

Interaktivní e-learning – Mikroskopie

*MARTIN SMUTNÝ – VLADIMÍR MAŠÍN – DAVID KORDEK – JIŘÍ ZÁHORA –
ALEŠ BEZROUK*

Lékařská fakulta v Hradci Králové, Univerzita Karlova, Hradec Králové

Mikroskopie je soubor technik určených k zobrazování malých objektů. Optická mikroskopie dnes patří k jedné ze základních a nejčastěji užívaných zobrazovacích technik v praxi i výzkumu. Od 16. století, kdy byl sestroyen první mikroskop, až do 21. století prošla mikroskopie značným vývojem. Moderní optické světelné mikroskopy dosahují zvětšení $2000\times$ a elektronové mikroskopy mohou dosáhnout zvětšení až násobků několika milionů. Avšak nejdůležitějším parametrem, který vyjadřuje schopnost mikroskopu zobrazit detaily pozorovaného objektu, je rozlišení (rozlišovací mez) mikroskopu (viz např. [1]). Za účelem vylepšení rozlišení světelné mikroskopie a získání více informací o pozorovaném vzorku došlo k vývoji nových technik jako je fázově kontrastní, fluorescenční, konfokální, super-rezoluční mikroskopie a další [2, kap. 12.4].

Se světelnou mikroskopií se žáci gymnázií a odborných středních škol s přírodovědně technickým zaměřením běžně setkávají při laboratorních cvičeních. Avšak, především z časových důvodů, není leckdy ani základní teorii zobrazování a práce s optickým mikroskopem věnována přiměřená pozornost, která by zajišťovala dostatečné porozumění tomuto tématu. S obdobnou situací se, bohužel, setkáváme i ve vysokém školství, kde mikroskopie nebo optometrie není přímo základem daného studijního oboru.

V lékařství patří mikroskopie k základním technikám, které se neomezuji pouze na diagnostiku, ale jsou užitečnými pomocníky při operativních zákrocích v chirurgii malých struktur, neurochirurgii, zubním lékařství atd. Každý student lékařství by proto měl zvládnout základní teoretické principy fungování mikroskopu a jeho ovládání. Základní znalosti tohoto tématu jsou vyučovány během prvního ročníku studia na Lékařské fakultě v Hradci Králové Univerzity Karlovy během praktických cvičení z lékařské biofyziky. Nicméně s ohledem na velký rozsah studované látky všech oborů, které musí student prvního ročníku úspěšně absolvovat, je i zde

limitujícím faktorem čas. Praktické cvičení z mikroskopie při výuce lékařské biofyziky je zároveň poměrně komplexní studijní látkou. Zahrnuje obory fyzika, statistika a biologie. Obdobně je tomu i v případě praktických cvičení na středních školách, využívajících optickou mikroskopii. Na středních školách obecného zaměření se nejčastěji do výuky biologie zařazuje praktická úloha na seznámení s optickým mikroskopem nebo laboratorní úloha na vytvoření preparátu (např. slupky cibule) a jeho pozorování pod mikroskopem. Pro tuto oblíbenou úlohu si školy, často v rámci různých projektů, připravují vlastní návody a případně i protokoly pro žáky [3, 4]. Také některé střední odborné školy zařazují sérii praktických cvičení obsahující zejména práci s optickým mikroskopem. Příkladem může být Střední průmyslová škola Pardubice, kde vytvořili na celou praktickou výuku elektronický návod [5].

Aby se snížila časová náročnost a usnadnila příprava na téma mikroskopie v praktických cvičeních z lékařské biofyziky na LFUK v HK, bylo potřeba vytvořit nástroj, který by studenta rychle a efektivně provedl studovanou látkou. Přírozenou volbou je v dnešní době užití ICT – *Information and Communication Technologies*. Je známo, že ICT vytváří studentům vzdělávací proces atraktivnějším [6]. Celkově je ICT užitečný nástrojem ve vzdělávání umožňující urychlit proces učení. Shromážděním všech informací na jednom místě může studentům také ušetřit čas a náklady spojené se sháněním a pořizováním knižního materiálu a jeho skladováním.

S využitím předchozích zkušeností s ICT [7, 8, 9, 10] a optikou [11] ve výuce byl pomocí vzdělávacího systému Moodle [12] vytvořen e-laerningový kurz Mikroskopie. Úkoly tohoto kurzu jsou získání znalostí potřebných k porozumění principu funkce optického světelného mikroskopu, k ovládnutí mikroskopu, získání informací o správném postupu měření a získání znalostí potřebných ke správnému zpracování a vyhodnocení naměřených dat vedoucímu k úspěšnému dokončení praktického cvičení z mikroskopie. Kurz také obsahuje interaktivní protokol pro automatizovanou kontrolu nad zpracováním dat. První verze kurzu byla zavedena do výuky již před školním rokem 2020/2021. Ze zpětné vazby studentů a pedagogů vyvstaly požadavky na úpravy návodů a teoretické části. Navíc kvůli pandemii virové choroby covid-19 vyvstala potřeba plně distanční výuky. Na základě těchto požadavků a potřeb byl původní kurz Mikroskopie rozšířen o nový step-by-step laboratorní návod a video tutoriál.

