

## MIKROSKOPIE JEDNODUCHÝCH PREPARÁTŮ A ODBORNÝ NÁKRES JAKO UNIKÁTNÍ NÁSTROJ HARMONICKÉHO ROZVOJE STUDENTŮ V LABORATORNÍ VÝUCE

JINDŘIŠKA ANGELINI a EVA BENEŠOVÁ

Ústav biochemie a mikrobiologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika  
jinmat@centrum.cz

Došlo 13.6.24, přijato 17.12.24.

Mikroskopie je důležitým nástrojem ve výuce biologie, chemie a příbuzných vědních oborů na různých stupních školního vzdělávání, neboť umožňuje využít vizuální zkušenost k pochopení základních přírodních struktur, jevů a principů. Prezentovaný text se pokouší nastínit jednotlivé části procesu, kterými by si měli studenti projít během hodiny zahrnující praktické ukázky mikroskopie, a vysvětlit konkrétní přínosy jednotlivých činností v širším kontextu rozvoje myšlení a dalších studijních dovedností i s přesahem do běžného života. Zároveň si text klade za cíl nabídnout pedagogům inspiraci, jak svým studentům přiblížit svět přírodních věd a vzbudit jejich zájem o studium těchto oborů, a to bez nutnosti drahého přístrojového vybavení.

Klíčová slova: praktická mikroskopie, propojení hemisfér, optická mikroskopie, odborný (vědecký) nákres, kolenchym, xylem

### Obsah

1. Úvod
2. Důležitost přípravy biologického rostlinného materiálu pro mikroskopii (jemná motorika, teoretická znalost materiálu)
3. Výběr metody snímání, výběr zvětšení preparátu
4. Metody zvyšování kontrastu vzorku pro lepší zobrazení
5. Vědecký nákres, metody abstrakce a popis preparátu jako nástroj pochopení problematiky
6. Závěr

### 1. Úvod

Specifickou úlohu mozkových hemisfér a jejich propojení zkoumal a odhaloval už od 50. let minulého století Roger Wolcott Sperry a obdržel za to v roce 1981 Nobelovu cenu<sup>1</sup>. V posledních letech je u dětí diagnostikován nebývalý počet specifických poruch učení. Nechme nyní stranou spekulace o tom, co je příčinou; jestli chemické zatížení prostředí, endokrinní disruptory, nadbytek jednoduchých cukrů ve stravě, nedostatek pohybu, jednostranné zatěžování studentů ve vzdělávacím systému nebo lepší diagnostika. Možná od každého trochu, nevíme<sup>2,3</sup>. Víme však, že cílený rozvoj pravé mozkové hemisféry a podpora

propojení obou hemisfér zcela jednoznačně vede ke zlepšení procesu učení, kreativity, ale i výbavnosti vědomostí nejen u studentů<sup>4,5</sup>. Pravá mozková hemisféra řídí tvořivost, prostorové vnímání, výtvarné a hudební dovednosti, kdežto levá mozková hemisféra, která je dominantní u většiny dospělých lidí, řídí řeč, porozumění, počítání a psaní. K harmonickému rozvoji celé osobnosti je ale nezbytné, aby byly obě hemisféry propojeny a správně kooperovaly<sup>6</sup>. Fyzické propojení hemisfér je realizováno svazky bílé mozkové hmoty zvané *Corpus callosum*. Jeho poškození vede ke snížení paměťových funkcí, neschopnosti porozumět nebo nalézat slova, ke změnám osobnosti, změnám sociálního chování a mnoha dalším závažným příznakům<sup>7</sup>.

Na základě aktuálních informací, získaných od České školní inspekce, se ukazuje, že klasický vzdělávací systém, a především česká gymnázia, vyučují většinu předmětů frontálním způsobem (učitel vykládá látku)<sup>8</sup>. Takto se vyučují předměty, na které je ve vzdělání kladen větší důraz. Tím se ale jednostranně zatěžují především funkce levé hemisféry. Předměty rozvíjející hemisféru pravou, kde frontální způsob výuky už z podstaty nemůže úplně převažovat: výtvarné, praktické, hudební nebo ty, které rozvíjejí funkce těla, bývají upozadovány a nejsou považovány za příliš důležité. *Kaλοκαγαθία* se z našich životů vytrácí. Proto je žádoucí podporovat předměty, anebo ještě lépe takové výukové metody a přístupy ke vzdělávání, které obě hemisféry propojují a studenty rozvíjejí po

všech stránkách; tím se docílí mnohem efektivnějšího vzdělávání. Dobrým příkladem může být např. tandemová výuka propojující předměty a aktivity laděné motoricky a zároveň kognitivně nebo další aktivizující druhy výuky<sup>9</sup>. Praktická výuka na všech vzdělávacích stupních může rovněž být přístup, který studenti harmonicky rozvíjí na více úrovních najednou a tím vede k přirozenému rozvoji a propojování obou mozkových hemisfér. Dobře strukturovaná praktická výuka může být navíc zásadní pro studenty s poruchami pozornosti (ADD, z angl. Attention Deficit Disorder nebo ADHD, z angl. Attention Deficit Hyperactivity Disorder). Takových studentů v posledních letech výrazně přibývá a v literatuře se uvádí jejich prevalence na středních školách až 8 % (cit.<sup>10,11</sup>). Dále je však nutné poznamenat, že i pohled na laboratorní výuku prochází v posledních letech výrazným vývojem. Nemalou měrou se na tom podílejí změny nastavení společnosti, nové dostupné možnosti výuky a zároveň nové požadavky, které jsou na žáky, studenty či zaměstnance klade. Ačkoliv například vysoké školy zaměřené na chemii doporučují v bakalářských programech absolvování 300 až 400 hodin laboratorní praxe, stále více jsou otvírány otázky, co je hlavním cílem této praktické výuky. A jsou slyšet i hlasy, které laboratorní výuku nepovažují za tak důležitou a nahradily by ji v řadě případů výrazně levnějšími, méně časově náročnými, profesionálně připravenými audiovizuálními prostředky<sup>12</sup>. Z výše uvedeného jasně plyne, že pedagogové stojí před složitou volbou co nejpřínosnějších metod pro studenty, které ale zároveň nebudou neúměrně ekonomicky a časově zatěžující.

