koaxillocytická, 28-desmocytická, 29-pericytická, 30-kopericytická, 31-amfipericytická.



Obr. 5 Otiskový preparát epidermis listu šácholanu velkokvětého (*Magnolia grandiflora*) s paracytickými stomaty.

Obr. 6 Otiskový preparát epidermis listu šeríku obecného (*Syringa vulgaris*) s anomocytickými stomaty.

3. Rozlišení dřeva jehličnanů a listnáčů na základě mikroskopických znaků

Teoretický úvod

Dřevo jehličnanů a listnáčů (= dvouděložných dřevin) je lignifikované sekundární vodivé pletivo (sekundární xylém, deuteroxylém) kmenů a větví stromů a keřů. Strukturou a vlastnostmi dřeva se zabývá **xylotomie**.

Vodivými elementy dřeva mohou být **tracheidy** (cévice) nebo pokročilejší **tracheje** (cévy). Dokonale diferencované tracheidy i tracheje jsou mrtvé, bez buněčného obsahu. Tracheidy jsou protáhlé vřetenovité buňky bez dokonalých perforací v buněčných stěnách. Tracheje jsou protáhlé kapiláry tvořené vertikálně seřazenými tracheálními články. V místě styku tracheálních článků jsou již v buněčných stěnách dokonalé perforace. Stěny tracheid i trachejí deuteroxylému mohou být zesíleny schodovitě, síťovitě, dvůrkatě, vzácně i spirálně. Tracheidy a tracheje vedou vzestupný transpirační proud z kořenů do listů.

Deuteroxylém vzniká dostředivým dělením buněk kambia. Přírůstek jarního a letního xylému za sezónu vytváří **letokruh** (vodivé elementy jarního xylému mají větší průměr a tenčí buněčné stěny než vodivé elementy letního xylému).

Dřevo jehličnanů: má jednoduchou homoxylní stavbu (obr. 7, 10). Vodivé elementy jsou pouze tracheidy s typickými kruhovitými dvůrkatými ztenčeninami, tzv. dvojtečkami (na podélných radiálních stěnách tracheid se jeví jako dvě soustředné kružnice). Tracheidy tvoří přibližně 95 % objemu dřeva. Tracheje a libriformní sklerenchymatická vlákna ve dřevě jehličnanů chybí. Parenchym je málo vyvinutý. Pryskyřičné kanálky jsou schizogenního původu (vznikají rozpuštěním střední lamely a následným rozestoupením buněk), chybí např. ve dřevě jedle (*Abies*), tisu (*Taxus*) nebo jalovce (*Juniperus*).

Dřevo listnáčů: má složitější heteroxylní stavbu (obr. 8, 9, 10). Deuteroxylém listnatých stromů a keřů je tvořen tracheidami, trachejemi, libriformními sklerenchymatickými vlákny, dřevním parenchymem (podélně uspořádaný axiální parenchym) a parenchymem dřeňových paprsků (radiální parenchym). U listnáčů jsou paprsky vyvinutější než u jehličnanů.

Podle distribuce širokých trachejí v letokruhu dělíme dřeva listnáčů na **kruhovitě pórovitá dřeva** a **roztroušeně pórovitá dřeva**. Kruhovitě pórovitá dřeva mají velké tracheje pouze v jarním dřevě, takže tvoří na příčném řezu kmenem, popř. větví, nápadný kruhovitý prstenec, hranice mezi jednotlivými letokruhy jsou velmi dobře rozlišitelné. Kruhovitě pórovité dřevo má například dub (*Quercus*) nebo akát (*Robinia*). U roztroušeně pórovitých dřev jsou tracheje přibližně rovnoměrně rozptýleny po celé šířce letokruhu. Hranice mezi jarním a letním dřevem je méně zřetelná. Hranice letokruhů jsou hůře rozlišitelné. Do této skupiny patří převážná většina listnáčů.

Postup

- Sběr materiálu: odebíráme vzorky větviček (krátké špalíky přibližně v síle tužky) různých druhů jehličnanů a listnáčů. Vzorky fixujeme alespoň několik dní v glycerolalkoholu (změkčení dřeva).
- Příprava preparátů: žiletkou zhotovíme tenké příčné řezy větvičkami a připravíme preparát (vodní nebo glycerolový). Ke zvýraznění lignifikovaných stěn tracheid a trachejí můžeme preparát barvit safraninem nebo floroglucinolem a HCl – lignifikované struktury se zbarví intenzivně červeně.
- Pozorování pod mikroskopem: na jednotlivých preparátech vybereme nejvhodnější místa k pozorování, zhotovíme jednoduchý náčrt pozorovaného objektu, snažíme se rozlišit struktury identifikující dřevo jehličnanů a listnáčů (tracheidy, tracheje, pryskyřičné kanálky, úzké nebo širší dřeňové paprsky).