Cílem této studie je zhodnotit dopad nově zavedených vylepšení v kurzu a poskytnout čtenáři přehledné informace o kurzu Mikroskopie, včetně sa-

motného kurzu [13] a videonávodu [14] pro inspiraci k vytvoření svého vlastního e-learningového kurzu. Celý kurz Mikroskopie je navíc koncipován tak, aby vyžadoval pouze středoškolské znalosti a dovednosti. Je tedy dobře využitelný i při výuce na středních školách (např. při výuce biologie na gymnáziích, středních zdravotních a veterinárních školách atp.). Zhodnocení kurzu bylo provedeno statisticky na sadě typizovaných příkladů, které jsou včetně postupu řešení nabídnuty čtenáři dále v textu článku.

Materiály a metody

Smyslem laboratorního cvičení Mikroskopie ve výuce lékařské biofyziky je seznámit studenty se základními principy zobrazování pomocí světelné mikroskopie. Studenti nejprve získají základní znalosti z oblasti fyzikálních principů zobrazování pomocí světelného mikroskopu, postupu měření a hodnocení erytrocytů a zpracování a vyhodnocení dat. Získání znalostí je zprostředkováno pomocí e-learningového kurzu. K uplatnění znalostí a získání dovedností pak dochází při vlastním laboratorním cvičení. Ke zpracování výsledků je nakonec opět využit e-learningový kurz – interaktivní protokol a centrální lékařský informační systém. Centrální lékařský informační systém, používaný na Ústavu lékařské biofyziky LFUK v Hradci Králové [15], je jeden z běžných systémů používaných v nemocnicích a soukromých praxích. Studenti jsou seznámeni s tímto systémem hned v začátcích výuky, což může být velmi výhodné v jejich budoucí praxi. Výše uvedené výukové schéma lze bez (větších) uprav využít nejen při výuce lékařství na vysokých školách, ale například také na středních zdravotnických nebo veterinárních školách.

Struktura kurzu

Kurz Mikroskopie [13] byl rozdělen do následujících základních částí: Úvod (základní popis konstrukce mikroskopu a jeho využití); Teorie (hlavní část kurzu Mikroskopie, vysvětlení matematických a fyzikálních principů pro praktický kurz, co se bude počítat a které rovnice se využijí); Vzorové otázky (výběr vzorových otázek se správnými odpověďmi); Vzorový test (vzorový test pro procvičení); Návod (jak používat zařízení a popis postupu měření); Video tutoriál [14] (podrobný step-by-step video návod na měření a zpracování dat); Protokol (interaktivní protokol s automatizovanou kontrolou výpočtu ve formě excelovského souboru); Slovníček pojmů; Otázky a odpovědi; Online chat (chat s vyučujícím); Dotazník (otázky pro zpětnou vazbu pro kurz Mikroskopie).

Interaktivní protokol

Interaktivní protokol je tabulka (.xslm) se zapnutými makry vytvořená v MS Excel 2007 a MS Visual Basic for Applications (VBA). Protokol obsahuje tři MS Excel listy. První je pouze omezen na vkládání naměřených hodnot. Druhý je kompletně odemknutý a slouží studentům k výpočtům. Třetí list (obr. 1) je částečně odemknut, kde odemčené interaktivní buňky jsou barevně zvýrazněny a slouží ke vkládání výsledků (vložená data – šedé pozadí; správná odpověď – zelené pozadí; nesprávná odpověď – červené pozadí). Tlačítko „Odeslat Data“ slouží k odeslání vybraných dat a výsledků do centrálního lékařského informačního systému.

Protokol - datová karta			
Praktická cvičení z lékařské biofyziky			
Měření mikroskopických objektů - Zubní lékařství			
ISIC ID:	3864521232	Číslo vzorku:	32
Jméno a příjmení:	Jan Novák	Skupina:	10 Podskup.: 1
Pokud není uvedeno jinak, vkládejte hodnoty zaokrouhlené na 3 platné číslice.			
Naměřená hodnota	Frekvence		
4	0		
5	5		
6	16		
7	18		
8	9		
9	2		
10	0		
11	0		
12	0		
Statistické zpracování			
Aritmetický průměr [μm]:	6,2		
Výběrová směrodatná odchylka[μm]:	2		
Střední chyba průměru[μm]:	0,3		
Variační koeficient [%]:	16,50%		
		Odeslat Data	

