

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

LABORATORNÍ PRÁCE Z MECHANIKY A ELEKTŘINY NA
GYMNÁZIU
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Daniel Aul

Specializace v pedagogice: Fyzika se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: doc. Mgr. Jiří Kohout Ph.D.

Plzeň, 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 2022

.....
vlastnoruční podp

Laboratorní práce z mechaniky a elektřiny na gymnáziu

Daniel Aul

Anotace

Bakalářská práce se skládá z pěti částí. První část je zaměřená na shrnutí toho, jak vidí česká a světová literatura laboratorní práce z fyziky.

Druhá část je věnována analýze laboratorních cvičení navržených v příslušných gymnaziálních učebnicích a zhodnocení, do jaké míry zahrnují v sobě badatelsky zaměřenou výuku.

Třetí část obsahuje rozhovory s učiteli fyziky na gymnáziu zaměřené na jejich přístup k laboratorním pracím.

Čtvrtá část je věnována navrhnutí badatelsky zaměřené laboratorní práce.

V páté části jsou uvedeny poznatky z ověření jedné z laboratorních prací na gymnáziu.

Laboratory works from mechanics and electricity on grammar school

Anotation

This thesis consists of five parts. The first part focuses on summary of how the Czech and international literature views laboratory works from physics.

The second part analyses laboratory works, that are designed in certain grammar school workbooks and evaluation, how much they include inquiry focused teaching.

Third part has interviews with teachers from grammar school focused on their approach to laboratory works.

Fourth part deals with designing inquiry laboratory works from physics.

Finally, the fifth part contains findings from a verification of one of the designed laboratory works on grammar school.

Klíčová slova

Badatelsky orientovaná výuka, interdisciplinární výuka, laboratorní práce z fyziky

Poděkování

Dovoluji si tímto způsobem poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Mgr. Jiřímu Kohoutovi Ph.D. za neutuchající vstřícnost, cenné rady, nápady a připomínky při tvorbě této práce. Také bych rád poděkoval mé nejbližší rodině za stálou podporu, ohleduplnost a zázemí nejen při vypracování této práce, ale při celém studiu. Veliké díky patří i RNDr. Miroslavu Randovi Ph.D. za pomoc při ověřování jedné z laboratorních prací.

OBSAH

Úvod	2
1. LABORATORNÍ PRÁCE POHLEDEM ODBORNÉ LITERATURY	4
1.1 LABORATORNÍ PRÁCE JAKO ORGANIZAČNÍ FORMA VÝUKY	4
1.2 CÍLE LABORATORNÍCH PRACÍ	5
1.2.1 Česká literatura.....	5
1.2.2 Moderní světová literatura.....	5
2 ANALÝZA LABORATORNÍCH PRACÍ Z MECHANIKY A ELEKTRINY NA GYMNÁZIUM S OHLEDEM NA ZAŘAZENÍ BADATELSKÝCH POSTUPŮ	8
2.1 BADATELSKY ORIENTOVANÁ VÝUKA.....	8
2.1.1 Typy badatelsky orientované výuky	10
2.2 INTERDISCIPLINÁRNÍ POJETÍ VÝUKY	11
2.2.1 Interdisciplinární laboratorní práce.....	12
2.3 ANALÝZA LABORATORNÍCH CVIČENÍ V DOSTUPNÝCH ZDROJÍCH.....	12
2.3.1 O. Lepil, P. Šedivý – Fyzika pro gymnázia	13
2.3.2 F. Živný, O. Lepil - Praktická cvičení z fyziky	13
2.3.3 J. Fuka, V. Frei, M. Svoboda, J. Veverka - Cvičení z fyziky.....	13
2.4 SHRNUÍ	14
3 ROZHOVORY S UČITELI FYZIKY.....	15
3.1 1. TÁZANÁ UČITELKA	15
3.2 2. TÁZANÁ UČITELKA	17
3.3 SHRNUÍ	19
4 NÁVRH NOVÝCH LABORATORNÍCH PRACÍ Z MECHANIKY A ELEKTRINY	20
4.1 URČENÍ YOUNGOVA MODULU PRUŽNOSTI, POISSONOVY KONSTANTY A MEZE PEVNOSTI MATERIÁLU – PRACOVNÍ LIST.....	21
URČETE YOUNGŮV MODUL PRUŽNOSTI, POISSONOVU KONSTANTU A MEZ PEVNOSTI – PRO VEDOUcí LABORATORNÍ PRÁCE	23
4.2 URČETE KOLIKA KAPKAMI LZE VYPUSTIT VODU Z KAPILÁRY A NÁSLEDNĚ URČETE HMOTNOST JEDNÉ KAPKY – PRACOVNÍ LIST.....	25
URČETE KOLIKA KAPKAMI LZE VYPUSTIT VODU Z KAPILÁRY A NÁSLEDNĚ URČETE HMOTNOST JEDNÉ KAPKY – PRO VEDOUcí LABORATORNÍ PRÁCE	26
4.3 DALŠÍ NÁVRHY NA BADATELSKY ZAMĚŘENÉ LABORATORNÍ PRÁCE Z FYZIKY	29
4.3.1 Určení co nejvíce fyzikálních vlastností materiálu.....	29
4.3.2 Určení periody kmitu prádlové gumy.....	30
4.3.3 Proměření vlastností elektrického obvodu s vadnými součástkami	30
5 OVĚŘENÍ NAVRHNUTÉ LABORATORNÍ PRÁCE	31
5.1 PRÁCE V LABORATOŘI	31
5.2 VYHODNOCENÍ ODEVZDANÝCH PROTOKOLŮ	32
ZÁVĚR.....	34
SEZNAM LITERATURY	35
ELEKTRONICKÉ ZDROJE	- 39 -

Úvod

V dnešní době dochází k neustálému reformování školství, kdy se škola snaží co nejlépe připravit studující žáky na praktický život. Tato reforma se dotýká tedy i přírodovědných předmětů, které se ve škole vyučují. I přesto, že je fyzika vědou, která zkoumá přírodní jevy a zákonitosti, se kterými se člověk stýká dennodenně, příznivců tohoto vědního odvětví stále ubývá. Úkolem učitelů je tedy zajistit, aby výuka fyziky byla zábavná, srozumitelná a použitelná v praktickém životě. A právě pro využití fyziky v praktickém životě mají největší podíl laboratorní cvičení. Díky těmto hodinám si žáci mohou potvrdit v praxi to, co se zatím učili jen v teorii a to může mít za následek vybudování kladného vztahu k fyzice jako takové. Dnešní české školství se ovšem potýká s problémem týkajícím se časové náročnosti přípravy dané laboratorní práce, tak i s časovou dotací (maximálně dvě hodiny laboratorních prací týdně v prvním, druhém, třetím a čtvrtém ročníku gymnázia bez dělené hodiny) a v neposlední řadě i úbytku lektorů, kteří jsou kvalifikováni na vedení těchto prací. To má za následek, že laboratoře z fyziky jsou většinou dokola omílané práce z minulého století, které již svou stereotypní povahou studenty pravděpodobně nenadchnou. Proto bych svoji bakalářskou práci chtěl věnovat právě problematice originálních fyzikálních laboratorních prací, které budou mít pro své problémy využití i v praktickém životě.

1. LABORATORNÍ PRÁCE POHLEDEM ODBORNÉ LITERATURY

1.1 LABORATORNÍ PRÁCE JAKO ORGANIZAČNÍ FORMA VÝUKY

Fyzika jako taková je založená jak na teorii, tak na experimentech v praxi. Teorie se v kurikulu vyskytuje hojně, zatímco experimenty a praktické ověření se objevují primárně v laboratorních cvičení. Ovšem v tom, co přesně znamená pojem laboratorní práce a jaké mají význam, se již názory liší. Ačkoliv laboratorní práce jsou nedílnou součástí výuky přírodních věd, samotný pojem laboratorních prací chápeme spíše intuitivně a o přesnou definici se zatím opřít nelze. Setkáváme se ovšem s mnoha pokusy, které se snaží přesně vystihnout charakter těchto prací.

Velmi detailně se této problematice věnuje America's lab report (National Research Council, 2005). Tato práce o 255 stranách pojednává o historii, přítomnosti a perspektivě laboratorních cvičení z fyziky. Autoři této publikace uvádějí následující tvrzení: „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.“ Tato definice poskytuje i možnost práce s reálnými daty z astronomie, klimatických změn a dalších obsahově větších databází, které pochází přímo z reálného světa. Vyvrací také tvrzení, že laboratorní práce spočívá v tom, že učitel poskytuje žákům analýzu simulovaných dat bez jakékoliv opory v hmotné skutečnosti. Dle tohoto textu lze říct, že vzdělávání v oboru přírodních věd zahrnuje poznávání metod a procesů vědeckého výzkumu a znalosti, které skrze tento výzkum získáme. Tento vědecký proces se přímo zaměřuje na vysvětlování přírodních jevů. Též vyzdvihuje důležitost se učit nejen o vědě jako takové, ale právě i o vědeckých postupech. Staví tedy studenty do role experimentálních vědců, kteří se díky svému aparátu snaží ověřit daný přírodní jev. Tento přístup je v souladu například s mezinárodním srovnávacím šetřením PISA (Programme for International Student Assessment), kde jsou odlišovány úlohy z přírodních věd a tzv. úlohy o přírodních vědách, které se právě týkají principů vědecké práce, designování výzkumu, zpracování a interpretace dat z něj a dalších záležitostí, které nejsou zcela oborově specifické.

