

# FLUORESCENČNÍ MIKROSKOP VE VÝUCE BIOLOGIE A VLIV NA ZNALOSTI ŽÁKŮ

## TEACHING BIOLOGY WITH FLUORESCENT MICROSCOPE AND IT'S INFLUENCE ON PUPILS' KNOWLEDGE

Vanda Janštová [vanda.janstova@natur.cuni.cz](mailto:vanda.janstova@natur.cuni.cz), Jana Míková [mikova.jana@gymhu.cz](mailto:mikova.jana@gymhu.cz),  
Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra učitelství a didaktiky  
biologie

### Abstract

*Atractivity of science subjects, including biology, has been one of the hot topics of science teaching for decades. Generations of teachers and scientists have been discussing the best ways to show pupils natural beauties, improve both knowledge and pupils' attitudes toward science and how to involve pupils into studying science and biology. We decided to test if using an uncommon tool, namely fluorescent microscope and microphotographs, influence pupils' knowledge in post-test and delayed post-test. The respondents were 102 upper secondary school pupils who filled in a knowledge pre-test, post-test and delayed post-test. Data from 69 pupils were analysed. All the pupils underwent the intervention, a practical course focused on microscopy. One group also worked with fluorescent microscope, the second group worked with microphotographs obtained using this fluorescent microscope. The results showed all pupils gained knowledge as measured in the post-test. The difference between the two groups was in the results of delayed post-test. Pupils who worked with fluorescent microscope retained significantly more knowledge compared to the pre-test. Using the fluorescent microscope helped them to fixate gained knowledge better than using microphotographs. The accuracy with which the pupils filled in the work sheets correlated with post-test results, but not with delayed post-test results. Links showing on-line photo gallery are part of the paper.*

## Klíčová slova

*mikroskopie, mikroskopování, praktické cvičení*

## Keywords

*microscopy, practical course*

## Úvod

Nikoho nepřekvapí, že biologie je žáky vnímána jako přínosnější, pokud je vyučována s širším spektrem pomůcek či přírodnin (Çimer, 2012). Může se jednat o modely (návodů a příklady např. Jančaříková, 2017; Janštová & Jáč, 2014a, 2014b), živé organismy, jejichž využití má prokazatelně vliv i na lepší znalosti žáků (Bukáčková, 2016; Bukáčková & Janštová, 2016), či snížení odporu k neoblíbeným živočichům (Fančovičová, 2016). Pokud je s výukou spojená kladná emoce a zaujetí žáků, je větší pravděpodobnost, že si žáci obsah zapamatují (Fernandes, 2004). V dnešní době je popsáno a vyhodnoceno množství aktivit, které využívají i informační technologie jak ve výuce žáků (Odcházelová, 2014), tak budoucích učitelů (Janštová & Pavlasová, 2016; Wood & Gebhardt, 2013) jak v zahraničí, tak v českém prostředí.

Jedním z možných využití jsou vzdálené laboratoře, které mohou být i virtuální a zaměřené mj. na mikroskopování (Kumar et al., 2014). Zvýšení atraktivity vzdálené mikroskopické laboratoře pro žáky může přispět to, že je jim umožněna práce s vybavením, ke kterému běžně nemají přístup, např. se skenovacím elektronovým mikroskopem (Hunt, 2007). Znalosti vysokoškolských studentů používajících virtuální a klasickou mikroskopii v různých studiích vycházejí srovnatelně (Scoville & Buskirk, 2007; Triola & Holloway, 2011), jsou au-

toři, kteří našli více kladů v případě virtuální mikroskopie (Fónyad, Gerely, Cserneky, Molnár, & Matolcsy, 2010). Studenti také virtuální mikroskopii vesměs přijímají kladně a intenzivně ji využívají (Harris et al., 2001; Merk, Knuechel, & Perez-Bouza, 2010). Chybí ale studie zaměřené na nižší stupně škol než školy vysoké. Jiní autoři naopak shrnují, že navzdory studijním výsledkům nelze klasické mikroskopování virtuálním nahradit, což byl i názor některých studentů (Harris et al., 2001; Scoville & Buskirk, 2007). Je totiž faktem, že při klasickém mikroskopování dochází i k rozvoji dalších dovedností žáků a v neposlední řadě také ke zlepšení postoje žáků k přírodovědným předmětům (Vlaardingerbroek, Taylor, Bale, & Kennedy, 2017), což jsou změny, po kterých výzkumníci i učitelé volají již dekády (Vohra, 2000; Younès, 2000). Proto může být potěšujícím zjištěním, že mikroskopování je nejčastější náplní praktických cvičení na školách jak v sousedním Německu (Jäkel, 2011), tak v České republice (Janštová, 2015), zůstává nicméně otázkou, jak je prováděno a proč žáci hodnotí svoji schopnost mikroskopovat pouze jako průměrnou (Jäkel, 2011). Je možné, že se zde uplatňuje efekt horšího hodnocení činnosti, která je častá, a proto vnímaná jako fádni. Žáci zároveň mají s mikroskopováním spojenou nutnost kreslit nákresy, což hodnotí negativně. Autorka proto navrhuje použití mikroskopování v kontextu problémových úloh, což by kromě rozvoje dalších dovedností žáků mohlo vést i k lepšímu vnímání mikroskopování (Jäkel, 2011). Vlaar-

dingerbroek et al. (2017) v souvislosti s kladným vlivem praktického mikroskopování na vnímání a hodnocení vyučovacích předmětů zdůrazňují, že je ideální seznámit se s mikroskopováním již na druhém stupni základních škol, kde často dochází k formování postojů k vyučovacím předmětům a oborům. Kromě virtuální mikroskopie, která umožní např. měnit zvětšení apod., ale je náročná na operační paměť a rychlost připojení, mohou ve výuce být využity i mikrofotografie (Dee, 2009).

