

LABORATORNÍ PRÁCE VE VÝUCE FYZIKY NA GYMNÁZIU

Jiří KOHOUT

Abstrakt

V rámci příspěvku budou prezentovány výsledky výzkumného šetření realizovaného mezi 229 učiteli fyziky na gymnáziích v ČR. Cílem výzkumu bylo zjistit, jaký je stav ve výuce fyzikálních laboratoří na vyšším stupni gymnázia a jaké postoje v tomto ohledu učitelé zastávají. Na základě výsledků výzkumu budou formulována doporučení směrem k budoucímu vývoji v této oblasti. Budou rovněž představeny náměty na laboratorní práce realizovatelné bez specifických požadavků na pomůcky, jež by reflektovaly požadavky učitelů z praxe. Stručně bude také shrnut historický vývoj výuky fyzikálních laboratoří.

LABORATORIES IN THE GRAMMAR SCHOOL PHYSICS

Abstract

We aimed to present the results of the questionnaire survey carried out among 229 physics teachers of the grammar schools in the Czech Republic. The objective of the research was to analyse the state-of-the-art of the physics laboratories in the upper grade of Czech grammar schools and to reveal the corresponding attitudes of the physics teachers. Based on the results, recommendation toward the further development in the field will be given. Moreover, new suggestions for the particular lab exercises will be presented and the historical development of the physics labs will be briefly summarized.

Úvod

Laboratorní práce mají ve výuce fyziky na gymnáziích své nezastupitelné místo a přes prudký pokles hodinové dotace tohoto předmětu v posledních desetiletích se je na většině škol tohoto typu daří alespoň v omezené míře realizovat. Je samozřejmě otázka, jak přesně definovat, co přesně je a co již není laboratorní práce. Učitelé fyziky ani výzkumníci v této oblasti se na přesné definici neshodnou (NRC, 2006), pro účely tohoto příspěvku však uvedme pracovní definici, kterou uvádí příslušná pracovní skupina pro laboratorní výuku na středních školách vytvořená Národní akademií věd Spojených států. Podle této definice: „*Laboratorní práce nabízejí studentům přímou možnost interakce s hmotnou realitou (popř. daty popisujícími hmotnou realitu) a to prostřednictvím nástrojů, technik sběru dat, modelů a vědeckých teorií*“ (NRC, 2006). Z uvedené definice vyplývá, že laboratorní práci není měření či pokus realizovaný před třídou učitelem, nelze tak chápat ani kvalitativní pokus realizovanými studenty. Naopak uvedená definice zahrnuje například práci s daty z astronomických databází. Zde budeme (poněkud úžeji, než je v pracovní definici výše) rozumět laboratorní práci kvantitativní zpracování dané problematiky realizované jednotlivými žáky či skupinami žáků v rámci výuky, kdy jsou využity experimentální techniky i poznatky z teorie probírané v hodinách fyziky. Tyto práce jsou přitom typicky koncipovány na jednu či dvě vyučovací hodiny v půlených třídách, není to však nutnou podmínkou.

Cílem tohoto příspěvku je stručně shrnout historii a současnost fyzikálních laboratoří ve školské fyzice, představit vybrané výsledky průzkumu realizovaného mezi učiteli

fyziky na gymnáziích v ČR a na základě poznatků z literatury týkajících se konstruktivisticky pojaté výuky formulovat požadavky kladené na nové náměty laboratorních prací respektující zásady umírněného konstruktivismu. Na závěr pak bude představena detailněji jedna konkrétní inovovaná úloha, na níž je možné demonstrovat obecnější filozofii přístupu k fyzikálním laboratorním, ke které se autor tohoto příspěvku hlásí.

Historie laboratorních prací ve školské fyzice

V této části stručně shrneme historický vývoj laboratorních prací. Pro konkrétnost se zaměříme především na Spojené státy americké, podobné trendy však lze vypožorovat i v dalších zemích. Zhruba do poloviny 19. století byla fyzika stejně jako další přírodovědné disciplíny zpravidla vyučována na gymnáziích i dalších školách odpovídajícího stupně výhradně teoreticky formou výkladu učitele. K zásadní změně začalo docházet zhruba v polovině 19. století, kdy postupně začal být kladen důraz na praktickou experimentální zkušenost žáků. Vývoj byl v různých zemích různý, například v Německu se o transformaci výuky chemie (a následně i dalších přírodovědných disciplín) zasloužil chemik Justus van Liebig, který výrazně rozvinul praktickou výuku již na konci 1. poloviny 19. století (NRC, 2006). Ve Spojených státech došlo k výrazné změně a přechodu k více prakticky založenému německému modelu až v 80. letech 19. století (NRC, 2006). Poté zde však nastal rychlý nárůst významu laboratorní na střední škole, k nimž významně přispěl i profesor fyziky na Harvardu Edwin Hall²⁷, který v roce 1886 sestavil seznam 40 experimentálních úloh, jejichž zvládnutí bylo stanoveno jako podmínka ke studiu fyziky na této slavné univerzitě. K uvedeným úkolům patřilo například určení meze pevnosti drátu na základě měření síly či určení stlačitelnosti vzduchu pomocí rtuťového barometru. V dalších letech docházelo v USA ke sporům mezi zastánci maximálního množství klasických experimentálních cvičení a těmi, kteří preferovali spíše inovaci výuky v souladu s překotným rozvojem moderní fyziky. Přední představitel pragmatické pedagogiky Thomas Dewey v roce 1909 hájil důležitost laboratorní výuky, zároveň však upozorňoval na to, že tato výuka může být za určitých okolností rigidní a formální stejně jako předčítání z učebnic. Za klíčové pokládal vhodnou volbu obsahu a metod užívaných v laboratorní výuce tak, aby to bylo v souladu s principy pragmatické pedagogiky.

