

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta



**Pokusy domácího kola fyzikální olympiády:
příprava, provedení a vyhodnocení**

Bakalářská práce

Nováková Lucie

Vedoucí práce: Mgr. Václav Šlouf, Ph.D.

České Budějovice 2023

Bibliografické údaje

Nováková, L., 2023: Pokusy domácího kola fyzikální olympiády: příprava, provedení a vyhodnocení. [Experiments of the Physics Olympiad home round: preparation, execution and evaluation. Bc. Thesis, in Czech.] - 78 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

Práce se zabývá čtyřmi pokusy, které byly zadány středoškolským kategoriím v rámci 63. ročníku fyzikální olympiády. Tyto experimenty jsou zpracovány ve dvou verzích. První z nich odpovídá zadání fyzikální olympiády, druhá využívá měřicí systém PASCO. Součástí práce jsou také připravené pracovní listy, které mohou vyučující fyziky využít ve svých hodinách.

Annotation

The thesis deals with four experiments that were assigned to high school categories within the 63rd year of the Physics Olympiad. These experiments are processed in two versions. The first of them corresponds to the assignment of the Physics Olympiad, the second uses the PASCO measuring system. The thesis also includes prepared worksheets that physics teachers can use in their lessons.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Místo, datum

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Václavu Šloufovi za pomoc a cenné rady při zpracovávání této práce. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Ivaně Stefanové a vedení Gymnázia Soběslav, že mi umožnili provádět měření v prostorách školy a využít při něm školní vybavení.

Obsah

1 Úvod.....	1
1.1 Cíle práce	1
2 Teoretická část.....	2
2.1 Výukové metody	2
2.1.1 Metody slovní	4
2.1.2 Metody názorně-demonstrační.....	4
2.1.3 Metody dovednostně-praktické.....	6
2.2 Fyzikální olympiáda.....	9
3 Praktická část	10
3.1 Semináře FO.....	10
3.1.1 Kategorie A	11
3.1.2 Kategorie B	15
3.1.3 Kategorie C	19
3.1.4 Kategorie D	24
3.2 Stručný návod k použití systému PASCO	29
3.2.1 Pomůcky PASCO.....	29
3.2.2 Příprava experimentů v PASCO Capstone	32
3.3 Pokusy měřené pomocí systému PASCO.....	34
3.3.1 Příprava pokusu kategorie A – Latexová rukavice:	34
3.3.2 Příprava pokusu kategorie B – Vláknové tření	36
3.3.3 Příprava pokusu kategorie C – Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby	37
3.3.4 Příprava pokusu kategorie D – Závitová tyč.....	38
3.4 Pracovní listy k pokusům	39

3.4.1 Kategorie A – Latexová rukavice	40
3.4.2 Kategorie A – Latexová rukavice PASCO	45
3.4.3 Kategorie B – Vláknové tření	50
3.4.4 Kategorie B – Vláknové tření PASCO	53
3.4.5 Kategorie C – Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby....	57
3.4.6 Kategorie C – Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby PASCO.....	61
3.4.7 Kategorie D – Závitová tyč	64
3.4.8 Kategorie D – Závitová tyč PASCO	67
3.5 Srovnání pokusů měřených se systémem PASCO a bez něj	70
4 Závěr.....	72
Seznam literatury	73
Seznam obrázků	75
Seznam tabulek.....	77
Seznam příloh	78

1 Úvod

Tato bakalářská práce úzce souvisí se zadáním 63. ročníku fyzikální olympiády. Na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity jsou již několik let pořádány semináře pro řešitele fyzikální olympiády. Jinak tomu nebylo ani ve školním roce 2021/2022. Na organizaci seminářů k tomuto ročníku FO jsem se také podílela a po domluvě se svým školitelem jsem se rozhodla navázat na ně svoji bakalářskou práci. Zpracovala jsem praktické úlohy ke všem čtyřem kategoriím 63. ročníku fyzikální olympiády pro studenty středních škol, naměřila svá data, připravila pomůcky a vytvořila pracovní listy pro studenty k jednotlivým pokusům. Zúčastnila jsem se pak seminářů všech kategorií a se studenty provedla dané pokusy. Po skončení seminářů jsme se s vedoucím práce rozhodli, že se pokusíme praktické úlohy FO zpřesnit. Vymyslela jsem tedy způsob, jak využít při měření pomůcky PASCO, např. ultrazvukový senzor, optickou bránu, senzor síly. Všechny pokusy jsem s pomocí zmiňovaných senzorů znovu naměřila a k novým měřením jsem vytvořila pracovní listy. Tato část práce tedy vede nejen ke srovnání přesnosti původní měřicí metody a měření se senzory, ale i jako pomůcka pro učitele, kteří by chtěli tyto pokusy provádět ve výuce.

1.1 Cíle práce

Již tradičně probíhají na Přírodovědecké fakultě JČU semináře pro řešitele FO. Cílem této práce je vytvoření sady pokusů pro studenty středních škol v návaznosti na zadání 63. ročníku fyzikální olympiády. Mým úkolem je příprava, otestování, provedení a vyhodnocení těchto experimentů v rámci seminářů se studenty. Pokusy k výuce fyziky neodmyslitelně patří a jsou vhodnou metodou, jak přiblížit žákům probírané téma. A proto bych byla ráda, kdyby tento soubor pokusů mohl sloužit také jako inspirace pro stávající i budoucí učitele fyziky na středních školách. Dílčím cílem je tedy i vytvoření pracovních listů k jednotlivým pokusům, které zjednoduší učiteli přípravu na samotný pokus a zároveň usnadní studentům zpracování svých výsledků měření a tvorbu protokolů.

Protože doba jde stále dopředu a s ní se vyvíjejí i metody měření v oblasti přírodních věd, dali jsme si za cíl „oživit“ zmíněné pokusy moderními prvky. Rozhodli jsme se naměřit je s pomocí senzorů systému PASCO, které zpřesní výsledky měření a zároveň atraktivní experimenty pro studenty. Protože ne každý vyučující se s tímto systémem již potkal, dílčím cílem je vytvoření jednoduchého návodu k obsluze programu PASCO Capstone, ve kterém učitelé naleznou základní úkony potřebné pro provedení pokusů z 63. ročníku FO.

2 Teoretická část

V teoretické části této práce naleznete nejen poznatky z didaktiky fyziky, přehled výukových metod, typy a rozdělení fyzikálních pokusů, ale také teoretické poznatky k jednotlivým pokusům. V jedné z kapitol se také dočtete něco málo o fyzikální olympiádě, se kterou je tato bakalářská práce úzce spojena.

2.1 Výukové metody

Pojem metoda vychází z řeckého slova *methodos*, což znamená cesta nebo způsob. Pedagogika tímto slovem označuje vědomý metodický postup nebo způsob organizace obsahu vyučování a vzdělávacích činností učitele a žáků, který vede k výchovně vzdělávacímu cíli (Kašpar, 1978, str. 67).

Termín výuková metoda má mnoho různých definic a pojetí. Některé z nich se zaměřují především na činnosti učitele, který zadává úkoly a práci žákovi. Tento pohled odpovídá zejména tradičnímu pojetí výuky. Jiné definice chápou výukovou metodu jako aktivity žáka, úloha vyučujícího je tedy až na druhém místě. Obě tato pojetí však nereflektují vztah učitel–žák a zaměřují se pouze na jednu ze zmíněných rolí (Maňák, Švec, 2003, str. 22). Titíž autoři ve své publikaci uvádí vlastní definici výukové metody: „*Výuková metoda vyznačuje především cestu, po níž se ve škole ubírá žák, ostatní činitelé tuto cestu usnadňují.*“

Vyučovací metoda má v rukou učitele nejen vzdělávací funkci. Neméně významná je i funkce výchovná (Mojžíšek, 1988, str. 13). Mezi další funkce výukové metody řadíme funkci aktivizační, která vede k motivaci žáků. Důležitou funkcí jak pro vyučující, tak pro žáky, je funkce komunikační, která umožňuje efektivní a smysluplné interakce mezi oběma stranami (Maňák, Švec, 2003, str. 24).

Podle Mojžíška (1988, str. 22) by didakticky účinná výuková metoda měla mít následující vlastnosti:

1. umožňuje jednoduše předávat informace směrem k žákovi,
2. rozvíjí poznávací procesy,
3. aktivizuje žáky,
4. je výchovná,
5. je použitelná v praxi,
6. je adekvátní žákům i vyučujícím,
7. je ekonomická, bezpečná a hygienická

Maňák a Švec (2003, str. 49) rozdělují výukové metody na tři skupiny podle stupňující se složitosti edukačních vazeb:

1. Klasické výukové metody

- a. Metody slovní (vyprávění, vysvětlování, přednáška, práce s textem, rozhovor)
- b. Metody názorně-demonstrační (předvádění, pozorování, práce s obrazem, instruktáž)
- c. Metody dovednostně-praktické (napodobování, manipulování, laborování, experimentování, vytváření dovedností, produkční metody)

2. Aktivizující metody

- a. Metody diskuzní
- b. Metody heuristické, řešení problémů
- c. Metody situační
- d. Metody inscenační
- e. Didaktické hry

3. Komplexní výukové metody

- a. Frontální výuka
- b. Skupinová a kooperativní výuka
- c. Partnerská výuka
- d. Individuální a individualizovaná výuka, samostatná práce žáků
- e. Kritické myšlení
- f. Brainstorming
- g. Projektová výuka
- h. Výuka dramatem
- i. Otevřené učení
- j. Učení v životních situacích
- k. Televizní výuka
- l. Výuka podporovaná počítačem
- m. Sugestopedie a superlearning
- n. Hypnopedie

2.1.1 Metody slovní

Při výuce si učitel nevystačí pouze s jedním typem výukových metod. Zaměříme se nyní na ty, které se využívají při hodinách fyziky nejčastěji. Základními metodami, které jsou pro výuku fyziky stěžejní, jsou metody slovní (Janás, 1996).