Obr. 1 Ukázka části interaktivního protokolu – Mikroskopie

Buňky v tabulce používají podmíněné formátování měnící barvu pozadí buňky, pomocí něž informují studenta o správnosti zapsaného výsledku. Studenti nejsou nikterak limitováni a mohou k výpočtům kromě MS Excel používat i jiné programy nebo i běžnou kalkulačku. Nicméně kvůli zaokrouhlovacím chybám a případným výpočetním aproximacím může stu-

dent získat výsledek, který se mírně liší od výsledku vypočítaném v protokolu (skrytém v pozadí buňky jako ověřovací hodnota). Proto byl ověřovací systém naprogramován tak, aby akceptoval výsledky v určitém rozsahu ohraničeném dvěma limitami. Horní limita je nastavena jako ověřovací hodnota X zvýšená o 1 % ($1,01X$), dolní pak snižena o 1 % ($0,99X$). Po studentech je zároveň vyžadováno, aby výsledky správně zaokrouhlili, tj. dle konvence, nebo dle přesnosti měřicí metody, popř. na tři desetinná místa, což je zároveň uvedeno v nápovědě protokolu a nápovědě v příslušných buňkách. Jelikož originální zaokrouhlovací funkce programu MS Excel nepracují vždy správně, musela být i pro tyto účely naprogramována speciální ověřovací funkce v prostředí VBA MS Excel. Výstup této speciální ověřovací funkce je hodnota *true* nebo *false*, která je pak využita podmíněným formátováním. Zelené pozadí (obr. 1) pole odpovídá hodnotě *true* a značí správnou odpověď vloženou studentem, červené pozadí pole značí opak.

Výhoda interaktivního protokolu spočívá v okamžité zpětné vazbě. Student ihned vidí, zdali je jeho výsledek vypočtený z vložených měřených dat správný. Předchází se tak zdlouhavému hledání chyb ze strany studenta, často vyžadujícímu konzultaci s vyučujícím, což šetří velké množství času.

Pro účely výuky v lékařství byla v souboru naprogramována funkce, která zpracuje vybraná data a výsledky do souboru XML [16] v datovém standardu DASTA [17] a odešle do centrálního lékařského informačního systému pro další zpracování. V centrálním lékařském informačním systému má každý student svoji kartu pacienta. Hodnoty (výsledky) z protokolu mohou být spárovány s kartou konkrétního pacienta využívající pacientova ID (typicky číslo ISIC karty), tudíž student má přístup k výsledkům protokolu skrz laboratorní hodnoty v kartě pacienta.

Návod

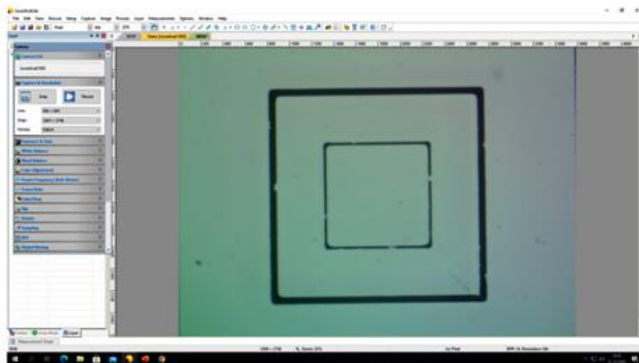
Obr. 2 ukazuje vylepšený podrobný pracovní návod „krok za krokem“ [16]. Každý krok pracovního postupu „krok za krokem“ je doplněn příslušnými fotografiemi ovládacích prvků zařízení a použitého software. Klíčové body měřicího postupu jsou barevně zvýrazněny v textu.

Video tutoriál

Video tutoriál [16, 17] slouží jako ucelený soubor postupů „krok za krokem“ od zapnutí zařízení (mikroskopu), přes ostření, kalibraci, zacházení se vzorkem, až po export získaných hodnot měření do souboru MS Excel.

2. Kalibrace

- Otočením hlavičky pod stolek mikroskopu nastavte objektiv zvětšující 60x (objektiv s modrým pruhem). Vložte na stolek mikroskopu kalibrační sklíčko (dodá vyučující) a zaostřete pomocí dvojice mikrošroubů (je umístěna vlevo dole na těle mikroskopu) na kalibrační obrazec **ASPECT** - jedná se o sadu čtverců s délkou strany 20 μm , 100 μm , 200 μm , 500 μm , 1000 μm a 5000 μm .
- V programu LevenhukLite spusťte snímání obrazu kliknutím na název kamery Levenhuk1000.
- Sejměte obraz kalibračního obrazce **ASPECT** kliknutím tlačítka SNAP:



Obr. 2 Ukázka části podrobného pracovního návodu

Statistické hodnocení

Výsledky byly zpracovány, porovnány a statisticky vyhodnoceny v MS Excel 2016 a NCSS 2007 (NCSS LLC, Kaysville, UT, USA. www.ncss.com). Byl použit chí-kvadrát test. Hodnota $P < 0,05$ byla považována statisticky významnou.