S ohledem na principy prezentované Deweyem publikoval v roce 1918 Wiliam Kilpatrick článek, který je pokládán za základ projektové metody. V něm zdůrazňoval význam prakticky zaměřených problémů a zároveň učení se samotným metodám vědeckého zkoumání, plánování experimentů apod. Navzdory přetrvávajícím sporům o pojetí laboratorní výuky se tato stala ve 20. letech již pevnou součástí výuky fyziky i přípravy budoucích učitelů tohoto předmětu. Učebnice určená budoucím učitelům přírodních věd v roce 1925 již například zahrnovala rozsáhlou kapitolu o významu laboratorní výuky pro tyto obory (Brownell & Wade, 1925).

V období po druhé světové válce byl zásadním impulsem pro změny výuky přírodních věd a především fyziky šok vyvolaný úspěchy Sovětského svazu v kosmickém výzkumu²⁸. V reakci na tento šok vznikl tlak na významné změny ve výuce přírodních věd, který se projevil mimo jiné novou formulací kurikula. V případě fyziky vznikla tzv. Introductory Physical Science and Project Physics (PSPP), v jejímž rámci byla laboratorní cvičení plně integrována s probíranou teorií, což byla změna oproti dřívějšímu

²⁷ Je po něm pojmenován slavný Hallův jev.

²⁸ Tzv. Sputnik šok

stavu, kdy laboratoře byly zaměřeny spíše na sekundární aplikaci dříve uvažovaných konceptů. Uvedené změny se opíraly i o poznatky z vývojové psychologie formulované Piagetem a zdůraznění cyklu učení, v němž měla laboratorní zkušenost svoji nezastupitelnou roli.

Souběžně s integrací laboratorních cvičení s teoretickou výukou, jejíž efektivita byla potvrzena v 90. letech metaanalýzou publikovaných výzkumných studií, se rozvíjela i konstruktivisticky pojatá výuka kladoucí důraz na omezení role výkladu učitele a větší zapojení žáků do procesu získávání poznatků. K předním průkopníkům těchto badatelsky orientovaných přístupů zdůrazňujícím roli žáka jako aktivního řešitele problémů patřil například kognitivní psycholog Jerome Bruner či genetik Joseph Schwab, jehož studie z roku 1962 *The teaching of science as enquiry* je pokládána za klíčovou pro rozvoj konstruktivisticky orientovaných metod ve výuce přírodních věd. Schwab se rovněž zabýval badatelsky orientovanou výukou v laboratoři, kde rozlišil dvě extrémní situace: čistě badatelská výuka, kdy je žákům představen pouze problém a jejich úkolem je jej komplexně vyřešit versus práce dle manuálu, v němž je uveden problém, metody jeho zkoumání a je rovněž výrazně naznačeno či uvedeno jeho řešení. Žáci tak „pouze“ plní úkoly uvedené v daném manuálu. Herron (1971) na základě analýzy uvádí, že v rámci výše popsaného kurikula PSPP se výrazná většina laboratorní práci blíží spíše druhému z uvedených extrémů, tj. práci žáků dle manuálu s minimem badatelských prvků. Od konce 60. let se tak nejen mezi didaktiky přírodních věd vede spor o to, jaká míra vedení žáků²⁹ při laboratorních pracích je vhodná pro splnění cílů, které laboratorní práce mají. K tomu je samozřejmě zapotřebí definovat i tyto cíle, na nichž rovněž nepadne v komunitě didaktiků přírodních věd (či specificky fyziky) úplná shoda. Většina výzkumníků se však shoduje na tom, že určité prvky konstruktivismu je vhodné zahrnout.

V České republice se badatelsky pojatá výuka a kritika klasického způsobu vyučování stala hitem posledních let, kdy je celá problematika především médií prezentována výrazně černobíle jako souboj starého a špatného s novým a dobrým. Tento přístup je spíše kontraproduktivní a samotnému konstruktivistickému přístupu škodlivý. Je však faktem, že v oblasti laboratorních prací uváděných v klasických gymnaziálních učebnicích a dalších zdrojích v ČR výrazně převažují úlohy, kdy žáci postupují podle manuálu s minimem prostoru pro vlastní invenci či možnost objevování. V další části studie budou představeny vybrané výsledky průzkumu mezi učiteli gymnázií v ČR, který se sice nezaměřoval přímo na otázku zařazení badatelských aktivit do výuky³⁰, ale přináší cenné informace ohledně toho, jaké cíle mají laboratorní práce, odkud pro ně čerpají učitelé inspiraci a jaké vidí překážky v jejich realizaci.