Právě na porovnání výuky s mikrofotografiemi pořízenými fluorescenčním mikroskopem a výuky s daným fluorescenčním mikroskopem je zaměřena tato studie.

Fluorescenční mikroskop využívá jevu fluorescence, při kterém atom či molekula přijme energii fotonu, excituje se. Následně emituje foton s nižší energií a delší vlnovou délkou a vrátí se na původní energetickou hladinu (O'Hara, St. Peter, & Engelson, 2005). Produkce světla (emise fotonů) je

krátkodobá, dochází k ní pouze cca  $10^{-8}$  s od doby osvitů (McHale & Seybold, 1976).

Fluorescenční mikroskop je oproti světelnému mikroskopu doplněn o další zdroj (či zdroje) světla, který emituje světlo konkrétního rozmezí vlnových délek, tedy konkrétní barvy. Tímto excitačním světlem je osvětlen preparát. Mezi preparátem a okuláry je nutný emisní filtr, který toto excitační světlo odfiltruje, abychom viděli relativně slabou fluorescenci a aby nemohlo poškodit zrak. Typicky je součástí také emisní filtr, který do okulárů od sledovaného objektu propustí pouze světlo konkrétního rozmezí vlnových délek, tedy konkrétní barvy. Pokud pracujeme s autofluorescencí (objekty nejsou barvené fluorescenční značkou, jde o jejich přirozenou schopnost absorbovat a emitovat foton), jde naopak s výhodou použít emisní filtr, který odfiltruje pouze excitační světlo, a mít možnost pozorovat celé emitované spektrum, více barev zároveň.

## Cíl, výzkumné otázky, hypotézy

Cílem výzkumu bylo zejména porovnat znalosti žáků v závislosti na uspořádání výuky (s fluorescenčním mikroskopem vs. s mikrofotografiemi). Kladly jsme si následující otázky:

1. Jak ovlivní uspořádání výuky (konkrétně využití fluorescenčního mikroskopu, či pouze mikrofotografií) znalosti žáků?
2. Je souvislost mezi znalostmi žáků a počtem bodů získaných za vyplněný laboratorní protokol?
3. Liší se znalosti chlapců a děvčát?
4. Liší se znalosti žáků, kteří dostali různé známky z biologie na poslední dvě vysvědčení?

Konkrétně jsme testovaly tyto hypotézy:

1. Žáci, kteří se zúčastnili vyučovací jednotky s fluorescenčním mikroskopem, dosáhnou v následných testech znalostí stejných výsledků jako žáci, kteří absolvovali vyučovací hodinu bez mikroskopu, s mikrofotografiemi.
2. Pečlivost, se kterou žáci vyplnili pracovní protokoly, koreluje s výsledky v post-testech.
3. Pohlaví žáků nemá vliv na počet bodů dosažený ve znalostních testech.
4. Poslední dvě známky z biologie na vysvědčení nemají vliv na počet bodů dosažený ve znalostních testech.

