

BADATELSKÉ PRAKTIKUM – ROZSIVKY VE FORENZNÍ PRAXI

OPEN ACCESS



Inquiry-Based Practical Exercise – Diatoms in Forensic Practice

EVA HEJDUKOVÁ, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra ekologie,
eva.hejdukova@natur.cuni.cz, JAN MOUREK, Univerzita Karlova, Přírodovědecká
fakulta, Katedra učitelství a didaktiky biologie

Abstract

Forensic sciences have been greatly popularized in recent decades through various television serials with criminal themes, and this has helped make them attractive for pupils. Practical exercises and workshops focusing on forensic issues contribute to the awareness of the real possibilities and limits of the methods used. Recent studies indicate that inquiry-based teaching contributes to improving pupils' attitudes to science subjects. In addition, surveys among pupils themselves suggest that they prefer science-based teaching with a high level of activity and responsibility for themselves. Therefore, we propose an inquiry-based practical exercise simulating the process of forensic analysis of diatom samples.

Diatoms are unicellular algae characterized by ornamented silica shells. Thanks to the high persistence of shells, relatively easy determination and wide spread occurrence are the diatoms used for natural condition assessment. Diatom analyses are applied not only in science, for example, in climate change investigation, but in practice as well: in biomonitoring or in forensic investigations in drowning cases. Comparison of diatoms recorded in samples of body tissues (lungs, bone marrow) with communities from the locality where the drowned was found, has helped to clarify many cases.

We provide a complete inquiry-based forensic practical exercise based on diatom analysis "Diatoms in forensic practice, or, Where did the deceased drown?" The exercise was implemented and tested at a secondary school and subsequently evaluated. The pupils' feedback was obtained using an anonymous questionnaire. The exercise was evaluated as interesting and entertaining by both the pupils and the teacher.

Keywords

practical exercise, diatoms, forensic science, inquiry-based teaching, natural condition assessment

Klíčová slova

praktické cvičení, rozsivky, forenzní vědy, badatelsky orientovaná výuka, stanovení přírodních podmínek

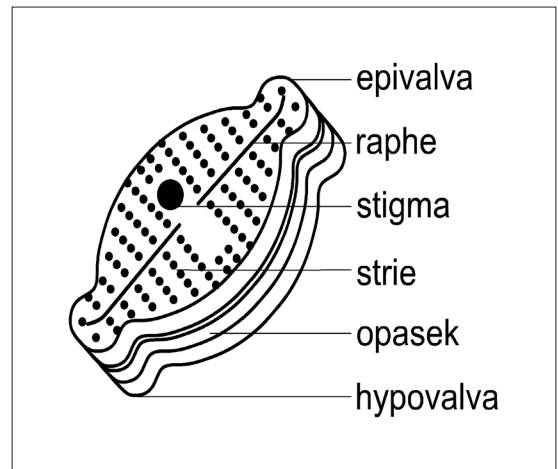
ÚVOD

Praktická cvičení mají ve výuce přírodovědných předmětů na všech stupních škol nezanedbatelné místo a často mají interdisciplinární přesah. Jejich význam spočívá, mimo jiné, v motivaci žáků k dalšímu studiu (Areepattamannil et al. 2011), komplexním rozvoji dovedností a schopností žáků (Abrahams & Reiss 2012) i propojení teorie s praktickým životem (Abrahams & Millar 2008). V návaznosti na trendy současného evropského školství se pro tuto praxi také nabízí zařazení tzv. metody CLIL (Content and Language Integrated Learning) pro integraci výuky předmětu samotného a cizího jazyka (Zarobe & Catalán 2009). Stejně důležité jako samotná příprava praktika je však důležité i jeho téma.

Forezní vědy se, díky mnohým televizním seriálům s kriminální tematikou, v posledních desetiletích těší velké oblibě ze strany široké veřejnosti a neméně přitažlivé jsou i pro žáky. Ne vždy jsou však informace z těchto zdrojů relevantní, bývají přehnané a divák může nabývat mylných dojmů o průběhu vyšetřování a následném vyhodnocování materiálů v laboratořích. Praktická cvičení a workshopy zaměřené na forezní problematiku přispívají k uvědomění reálných možností a limitů používaných metod. Díky své atraktivitě se shledávají s pozitivním hodnocením ze strany žáků i pedagogů (Pínr *et al.* 2013, Pínr & Janštová 2016). K forezním analýzám se využívá nejrůznějších humanitně i přírodovědně zaměřených vědeckých odvětví, mezi kterými najdeme také diatomologii neboli nauku o rozsivkách.

ROZSIVKY

Rosivky (*Bacillariophyceae*) jsou jednobuněčné fotosyntetizující mikroorganismy, které tradičně řadíme mezi hnědé řasy, nově jsou řazeny do skupiny Stramenopila (Macháček et al. 2016). Charakterizuje je hnědé až nazlátlé zbarvení a od ostatních jednobuněčných řas se mimo jiné odlišují tvorbou schránky tvořené oxidem křemičitým (Round et al. 1990). Odhady celkové diverzity rozsivek na Zemi se pohybují přibližně mezi 30 000 až 100 000 druhů (Mann & Vanormelingen 2013), čímž se řadí mezi nepočtenější skupinu eukaryotických fotosyntetizujících mikroorganismů (Mann 1999).