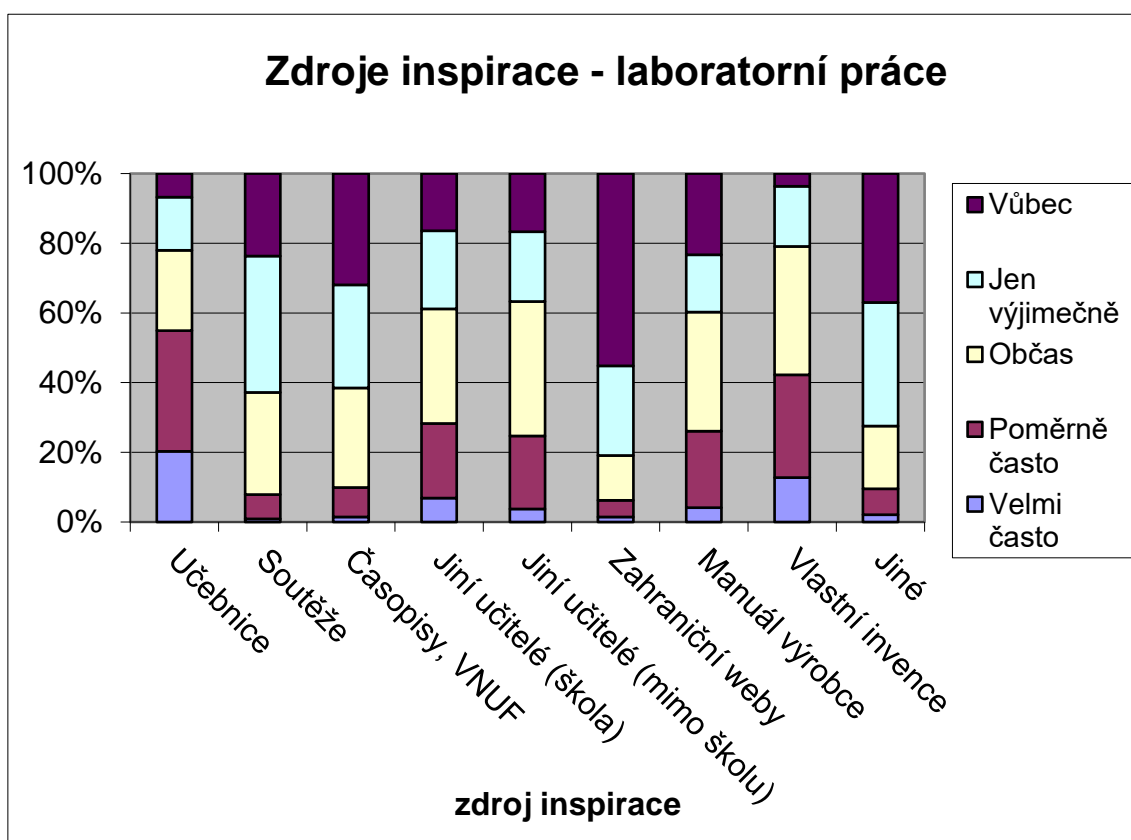
Inspirace, cíle a překážky laboratorních prací dle učitelů českých gymnázií

S cílem prozkoumat současný stav výuky laboratorních prací na českých vyšších gymnáziích byl proveden dotazníkový průzkum zahrnující větší množství otázek týkajících se této problematiky. K účasti bylo prostřednictvím pracovních e-mailových

²⁹ *amount of guidance*

³⁰ Otázka na toto téma nebyla zařazena záměrně, protože ze zkušenosti autora tohoto článku vyplývá, že učitelé mají velmi rozdílné představy o tom, co se pod pojmem „badatelsky či konstruktivisticky zaměřená výuka“ vlastně rozumí (což jim těžko můžeme mít za zlé). V některých případech jsou tak jako badatelské označovány i úlohy, které by ve výše popsaném dělení dle Schwabeho byly mnohem blíže druhému extrému (tzn. řízené práci dle manuálu).

adres veřejně dostupných na webových stránkách gymnázií³¹ pozváno 1 071 učitelů fyziky. Z nich dotazník vytvořený v prostředí Googlu formulářů, na nějž byl uveden odkaz v e-mailu učitelům, vyplnilo a odeslalo 229 respondentů³². Podíl učitelů, kteří odpověděli, byl tedy něco přes 20 %, což přirozeně může poněkud zkreslit výsledky, protože se dá očekávat, že do průzkumu se zapojili spíše aktivnější učitelé, které navíc téma průzkumu zaujalo. U těchto učitelů lze očekávat větší portfolio aktivit spojených s laboratorními pracemi i větší zájem o toto téma, než by odpovídalo celkové populaci českých gymnaziálních učitelů. Z celkového počtu respondentů bylo 115 žen a 114 mužů, průměrná délka praxe byla 22,8 roku³³. 45 respondentů doplnilo odpovědi na uzavřené otázky obsáhlejší slovním komentářem. Učitelé působili ve všech regionech České republiky, přičemž nejvíce jich učilo na gymnáziích v Praze (14 %), Jihomoravském kraji (12 %), Moravskoslezském kraji (12 %) a Středočeském kraji (10 %). Naopak nejméně jich bylo z Karlovarského kraje (2 %). To je v rámcovém souladu s počtem obyvatel v jednotlivých regionech ČR.



Graf 1 – zdroje inspirace pro laboratorní práce u učitelů fyziky na gymnáziích

Dotazník obsahoval vedle základních identifikačních údajů 4 rozsáhlejší celky, a to Rozsah a tematické zaměření lab. prací, Zdroje, cíle a překážky realizace, Inovace v oblasti lab. prací a Skupinová práce, protokoly a hodnocení lab. prací. Zde se soustředíme na celek Zdroje, cíle a překážky realizace. V jeho první části byli učitelé