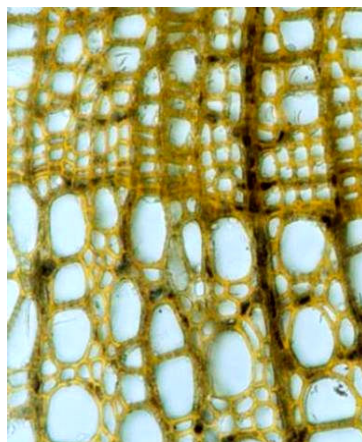
Pokročilejší studenti se mohou pokusit o determinaci známějších rodů jehličnanů (určování jehličnanů je jednodušší než určování listnáčů). K tomuto účelu je nutné zhotovit i podélné (longitudinální) řezy – radiální (vedený středem) a tangenciální (vedený mimo střed). Určení je možné podle následujícího klíče:

- ❖ tracheidy vyztuženy spirálně (patrné na podélných řezech):
 - dřevo s pryskyřičnými kanálky.....***Pseudotsuga (douglaska)***
 - dřevo bez pryskyřičných kanálků.....***Taxus (tis)***
- ❖ tracheidy bez spirálních výztuh (patrné na podélných řezech):
 - dřevo bez pryskyřičných kanálků.....***Abies (jedle)***
 - dřevo s pryskyřičnými kanálky:
 - * epitelové buňky vystylající pryskyřičné kanálky velké tenkostěnné.....***Pinus (borovice)***
 - * epitelové buňky vystylající pryskyřičné kanálky drobné, silnostěnné:
 - ** parenchym dřevových paprsků bez pryskyřičných inkluzí (jádro není rozlišeno).....***Picea (smrk)***
 - ** parenchym dřevových paprsků obsahuje červenožlutou pryskyřici (jádro výrazné, široké).....***Larix (modřín)***

Didaktické poznámky

Tento úkol je vhodný k získání zručnosti při zhotovování tenkých řezů bez použití bezové duše a k seznámení se s barvením lignifikovaných struktur. Před vlastním praktickým provedením je nutná teoretická příprava. Pokročilejší studenti se mohou pokusit o určení dřev některých známějších jehličnanů.

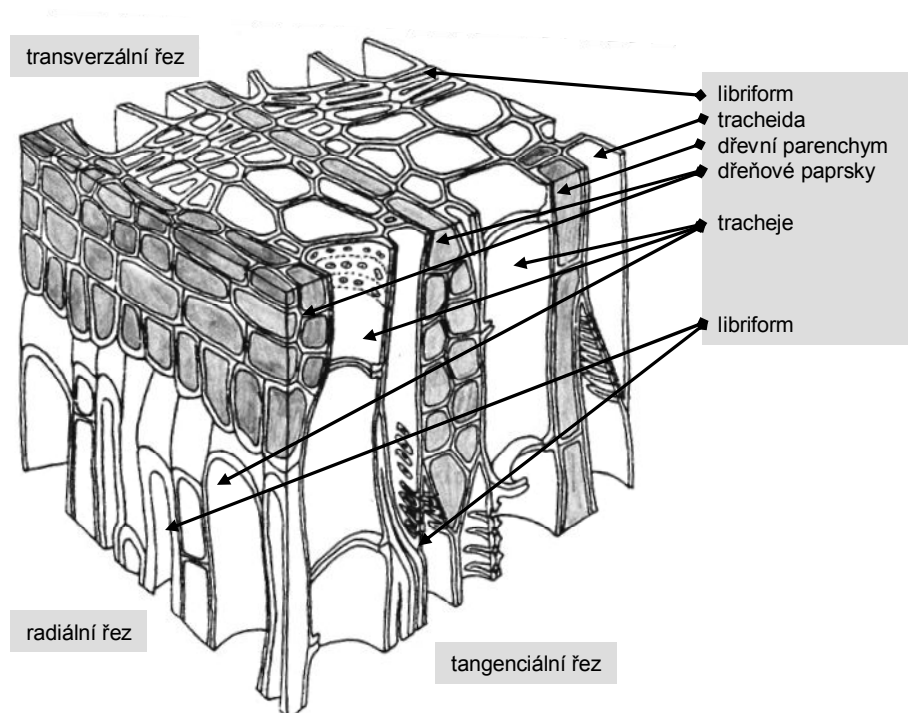
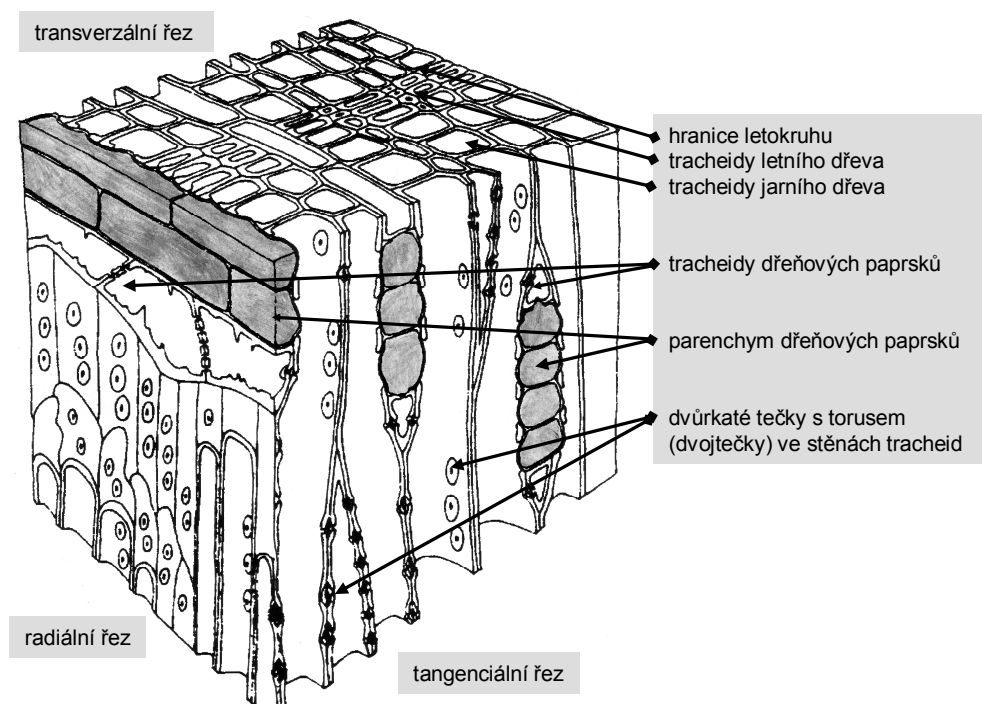
Vážní zájemci o dendrologii si mohou vyzkoušet i náročnější určování listnáčů, které již vyžaduje určitou zkušenost. Při určování dřev listnáčů, je vhodné využít jak znaků mikroskopických, patrných na transverzálních, radiálních a tangenciálních řezech, tak znaků makroskopických, např. utváření letokruhů, jádra (vnitřní tmavěji zbarvená část kmene), paprsků, tvaru a velikosti dřene, včetně barvy a vůně dřeva. Mikroskopické znaky je vhodné studovat na macerovaných preparátech. Při maceraci dochází k rozpuštění pektinové střední lamely mezi jednotlivými elementy dřeva. Osvědčeným maceračním prostředkem je např. Schulzeova macerační směs (jemné hoblinky vaříme v kyselině dusičné, k níž přidáme na špičku nože chlorečnanu draselného, poté několikrát propereme vodou). Při vlastní determinaci je již nutné využít odborné literatury nebo internetu.