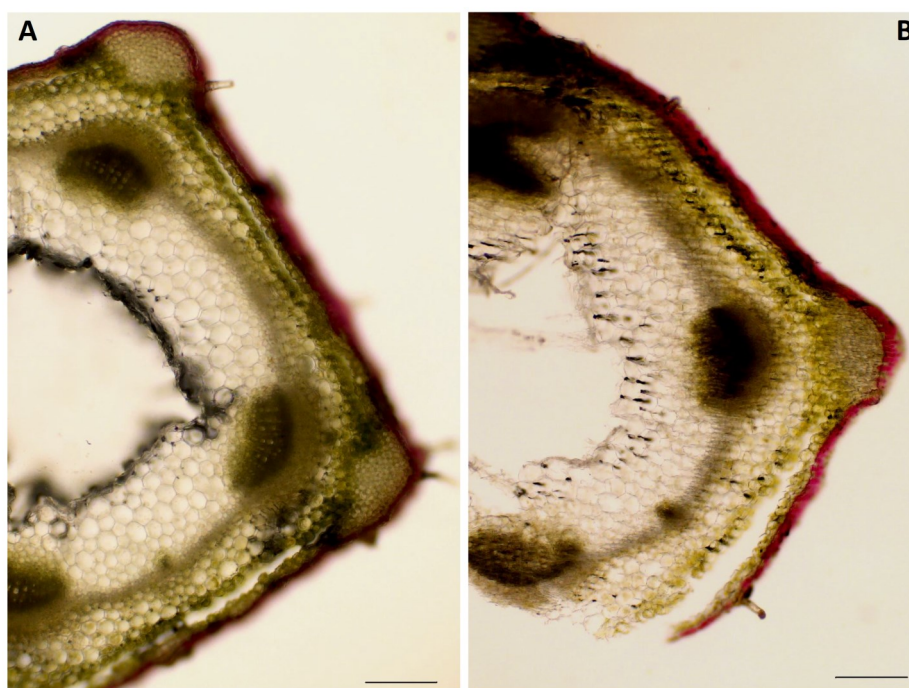
Následující článek si klade za cíl navrhnout několik aktivit propojujících praktickou laboratorní výuku s využitím mikroskopování s výukou teoretickou tak, aby splňovala současné standardy moderní výuky, a to včetně podpory všestranného a harmonického rozvoje zúčastněných studentů. Na příkladu jednoduchého, ale komplexního rostlinného preparátu, s použitím dvou základních druhů mikroskopie a jednoduchého barvení, autorky popisují postup, díky kterému student získá zevrubný přehled o základních morfologických znacích rostlin a maximální využitelnosti mikroskopu. Článek popisuje proces, kterým student během praktické výuky prochází, ukáže nástrahy, se kterými se většina studentů musí vypořádat a popíše přínosy, které studenti po úspěšném absolvování získají. Jednotlivé podkapitoly popisují situaci základního kursu biologie v prvním ročníku technicky zaměřené vysoké školy se standardní mikroskopickou výbavou. Některé informace však mohou posloužit i učitelům středoškolským, kteří realizují mikroskopie v rámci praktické výuky biologie. Autorky u čtenáře předpokládají teoretickou znalost popisovaných jevů a postupů a text je proto vysvětlovat nebude; podrobné informace může čtenář získat z odkazů, které jsou u jednotlivých postupů a jevů uvedeny.

## 2. Důležitost správné přípravy biologického rostlinného materiálu pro mikroskopii (rozvoj jemné motoriky, ověření teoretické znalosti materiálu)

Na počátku každého praktického cvičení je studentům poskytován teoretický úvod k preparátům, které budou pozorovat. V našem případě se bude jednat o pozorování stonku hluchavky bílé (*Lamium album* L.). Studenti se dozvědí, jaký má význam tato část pro rostlinu, z čeho sestává, jakým způsobem je nejlépe možné tuto část vizualizovat. Popřípadě i to, jak a kdy je možné tyto znalosti a přístupy využít ve výzkumu nebo v praxi, což vede k zapojení zejména levé hemisféry. Praktická část cvičení, kdy je zapojována pravá hemisféra, začíná přípravou vzorku. Studenti by již měli vědět, že největší buňky vzorku jsou velké kolem 50  $\mu\text{m}$ . Chtějí-li mít ideální příčný řez, měl by mít nejvýše dvojnásobnou tloušťku. Řez stonku mohou provádět buď ručně, žiletkou či skalpelem, anebo pomocí jednoduchého mikrotomu s možností nastavení tloušťky řezu od 25  $\mu\text{m}$ . Důležité je vést řez striktně kolmo k podélné ose stonku. Šikmý řez stonkem vede k tomu, že nelze rozeznat jednotlivé struktury ani při ideální tloušťce vzorku, jak je vidět na obr. 1B. Při této činnosti je nutná dobrá koordinace a bezchybná jemná motorika studenta. Nezřídka musí studenti přípravu vzorku několikrát opakovat, protože pohledem do mikroskopu zjistí, že vzorek je nevyhovující.