1.2 CÍLE LABORATORNÍCH PRACÍ

1.2.1 ČESKÁ LITERATURA

Pokud nahlédneme do české literatury, která se zabývá problematikou fyzikálních praktik, zjistíme, že autoři nezanedbávali vědeckou stránku věci a celkovou týmovou spolupráci (Lepil a Živný 1965). Práce sloužily tedy spíše k ověření jednotlivých jevů a celkovému proměření pomocí různých pomůcek. Badatelsky zkoumaná výuka je zde ovšem zahrnuta pouze v malé míře nebo vůbec.

1.2.2 MODERNÍ SVĚTOVÁ LITERATURA

Co se týče literatury z moderní doby pojednává o hlavních cílech praktik například článek Investigating the landscape of physics laboratory instruction across North America (Holmes a Lewandowski, 2020). Jeho autoři rozřadili cíle laboratorních prací do kategorií. Těmito kategoriemi jsou: cíl výzkumu, přístup studentů k práci, modelování aparátů, analýza dat a komunikace ohledně výsledků měření. Výzkum byl realizován pomocí dotazníku, který vyplnili pedagogové, doktorandi a končící vysokoškolští studenti.

- **Cíl výzkumu:**
Ohledně způsobu výzkumu byla nejvíce frekventovaná odpověď, že cílem výzkumu je ověřit známé fyzikální principy skrze experimentální testy. Dále sem také autoři zařadili prozkoumávání otázek, kde je odpověď na ně pro studenty neznámá.
- **Přístup studentů k práci:**
V hojné většině zde respondenti dotazníkového šetření upřednostňují práci ve skupinkách. Dále se akcentuje například navrhování vlastního řešení problému díky svému vlastnímu aparátu.
- **Modelování aparátů:**
V této kategorii převažuje nejvíce návrh užití matematického výpočtu k přibližnému předpovědění výsledku měření.
- **Analýza dat:**
Zde autoři vyzdvihují nejvíce dva důležité body při analýze dat. Těmi jsou

určení chyby měření a použití počítačů ke správnému zpracování dat a jejich vizualizaci.

- **Komunikace ohledně výsledků měření:**

Ve finální kategorii převažuje nejvíce bod ohledně správného vypracování laboratorních protokolů.

Další článek pojednávající o cílech laboratorních prací je Transforming physics laboratory work from ‘cookbook’ type to genuine inquiry (Dunnett, K., et al. 2020). Jak je již z názvu patrné, tento článek akcentuje samostatnost studentů. Důraz je tedy kladen na to, aby práce povzbuzovaly zvědavost a zkoumavost studentů ve vědě. Dává do popředí i například přípravu samotnou na laboratorní práci ze strany studentů. Ta spočívá v tom, že v časovém předstihu si studenti vyberou práci, na kterou budou dělat cvičení a k ní jsou motivováni si zjistit podstatné věci, aby společně našli řešení problematiky.

Dále již zmiňovaná publikace America’s lab report dělí hlavní cíle laboratorní práce takto:

- **Ovládnutí obsahu daného oboru**

To zahrnuje hlavně porozumění vědeckým principům a faktům.

- **Rozvíjet vědecké zdůvodňování**

Tedy snaha, aby student dokázal najít odpověď na dané otázky pomocí svých experimentů. Zahrnuje tvoření a následné upravování modelů tak aby to mělo za následek co nejpřesnější výsledek.

- **Porozumět složitosti a nejednoznačnosti vědecké práce**

Tato kategorie zahrnuje zvláště vliv chyb měření a to, jak správně pochopit a interpretovat naměřená data.

- **Rozvíjet praktické dovednosti a manuální zručnost**

Zde se studenti učí, jak bezpečně ovládat nástroje potřebné k práci, které nadále využívají k pečlivé realizaci experimentů.

- **Porozumění podstaty vědy**

Díky porozumění podstaty vědy si studenti uvědomí, že věda je projevem nikdy nekončící snahy člověka o pochopení podstaty světa.

- **Podněcovat zájem o přírodní vědy a o jejich studium**

Tedy uvědomění si důležitosti vědy a jak nezbytná je pro život každého člověka.

- **Rozvíjení týmové práce**

Tento bod akcentuje důležitost správné komunikace a následné spolupráce ve skupině s cílem dosáhnout co nejefektivněji výsledků.

Dalším zajímavým článkem, který se problematice laboratorních cvičení věnuje, je Best practice for instructional labs (Smith a Holmes, 2021). Ten rozděluje praktika do dvou rovin. Na jedné straně jsou praktika ověřovací. V nich studenti docházejí k hlubšímu porozumění látce, kterou měli možnost probrat jen teoreticky, skrze demonstrace, které, jak již z názvu patrné, ověří, že teorie je správná. Na druhé straně jsou praktika experimentální, které opět studenty staví do rolí experimentálních vědců, kteří se snaží potvrdit teorii skrze pokusy. V rámci těchto praktik si studenti sestavují své modely řešení a pokusy.

Pokud tedy chceme pojednávat o definici cvičení jako takové, můžeme říct, že autoři publikací se shodují v nezákladnějších bodech. V moderní době se dává čím dál tím více do popředí samostatnost studenta, aneb motivace žáka, aby sám předvedl, jak by danou problematiku řešil. Díky této motivaci je žák „nucen“ si zjistit ty nejpotřebnější informace k práci a následně dojde i k mnohonásobně většímu porozumění látce a celkovému nadšení pro fyziku jako takovou.

2 ANALÝZA LABORATORNÍCH PRACÍ Z MECHANIKY A ELEKTŘINY NA GYMNÁZIU S OHLEDEM NA ZAŘAZENÍ BADATELSKÝCH POSTUPŮ

V této kapitole rozebereme to, jakým způsobem jsou laboratorní práce pojaté v běžně používaných učebnicích a příručkách ČR. S ohledem na zaměření této práce na badatelské přístupy je však nejprve rozebrat, co vlastně je myšleno badatelsky orientovanou výukou. To bude provedeno v části 2.1. S badatelským přístupem velmi blízce souvisí interdisciplinarita v přírodních vědách, které se ve vztahu k laboratorním pracím budeme věnovat v části 2.2. Konečně v části 2.3. budeme analyzovat již existující laboratorní práce právě s ohledem na to, jak zohledňují badatelské a interdisciplinární přístupy.

2.1 BADATELSKY ORIENTO VANÁ VÝUKA

V dnešní době moderních technologií a internetu není tak důležité memorovat fakta a informace, jako spíše tato fakta umět zpracovat, porozumět jim a dále je využít. Z toho důvodu jsou hledány stále nové metody, jak studenty „trénovat“ v této disciplíně. Jedna z těchto metod je badatelsky orientovaná výuka. Princip badatelsky orientované výuky spočívá zejména v samostatnosti žáka. Jak již patrné z názvu, metoda staví žáka do role badatele. Žák samostatně poznává skutečnosti, objevuje je, vyhodnocuje je a tím se je i učí. Tento aktivní přístup k výuce nejenže přispívá k lepšímu porozumění látky, ale i větší motivaci k tomu, aby se žák kvalitně naučil danou problematiku. Ovšem, jak řečeno dříve, zatím je otázkou, do jaké míry uplatňovat badatelsky orientovanou výuku, která je obvykle chápána jako specifická strategie vycházející z obecnějšího konstruktivistického paradigmatu rozvíjejícího se již od 1. poloviny 20. století na základě prací psychologů jako byli Piaget a Vysogtský. Přesnější definice badatelsky orientované výuky je otázkou odborné diskuze jdoucí nad rámec této práce, podrobnosti k tomuto tématu jsou uvedeny například v knize Dostála (2015).

Při výuce má badatelsky orientovaná výuka výhody například v tom, že hodina probíhá tím způsobem, kdy jsou žáci více aktivní, než učitel sám. Díky tomuto aspektu je potom žák „zaměstnán“ daným problémem do té míry, že si ho začne lépe vstřebávat do paměti, a tedy dojde k lepšímu zapamatování, než by mu poskytoval frontální přednes. Již se uplatňuje postup při výuce, kdy například učitel dá dopředu vědět žákům, co se bude probírat danou hodinu a žáci si dopředu připraví, co nejvíce poznámek, které je zajímají k tématu. Na hodině

se poté tato problematika probere a žáci jsou více motivováni v hodině aktivně participovat. Prvky badatelsky orientované výuky mohou být i ve formě experimentů na doma. Jelikož při limitované časové dotaci se nestihnou všechny pokusy připravit a demonstrovat na hodině, lze ty jednodušší pokusy dát žákům jako domácí úkol, kdy oni doma provedou experiment, zdokumentují a poté vysvětlí, co pozorovali a snaží se objasnit příčiny jevu. Na vyšším gymnáziu se můžeme poté setkat, že hodiny prakticky vedou žáci sami. Tedy žákům se dopředu řekne nějaké téma, žáci ho společně zpracují a poté prezentují téma a sami si odpovídají na otázky.

Prvek badatelsky zaměřené výuky může být například i projekt. Za příklad mějme třeba, že je žákům dán určitý problém, který má ovšem opodstatnění v reálném světě, například přivedení elektřiny do vzdálené vesnice. Žáci poté musejí vypracovat, v našem případě, jak by přivedli elektřinu od elektrárny do vzdálené vesnice. Zde žáci vypočítají energie, práci, suroviny, ale i například náklady, které se musejí využít, aby to mělo za následek úspěšné kompletování projektu.