Všechny slovní metody jsou založeny na řeči učitele nebo žáka. Styl mluvy vyučujícího podporuje zájem žáků. Učitel by měl umět se svým hlasem pracovat, dávat si pozor na správnou techniku řeči, tón, tempo, mluvit přiměřeně nahlas a přiměřeně věku žáků (Kašpar, 1978, str. 69). Vyučující by měl v hodinách mluvit spisovně, ale zároveň přirozeně. Nejdůležitější je, aby žáci pochopili, co jim chtěl předat a rozuměli jeho slovům. Často neporozumění látce plyne právě z nejasného výkladu. Problémem může být například nadužívání cizích pojmů (Fenclová, 1984, str. 66).

Mezi slovní metody řadíme výklad, přednášku nebo rozhovor. Výklad, do něhož zahrnujeme vyprávění, vysvětlování, objasňování nebo popis, by se ve vyučování na ZŠ měl vyskytovat co nejméně. Žáci jsou při něm málo aktivní a pouze přijímají, co jim učitel vysvětluje. Středoškoláci jsou již tento způsob výuky schopni přijmout. Přednáška se využívá zejména na VŠ, protože se jedná o způsob, jakým v relativně krátké době předáme velké množství odborných informací. V určité míře se dá využít i na SŠ. Slovní metodou, při níž je žák aktivní, je rozhovor. Proto se často využívá zejména na základních školách. Při rozhovoru je potřeba, aby měl vyučující připraveny otázky, kterými bude žáky rozhovorem provázet. Velmi důležitá pro rozvoj žáka je práce s knihou. Žák se učí samostatně si vyhledávat informace a porozumět psanému textu (Janás, 1996, str. 31).

Žáci se v hodinách seznamují s fyzikálními jevy a zákony, které jim vyučující popisují a představují. Pokud by ale tyto poznatky byly předávány pouze ústně, ukládala by se do paměti většina žáků pouze slova bez obsahu a souvislostí. Nejčastěji se tedy slovní metody kombinují s metodami názorně-demonstračními nebo dovednostně-praktickými. Pokud mají být tyto metody úspěšné, musí být doprovázeny slovními instrukcemi učitele, který tyto činnosti řídí (Kašpar, 1978, str. 68). Správně podaný komentář vysvětlující principy a skryté vlastnosti pozorovaného objektu či jevu je klíčový pro správné pochopení žáků. Zejména u drobných objektů nebo rychle probíhajících jevů bez slovního popisu mohlo být pozorování pro žáky obtížné (Maňák, Švec, 2003, str. 79).

2.1.2 Metody názorně-demonstrační

Jak psal již Komenský ve své Velké didaktice, názornost je pro správné pochopení učiva klíčová. „*Začátek poznání se musí díti vždy od smyslů (neboť nic není v rozumu, co by dříve nebylo ve smyslu): proč by se tedy také počátek vyučování neděl nikoliv slovním podáním věcí, nýbrž věcným názorem? Potom teprve, když je věc ukázána, ať přistoupí k tomu řeč a objasní věci hojněji.*“ (Komenský, 1948, str. 156).

S touto myšlenkou se v dnešní době setkáváme čím dál častěji. Většina didaktiků klade důraz na názornost výuky a pokládá ji za jeden z nejdůležitějších principů moderní didaktiky. Žák potřebuje jev, který studuje, poznat co nejvíce smysly, zkoumat jej, analyzovat probíhající procesy a snažit se mu touto cestou porozumět (Mojžíšek, 1988, str. 107).

Ve výuce bychom měli používat celou škálu typů názornosti od popisování reality pomocí grafů, schémat a symbolů, až po předvádění reálných předmětů a jevů. Na nižších stupních našeho školského systému se na názornost klade důraz velmi často, ve vyšších stupních se naopak vyskytuje jen zřídka. Je potřeba přizpůsobit názorně demonstrační metody výuky věku žáků. (Maňák, Švec, 2003, str. 77.) „*Svět zorného pole dítěte, žáka, je relativně úzký, omezený, zcela individuální, poněvadž je přirozeně limitován fyzickými a psychickými faktory daného věku. Ostatně i o dospělém jedinci často platí, že se dívá, ale nevidí.*“ (Ledvinka in Maňák, Švec, 2003, str. 77).

Základním principem demonstračních metod je situace, kdy učitel předvádí žákům předměty nebo jevy, o kterých se učí. Ukazovat je může vyučující buď přímo, nebo nepřímo (Mojžíšek, 1988, str. 108). Demonstrační metoda by neměla být pro žáky pasivní. Naopak by měla rozvíjet představy o daném objektu nebo jevu a vést žáky k samostatnému aktivnímu přemýšlení. Názorné předvádění také učí žáky přesněji vnímat, pozorovat, soustředit se a vytvářet si ucelené představy (Maňák, Švec, 2003, str. 78).

Aby měly demonstrační metody užívané při vyučování pro žáky co největší přínos, je potřeba dodržovat několik základních pravidel (Maňák, Švec, 2003, str. 80):

1. Vyučující musí mít na předvádění připraveny všechny potřebné pomůcky předem.
2. Dle tzv. Zlatého pravidla Jana Amose Komenského je potřeba předkládat předměty co nejvíce smyslně a dát žákům možnost zkoumat jevy po všech stránkách.
3. Náročné demonstrace je vhodné rozdělit do několika jednodušších kroků.
4. Učitel přizpůsobí tempo předvádění tak, aby všichni byli schopni vnímat.
5. Je dobré zapojit do předvádění žáky, pokud to daný předmět nebo jev umožňuje.
6. Pomocí návodných otázek by měl vyučující vyvolávat aktivitu žáků, aby pouze pasivně nepřijímali předkládané.
7. Průběžně je potřeba ověřovat, jestli žáci správně pochopili to, co bylo zatím ukázáno.
8. Je nutné předvádění slovně komentovat, aby měli žáci větší šanci správně pozorovat a pochopit předváděné.
9. Na závěr demonstrace je důležité ověřit, zda žáci správně pochopili demonstrované, případně opravit či doplnit, co není jasné.
10. Je vhodné, aby si žáci v průběhu demonstrace dělali zápisky a náčrtky, které jim usnadní zapamatování předváděného.
11. Při demonstrování objektu nebo jevu by se žáci měli zlepšovat ve schopnosti pozorovat a vnímat předváděné.
12. Všichni žáci by měli mít možnost kvalitně zkoumat demonstrované.
13. Pomůcky by měly být žákům předloženy až bezprostředně před demonstrací.

14. Je vhodné předkládat zkoumané společně s co největším množstvím souvislostí tak, aby si mohli žáci vytvořit celkový obraz o daném jevu nebo objektu.

2.1.3 Metody dovednostně-praktické

Že při učení mají žáci využívat co nejvíce smyslů, bylo již zmíněno. Výuka fyziky je v tomto velmi otevřená a nabízí spoustu možností, jak dát dětem fyziku do ruky. Každý vyučující fyziky by si toto měl uvědomovat a využívat toho. Někteří se však zaleknou toho, že začlenění pokusů a experimentů do výuky vyžaduje delší přípravu na hodinu, odbornější přístup a trochu jiné dovednosti učitele. Je potřeba však tyto dovednosti trénovat a zkoušet zařazovat dovednostně-praktické metody do výuky. Každá zkušenost se počítá a s každou další hodinou je to jednodušší a jednodušší (Fenclová, 1984, str. 85).

Mezi dovednostně-praktické metody řadíme napodobování, manipulování, laborování, experimentování, vytváření dovedností a produkční metody. Jsou to metody, které se zaměřují na rozvoj psychomotorických a motorických dovedností žáka (Maňák, Švec, 2003, str. 91). Hlavní význam dovednostně-praktických metod spočívá v tom, že nutí žáka samostatně přemýšlet a zároveň zapojuje motorické dovednosti. Poznává fyziku pomocí vjemů z několika smyslových orgánů. To vede k prohloubení a ukotvení vědomostí žáka (Kašpar, 1978, str. 80). Často žáci pracují samostatně a učitel pouze dohlíží a dává rady. V hodinách fyziky nejčastěji využíváme laboratorní úlohy a pokusy (Janás, 1996, str. 31).

„Experiment je takový badatelský přístup k realitě, kterým se na základě určité, teoreticky zdůvodněné hypotézy záměrně mění nebo ovlivňují některé stránky sledované skutečnosti (nezávislá proměnná), při čemž se existující podmínky udržují konstantní a provedené zásahy a dosažené výsledky se přesně registrují“ (Maňák, 1994, str. 21).

Ve fyzice je experiment způsob, jak získat nové informace, ověřit pravdivost fyzikálních zákonů a teorií, propojit teoretické poznatky s technikou. Vyučující dávají fyzikálním experimentům didaktickou funkci a upravují si je tak, aby mohli díky nim přiblížit žákům probírané učivo. Žáci prostřednictvím pokusů získávají nové informace a spojitosti o fyzikálních jevech, rozvíjí se jejich fyzikální myšlení. Zároveň jsou pokusy vhodným způsobem, jak žáky zaujmout, aktivizovat a posílit jejich vztah k fyzice (Janás, 1996, str. 57).

Josef Janás (1996, str. 58) ve svých Kapitolách z didaktiky fyziky rozděluje školní fyzikální pokusy následovně:

- Podle logické povahy:
 - a) Kvalitativní – pouze demonstrování fyzikálního jevu bez měření
 - b) Kvantitativní – měříme a vyhodnocujeme fyzikální veličiny
- Podle provedení:
 - a) Reálné
 - b) Myšlenkové

- Podle zaměření:

- a) Demonstrační – žáci pouze pozorují, jak pokus provádíme
- b) Žákovské (frontální, skupinové, domácí)
- c) Laboratorní

Demonstrační pokusy bychom mohli zároveň řadit také mezi názorně-demonstrační metody. Vyučující provádí demonstrační pokus pro prvotní seznámení s tématem. Žáci jej pozorují a utvářejí si základní představy o dané problematice. Zároveň později mohou být tyto pokusy žákovi vzorem a předlohou při laboratorních pokusech, na kterých pracuje samostatně. Učitelé volí cestu demonstračních pokusů ve chvíli, kdy by daný pokus mohl být pro žáky nebezpečný nebo zahrnuje zacházení s drahými pomůckami. Nevýhodou tohoto typu pokusů je, že nelze zajistit aktivitu všech žáků. Také si nemohou zkoumaný jev osvojit pomocí různých smyslů, ale pouze pozorováním (Janás, 1996, str. 58).