## 3. Výběr metody snímání, výběr zvětšení preparátu

Pro úspěšné poznávání světa mikroskopických rozměrů je nezbytné chápat princip mikroskopu a jeho možnosti, proto je ihned na počátku laboratorních cvičení zařazen rozsáhlejší teoretický úvod do optické mikroskopie, kde jsou studentům vysvětlovány základní pojmy jako například rozlišovací mez, numerická apertura, otvorový úhel objektivu, index lomu prostředí, hloubka ostrosti, pracovní vzdálenost objektivu, aberace objektivů, důležitost imerze, ale také některé fyzikální principy, které umožní tyto pojmy do větší hloubky pochopit. Uváděné detaily samozřejmě musí být vhodně přizpůsobeny konkrétnímu vzdělávacímu stupni, počínaje hlavně zdůrazněním základních principů mikroskopování zmiňovaných již na základních školách, přes pokročilejší koncepty vyučované na středních školách a konče detailním rozborem na vysokoškolské úrovni. Během praktických cvičení je potom názorně demonstrováno správné používání různých objektivů od nejmenšího zvětšení a numerické apertury (a tedy nejdelší pracovní vzdálenosti), použití kondenzoru, clon a ideální iluminace vzorku, ale třeba i použití dioptrické korekce na okuláru a možnost změny rozteče okulárů nebo jsou vysvětlovány popisky uvedené na objektivu. Studenti si pak sami zkoušejí, jak nastavení jednotlivých parametrů ovlivňuje výsledný obraz.



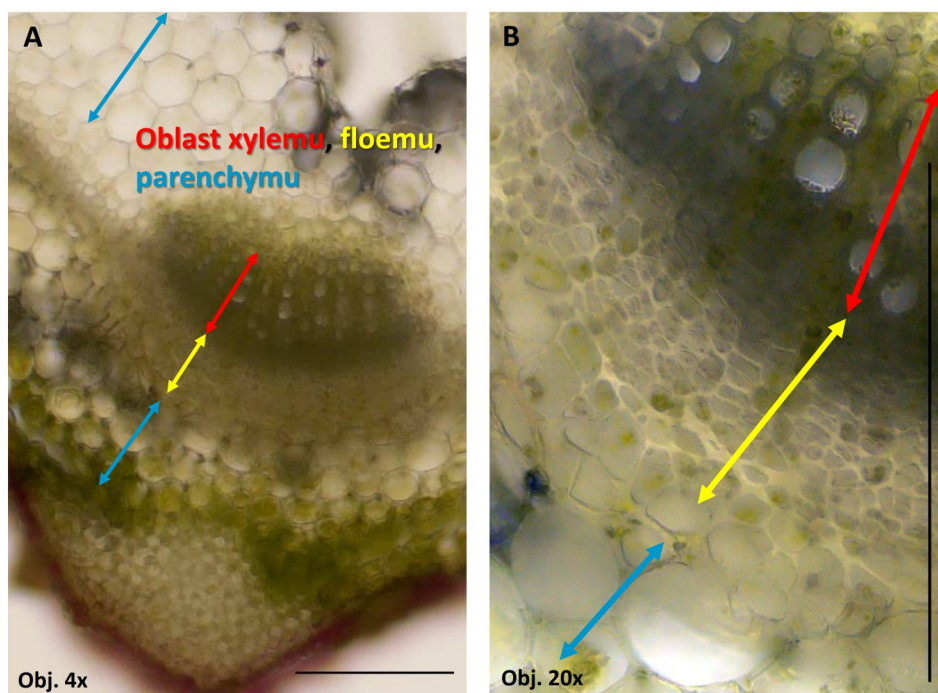
Obr. 1. Význam správné přípravy preparátů; Tenký a kolmo vedený řez (A) stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) odhalí potřebné detaily, oproti šikmému řezu (B), který byl veden pod jiným než 90° úhlem vůči podélné ose stonku. Snímáno objektivem UPlan FL N 4×/0,13. Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 200 µm.

V laboratořích je k dispozici několik metod snímání, od klasického snímání ve světlém poli, přes snímání v poli tmavém nebo snímání pomocí fázového kontrastu až po základní použití fluorescenčního mikroskopu nebo binolupy. V této fázi seznamování studentů s mikroskopii jsou kladeny největší nároky na odbornost a erudici vyučujících, kteří by měli dát studentům základní povědomí o tom, na co který mikroskop využít. Například povrchové struktury rostlin (trichomy, reprodukční orgány) jsou často tak rozložené, že je lze jen těžko mikroskopem pozorovat vcelku. Proto je pro ně výhodné použít přístroj s bodovým(i) osvětlením(i) shora a velkou hloubkou ostrosti (při malém zvětšení a nízké numerické apertuře). Tyto požadavky splňuje binolupa, která zobrazuje preparáty daleko více plasticky než mikroskop. Pro škrobová nebo pylová zrna můžeme zase s výhodou použít snímání v tmavém poli. Struktury rostlin, které obsahují lignin nebo chlorofyl, můžeme zobrazit pomocí fluorescenční mikroskopie<sup>13</sup>. Je samozřejmé, že vybavení dostupné pedagogům se značně liší, nejčastěji bývá k dispozici klasický optický mikroskop.