Obr. 7 Homoxylní dřevo borovice (*Pinus*).

Obr. 8 Heteroxylní roztroušeně pórovité dřevo lípy (*Tilia*).

Obr. 9 Heteroxylní kruhovitě pórovité dřevo dubu (*Quercus*).



Obr. 10 Blokdiagramy xylému jehličnanu (nahore) a listnáče (dole).

4. Srovnání anatomické a morfologické stavby slunných listů z obvodu koruny a zastíněných listů z vnitřní části koruny

Teoretický úvod

List představuje nejplastičtější rostlinný orgán – působení vnějších podmínek prostředí (především světla) vyvolává u listů výraznější adaptační změny než u jiných rostlinných orgánů. Vedle světla ovlivňují anatomicko-morfologické utváření listů i další vlivy prostředí, např. teplota, vlhkost, pořadí inzerce listů na větvích – kompetice listů o vodu a živiny aj.

Listy vyšších inzerce jsou vystaveny intenzivnějšímu záření a mají proto více xeromorfních znaků než listy nižších inzerce (**Zalenského zákon, 1904**).

Heliofilní (slunné) listy na obvodu koruny (především z JV, J až JZ strany), mají na rozdíl od **sciofilních (stinných) listů** uvnitř koruny, větší tloušťku listu (především vyšší buňky palisádového parenchymu a také více vrstev palisádového parenchymu), delší a rozvětvenější žilnatinu, více sklerenchymatických pletiv, menší epidermální buňky, silnější kutikulu a epidermis, větší počet chloroplastů, ale nižší obsah chlorofylu na jednotku sušiny, menší objem intercelulár, větší hustotu stomat, menší délku stomat. Heliofilní listy mají často také menší plochu než listy sciofilní.

Všechny uvedené znaky jsou znaky kvantitativní, které lze stručně charakterizovat takto:

- Mají kontinuální proměnlivost (= variabilitu), nejčastěji podle Gaussovy křivky (tzv. normální rozdělení).
- Jsou vedeny mnoha geny malého účinku (polygeny).
- Jsou ovlivnitelné prostředím.

Ke zpracování naměřených hodnot kvantitativních znaků slouží biostatistika (biometrika).

V podmínkách středních škol je možno srovnávat např. listové plochy, tloušťku listů, délku a hustotu stomat a naměřená data vyhodnotit jednoduchými statistickými metodami.

Úkol 4a: Měření plochy listové čepele, srovnání plochy heliofilních a sciofilních listů

Postup

- Sběr materiálu: k odběru listů vybíráme vhodné stromy nebo keře nižšího vzrůstu (bezpečnost při odběru listů), s hustou korunou. Odebereme 20 listů z obvodu koruny osluněné strany stromu a 20 listů z vnitřní části koruny. K přesnějším analýzám je nutno stanovit počet odebraných listů (reprezentativní vzorek) pomocí biostatistických metod. Obecně platí, že čím jsou zkoumané znaky (např. listová plocha) proměnlivější, tím větší počet vzorků musíme odebrat a proměřit.
- Měření plochy listů: k měření plochy listů využijeme rychlou, jednoduchou a poměrně přesnou bodovou (zásahovou) metodu (obr. 11). Nejprve si připravíme systém bodů na průsvitnou fólii používanou k projekci na Meotaru. Pod fólii podložíme milimetrový papír a nesmazatelnou fixou vytvoříme síť bodů 0,5 cm x 0,5 cm. List překryjeme fólií a spočítáme zásahy. Každý zásah představuje 0,25 cm² listové plochy. Výslednou plochu listu vypočteme jako celkový počet zásahů x 0,25.
- Statistické vyhodnocení naměřených hodnot:
Pro každý měřený soubor vypočteme **základní statistické charakteristiky**.

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad [\text{v měřených jednotkách}]$$

Míry variability: vyjadřují proměnlivost (variabilitu) měřených znaků.