Úspěšnost nově zavedených vylepšení e-learningového byla hodnocena s využitím výsledků z rigorózních testů reprezentujících téma Mikroskopie. Byly porovnány individuální i celkové úrovně úspěšnosti v řešení typizovaných otázek v rigorózním testu 2020/2021 (po využití modifikovaného interaktivního e-learningového kurzu Mikroskopie) oproti rigoróznímu testu 2019/2020 (před modifikacemi). V těchto testech téma Mikroskopie reprezentovaly 2 kategorie typizovaných otázek:

LASER – intenzita/energie/optika;

OKO – geometrická optika.

Individuální úrovně úspěšnosti byly stanoveny z výsledků typizovaných otázek konkrétní kategorie a celkové úrovně úspěšnosti byly stanoveny ze všech typizovaných otázek v daném testu jako podíl správných odpovědí k celkovému počtu odpovědí.

Příklady řešených typizovaných otázek

LASER (příklad 1): Na plochu 1 mm^2 dopadá z laseru $3,9 \cdot 10^{10}$ fotonů za 1 s při intenzitě $10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$. Jaká je vlnová délka (v nm) použitého světla? Děj probíhá ve vakuu. [776 nm]

Řešení. Při řešení této úlohy je klíčem nalézt (fyzikální/matematické) spojení mezi zadanými veličinami – intenzitou I a vlnovou délkou λ záření. Vyjdeme z definice intenzity I jako měrné veličiny (zářivého) výkonu P na jednotku plochy S

$$I = \frac{P}{S} = 10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}. \quad (1)$$

Dále víme, že (zářivý) výkon P vyjadřuje práci (v tomto případě energii E) vykonanou (v tomto případě vyzářené laserem a dopadající na danou plochu) za jednotku času t

$$P = \frac{E}{t}. \quad (2)$$

Laser vyzářuje velký počet N fotonů, které dopadají na definovanou plochu S a každý má energii E_f , takže celková energie E vyzářená laserem

$$E = NE_f = 3,9 \cdot 10^{10} E_f. \quad (3)$$

Energii jednoho fotonu E_f určuje vztah

$$E_f = hf, \quad (4)$$

kde h je Planckova konstanta ($h \doteq 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) a f je frekvence fotonu světla vyzářovaného laserem.

K vyřešení úlohy potřebujeme nalézt vztah obsahující vlnovou délku fotonu λ . Pro výpočet vlnové délky světla platí

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (5)$$

kde c je rychlost světla, takže pro energii fotonu dostaneme vztah

$$E_f = h \frac{c}{\lambda}. \quad (6)$$

Celková energie vyzářených fotonů

$$E = Nh \frac{c}{\lambda}, \quad (7)$$

výkon záření laseru

$$E = Nh \frac{c}{\lambda t}, \quad (8)$$

a intenzita jeho světla

$$I = \frac{Nhc}{\lambda t S}. \quad (9)$$

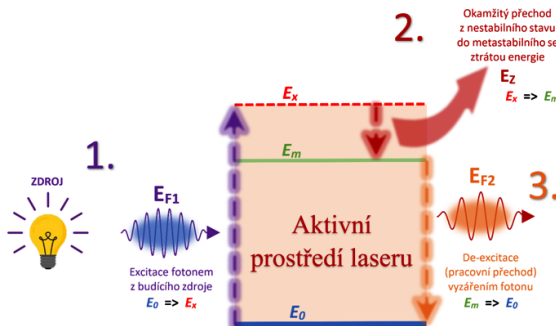
Ze vztahu (9) určíme vlnovou délku záření laseru a po dosazení číselných hodnot v nenásobných jednotkách dostaneme

$$\lambda = \frac{Nhc}{ItS} \doteq \frac{3,9 \cdot 10^{10} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-2} \cdot 1 \cdot 10^{-6}} \text{ m} = 775,71 \cdot 10^{-9} \text{ m} \doteq 776 \text{ nm}.$$

LASER (příklad 2): Rubínový laser je pumpován z xenonové výbojky, jejíž spektrální maximum je 560 nm. Energie výboje způsobí přechod elektronů v rubínovém laseru do excitovaného stavu. Tento stav je nestabilní a excitované atomy ztrátou energie 0,428 eV přecházejí do metastabilního stavu. Přechod mezi metastabilním a základním stavem je pracovní přechod rubínového laseru. Vypočtete vlnovou délku světla (v m) vyzařovaného rubínovým laserem v prostředí o indexu lomu 1,4. [$4,96 \cdot 10^{-7}$ m]

Řešení. K vyřešení této úlohy je zapotřebí nejprve určit energii pracovního přechodu a z ní vypočítat vlnovou délku s přihlédnutím k prostředí, ve kterém se světlo šíří.

Aktivní prostředí laseru se musí skládat z atomů, které kromě základního stabilního stavu (základní energetické hladiny příslušného elektronu) E_0 mají alespoň jeden nejvyšší excitovaný nestabilní stav E_x a alespoň jeden nižší metastabilní excitovaný stav E_m (alespoň tří-hladinový systém).