Studenti bez mikroskopických zkušeností mají někdy potíže odhadnout, jaké zvětšení je třeba pro konkrétní vzorek a účel použít, a to i v případě, že jsou výborně teoreticky připraveni. Mají často představu, že použití objektivu se zvětšením 4× je dostatečné, protože vidí mnohem více detailů než pouhým okem. Netuší však, že preparát skýtá podrobnosti ještě daleko více. Takovou situaci nejlépe vyřeší aktivní ukázka vyučujícího. Ostatně právě mož-

nost aktivní diskuse s vyučujícím během výuky je v současné době považována za jeden z důležitých pilířů správné pedagogické praxe<sup>14</sup>. V případech, kdy se student z jakéhokoli důvodu ostýchá pomoc vyučujícího přijmout, mohou být řešením například dvojjazyčná skripta: Atlas rostlinných preparátů pro laboratoře biologie/Atlas of plant samples for biology practical course, které je možné studentům poskytnout jako podpurný studijní materiál<sup>15</sup>. Publikace obsahuje fotografie celé řady preparátů, u jednotlivých obrázků je uvedeno použité zvětšení a důležité struktury uvnitř preparátu jsou podrobně popsány. Tyto informace mohou posloužit zároveň jako vhodné vstupní informace pro diskusi studentů v menších pracovních skupinách. Tato aktivní komunikace jak s vyučujícím, tak s ostatními studenty zároveň přispívá k osvojení správné odborné terminologie a schopnosti kolektivní spolupráce<sup>14</sup>.

V obrázku 2 si můžeme demonstrovat důležitost použití správného zvětšení. V případě, že bychom chtěli pozorovat pouze lokalizaci vodivých drah (xylem, floem) nebo parenchymu na příčném řezu stonkem hluchavky, opravdu nám stačí čtyřnásobně zvětšující objektiv, takže celkové zvětšení mikroskopu (i s příspěvkem desetinásobného zvětšení okuláru) je čtyřicetnásobné (obr. 2A). Jestliže ale budeme chtít pozorovat detail dvou druhů buněk ve floemové oblasti stonku, musíme využít objektiv se zvětšením dvacetinásobným (obr. 2B). Teprve pak vidíme velice zřetelně jednotlivé buňky.

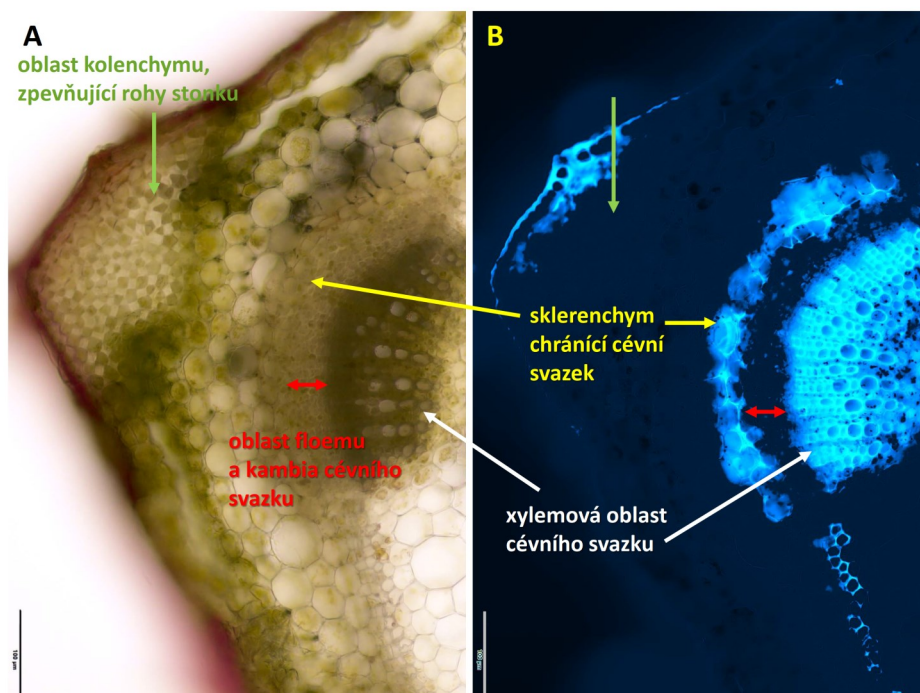


Obr. 2. Význam správného zvětšení preparátu; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) odhalí potřebné detaily ve floemové oblasti (žlutá šipka) pouze při celkovém dvousetnásobném zvětšení (B) objektivem UPlan FL 20×/0,5. Při čtyřicetnásobném zvětšení (A) objektivem UPlan FL N 4×/0,13 jednotlivé buňky floemu téměř neodlišíme. Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 200  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Metody zvyšování kontrastu vzorku pro lepší zobrazení