Co se týče laboratorních prací, jak již zmíněno, je otázkou, jaký stupeň badatelsky zaměřené výuky v laboratoři uplatnit. Tato otázka je v dnešní době velmi diskutované téma, jelikož se stále jedná o novou výukovou metodu. Je totiž hned několik způsobů, jak badatelsky pojmout výuku. Například můžeme žákům pouze říct problém a vynechat v postupu mnohé body, na které si žáci mohou přijít sami. Pokud chceme mít ještě více badatelsky zaměřenou laboratorní práci, pak například dáme žákům zadání se seznamem pomůcek, ovšem postup si musí vymyslet sami. Další stupeň badatelství je takový, že žákům dáme úkol, ale pomůcky a postup si musí vymyslet samostatně. A poté je ten nejvyšší stupeň badatelství, který lze uplatnit například při měření neznámého materiálu. To spočívá v tom, že je žákům rozdaný daný materiál a oni musí sami materiál proměřit a zjistit co nejvíce vlastností pouze s pomůckami, které jsou dostupné v laboratoři.

Je tu i druhá stránka věci, a to sice ta, že žáci s postupem času by měli umět zpracovat data. Tedy správně určit chyby měření, odchylky, apod. A právě zde se již badatelsky orientovaná výuka ubírá, jelikož žáci v této problematice potřebují být vedeni kantorem, aby správně pochopili, jak analyzovat data a zpracovat protokoly. Z těchto úvah pramení i kritika badatelsky a obecně konstruktivisticky zaměřených přístupů opírající se o poznatky z pedagogické a vývojové psychologie, jež je uvedena například v práci Kirschnera, Swellera a Clarka (2006).

Na vyšším gymnáziu může být problém i třeba komplexnost různých laboratorních prací. Žáci by poté velmi obtížně hledali řešení na složité úlohy, což by mělo za následek negativní dopad na žáka nebo to, že by laboratorní práce trvala nepřiměřeně dlouho.

Obecně je stále diskutovaným tématem, jak moc by měli být žáci při laboratorní práci vedeni návodem a učitelem. Ovšem například u nižších ročníků gymnázia, či na základní škole by prvky badatelsky zaměřené výuky by rozhodně mohly být vhodným doplňkem výuky přírodovědných předmětů, jelikož žáci probádají základní jevy, které doposud mohli znát pouze z učebnice. Dojde tak tedy k mnohonásobně hlubšímu porozumění, než kdybychom žákům učivo prezentovali frontálně.

Badatelsky zaměřená výuka jako taková je v dnešní době stále ještě limitovaná, jelikož se jedná o celkem nový výukový postup. Tedy zjišťuje se například náročnost pro studenty, zda jsou schopni provádět badatelství na různých úrovních. Dalším problémem badatelsky zaměřené výuky se může jevit i nedostatečná časová dotace. Mnoho gymnázií má například dotaci jednu hodinu týdně pro laboratorní práce. To poté značně limituje práci v tom smyslu, že žáci nejdříve musí vlastně přijít na to, jak měřit danou práci, což zabere spoustu času, jelikož jim není postup předložen předem. Následné provedení může v sobě zahrnovat mnoho chyb, protože žák si postup vymýšlí sám a nemusí být plně obeznámen se všemi chybami, kterých se může dopustit, jelikož postrádá mnohé zkušenosti v laboratorních pracích.

2.1.1 TYPY BADATELSKY ORIENTOVANÉ VÝUKY

Jak již zmíněno, badatelskou výuku dle strukturovat dle úrovně bádání. Klasická klasifikace se opírá o práce Schwaba (1962) a Herrona (1971). Ti rozlišují bádání na 4 úrovně.

2.1.1.1 Potvrzující (úroveň 0)

U této úrovně je známa výzkumná otázka, metodický postup a očekávané výsledky/odpovědi. Jedná se tedy o, do dnešní doby, typickou laboratorní práci, kdy je žákům předloženo, co budou měřit, jak to budou měřit a poté i jak shrnout výsledky.

2.1.1.2 Strukturované (úroveň 1)

Zde je známa výzkumná oblast a metodický postup, ale očekávané výsledky a odpovědi známy nejsou. Tedy jedná se o takové laboratorní práce, u kterých studenti ví, co budou měřit, jak to budou měřit, ale neví, co přesně za výsledky jim vyjde.

2.1.1.3 Nasměrované (úroveň 2)

V tomto typu badatelsky orientované výuky je známa pouze výzkumná oblast. Jak již z názvu patrně, žáky pouze nasměrujeme k možnému řešení problému, ovšem postup si již budou muset vymyslet sami. Stejně tak výsledky nebudou žákům dopředu odhaleny.

2.1.1.4 Výzkumná oblast (úroveň 3)

V této oblasti badatelsky ověřené výuky není žákům uvedeno, co budou měřit, ani jak to budou měřit, ani co jim vyjde za výsledky. Tato práce je tedy badatelská v největší možné míře.

Badatelsky orientované práce můžeme dělit ještě podle toho, zda je žákům zadána teorie, či technika analýzy a interpretace dat (Bucková, 2008), ale pro tuto práci postačí výše zmíněné rozdělení. Tedy při navrhování laboratorních prací je třeba i se rozhodnout, jak moc badatelsky budou žáci pracovat. Každá úroveň je jinak časově náročná. Celkově je hlavním problémem spíše nepraktičnost realizace vyšších forem badatelsky orientované výuky v prostředí školy. Nejnáročnější se jeví badatelsky orientovaná laboratorní práce na úrovni 3, jelikož žáci musí vymyslet vše. Tudíž pokud chceme navrhovat a úspěšně provádět badatelsky orientované práce, musíme mít povědomí o zdatnosti žáků a časové náročnosti a komplexnosti laboratorní práce. Je také nutno zamezit tomu, aby žáci v badatelském zaujetí pouze nezkoušeli náhodně různé metody bez výsledku, tedy nějaký zásah kvalifikovaného odborníka je na místě. Tato bakalářská práce obsahuje badatelsky orientované práce na úrovni 2 (například určení Youngova modulu pružnosti) a navrženou laboratorní práci na badatelské úrovni 3 (určení vlastností polyimidové fólie). Tyto práce jsou rozpracovány v kapitole 4.

2.2 INTERDISCIPLINÁRNÍ POJETÍ VÝUKY

Interdisciplinárním pojetím výuky se rozumí pojetí výuky, které v sobě obsahuje prvky (informace, techniky a principy, nástroje) z dvou nebo více předmětů a tyto předměty tím propojuje. Nabízí tak perspektivu řešení různých problémů a témat, což poté činí kurikulum více kompaktní a konzistentní.

Zeidmane a Cernajeva (2011) uvádí, že hlavním problémem je mechanické studování konkrétních jevů, které si žáci poté nedokážou propojit s ostatními vědními obory. Proto je tedy nutno, aby se vyučovalo interdisciplinárně, což umožní žákům propojit různé oblasti vyučovaných oborů. To může mít opět za následek větší pochopení celistvosti vědy jako

takové, ale i motivaci a nadšení, které povede žáka k lepším výsledkům a možnému celoživotnímu vzdělávání.

2.2.1 INTERDISCIPLINÁRNÍ LABORATORNÍ PRÁCE

S interdisciplinární výukou je úzce spjatá i otázka, jak poté provádět laboratorní práce, které v sobě mají prvky interdisciplinární výuky. Po probádání zadané literatury jsem nenarazil na laboratorní cvičení, které by explicitně propojovalo jednotlivá odvětví vědy, a bylo vhodné pro standardní středoškolskou výuku. Taková cvičení lze najít pro úroveň vysoké školy, kde je však podstatně větší časová dotace. Příkladem je třeba práce Van Heckeho et al. (2005) obsahující popis čtyř velmi komplexních a interdisciplinárních laboratorních úloh vyučovaných společně instruktory z různých oborů, přičemž každá z nich zahrnovala tři čtyřhodinové výukové bloky (Van Hecke et al., 2005). Jednalo se tak spíše o projektovou výuku.

Absence na středoškolské úrovni realizovatelných interdisciplinárních laboratorních cvičení je možná důsledkem toho, že se u laboratorního cvičení většinou zamýšlí vyzkoušet v laboratoři pouze látku, která byla v dané období probrána. Tedy jakékoliv další provázání s ostatními předměty by mohlo mít za následek rozptýlení pozornosti mezi hned několik problematik, namísto konkrétního problému, který se snažíme vyřešit. Ovšem Full et al. (2015) uvádí, že paradoxně právě provázanost předmětů v laboratorním cvičení, v ideálním případě s badatelstvím, umožní studentům lépe pochopit komplexnost celé úlohy. Odvolává se přitom na celou řadu pozičních dokumentů a vědeckých studií vnímajících interdisciplinární pojetí ve spojení s badatelským přístupem za hlavní trend v budoucím vývoji laboratorních prací. V této bakalářské práci je navrženo a podrobněji rozebráno laboratorní cvičení s prvkem interdisciplinární výuky v kapitole 4, kde dochází k spojení prvků z chemie a fyziky.

2.3 ANALÝZA LABORATORNÍCH CVIČENÍ V DOSTUPNÝCH ZDROJÍCH

V této části se zaměříme na to, jaká laboratorní cvičení jsou dostupná v klasických učebních materiálech a do jaké míry je tam zohledněn badatelský a interdisciplinární přístup. Stručně zmíníme pojetí v aktuálně užívané sadě učebnic pro gymnázia a detailněji se zaměříme na dvě starší, ale velmi komplexní učebnice zaměřené specificky na praktická cvičení z fyziky.