*Variační rozpětí: rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou souboru. Pokud se v měřeném souboru vyskytuje extrémní hodnota odlišná od ostatních hodnot (odlehle pozorování) je hodnota variačního rozpětí velmi zkreslující.

$$R = x_{\max} - x_{\min} \text{ [v měřených jednotkách]}$$

*Směrodatná odchylka: charakterizuje variabilitu souboru v původních měrných jednotkách. V případě normálního rozdělení četností hodnot souboru se v intervalu aritmetický průměr ± 1 směrodatná odchylka nachází přibližně 68 % měřených vzorků.

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ [v měřených jednotkách]}$$

*Variační koeficient (relativní směrodatná odchylka): umožňuje porovnávat variabilitu mezi soubory.

$$V_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Ilustrační modelový příklad na výpočet základních statistických charakteristik.

Bodovou metodou byla proměřena plocha deseti listových čepelí dubu červeného. Vypočítejte základní statistické charakteristiky.

n	x_i [cm ²]	$x_i - \bar{x}$ [cm ²]	$(x_i - \bar{x})^2$ [cm ²]
1.	101	- 3	9
2.	90	-14	196
3.	110	6	36
4.	108	4	16
5.	98	- 6	36
6.	113	9	81
7.	102	- 2	4
8.	93	-11	121
9.	118	14	196
10.	107	3	9
	$\Sigma 1040$		$\Sigma 704$

$$\bar{x} = \frac{1040}{10} = 104 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$R = 118 - 90 = 28 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{704}{9}} = 8,8 \text{ [cm}^2\text{]} \quad V_x = \frac{8,8}{104} \cdot 100 = 8,46 \text{ [%]}$$

Aritmetický průměr a variační koeficient umožňují pouze orientační porovnání souborů. Chceme-li s jistou pravděpodobností (nejčastěji 95 %) prokázat, zda má sluneční záření vliv na velikost listové čepele, a zda tedy existuje statisticky průkazný (signifikantní) rozdíl mezi aritmetickými průměry měřených souborů, musíme využít testu průkaznosti rozdílnosti aritmetických průměrů.

Zjednodušený postup při testování (objasnění teoretických principů testování hypotéz lze nalézt v odborné literatuře):

1. Stanovíme nulovou hypotézu H_0 : neexistuje signifikantní rozdíl mezi testovanými průměry (sluneční záření nemá vliv na velikost listové plochy, zjištěné rozdílné hodnoty aritmetických průměrů testovaných souborů jsou statisticky neprůkazné, tedy náhodné). V případě zamítnutí H_0 přijímáme alternativní hypotézu H_1 : zjištěné rozdíly jsou statisticky průkazné.
2. Vypočteme testové kritérium podle vzorce (zjednodušený matematický zápis). Při použití tohoto vzorce je nutný stejný rozsah souborů.

$$t_{(2n-2)} = |\bar{x}_A - \bar{x}_B| \cdot \sqrt{\frac{n \cdot (n-1)}{\sum (x_A - \bar{x}_A)^2 + \sum (x_B - \bar{x}_B)^2}}$$

3. Test vyhodnotíme. Vypočtené testové kritérium porovnáme s tabulkovou hodnotou pro stanovenou pravděpodobnost (95%, tzn., že vyhledáváme hodnotu na hladině významnosti $P = 0,05$) a pro odpovídající počet stupňů volnosti ($2n - 2$).

$t_{\text{vypočítaná}} < t_{\text{tabulková}}$přijímáme H_0

$t_{\text{vypočítaná}} > t_{\text{tabulková}}$zamítáme H_0 a přijímáme H_1 .

Stupeň volnosti	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Hodnota t-rozdělení	2,23	2,20	2,18	2,16	2,14	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	2,09	2,08	2,07

Stupeň volnosti	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	100	∞
Hodnota t-rozdělení	2,07	2,06	2,06	2,06	2,05	2,05	2,05	2,04	2,02	2,01	2,00	1,98	1,96

Tabulka kritických hodnot t-rozdělení na hladině významnosti $P = 0,05$

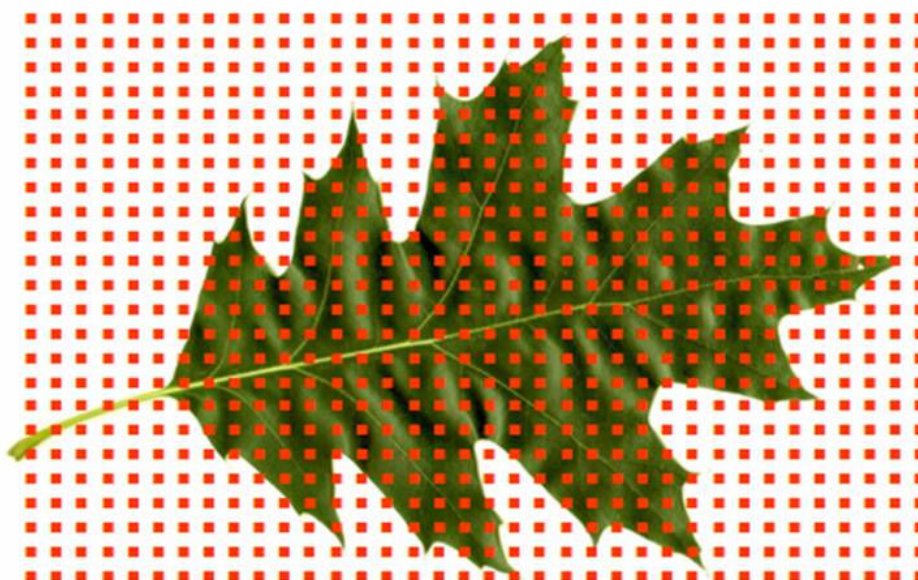
Ilustrační modelový příklad na testování průkaznosti rozdílů aritmetických průměrů mezi dvěma soubory. Z koruny stromu slivoně meruňky bylo odebráno 10 heliofilních a 10 sciofilních listů. Bodovou metodou byly proměřeny plochy listových čepelí. Existuje mezi aritmetickými průměry testovaných souborů statisticky průkazný rozdíl?