Dalším úskalím, s nímž se mohou studenti při mikroskopování setkat, je kontrast vzorku. Jestliže připravíme preparát o tloušťce jedné nebo dvou buněk (cca 50–100  $\mu\text{m}$ ), je většinou průsvitný a bezbarvý. Výjimku tvoří preparát s přítomností barevných plastidů (chloroplasty, chromoplasty) nebo vakuol obsahujících anthokyanová barviva se škálou barev od červené do modré, podle přítomného pH. V ostatních případech jsme klasickým optickým mikroskopem schopni odlišit v preparátu pouze oblasti, které se od okolí dostatečně liší indexem lomu (např. buněčné stěny, jádra, jádérka). Pro zviditelnění struktur, u kterých se index lomu od okolí moc neliší, máme velkou řadu různě efektivních možností, jak kontrast zlepšit. Můžeme použít barviva, která se specificky vážou na některé struktury: Lugolův roztok se váže na škroby, Sudan III na lipidy, Janusova zeleň na mitochondrie, Auramin O na lipofilní povrch pylových zrn, methylenová modř na buněčné stěny a jádra<sup>16</sup>. Další metoda, která je schopna velice efektivně vizualizovat snad nejvíce buněčných struktur, je fluorescenční mikroskopie. Ta musí jít ruku v ruce s vhodnou přípravou vzorku; preparát můžeme označit některým specifickým barvivem (např. DAPI – dihydrochlorid-4',6-diamidino-2-fénylindol je schopen interkalovat do DNA a vizualizovat jádra). Můžeme také použít

fluorescenčně značené protilátky pro vizualizaci jakékoliv fixované buněčné struktury. Jestliže chceme vizualizovat struktury v buňkách živých nebo dokonce sledovat dynamiku specifických proteinů nebo struktur (tzv. live imaging), musíme pomoci molekulárně biologických přístupů do organismu vpravit DNA, která v živých buňkách potom slouží jako templát, podle kterého se syntetizuje fluorescenční protein (nejčastěji green fluorescent protein – GFP), připojený k námi vybranému proteinu nebo struktuře, kterou takto vizualizujeme. V omezené míře můžeme také použít fluorescenční barviva vázající se specificky na některé živé buněčné struktury. Avšak úplně nejjednodušším způsobem můžeme fluorescenční mikroskopii použít k vizualizaci struktur, které vykazují autofluorescenci neboli primární fluorescenci v preparátu přirozeně, to znamená, že vzorek nemusíme nijak před mikroskopii upravovat. Je pravda, že při použití běžných filtrů (emise vzorku při cca 450 nm – modrá, 520 nm – zelená a 600 nm – červená) u fluorescenčního mikroskopu můžeme takto zviditelnit prakticky jen struktury obsahující lignin (buňky vodivých drah xylému a zpevňující pletivo sklerenchym) nebo chlorofyl (chloroplasty), ale to pro ilustraci a seznámení se s prací s fluorescenčním mikroskopem stačí. Obrázek 3 ukazuje stejný vzorek stonku hluchavky zobrazený buď klasickým optickým mikroskopem v procházejícím světle (A) nebo fluorescenčním mikroskopem (B)<sup>13</sup>. Excitace světlem o vlnové délce 350 nm



Obr. 3. Význam různých mikroskopických technik při snímání preparátu; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) zobrazený objektivem UPlan FL 10×/0,30 buď při procházejícím bílém světle (A) nebo fluorescenčně (B) s použitím excitačního záření o vlnové délce 350 nm a emisního záření o vlnové délce 460 nm (barva obrázku – 490 nm, kvůli názornosti neodpovídá zvolenému emisnímu filtru). Fluorescenční snímání zobrazí pouze stěny buněk, které obsahují lignin/suberin (B – bílá, žlutá šipka). Nejsou vidět floemu a kambia (červená šipka) ani oblast rohového kolenchymu (zelená šipka). Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 200 µm.

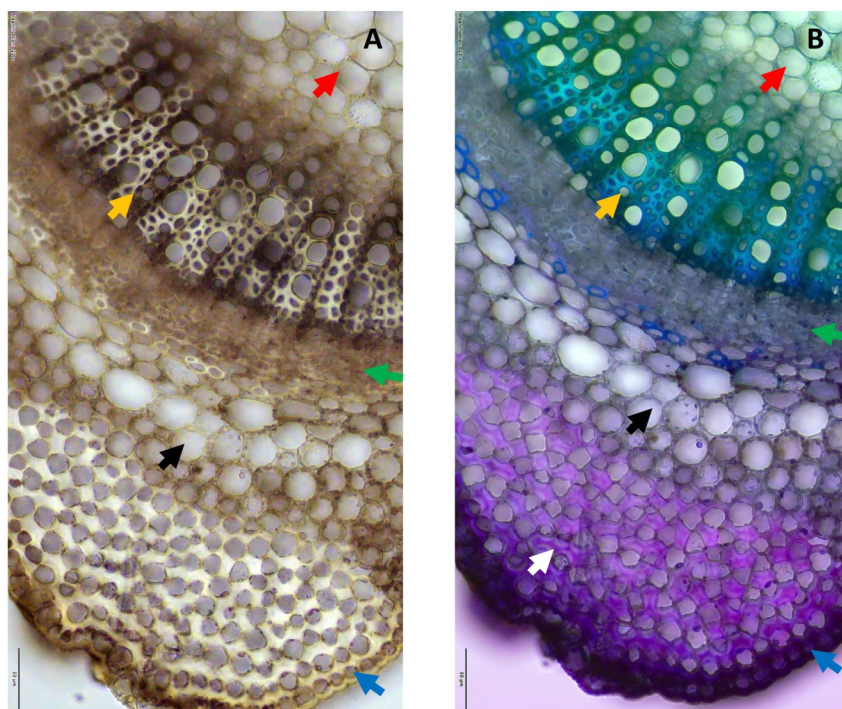
nám při fluorescenčním snímání umožní velmi dobře odlišit zpevňující buňky sklerenchymu, anebo průřez cévami vodivých drah (xylemová oblast), protože stěny těchto buněk obsahují lignin (ev. suberin), který emituje světlo o vlnové délce 460 nm (obr. 3B). Fluorescenční snímání ale nic jiného než oblasti obsahující lignin neodhalí, nezískáme žádnou představu o tom, jak jsou jednotlivá pletiva v příčném řezu stonku uspořádána. Naproti tomu v procházejícím světle vidíme všechna pletiva, ale třeba oblasti sklerenchymu chránící vodivá pletiva najde pouze mikroskopik teoreticky dobře připravený a velmi zkušený (obr. 3A, žlutá šipka ukazuje na sklerenchym).