2.3.1 O. LEPIL, P. ŠEDIVÝ – FYZIKA PRO GYMNÁZIA

V těchto klasických učebnicích, které používá většina gymnázií, je uvedeno mnoho cvičení. Autoři uvádějí, že počet cvičení převyšuje počet hodin, na kterých lze tato cvičení realizovat, a tedy si učitel sám musí vybrat, jaká cvičení provede. Učebnice poskytují studentům návod, jak pracovat s pomůckami a přesností měření. Také do jisté míry staví žáka do role badatele, kdy sám musí přijít na dodatečné otázky, které jsou vždy položeny na konci cvičení. Ovšem postup je zde rozebrán krok po kroku a nenabízí badatelství do vyšších úrovní, které je jsou rozebrány v kapitole 2.1. Nenabízí ani interdisciplinární výuku, jelikož cvičení jsou zde určeny speciálně pro proměření dané veličiny bez větší provázanosti s ostatními vědními odvětvími.

2.3.2 F. ŽIVNÝ, O. LEPIL - PRAKTICKÁ CVIČENÍ Z FYZIKY

V této sbírce učebnic nalezneme měření z fyzikálních odvětví jako: mechanika, akustika, termodynamika, elektřina a optika.

V první části učebnice seznamuje studenty s chodem fyzikální laboratoře kapitolami, které vysvětlují význam fyzikálního měření, jak organizovat práci, bezpečnost práce a jak zaznamenat výsledky měření.

Druhá část o mechanice a akustice začíná tím, že se nejprve studenti seznámí, jak měřit základní veličiny, které v tomto odvětví používáme (čas, délku, apod.). Najdeme zde měření různými přístroji (mikrometrem, sférometrem,...), ověřování Newtonových zákonů a vzájemných závislostí fyzikálních veličin různými metodami.

Na stejný způsob jsou následně provedeny kapitoly v odvětví termodynamiky, elektřiny a optiky.

Učebnice poskytuje žákům materiály, které jim pomohou lépe uchopit pojmy fyzikálních veličin a jejich závislostí na sobě. Práce ovšem nejsou badatelsky orientovány. Cvičení spočívají v tom, že se předloží problém, který mají studenti řešit podle pevně daného postupu. Tím se zanedbává samostatné uvažování studentů o tom, jak by šlo konkrétní cvičení změřit.

2.3.3 J. FUKA, V. FREI, M. SVOBODA, J. VEVERKA - CVIČENÍ Z FYZIKY

Velmi rozsáhle popisuje laboratorní fyzikální cvičení na gymnáziu soubor učebnic Cvičení z fyziky. Jedná se o celkem 4 učebnice, přičemž na každý ročník gymnázia připadá jedna

učebnice. Můžeme se tedy zde setkat s laboratorními cvičení z prakticky všech odvětví fyziky, které se vyučují na gymnáziu. Soubor ovšem poskytuje také teorii i příklady k počítání dané látky, čili se nejedná pouze o praktická cvičení z fyziky. Je obohacena i o mnohé praktické využití fyziky v životě (například měření rychlosti jedoucího auta pomocí Dopplerova jevu, apod.), zajímavě popisuje vývoj fyzikálních měření a představuje nejrůznější historické měřidla.

Učebnice opět poskytují postupy, jak měřit, čili jak získat informace z měřidel jednotlivých veličin, nebo jak pracovat s chybou měření a vyhodnocením výsledků. Jak již bylo řečeno, praktické fyzikální měření je pouze část těchto učebnic, zbytek zabírá teorie s příklady, které zajisté pomohou žákům správně zpracovat měření a dostanou díky tomu i nadhled o věci, kterou právě měří.

2.4 SHRNUÍ

V této kapitole bylo shrnuto, co si lze představit pod pojmem badatelsky zaměřená výuka a interdisciplinární výuka. Rovněž byly analyzovány vybrané učebnice pro gymnázia, které obsahují laboratorní cvičení. Laboratorní práce v dané literatuře ovšem badatelsky zaměřenou výuku obsahují v minimální míře. Cvičení jsou v podstatě manuály, kde je podrobně rozebrán krok za krokem při postupu. Tyto práce tedy mohou sloužit jako ověření daných fyzikálních jevů, což žákovi prohloubí znalosti. Ovšem badatelsky orientovaná výuka znalosti prohlubuje do ještě větší míry. Jelikož žák stráví více času přemýšlením nad postupem, tedy musí rozumět tomu, jak daný jev funguje, a tudíž si poté lépe zapamatuje, co vlastně danou laboratorní práci měřil. A právě tyto práce poté mohou mít značný podíl v tom, že v žákovi vzroste zájem o daný obor. Tento zájem poté může přerůst v motivaci a v nejlepším případě v nadšení. A právě toto nadšení a motivace je to, co je v dnešní době pro přírodovědné obory třeba, jelikož zájemců, které se hlásí na tyto studie, stále ubývá, ač se jedná o praktické a zajímavé odvětví vědy. Kapitola 4 je věnována právě těmto fyzikálním laboratořím, kde se uplatňuje badatelsky pojatá výuka.

3 ROZHOVORY S UČITELI FYZIKY

Tato kapitola je věnovaná rozhovorům s učiteli. Zařazena byla proto, aby zmapování současné praxe nebylo založeno jen na poznacích z učebnic, ale i přímo na poznacích „z terénu“. Od rozhovorů jsem si navíc sliboval získání podnětů směrem k návrhu a realizaci nových laboratorních prací a zjištění toho, zda badatelsky zaměřené práce mají dle učitelů z praxe perspektivu. Každý strukturovaný rozhovor trval zhruba 20 minut a probíhal osobně. Jednalo se o učitelky na gymnáziu, které obě vystudovali matematiku a fyziku a jsou absolventkami ZČU FPE. Rozhovor naskýtá i porovnání názorů učitelky, která na gymnáziu učí již 25 let a učitelky, která na gymnáziu učí 3 roky. Otázky jsou navrženy tak, aby čtenáře co nejvíce seznámili s pojetím laboratorních prací a badatelsky orientované výuky z pohledu kantorů. Celkem bylo zařazeno 10 otázek, odpovědi učitelů byly následně obsahově analyzovány metodou tužka-papír bez užití specializovaných nástrojů kvalitativního výzkumu.

3.1 1. TÁZANÁ UČITELKA

- 1) Jak dlouho učíte fyziku?

25 let

- 2) Co by si podle Vás měl žák odnést z fyziky po dokončení střední školy?

Žák by si měl po dokončení střední školy z fyziky odnést všeobecný přehled o fyzice. Měl by tedy vidět spjatost vědy a světa kolem nás, aby dokázal vnímat pozorované přírodní vědy s vědeckým nadhledem.

- 3) Co si představíte pod pojmem „badatelsky pojatá výuka“?

Žákovi je dán nějaký problém a on se pak snaží samostatně naleznou řešení úlohy.

- 4) Do jaké míry reflektují laboratorní práce badatelsky pojatou výuku?

Pouze částečně. Více se badatelsky pojatá výuka uplatňuje na nižším gymnáziu/základní škole, kdy žáci prozkoumávají badatelsky nějaký přírodní jev. Pracovní list poté vypadá tak, že žáci doplňují slova do textu, ovšem čím více jsou starší, tím více doplňují, až poté nastoupí na vyšší gymnázium. Na vyšším gymnázium se již badatelsky řešené úlohy uplatňují méně, jelikož se učitelé snaží žákům podrobněji vysvětlit, jak zpracovávat protokoly, analyzovat data, apod. Například na různých gymnáziích může hrát určitou roli i obor, na který se žák přihlásí. Tedy je-li

na všeobecném, či jazykovém oboru, kdy na všeobecném se rozebírají laboratorní práce více do hloubky.

- 5) Jaké laboratorní práce žáky nejvíce baví, jaké naopak ne?

Žáky nejvíce baví laboratorní práce, kde si dokážou představit, co vlastně v práci dělají. Tedy že si dokážou podložit laboratorní práci se zkušeností z reálného světa, na rozdíl od prací, kde zpracovávají pouze čísla a naměřené hodnoty.

- 6) S čím mají žáci při laboratorní práci největší problémy?

Největší problémy působí žákům matematické operace, tedy převody jednotek, správné zaokrouhlování výsledků, vyjádření neznámé ze složitějšího vztahu, apod. Naopak například postup práce v laboratorním cvičení ve velké většině problém nedělá.

- 7) Jaké jsou limity laboratorních prací (vybavenost třídy, znalosti žáků, časová dotace, apod.)?

Časová dotace. Tedy že na mnohých gymnáziích je nyní hodinová dotace na laboratorní cvičení z u nedostačující. Tato hodinová dotace činí 1 vyučovací hodinu za 2 týdny. Vybavení působí problém ve smyslu, že kvalita pomůcek mnohdy neodpovídá ceně, tedy pomůcky se rychle opotřebují a bylo by třeba neustále nakupovat nové sady pomůcek, se kterými měřit.

- 8) V čem spočívá příprava na laboratorní práce?

Žákům je dopředu řečeno téma. Na začátku laboratorní práce poté je žákům rozdan krátký test ohledně práce, kterou budou žáci v ten den konat. Výsledek z testu je poté započítán do známky z protokolu.

- 9) Změnila byste něco na laboratorních pracích z fyziky?

Větší časovou dotaci, aspoň 2 hodiny týdně. Více by to potom žáky připravit na studium na vysoké škole, pokud si vyberou technický obor, kde se laboratorní cvičení provádějí. Další výhodou je i to, že si naměřené výsledky mohou zkontrolovat na místě přímo s učitelem, což může ovlivnit značně, do jaké hloubky pochopí žák danou problematiku. Také to může mít za následek, že žáci budou navzájem více

spolupracovat.