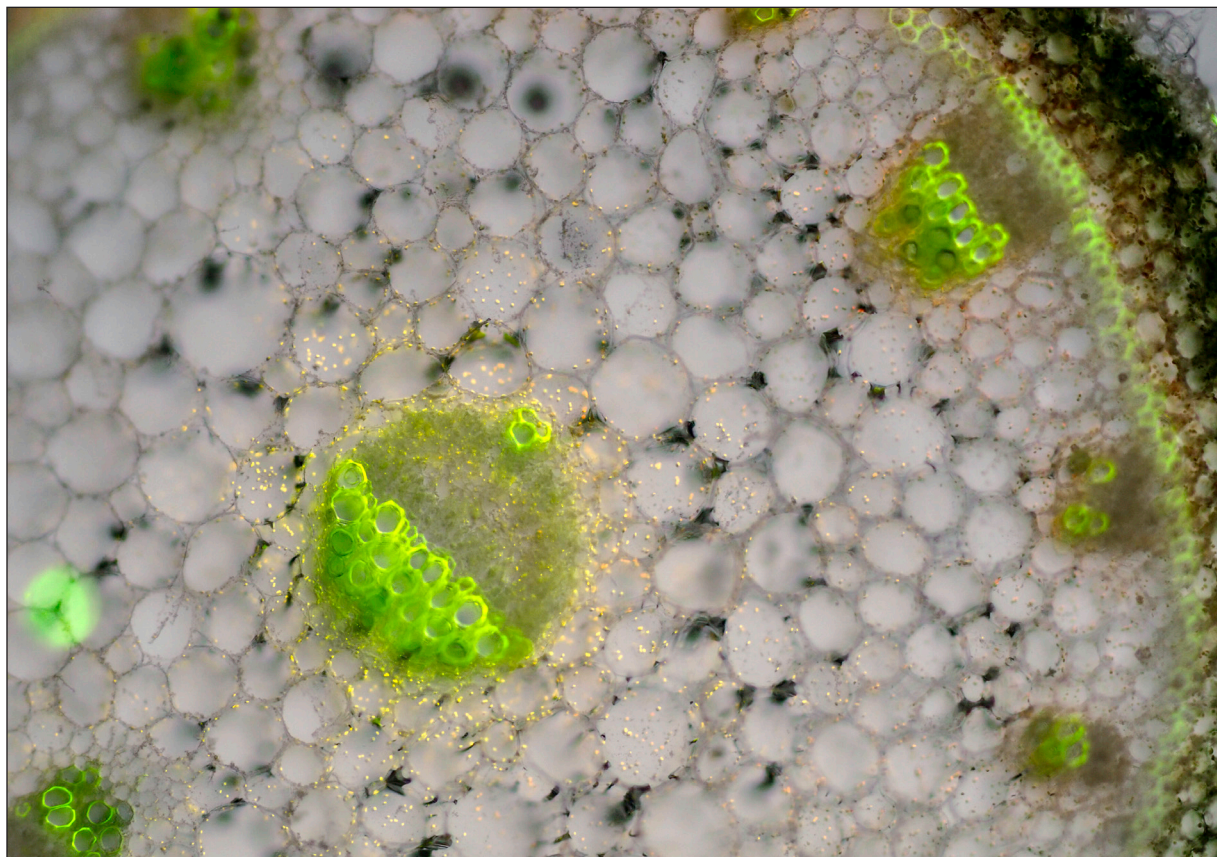
## Metodika

Vzorek respondentů tvořili žáci čtyř tříd prvních ročníků dvou pražských gymnázií, celkem 102 žáků. Polovina každé třídy absolvovala výuku s fluorescenčním mikroskopem (Olympus CX21 doplněný o LED diodu emitující modré světlo, s emisním filtrem pro odstranění pouze modré barvy) a druhá polovina každé třídy výuku s mikrofotografiemi pořízenými daným mikroskopem (dále jsou skupiny označovány jako „s mikroskopem“ a „s fotografiemi“). Z další analýzy byli vyřazeni žáci, od nichž nebyla sebrána kompletní data, např. nebyli přítomni na některý z testů či na vlastní ex-

pozici. Vyhodnocena byla data od 69 žáků, z nichž 35 pracovalo s fluorescenčním mikroskopem a 34 s mikrofotografiemi.

Znění pre-testu a post-testů bylo pilotně otestováno na žácích prvního ročníku jiného gymnázia, formulace otázek byla upravena podle připomínek.

Znalostní pre-test byl zaměřený na stavbu optického a fluorescenčního mikroskopu, luminiscenci, fluorescenci a stavbu listu. Součástí bylo zjištění dalších proměnných jako pohlaví, poslední dvě známky z biologie resp. přírodopisu. Žáci pre-test vyplnili na běžné hodině biologie před expozicí no-