Žákovské pokusy mohou být prováděny frontálně, ve skupinách nebo zadány jako domácí pokus. Při frontálních pokusech pracují všichni žáci najednou se stejnými pomůckami a stejným postupem. Jejich činnost je řízena vyučujícím, který zajišťuje, aby všichni pracovali přibližně ve stejném tempu. Frontální pokusy většinou provádí vyučující s celou třídou. Je tomu tedy uzpůsobena i náročnost celého pokusu. Jednotlivé kroky bývají časově nenáročné a jednoduché. Výhodou je, že žáci mohou po jednotlivých krocích konzultovat mezi sebou výsledky své práce. Během těchto pokusů si žáci osvojují jednoduché pracovní postupy, získávají zručnost a učí se zacházet s pomůckami, které mohou využít následně při některých laboratorních pokusech (Kašpar, 1978, str. 82).

Skupinové žákovské pokusy provádí vyučující se třídou rozdělenou do pracovních skupin. Většinou žáci pracují podle připraveného návodu a vyučující pouze dohlíží na jejich bezpečnost a v případě potřeby radí. Skupiny mohou buď pracovat na stejném pokusu nebo mohou být vytvořeny cykly několika úloh a skupiny se mohou střídat. Zde je potřeba dbát na to, aby časové rozmezí mezi výukou dané látky a souvisejícím pokusem nebylo příliš velké. Pokusy prováděné tímto způsobem již bývají náročnější (Kašpar, 1978, str. 82).

Jako domácí pokusy zadává vyučující pouze takové, při kterých není potřeba speciálních pomůcek a vybavení. Takovéto pokusy velmi rozvíjí samostatnost žáků při provádění pokusů (Kašpar, 1978, str. 83).

S laboratorními úlohami se žák setkává zejména na konci tematických celků a slouží mu k opakování a prohloubení získaných znalostí. Dále mu také dávají možnost pracovat se složitějšími pomůckami při náročnějších pokusech (Janás, 1996, str. 61). Laborování je činnost, kdy žáci ověřují platnost zákonů nebo zkoumají nějaký fyzikální jev. Může probíhat buď ve skupinkách nebo žáci pracují jednotlivě. Během laborování se žáci učí zaznamenávat svůj postup a průběh laboratorní úlohy, zapisovat si naměřené výsledky, následně je zpracovávat v podobě výpočtů a grafů, přemýšlet a diskutovat zjištěné výsledky a vyvozovat z nich závěry (Maňák, Švec, 2003, str. 99). „*Jádrem laboratorní metody samotné zůstává pracovní činnost, jejímž smyslem je poznat, objevit, doplnit nebo použít při práci, při manipulaci s objektem nové poznatky*“ (Mojžíšek, 1988, str. 144).

Jako laboratorní práce můžeme použít (Kašpar, 1978, str. 83):

- a) pokusy, které odpovídají nebo jsou podobné demonstračnímu pokusu použitému v hodině,
- b) pokusy, které souvisí s učivem probíraným jinými metodami
- c) měření fyzikálních veličin
- d) určování fyzikálních konstant

Zařazení fyzikálního pokusu do výuky vyžaduje značnou přípravu ze strany učitele. Když se vyučující rozhodne provést s žáky pokus, je dobré si odpovědět na následující otázky:

1. Je možné tento experiment v dostupných podmínkách provést? Mám všechny pomůcky a prostor k tomu jej uskutečnit?
2. Jakým způsobem začlením pokus do výuky? V čem bude pro žáky prospěšný a co se díky němu naučí?
3. Jak velkou část hodiny má pokus trvat? Mají žáci dostatečné dovednosti k tomu, tento pokus provést?
4. Na co se mají žáci při pokusu zaměřit?

Je důležité ujasnit si, co od daného pokusu očekávám, jestli mám vše potřebné a jestli jsou žáci schopni splnit to, co po nich učitel požaduje (Fenclová, 1984, str. 42).

Ještě, než zařadí vyučující daný pokus do plánu hodiny, je dobré si jej vyzkoušet. Učitel si tím ověří jak odhadovanou časovou náročnost, tak případná kritická místa postupu, kde by mohli narazit žáci na problém. Zároveň zjistí bezpečnost celého pokusu (Mojžíšek, 1988, str. 146).

Na některé pokusy dělíme žáky do skupin. Nejvhodnější jsou dvojice. Při vyšším počtu členů skupiny se velmi rychle snižuje vytíženost jednotlivých žáků. U náročnějších experimentů je vhodné určit dílčí činnosti, které si mají žáci mezi sebou rozdělit. Docílíme tak toho, že se všichni žáci budou na provedení pokusu aktivně podílet (Kašpar, 1978, str. 84). V některých třídách je také vhodné promyslet rozdělení žáků do skupin. Vyhne se tak nerovnoměrnému rozdělení, ke kterému by mohlo dojít, pokud bychom to nechali na žácích samotných (Mojžíšek, 1988, str. 146).

U pokusů, které žáci provádí samostatně, je nutné připravit podrobný návod, ideálně v tištěné podobě. Měl by obsahovat seznam pomůcek a postup popsany krok za krokem (Mojžíšek, 1988, str. 146). Návod může být také uveden v učebnici fyziky nebo v příručce. V tomto případě je však nutné upřesnit obecné instrukce pro konkrétní dostupné pomůcky a prostory. Při vytváření vlastního návodu je potřeba dát si pozor, aby nebyl až příliš podrobný. Mohl by pak být pro žáky spíše matoucí (Kašpar, 1978, str. 85).

Výsledkem každého laboratorního pokusu by měl být protokol o průběhu měření. Ten by měl obsahovat stručnou teorii týkající se úlohy, hodnoty naměřené žáky, případně zjištěné závislosti, výpočty, grafy, diskuzi a závěr. V diskuzi žáci zhodnotí své naměřené výsledky a porovnají je s očekáváním na základě teorie. V závěru pak stručně shrnou své výsledky. Učitel při opravování protokolů hodnotí nejen obsah ale i úpravu protokolu (Kašpar, 1978, str. 86).

2.2 Fyzikální olympiáda

Fyzikální olympiáda je soutěž pořádaná Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky společně s Jednotou českých matematiků a fyziků. Cílem této soutěže je přitáhnout studenty ke studiu fyziky a technických oborů a zároveň mezi soutěžícími najít budoucí odborníky v těchto oblastech. Některé vysoké školy k výsledkům FO přihlížejí při přijímacím řízení. Soutěž je pořádána v sedmi kategoriích pro žáky od 7. třídy základní školy po studenty 4. ročníků středních škol. Kromě kategorie A, která má navíc ústřední kolo, se všechny středoškolské kategorie skládají z kola domácího a krajského. Domácí kolo řeší student průběžně ve svém volném čase a může využívat jakékoli zdroje. Úspěšní řešitelé domácího kola postupují do kola krajského, kde již řeší zadání samostatně. Každý rok pořadatelé FO vydávají studijní texty, které mohou studentům pomoci při jejich přípravě (<http://fyzikalniolympiada.cz/co-je-fo>).

3 Praktická část

Cílem mé bakalářské práce bylo naměřit pokusy 63. ročníku fyzikální olympiády. Tyto pokusy pak připravit tak, abych je mohla provést s řešiteli FO v rámci seminářů na Přírodovědecké fakultě JU. Dílčím cílem je také tvorba pracovních listů k daným experimentům. Dále jsem všechny pokusy naměřila také se senzory systému PASCO a pracovní listy upravila do podoby vhodné pro tento způsob měření. Jelikož ne každý umí se systémem PASCO pracovat, vznikl návod, který přípravu pokusů v programu PASCO Capstone přibližuje.

V této části své bakalářské práce bych nejprve chtěla nastínit průběh seminářů k fyzikální olympiádě, které probíhaly na PřF. Na začátku každé podkapitoly naleznete zadání praktické úlohy FO. Součástí je také fyzikální teorie k daným pokusům, která je v textu barevně odlišena. Následují kapitoly věnující se měření pomocí systému PASCO. Zde se nachází například návod, jak připravit podmínky pro dané měření v programu PASCO Capstone. Na konci praktické části se nacházejí pracovní listy k jednotlivým pokusům ve dvou variantách. První z nich slouží pro měření, které respektuje zadání FO, tzn. měření s běžnými pomůckami. Druhý pracovní list je připraven pro měření se senzory PASCO.

Návod k obsluze systému PASCO i připravené pracovní listy jsou určeny jak pro stávající vyučující fyziky, tak pro učitele začínající a pro studenty učitelství. Materiály lze také využít při praktiku středoškolských pokusů na vysokých školách.

3.1 Semináře FO

Ve školním roce 2021/2022 proběhl na PřF JU již osmý ročník seminářů pro řešitele fyzikální olympiády. Účelem tohoto cyklu seminářů je pomoci studentům SŠ s domácím kolem FO, a to jak s příklady, tak s praktickou úlohou. Do organizace se zapojují studenti učitelství fyziky na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity.

3.1.1 Kategorie A

6. Latexová rukavice

Latex je vysoce pružný elastický materiál, u kterého lze předpokládat, že jeho objem zůstává při protahování konstantní prakticky až do jeho přetržení.

Pomůcky: Alespoň tři páry bezbarvých lékařských latexových rukavic; pevná průhledná lepicí páska; nůžky; alespoň čtyři listy milimetrového papíru formátu A4 nebo většího; tři pravítka; měřicí páska (minimálně 1 m); permanentní značkovací s co možná nejmenším hrotem.