10) Jak vidíte budoucnost laboratorních prací?

Spíše negativně, v důsledku reformy vyučování fyziky. Díky této reformě se například nebudou vyučovat Newtonovy zákony na základních školách a nižším gymnáziu, což je stěžejní bod výuky fyziky. Výuka fyziky na základních školách a nižších gymnáziích se bude dělit na jádrovou a rozšířenou. To má hned několik dopadů, a to sice, že hodin bude mnohem více, což bude vyžadovat i více lektorů. Ovšem kvalifikovaných učitelů fyziků je i v dnešní době velmi málo. Poté co se týče přihlašování na střední školy, kdy žáci pouze s jádrovou výukou fyziky budou značně pozadu nejen v přijímacím řízení, ale i v následném studiu.

3.2 2. TÁZANÁ UČITELKA

1) Jak dlouho učíte fyziku?

3 roky

2) Co by si podle Vás měl žák odnést z fyziky po dokončení střední školy?

Žák by si měl odnést, že není třeba se bát fyziky jako předmětu, ale brát fyziku jako předmět, který nás učí o zákonitostech světa. Pochopení aplikace matematiky ve fyzice, například jak na sobě závisí veličiny. Aby si žáci mohli ve škole ověřit a zkusit něco, co využijí poté v praktickém životě.

3) Co si představíte pod pojmem „badatelsky pojatá výuka“?

Typ výuky, který by se měl začít upřednostňovat na školách. Jde hlavně o samostatnost, aby na řešení problému žák přišel sám, protože díky tomuto postupu si informace vstřebá lépe, než při frontální výuce.

4) Do jaké míry reflektují laboratorní práce badatelsky pojatou výuku?

To závisí na učiteli. Nějací učitelé se snaží obměňovat laboratorní práce, aby v sobě práce měly prvky badatelsky pojaté výuky, ovšem stále se setkáváme s laboratorními pracemi, které mají přesně dané postupy, kdy žák mechanicky provádí body postupu, aniž by se nad nimi musel nějak více zamyslet.

5) Jaké laboratorní práce žáky nejvíce baví, jaké naopak ne?

Žáky baví samostatný postup při práci. Za úkol mají někdy například vyrobit si jednoduchý aparát, na kterém lze demonstrovat nějaký fyzikální jev nebo veličinu. Žáci tento jev poté vysvětlí díky tomuto pokusu. Tento postup lze uplatnit hlavně na nižším gymnáziu nebo základní škole, kdy si děti poprvé osvojují fyzikální veličiny.

6) S čím mají žáci při laboratorní práci největší problémy?

Většinou jsou to laboratoře, kdy žáci musí odvodit mnoho vztahů a nebo je delší postup, tedy komplexnější laboratorní práce.

7) Jaké jsou limity laboratorních prací (vybavenost třídy, znalosti žáků, časová dotace, apod.)?

Časová dotace, žáci se málo dostávají do laboratoře. Mnohdy i vybavení, protože se většinou jedná o vybavení, které je používáno na ty nejzákladnější laboratorní práce. Tedy když chce učitel připravit pro žáky originální laboratorní práci, mnohdy může narazit na to, že mu v laboratoři nějaké pomůcky chybí.

8) V čem spočívá příprava na laboratorní práce?

Záleží na laboratorní práci, například u badatelské práce je žákům dopředu řečeno jen s jakými pomůckami budou pracovat, nebo co si mají přinést.

9) Změnila byste něco na laboratorních pracích z fyziky?

Vybavení a prostory na škole. Nebo například i propojenost středních škol s vědeckými fakultami. Žáci by například mohli někdy vyjet na exkurzi na nějakou fakultu, kde by mohli pozorovat vybavení a pokusy, které se na gymnáziu vidět nemohou.

10) Jak vidíte budoucnost laboratorních prací?

Ve větším přizpůsobení laboratorních prací do badatelsky pojaté výuky. Žáci by poté měli větší nadšení do studování fyzikálních jevů, nebo možná i do celého studia fyziky jako vědy.

3.3 SHRNUÍ

Na základě rozhovorů lze konstatovat, že se obě tázané učitelky shodly v podstatných bodech. Shodují se například v tom, že fyzika na střední škole má žákovi objasnit přírodní zákony ve světě. Druhá tázaná učitelka dodává, že fyzika pomůže studentům lépe pochopit princip aplikace matematiky ve vědě, a jak důležité je tedy porozumět matematice, abychom mohli plně prozkoumávat nejen obor fyziky. Shodují se též v pojmu badatelsky pojaté výuky, coby snahy, aby žák samostatně vypracoval zadanou úlohu. Také obě konstatují, že především na nižším gymnáziu lze badatelsky orientovanou výuku využívat více, než na gymnáziu vyšším. To hlavně díky tomu, že žáky ještě není potřeba „nutit“ do správné analýzy dat, ale pouze se jim snažit vysvětlit, jak funguje daný jev a to následně ověřit.

V rozhovoru je i vidět rozdílný přístup přípravy k laboratorním pracím. Například druhá tázaná učitelka dává dětem i domácí úkoly v rámci laboratorní práce (například vyrobení jistého aparátu k ověření jevu), jelikož z časových důvodů není možné všechny pokusy demonstrovat ve škole při laboratoři. Obě se opět ale shodují, že nejvíce žáky zajímají laboratorní práce, kde vidí přírodní souvislosti, které lze pozorovat i mimo laboratoře.

Za zmínku stojí odlišný pohled na možnost změnit nějaký aspekt laboratorních prací z fyziky. Zde druhá tázaná učitelka uvádí, že by bylo vhodné spolupracovat s vědeckým zázemím v prostorách fakult, coby vhodným prostředím k tomu, aby žáci poznali dosud neznámá vědecká zařízení a postupy. První tázaná učitelka uvádí, že by zase bylo vhodné rozšířit hodinovou dotaci pro laboratorní práce z fyziky.

Tyto a mnohé další trochu odlišné názory mohou být následkem například toho, jak dlouho daná kantorka učí. Na výsledcích rozhovoru také ovlivnilo, jak se připravovali učitelé na laboratorní práce, kdy samy byly ještě studentkami. Druhá tázaná učitelka také uvádí mnoho kreativních způsobů, které se doposud vídají ve školství jen zřídka, ale které určitě mohou být možnou budoucností pro laboratorní práce i celou výuku fyziky. Může to být například tím, že druhá tázaná učitelka absolvovala studium vysoké školy teprve nedávno, a tedy již vidí jiné možné přístupy ve výuce než první tázaná učitelka, která působí ve školství již 25 let. Z pohledu této práce je však zásadní, že obě vyučující se shodují v tom, že na vyšším gymnáziu se dosud badatelsky zaměřené přístupy neuplatňují zdaleka tolik, jako na nižším stupni. Lze předpokládat, že je to primárně kvůli nedostatku vhodných úloh, což odpovídá tomu, že pro nové netradiční úlohy (jejichž navržení je hlavním úkolem této práce) by mohla existovat poptávka v praxi.

4 NÁVRH NOVÝCH LABORATORNÍCH PRACÍ Z MECHANIKY A ELEKTŘINY

Na základě získaných znalostí z předešlého textu jsem se rozhodl pro následující badatelsky orientované laboratorní práce z fyziky. Jedná se o laboratorní práce, které jsou na druhém stupni badatelství. Žáci ví, co mají měřit, ví i teorii a pomůcky, ovšem neví, jak postupovat.

Po prostudování daných skript z laboratorních prací z fyziky jsem nenarazil na měření Youngova modulu pružnosti, které by bylo v dnešní době proveditelné. V učebnicích se uvádí například určení Youngova modulu ocelové tyče, na které by bylo třeba mít speciální vybavení, které je v dnešní době obtížně dostupné. Proto jsem navrhnul badatelsky zaměřenou úlohu, kterou lze provést s pomůckami, které jsou běžně dostupné na středních školách a materiálem, který lze sehnat velmi jednoduše. Materiály jsou navíc zvolené tak, že jsou pro žáky známé, a tedy dokáží podchytit podstatu daných veličin v reálném životě.

Pro druhou badatelsky založenou práci jsem chtěl navrhnout něco s prvky interdisciplinární výuky. Zvolil jsem tedy měření kapilarity a povrchového napětí. Pro prostudování daných učebnic jsem našel dvě měření na stalagmetrii a kapilární elevaci, ale s běžně dostupnými kapilárami je toto poměrně problematické a časově náročné měřit. Dostupné kapiláry mají poměrně velký poloměr, v důsledku čehož jsou hodnoty kapilární elevace poměrně malé, což vede ke zvýšení nepřesnosti měření. Proto jsem chtěl propojit znalost z chemie, kdy si žáci již v 1. ročníku na vyšším gymnáziu často osvojují v rámci práce se sklem dovednost vyrobit si kapiláry dostatečně malého průměru, a fyziky, kde se typicky ve 2. ročníku učí kapilární jevy a povrchové napětí. Touto laboratorní prací lze poté, jak ukážeme dále, provázat obě výše zmíněné metody (stalagmetrii a kapilární elevaci).

U obou nově navržených prací uvedu (v částech 4.1 a 4.2) pracovní listy připravené pro žáky a rovněž pokyny pro učitele. V části 4.3. pak uvedu náměty na další tři potenciálně zajímavé badatelské laboratorní práce vhodné pro SŠ úroveň, které jsem však v rámci této bakalářské práce již dále nerozebíral ani neověřoval v praxi.