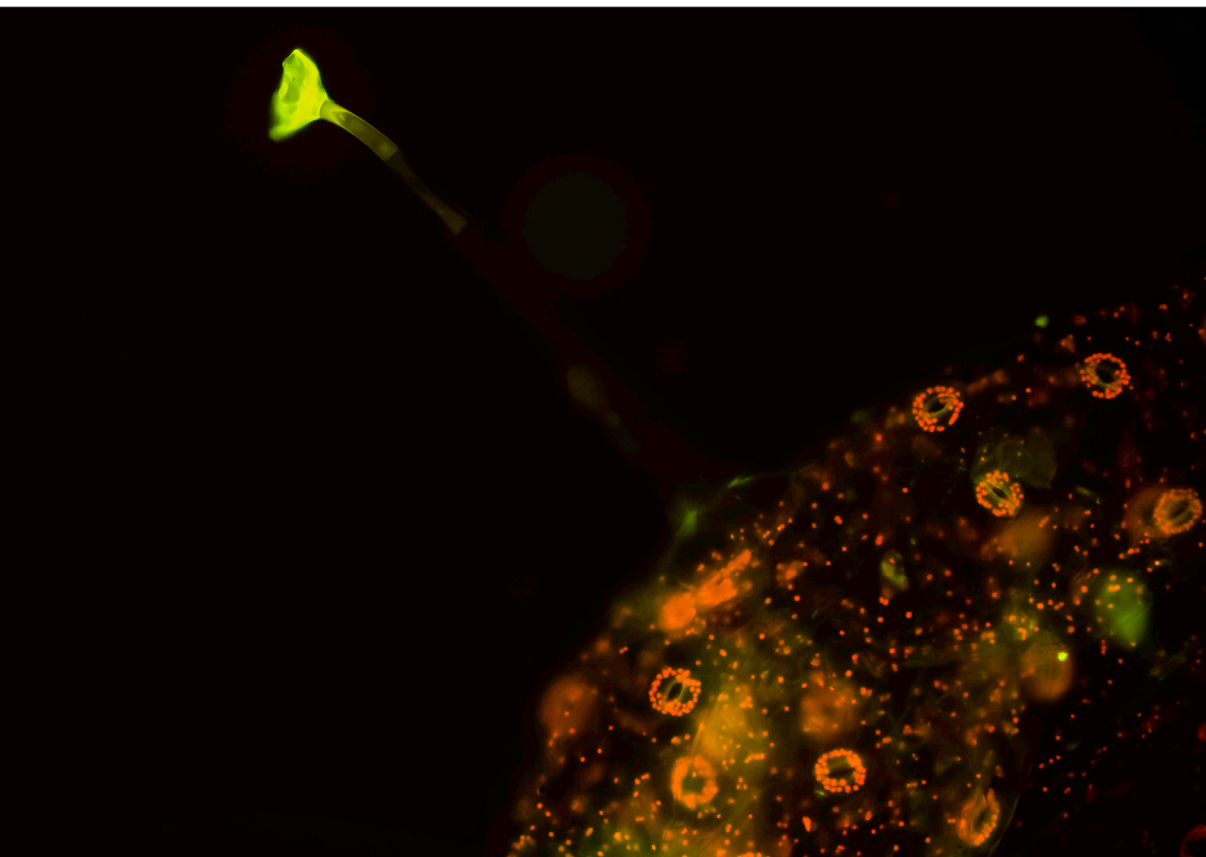


Obr. 1 Řez řápkem muškátu, složení fotografie po excitaci modrým světlem a v přirozeném viditelném světle, 200× zvětšeno, nativní preparát ve vodě. Autor: Petr Jan Juračka. Ke složení obrázku vždy ze dvou mikrofotografií byl použit program ImageJ. Na str. 45 nahoře barevně.

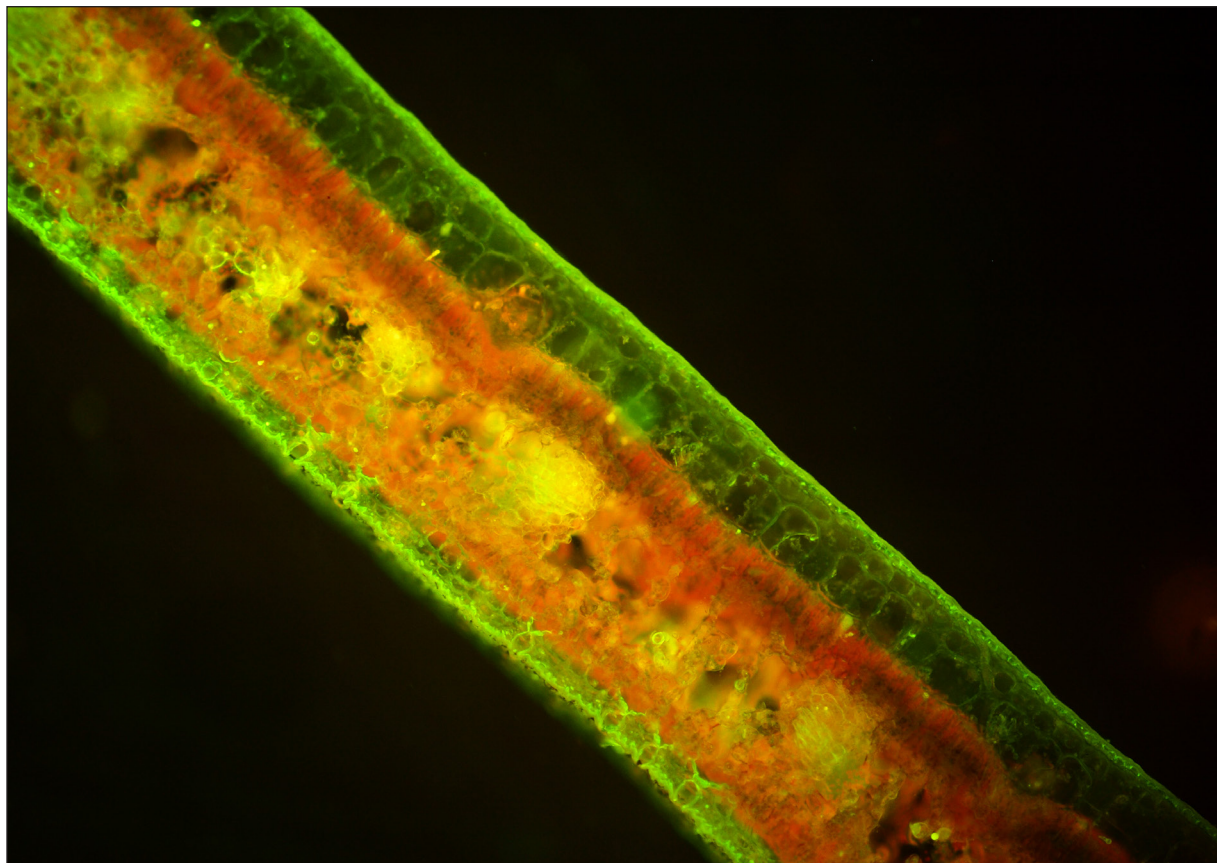
vého učiva. Vlastní expozice na téma „fluorescence“ a „stavba listu“ proběhla ve dvou částech. Fluorescence byla představena výkladem s demonstračními pokusy, stavba listu formou praktického cvičení. Celková časová dotace vyučovací jednotky byla 90 minut. V rámci mikroskopování pozorovali žáci trvalé preparáty řezů listy kukuřice a jabloně a vytvářeli si vlastní dočasný preparát řezu jehlicí smrku. Jeden až dva týdny po expozici učiva následoval post-test, po šesti až osmi týdnech od post-testu vyplnili žáci opožděný post-test. Časový odstup obou post-testů byl inspirován studií Randler & Bogner (2006). Zadání všech testů bylo stejné, celkem mohli žáci získat 30 bodů. Žádný z testů nebyl předem