V procházejícím světle můžeme přibližně odlišit pletiva vodivá, středový parenchym (obr. 4A, červená šipka), anebo kolenchym v rozích stonku (obr. 4A, dolní třetina obrázku) i bez použití barvení. Vhodné barvení nám však velice názorně ukáže přesné hranice jednotlivých oblastí a může nám dát i určitou informaci o chemickém složení zviditelněných struktur. 0,01–0,05% roztok toluidinové modři se používá k tzv. metachromatickému barvení, což je metoda, která je schopná tyrkysovou barvou zvýraznit oblasti obsahující lignin, což je především oblast xylemu (obr. 4A, B, žlutá šipka). Fialově se barví oblasti bohaté na pektiny (oblast střední lamely mezi dvěma buněčnými stěnami: obr. 4B, bílá šipka), obecně místa, kde se nachází v rostlinném organismu kolenchym (obr. 4B, fialově zbar-

vená oblast). Zároveň nám tak vynikne šedavě zbarvená oblast floemu ve vodivém svazku (obr. 4A, B, zelená šipka) nebo oblast středového (obr. 4A, B, červená šipka) a korového parenchymu (obr. 4A, B, černá šipka). Toluidinová modř také temně fialově zvýrazní jednu vrstvu, těsně na sebe nasedajících, epidermálních buněk na povrchu stonku (obr. 4A, B, modrá šipka). Tímto způsobem se studenti dozvědí velmi podrobné informace nejen o lokalizaci jednotlivých pletiv ve stonku hluchavky, ale i o chemickém složení buněčných stěn a v neposlední řadě o rozmanitých možnostech snímání a použití mikroskopu.

### 5. Vědecký náčrt, metody abstrakce komplexního obrazu a popis preparátu jako nástroj znázornění problematiky

Součástí náplně práce ve studentských laboratořích je i náčrt toho, co studenti v mikroskopu pozorovali. Mnozí studenti tuto kreativní část laboratoří z duše nemají rádi a pro sebe si zdůvodňují, že to musejí dělat, protože školní mikroskopy nejsou vybaveny kamerou nebo alespoň fotoaparát. To ovšem není pravda, protože správně abstrahovaný a popsáný vědecký náčrt poskytne mnohem více informací, či řadu informací komplementárních, než běžná fotografie (obr. 5). Při provádění náčrtu se