n	Plocha heliofilního listu [cm ²]	Plocha sciofilního listu [cm ²]	$(x_A - \bar{x}_A)^2$	$(x_B - \bar{x}_B)^2$
1.	40	51	49	1
2.	48	48	1	4
3.	54	52	49	4
4.	42	58	25	64
5.	46	43	1	49
6.	47	45	0	25
7.	50	46	9	16
8.	53	53	36	9
9.	45	56	4	36
10.	45	48	4	4
	$\bar{x}=47$	$\bar{x}=50$	$\Sigma 158$	$\Sigma 212$

$$t_{18} = |47 - 50| \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 9}{158 + 212}} = 1,48$$

1,48 (vypočítaná hodnota) < 2,10 (tabulková hodnota, P = 0,05; stupeň volnosti = 18) $\Rightarrow$ přijímáme H_0 (s 95% pravděpodobností) $\Rightarrow$ mezi aritmetickými průměry testovaných souborů neexistuje statisticky průkazný rozdíl (rozdíl je náhodný). Poloha listu v listové koruně (vliv slunečního záření) nemá vliv na plochu listové čepele.

Je třeba zdůraznit, že výše uvedený příklad je pouze ilustrační – pro zjednodušení předpokládáme nezávislost testovaných souborů (jistý stupeň závislosti je však daný tím, že všechny listy koruny jsou napojeny na společný kořenový systém), rovněž rozsah výběrových souborů je velmi malý, a tedy nereprezentativní, nejsou exaktně ověřeny podmínky pro použití t-testu aj.



Obr. 11 Příklad měření plochy listové čepele dubu červeného (*Quercus rubra*) – 308 (počet zásahů) $\times$ 0,25 = 77 cm². Částečné zásahy na hranici okraje listu počítáme pouze na jedné polovině čepele nebo každý druhý zásah.

Úkol 4b: Měření délky a hustoty stomat, srovnání délky a hustoty stomat heliofilních a sciofilních listů

Teoretický úvod

Průduchové štěrby vytvářejí v epidermis multiperforátní septum, jehož plocha tvoří jen asi 1% povrchu listové čepele. **Základní kvantitativní znaky stomat** jsou **délka stomat** (nejčastěji 10 – 60 μm) a **hustota stomat** (nejčastěji 50 – 300 stomat / mm^2). Tyto znaky jsou ovlivněny ekologickými podmínkami prostředí. U zastíněných listů (sciofilní listy) jsou stomata delší a méně četná než u slunných listů (heliofilní listy). Délka stomat je u některých druhů rostlin v pozitivní korelaci se stupněm ploidie.

Postup

- Sběr materiálu: z koruny vybrané dřeviny odebereme 3 listy ze slunné strany obvodu koruny a 3 listy ze středu koruny (pro školní účely je tento počet dostačující). Přibližně ve středu listu, ze spodní epidermis připravíme otiskový nebo nativní preparát (u listů s hrubou epidermis).
- Měření délky stomat: k měření délky stomat použijeme okulárový mikrometr – skleněná kruhovitá destička s měřítkem, která se vkládá do okuláru (měřítkem dolů). Měřením okulárovým mikrometrem dostáváme velikost objektu v dílcích okulárového měřítka – při různých zvětšeních, tj. při použití různých objektivů, naměříme různou velikost objektu (různý počet dílků). Ke zjištění skutečné velikosti objektu (délky stomat) musíme vypočítat mikrometrický koeficient, který udává, kolika mikrometrům odpovídá jeden dílek okulárového měřítka při daném zvětšení. Použijeme objektivový mikrometr – podložní sklíčko s měřítkem 1 mm rozděleným na 100 dílků (1 dílek = 0,01 mm = 10 μm). Měřítka okulárového mikroskopu umístíme tak, aby bylo rovnoběžné s měřítkem objektivového mikrometru. Vyhledáme překrývající se rysy v levé a pravé části zorného pole. V tomto úseku spočítáme dílky okulárového a objektivového měřítka a vypočteme mikrometrický koeficient:
$$k = \text{počet dílků objektivového mikrometru} \times 10 / \text{počet dílků okulárového mikrometru}.$$
Skutečnou velikost měřeného objektu (délku stomat) vypočteme tak, že naměřený počet dílků okulárovým mikrometrem vynásobíme mikrometrickým koeficientem.
Na každém preparátu proměříme 10 stomat, celkem tedy získáme 30 hodnot pro každý soubor.
- Měření hustoty stomat (počet stomat/ mm^2): k měření hustoty stomat využijeme preparáty připravené pro měření délky stomat. Do okuláru vložíme kruhovou destičku s vyrytým čtvercem. Tento čtverec překryje náhodně část preparátu. Ve čtverci spočítáme stomata, stomata na obvodu zasahující mimo čtverec počítáme pouze na dvou stranách. Objektivovým mikrometrem změříme stranu čtverce, vypočítáme plochu (μm^2) a trojčlenkou přepočteme počet stomat na 1 mm^2 . Na každém preparátu provedeme 5 měření tak, že čtverec přesuneme na jiné místo preparátu. Celkem tedy získáme 15 naměřených hodnot pro každý soubor.
- Statistické vyhodnocení: postupujeme jako u úkolu 4a.