oznámený, žáci za tyto testy nedostali známky. Žáci na testy vyplnili své unikátní kódy složené z iniciál a vybraných číslic rodného čísla, podle kterých pro nás nebylo možné je identifikovat. Kód sloužil výhradně ke spárování testů jednotlivých žáků.

Byly vyhodnoceny laboratorní protokoly žáků, jejich nákresy a počet uvedených pojmů. Zadání protokolů bylo shodné se zadáním v jiných praktických cvičeních. Maximálně mohli žáci dostat 11 bodů. Tento faktor je dále také zmiňován jako pečlivost.



Obr. 2 Pokožka muškátu s trichomem, složení dvou fotografií (dvou rovin) po excitaci modrým světlem, 200×zvětšeno, nativní preparát ve vodě. Jsou zřetelné buňky průduchů. Autor: Petr Jan Juračka. Ke složení obrázku vždy ze dvou mikrofotografií byl použit program ImageJ. Na str. 45 dole barevně.



Obr. 3 Příčný řez listem fikusu po excitaci modrým světlem, 200× zvětšeno, nativní preparát ve vodě. Autorka: Vlasta Divišová. Na str. 48 nahoře barevně.

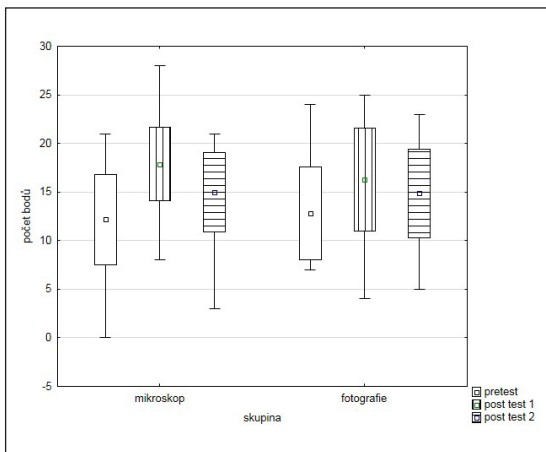
K výpočtům byl použit program Statistica 12, rozdíly byly považovány za signifikantní, pokud dosažená hladina testu  $p < 0,05$  (5 %). Normalita dat byla testována testy Shapiro – Wilk a Kolmogorov – Smirnov. Rozložení výsledků žáků v pre-testu se blížilo normálnímu rozložení ( $p > 0,05$ ), bylo tedy možné použít parametrické testy. Pro porovnání výsledků skupin žáků (těch, kteří používali fluorescenční mikroskop a těch, kteří používali mikrofoto grafie) a chlapců a děvčat v pre-testu a obou post-testech byla použita analýza variance (ANOVA) při opakovaných měřeních, data od jednotlivých

žáků byla hodnocena individuálně (byly párovány výsledky v jednotlivých testech) s Tukeyovým post-hoc testem. ANOVA byla použita i pro porovnání výsledků žáků ve znalostních testech v závislosti na průměru posledních dvou známek z biologie na vysvědčení. Korelace byla zjišťována pomocí Pearsonova korelačního koeficientu.

## Výsledky

Znalosti žáků obou skupin byly na začátku studie stejné ( $\bar{x} = 12,17 \pm 4,62$  s mikroskopem, resp.  $\bar{x} = 12,79 \pm 4,80$  s fotografiemi,  $p = 0,99$ ). Znalosti žáků obou skupin měřené post-testem jeden až dva týdny po intervenci (90 min výuky) byly signifikantně lepší v porovnání s pre-testem, v případě skupiny s mikroskopem byl bodový nárůst 2× větší než u skupiny s fotografiemi (o 5,69;  $\bar{x} = 17,86 \pm 3,79$  s mikroskopem; resp. o 2,83;  $\bar{x} = 16,29 \pm 5,31$  s fotografiemi,  $p \leq 0,001$ ). Po šesti až osmi týdnech po post-testu byl opožděným post-testem zjištěn pokles úrovně znalostí u žáků obou skupin. Nicméně skupina s mikroskopem stále dosahovala signifikantně lepších znalostí než na začátku studie (o 3,50;  $\bar{x} = 16,29 \pm 5,31$ ;  $p = 0,02$ ). Úroveň znalostí žáků ze skupiny s fotografiemi se od úrovně zjištěné pre-testem signifikantně nelišila (rozdíl 2,06;  $\bar{x} = 14,85 \pm 4,59$ ;  $p = 0,20$ ), viz graf 1.

Graf 1 Průměry dosažené ve znalostních testech žáky skupiny s mikroskopem a skupiny s fotografiemi.