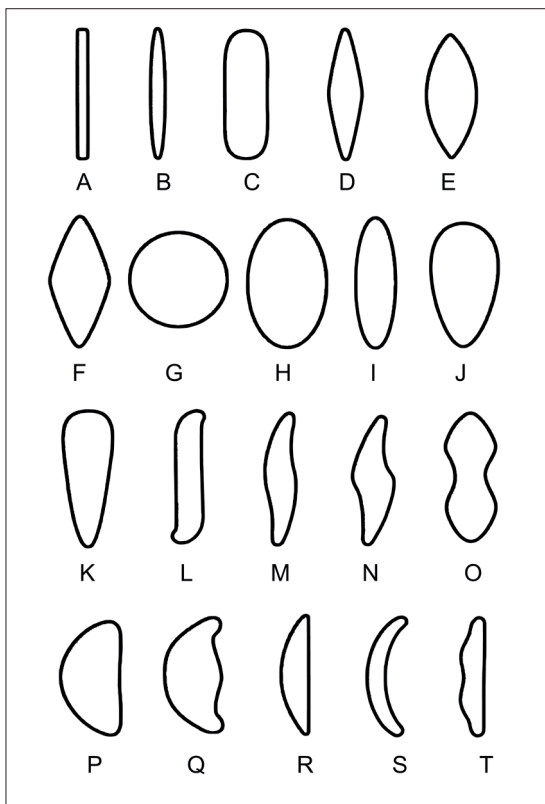


Obr. 1 Šikmý pohled na schránku rozsivky (upraveno podle Round et al. 1990).

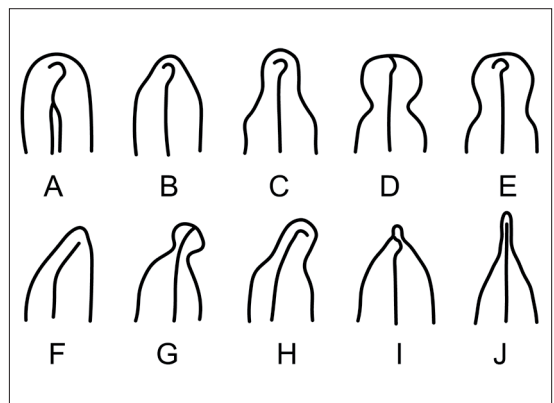
Schránka rozsivek je složena ze dvou polovin, které se nazývají théky. Každá z nich má odlišnou velikost: jedna je větší – epitéka a druhá menší – hypotéka (Julius & Theriot 2010). Tyto části do sebe zapadají a tvoří schránku, které se říká frustula (Obr. 1). Podstavám thék se říká valvy (epivalva a hypovalva). Spojení mezi nimi je tvo-

řeno tzv. opaskem (Round *et al.* 1990). Morfologie rozsivek je velice variabilní. Samotné schránky mohou nabývat různých tvarů (Obr. 2). Liší se od sebe i při pohledu z boku a různá jsou i jejich zakončení (Obr. 3) (John 2012). Další významnou charakteristikou je vzor na povrchu valv, který se nazývá striace. Ten se i mezi různými druhy liší. Jednotlivé strie mohou mít souvislý rýhovitý charakter, nebo mohou být složeny z řad jemných

pórů či zářezů. Striace může být různá – od velmi jemné až po strie s velkými rozestupy. U některých skupin rozlišujeme izolovaný pár odlišný od ostatních strií, umístěný v centrální oblasti, který se nazývá stigma. Podél schránky může i nemusí procházet štěrbina zvaná raphe, která slouží k pohybu (Round *et al.* 1990).

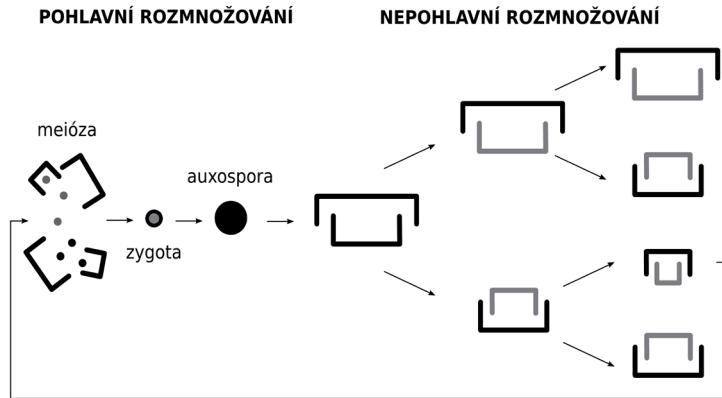


Obr. 2 Tvary valv rozsivek: lineární (A), lineární kopinatý (B), lineární oválný (C), lineární rombický (D), kopinatý (E), rombický (F), kruhový (G), eliptický (H), oválný (I), vejčitý (J), kyjovitý (K), sigmoidní válcový (L), sigmoidní kopinatý (M), sigmoidní rombický (N), dvojité obvejčitý s centrálním vykrojením (O), půlkulatý (P), půlkulatý s výrazným zakončením (Q), polo-kopinatý (R), srpkovitě obloukovitý (S), polo-kopinatě zvlněný (T) (upraveno podle John 2012).



Obr. 3 Tvary zakončení valv rozsivek: oblý/tupý (A), klínovitý (B), krojený (C), zvětšený (D), mírně zvětšený (E), šikmo klínovitý (F), šikmo krojený (G), sigmoidně krojený (H), zašpičatělý (I), špičatý (J) (upraveno podle John 2012).

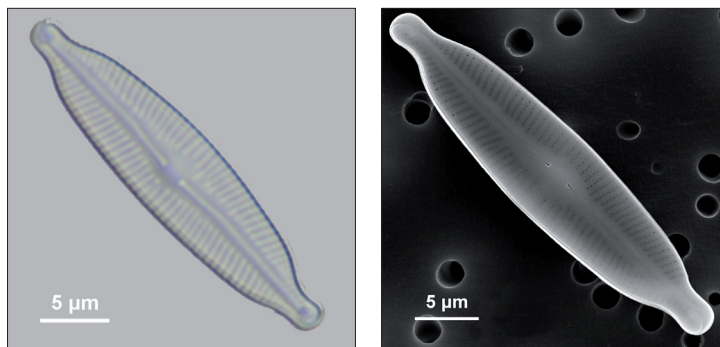
Životní cyklus rozsivek je zajímavý. Jsou totiž schopné se rozmnožovat nejen nepohlavním způsobem, který převažuje, ale i pohlavně. Když se mateřská buňka dělí, její epitéka i hypotéka se stává epitékou obou dceřiných buněk a vytváří novou hypotéku. To znamená, že jedna z těchto dceřiných buněk je vždy menší než buňka mateřská (Obr. 4). V důsledku opakovaného dělení tudíž dochází ke zmenšování průměrné velikosti buněk v populaci. Návrat k původní velikosti buněk je možný prostřednictvím pohlavního rozmnožování (Round *et al.* 1990, Lee 2008, Julius & Theriot 2010).