4.1 URČENÍ YOUNGOVA MODULU PRUŽNOSTI, POISSONOVY KONSTANTY A MEZE PEVNOSTI MATERIÁLU – PRACOVNÍ LIST

Úkol:

Určete Youngův modul pružnosti, Poissonovu konstantu a mez pevnosti materiálu.

Pomůcky:

mikrometr, pravítko, závaží, prádlové gummy, gumička, stojan

Teorie:

Youngův modul pružnosti

Youngův modul pružnosti lze definovat jako poměr napětí a jím vyvolané deformace.

Matematicky lze napsat tuto definici jako:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} ,$$

kde E je Youngův modul pružnosti, σ je mechanické napětí v tahu, ϵ je relativní prodloužení.

Povrchové napětí vypočítáme jako:

$$\sigma = \frac{F}{S} ,$$

kde F je síla působící na materiál a S je průřez materiálu

Relativní prodloužení vypočítáme jako:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} ,$$

kde Δl je prodloužení materiálu a l_0 je původní délka.

POISSONOVA KONSTANTA (V MECHANICE)

Poissonova konstanta určuje poměr relativního prodloužení materiálu k jeho příčnému zkrácení. Matematicky lze napsat tuto definici jako:

$$\mu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} ,$$

kde ϵ_y je deformace v příčném směru (kolmém na směr namáhání) a ϵ_x je deformace v podélném směru (směru namáhání).

MEZ PEVNOSTI

Mez pevnosti je maximální hodnota normálového napětí, při které ještě není porušena celistvost materiálu. Vypočítá se jako podíl deformující síly F a průřezu kolmého řezu S , na který tato síla působí. Matematicky tuto definici lze zapsat jako:

$$\sigma_p = \frac{F}{S} ,$$

kde F je síla působící na materiál a S je průřez materiálu.

DODATEČNÉ OTÁZKY

Jaký materiál by nebyl vhodný pro toto měření?

Záleží na tom, jakou vybereme prádlovou gumu při měření meze pevnosti? Pokud ano, tak jak?

Jak by šlo zpřesnit měření?

URČENÍ YOUNGOVA MODULU PRUŽNOSTI, POISSONOVY KONSTANTY A MEZE
PEVNOSTI – PRO VEDOUCÍ LABORATORNÍ PRÁCE

Youngův modul pružnosti

Postup před prací:

- 1) Rozdáme žákům pracovní listy a stručně jim vysvětlíme dané veličiny
- 2) Rozdáme žákům prádlové gumy a gumičky

Postup při práci

Youngův modul pružnosti

- 1) Necháme žáky změřit všechny parametry materiálů, tedy délku, tloušťku a průřez.

Youngův modul lze určit dle vzorce:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

kde E je Youngův modul pružnosti, σ je mechanické napětí v tahu, ϵ je relativní prodloužení.

- 2) Tento vztah se dá také zapsat jako

$$E = F \cdot \frac{l}{S \cdot \Delta l}$$

kde l je původní délka, S je průřez prádlové gumy/gumičky, F je v našem případě síla působící na lanko (tedy tíhová síla závaží) a Δl je prodloužení lanka

Postup práce je tedy takový, že si nejprve žák musí uvědomit, jak měřit dané veličiny.

Například mu musí dojít, že síla působící na materiál je síla tíhová, že tloušťka materiálu se musí měřit mikrometrem apod. Poté mohou přejít k měření samotnému. Nejdříve si zjistí původní délku a průřez gumičky/gumy. U prádlových gum bereme, že průřez je tvaru obdélníku a u gumičky je tvar průřezu čtverec. Dále zavěsí na zkoumaný materiál závaží o známé hmotnosti, čímž určí sílu F působící na materiál. Po zavěšení hmotnosti se gumička/prádlová guma protáhne o Δl . V tu chvíli již zná žák vše potřebné na dopočítání Youngova modulu pružnosti, který vyjde v Pascalech.

Poissonova konstanta (v mechanice)

Poissonovo číslo určuje poměr relativního prodloužení a příčné zkrácení materiálu. Z této definice lze Poissonovo číslo určit jako:

$$\mu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x},$$

kde ϵ_y je prodloužení ve příčném směru (kolmém na směr namáhání) a ϵ_x je deformace ve směru podélném (směru namáhání).

Tedy postup práce je takový, že žák si na gumičku/prádlovou gumu pomocí dvou bodů vynese určitou vzdálenost, zavěsí závaží a pozoruje prodloužení materiálu. Následné prodloužení ve svislém směru naměří. V případě deformace ve směru vodorovném si žák nejprve změří šířku materiálu před zavěšením závaží a po zatížení materiálu změří, o kolik se materiál zúžil. Tím již má žák všechny potřebné informace k vypočítání Poissonovy konstanty v mechanice.

Mez pevnosti

Mez pevnosti lze určit dle vzorce

$$\sigma_p = \frac{F}{S},$$

kde F je síla působící na gumičku/prádlovou gumu a S je průřez materiálu.

Pomocí postupného zavěšování závaží na náš zkoumaný materiál lze odhadnout mez pevnosti. Zde se jedná pouze o přibližnou hodnotu meze pevnosti, což bude muset žák shrnout ve výsledcích. Například máme na gumičce o průřezu $0,04 \text{ mm}^2$ zavěšeno 650 g, přidáme tedy 50 g a gumička se přetrhne. Víme tedy, že mez pevnosti gumičky je něco mezi $16,25$ a $17,5 \text{ N/mm}^2$, ovšem přesně určit tuto hodnotu nelze. Je nutné tedy přikládat závaží po co možná nejmenších dílech, abychom dostali co nejpřesnější hodnoty.

4.2 URČETE KOLIKA KAPKAMI LZE VYPUSTIT VODU Z KAPILÁRY A NÁSLEDNĚ URČETE HMOTNOST JEDNÉ KAPKY – PRACOVNÍ LIST

Úkol:

Vyrobte si ze skleněné trubičky dostatečně tenkou kapiláru, určete z kapilární elevace povrchové napětí a následně určete, kolika kapkami lze vypustit vodu z kapiláry a výsledek srovnajte s teorií.

Pomůcky:

Kapiláry, kahan, mikrometr, pravítko, nádoba s vodou

Teorie:

Kapilární elevace a povrchové napětí

Povrchové napětí je jev, kdy se povrch kapaliny snaží zaujmout co možná nejmenší povrch, lze vyjádřit jako. Pro určení povrchového napětí lze využít vzorce pro kapilární elevaci, tedy

$$h = \frac{2\sigma}{\rho gr}$$

kde h je výška elevace hladiny v kapiláře, ρ je hustota vody, g je gravitační zrychlení a r je poloměr průřezu kapiláry.

Výpočet hmotnosti kapky

Z definice povrchového napětí víme, že

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

kde F je síla působící na kapku a l je obvod kapiláry

DODATEČNÉ OTÁZKY

Jaké chyby nejvíce ovlivní přesnost měření?

URČETE KOLIKA KAPKAMI LZE VYPUSTIT VODU Z KAPILÁRY A NÁSLEDNĚ
URČETE HMOTNOST JEDNÉ KAPKY – PRO VEDOUcí LABORATORNÍ PRÁCE

Postup před prací

- 1) Stručně vysvětlíme pojmy kapilární elevace, deprese, smáčivost a povrchové napětí.
- 2) Rozdáme pracovní listy a pomůcky.

Postup při práci

Kapilární elevace a povrchové napětí

- 1) Žáci by měli nejdřív si umět „vytáhnout“ kapiláru. Pokud bude potřeba, je nutné obeznámit žáky s technikou „vytáhnutí“ kapiláry nad kahanem.
- 2) Poté si žáci kapiláru změří mikrometrem, čímž zjistí poloměr průřezu kapiláry. Poloměr by šlo změřit i pomocí metody, kdy bychom vzali tenký předmět a zasouvali ho do kapiláry až do doby, kdy by se předmět v kapiláře zasekl a následně změřili tloušťku bodu, kde se tenký předmět zasekl. V našem případě se jedná o velice tenké kapiláry, a tedy by bylo obtížné nějaký takový předmět sehnat a navíc by hrozilo poškození kapiláry.
- 3) Žáci naberou do kapiláry vodu z dané nádoby a změří do jaké výšky hladina vystoupala. V tuto chvíli již žáci mají všechny hodnoty k tomu, aby vypočetli povrchové napětí, a to sice ze vzorce:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho gr}$$

kde h je výška do které vystoupí v kapiláře voda, ρ je hustota vody (bereme $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ kg/dm}^3$), g je gravitační zrychlení (uvažujeme, že $g = 10 \text{ m/s}^2$) a r je poloměr průřezu kapiláry

Ze vzorce si vyjádříme povrchové napětí jako:

$$\sigma = \frac{h\rho gr}{2}$$

Výpočet hmotnosti kapky

Jelikož jsme již naměřili povrchové napětí kapky, můžeme nyní vypočítat hmotnost, podle definice povrchového napětí, a to tedy:

$$\sigma = \frac{F}{S} ,$$

kde σ je povrchové napětí, F je síla působící na kapku (v našem případě tíhová) a l je obvod průřezu kapiláry

Tento vzorec tedy lze rozepsat jako:

$$mg = 2\pi r\sigma ,$$

kde m je hmotnost kapaliny uvnitř kapiláry, r je poloměr kapiláry (zanedbáváme rozdíl vnitřního a vnějšího poloměru, jelikož má kapilára velmi tenkou stěnu skla)

Vyjádříme si tedy hmotnost z tohoto vzorce jako:

$$m = \frac{2\pi r\sigma}{g} = \frac{d\pi\sigma}{g} ,$$

kde d je průměr kapiláry

Hmotnost lze vypočítat i například přes vzoreček:

$$m = \rho V ,$$

kde ρ je hustota kapaliny a V je objem kapaliny.