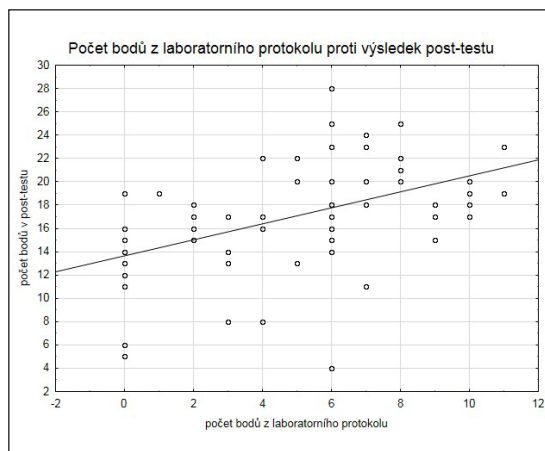
Body označují průměry, Krabice: Průměr $\pm$ SmOdch; Svorka: minimum, maximum.

Pohlaví žáků ani známka z biologie na posledních

dvou vysvědčeních neměly vliv na znalosti žáků v žádném z testů ( $p > 0,05$ ).

Počet bodů dosažený vypracováním laboratorního protokolu kladně koreloval s počtem bodů dosaženým v post-testu ( $r = 0,49$ ;  $p < 0,001$ ), kde vysvětloval 24% variance, viz graf 2. Korelace počtu bodů dosažených vypracováním laboratorního protokolu a počtu bodů dosažených v opožděném post-testu nebyla signifikantní ( $p = 0,05$ ). Výsledky pre-testu slabě kladně korelovaly s výsledky obou post-testů ( $r = 0,34$ ;  $p < 0,01$ ; resp.  $r = 0,35$ ;  $p < 0,01$ ).

Graf 2 Korelace počtu bodů za laboratorní protokol a výsledků post-testu.

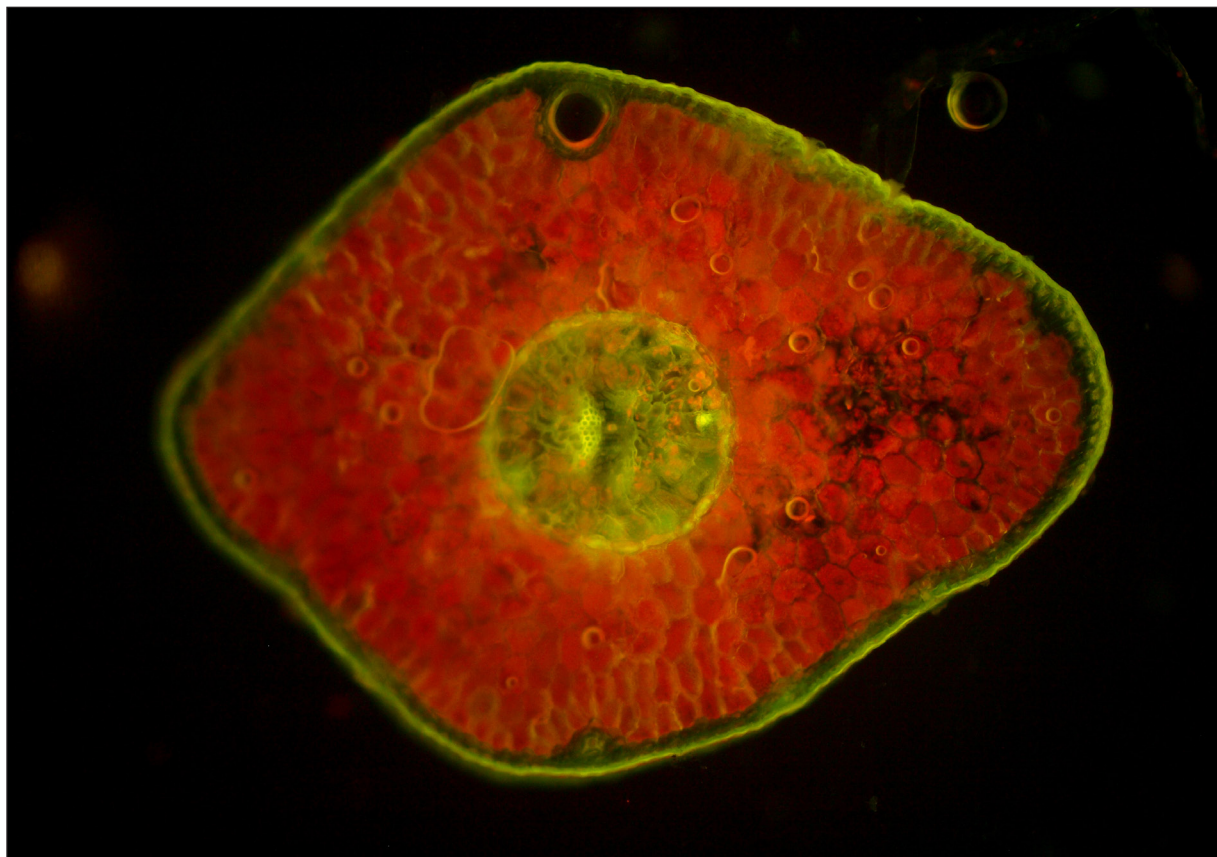


## Diskuze

Bylo ukázáno, že místo tradičního mikroskopování lze ve výuce využít mikroskopování virtuální (Fónyad et al., 2010; Hunt, 2007; Scoville & Buskirk, 2007; Triola & Holloway, 2011). To ale i přes kladné přijetí vysokoškolskými studenty skýtá řadu nevýhod. Tradiční mikroskopie na rozdíl od něj rozvíjí celou řadu dalších dovedností a v neposlední řadě i postoj k biologii. Proto se ztotožňujeme s autory, kteří uzavírají, že by nebylo vhodné klasické mikroskopování na ško-