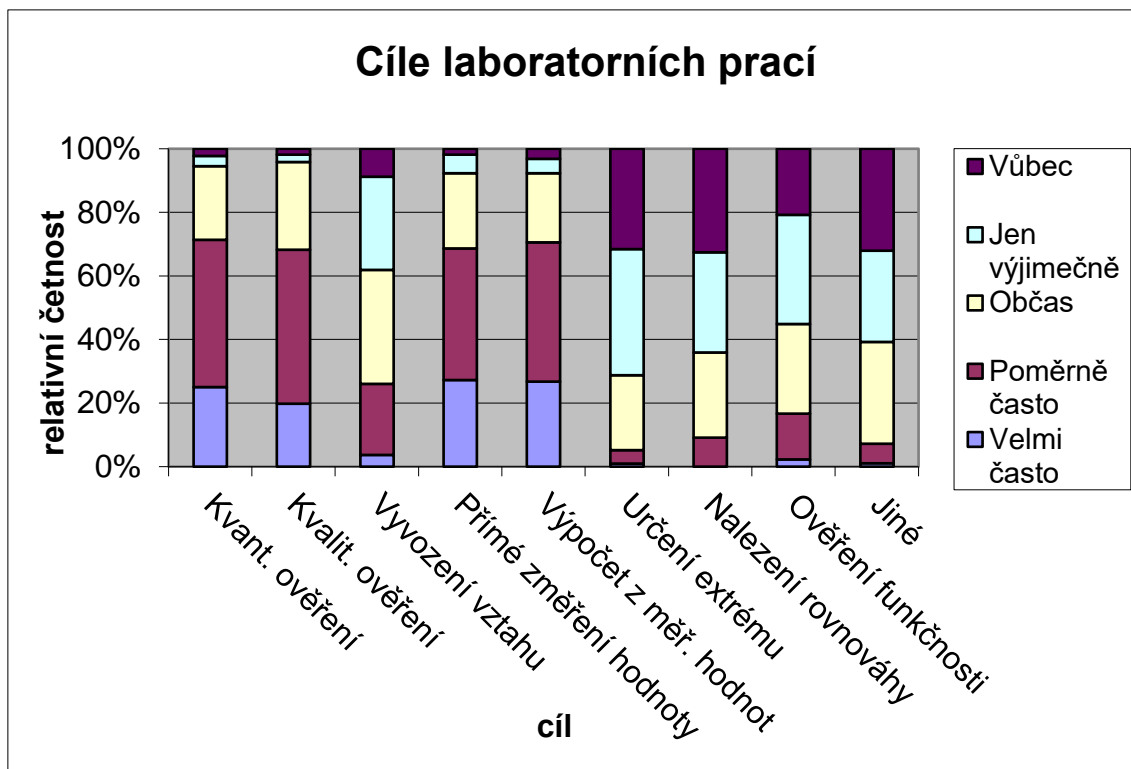
³¹ Jejich seznam byl získán ze stránky www.atlasskolstvi.cz. Kontakty na učitele fyziky se podařilo získat cca z 80 % gymnázií, můžeme tedy odhadnout, že celkový počet učitelů fyziky na gymnáziích v ČR se bude pohybovat kolem 1 400.

³² Přesněji 225 vyplnilo dotazník v daném prostředí a další čtyři poslali své odpovědi a komentáře e-mailem. Pozvánka k vyplnění byla ve snaze zbytečně neobtěžovat učitele odeslána pouze jednou.

³³ Výběrová směrodatná odchylka byla 10,6 roku, medián 23 let, rozpětí 0,5-47 let.

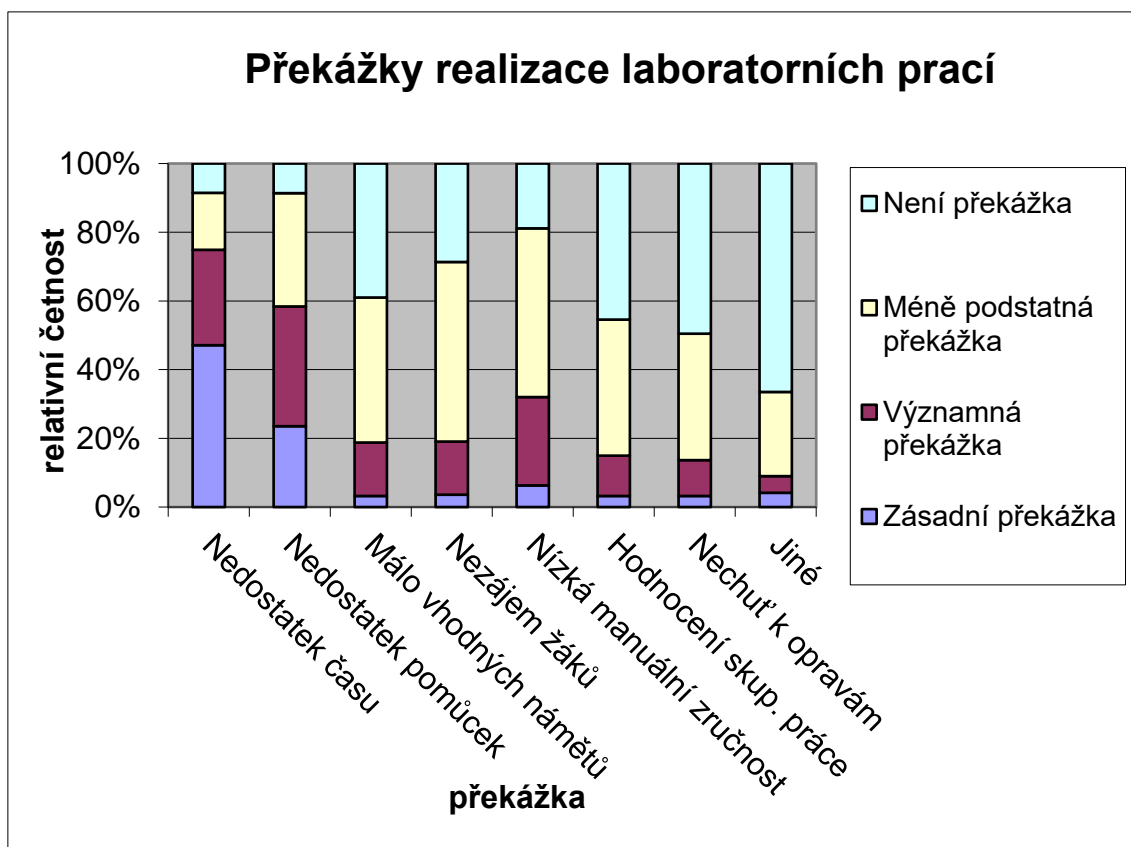
dotazování, odkud čerpají inspirace pro laboratorní úlohy, které realizují. Odpovídali přitom na škále Velmi často-Poměrně často-Občas-Jen výjimečně-Vůbec. V nabídce měli 8 možných zdrojů inspirace klasickými učebnicemi počínaje a vlastní invencí konče (viz Graf 1).