Gumové rukavice můžete stříhat na kusy dle libosti. Kousky rukavic lepte buďto přímo na pracovní stůl pomocí lepicí pásky nebo k připevnění použijte pravítko. Ke každé úloze načrtněte vaši experimentální aparaturu a podrobně popište pracovní postup. Výsledky měření zapisujte do tabulek.

- Určete maximální relativní prodloužení ε_m pásku latexového filmu, tedy relativní prodloužení odpovídající mezi pevnosti latexu. Relativní prodloužení je definováno jako $\varepsilon = (l - l_0)/l_0$, kde l_0 je délka nedeformovaného pásku a l délka deformovaného pásku. Měření proveďte alespoň třikrát a diskutujte výsledky.
- Předpokládáme, že objem latexu se v deformovaném stavu nemění a také, že působící síla ovlivňuje změny v příčném směru stejným způsobem. Předpokládejme také konstantní tloušťku pásku. Tedy, označíme-li tloušťku latexového filmu a a šířku pásku d , platí $d/a = d_0/a_0$, kde a_0 je tloušťka v nedeformovaném

stavu a d_0 je šířka pásku v nedeformovaném stavu. Uvažujme nyní latexový pásek o šířce d_{m0} a délce l_0 v nedeformovaném stavu. Sílu, která pásek přetrhne, označíme F_m , délka pásku při přetržení je l_m . Normálové napětí σ je dle definice číselně rovno napínací síle působící na jednotku plochy průřezu deformovaného pásku, tedy obecně $\sigma = F/ad$. Tzv. mez pevnosti σ_p je normálové napětí nutné k přetržení pásku, v našem případě $\sigma_p = F_m/a_m d_m$. Mějme nyní druhý pásek se šířkou d_0 , $d_0 > d_{m0}$, a stejnou délkou l_0 v nedeformovaném stavu. Působíme-li na pásek výše zmíněnou silou F_m , pásek se prodlouží na délku l . Ukažte, že platí

$$\frac{\sigma}{\sigma_p} = \frac{d_{m0}}{d_0} \frac{l}{l_m}.$$

- Navrhněte způsob, jak zajistit stejné silové působení na pásy latexu o stejné délce a různé šířce. Změřte a vynesete do grafu deformační křivku latexu, tj. závislost normálového napětí σ na relativním prodloužení. Normálové napětí měřte v relativních jednotkách, normalizujte je na napětí, které způsobí přetržení pásku (mez pevnosti σ_p).

Obrázek 1: Zadání praktické úlohy kategorie A

(převzato z http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63a1_z.pdf)

První ze seminářů pro řešitele 63. ročníku fyzikální olympiády byl určen studentům kategorie A. Jako jediný se konal již před Vánoci vzhledem k dřívějšímu termínu odevzdání vypracovaných řešení. Na seminář, který se uskutečnil 29. 11. 2021 na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity, dorazili tři studenti.

Po krátkém úvodu a vypočítání dvou příkladů přišla řada na praktickou úlohu (viz Obrázek 1). Její zadání pro nejstarší studenty se týkalo pružnosti latexu. Nejprve jsem studenty krátce seznámila s teorií daného problému.

Materiály můžeme s ohledem na jejich pružnost rozdělit na pružné, plastické a křehké. Pružné materiály jsou odolné a ani velké napětí nezpůsobí trvalou deformaci. Plastické materiály zachovávají deformovaný tvar. U křehkých materiálů nemůže dojít k trvalé deformaci, protože dříve dojde k porušení jejich soudržnosti (Tarábek, Červinková, 2004, str. 87). Během deformace vlivem vnějších sil se zvětšují vzdálenosti mezi částicemi a ty opouštějí své rovnovážné polohy. Tomu brání v pevném tělese tzv. síly pružnosti. Při deformaci tahem nebo tlakem je velikost síly pružnosti v rovnováze rovna velikosti deformující síly (Svoboda, 2014, str. 177).

Vlivem působení sil pružnosti vzniká v každém průřezu tělesa normálové napětí, které definujeme pomocí vztahu

$$\sigma_n = \frac{F_p}{S}, \quad (1)$$

kde F_p je velikost síly pružnosti, která působí kolmo na průřez s obsahem S . Jednotkou normálového napětí je pascal (Pa) (Svoboda, 2014, str. 177).

Během deformace tahem dochází k prodloužení tělesa ve směru vektorové přímky působících sil. Jeho původní délka l_0 se změní na délku l . Tuto změnu můžeme označit jako

$$\Delta l = l - l_0. \quad (2)$$

Dále zavedeme veličinu nazývanou relativní prodloužení, kterou značíme ε a je dána vztahem:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (3)$$

Z výše uvedeného vztahu vidíme, že relativní prodloužení je bezrozměrná veličina. Často je udávána v procentech. (Bartuška, Svoboda, 2009, str. 137).

Normálové napětí je při pružné deformaci přímo úměrné relativnímu prodloužení. Tento vztah označujeme jako Hookův zákon, který lze zapsat jako

$$\sigma_n = E\varepsilon, \quad (4)$$

kde konstanta úměrnosti E je modul pružnosti v tahu (Svoboda, 2014, str. 178).

Při deformaci tahem pružné látky se normálové napětí zvyšuje z nuly až na hodnotu, kdy se poruší soudržnost materiálu a vzorek se přetrhne. Pokud celý proces zaznamenáváme, můžeme vytvořit tzv. deformační křivku materiálu (Halliday, 2000, str. 343).

Poté jsme se pustili do samotného měření. Pro zjednodušení dostali studenti protokol s připravenými tabulkami, kam mohli vyplňovat naměřené hodnoty (viz 3.4.1).

Cílem prvního úkolu bylo určit maximální relativní prodloužení latexu. Pro toto měření si každý ze studentů z latexové rukavice vystříhl tři pásy o stejných rozměrech (viz Obrázek 2). Na každém z nich vyznačil délku, kterou pak zkoumal při natahování. Důležité bylo, aby na koncích zbyla dostatečně dlouhá část pásu, za kterou se dá držet. Nad podložkou, na které byl natažený metr (popř. pásmo) studenti vystřižené pásy natahovali až do přetržení. Pouhým okem bylo velmi těžké zachytit přesnou délku pásu v momentě přetržení. Všechna měření jsme proto natáčeli na mobilní telefony, protože z videozáznamu bylo jednodušší odečíst délky pásků. Z hodnot původní délky pásu a délky pásu v momentě přetržení pak žáci spočítali maximální relativní prodloužení latexu. K zajímavému momentu došlo ve chvíli, kdy se jednomu ze studentů podařilo pásek latexu natáhnout na výrazně větší délku než jiné pásy. Rozdíl zhruba 10 centimetrů jsme odůvodnili tím, že mohl být latex tohoto pásu tlustší než u ostatních pásků.

Dalším úkolem bylo vynést do grafu deformační křivku latexového pásu. Studenti tedy museli zjistit, jakým způsobem závisí normálové napětí na relativním prodloužení. Normálové napětí jsme normalizovali na napětí, které způsobí přetržení, takže vycházelo v relativních jednotkách. Ke splnění tohoto úkolu studenti potřebovali několik pásků o různých šířkách. Na tyto pásy pak měla působit stejná síla, která způsobí přetržení jednoho z nich. Toho lze dosáhnout například tak, že pásy spojíme sériově za sebou. Pro tento způsob měření je důležité, aby byly pásy dostatečně dlouhé. Při spojování je potřeba, aby zkoumaná délka pásu zůstala vždy mimo spoj s vedlejším páskem. Dohromady lze pásy spojovat pomocí lepicí pásy, ale mně se více osvědčilo svázání pásků k sobě pomocí uzlíku. Takto spojené pásy pak opět přiložíme k pásmu a začneme natahovat. V ideálním případě se jako první přetrhne nejtenčí pásek. Do tabulky pak napíšeme délky jednotlivých pásků v momentě přetržení nejtenčího. Jak jsem sama při přípravě tohoto pokusu zjistila, je tento způsob velmi prostorově náročný, pro natažení je potřeba minimálně dvou lidí a hrozí, že se pásy rozpojí. Proto jsme se studenty zvolili jiný způsob. Druhou možností, jak dosáhnout toho, že budeme mít pásy o různé šířce a stejné délce, je vystříhnout z latexu trojúhelník. Ten pak studenti pomocí fixu rozdělili na stejně dlouhé dílky (např. 1 cm). Začátek prvního z proužků přiložili k nule na metru a začali latexový trojúhelník natahovat. Někteří studenti si držení trojúhelníku ulehčili jeho srolováním ve směru čar nebo jeho přehnutím. Do tabulky si zaznamenali délky jednotlivých pásků v momentě utržení vrcholu latexového trojúhelníku.

Nyní bylo potřeba vypočítat normálové napětí a relativní prodloužení latexu. Studenti využili vzorec uvedený v zadání fyzikální olympiády, který vychází z toho, že na oba pásy působí stejná tahová síla. Odvození tohoto vzorce lze najít v řešení této kategorie od tvůrců FO (http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63a1_r.pdf).

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{d_{m0} \cdot l}{d_0 \cdot l_m}, \quad (5)$$

kde d_{m0} a l_m je počáteční šířka a prodloužená délka pásu, který je přetržen, d_0 a l je počáteční šířka a prodloužená délka natahovaného pásu (http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63a1_r.pdf).

Vypočítané hodnoty studenti doplnili do tabulky. Na závěr jsem jim ukázala, jakým způsobem vytvoří v excelu graf, aby mohli úkol doma dokončit. Po naměření praktické části olympiády zbývalo ještě studentům projít čtyři početní příklady.