Obr. 3 Přechody mezi energetickými hladinami v tří-hladinovém systému aktivního prostředí laseru

Princip funkce laseru je následující. Nejprve jsou atomy aktivního prostředí laseru excitovány absorpcí fotonů (obr. 3 – 1.) o energiích E_{F1} vyzářovaných primárním zdrojem (např. xenonovou výbojkou). Elektrony atomů přitom přecházejí ze základní energetické hladiny E_0 na vyšší energetickou hladinu E_x . Zároveň platí:

$$E_{F1} = E_x - E_0. \quad (10)$$

Tento excitovaný stav je však nestabilní a atomy téměř okamžitě (přibližně za 10^{-8} s) přecházejí na o něco nižší, metastabilní energetickou hladinu E_m (obr. 3 – 2.), se ztrátou energie E_z (v konečné fázi jde o ztráty ve formě tepla). Zde platí $E_z = E_x - E_m$, neboli

$$E_x = E_z + E_m. \quad (11)$$

V tomto stavu atomy setrvávají přibližně 10^{-3} s. Poté jeden z atomů, jehož elektron přejde zpět do klidové hladiny E_0 jako první, vyzáří foton o energii E_{F2} (obr. 3 – 3.), pro niž platí

$$E_{F2} = E_m - E_0. \quad (12)$$

Tento foton narazí do jednoho ze sousedních atomů aktivního prostředí laseru, *není* absorbován, ale vyvolá (stimuluje) v něm přechod do základního klidového stavu, opět za vyzáření fotonu o energii E_{F2} , který má zároveň stejnou fázi, jako foton, který přechod způsobil. Máme tedy fotony dva, které dále narážejí do sousedních atomů a každý z nich vyvolá přechod těchto atomů do základního stavu, čímž vzniknou další dva fotony. Celkem tak máme 4 fotony se stejnou energií a fází. Celý proces lavinovitě pokračuje (obr. 4). Vzniká tak proces stimulované emise.

Vzájemným porovnáním a substitucí vztahů ((10), (11) a (12)) dostáváme výsledný vztah mezi energiemi fotonů E_{F1} a E_{F2} a ztrátovou energií E_z

$$E_{F1} = E_z + E_m - E_0 = E_z + E_{F2},$$

neboli

$$E_{F2} = E_{F1} - E_z. \quad (13)$$

Energii fotonu E_{F2} emitovaného aktivním prostředím laseru spočítáme substitucí vztahu (6) za E_{F1} a dosazením zadaných hodnot pro vlnovou prvního fotonu z xenonové výbojky $\lambda_1 = 560$ nm a ztrátovou energii

$E_z = 0,428 \text{ eV}$ do vztahu (13). Nejprve je však nutné převést zadané hodnoty do nenásobných jednotek $\lambda_1 = 560 \text{ nm} = 560 \cdot 10^{-9} \text{ m}$,

$$E_z = 0,428 \text{ eV} = 0,428 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,686 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

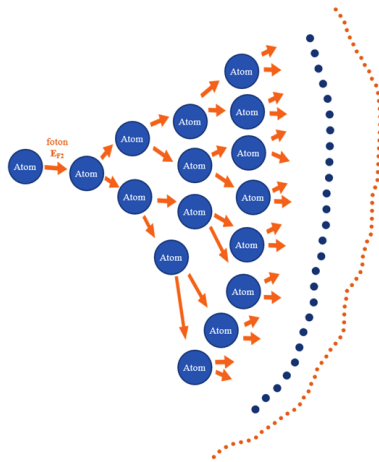
($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ je elementární náboj). Po dosazení vychází energie E_{F2} emitovaného fotonu

$$\begin{aligned} E_{F2} &= h \frac{c}{\lambda} - E_z = \\ &= \left(6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{560 \cdot 10^{-9}} - 0,686 \cdot 10^{-19} \right) \text{ J} = 2,87 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \end{aligned} \quad (14)$$

Nakonec k určení vlnové délky emitovaného fotonu λ_2 využijeme vztah podobný vztahu (6). Vlnová délka emitovaného fotonu λ_2 je však určována aktivním prostředím laseru (krystal rubínu), kde se světlo šíří pomaleji než ve vakuu, a to rychlostí v , pro kterou platí

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2,14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (15)$$

kde n je (absolutní) index lomu rubínového krystalu ($n = 1,4$).