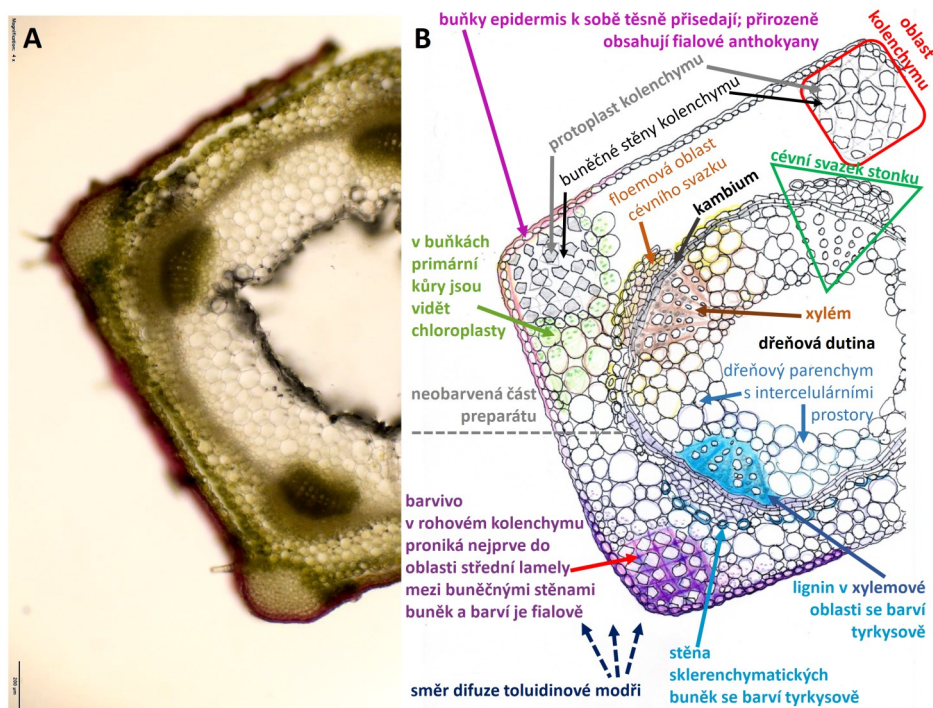


Obr. 4. Význam správně zvoleného barvení pro zvýšení kontrastu, ale i odhalení chemického složení pletiv; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) zobrazený objektivem UPlan FL 20×/0,5 v procházejícím bílém světle bez barvení (A) nebo s metachromasií (B), po obarvení 0,01% roztokem toluidinové modři. Na obrázku B je fialově zbarvena oblast rohového kolenchymu (pektinové látky), tyrkysově (lignin), potom oblast xylemu ve vodivém svazku (žlutá šipka). Dále je označena jednobuněčná vrstva epidermis (modrá šipka), oblast obarvených středních lamel mezi buněčnými stěnami kolenchymatických buněk (bílá šipka), oblast korového (černá šipka) nebo středového (červená šipka) parenchymu. Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 50  $\mu\text{m}$ .

aktivizuje pravá hemisféra, přičemž studenti mohou konfrontovat svá zjištění s teoretickými znalostmi při aktivaci hemisféry levé. Zároveň je v takových případech vhodné umožnit studentům práci ve skupině, ve které by svoje nově nabyté poznatky mohli konzultovat a porovnat. Užitečnost dobře vypracovaného vědeckého nákresu lze demonstrovat prostřednictvím obr. 5. Obrázek 5B, vědecký nákres, vlastně obsahuje informace z téměř všech obrázků uvedených v tomto článku. Přehledový snímek příčného řezu stonku hluchavky je možné vyfotografovat pouze při čtyřicetnásobném zvětšení (obr. 5A), avšak tam nemůžeme pozorovat detailní tvar buněk floemu (obr. 2B, dvousetnásobné zvětšení) v cévním svazku nebo tvar buněk a buněčných stěn kolenchymu (obr. 4, dvousetnásobné zvětšení). Tyto detaily je však možné uvést na nákresu (obr. 5B), ačkoli i ten zobrazuje zorné pole a část stonku jako při čtyřicetnásobném zvětšení (obr. 5A). Ve vědeckém nákresu můžeme, na rozdíl od fotografie, upozornit na to, kterým jevům bychom měli věnovat pozornost: epidermální buňky jsou k sobě těsně přiložené, ale parenchymatické buňky mají mezibuněčné prostory (obr. 5B). V nákresu je možné poměrně jednoduše vysvětlit jevy, které by byly jinak těžko představitelné nebo vysvětlitelné: rozdílná barva střední lamely a buněčných stěn kolenchymu (fialová) nebo buněčných stěn sklerenchymu

(tyrkysová) v průběhu metachromatického barvení (obr. 5B vs. obr. 4B). Uvážíme-li například, že každý vnímá barvy úplně jinak, může při slovním popisu velmi lehce dojít ke zmatení pojmů; stejně jako slovní popis lokalizace střední lamely v pletivu rostliny může velice záhy narazit na limitovanou prostorovou představivost i potřebné základní znalosti čtenáře z oblasti mikroskopické morfologie; avšak v nákresu tuto strukturu lokalizujeme zcela jednoznačně. Správně provedený vědecký nákres tak jen potvrzuje rčení: „Jeden obrázek vydá za tisíc slov“, a to studenti i pedagogové zvláště ocení<sup>17</sup>.

Funguje to ale i naopak, pomocí studentova nákresu může pedagog lehce zjistit míru toho, jak student daný jev pochopil, ať už při běžné výuce nebo během testování znalostí. Navíc si student při provádění nákresu procvičuje schopnost abstrahovat důležité struktury ze složitého obrazu, který vidí v mikroskopu. Například nákres rohového kolenchymu u hluchavky je dost složitý, zvolí-li však student správnou techniku a v oblasti, kde má být kolenchym lokalizován, si načrtne čtvercovou síť, je „polovina práce hotova“ (v obr. 5B je čtvercová síť patrná u fialově zbarveného kolenchymu). Jestliže si pak pole představíme jako šachovnici a každé „černé“ políčko opatříme křížem, který vychází z rohů pole, získáme poměrně přesný nákres protoplastů kolenchymu s nepravidelně ztloustlými buněčnými-



Obr. 5. Porovnání informační hodnoty mikrofotografie a vědeckého nákresu; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) zobrazený objektivem UPlan FL N 4×/0,13 v procházejícím bílém světle bez barvení (A) nebo odborný nákres s podrobným popisem pozorovaných jevů (B). Na obrázku B je horní část preparátu znázorněna bez barvení a dolní část zachycuje podobu preparátu po obarvení 0,1% toluidinovou modří. Délka měřítka v obrázku A odpovídá 200  $\mu\text{m}$ .

mi stěnami. Student se také musí vypořádat se zachováním velikostních poměrů u struktur, které jsou součástí nějakého většího celku nebo komplexního preparátu. Navíc proces samotného kreslení u studentů zapojuje jiná centra mozku, než pokud by si o dané problematice pouze četli. Lze tedy předpokládat, že si studenti danou látku lépe a déle zapamatují<sup>18</sup>.