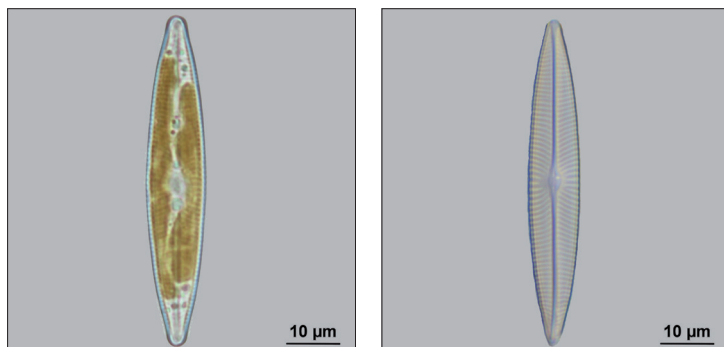
Obr. 4 Buněčné dělení a životní cyklus rozsivek, nově dorůstající hypotéky znázorněny šedě (upraveno podle Kale & Karthick 2015).

Taxonomická klasifikace rozsivek je tradičně založena na morfologii křemičitých schránek pozorovaných pod světelným mikroskopem (Obr. 5). S vývojem skenovací elektronové mikroskopie (Obr. 6) však bylo umožněno zkoumat morfologické struktury na schránkách ještě detailněji, což vedlo k vymezení dalších nových druhů (Mann 1999). Klíčovými rozlišovacími znaky je symetrie a struktura na valách, přítomnost a tvar štěrbin raphe a typ, počet a umístění strií. Podle os symetrie rozlišujeme v zásadě dvě skupiny rozsivek: ra-

diálně symetrické centrické rozsivky a bilaterálně symetrické penátní. V souvislosti s přítomností štěrbin raphe můžeme vyčlenit penátní rozsivky s jeho přítomností a penátní rozsivky bez raphe (Round *et al.* 1990). Podle molekulárních studií je však klasifikace mnohem komplikovanější. Výsledky moderních analýz naznačují existenci dvou větví, avšak ani jedna z nich nekoresponduje s tradičním rozdělením rozsivek na centrické a penátní (Medlin *et al.* 1996, Medlin & Kaczmarska 2004).



Obr. 5, 6 Schránka rozsivky *Cymbopleura angustata* pod světelným (vlevo) a skenovacím elektronovým mikroskopem (vpravo), foto: autorka.



Obr. 7, 8 Žijící buňka rozsivky *Navicula radiosa* před oxidací kyselinou dusičnou (vlevo) a její oxidovaná schránka (vpravo), foto: autorka.

KULTIVACE A TVORBA TRVALÝCH PREPARÁTŮ ROZSIVEK

Kultivace rozsivek je víceméně shodná s kultivací ostatních řas. Ke kultivaci rozsivek se využívá na křemík bohaté WC medium (Guillard & Lorenzen 1972). Rozsivky mohou být pěstovány v tekutém mediu i na agaru, v kultivačních destičkách nebo Petriho miskách. Pro tvorbu trvalého preparátu je třeba oxidací odstranit ze vzorku veškerý organický materiál, aby byly struktury schránek dobře pozorovatelné (Obr. 7, 8). K oxidaci se využívá kyselina dusičná nebo peroxid vodíku. Před fixací je oxidovaný materiál třeba několikrát promýt destilovanou vodou. K fixaci preparátu se využívá například komerčně dostupná pryskyřice Naphrax (Brunel Microscopes Ltd, UK): suspenze schránek v destilované vodě na podložním sklíčku se vysuší na plotýnce při 60 °C, zakápně pryskyřicí, překryje krycím sklem a znovu zahřeje (Křisa & Prášil 1989). Využití je možné i starší médium pleurax, jehož přípravu popisuje Vojír (2017).

VÝSKYT, VÝZNAM A VYUŽITÍ ROZSIVEK

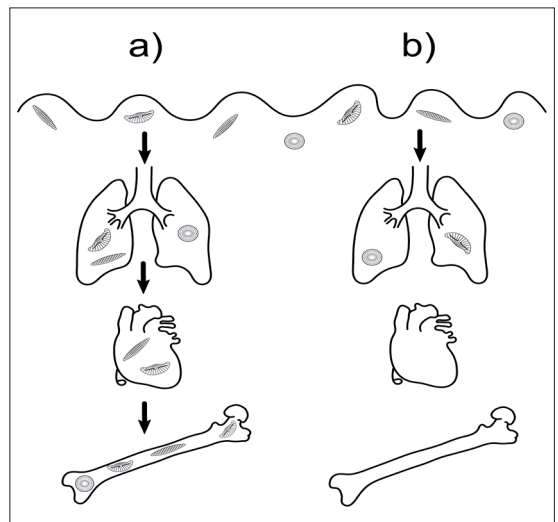
Rozšíření rozsivek je celosvětové. Můžeme je najít téměř ve všech vodních a v mnoha suchozemských biotopech (Mann 1999, Vanormelingen *et al.* 2008). V mořích převažují centrické rozsivky, zatímco penátní dominují ve sladkých vodách, kde prosperují v širokém spektru prostředí. Osidlují permanentní vodní biotopy, jako jsou jezera a řeky, ale také mnoho přechodných biotopů, jako jsou dočasné tůně, průsaky, vlhké půdy a mokřady (Round *et al.* 1990). Životní formy rozsivek jsou jak planktonní, tak bentické, které vytvářejí typické hnědozelené nárosty na substrátech dna či vodních rostlinách (Lee 2008). V každém z těchto prostředí můžeme najít rozsivky jednotlivě žijící i koloniální (Julius & Theriot 2010). Jejich výskyt je druhově specifický. Závisí na konkrétních vlastnostech prostředí, jako je koncentrace živin, pH, salinita, teplota apod., jejichž kombinace poskytují široké spektrum nik pro existenci tisíců dosud známých druhů (Julius & Theriot 2010). Rozsivky mohou díky svým ekologickým nárokům indikovat mnoho rozličných faktorů prostředí, nejen fyzikálních (teplotu vody, světelné podmínky, průhlednost ve vodním sloup-