Obrázek 2: Měření pokusu kategorie A
Zdroj: Vlastní fotografie

3.1.2 Kategorie B

6. Praktická úloha: Vláknové tření

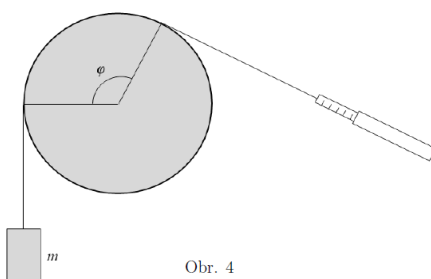
Přes upevněný válec s vodorovnou osou vedeme tenký provázek. Na jeho jeden konec zavěšíme závaží o hmotnosti m , na jeho druhý konec připevníme siloměr, za který táhneme v daném směru tak, že těleso velmi pomalu rovnoměrným pohybem stoupá

vzhůru. Provázek přitom klouže po plášti válce v dotykovém kruhovém oblouku se středovým úhlem φ (úhel opásání). Siloměr pro tento úhel změřil velikost F síly, která je součtem velikosti tíhové síly závaží mg a velikosti třecí síly F_t mezi provázkem a pláštěm válce. Součinitel smykového tření mezi provázkem a pláštěm válce označíme f . Z teorie plyne, že pro velikost této síly platí

$$F = mg \cdot e^{f\varphi}, \quad (1)$$

kde úhel φ měříme v radiánech. To znamená, že tahová síla závisí na hmotnosti závaží, na úhlu opásání a na součiniteli smykového tření mezi provázkem a pláštěm válce. Tahová síla naopak nezávisí na poloměru válce. Pro úplnost velikost samotné třecí síly lze vyjádřit

$$F_t = F - mg = mg \cdot e^{f\varphi} - mg = mg(e^{f\varphi} - 1).$$



Obr. 4

Úkol: Změřte závislost (1) tahové síly na úhlu opásání pro daný válec a dvě různé hmotnosti závaží (F_1 , F_2), pro válec z téhož materiálu a s jiným poloměrem (F_3) a pro válec z jiného materiálu (F_4). V každé závislosti zjistěte součinitel smykového tření.

Pomůcky: Stativová souprava, válcové profily podle požadavků, provázek, sada siloměrů, závažné závaží.

Návod a poznámky:

- 1) Jako válcovou plochu lze použít např. novodurové trubky s dvěma různými průměry.
- 2) Úhel opásání měníme po $\pi/2$ rad, tj. po 90° , od nuly např. do 4π rad. Hmotnosti závaží přizpůsobíme možností rozsahů siloměrů, stejně tak je možné měnit úhel po 45° místo po 90° do polovičního maxima. Naměřené hodnoty uspořádáme do tabulky, číselné a materiálové parametry jsou uvedeny pouze jako příklad.

φ rad	$\frac{F_1}{N}$ $m = 50$ g novodur $d = 50$ mm	$\frac{F_2}{N}$ $m = 100$ g novodur $d = 50$ mm	$\frac{F_3}{N}$ $m = 50$ g novodur $d = 110$ mm	$\frac{F_4}{N}$ $m = 50$ g ocel $d = 12$ mm
0				
$\frac{\pi}{2}$				
π				
$\frac{3\pi}{2}$				
2π				
$\frac{5\pi}{2}$				
3π				
$\frac{7\pi}{2}$				
4π				
f				

- 3) Grafy závislostí sestojíme v Excelu. Změřená data zapíšeme do buněk tabulky. Kurzorem označíme příslušné sloupce s daty a vložíme *Graf*. Volíme typ grafu *XY bodový*, podtyp *bodový* (tj. bez spojnic datových bodů) zobrazí se soustava izolovaných bodů. Po kliknutí pravým tlačítkem myši na libovolný z nich z nabídky vybereme položku *Přidat spojnicí trendu* a následně položku *Typ trendu a regrese*, zvolíme typ *Exponenciální*. Tím se zobrazí křivka zvaná exponenciála, která proloží body grafu. Zobrazíme též *Rovnici regrese*, tj. rovnici získané exponenciály.
- 4) Ze zobrazené rovnice regrese vyčteme číselnou hodnotu f součinitele smykového tření, zapíšeme do posledního řádku tabulky a zformulujeme závěr.

Obrázek 3: Zadání praktické úlohy kategorie B

(převzato z http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63b1_z.pdf)

Druhý seminář k fyzikální olympiádě, tentokrát pro řešitele kategorie B, se na naší fakultě uskutečnil v pondělí 10. 1. 2022. Na seminář dorazili tři studenti ze třetích ročníků středních škol. Dopolední blok semináře byl věnován počítání příkladů. Po krátké polední pauze jsme se společně pustili do praktické úlohy.

V této kategorii byla úloha věnována tření. Úkolem řešitelů fyzikální olympiády bylo vytvořit graf závislosti tahové síly na úhlu opásání pro dva různé materiály, dva různé průměry válcového profilu a pro dvě závaží různých hmotností (viz Obrázek 3). Z každé závislosti pak musí student určit součinitel smykové tření mezi provázkem a materiálem válcového profilu. Než jsme se pustili do samotného měření, prošla jsem se studenty teorií k této úloze.

Pokud máme těleso položené na podložce a působí na něj tahová síla, vyvolá tato síla na stykové ploše tzv. statickou třecí sílu, která udržuje těleso v klidu na podložce. Pokud ale tahová síla přesáhne určitou mez, začne se kvádr pohybovat. Statická síla se přemění na třecí sílu při pohybu (Svoboda, 2014, str. 105). Pokud budeme působit tak velkou tahovou silou, aby se těleso pohybovalo, probíhá mezi tělesy fyzikální jev nazývaný se smykové tření. Způsobuje jej třecí síla, která působí na dotykových plochách a brzdí jejich vzájemný pohyb. Tato síla směřuje proti směru pohybu a její vektorová přímka je rovnoběžná s dotykovou plochou (Gasche, Plfanž, 2017, str. 60). „Velikost třecí síly F_t je přímo úměrná velikosti kolmé tlakové síly F_N , kterou působí těleso kolmo na podložku, tedy

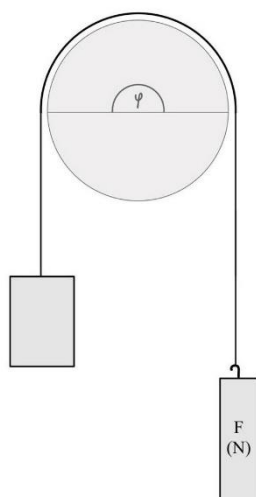
$$F_t = f \cdot F_N, \quad (6)$$

kde f je součinitel smykového tření (Tarábek, Červinková, 2004, str. 26).

Součinitel smykového tření nabývá různých hodnot pro různé druhy materiálů a jejich různé kvality např. hrubost. Dynamický součinitel je vždy menší než klidový součinitel tření. Stejně tak třecí síla při pohybu je při stejných podmínkách vždy menší než statická třecí síla (Svoboda, 2014, str. 105).

Třecí síla je také nezávislá na obsahu styčné plochy. Podmínkou ale je, že plocha dotyku musí být dostatečně velká, aby se těleso nezabořovalo do podložky (Svoboda, 2014, str. 106). Třecí síla nezávisí na rychlosti pohybu tělesa. To ale neplatí pro velmi vysoké rychlosti, při nichž se třecí síla zmenšuje (Tarábek, Červinková, 2004, str. 26). Smykové tření je způsobeno zejména nerovnostmi na povrchu kontaktních ploch. Tyto nerovnosti se při pohybu srážejí, zapadají do sebe a obrušují se (Bednařík, Šíroká, 2000, str. 84).

Při měření pokusu kategorie B budeme měřit tahovou sílu. Ta uvede do pohybu závaží, které bude spojeno se siloměrem pomocí provázku. Tento provázek se bude dotýkat válcového profilu na délce kruhového oblouku se středovým úhlem φ . Tento úhel budeme nazývat úhlem opásání (viz Obrázek 4).



Obrázek 4: Ilustrační obrázek k měření
Zdroj: Vlastní zpracování

Síla F , kterou naměří siloměr, tedy bude výslednicí tíhové síly závaží a třecí síly mezi válcem a provázkem. Pro tuto sílu pak platí vztah

$$F = mg \cdot e^{f\varphi}, \quad (7)$$

kde úhel opásání φ měříme v radiánech. Výsledná síla je tedy závislá na hmotnosti a úhlu opásání nikoli na poloměru válce (http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63b1_z.pdf).

Tento vztah vychází z tzv. Capstanovy (nebo také Euler-Eytelweinovy) rovnice, kterou zapisujeme ve tvaru

$$F = F_0 \cdot e^{f\varphi}, \quad (8)$$

kde F_0 má význam napěťové síly, což v našem případě odpovídá součinu mg (https://fykos.org/_media/rocnik32/ulohy/pdf/uloha32_6_4.pdf).

Po zopakování teorie jsme si na obrázku ukázali, jak bude měření probíhat. Následně jsme si ujasnili, co je naším úkolem, rozdělili práci a začali měřit.