lách nahradit virtuálním (Vlaardingerbroek et al., 2017). I přestože vybavenost mikroskopy nemusí být na řadě škol ke spokojenosti učitelů biologie, je v podmínkách českých škol pravděpodobně ještě obtížnější zajistit pro žáky podmínky pro mikroskopování virtuální. Naše srovnání se proto týkalo znalostí žáků, kteří absolvovali výuku s fluorescenčním mikroskopem, a žáků, kteří pracovali s mikrofotografiemi pořízenými zmíněným mikroskopem. Toto uspořádání jsme zvolili i proto, že využití mikrofotografií pro výuku bylo dříve popsáno (Dee, 2009). Výše zmíněné studie se nicméně zabývaly především vysokoškolskými studenty, nejčastěji studenty medicíny. Výsledky naší studie ukázaly, že využití fluorescenčního mikrosko-

pu ve výuce biologie může vést k lepším výsledkům v opožděném znalostním testu. Znalosti žáků hodnocené testem týden až dva po výuce byly srovnatelné, ať používali fluorescenční mikroskop, nebo mikrofotografie. V tomto krátkodobém horizontu se spíše projevila souvislost s pečlivostí vyplnění laboratorních protokolů. Nebyl zjištěn vliv pohlaví žáků na výsledky znalostních testů. Překvapivě ani poslední dvě známky z biologie na vysvědčení neměly vliv na výsledky žáků v testech. To je pravděpodobně dáno tím, že z 69 žáků měli pouze dva jinou známku než jedničku či dvojku. Variabilita tedy byla velmi malá, žáci měli z biologie velmi dobré známky.



Obr. 4 Příčný řez jehlicí smrku po excitaci modrým světlem, 200× zvětšeno, nativní preparát ve vodě. Autorka: Vlasta Divišová. Na str. 48 dole barevně.



## Závěr

Výsledky provedené studie ukázaly, že využití neobvyklé pomůcky, konkrétně fluorescenčního mikroskopu, ve výuce biologie může napomoci dlouhodobé fixaci učiva. Žáci, kteří s fluorescenčním mikroskopem pracovali, měli po osmi až deseti týdnech signifikantně lepší znalosti než na začátku studie. U žáků, kteří pracovali s mikrofotografiemi, byly znalosti po osmi až deseti týdnech lepší než v začátku studie, rozdíl ale nebyl signifikantní, je

tedy možný v rámci statistické chyby. Znalosti obou skupin žáků byly prokazatelně lepší týden až dva po intervenci než na začátku studie. S počtem bodů udělených za vypracování laboratorního protokolu nejsilněji kladně korelovaly výsledky post-testu. Čím podrobněji a pečlivěji byl protokol vypracován, tím více znalostí v post-testu žáci prokázali. Je na místě, aby mikroskopování bylo zařazováno do výuky a to včetně vypracování protokolů. Zároveň by bylo vhodné používat pro tuto klasickou metodu i jiné kontexty, aby byla pro žáky zajímavá.

*V rámci studie vznikly výukové materiály a galerie mikrofotografií, které jsou dostupné (i ke stažení) na následujících odkazech: výukové materiály (na stránce dole, „Fotogalerie a prezentace k fluorescenčnímu mikroskopu vytvořené v rámci diplomové práce Mgr. Jany Filipové“) [https://www.natur.cuni.cz/biologie/ucitelstvi/nabidka/studijni-materialy/galerie\\_mikrofotografií\\_goo.gl/m8m5jU](https://www.natur.cuni.cz/biologie/ucitelstvi/nabidka/studijni-materialy/galerie_mikrofotografií_goo.gl/m8m5jU)*

*Další ukázky mikrofotografií z daného fluorescenčního mikroskopu jsou v obrazové příloze.*

## Obrazová příloha

Všechny mikrofotografie byly vyfoceny pomocí mikroskopu Olympus CX21 doplněného o LED diodu emitující modré světlo, s emisním filtrem zachycujícím pouze excitační světlo, doplněného o fotoaparát Olympus E410. Chloroplasty po osvětlení modrým světlem vnímáme červeně, buněčné stěny zeleně.