ci, turbulenci, ledovou pokrývku), ale také chemických (dostupnost živin, hodnotu pH, salinitu prostředí, množství rozpuštěného organického uhlíku), čehož se využívá v biomonitoringu (Dixit *et al.* 1992, Battarbee *et al.* 2001).

Rozsivky jsou významnými primárními producenty. V historii Země měly značný podíl na vzniku kyslíkaté atmosféry. V současnosti se na celosvětové fixaci uhlíku během fotosyntézy podílejí rozsivky minimálně z 20 %, což je více než v případě deštných pralesů (Round *et al.* 1990). Usazené fosilní schránky rozsivek ve sladkých i slaných vodách tvoří horninu zvanou diatomit (křemelina). Tento materiál se těží na různých místech po celém světě. Diatomit má mnoho možností praktického využití. V nejrůznějších odvětvích průmyslu slouží k filtraci, jako absorpční plnidlo, izolační materiál nebo abrazivum, v zemědělství například jako přísadka do krmiv (Harwood 1999).

Vzhledem k širokému rozšíření rozsivek, jejich relativně snadné determinaci, a především rychlé a specifické reakci na podmínky prostředí jsou ideálními organismy pro využití při hodnocení aktuálního stavu prostředí. V souvislosti s biomonitoringem ve vodohospodářském odvětví vzniklo s použitím rozsivkových analýz množství indexů pro hodnocení stavu vodního prostředí (Sládeček 1986, Rott *et al.* 1997, 1999). Schránky odumřelých rozsivek zůstávají velmi dobře zachovány v sedimentech jezer po tisíce let. Analýzy rozsivkových společenstev jsou proto využívány také při paleoekologických rekonstrukcích prostředí (Birks *et al.* 1990, Dixit *et al.* 1992) a v paleolimnologii – vědě studující původ a historii jezer pomocí analýzy jezerních sedimentů, ve kterých jsou zdokumentovány a zachovány hodnotné informace o příčinách a důsledcích environmentálních změn (Birks *et al.* 1990, Battarbee 2000, Hodgson & Smol 2008).

Rozsivkové analýzy se běžně využívají také ve forenzni praxi, především při vyšetřování případů utonutí (Peabody 1977). Tonoucí člověk vdechuje a polyká množství okolní vody, která se dostává do jeho těla, především do žaludku a plic. Pokud je osoba v momentě ponoření do vody na živu a její srdce tluče, spolknutá voda s rozsivkami se před smrtí (*ante mortem*) dostává přes stěny plicních sklípků až do krevních kapilár, odkud jsou schránky rozsivek krevním řečištěm transportovány dále do těla a usazují se ve tkáních (Sasidharan & Resmi 2014). K překonání alveolo-kapilární bariéry dochází fagocytózou makrofágy, průnikem tzv. Kohnovými póry (póry mezi alveoly) či protržením alveolárních stěn (Lunetta *et al.* 1998). V případě ponoření lidského těla do vody až po smrti (*post mortem*) se mohou rozsivky dostat do těla pouze pasivním způsobem většinou jen do plic, případně i žaludku, ne však do vzdálenějších tělních orgánů (Obr. 9).



Obr. 9 Rozdíly ve vstupu rozsivek do těla a) *ante mortem* – tonutím: množství rozsivek v plicích a dalších orgánech, b) *post mortem* – ponořením: pasivní transport do plic, menší množství jedinců i druhů (upraveno podle Sasidharan & Resmi 2014).

K určení příčiny úmrtí je klíčová přítomnost nebo absence rozsivek v kostní dřeni. Kostí představují uzavřený systém, který vyžaduje cirkulaci krve, s níž se v případě utonutí do systému dostávají rozsivky prostřednictvím aktivního transportu, na rozdíl od ostatních orgánů, kam mohou být transportovány i pasivně (Krstic *et al.* 2002, Sasidharan & Resmi 2014). Soubor rozsivek v kostní dřeni utonulých je tedy také jakési „mikrobiální svědectví“ o čase a místě, kde došlo k utonutí (Vinayak *et al.* 2013). Nález napomohou odhalit, zda k utonutí došlo např. v domácím prostředí, v jezeře se sladkou vodou či při ústí řeky (Pollanen 1998, Peabody 1999, Krstic *et al.* 2002). Přítomnost velkého počtu stejných druhů ve vodě na místě utonutí a v kostní dřeni zesnulého potvrzuje smrt utonutím na dané lokalitě (Parmar *et al.* 2014, Sasidharan & Resmi 2014). Determinace rozsivek však může napomoci i při řešení dalších případů. Například při určování místa činu prozradí rozsivky přítomné na mokřém oděvu či obuvi podezřelého, s jakým prostředím přišel do styku (Peabody 1977, 1999).