Výsledky jsou patrné z Grafu 1. Je zjevné, že nejvýznamnějším zdrojem inspirace jsou klasické gymnaziální učebnice, které využívá velmi nebo poměrně často 55 % respondentů. Významnou roli hraje i vlastní invence učitelů, která je podstatným zdrojem inspirace u 42 % zúčastněných učitelů. Podstatným zdrojem inspirace jsou i materiály jiných učitelů v rámci stejné školy (velmi či poměrně častý zdroj inspirace pro 28 % učitelů) či z jiné školy (25 %) a manuály výrobců měřících systémů a pomůcek (25 %). Naopak jen málo jsou využívány úlohy z fyzikálních soutěží (FO apod.; 7 %), fyzikální časopisy a sborníky z konferencí jako je Veletrh nápadů učitelů fyziky (10 %) a zahraniční webové stránky (6 %). 9 % učitelů uvedlo, že velmi nebo poměrně často získává inspiraci z jiných zdrojů, ze slovních odpovědí vyplynulo, že se jedná například o vlastní poznámky z dob VŠ studia, materiály k fyzikálnímu praktiku na vysokých školách, ale i starší učebnice určené speciálně pro fyzikální měření, aktivity Elixír center či zahraniční učebnice fyziky. Jedna z respondentek v této souvislosti uvedla následující: „Pociťuji nedostatek zdrojů k úlohám, které budou jednoduché na provedení, ale zároveň povedou studenty k přemýšlení nad problémem. Český obvyklý koncept laboratorní práce vychází z modelu, při kterém studenti plní přesně specifikované úkoly, odměřují veličiny, zapisují do předem připravených tabulek – takto často nevědí, co přesně vlastně měří. Dle mého názoru by měli studenti raději plnit komplexnější (byť velmi jednoduché) zadání, ke kterému si sami sestaví tabulky, ze kterých vyčtou potřebné závislosti a jsou schopni učinit závěr ze svého pozorování. Takové úlohy jsou ovšem pouze v zahraniční literatuře.“ Uvedený komentář se velmi trefně dotýká výše diskutovaných otázek konstruktivismu (a jeho vhodné míry) při realizaci laboratorních prací. Je však třeba uvést, že podobných pohledů bylo zaznamenáno v dotazníkovém šetření minimum a nejvýznamnějším zdrojem inspirace pro učitele jsou gymnaziální učebnice fyziky, kde jsou laboratorní práce pojímány právě jako přesný soubor pokynů, které studenti postupně plní bez uplatnění nějakých konstruktivistických prvků.



Graf 2 – cíle laboratorních prací dle učitelů fyziky na gymnáziích

Výsledky týkající se obecných cílů laboratorních prací jsou patrné z Grafu 2. Velmi častým tématem jsou především kvantitativní či kvalitativní ověření dříve odvozené fyzikální zákonitosti (zhruba 70 % uvedlo, že tyto cíle jsou velmi časté či poměrně časté), přímé změření hodnoty veličiny (68 %) a výpočet z měřených hodnot (71 %). Podstatně méně rozšířené je vyvození vztahu (26 %), určení extrému (5 %), nalezení rovnováhy systému (9 %) a ověření funkčnosti (17 %). Tyto cíle přitom častěji uváděli učitelé, kteří jako významný zdroj inspirace nemají gymnaziální učebnice fyziky, ale zdůrazňují spíše vlastní invenci či fyzikální soutěže a časopisy. 7 % učitelů uvedlo jako podstatné jiné cíle laboratorních prací, přičemž ze slovních odpovědí vyplynulo, že se jedná například o rozvíjení manuální zručnosti, hru, objevování nového či oživení teorie praktickou výukou. V komentářích k této otázce se projevila i nespokojenost jednoho z respondentů s tím, že dle jeho názoru je ve fyzice kladen nepřiměřený důraz na teorii, zatímco praktická stránka věci zaostává. Doslova uvedl: „Odborná veřejnost (JČMF, vysoké školy, autoři učebnic...) klade nepoměrně větší důraz na teoretické znalosti. Učebnice pro gymnázia jsou naplněné z 99 % teorií, praxe je jednoznačně na vedlejší koleji. Takže celková koncepce výuky fyziky v ČR je, vyučovat teorii, počítat, počítat, počítat. Takové jsou i maturity a přijímací zkoušky na všechny vysoké školy. Je to koncepce zastaralá, nicméně všeobecně přijímaná. Učitel, který klade důraz na praktickou a objevitelskou stránku fyziky jde proti proudu, riskuje, že bude osočen z nedostatečné přípravy svých svěřenců na maturitu a přijímací zkoušky.“