## Literatura

- Bukáčková, A. (2016). Efektivita výuky poznávání organismů na příkladu krytosemenných rostlin. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze.
- Bukáčková, A., & Janštová, V. (2016). Efektivita výuky poznávání organismů na příkladu krytosemenných rostlin. In *Trendy v didaktice biologie, sborník abstraktů* (Roč. 2). Praha: Pedagogická fakulta Univerzity Karlovy.
- Çimer, A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students' views. *Educational Research and Reviews*, 7(3), 61–71.
- Dee, F. R. (2009). Virtual microscopy in pathology education. *Human Pathology*, 40(8), 1112–1121. <https://doi.org/10.1016/j.humpath.2009.04.010>
- Fančovičová, J. (2016). Effect of Practical Activities with Living Organisms to Reduce Disgust of animals. In *Trendy v didaktice biologie, sborník abstraktů* (Roč. 2, s. 42). Praha: Pedagogická fakulta Univerzity Karlovy.
- Fernandes, E. V. (2004). *Učení a jeho problémy: mozek, emoce, mysl a činnost*.
- Fónyad, L., Gerely, L., Cserneky, M., Molnár, B., & Matolcsy, A. (2010). Shifting gears higher-digital slides in graduate education-4 years experience at Semmelweis University. *Diagnostic pathology*, 5(1), 73.
- Harris, T., Leaven, T., Heidger, P., Kreiter, C., Duncan, J., & Dick, F. (2001). Comparison of a virtual microscope laboratory to a regular microscope laboratory for teaching histology. *The Anatomical Record*, 265(1), 10–14. <https://doi.org/10.1002/ar.1036>

- Hunt, J. (2007). ICT-mediated science inquiry: the Remote Access Microscopy Project (RAMP). *Australian Educational Computing*, 22(1), 26–33.
- Jäkel, L. (2011). Working with the microscope as a problem solving process. In *E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship. Part: Pre-service science teacher education* (s. poster). Lyon.
- Jančaříková, K. (2017). Modely v didaktice biologie. *Biologie-Chemie-Zeměpis*, 26(1). <https://doi.org/10.14712/25337556.2017.1.1>
- Janštová, V. (2015). What is actually taught in high school biology practical courses. In *ICERI2015 Proceedings* (Roč. 8, s. 1501–1507). Seville, Spain.
- Janštová, V., & Jáč, M. (2014a). Modelování ve výuce biologie (1) aneb jak žákům přiblížit některé biologické jevy. *Biologie Chemie Zeměpis*, 23(2), 61–65.
- Janštová, V., & Jáč, M. (2014b). Modelování ve výuce biologie (2) aneb jak žákům přiblížit některé biologické jevy. *Biologie Chemie Zeměpis*, 23(3), 111–116.
- Janštová, V., & Pavlasová, L. (2016). Bioinformatics at grammar schools, view of pre-service teachers. In *Project-based Education in Science Education* (Roč. 13, s. 77–80). Praha: Charles University in Prague, Faculty of Education. Získáno z [http://pages.pedf.cuni.cz/pvch/files/2016/02/proceedings\\_2015.pdf](http://pages.pedf.cuni.cz/pvch/files/2016/02/proceedings_2015.pdf)
- Kumar, D., Singanamala, H., Achuthan, K., Srivastava, S., Nair, B., & Diwakar, S. (2014). Implementing a Remote-Triggered Light Microscope: Enabling Lab Access via VALUE Virtual labs. In *Proceedings of the 2014 International Conference on Interdisciplinary Advances in Applied Computing* (s. 49). ACM. Získáno z <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2660963>
- McHale, J. L., & Seybold, P. G. (1976). Luminescence experiment using adsorbed dyes. *Journal of Chemical Education*, 53(10), 654. <https://doi.org/10.1021/ed053p654>
- Merk, M., Knuechel, R., & Perez-Bouza, A. (2010). Web-based virtual microscopy at the RWTH Aachen University: Didactic concept, methods and analysis of acceptance by the students. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 192(6), 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2010.01.008>
- Ocházalová, T. (2014). Role multimédií ve výuce přírodních věd. *Scientia in educatione*, 5(2), 2–12.
- O'Hara, P. B., St. Peter, W., & Engelson, C. (2005). Turning on the Light: Lessons from Luminescence. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 49. <https://doi.org/10.1021/ed082p49>
- Randler, C., & Bogner, F. X. (2006). Cognitive achievements in identification skills. *Journal of Biological Education*, 40(4), 161–165. <https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656038>
- Scoville, S. A., & Buskirk, T. D. (2007). Traditional and virtual microscopy compared experimentally in a classroom setting. *Clinical Anatomy*, 20(5), 565–570. <https://doi.org/10.1002/ca.20440>
- Triola, M. M., & Holloway, W. J. (2011). Enhanced virtual microscopy for collaborative education. *BMC Medical Education*, 11, 4. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-11-4>
- Vlaardingerbroek, B., Taylor, N., Bale, C., & Kennedy, J. (2017). Linking the experiential, affective and cognitive domains in biology education: a case study – microscopy. *Journal of Biological Education*, 51(2), 144–150. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1177574>
- Vohra, C. F. (2000). Changing trends in biology education. In *BioEd International Symposium on Biology Education, UNESCO and IUBS* (s. 15–18). Získáno z <http://intl.concord.org/cbe/trends.html>
- Wood, L., & Gebhardt, P. (2013). Bioinformatics Goes to School—New Avenues for Teaching Contemporary Biology. *PLoS Comput Biol*, 9(6), e1003089. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003089>
- Younès, T. (2000). Biological Education: Challenges of the 21st Century. *Biology International*, 39, 8–13.