FORENZNÍ PRAKTIKUM

„Rozsivky ve forenzní praxi aneb kde utonul nebožtík?“ je badatelsky zaměřené praktické cvičení určené pro žáky středních škol. Je navrženo na dvě vyučovací hodiny. Jeho cílem je s využitím rozsivkové analýzy nashromáždit co nejvíce informací k potvrzení či vyloučení trestného činu v případě utonulého nebožtíka. Žáci se vtělí do role expertů na určování druhů rozsivek a s pomocí příručky k určování porovnájí druhové složení rozsivek získané z kostní dřene utonulého a vzorku vody, ve které bylo nalezeno jeho tělo.

Pro provedení praktika jsou zásadním materiálem trvalé mikroskopické preparáty s nafixovanými schránkami rozsivek nebo alespoň jejich fotografické snímky. Preparáty jsou doplněny řadou textových didaktických materiálů: pracovními listy a protokoly (Příloha 1), určovací příručkou ve dvou variantách – v českém a anglickém jazyce (Příloha 2 a 3), návrhem autorského řešení (Příloha 4) a listy s fotografiemi preparátů (Příloha 5), které však může být téměř libovolně upravováno na základě vlastní zkušenosti učitele, aktuálního dění, přírodních podmínek či lokality školy.

Praktikum je vhodné zahájit rozdáním pracovních listů a přečtením úvodního textu o významu a výskytu rozsivek nebo zdůrazněním jeho nejpodstatnějších částí, samozřejmě s ohledem na to, co už žáci o tématu vědí. Následuje rozdání příruček, které jsou k dispozici ve dvou jazykových variantách – anglické a české. Je možné dát žákům na výběr, dobrovolníci si mohou vyzkoušet určování podle původních termínů uváděných v mezinárodní odborné literatuře. V úvodní části praktika je třeba s využitím příručky popsat a společně si prohlédnout stavbu rozsivkové schránky. Doporučujeme názorný náčrt na tabuli. Je třeba také zdůraznit rozdíl v pohledu na jednotlivé buňky – čelní versus boční pohled. Pro názorné vysvětlení může posloužit například Petriho miska. Protokol může být rozdan zároveň s pracovním listem, jehož je součástí, nebo i zvlášť. Preparáty se vzorky je vhodné rozdat jako poslední.

Práce žáků může probíhat samostatně nebo ve dvoučlenných skupinkách, přičemž každá dvojice se zabývá jedním forenzním případem, respektive preparátem/sklíčkem (označen číslem). Na každém sklíčku jsou dva vzorky a) a b), reprezentující vzorek vody odebrané na místě nálezu

utonulého a vzorek získaný z jeho kostní dřevě. V každém vzorku jsou buď žádné, anebo právě tři druhy rozsivek. Místo nálezu je žákům dopředu známo. Může být podstatné žákům sdělit, že nepředpokládáme sebevraždu a toxikologické testy utonulých byly negativní. Následuje samostatná práce žáků. Žáci si svá pozorování a nákresy zapisují do forenzního protokolu. Vyučující obchází mezi žáky, zodpovídá případné dotazy a v případě potřeby pomáhá s mikroskopováním a určováním. V závěru praktika žáci na základě svých výsledků formulují závěry a prezentují svůj případ před spolužáky.

Co se týče nároků na vybavení, k provedení praktika je vhodné mít k dispozici laboratoř vybavenou mikroskopickou technikou. K odlišení pouhých tvarů valv rozsivek použitých k tomuto praktiku stačí 100–200násobné zvětšení mikroskopu. Pozorované buňky mají rozměry přibližně v řádech desítek mikrometrů, struktury na jejich schránkách však nejsou vždy snadno pozorovatelné běžným světelným mikroskopem. Z tohoto důvodu byly vytvořeny listy s fotografiemi preparátů pořízenými s 1000násobným zvětšením. Z nedávné studie však vyplývá, že mikroskopování je v České republice jednou z nejběžnějších aktivit pro praktická cvičení, nejčastěji se zaměřením na protistologii a mykologii (Janštová 2015), takže se domníváme, že většina středních škol by s mikroskopickým vybavením neměla mít problém.

TESTOVÁNÍ PRAKTIKA VE VYUČOVÁNÍ

Navržené praktikum bylo realizováno na vyšším stupni přírodovědně zaměřeného gymnázia ve třech skupinách volitelného semináře z biologie pro třetí ročník. Jednalo se o celkem 35 žáků, všechny tři skupiny měly stejnou vyučující. Při testování byly použity dvě varianty příručky k určování rozsivek. Ve dvou skupinách (A, C) žáci používali kompletní určovací příručky (Přílohy 2 a 3). V jedné skupině (B) byla použita příručka s vynechanými obrázky jednotlivých druhů rozsivek, *žáci je* tedy určovali pouze podle slovních popisů. Zpětná vazba od žáků a jejich vyučující byla získána pomocí dotazníků rozdaných na konci praktika. Ve dvou otázkách hodnotili přitažlivost a srozumitelnost praktika známkou 1–5. Další čtyři otázky byly otevřené. Žáci i vyučující měli uvést, co pro ně bylo nejvíce a nejméně zajímavé, co pro ně bylo špatně srozumitelné nebo těžké a jak by navrhovali upravit náplň praktika, způsob práce, pracovní list, určovací příručku, případně preparáty. Vyučující měla navíc zhodnotit, jak byla spokojená s prací žáků a jak hodnotí přínos praktika ve výuce.