Graf 3 – překážky realizace laboratorních prací dle učitelů fyziky na gymnáziích

V Grafu 3 jsou uvedeny výsledky týkající se ze strany učitelů vnímaných překážek pro realizaci laboratorních prací. Zde zcela jednoznačně dominuje nedostatek času, který vnímá jako zásadní či významnou překážku 75 % respondentů. Na druhém místě je nedostatek pomůcek či chybějící infrastruktura školy s 35 %. Z ostatních překážek učitelé vnímají jako relativně největší problém nízkou manuální zručnost žáků, jíž uvedlo 32 %. U všech ostatních sledovaných kategorií včetně nedostatku vhodných námětů se procento těch, kteří je pokládají za významnou či dokonce zásadní překážku, pohybuje pod 20 %. Z jiných překážek byla zmiňována například finanční náročnost, nedostatek půlených hodin vhodných pro cvičení v třídách majících velký počet žáků apod. Opakovaně se v souvislosti s překážkami realizace objevil návrh na to, aby byl ve škole k dispozici laborant, který by pomohl s přípravou laboratorních prací. Jeden z učitelů k tomu uvedl: „Zásadní je nedostatek času učitelů na přípravy-příprava laboratorní práce zabere i několik hodin-musí se dělat ve volném a neplaceném čase. Žádné finanční ohodnocení této přesčasové práce-nízká motivace učitelů věnovat svůj čas přípravám. Další problém je nedostatek pomůcek proto, aby mohlo pracovat zároveň několik skupin. Vše by vyřešila možnost platit na aspoň částečný úvazek člověka, který by učitelům připravoval a sestavoval pokusy, obstarával pomůcky- učitel by je měl připravené a pouze je realizoval v hodinách.“ Z hlediska korelací zmiňovaných překážek s výše uvedenými zdroji inspirace není překvapivé, že nedostatek vhodných námětů uváděli jako problém mnohem častěji učitelé, kteří inspiraci nečerpají z klasických učebnic a raději využívají vlastní invenci, soutěže, časopisy či zahraniční weby. K nedostatku vhodných námětů odkazuje i komentář uvedený výše v diskuzi ke zdrojům inspirace.

V rámci průzkumu bylo získáno i velké množství dalších zajímavých dat, jejichž analýza bude předmětem dalšího zpracování. Kompletní výsledky průzkumu budou zveřejněny v samostatné publikaci a budou rovněž poskytnuty společně s náměty na inovované laboratorní práce zúčastněným učitelům, kteří o to v dotazníku projeví zájem a uvedli na jeho konci svoji e-mailovou adresu (tuto možnost využila cca polovina z celkového počtu respondentů).

Zásady pro tvorbu nových námětů na laboratorní práce

I na základě výše uvedených faktů se autor tohoto příspěvku domnívá, že je vhodné přijít s novými náměty na laboratorní práce, které by v rozumné míře respektovaly principy konstruktivismu a byly prakticky využitelné ve výuce na gymnáziích. Tyto návrhy by měly respektovat následující zásady:

- **Důraz na shodu teorie a experimentu** – ve výrazné většině klasických laboratorních prací z učebnic apod. není tento princip reflektován buď vůbec, nebo je zahrnut ve srovnání výsledku měření s tabulkovou hodnotou. Domnívám, že mnohem cennější je přímé porovnání naměřené hodnoty s hodnotou stanovenou na základě fyzikálního modelu a hledání vysvětlení zjištěných rozdílů. Zvláště přínosné je pak, když máme více alternativních fyzikálních modelů a úkolem je zjistit, který je pro dané rozpětí v lepším souladu s experimentem.
- **Jasně propojení s obsahem výuky v teoretických hodinách fyziky** – tato podmínka je velmi důležitá z hlediska udržení tzv. integrity výuky (Janík et al., 2013). Fyzikální model či modely, které jsou porovnávány s experimentálními poznatky, proto musí být odvoditelné za pomoci poznatků, s nimiž již byli žáci v hodinách fyziky seznámeni. Pokud bude shoda teorie s experimentem reprezentována dosazováním do vztahu, který „spadl z nebes“ a není odvozený na základě již probrané školské fyziky, povede to k desintegraci výuky a bude to mít negativní efekt na budování instrumentální zkušenosti u žáků (Mentlík, Slavík, & Coufalová, 2018).
- **Měření v jednotlivých krocích, kdy následně využívá výsledků předchozího** – klasické laboratorní práce jsou obvykle založeny na tom, že je předem nalinkováno, kolik a jakých měření mají žáci provést. Domnívám se, že v mnohem lepším souladu s reálnou prací fyziků je to, když strategie při realizaci měření je znovu zvážena a případně upravena na základě každého nově získaného výsledku. To zároveň vyžaduje průběžné vyhodnocování a interpretování naměřených hodnot.
- **Rozdělení rolí ve skupině provádějící měření a rozvoj vzájemné spolupráce** – ve velké většině případů probíhají laboratorní práce ve skupinách. To vede často k situaci, kdy jeden ze skupiny měří a ostatní přihlížejí. Možným řešením je požadavek na to, aby souběžně s měřením probíhalo vyhodnocení shody experimentu s teorií, kdy jeden student měří, a další počítají a srovnávají naměřené a vypočtené hodnoty.
- **Proveditelnost s jednoduchými pomůckami bez sofistikovaných měřících systémů** – existuje značné množství velmi zajímavých námětů na laboratorní práce s užitím laboratorních systémů (Vernier, Pasco apod.), přičemž návody k nim lze zpravidla získat přímo v materiálech od výrobců. To, co chybí, jsou na přípravu, materiál i provedení jednoduché úlohy, na nichž však lze ukázat zajímavé fyzikální principy.
- **Vhodná práce s chybou měření** – měření pomocí sofistikovaných systémů je mnohdy ceněno díky své značné přesnosti. Domnívám se, že ve školské fyzice (na rozdíl od fyziky profesionální) je v některých případech cennější, když použité

metody a nástroje jsou nedokonalé a měření je tak zatíženo značnou chybou již jen díky této skutečnosti. Zásadní otázkou pro interpretaci výsledků pak je, zda zjištěná odchylka mezi experimentem a teorií jde na vrub spíše nepřesnosti měření nebo nedokonalosti užitého modelu.