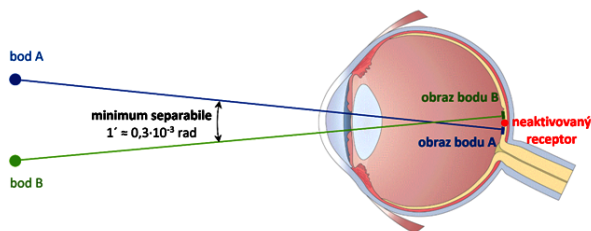


Obr. 4 Lavinový proces stimulované emise v aktivním prostředí laseru

Po úpravě vztahu (6) a dosazení rychlosti světla ze vztahu (15) získáme výslednou vlnovou délku emitovaného světla v aktivním prostředí laseru (rubínovém krystalu)

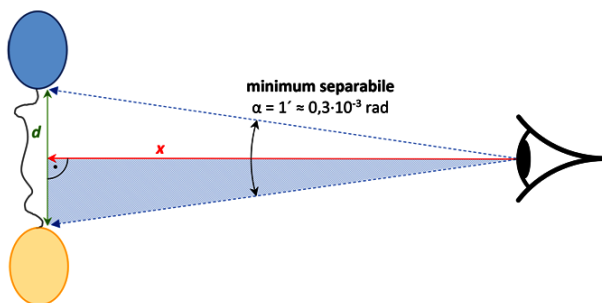
OKO (příklad 1): Dva navzájem spojené balónky jsou od sebe vzdáleny 5,4 m. Z jaké největší vzdálenosti (v m) je zdravé oko dokáže rozlišit jako samostatné objekty? [$1,9 \cdot 10^4$ m]

Řešení. K vyřešení této úlohy si nejprve musíme popsat pojem související se zrakovou ostroší, tj. minimální úhel rozlišení oka neboli *minimum separabile*. Jedná se o nejmenší možný úhel paprsků vycházejících ze dvou bodů a vstupujících do oka, kdy je oko ještě schopno rozlišit obrazy těchto bodů (promítajících se na sítnici oka) jako dva samostatné (neslíjí se do vjemu obrazu jednoho bodu). Vychází se přitom z optické geometrie oka, průměrné hustoty fotoreceptorů ve žluté skvrně sítnice oka a předpokladu, že dva obrazy jsou vnímány jako samostatné, pokud je mezi nimi na sítnici oka alespoň jeden receptor neaktivovaný těmito obrazy (obr. 5; velikosti bodů, obrazů, fotoreceptorů a velikost úhlu nejsou z důvodu názornosti v odpovídajícím měřítku). Fyziologická hodnota minimum separabile tak vychází $1'$, což je přibližně $0,3 \cdot 10^{-3}$ rad.



Obr. 5 Schematické znázornění minimum separabile

Nyní je možné s využitím goniometrických funkcí spočítat vzdálenost balónků od oka tak, aby je oko stále rozlišilo jako dva samostatné objekty.



Obr. 6 Schematické znázornění pozorování balónků okem

Obr. 6 schematicky znázorňuje oko, pozorující dvojici balónků svázaných provázkem o délce $d = 5,4$ m z největší možné vzdálenosti x . Paprsky dopadající z balónků do oka při tom svírají minimální úhel rozlišení oka $\alpha = 1'$ a tvoří rovnoramenný trojúhelník o výšce x a základně d . Rozpůlíme-li si tento trojúhelník symetricky podél jeho výšky, získáme tak dva pravoúhlé trojúhelníky o základně $d/2$, výšce x a vrcholovém úhlu $\alpha/2$. Mezi základnou $d/2$ (strana protilehlá vrcholovému úhlu), výškou x (strana přilehlá vrcholovému úhlu) a vrcholovým úhlem $\alpha/2$ pravoúhlého trojúhelníku pak platí známý vztah

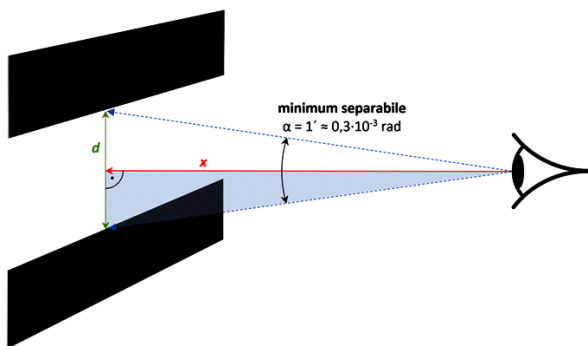
$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{d/2}{x}. \quad (16)$$

Úpravou vztahu (16) a dosazením zadaných hodnot pro vzdálenost balónků $d = 5,4$ m a minimum separabile ve stupních $\alpha = 1' = (1/60)^\circ$ získáme maximální možnou vzdálenost x , ze které je zdravé oko schopno rozlišit pozorované balónky jako samostatné objekty,

$$x = \frac{d/2}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{5,4 \text{ m}}{2}}{\operatorname{tg} \frac{(1/60)^\circ}{2}} \doteq 1,9 \cdot 10^4 \text{ m}.$$

OKO (příklad 2): Pouhým okem pozorujeme dvě rovnoběžné čáry na tabuli vzdálené 12 m. Jak velká musí být mezera mezi těmito čarami (v m), abychom je dokázali rozlišit? [0,0035 m]

Řešení. Jedná se o obdobu předchozího příkladu. K vyřešení tedy potřebujeme znát hodnotu minimálního úhlu rozlišení a sestavit vztah mezi vzdáleností tabule $x = 12$ m, mezerou mezi čarami d a minimálním úhlem rozlišení oka $\alpha = 1'$.