Úkol 4c: Měření tloušťky listu, srovnání tloušťky listu heliofilních a sciofilních listů

Postup

- Sběr materiálu: z vybrané dřeviny odebereme po třech heliofilních a sciofilních listech. Z každého listu vyřízneme 3 malé čtverečky (v bazální, střední a apikální části listové čepele), které fixujeme v glycerolalkoholu.
- Zhotovení preparátu: čtvereček upevníme do podélně rozříznuté bezové duše, z každého čtverečku zhotovíme několik tenkých příčných řezů, které přeneseme do kapky glycerolu na podložní sklíčko. Při menším zvětšení vybereme nejlepší řezy

vhodné k měření, u každého čtverečku provedeme alespoň dvě měření, celkem tedy získáme 18 hodnot pro každý soubor. Preparát můžeme dobarvit safraninem (zvýraznění kontur epidermis, cévních svazků a sklerenchymu).

- Pozorování pod mikroskopem: dřeviny mají nejčastěji bifaciální typ listu (mezofyl je rozlišen na palisádový a houbový parenchym). Rozdíly jsou patrné především v utváření palisádového parenchymu, který je u heliofilních listů vyšší (často dvou- nebo vícevrstevný) než u sciofilních listů.
- Měření: k měření použijeme okulárový mikrometr. Měříme vzdálenost mezi vnějšími stěnami svrchní a spodní epidermis (tloušťka, výška listu). Při měření postupujeme jako při měření délky stomat (úkol 4b).
- Statistické vyhodnocení: postupujeme jako u úkolu 4a.

Didaktické poznámky

Popsané úkoly jsou zaměřeny na měření a vyhodnocování kvantitativních anatomických a morfologických znaků rostlin. Úkoly jsou koncipovány tak, aby byly snadno realizovatelné v podmínkách středních škol a biologických kroužků s minimálním vybavením. I v případě, že studenti mají k dispozici analýzu obrazu k měření kvantitativních znaků a některý z mnoha statistických programů, je vhodné si na jednoduchých modelových příkladech samostatně vyzkoušet některé metody měření ploch, délek a počítání struktur, stejně jako vyhodnocení naměřených hodnot jednoduchými statistickými metodami. Masivní využívání výpočetní techniky u studentů, kteří teprve pronikají do základů kvantitativní anatomie a morfologie rostlin, může vést k tzv. sekundárnímu analfabetismu, kdy student dosáhne správného výsledku, vůbec ale neví co a jak měřil a počítal (to za něho udělal počítač) a nedovede vypočtené výsledky správně interpretovat.

Při vyhodnocování kvantitativních znaků se neobejdeme bez základů statistiky. Popsané úkoly tedy využívají mezipředmětové vztahy s matematikou. Jsou proto vhodné pro studenty vyšších ročníků přírodovědných gymnázií, kteří již absolvovali základy statistiky v rámci předmětu matematika.

Vzhledem k tomu, že měření kvantitativních znaků je časově poměrně náročné, je výhodné, když každý student proměruje vlastní soubor – získáme tak více naměřených hodnot ke statistickému zpracování.

4. Inventarizační dendrologický průzkum vybraného území

Teoretický úvod

Úkol zaměřený na komplexní poznávání stromů a keřů určitého území (okolí školy, část parku, lesa aj.).

Postup

- Výběr vhodného území: vybíráme území zajímavá z dendrologického hlediska – památné a staré stromy, vzácné a chráněné dřeviny, cizokrajné dřeviny, přirozené lesy apod.
- Determinace jednotlivých druhů stromů a keřů na vybraném území: při určování používáme botanické klíče a atlasy. Všímáme si důležitých anatomických a morfologických determinačních znaků (viz. příklad určování borovic podle anatomických znaků na jehlicích).
- Podrobnější studium anatomické a morfologické stavby vegetativních a generativních orgánů: zhotovíme fotodokumentaci, náčrty, sbírky, herbářové položky listů (tvar a okraj listové čepele, typ žilnatiny, postavení listů, vnitřní anatomická stavba listové čepele a řapíku, typ stomat a trichomů epidermis listu aj.), pupenů (tvar, postavení, typ