Podstatnou otázkou samozřejmě je, jaký typ laboratorních prací má šanci splnit výše uvedené zásady. Jako perspektivní v tomto ohledu vnímám úlohy zaměřené na hledání extrému určité veličiny, pro níž jsme schopni středoškolskými metodami vyvodit příslušnou funkční závislost. Úkolem žáků je poté najít experimentálně, pro kterou hodnotu vstupní proměnné nastává extrém, a zároveň provést srovnání s teoretickým výpočtem. U většiny žáků se přirozeně nedá očekávat schopnost určit extrém pomocí derivace, je však možné si ručně (nebo lépe pomocí tabulkového procesoru) spočítat funkční hodnoty pro různé hodnoty proměnné a následně vyvodit, zda extrém nastává při experimentu pro zhruba stejnou hodnotu jako v teorii. Při hledání extrému vstupuje do hry schopnost plánovat experiment a využívat předchozí zjištěné výsledky, souběh měření a výpočtů (a jejich neustálé srovnávání) dává šanci zaměstnat celou měřicí skupinu. Při snaze o vysvětlení zjištěných rozdílů mezi teorií a experimentem se pak dostává do hry otázka chyb měření resp. nedokonalostí modelu.

Konkrétní námět – pohyb mince po nakloněné a vodorovné rovině

Uveďme nyní konkrétní návrh laboratorní práce sestavený podle výše uvedených zásad. Další náměty na takto koncipované práce lze nalézt v příspěvku autora na Veletrhu nápadů učitelů fyziky konaném v roce 2017 v Olomouci (Kohout, 2017)³⁴.

Uvažujme minci o hmotnosti m , která se pohybuje (nikoliv po hraně, pak by byl problém nesrovnatelně složitější) po nakloněné rovině o délce l , koeficientu tření f_1 a úhlu náklonu α . Následně přechází plynule na vodorovnou rovinu, u které uvažujeme koeficient tření f_2 . Úkolem žáků je experimentálně zjistit, pro jaký úhel náklonu dojde mince po vodorovné rovině do maximální vzdálenosti x_{max} . Dalším úkolem je srovnat naměřené hodnoty uražených vzdáleností s hodnotami odvozenými teoreticky pomocí dvou odlišných modelů. První model vychází z toho, že potenciální tíhová energie na počátku je rovna součtu prací třecích sil po nakloněné rovině a následně po rovině vodorovné. Platí tedy:

$$m \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha = f_1 \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot l + f_2 \cdot m \cdot g \cdot x \rightarrow x_1(\alpha) = \frac{l \cdot (\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)}{f_2}.$$

Zde x_1 je dráha uražená po vodorovné rovině, zjevně jde o funkci úhlu náklonu α . Druhý užitý model je podobný, vychází však z toho, že při přechodu z nakloněné roviny na rovinu vodorovnou se zachová pouze vodorovná složka rychlosti, kterou měla mince na konci nakloněné roviny (u prvního modelu je uvažováno s tím, že velikost rychlosti se při přechodu z nakloněné roviny na rovinu vodorovnou nezmění...). Jinak je pro obě roviny zvlášť opět užit zákon zachování energie (potenciální tíhová energie na počátku nakl. roviny je rovna součtu práce vykonané třecí silou a kinetické energie na konci resp. kinetická energie na počátku vodorovné roviny je rovna práci vykonané třecí silou do zastavení). Po provedení příslušných výpočtů dostáváme pro uraženou dráhu po vodorovné rovině x_2 následující funkci úhlu náklonu α :

³⁴ Příspěvek nebyl publikován ve sborníku z konference, záznam vystoupení je však dostupný na www.vnufol.cz/program_konference.php

$$x_2(\alpha) = \frac{l \cdot (\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)}{f_2} \cdot (\cos \alpha)^2.$$

Úkolem žáků je nejprve zjistit hodnoty koeficientu tření pro nakloněnou i vodorovnou rovinu (to je klasická úloha proveditelná více možnými způsoby; je však třeba si uvědomit, že pokud bude užito klasické měření s dřevěným kvádrem taženým siloměrem, získáváme koeficient tření pro dřevo a povrch roviny, zatímco mince je z kovu...). Následně je třeba měnit úhel sklonu, proměřovat jej úhloměrem a zaznamenávat vzdálenost, do které mince spuštěná z konce nakloněné roviny délky l dojde. Experimentálně zjištěné hodnoty poté srovnáváme s hodnotami stanovenými pomocí obou výše popsáných modelů.

Jaká je základní myšlenka úlohy? Model 1 dává tím větší hodnoty uražené vzdálenosti, čím větší je úhel náklonu. Maximální hodnoty $x_{1max} = \frac{l}{f_2}$ by bylo bez ohledu na koeficient tření na nakloněné rovině dosaženo pro úhel 90 stupňů (tj. volný pád). Tak to v praxi určitě fungovat nebude. Naopak podle druhého modelu bude nastávat maximum příslušné funkce pro úhel menší, než je 90 stupňů³⁵, přičemž u volného pádu bude uražená dráha nulová. Pro menší úhly náklonu (ne tak malé, že se mince vůbec nerozjede, v tom případě jsou samozřejmě chybně oba modely) je však u druhého modelu příliš přísný předpoklad, že z rychlosti na konci nakloněné roviny zůstane pro rovinu vodorovnou pouze její x-ová složka. Dá se tedy předpokládat, že pro velmi malé úhly náklonu jsou zcela chybně oba modely (mince se vůbec nerozjede), pro středně velké úhly bude více v souladu s realitou Model 1 a pro větší úhly (případ blížící se volnému pádu) bude reálný Model 2. Konkrétní hodnoty pochopitelně závisí na koeficientech tření obou rovin a přesném uspořádání experimentu.