Pokud za objem dosadíme objem válce, dostaneme tedy:

$$m = \rho\pi r^2 h ,$$

kde r je poloměr průřezu válce a h je výška válce, v našem případě tedy výška, do jaké vystoupá kapalina

Lze tedy dosadit za výšku a dostaneme výraz:

$$m = \rho\pi r^2 \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{2\pi r\sigma}{g} = \frac{d\pi\sigma}{g}$$

Výsledkem je poté, že počet kapek je roven (poněkud neintuitivně) jedné

4.3 DALŠÍ NÁVRHY NA BADATELSKY ZAMĚŘENÉ LABORATORNÍ PRÁCE Z FYZIKY

Při tvorbě této práce jsem měl i další nápady na jiné badatelsky zaměřené laboratorní práce z fyziky, které shrnu v této podkapitole.

4.3.1 URČENÍ CO NEJVÍCE FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLU

Tato laboratorní práce zahrnuje 3. stupeň badatelství. Žákům je pouze předložen nový typ materiálu a oni musejí přijít na všechny možné měřitelné vlastnosti materiálu, aniž by věděli, o jaký materiál se jedná, jak mají měřit, nebo jaké výsledky očekávat. Materiál, se kterým žáci pracují, je polyimidová elektricky vodivá fólie. Tento typ materiálu spadá pod tzv. kovové gumy. Jedná se o vodivé plastické polymery, které v sobě mají zabudované metalové ionty, díky kterým vede látka elektrický proud. Tato látka je tažná (dle výrobce se dá délka protáhnout o 35 %), odolná vysokým a nízkým tlakům, teplotám, napětí a většině chemikálií. Díky těmto vlastnostem se většinou využívá v dopravě (letectví), elektronice nebo třeba v bioinženýrství. Pro tuto úlohu je zvolená, jelikož se předpokládá, že s takovou látkou žáci ještě nepřišli do styku, a tudíž pro ně bude nová a budou moct ji probádat. Polyimidové folii již byla didaktiky fyziky věnována pozornost v poněkud jiné souvislosti, konkrétně ve vztahu k mapování elektrického pole a určení tvaru ekvipotenciálních čar (Hubeňák, 2014).

Co se týče fyzikálních vlastností, tak lze si je rozdělit podle odvětví fyziky.

1) Optické vlastnosti

Na první pohled je látka neprůhledná.

2) Rozměry látky

Tloušťka látky je 50 μm . Dále lze změřit délku a objem.

3) Hustota, hmotnost

Výrobce udává, že hmotnost látky je 1,42 g/cm^3 . Díky znalosti objemu látky (jako výsledek násobku tloušťky a délky dvou stran) a hmotnosti (pokud laboratoř disponuje dostatečně citlivými vahami) lze dopočítat hustotu. Hustotu lze také předpovídat na základě, jestli se látka ve vodě potopí, či nikoliv (tedy jestli má hustotu větší, než je hustota vody).

4) Mechanické vlastnosti

Látka je tažná, pevná, není křehká (jak by se mohlo u takto tenké látky zdát).

5) Elektrické vlastnosti

Látka vede elektrický proud. Bez větších problémů lze provést měření rezistivity. Výrobce udává povrchovou rezistivitu jako 120 ohm/cm^2 .

4.3.2 URČENÍ PERIODY KMITU PRÁDLOVÉ GUMY

Touto laboratorní prací lze navázat na práci o Youngově modulu pružnosti, mezi pevnosti a Poissonově konstantě, která zde byla již zmíněná. Opět se jedná o úlohu na druhém stupni badatelství, žáci vědí zadání, teorii, ale postup si musí vymyslet sami. Práce spočívá v tom, že žákům se rozdají prádlové gumy o určité délce. Žáci si změří délku gumy a následně si vypočítají teoretickou hodnotu periody kmitu. Postupují tak, že přidají na prádlovou gumu závaží a nechají kmitat. Po přidání závaží na prádlovou gumu a následném proměření ovšem zjistí, že výsledek neodpovídá výpočtu. Cílem je tedy, aby si uvědomili, že délka se po zavěšení závaží zvětší, tedy zvětší se i perioda.

4.3.3 PROMĚŘENÍ VLASTNOSTÍ ELEKTRICKÉHO OBVODU S VADNÝMI SOUČÁSTKAMI

Tuto úlohu lze pojmut jako laboratorní práci na druhém stupni badatelství. Opět žákům řekneme, jakou veličinu mají změřit a rozdáme součástky. Princip této práce tedy spočívá v tom, že se žákům dá za úkol sestavit nějaký obvod a následně změřit nějakou vlastnost tohoto obvodu (například jaký proud teče určitou součástkou). Ovšem záměrně žákům rozdáme vadné součástky, například vybitou baterii, překlesané vodiče, nefungující ampérmetr (v důsledku rozbité pojistky, což je klasický problém u školních měřicích přístrojích, kdy je lze užít pouze jako ohmmetr voltmetr a ampérmetr na nechráněném proudovém rozsahu, ale chráněný proudový rozsah je nefunkční), apod. Úkolem žáků je tedy přijít na to, v jakém komponentu v elektrickém obvodu je chyba a ten následně vyměnit za funkční. Žáci si tak prakticky vyzkouší hledání a řešení problémů, což je v praxi velmi důležité (především zjištění toho, zda někde je vodivý kontakt či nikoliv).

5 OVĚŘENÍ NAVRHNUTÉ LABORATORNÍ PRÁCE

5.1 PRÁCE V LABORATOŘI

Pro ověření jsem si vybral práci o Youngově modulu pružnosti, Poissonově konstantě a meze pevnosti. Ověření probíhalo na gymnáziu ve třídě septimě, která byla rozdělena do dvou různých skupin po sedmi dvojicích. Laboratoře byly dobře vybavené, každá dvojice měla stojan a dostatek závaží. Jediný menší problém působil drobný nedostatek mikrometrů, ovšem nijak výrazně tento problém nenarušil plynulost cvičení, jelikož ve třídě bylo vždy 6 mikrometrů na 7 dvojic.

Cvičení jsem začal tím, že jsem krátce vysvětlil pojmy a veličiny, které žáci měřili a řekl jsem žákům, že si na řešení úlohy budou muset přijít sami, jelikož podrobný postup by byl v rozporu s badatelsky zaměřenou laboratorní prací. Následně si žáci vzali pracovní listy a pomůcky.

Zprvu tedy žáci si museli nejdříve podrobněji přečíst zadání, aby věděli, jaké veličiny měli měřit. Též jsem sdělil, že by jim postup práce mohl odhalit seznam pomůcek. Záhy poté žáci tedy sestavili stojany a začali zavěšovat závaží na materiály. Díky tomu odhalili sami, že síla působící na materiál je síla tíhová. Problém činilo měření s mikrometrem, jelikož žáci nebyli plně obeznámeni, jak s touto pomůckou pracovat. Vysvětlil jsem tedy princip měření s mikrometrem a žáci dále pracovali opět samostatně. Tím jim došlo, že díky mikrometru lze změřit tloušťku materiálu přesněji než pravítkem. Naměření hodnot probíhalo tedy, až na měření s mikrometrem, v pořádku.

Žáci rovnou v laboratoři okamžitě po naměření hodnot začali vypočítávat veličiny. Vyjádření neznámé ze vzorce žákům nedělalo problémy. Poté se vyskytl ale první problém u výpočtu, a to sice dosazení v základních jednotkách. Žáci měli tendenci dosazovat například v centimetrech namísto metrů. Další problematickou věcí bylo, že žáky zaskočily vysoké naměřené hodnoty Youngova modulu pružnosti. Tyto hodnoty se pohybovaly v řádech desítek miliónů, což je ovšem řádově správně. Mnozí tím byli ale zaskočení a důsledkem toho začali přepočítávat a různě upravovat vzorce, což vedlo k chybám.

Co bylo pozitivní zjištění bylo to, že žáci vcelku rychle pochopili koncept Poissonovy konstanty v mechanice, jelikož se s tímto pojmem ještě nesetkali, protože se jedná o veličinu, která se na gymnáziu většinou neprobírá.

Při mezi pevnosti žáci nejprve začali s měřením na gumičce. To žáky překvapilo, jelikož gumička vydržela před přetržením velkou zátěž, než očekávali.

Závažnějším problémem bylo to, že laboratorní práce zde mohou trvat maximálně 45 minut, což potom mělo za následek, že většina žáků laboratorní práci nestihla celou. Například v první skupině dokázaly měření dokončit pouze dvě dvojice, ve druhé skupině se bohužel nepodařilo cvičení dokončit nikomu.

Kladně žáci ale překvapili i svým nadšením do práce a vzájemnou spoluprací. Dvojice se radily mezi sebou, kooperovali a vysvětlovali si například měření mikrometrem. Mnozí žáci se mě i ptali, zda by si mohli toto měření doměřit na příští hodině, či zda si mohou půjčit pomůcky ze školy domů, aby cvičení dokončili.

Ze cvičení tedy žáci odcházeli s kladným dojmem, částečně i kvůli tomu, že tyto materiály jsou pro ně běžné. Cílem cvičení bylo, aby žáci sami přišli na postup, jak zjistit dané veličiny, aby měli hlubší porozumění ohledně daných veličin a aby lépe určili vlastnosti materiálů, se kterými se denně mohou setkávat. Cvičení tedy proběhlo úspěšně, jelikož žáci všechny tyto body splnili.