## 6. Závěr

Předložený text se pokouší ukázat užitečnost mikroskopie pro výuku přírodních věd prostřednictvím aktivit vedoucích k zapojení a kooperaci levé a pravé mozkové hemisféry. Článek dále prezentuje několik aktivit tvořících laboratorní cvičení, v jehož rámci je vhodně připraven vzorek pro mikroskopické pozorování, jsou vysvětleny a názorně předvedeny či popsány různé mikroskopické techniky a v závěru vytvořen odborný nákres. Takto koncipované cvičení může být využito jako účinný nástroj pro harmonický rozvoj studentů v laboratorní výuce. Krok za krokem a s využitím názorných mikrofotografií a nákresu článek odhaluje procesy a nástrahy, kterými student v průběhu realizace prezentovaných aktivit a technik prochází. Díky koncepci laboratorního cvičení, mikroskopie a uvedené techniky nejen prohlubují znalosti o struktuře a funkci rostlinných tkání, ale také podporují rozvoj jemné moto-

riky a propojení levé a pravé mozkové hemisféry. Praktická cvičení umožňují studentům získat hluboké teoretické i praktické dovednosti a zároveň posilují kreativní a analytické schopnosti<sup>14</sup>. Odborný nákres jako klíčová část výuky přispívá k pochopení složitých biologických struktur a vytváří most mezi vizuálním vnímáním a vědeckou abstrakcí. Tyto metody mají pozitivní vliv nejen na vzdělávání, ale i na rozvoj kognitivních schopností studentů. Důležitost praktické výuky zůstává navzdory novým technologiím a audiovizuálním prostředkům nezastupitelná, protože poskytuje studentům neocenitelný prostor pro aktivní učení a rozvoj osobnosti na více úrovních.

## LITERATURA

1. Sperry R. W.: *Am. Psychol.* 23, 723 (1968).
2. Bornehag C. G., Engdahl E., Unenge Hallerbäck M. U., Wikström S., Lindh C., Rüegg J., Tanner E., Genings C.: *Environ. Int.* 150, 106433 (2021).
3. Colborn T., vom Saal F. S., Soto A. M.: *Environ. Health Perspect.* 101, 378 (1993).
4. Han K., Tang Z., Bai Z., Su W., Zhang H.: *Front. Aging Neurosci.* 14, 878025 (2022).
5. Lee H. J., Lee M., Park H., Park J. H., Park K. W.: *Dement. Neurocogn. Disord.* 18, 122 (2019).
6. Corballis M. C.: *PLoS Biol.* 12, e1001767 (2014).

7. Eccher M., v knize: *Encyclopedia of the Neurological Sciences* (Aminoff M. J., Daroff R. B., ed.), str. 867, 2. vyd. Academic Press, San Diego 2014.
8. Výroční zpráva České školní inspekce 2022/2023, str. 244: [https://www.csicr.cz/CSICR/media/Elektronicke-publikace/2023/Vyrocní\\_zprava\\_CSI\\_2022\\_2023/html5/index.html?pn=247](https://www.csicr.cz/CSICR/media/Elektronicke-publikace/2023/Vyrocní_zprava_CSI_2022_2023/html5/index.html?pn=247), staženo 5. 6. 2024.
9. Dokumenty k učitelským praxím: <https://www.ped.muni.cz/pedagogika/praxe/ucitelske-praxe/tandemova-vyuka>, staženo 5. 6. 2024.
10. Osborn M.: *Academic and behavioral strategies for students with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. Dissertation.* California State University San Marcos, San Marcos 2013.
11. Burghardt W.: Capstone Project EDTE490W, California State University Chico 2022, <https://scholarworks.calstate.edu/downloads/1544bv538>, staženo 5. 6. 2024.
12. Seery M. K.: *J. Chem. Educ.* 97, 1511 (2020).
13. Davidson M. W., Abramowitz M., v knize: *Encyclopedia of Imaging Science and Technology* (Hornak J., ed.), Vol. 2, str. 1106. Wiley Online Library, 2002.
14. Oliveira H., Bonito J.: *Front. Educ.* 8, 1151641 (2023).
15. Angelini J.: *Atlas rostlinných preparátů pro laboratoře biologie /Atlas of plant samples for biology practical course.* VŠCHT Praha, Praha 2023.
16. Stadelmann E. J., Kinzel H., v knize: *Methods Cell Biol.* (Prescott D. M., ed.) Vol. 5, kap. 10, str. 325. Academic Press, San Diego 1972.
17. Nugraha I.: *J. Phys.: Conf. Ser.* 1013, 012016 (2018).
18. Quillin K., Thomas S.: *CBE Life Sci. Educ.* 14, es2 (2015).

**J. Angelini and E. Benešová** (*Department of Biochemistry and Microbiology, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*): **Microscopy of Simple Slides and Expert Drawing as a Unique Tool for Harmonious Development of Students in Laboratory Teaching**

Microscopy is an important tool in the teaching of biology, chemistry and related sciences at various levels of school education, as it allows the use of visual experience to understand basic natural structures, phenomena and principles. The text presented here attempts to outline the different parts of the process that students should go through during a lesson involving practical demonstrations of microscopy, and to explain the specific benefits of each activity in the wider context of various learning skills with implications for everyday life. At the same time, the text aims to inspire educators to expose their students to the world of natural science and spark their interest in studying these disciplines, without the need of expensive instrumentation.

Keywords: practical microscopy, interconnection of hemispheres, optical microscopy, specialized (scientific) drawing, collenchyma, xylem



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.