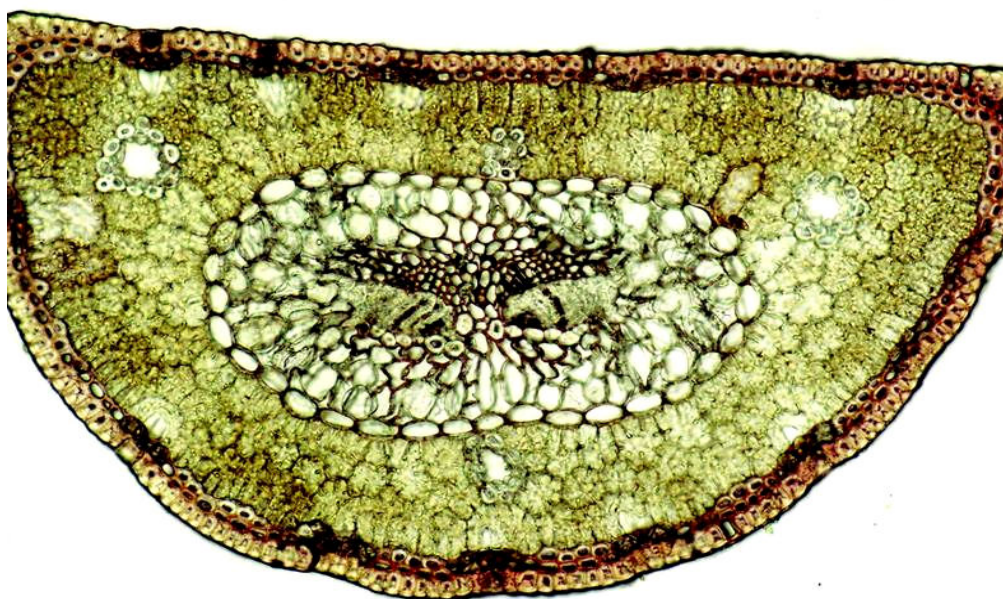
listové vernace v pupenu aj.), borky, letorostů, typu větvení (monopodiální, sympodiální), struktury dřeva, stavby květů, semen, plodů aj. Při dokumentaci listů se velmi osvědčila jednoduchá a rychlá metoda skanování (obr. 11). Pozorování je vhodné provádět během celého roku a zachytit vývojové ontogenetické fáze jednotlivých orgánů (fenologická pozorování).

- Stanovení přibližného věku dřevin: nejprve se pokusíme určit stáří poražených stromů počítáním letokruhů na pařezech (dendrometrie, dendrochronologie). Letokruhy vznikají periodickou činností kambia, která je podmíněna střídáním ročních období v temperátním pásmu. Krejčovským metrem změříme obvody pařezů různých druhů stromů známého stáří – pro každý měřený druh vytvoříme tabulku, do níž zapisujeme údaje o počtu letokruhů a obvodu kmene. Na základě zjištěných údajů potom můžeme u jednotlivých druhů stromů na podobných stanovištích přibližně odhadovat stáří stromů pouhým proměřením obvodu kmene ve výšce do 1 m (výška pařezu) a porovnáním obvodu s tabulkovými hodnotami počtu letokruhů.
- Stanovení stupně ohrožení dřevin: posoudíme zdravotní stav dřevin (napadení houbovými organismy, škůdci), přímé ohrožení lidskou činností (kácení, neodborné ošetřování dřevin, poškození exhalacemi).
- Vytvoření dokumentace: v praxi se osvědčilo vytvořit inventarizační kartu pro každou zkoumanou dřevinu s výčtem všech zjištěných údajů. Údaje doplňujeme postupně, vždy po provedení pozorování a měření.

Využití práce s klíčem při určování borovic na základě anatomických znaků na jehlicích (obr. 12).

1a Jehlice s 1 cévním svazkem (haploxylní).....	10
b Jehlice se 2 cévními svazky (diploxylní).....	2
2a Tvar průřezu jehlicí je kruhová výseč s vnitřním úhlem 120° (u druhů se 3 jehlicemi).....	3
b Tvar průřezu jehlicí je půlkruh (u druhů se 2 jehlicemi).....	5
3a Mezi cévními svazky nejsou sklerenchymatické buňky, hypodermis 1 - až vícevrstevná.....	<i>P. rigida</i>
b Mezi cévními svazky jsou sklerenchymatické buňky, hypodermis vždy vícevrstevná.....	4
4a Buňky vnějších a vnitřních vrstev hypodermis stejné.....	<i>P. jeffreyi</i>
b Buňky vnější vrstvy hypodermis s tenčími stěnami než u vnitřních vrstev hypodermis.....	<i>P. ponderosa</i>
5a Hypodermis vícevrstevná.....	6
b hypodermis jednovrstevná.....	8
6a Pryskyřičných kanálků v chlorchymu 3 - 10.....	<i>P. nigra</i>
b Pryskyřičné kanálky v chlorchymu 1 - 2.....	7
7a Pletivo mezi cévními svazky užší než šířka cévního svazku.....	<i>P. contorta</i>
b Pletivo mezi cévními svazky širší než šířka cévního svazku.....	<i>P. banksiana</i>
8a Pryskyřičné kanálky uvnitř chlorchymu.....	<i>P. nigra</i>
b Pryskyřičné kanálky při hypodermis.....	9
9a Jehlice na příčném řezu (půlelptické, více než dvojnásobně delší než široké, epidermální buňky čtvercové, pryskyřičných kanálků (7-) 10 - 16 (-20), mezi cévními svazky mnoho sklerenchymatických buněk.....	<i>P. sylvestris</i>
b Jehlice na příčném řezu (půlkruhovitě, nejsou dvojnásobně delší než široké, epidermální buňky obdélníkovité, vyšší než široké, pryskyřičných kanálků 3 - 5 (-7), mezi cévními svazky málo sklerenchymatických buněk, nebo vůbec chybějí.....	<i>P. mugo</i> a <i>P. rotundata</i>

- 10a Pryskyřičné kanálky nápadně velké, 2 - 3 uvnitř chlorenchymu.....*P. cembra*
 b Pryskyřičné kanálky menší, 1 - 4 při hypodermis.....*P. strobus* a *P. flexilis*



Obr. 12 Postup při určování: 1b – 2b – 5a (hypodermis vícevrstevná) – 6a – borovice černá (*Pinus nigra*) nebo 5b (hypodermis jednovrstevná) – 6b – borovice černá (*Pinus nigra*). Borovice černá má hypodermis místy jednovrstevnou a místy vícevrstevnou.