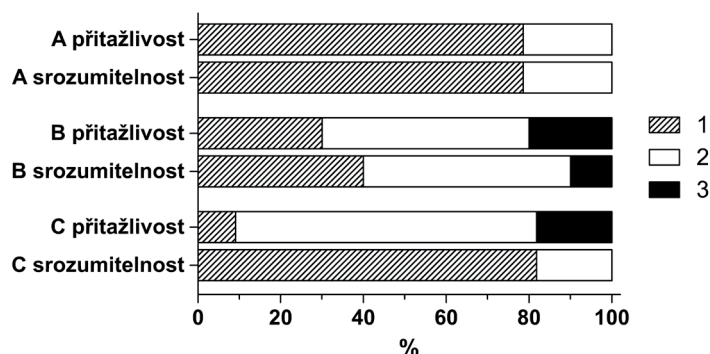
Z dotazníkového šetření vyplývá, že se praktikum žákům líbilo, bavilo je a většina z nich hodnotila jeho přitažlivost a srozumitelnost známkou 1 nebo 2, známka 3 se vyskytovala ve skupině B a C (Obr. 10). V dotaznících se vyskytují vesměs pozitivní ohlasy, o zaujetí žáků svědčila i nadšená prohlášení při pohledu do mikroskopu během praktika a vášnivá diskuze žáků o osudech utonulých nebožtíků. Mnozí se dokonce pokoušeli zaznamenat pohledy do mikroskopů pomocí fotoaparátů v mobilních telefonech. O práci s anglickou verzí příručky byl zájem ve dvou paralelních skupinách (B, C) ze tří, kde si ji zvolilo několik žáků. Výběr jazykové verze příručky byl na samotných žácích,

kteří se mohli kdykoli během hodiny vrátit k variantě v češtině.

Jako nejzajímavější uváděli žáci celkové vyhodnocení úlohy, že se museli „opravdu zamyslet“, porovnávání vzorků, spekulace o příčinách smrti, propojení vědy s kriminalistickou praxí, výskyt rozsivek v kostní dřeni, praktické využití určování rozsivek, vytvořenou příručku, mikroskopování, samotné určování rozsivek nebo rozklíčování případů. Naopak jako nejméně zajímavé hodnotili žáci vyplňování protokolu, určování druhů rozsivek, opisování latinských druhových názvů z příručky, kreslení a v jednom případě dokonce samotné téma. Jako špatně srozumitelné nebo těžké žáci nejčastěji uváděli určování druhů rozsivek a stanovení závěru. Jeden z žáků uvedl též kreslení schránek rozsivek a jiný zase jejich boční natočení v preparátech, což ztěžovalo jejich určení. Samozřejmě má na obtížnost určení velký vliv konkrétní preparát, který zrovna žák dostane. Variant preparátů je totiž několik – srovnávaná druhová složení rozsivek ve vzorcích se mohou lišit, mohou být totožná nebo, v případě že se jedná o vodu z vodovodu nebo bazénu, mohou rozsivky ve vzorku úplně chybět.

Úroveň vypracování protokolů u druhého odúčeného praktika (skupina B) byla poněkud nižší než u zbylých dvou. Pravděpodobně to bylo způsobeno absencí nákrešů jednotlivých druhů v příručce k určování rozsivek, které dalším dvěma skupinám žáků sloužily jako předloha ke kresbě samotné. Jako návrh na úpravu bylo v jednom z dotazníků uvedeno více mikroskopování a více nákrešů. Bohužel nebývá výjimkou, že žáci v prakticky zaměřených hodinách běžně opisují a obkreslují předlohy, aniž by se hlouběji zamysleli nad

kresleným objektem (Ebenezer & Zoller 1993, Stær *et al.* 1998, Abrahams & Millar 2008). Varianta příruček bez nákrešů byla proto použita v jednom z ověřovaných praktik záměrně. Žáci, kteří měli k dispozici příručku bez nákrešů, tak museli kreslit, co opravdu vidí pod mikroskopem, což pro ně bylo mnohem náročnější. Samotné studium tvarů rozsivek a zakončení jejich valv zabralo studentům mnohem více času než u ostatních dvou skupin, které měly příručky kompletní. Na tvorbu nákrešů do protokolů pak tím pádem zbylo méně času. Podle očekávání také z dotazníkového šetření vyplývá, že druhá skupina žáků (B) hodnotila praktikum jako méně srozumitelné než zbylé dvě skupiny ($\chi^2 = 13,76$; 4 stupně volnosti; $p < 0,01$), viz **Obr. 10**. Tato zkušenost vede k závěru, že pokud by měla být příručka v praktiku použita bez obrázků, je vhodné dát žákům spolu s preparáty k dispozici i vytištěné listy s jejich fotografiemi, kde jsou jasně vidět tvary schránek, zakončení valv i struktury na buněčných schránkách. Na druhou stranu, práce s mikroskopem a interpretace zobrazeného patří mezi dovednosti neodmyslitelně náležící k výuce přírodovědného zaměření. V souvislosti s mírou pozornosti a soustředěnosti žáků má nezanedbatelný vliv na výkon žáků doba, kdy je seminář vyučován. První dvě praktika (A, B) začínala dle rozvrhu v 14:30, zatímco poslední paralelně vyučované praktikum (C) o necelou hodinu později, což by mohlo vysvětlit nižší úroveň vypracování protokolů ze třetího ověřování. Přirozeně, jako při každé práci i vzděláváním vzniká únava, nejvyšší výkonnost žáka je během prvních hodin, nejnižší pak v posledních hodinách. Předměty, které vyžadují větší pozornost, jsou proto často zařazovány do prvních vyučovacích hodin (Bartko *et al.* 1975).



Obr. 10 Graf zastoupení známek udělených žáky za srozumitelnost a přitažlivost testovaného praktika. A, B, C: testované skupiny. Ve variantě B byla použita určovací příručka bez obrázků, pouze se slovními popisy zástupců rozsivek.

Vyučující, která se praktik také účastnila, hodnotila zajímavost praktika známkou 2. Jako nejzajímavější uvedla propojení práce s příručkou, ekologickými charakteristikami o jednotlivých druzích rozsivek a logickým uvažováním. Otázka, co bylo nejméně zajímavé, zůstala nezodpovězená. Srozumitelnost ohodnotila známkou 1. Příslušná doplňující otázka také zůstala nezodpovězená. Mezi přínosy praktika ve výuce jmenovala práci s určovací příručkou, nutnost hledat ekologické souvislosti a logicky uvažovat, formulovat výsledky a závěr a prezentovat je, doslovně v dotazníku uvedla: „*Takové požadavky se v rámci jednoho praktika vyskytují málokdy. Hlavní přínos je v zařazení různých typů práce v jednom praktiku.*“ Vyučující byla s prací svých žáků spokojena, u první skupiny uvedla, že žáci pracovali dobře jako obvykle, u druhé skupiny konstatovala, že příručka bez obrázků k jednotlivým druhům rozsivek práci žákům značně znesnadnila a že někteří z nich to vzdávali.