Žáci by měli být schopni experimentálně najít maximum a následně (přínejmenším kvalitativně) objasnit to, kdy je přesnější který z užitých modelů. Přínos úlohy spatřuji v její absolutní nenáročnosti na přípravu a pomůcky, v přímočarém srovnávání naměřených hodnot s hodnotami teoretickými zjištěnými pomocí daných modelů i v možnostech diskuze nad výsledky měření a ovlivněním experimentu různými faktory.

Úlohu by bylo možné pojmut jako badatelskou³⁶, kdy by po žácích bylo vyžadováno nejen provedení experimentu, ale rovněž vyvinutí odpovídajícího modelu (či modelů) a následné srovnání teorie s experimentem. V rámci standardní vyučovací hodiny v běžné gymnaziální třídě to však nepokládám za reálné³⁷, protože formulace matematického modelu by byli schopni jen ti nejlepší žáci a u ostatních by se úloha zredukovala na prosté odhalení experimentálního faktu bez jakéhokoliv propojení s fyzikálními zákonitostmi. Nedošlo by k rozvíjení instrumentální zkušenosti žáků (Mentlík, Slavík, & Coufalová, 2018), kteří by zůstávali pouze u běžné zkušenosti nemající se samotným obsahem učiva v rámci oboru mnoho společného. Kvasz (2015) uvádí, že mezi běžnou zkušeností a zkušeností instrumentální se rozevírá propast, kterou je potřeba (mimo jiné volbou vhodných učebních úloh) překlenout tak, aby žák mohl oboru skutečně porozumět. Uvedený příklad demonstruje rozdíl mezi umírněným a radikálním konstruktivismem. Radikální pojetí konstruktivismu (zde demonstrováné badatelským pojetím dané úlohy

³⁵ Exatní určení extrému pomocí derivace je možné, leč poněkud komplikované, neboť získáváme značně složitou goniometrickou rovnici. Extrém je však možné stanovit snadno numericky.

³⁶ Ve smyslu nasměrovaného či otevřeného bádání. Do běžných definic badatelsky orientovaného vyučování v úrovni potvrzujícího bádání se vejdou i klasické laboratorní práce zaměřené např. na ověření platnosti dříve vyvozeného vztahu.

³⁷ Jiná situace je, pokud by šlo o dlouhodobější samostatný či týmový projekt.

s minimem instrukcí od učitele) naráží na bariéry dané školskou praxí, zatímco umírněný přístup zařazující konstruktivistické prvky (žáci nemají přesně danou strategii pro uvedený experiment, jsou tlačeni k co nejefektivnějšímu postupu směrem k danému výsledku a k průběžnému vyhodnocování dat, ale zároveň znají metody a základní body postupu) má potenciál zvýšit atraktivitu laboratorní práce pro žáky a zároveň, v případě správného uchopení, přispět k rozvoji jejich instrumentální zkušenosti.

Uvedený příklad měl za cíl demonstrovat obecně aplikovatelný přístup při tvorbě laboratorních prací. Nedomnívám se, že cílem by mělo být úplné zavržení klasických „procedurálních“ laboratorních prací a jejich nahrazení konstruktivisticky pojatými úlohami. Pro zvládnutí základních dovedností v laboratoři, získání dobrých návyků při práci s pomůckami apod. jsou klasické úlohy vhodné. Na druhé straně si myslím, že zařazování pouze prací s jasně daným pracovním postupem a doplňováním výsledků do předem připravených tabulek, z nichž jsou následně dopočítávány průměry a případně další veličiny, rovněž není dobrou cestou a laboratorní práce s konstruktivistickými prvky mají ve školách své místo.

Poděkování

Příspěvek byl realizován v rámci projektu OP VVV Didaktika – Člověk a příroda A, reg. číslo CZ.02.3.68/0.0/0.0/16_011/0000665. Autor děkuje všem učitelům, kteří byli ochotni se zapojit do výše popsaneho dotazníkového šetření.

Literatura

1. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *America's lab report: Investigations in high school science*. National Academies Press, 2006. Dostupné z: sarwanto.staff.uns.ac.id/files/2009/03/11311-laboratory.pdf (citováno dne 18. 4. 2019).
2. BROWNELL, H; WADE, F. B. *The Teaching of Science and the Science Teacher: The Relationship of Science Teaching to Education in General, with Special Reference to Secondary Schools and the Upper Elementary Grades*. Century Company, 1925.
3. HERRON, M. D. The nature of scientific enquiry. *The school review*, 1971, 79(2): 171-212.
4. JANÍK, Tomáš, et al. *Kvalita (ve) vzdělávání: obsahově zaměřený přístup ke zkoumání a zlepšování výuky*. Masarykova univerzita, 2013.
5. MENTLÍK, P., SLAVÍK, J. & COUFALOVÁ, J. 2018. Kritická, klíčová, dynamická místa kurikula a klíčové koncepty – konceptuální vymezení a příklady z výuky geovéd. *Arnica*, 8: 9–18.
6. KOHOUT, J. 2017. Několik *netradičních* laboratorních úloh simulujících postupy fyziků. Přednáška na Veletrhu nápadů učitelů fyziky 22. Dostupné z: www.vnufof.cz/program_konference.php (citováno dne 18. 4. 2019).
7. KVASZ, L. *Inštrumentálny realismus*. Pavel Mervart, 2015.

Kontaktní adresa

Mgr. Jiří Kohout, Ph.D.

Oddělení fyziky, KMT, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni

Klatovská 51, 301 00 Plzeň

Telefon: +420 377 636 305

E-mail: jkohout4@kmt.zcu.cz