Obr. 7 Schematické znázornění pozorování rovnoběžných čar okem

Z obr. 7 odvodíme stejným postupem jako v předchozím případě vztah mezi výše zmíněnými veličinami (16). Následnou úpravou vztahu (16) získáme hledanou velikost mezery mezi pozorovanými rovnoběžnými čarami:

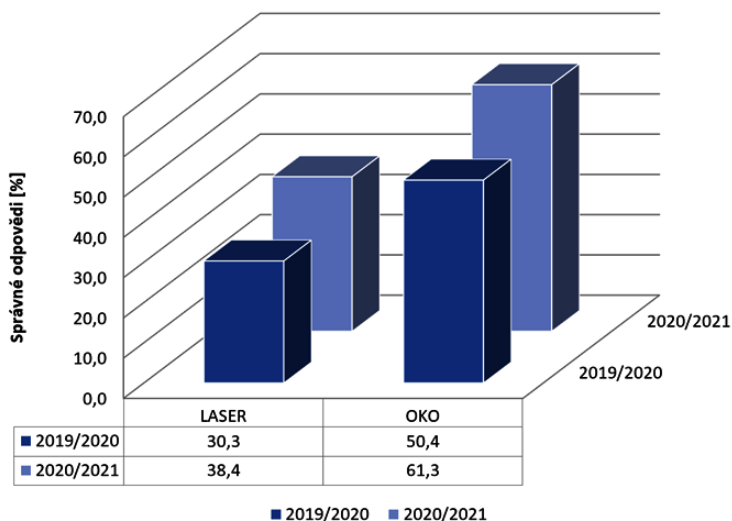
$$d = 2x \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 12 \cdot \operatorname{tg} \frac{(1/60)^\circ}{2} \text{ m} \doteq 0,0035 \text{ m}.$$

Výsledky

Doba trvání praktické části laboratorního cvičení z Mikroskopie v prezenční formě v akademickém roce 2020/2021 byla okolo 2 hodin. To je přibližně patnáctiminutové zkrácení oproti akademickému roku 2019/2020.

Individuální úrovně úspěšnosti (obr. 8) pro oba typy otázek (LASER a OKO) ukazují signifikantní ($P = 0,031$ a $P = 0,006$) zlepšení v testu 2020/2021 v porovnání s testem 2019/2020.

Srovnání výsledků testů 2019/20 vs. 2020/21



Obr. 8 Porovnání celkových úrovně úspěšností pro konkrétní test a typ otázky

Také celkové úrovně úspěšnosti testu 2020/2021 jsou signifikantně ($P < 0,001$) lepší (vyšší) v porovnání s testem 2019/2020, což je vidět v Tabulce 1.

Školní rok	Počet odpovědí
	správně 277
2019/2020	celkově 686
	poměr [%] 40,4
	správně 301
2020/2021	celkově 604
	poměr [%] 49,8
	hodnota P < 0,001

Tabulka 1 Srovnání celkových úrovní úspěšnosti v závěrečném testu

Diskuze

Využití inovovaného interaktivního e-learningového kurzu Mikroskopie ve školním roce 2020/2021 přineslo zlepšení v mnoha ohledech.

Prvním přínosem vylepšeného e-learningového kurzu Mikroskopie [13] s novým video tutoriálem [14] bylo ušetření času potřebného ke zvládnutí praktické části laboratorního cvičení. Nicméně malé množství praktických cvičení uskutečněných v prezenční formě ve studijním roce 2020/2021, než přišel lockdown, neumožňovalo dostatečné statistické vyhodnocení. Přesto bylo vidět, že během praktických cvičení měli studenti více času na zpracování protokolu z naměřených hodnot a učitelé strávili méně času s vysvětlováním měřicích postupů. Ušetřený čas byl věnován vysvětlování nezbytných fyzikálních principů, problematičtějších témat tohoto předmětu a diskusí se studenty. To dříve nebylo možné.

Inovovaný e-learningový kurz signifikantně zlepšil znalosti studentů v mikroskopii, což bylo prokázáno ve všech statistických srovnáních individuálních i celkových úrovní úspěšnosti u obou typů (LASER a OKO) otázek. Statistické srovnání ukázalo signifikantně lepší výsledky v testu školního roku 2020/2021 s porovnáním s testem ve školním roce 2019/2020. Nicméně výsledky nemohly být normalizovány vůči možným různým vstupním znalostem studentů ve studijním roce 2019/2020 oproti roku 2020/2021, protože z důvodu pandemie virové choroby covid-19 se v roce 2020 nekonaly přijímací zkoušky na Lékařskou fakultu Univerzity Karlovy v Hradci Králové. Avšak díky dostatečnému množství studentů testovaných v obou testech a zvýšení celkové úspěšnosti o více než 9 %, považujeme výsledky dostatečně průkazné.