Badatelsky orientovaný způsob výuky si klade za cíl rozvíjet znalosti a dovednosti žáků aktivními a relativně samostatnými metodami. Badatelské zaměření se osvědčilo při vědecky orientované

výuce především díky své efektivitě (Hauray 1993, Banchi & Bell 2008). Nedávné studie uvádějí, že badatelsky orientovaná výuka přispívá ke zlepšení vztahu žáků k přírodovědným předmětům (Ornstein 2006). I z výzkumů mezi žáky samotnými vyplývá, že preferují takovou výuku s vědeckým zaměřením, kde je velký podíl aktivity a zodpovědnosti na nich samotných (Ebenezer & Zoller 1993).

ZÁVĚR

Praktikum „Rozsivky ve forenzí praxi aneb kde utonul nebožtík?“ je badatelsky zaměřeným cvičením pro vyšší stupeň středních škol. K použití ve výuce byly vytvořeny trvalé mikroskopické preparáty představující vzorky z jednotlivých kriminálních případů, které doplňují pracovní listy a další autorské didaktické materiály. Kompletní praktikum bylo realizováno a testováno na střední škole a následně bylo také vyhodnoceno. Zpětná vazba byla získána pomocí anonymního dotazníkového šetření a byla vesměs pozitivní. Vytvořené preparáty jsou v několika sadách a zájemci si je mohou po dohodě zdarma zapůjčit od první autorky tohoto článku.

Zmiňované praktikum využívá atraktivitu tématu forenzních věd, které samotné není příliš rozšířené a veřejně známé, což mu přidává na zajímavosti. Význam praktika spočívá v komplexním zapojení znalostí a dovedností žáka. Žák musí k rozřešení úlohy využívat logické a kritické myšlení, ale také práci s textem (vyhledávání podstatných informací v příručce k určování rozsivek). Jako u většiny praktických dovedností si žáci trénují grafické dovednosti při tvorbě nákresů a zpra-

cování protokolů. Cvičení přispívá k poznání přírody z jiného úhlu pohledu a může tak motivovat žáky v tom smyslu, že poznání okem nepozorovatelných organismů běžně využívaných ve vědě má své opodstatnění také v praktickém využití, a to například v kriminalistice při objasňování případů utonutí.

Seznam online příloh

Příloha 1. Pracovní list s forenzním protokolem.

Příloha 2. Příručka forenzní diatomogie v českém jazyce.

Příloha 3. Příručka forenzní diatomogie v anglickém jazyce.

Příloha 4. Autorské řešení.

Příloha 5. Listy s fotografiemi mikroskopických preparátů.

Literatura

- ABRAHAMAS, I., & MILLAR, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30, 1945–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- ABRAHAMAS, I., & REISS, M. J. (2012). Practical work: Its effectiveness in primary and secondary schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 1035–1055. <https://doi.org/10.1002/tea.21036>
- AREPATTAMANNIL, S., FREEMAN, J. G., & KLINGER, D. A. (2011). Influence of motivation, self-beliefs, and instructional practices on science achievement of adolescents in Canada. *Social Psychology of Education*, 14, 233–259. <https://doi.org/10.1007/s11218-010-9144-9>
- BANCHI, H., & BELL, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46, 26.
- BARTKO, D., GUENSBERGER, E., & ČERNÁČEK, J. (1975). *Moderná psychohygienu*. Obzor, Bratislava.
- BATTARBEE R. W. (2000). Paleolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews*, 19, 107–124. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00057-8](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00057-8)
- BATTARBEE R. W., JONES V. J., FLOWER R. J., CAMERON N. G., BENNION H., CARVALHO L., & JUGGINS S. (2001). Diatoms. In Smol J. P., Birks H. J. B., & Last W. M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators* (155–202). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_8
- BIRKS, H. J. B., LINE, J. M., JUGGINS, S., STEVENSON, A. C., & TER BRAAK, C. J. F. (1990). Diatoms and pH reconstruction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 327, 263–278. <https://doi.org/10.1098/rstb.1990.0062>
- DIXIT, S. S., SMOL, J. P., KINGSTON, J. C., & CHARLES, D. F. (1992). Diatoms: powerful indicators of environmental change. *Environmental Science & Technology*, 26, 22–33. <https://doi.org/10.1021/es00025a002>