5.2 VYHODNOCENÍ ODEVZDANÝCH PROTOKOLŮ

Žáci splnili úspěšně měření. V odevzdaných protokolech poté shrnuli výsledky, kterých docílili. Možná kvůli malému časovému intervalu, po který trvala laboratorní práce, se někteří žáci dopustili v protokolech několika chyb.

Například při výpočtu Youngova modulu dělalo problém určit, v jakých jednotkách Youngův modul vychází. Někteří žáci například uvedli, patrně kvůli tomu, že Youngův modul má stejné značení jako energie, že výsledek Youngova modulu vychází v Joulech. Někteří zase byli toho názoru, že Youngův modul je bezrozměrná veličina.

Dalším problémem se jevilo i například určení rozdílu mezi relativním prodloužením ε a prodloužením materiálu Δl .

Jak již zmíněno, mohl to být následek toho, že laboratorní práce trvala pouhých 45 minut, tedy žáci neměli dostatek času zkonzultovat výsledky, ať už mezi sebou, nebo s vedoucím laboratorního cvičení. Doporučil bych tedy provádět tuto laboratorní práci ve větším časovém úseku, popřípadě například dvoufázově, jelikož žáci budou poté stíhat naměřit všechny veličiny, popřípadě zkonzultovat s učitelem naměřené hodnoty.

Co bylo příjemným zjištěním bylo ale například to, že žáci správně odpověděli na dodatečné otázky v závěru, tedy pochopili princip měření Youngova modulu pružnosti, Poissonovy konstanty a meze pevnosti. Uvědomili si sami chyby, kterých se v měření dopouštěli a někteří je velmi dobře zdůvodnili. Též sami navrhli, jak se těmto chybám vyvarovat a jak by šlo zpřesnit měření celkově.

Protokoly někteří vypracovali velmi dobře, čísla jim vycházela řádově správně a v závěru shrnuli velmi dobře poznatky z měření. Tuto badatelsky orientovaná práce lze tedy provádět na gymnáziu, ale, jak již zmíněno výše, ve větším časovém intervalu.

ZÁVĚR

Pro tuto práci jsem se rozhodl, jelikož pojednávala o odlišném způsobu výuky, než na který jsem byl ze svého studia byl zvyklý. Dosud jsem se totiž seznamoval většinou s novou látkou frontálně prostřednictvím učitelů. Mnohdy jsem vypracovával laboratorní cvičení bez toho, aniž bych vlastně věděl, co měřím, či jaké souvislosti dané měření má. To vedlo mnohdy k odrazení od dané látky, potíží s vypracováním protokolů a celkové ztrátě motivace k tomu se naučit látku podrobněji. Mnohdy byly při výuce i zanedbávány pokusy, které by rozhodně prohloubily vědomosti. A když už pokus probíhal, opět pouze frontálně bez toho, že bychom si, jako žáci, mohli zkusit pokus sami. Díky této práci jsem si uvědomil možnou budoucnost, kterou se může studium přírodovědných oborů ubírat. Badatelsky pojatá výuka je zajímavý koncept, který určitě v budoucnu bude mít důležitost, jelikož se mu postupně věnuje pořád větší pozornost. S postupující dobou, kdy je stále více možností vyučování, lze najít styl učení, který nadchne studenty. A právě nadchnutí žáků do přírodovědných oborů je nyní to, co je potřeba, jelikož zájem o fyziku, chemii a biologii stále klesá. Školy pak trpí nedostatkem kvalifikovaných kantorů, což se poté odráží i v kvalitě výuky. Ovšem badatelsky pojatá výuka může být jeden z mnoha faktorů, které pomohou v žácích vyvolat zájem o přírodní vědy. Hlavní výhodou je, že žák si na dané otázky v tématu odpoví sám. Tedy informace se mu uchová v mysli mnohonásobně rychleji, než kdyby slyšel řešení frontálně. Také je žák více motivován k tomu najít si odpověď pro danou otázku. Tato motivace poté může přejít v nadšení. A pokud se daný žák nerozhodne pokračovat ve studiu například fyziky na vysoké škole, tak ale stejně si ze studia na střední škole odnese kladný vztah k přírodovědným předmětům. Navíc badatelsky pojatá výuka rozvíjí i praktické dovednosti žáka. Například může rozvinout schopnosti daného studenta hledat odpovědi na otázky. Laboratorní práce, kde samostatně pracuje, ho mohou pozitivně posunout i v manuálních dovednostech. Ze střední školy pak vychází člověk, který má povědomí o přírodních jevech, jelikož si mnohé vyzkoušel a ověřil badatelskou výukou, ale je i lépe připraven na praktický život mimo školu jako takový.

SEZNAM LITERATURY

- DOSTÁL, Jiří. *Badatelsky orientovaná výuka: pojetí, podstata, význam a přínosy*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2015.
- KIRSCHNER, Paul A.; SWELLER, John; CLARK, Richard E. *Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching*. *Educational psychologist*, 2006, 41.2: 75-86.
- VAN HECKE, Gerald R., et al. *Synthesis and physical properties of liquid crystals: An interdisciplinary experiment*. *Journal of chemical education*, 2005, 82.9: 1349-135
- FUKA, Josef, KLEVETA, Alois, Šolc, Martin, 1985. *Cvičení z fyziky pro I. ročník gymnázií*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. Učebnice pro střední školy, 94-00-21/1. ISBN 14-504-85.
- FUKA, Josef, FREI, Václav, SVOBODA, Miroslav, VEVERKA, Jaroslav, 1987. *Cvičení z fyziky pro II. ročník gymnázií*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. Učebnice pro střední školy, 94-00-22/2. ISBN 14-359-87.
- FUKA, Josef, HOUDEK, Václav, KOUBEK, Václav, SVOBODA, Miroslav, 1987. *Cvičení z fyziky pro III. ročník gymnázií*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. Učebnice pro střední školy, 94-00-23/1. ISBN 14-568-87.
- FUKA, Josef, FREI, Václav, LEPIL, Oldřich, 1989. *Cvičení z fyziky pro IV. ročník gymnázií*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. Učebnice pro střední školy, 94-00-24/1. ISBN 14-585-59.
- ŽIVNÝ, František, LEPIL, Oldřich, 1965. *Praktická cvičení z fyziky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. Učebnice pro střední všeobecně vzdělávací školy, 55-17-41. ISBN 15-538-65.
- SCHWAB, Joseph J.; BRANDWEIN, Paul F. *The teaching of science as enquiry*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1962.
- HERRON, Marshall D. *The nature of scientific enquiry*. *The school review*, 1971, 79.2: 171-212.

BUCK, Laura B.; BRETZ, Lowery S.; TOWNS, Marcy H. *Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory*. Journal of College Science Teaching, 2008, 38.1: 52-58.

KOHOUT, Jiří. *Laboratorní práce ve výuce fyziky na gymnáziu*. Habilitační práce. 2019.

LEPIL, Oldřich, ŠEDIVÝ, Přemysl, 2002. *Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus*. Praha: Prometheus, spol. s.r.o. ISBN 80-7196-202-3

LEPIL, Oldřich, ŠEDIVÝ, Přemysl, 2013. *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. Praha: Prometheus, spol. s.r.o. ISBN 978-80-7196-431-5

ELEKTRONICKÉ ZDROJE

HUBEŇÁK, Josef. *Vodivé plasty – zajímavý materiál pro laboratorní práci* [online]. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové, Hradec Králové. 2014. Dostupné z: http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/19-05-Hubenak_J.pdf

NATIONAL RESEARCH COUNCIL US. *America's Lab report: investigations in High School Science*. [online]. Washington, DC: National Academies Press, 2005.

Dostupné z: <http://www.csun.edu/~vceed002/courses/695b/projects/readings/America's%20Lab%20Report.pdf>

Smith, Emily M., Holmes, Natasha G. *Best practice for instructional labs*. [online]. Nature Physics, 2021, 17.6: 662–663. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41567-021-01256-6>

DUNNETT, K., et al.. *Transforming physics laboratory work from 'cookbook' type to genuine inquiry*. [online]. arXiv preprint arXiv: 2004.12831, 2020. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/2004.12831.pdf>

HOLMES, N. G., LEWANDOWSKI, H. J. *Investigating the landscape of physics laboratory instruction across North America*. [online]. Physical Review Physics Education Research, 2020, 16.2: 020162. Dostupné z: <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020162>

FULL, Robert J., DUDLEY, Robert, KOEHL, M. A. R., LIBBY, Thomas, SCHWAB, Cheryl. *Interdisciplinary laboratory course facilitating knowledge integration mutualistic teaming and original discovery*. [online]. University of California, Berkeley, CA, CA 94720-3140, USA, 2015. Dostupné z: <https://academic.oup.com/icb/article/55/5/912/604806?login=true>

ZEIDMANE, Anda, CERNAJEVA, Sarmite. *Interdisciplinary approach in engineering education*. [online]. Latvia University of Agriculture, Jeglava, Latvia, 2011. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/307672185_Interdisciplinary_Approach_in_Engineering_Education

UIV. *Koncepce přírodovědné gramotnosti ve výzkumu PISA 2006*. Praha, UIV, 2006. Dostupné z <https://www.csicr.cz/getattachment/cz/O-nas/Mezinarodni->

setreniarchiv/PISA/PISA-2006/Koncepce-prirod-gramot-v-PISA-2006.pdf [citováno dne 15.5.2022].