Jako válcový profil, na kterém se tření bude měřit, jsme použili novodurové trubky dvou různých průměrů a jednu železnou trubku. Přes válcový profil jsme zavěsili provázek. Na jeden konec jsme přivázali závaží a druhý připevnili k siloměru. Studenti pak tahali za siloměr tak, aby se závaží pohybovalo směrem nahoru. Do tabulky, kterou jsem jim v protokolu připravila (viz 3.4.3), pak zapisovali naměřené hodnoty. První z měřených hodnot byl úhel opásání, který označoval, jak moc se provázek dotýkal trubky. Úhel opásání jsme měřili v rozmezí 0 až 4π a krok mezi dvěma hodnotami byl $\pi/2$. Pro zjednodušení jsme na trubky vyznačili rysky pro jednotlivé úhly. Druhá veličina pak byla síla, kterou studenti odečetli při tahání ze siloměru. Měření studenti nejprve prováděli se závažím o hmotnosti 50 g, dvěma novodurovými trubkami různých průměrů a s jednou železnou trubkou. Pak si vybrali jednu z novodurových trubek a provedli měření se 100 g závažím. Při měření museli studenti použít několik siloměrů. Pro lehčí závaží začali měřit se siloměrem o rozsahu 5 N. Když měřili s trubkou o větším průměru, tento

siloměr již nestačil, a proto jej nahradili siloměrem se stupnicí do 10 N. Ani ten však při úhlu opásání 4π nestačil a museli použít siloměr do 20 N. Podobně výměny siloměrů probíhaly i u dalších měření. Při měření součinitele smykového tření mezi železnou trubkou a provázkem nestačil při největším úhlu ani největší siloměr. Každý ze siloměrů má jiné měřítko, což mohlo vnést lehké nepřesnosti do měření. Při vypracovávání této praktické úlohy spolupracovali všichni tři studenti dohromady (viz Obrázek 5: Měření pokusu kategorie B). Bylo to tak pro ně jednodušší, protože si mohli pomoci navzájem. Vždy se vystřídali v tom, kdo drží trubku, tahá za siloměr a zapisuje hodnoty. I časově bylo spolupracování výhodnější, než kdyby měřil každý ze studentů zvlášť. Navíc mohli společně konzultovat naměřené hodnoty a navzájem se kontrolovali při průběhu měření. Když měli studenti vyplněnou celou tabulku, ukázala jsem jim, jakým způsobem vytvoří graf závislosti tahové síly na úhlu opásání v programu MS Excel, proloží body vyhovující křivkou a zobrazí její rovnici, aby mohli dokončit úlohu samostatně. Zároveň jsme při tom zkusili vytvořit graf z hodnot, které během semináře naměřili, abychom zjistili, zda vyšla požadovaná závislost. Také jsme si řekli, jaký je závěr úlohy a proč byly naměřeny takové hodnoty. Po naměření praktické úlohy následovala krátká přestávka a po ní studenti pokračovali v počítání příkladů.



Obrázek 5: Měření pokusu kategorie B

Zdroj: Vlastní fotografie

3.1.3 Kategorie C

6. Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby

Vezměte plastovou láhev, která má mezi dnem a hrdlem stejný příčný průřez ve výškovém rozmezí aspoň 20 cm. V nejnižším bodě válcové části vytvořte pomocí hřebíku o průměru asi 2,5 mm zahřátého v plameni malý otvor. Na stěně válcové části vytvořte svislou stupnici v centimetrech s počátkem ve středu výtokového otvoru, která určuje výšku hladiny nad středem otvoru.

Naplňte láhev vodou a nechte ji vytékat. V okamžiku, kdy hladina dosáhne úrovně horního konce stupnice, začněte stisknutím stopek měřit čas. Optimální jsou stopky, které umožňují měřit mezičasy. Zaregistrujte časy průchodu hladiny každou ryskou, dokud voda tryská vodorovně a nestéká po stěně, a запиšte je do tabulky. Toto celé měření proveďte 5krát.

Vyplňte zbývající část tabulky. V tabulce je $\bar{t}_i$ aritmetický průměr pěti naměřených časů, $\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_{i-1}$ doba průchodu hladiny mezi dvěma sousedními ryskami, $t_i = \frac{\bar{t}_i + \bar{t}_{i-1}}{2}$ aritmetický průměr krajních časů intervalu Δt_i , $v_i = \frac{\Delta h}{\Delta t_i}$ průměrná rychlost pohybu hladiny mezi dvěma sousedními ryskami ($\Delta h = 0,01$ m).

Považujte nyní rychlost v_i za okamžitou rychlost v čase t_i a do grafu závislosti rychlosti na čase vynesete jednotlivé body. Body proložte přímkou a určete její směrnici.

Stanovte fyzikální význam hodnoty směrnice a napište závěr o charakteru pohybu hladiny v láhvi.

i	$\frac{h}{\text{m}}$	$\frac{t_{i1}}{\text{s}}$	$\frac{t_{i2}}{\text{s}}$	$\frac{t_{i3}}{\text{s}}$	$\frac{t_{i4}}{\text{s}}$	$\frac{t_{i5}}{\text{s}}$	$\bar{t}_i$ s	$\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_{i-1}$ s	$t_i = \frac{\bar{t}_i + \bar{t}_{i-1}}{2}$ s	$v_i = \frac{\Delta h}{\Delta t_i}$ $10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
0	0,20	-	-	-	-	-	0	-	-	-
1	0,19									
2	0,18									
3	0,17									
$\vdots$	$\vdots$									
17	0,03									
18	0,02									
19	0,01									

Obrázek 6: Zadání praktické úlohy kategorie C

(převzato z http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63c1_z.pdf)

V pondělí 17. 1. 2022 proběhl třetí ze čtyř seminářů pro řešitele fyzikální olympiády. Tento seminář byl určen pro studenty druhých ročníků. Sedm studentů, kteří na seminář dorazili, začalo s řešením příkladů. Pro odreagování jsme se po dvou vyřešených příkladech pustili do praktické úlohy.

Zadání praktické úlohy pro kategorii C se týkalo hydrodynamiky (viz Obrázek 6). Úkolem řešitelů bylo zkoumat pohyb hladiny při výtoku kapaliny z nádoby malým otvorem. Před samotným měřením jsme si společně se studenty zopakovali, jak spolu souvisí výška hladiny a tlak v nádobě.

Molekuly se v kapalině pohybují a při vzájemných srážkách na sebe působí a dochází k pružnému odrazu. Pokud na kapalinu tlačíme pomocí pístu silou, působíme na částice, které jsou bezprostředně v kontaktu s pístem. Ty ale zase interagují s dalšími částicemi a působení se tak rychle šíří ve všech směrech. Tím vzniká ve všech místech kapaliny stejný tlak, který je definován jako síla působící na jednotku plochy (Gascha, Pflanz, 2017, str. 66). Vyjadřujeme jej vztahem

$$p = \frac{F}{S}, \quad (9)$$

kde F je tlaková síla působící na rovinnou plochu kapaliny a S je obsah této plochy. Jedná se o skalární veličinu, která má jednotku pascal (Bednařík, Šíroká, 2000, str.178).

Vlastnosti tlaku v kapalinách popisuje Pascalův zákon, který objevil v roce 1652 francouzský fyzik Blaise Pascal. „*Tlak vyvolaný vnější silou, který působí na kapalinu v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný*“ (Svoboda, 2014, str. 13). Jelikož je tlak ve všech místech a směrech v kapalině stejný, tlaková síla míří také do všech směrů. Její velikost je závislá na obsahu plochy, na kterou síla působí (Tarábek, Červinková, 2004, str. 51).

Tlak v kapalinách je způsobován také působením tíhové síly. Ta vyvolává v kapalině tzv. hydrostatickou tlakovou sílu, která působí na všechny stěny a dno nádoby a na tělesa ponořená do kapaliny. Velikost hydrostatické tlakové síly je závislá na hustotě kapaliny, plošném obsahu dna a hloubce. Vyjádříme ji tedy vztahem

$$F_h = h\rho Sg. \quad (10)$$

Tato síla však není závislá na tvaru nádoby. Tomuto jevu říkáme hydrostatické paradoxon. Tlak, který v kapalině vyvolává hydrostatická tlaková síla nazýváme hydrostatický tlak p_h . Z obecné definice tlaku víme, že to je síla působící na plochu. Tudíž můžeme hydrostatický tlak vyjádřit pomocí vzorce

$$p_h = h\rho g, \quad (11)$$

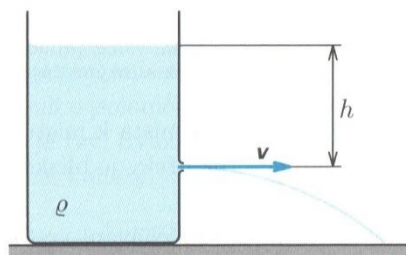
kde h je hloubka pod hladinou, ρ je hustota kapaliny a g je tíhové zrychlení Země (Bednařík, Šíroká, 2000, str. 183).

Pokud na kapalinu v nádobě působí vnější tlaková síla, celkový tlak v nádobě se rovná součtu hydrostatického tlaku a tlaku vyvolaného vnější silou. V každém místě nádoby se tedy hodnota tlaku zvýší stejně (Svoboda, 2014, str. 116).

Pokud bychom udělali ve stěně nádoby otvor a nechali jím kapalinu vytékat, měnila by se intenzita, s jakou by voda stříkala otvorem ven. Vychází to ze zákona zachování mechanické energie. Výtokovou rychlost kapaliny vyjadřujeme vzorcem

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (12)$$

Výtoková rychlost kapaliny závisí na hloubce, ve které se otvor nachází. Stejnou rychlost by kapalina měla, kdyby padala ze stejné výšky volným pádem. Výtoková rychlost se zmenšuje se snižující se výškou hladiny (viz Obrázek 7). S tím také souvisí, že s ubývajícím množstvím kapaliny v nádobě se bude zpomalovat i rychlost pohybu hladiny směrem ke dnu (Bednařík, Šířková, 2000, str. 98).



Obrázek 7: Výtoková rychlost

Zdroj: Svoboda, 2014, str. 127

Při tomto měření se studenti rozdělili a měřili po dvojicích. Jelikož jich byl lichý počet, jedna ze studentek se rozhodla, že bude měřit samostatně. Takto rozdělení jsme se pak pustili do přípravy pomůcek k měření.