Didaktické poznámky

Úkol je zaměřen především na poznávání biologie dřevin, zvláště studium anatomických a morfologických znaků a jejich využití při určování stromů a keřů. Důraz je třeba klást na přehledné vedení dokumentace, aby mohly být zjištěné údaje využívány i v praxi, např. ve spolupráci s orgány místní samosprávy a orgány ochrany přírody.

Plnění tohoto úkolu umožňuje specializaci studentů podle jejich zájmu – fotograf, výtvarník, taxonom, anatom, morfolog, ekolog, ochránce přírody, historik (informace o starých a památných stromech) aj.

Studenti s hlubším zájmem o botaniku mohou pokračovat v dalším studiu dřevin např. jejich fyziologie a ekologie (studium transpirace, dýchání, fotosyntézy, listových barviv, klíčení, růstové analýzy, produkční ekologie, ekologie populací, ekologie společenstev aj.).

Základní literatura

- BALABÁN K. (1955): Nauka o dřevě I. Anatomie dřeva. – SZN, Praha.
- BOLLINGER M. (2005): Keře. – Knižní klub.
- ČERVENKA M et CIGÁNKOVÁ K. (1974): Kľúč na určovanie drevín podľa púčikov a konárikov. – SPN, Bratislava.
- DOSTÁL J. (1989): Nová květena ČSSR. Vol. 1. – Academia, Praha.
- DUFEK J. (1992): Biometrika. – VŠZ, Brno.
- HEJNÝ S. et SLAVÍK B. [eds.] (1988): Květena České socialistické republiky – 1. (a další díly) – Academia, Praha.
- HORÁČEK P. (2007): Encyklopedie listnatých stromů a keřů. – Computer Press.
- KAVINA K. (1932): Anatomie dřeva. – Ministerstvo zemědělství Československé republiky, Praha.
- KOBLÍZEK J. (2006): Jehličnaté a listnaté dřeviny našich zahrad a parků. – Sursum.
- KRÚSMANN G. (1978): Evropské dřeviny. – SZN, Praha
- KYNCL J. et KYNCL T. (2002): Principy dendrochronologie. – Živa, Academia, Praha, (6), 249 – 252.
- MATOVÍČ A. (1977): Nauka o dřevě. – Vysoká škola zemědělská, Brno.
- MEZERA A. et PROCHÁZKA F. (1969): Naše stromy a keře. – Albatros, Praha.
- MOJŽÍŠEK M. (2005): Jehličnaté stromy a keře. – Computer Press.
- MUSIL I. et HAMERNÍK J. (2008): Jehličnaté dřeviny (Lesnická dendrologie 1). – Academia).
- NOVÁČEK F. (1982): Praktikum z rostlinné organologie s přehledem zástupců rostlinné říše. – Univerzita Palackého, Olomouc.
- NOVÁČEK F. (1982): Praktikum z rostlinné cytologie a histologie se základy mikroskopické techniky. – Univerzita Palackého, Olomouc.
- PAZOUREK J. (1975): Pracujeme s mikroskopem. – SNTL, Praha.
- PAZOUREK J. (1963): Studium listové epidermis mikroreliefovou metodou. – Preslia, Praha, 35: 210 - 216.
- PAZOURKOVÁ Z. (1986): Botanická mikrotechnika. – Univerzita Karlova, Praha.
- PILÁT A. (1964): Jehličnaté stromy a keře našich zahrad a parků. – NČSAV, Praha.
- PILÁT A. (1973): Listnaté stromy a keře našich zahrad a parků. – SZN, Praha.
- SLAVÍKOVÁ Z. (2002): Morfologie rostlin. – Univerzita Karlova, Praha.
- STŘIHAVKOVÁ H. (1978): Praktikum z botaniky. – SPN, Praha.
- URBAN Z. et al. (1978): Sběr, preparace a konzervace rostlinného materiálu. – SPN, Praha.
- VERMEULEN N. (2006): Encyklopedie. Stromy a keře. – REBO.
- VĚTVIČKA V. (2008): Stromy a keře. – Aventinum.
- VĚTVIČKA V. (2008): Stromy. – Aventinum.
- VINTER V. et SEDLÁŘOVÁ M. (2004): Systémy vodivých pletiv cévnatých rostlin. – Živa, Academia, Praha, (1), 14 – 17.
- VINTER V. et SEDLÁŘOVÁ M. (2004): Co popisuje stelární teorie. – Živa, Academia, Praha, (2), 59 – 61.
- VINTER V. (2008): Rostliny pod mikroskopem (Základy anatomie cévnatých rostlin). – Vydavatelství UP, Olomouc.
- VOTRUBOVÁ O. (2001): Anatomie rostlin. – Univerzita Karlova, Karolinum, Praha.
- VOTRUBOVÁ O., OPATRná J. et BENEŠ K. (2001): Základní slovník rostlinné anatomie I – VI. – Živa, Academia, (1 – 6), Praha.

VOTRUBOVÁ O. (2003): Není dřevo jako dřevo. – Biologie – chemie – zeměpis, SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., nakladatelství učebnic Fortuna, JUDr. F. Talián, Praha, (5), 230 – 235.

Odkazy na webové stránky:

<http://www.dendrologie.cz/>

http://wood.mendelu.cz/nod/e107_cz/nod_plugins/projects/stavba_dreva/index.htm

V oboru dendrologie existuje dále celá řada velmi kvalitních příruček, učebnic a webových stránek.