Předložený e-learningový kurz Mikroskopie [13, 14] i jeho obsah jsou zároveň založeny na znalostech středoškolské fyziky a matematiky a kurz je koncipován tak, aby jej bylo možné bez nutnosti úprav využít při výuce na středních školách.

Závěr

Vylepšený kurz pomohl snadněji a v kratším čase zvládnout měřicí část v praktickém cvičení, což umožnilo učitelům zaměřit se na důležité otázky daného tématu.

Inovovaný e-learningový kurz statisticky signifikantně zlepšil testované znalosti studentů v mikroskopii.

E-learningový kurz Mikroskopie je založen na znalostech středoškolské fyziky a matematiky a je koncipován tak, aby jej bylo možné bez nutnosti úprav využít při výuce na středních školách.

Poděkování. Práce byla podpořena programem PROGRES Q40-09.

Literatura

- [1] Horák, Z., Krupka, F., Šindelář, V.: Technická fyzika. 2. přeprac. vyd., SNTL, Praha, 1960.
- [2] Hrazdára, I.: Biofyzika. 2 přeprac. vyd., Avicium, Praha, 1990.
- [3] Tercie – laboratorní cvičení z biologie [online]. B.m.: Gymnázium Prachatice. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.gympt.cz/studium/biologie-geologie>
- [4] Helešicová, M.: Laboratorní cvičení z biologie – rostlinná buňka [online]. B.m.: Střední průmyslová škola chemická, Brno. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/orr/pptv/chemie/Hele%C5%A1icov%C3%A1/CHEMIE%20KOLEM%20N%C3%81S%2015.1.%202014/e-learning-laborato%C5%99e%20-%20BIO,%20BCH/J%C3%81DRO,%20BUN%C4%9A%C4%8CN%C3%81%20ST%C4%9ANA.doc>
- [5] Dušek, M.: Praktika na Střední průmyslové škole chemické Pardubice [online]. B.m.: Střední průmyslová škola chemická Pardubice. 2015 [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: https://www.spsch.cz/wp-content/uploads/2013/11/vm_praktikum-z-biologie.pdf
- [6] Simonova, I.: Výuka odborné angličtiny pro studenty inženýrských oborů na FIM UHK. Porovnání studijních výsledků. In: Distanční jazykové vzdělávání. Perspektivy a problémy. Sborník konference Distanční jazykové vzdělávání. Perspektivy a problémy. VŠMIE, Praha, 2007, s. 80–104.

- [7] Hanus, J., Nosek, T., Zahora, J., Bezrouk, A., Masin, V.: On-line integration of computer controlled diagnostic devices and medical information systems in undergraduate medical physics education for physicians. *Physica Medica-European Journal of Medical Physics*, roč. 29 (2013), č. 1, s. 83–90. Dostupné z: [doi:10.1016/j.ejmp.2011.12.002](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2011.12.002)
- [8] Hanus, J., Zahora, J., Masin, V., Bezrouk, A.: On-Line Incorporation of Study and Medical Information System in Undergraduate Medical Education. 6th International Conference of Education, Research and Innovation (iceri 2013), 2013, s. 1500–1507.
- [9] Zahora, J., Hanus, J., Jezbera, D., Bezrouk, A.: Remotely Controlled Laboratory and Virtual Experiments in Teaching Medical Biophysics. In: L. G. Chova, A. L. Martinez a I. C. Torres, ed. ICERI2013 Proceedings. Valencia: Iated-Int Assoc Technology Education & Development, 2013, s. 900–906.
- [10] Masin, V., Kopeček, M., Hanus, J.: Moodle Portal in Virtualized Environment – a Performance Analysis. 2017, s. 195–198. Dostupné z: [doi:10.15439/2017F348](https://doi.org/10.15439/2017F348)
- [11] Kordek, D.: The definition of optical systems aberrations to secondary school students regarding their knowledge of mathematics. *AIP Conference Proceedings* [online], 2017, 1804(1), 030004. Dostupné z: [doi:10.1063/1.4974375](https://doi.org/10.1063/1.4974375)
- [12] Moodle [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://moodle.org/>
- [13] Kurz: Mikroskop – teorie, návod na praktická cvičení [online]. [vid. 2021-09-06]. Dostupné z: <https://moodle.lfhk.cuni.cz/moodle2/course/view.php?id=167>
- [14] Kurz: Měření průměru erytrocytů. [online]. [vid. 2021-09-06]. Dostupné z: <https://moodle.lfhk.cuni.cz/moodle2/course/view.php?id=1961>
- [15] PC DOKTOR [online]. B.m.: CompuGroup Medical. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.pcdoktor.cz/>
- [16] Extensible Markup Language [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Extensible_Markup_Language
- [17] DASTA – Datový standard pro předávání dat mezi informačními systémy zdravotnických zařízení [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.dastacr.cz/>