Jako nádobu pro měření jsem zvolila PET lahev od Kofoly o objemu 2,25 litru. Tato lahev má dostatečnou výšku o konstantním průměru, a proto je vhodná pro tento pokus. Prvním úkolem řešitelů fyzikální olympiády bylo připravit si PET lahev k měření (viz Obrázek 8). Nejprve z ní odstranili obal, aby byla hladina dobře vidět po celou dobu měření. Poté vzali hřebík o průměru 2,5 mm do kleští a nad plamenem svíčky jej nahřáli. Rozžhaveným hřebíkem udělali díрку ve spodní části PET lahve, tak aby byla v co nejnižším bodě části s konstantním průřezem. Nad otvorem pak pomocí fixu vytvořili svislou stupnici s délkou o velikosti 1 cm. Stupnice měla délku dvaceti centimetrů. Pak už měli studenti připraveny všechny pomůcky a mohlo začít samotné měření. Protože při měření měla voda z PET lahve vytékat, přemístili jsme se s lahvemi naplněnými vodou ven před budovu fakulty (viz Obrázek 9 a Obrázek 10). Tam se studenti pustili do měření. Postavili lahve s vodou na okraj chodníku tak, že otvor směřoval do trávníku. Pak otvor odkryli a voda začala z PET lahve stříkat ven. Jakmile hladina prošla první ryskou stupnice, spustili studenti stopky. Zaznamenávali si všechny mezičasy při průchodu hladiny ryskami. Tím, že studenti měřili po dvojicích, mohli současně také vyplňovat naměřené časy do připravené tabulky. Čím níže je hladina nad otvorem, tím menší je tlak v nádobě. Měření studenti ukončili ve chvíli, kdy byl tlak tak malý, že proud kapaliny přestal stříkat z lahve, ale voda pouze vytékala po stěně nádoby. Jakmile doměřili všichni studenti, přesunuli jsme se zpátky do učebny. Tam si studenti doplnili tabulky a zároveň jsme se seznámili s tím, co bude tabulka na závěr obsahovat. Prošli jsme společně, jak se jednotlivé hodnoty dopočítávají. Ukázala jsem studentům, jak vypadá výsledný graf a jak ho v Excelu vytvořit. Také jsme společně diskutovali, co by bylo vhodné napsat do závěru. Studenti si pak odnesli připravené PET lahve domů, aby mohli měření zopakovat ještě alespoň čtyřikrát a tím zpřesnili výsledky pokusu. Kdo chtěl, mohl si během přestávky připravit ještě jednu lahev, aby

si ji nemuseli ve dvojicích předávat. Po pauze na oběd se studenti opět pustili do řešení zbylých příkladů.



Obrázek 8: Příprava PET lahve pro měření pokusu kategorie C
Zdroj: Vlastní fotografie



Obrázek 9: Měření pokusu kategorie C
Zdroj: Vlastní fotografie



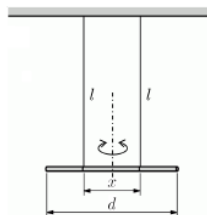
Obrázek 10: Měření pokusu kategorie C
Zdroj: Vlastní fotografie

3.1.4 Kategorie D

6. Praktická úloha: Rotační kmity zavěšené tyče

Homogenní tyč délky d zavěsíme souměrně na vzájemně rovnoběžné závěsy zanedbatelné hmotnosti do vodorovné polohy a nepatrně vychýlíme otočením kolem svislé osy. Po uvolnění bude tyč konat rotační kmity. Z teorie plyne, že frekvence f malých kmitů závisí na vzdálenosti závěsů x přímo úměrně, a to podle vztahu

$$f = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}} \cdot x = A \cdot x. \quad (1)$$



Úkol: Zjistěte experimentálně funkční závislost frekvence f malých rotačních kmitů vodorovné tyče na vzájemné vzdálenosti x rovnoběžných závěsů a ověřte platnost uvedeného vztahu.

Pomůcky: Závitová tyč délky aspoň 20 cm (průměr 6 až 10 mm), stativ, tenké závěsy, stopky.

Návod a poznámky:

- 1) Frekvence f měřená v jednotce Hz je počet kmitů tyče za 1 s. Perioda T kmitů je doba, za kterou se tyč vrátí do původní polohy. Platí $f = \frac{1}{T}$.
- 2) Závěsy uvážeme na háčky posunutelné po vodorovné tyči stativu nebo je přímo na tyč stativu přivážeme tak, aby při kmitech uzlík pod tyčí stativu zůstal v klidu, ale aby bylo možno při změně vzdálenosti vláken očko po tyči stativu snadno posunovat. Na dolním konci každého závěsu vytvoříme volnější očko, aby se jeho poloha na závitové tyči dala snadno měnit. Délku závěsů volíme aspoň 4krát větší, než je délka tyče.
- 3) Změříme délku d tyče a délku l závěsů.
- 4) Kmity tyče jsou při malých úhlových výchylkách harmonické. To znamená, že perioda kmitů pro malé výchylky prakticky na výchylce nezávisí. Při větších výchylkách se perioda poněkud prodlužuje. Proto při měření nechte kmitat tyč s co nejmenší úhlovou výchylkou.
- 5) Vzdálenost x závěsů budeme měnit od maximální možné vzdálenosti d do nejmenší, pro kterou bude perioda ještě měřitelná. Získáme tak zhruba 10 různých hodnot x . Výsledky měření zapíšeme do tabulky. Doba např. 10 period měříme vždy dvakrát a počítáme s aritmetickým průměrem. Jako poslední údaj doplníme $x = 0$ m. V tomto případě kmity nevzniknou, jejich periodu lze považovat za nekonečně velkou a frekvenci za nulovou, proto doplníme frekvenci $f = 0$ Hz (tato hodnota frekvence jako jediná není zatížena chybou měření).

Číslo měření	$\frac{x}{\text{m}}$	$\frac{10T_1}{\text{s}}$	$\frac{10T_2}{\text{s}}$	$\frac{T}{\text{s}}$	$\frac{f}{\text{Hz}}$
1					
2					
3					
⋮					
10	0	∞	∞	∞	0

- 6) Graf závislosti frekvence f kmitů na vzdálenosti x vláken sestojíme v Excelu. Do buněk tabulky zapíšeme naměřené údaje v opačném pořadí (tj. s rostoucím x) a ve zbývajících sloupcích provedeme výpočty pomocí vložené funkce (aritmetický průměr dvou period lze vynechat a výpočet zahrnout do vzorce pro frekvenci). Kurzorem označíme dvojici sloupců x a f s daty a vložíme *Graf*. Volíme typ grafu *XY bodový*, podtyp *bodový* (tj. bez spojnic datových bodů) – zobrazí se soustava izolovaných bodů. Po kliknutí pravým tlačítkem myši na libovolný z nich z nabídky vybereme položku *Přidat spojnicí trendu* a následně položku *Typ trendu a regrese*, zvolíme typ *Lineární* a podmínku, aby graf procházel počátkem. Tím se zobrazí přímka, která proloží body grafu. Zobrazíme též *Rovnici regrese*, tj. rovnici získané přímkou.
- 7) Ze zobrazené rovnice regrese vyčteme číselnou hodnotu konstanty A a porovnáme ji s číselnou hodnotou této konstanty získané z rovnice (1)

$$A' = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}}$$

dosazením změřených hodnot d , l a tíhového zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

- 8) Zformulujeme závěr.

Obrázek 11: Zadání praktické úlohy kategorie D

(převzato z http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63d1_z.pdf)

Poslední ze seminářů se konal 24. 1. 2022. Byl určen pro nejmladší kategorii D. Účast na tomto semináři byla ze všech největší. Dorazilo celkem 11 studentů prvních ročníků středních škol. I vzhledem k nejmenší náročnosti příkladů jsme během dopoledne stihli se studenty projít 5 ze 6 příkladů fyzikální olympiády. Po krátké pauze na oběd jsme se pustili do praktické úlohy.

Zadání praktické úlohy pro tuto kategorii se týkalo kmitání (viz Obrázek 11). Konkrétně bylo naším úkolem zjistit závislost frekvence kmitání závitové tyče na vzdálenosti mezi rovnoběžnými závěsy. Předtím, než jsme se pustili do samotného měření, zopakovali jsme si teorii týkající se tématu.

Pokud těleso vykonává pohyb, při kterém se pravidelně vychyluje ze své rovnovážné polohy, říkáme, že takové těleso kmitá. Mechanické kmitání je periodický děj, při němž se veličiny, které jej popisují, mění v čase. Soustavu, která vykonává kmitavý pohyb nazýváme mechanický oscilátor (Tarábek, Červinková, 2004, str. 92). Příkladem oscilátoru je například těleso na pružině. Po zavěšení tělesa dojde k natažení pružiny a těleso se ustálí v rovnovážné poloze. Pokud na něj zapůsobíme vnější silou ve svislém směru, dojde k jeho vychýlení a začne vykonávat kmitavý pohyb. Dalším typem oscilátoru je kyvadlo. Jedná se o těleso na pevném závěsu. Takovýto oscilátor uvedeme do kmitavého pohybu vychýlením ve vodorovném směru (Lepil, 2003, str. 11).

Kmitavý pohyb můžeme popisovat několika fyzikálními veličinami. Perioda T označuje dobu jednoho kmitu oscilátoru a její jednotkou jsou sekundy. Převrácenou hodnotu periody nazýváme frekvence. Tato veličina vyjadřuje počet kmitů za jednotku času. Základní jednotkou frekvence je hertz.

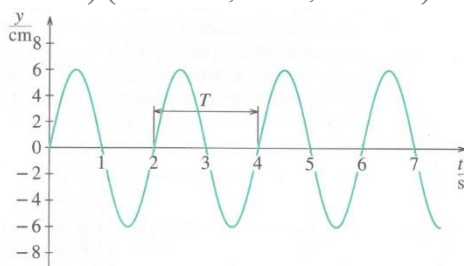
$$f = \frac{1}{T} \quad (13)$$

Okamžitou vzdálenost těžiště oscilátoru od jeho rovnovážné polohy udává veličina okamžitá výchylka y . Její maximální hodnotu nazýváme amplituda a značíme y_m (Tarábek, Červinková, 2004, str. 92). Dále k popisu kmitání využíváme úhlovou frekvenci, kterou můžeme také nazývat úhlový kmitočet. Značíme ji ω a je dána vztahem

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f. \quad (14)$$

Úhlovou frekvenci uvádíme v jednotkách s^{-1} (Svoboda, 2014, str. 215).

Pokud bychom chtěli znázornit časový průběh výchylky harmonického kmitavého pohybu, dostali bychom graf funkce sinus. Takovému znázornění říkáme časový diagram kmitavého pohybu (viz Obrázek 12) (Svoboda, 2014, str. 215).