- EBENEZER, J. V., & ZOLLER, U. (1993). Grade 10 students' perceptions of and attitudes toward science teaching and school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 175–186. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300205>
- GUILLARD, R. R., & LORENZEN, C. J. (1972). Yellow-green algae with chlorophyllide c. *Journal of Phycology*, 8, 10–14. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1972.tb03995.x>
- HARWOOD, D. M. (1999). DIATOMITE. IN SMOL, J. P., & STOERMER, E. F. (Eds.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences* (436–443). Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511613005.024>
- HAURY, D. L. (1993). *Teaching Science through Inquiry*. ERIC/CSMEE Digest.
- HODGSON D. A., & SMOL J. P. (2008). High-latitude paleolimnology. In Vincent, W. F. & Laybourn-Parry, J. (Eds.), *Polar lakes and rivers: Limnology of Arctic and Antarctic aquatic ecosystems* (43–64). Oxford University Press, Oxford. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199213887.003.0003>
- JANŠTOVÁ, V. (2015). What is actually taught in high school biology practical courses. *ICERI2015 Proceedings*, 1501–1507.
- JOHN, J. (2012). *A beginner's guide to diatoms*. Gantner. Ruggell.
- JULIUS, M. L., & THERIOT, E. C. (2010). The diatoms: a primer. In Smol, J. P., & Stoermer, E. F. (Eds.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KALE, A., & KARTHICK, B. (2015). The Diatoms. *Resonance*, 20, 919–930. <https://doi.org/10.1007/s12045-015-0256-6>
- KŘÍSA, B., & PRÁŠIL, K. (1989). *Sběr, preparace a konzervace rostlinného materiálu* (26–31). Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha.
- KRSTIC, S., DUMA, A., JANEVSKA, B., LEVKOV, Z., NIKOLOVA, K., & NOVESKA, M. (2002). Diatoms in forensic expertise of drowning – a Macedonian experience. *Forensic Science International*, 127, 198–203. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(02\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(02)00125-1)
- LEE, R. E. (2008). *Phycology* (382–384). Cambridge University Press, Cambridge.
- LUNETTA, P., PENTTILÄ, A., & HÄLLFORS, G. (1998). Scanning and transmission electron microscopical evidence of the capacity of diatoms to penetrate the alveolo-capillary barrier in drowning. *International Journal of Legal Medicine*, 111, 229–237. <https://doi.org/10.1007/s004140050159>
- MACHÁČEK, T., MIKEŠOVÁ, K., TURJANICOVÁ, L., & HAMPL, V. (2016). Proměny vyšší systematiky eukaryot a její odraz ve středoškolské biologii. *Živa*, 1, 27–30.
- MANN, D. G. (1999). The species concept in diatoms. *Phycologia*, 38, 437–495. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-38-6-437.1>
- MANN, D. G., & VANORMELINGEN, P. (2013). An inordinate fondness? The number, distributions, and origins of diatom species. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 60, 414–420. <https://doi.org/10.1111/jeu.12047>
- MEDLIN, L. K., KOOISTRA, W. H., GERSONDE, R., & WELLBROCK, U. (1996). Evolution of the diatoms (Bacillariophyta). II. Nuclear-encoded small-subunit rRNA sequence comparisons confirm a paraphyletic origin for the centric diatoms. *Molecular Biology and Evolution*, 13, 67–75. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a025571>
- MEDLIN, L. K., & KACZMARSKA, I. (2004). Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia*, 43, 245–270. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-43-3-245.1>
- ORNSTEIN, A. (2006). The frequency of hands-on experimentation and student attitudes toward science: A statistically significant relation (2005-51-Ornstein). *Journal of Science Education and Technology*, 15,

- 285–297. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9015-5>
- PARMAR, P., RATHOD, G. B., RATHOD, S., & PARIKH, A. (2014). Nature helps to solve the crime – Diatoms study in case of drowning death. *International Archives of Integrated Medicine*, 1, 58–65.
- PEABODY, A. J. (1977). Diatoms in forensic science. *Journal of the Forensic Science Society*, 17, 81–87. [https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(77\)71130-2](https://doi.org/10.1016/S0015-7368(77)71130-2)
- PEABODY, A. J. (1999). Forensic science and diatoms. In Smol, J. P., & Stoermer, E. F. (Eds.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences* (413–418). Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511613005.021>
- PINKR, T., JANŠTOVÁ, V. & ČERNÝ, J. (2013). Forensic – Biology Workshop. In Costa, M. F., Dorrio, B. V. & Kireš, M. (Ed.), *Proceedings of the 10th International Conference on Hands-on Science*. Pavol Jozef Šafárik University, Košice, 282–288.
- PINKR, T. & JANŠTOVÁ, V. (2016). Attractiveness of selected tasks from forensic biology viewed by teachers and pupils. In: Rusek, M. (Ed.), *Project-based Education in Science Education XIII.: 29.–30. 10. 2015*. Pedagogická fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 38–42.
- POLLANEN, M. S. (1998). Diatoms and homicide. *Forensic Science International*, 91, 29–34. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(97\)00162-X](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(97)00162-X)
- ROTT, E., HOFMANN, G., PALL, K., PFISTER, P., & PIPP, E. (1997). *Indikationslisten für Aufwuchsalgen Teil 1: Saprobielle indikation*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien.
- ROTT, E., PIPP, E., PFISTER, P., VAN DAM, H., ORTHER, K., & BINDER, N. (1999). *Indikationslisten für Aufwuchsalgen in Österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophieindikation*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien.
- ROUND, F. E., CRAWFORD, R. M., & MANN, D. G. (1990). *Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- SASIDHARAN, A., & RESMI, S. (2014). Forensic diatomology. *Health Sciences*, 1, 1–16.
- Sládeček, V. (1986). Diatoms as Indicators of Organic Pollution. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 14, 555–566. <https://doi.org/10.1002/ahch.19860140519>
- STAER, H., GOODRUM, D., & HACKLING, M. (1998). High school laboratory work in Western Australia: Openness to inquiry. *Research in Science Education*, 28, 219–228. <https://doi.org/10.1007/BF02462906>
- VANORMELINGEN, P., VERLEYEN, E., & VYVERMAN, W. (2008). The diversity and distribution of diatoms: from cosmopolitanism to narrow endemism. *Biodiversity and Conservation*, 17, 393–405. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9257-4>
- VINAYAK, V., MISHRA, V., & GOYAL, M. K. (2013). Diatom fingerprinting to ascertain death in drowning cases. *Journal of Forensic Research*, 4, 207.
- VOJÍŘ, K. (2017). Příprava pleuraxu pro tvorbu trvalých rozsivkových preparátů. *Biologie Chemie Zeměpis*, 26, 23–28. <https://doi.org/10.14712/25337556.2017.1.2>
- ZAROBÉ, Y. R., & CATALÁN, R. M. J. (2009). *Content and language integrated learning: evidence from research in Europe*. Multilingual Matters, Bristol.