Obrázek 12: Časový diagram kmitavého pohybu

Zdroj: Lepil, 2003, str. 12

Harmonický kmitavý pohyb a okamžitou polohu těžiště tělesa můžeme popsat rovnicí

$$y = y_m \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (15)$$

kde ωt označuje okamžitou fázi a φ_0 počáteční fázi kmitání (Tarábek, Červinková, 2004, str. 92).

Rychlost pohybu je definovaná jako derivace polohy podle času. Derivací rovnice harmonického pohybu tedy dostaneme rychlost těžiště tělesa.

$$v = \frac{dy}{dt} = \omega y_m \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (16)$$

Pokud provedeme druhou derivaci, získáme rovnici pro zrychlení (Svoboda, 2014, str. 220).

$$a = \frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y_m \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 y \quad (17)$$

„Zrychlení harmonického pohybu je přímo úměrné výchylce a v každém okamžiku má opačný směr“ (Lepil, 2003, str. 20).

Zaměříme se na kmitavý pohyb kyvadla (viz Obrázek 13). Pokud výchylka závěsu od svislého směru nepřesáhne 5° , můžeme pohyb kyvadla považovat za přímočarý. Síla, která způsobuje pohyb kyvadla, je výslednicí tíhové síly F_G a tahové síly F_t , kterou působí závěs na těleso. Pro malé výchylky můžeme brát, že

$$\sin \alpha \approx \alpha = \frac{F}{F_G} = \frac{x}{l}, \quad (18)$$

kde x je vychýlení od svislého směru a l je délka vlákna. Pohybová rovnice pro pohyb kyvadla má tvar

$$F = -m\omega^2 x = -m \frac{g}{l} x, \quad (19)$$

z něhož můžeme vyjádřit úhlovou frekvenci vlastního kmitání kyvadla jako

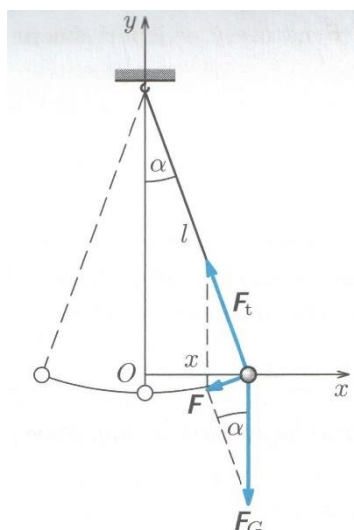
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (20)$$

Odtud pak můžeme vyjádřit vzorce pro periodu a frekvenci vlastního kmitání kyvadla

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (21)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad (22)$$

kde l je délka vlákna závěsu.



Obrázek 13: Kyvadlo
Zdroj: Svoboda, 2014, str. 230

Při pokusu kategorie D fyzikální olympiády budeme pracovat s tyčí zavěšenou na dvou rovnoběžných závěsech. Tu budeme vychylovat od rovnovážné polohy. Frekvenci malých rotačních kmitů tyče nám udává vzorec

$$f = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}} \cdot x, \quad (23)$$

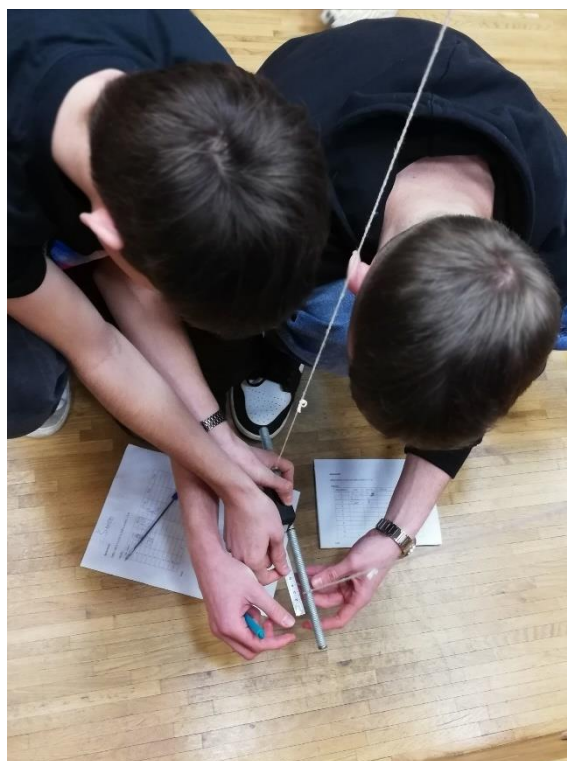
kde d je délka tyče, l je délka závěsů a x je vzdálenost mezi rovnoběžnými závěsy (http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63d1_z.pdf). Odvození tohoto vztahu lze najít například v článku Amrozia Shaheen a Muhammada Sabieh Anwara (<https://www.physlab.org/wp-content/uploads/2017/05/Bifilar-Pendulum-1.compressed.pdf>).

Rozhodla jsem se se studenty udělat odhad toho, jaký bude výsledek našeho měření. Studentům jsem položila otázku, jaká si myslí, že bude naměřená závislost vzdálenosti závěsů a frekvence, s jakou bude tyč po vychýlení kmitat. Ve skupině studentů padlo několik tipů. Někteří tvrdili, že čím blíže k sobě závěsy budou, tím větší bude frekvence. Někteří si mysleli opak. Stejně jako na všechny předchozí semináře i na tento jsem si připravila pomůcky k měření. Jako tyč na zavěšení jsme použili uříznutou násadu z koštěte. Prvním úkolem studentů bylo zavěsit závitovou tyč na dva stejně dlouhé provázky. Ačkoli se tento úkol zdá být jednoduchý, strávili jsme jím docela dlouhý čas. Po několika nevydařených pokusech se studentům podařilo uvázat závitovou tyč na násadu tak, aby visela vodorovně. Nyní jsme mohli přistoupit k samotnému měření. Studenti si vždy změřili vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými závěsy a zapsali si ji do tabulky. Poté nepatrně vychýlili závitovou tyč okolo svislé osy a nechali kmitat. Úkolem studentů bylo změřit čas 10 period. Tuto naměřenou hodnotu pak zapsali do připravené tabulky a pro zpřesnění výsledků měření opakovali. Nyní změnili vzdálenost mezi závěsy, opět ji zaznamenali do tabulky a tyto kroky opakovali desetkrát, dokud neměli vyplněnou celou tabulku (viz Obrázek 14 a Obrázek 15). Poté ze dvou naměřených hodnot pro stejnou vzdálenost závěsů vypočítali aritmetický průměr. Tím získali dobu jedné periody kmitání, ze které pak už pouhým převrácením získali hodnotu frekvence. V posledním řádku tabulky studenti vyplnili nulovou vzdálenost závěsů, nekonečnou periodu a s ní související nulovou frekvenci. Poté jsem jim ukázala, jakým způsobem vytvořit v Excelu výsledný graf závislosti, jak body proložit přímkou a zobrazit její rovnici. Úkolem žáků na samostatné dopracování doma bylo graf vytvořit a směrnicí přímky porovnat se směrnicí dopočítanou podle

zadaného vzorce. Výsledky našeho měření jsme pak srovnali s odhadem, který jsme udělali na začátku, a řekli jsme si, co by bylo vhodné napsat do diskuze a závěru.

Na této praktické úloze pracovali všichni studenti dohromady. Na začátku společnými silami připravili pomůcky k měření. Dobu deseti period už ale měřil každý na svých stopkách samostatně. Při změně vzdálenosti mezi závěsy a při vychylování se studenti střídali. Každý si tak měl šanci vyzkoušet všechny kroky měření.

Po dokončení praktické úlohy nám už zbýval pouze poslední příklad z fyzikální olympiády, který bylo potřeba společně projít.



Obrázek 14: Měření pokusu kategorie D

Zdroj: Vlastní fotografie



Obrázek 15: Měření pokusu kategorie D
Zdroj: Vlastní fotografie

3.2 Stručný návod k použití systému PASCO

V této kapitole bych ráda přiblížila práci se systémem PASCO. Nejprve představím několik senzorů a dalších pomůcek PASCO, které využijeme ke zpřesnění měření pokusů 63. ročníku FO. Následuje stručný návod k obsluze programu PASCO Capstone, ve kterém jsem se zaměřila hlavně na úkony potřebné k našemu měření.

3.2.1 Pomůcky PASCO

Společnost PASCO se již více než padesát let věnuje podpoře experimentů ve výuce přírodních věd, jako jsou chemie, fyzika, biologie nebo zeměpis. Vyrábí velmi kvalitní senzory, sondy a další experimentální vybavení, které jsou hojně využívány pedagogy při experimentální výuce (<https://pasco.cz/component/content/article/225-o-pasco?Itemid=348>).

Airlink

Airlink je rozhraní, které umožňuje bezdrátově připojit PASCO senzor k počítači pomocí Bluetooth (viz Obrázek 16). Je přes něj možno připojit více než 80 různých senzorů. Nabíjí se pomocí USB kabelu, který zároveň může sloužit k připojení rozhraní k počítači a přenosu dat kabelem. Maximální dosah bezdrátového připojení je 30 m (<https://pasco.cz/senzory-a-cidla/9-rozhrani/83-bezdratove-rozhrani-airlink>).



Obrázek 16: Bezdrátové rozhraní Airlink

Zdroj: Vlastní fotografie

Senzor síly

Senzor PS-2104 je určen k měření tlakové nebo tahové síly (viz Obrázek 17). Má rozsah ± 50 N s rozlišovací schopností 0,03 N. K počítači se připojuje pomocí kabelu přes rozhraní Airlink. Jeho tvar umožňuje jednoduché uchycení při měření na laboratorním stojanu a zároveň je uzpůsoben k měření, při němž drží uživatel senzor v ruce (<https://pasco.cz/senzory-a-cidla/8-senzory-dratove/23-senzor-sily>).



Obrázek 17: Senzor síly

Zdroj: Vlastní fotografie

Fotobrána

Fotobrána je senzor, který je schopen získávat údaje o pohybu tělesa při průchodu světelným paprskem (viz Obrázek 18). Infračervený paprsek o vlnové délce 880 nm dopadá na fotodiodu. Podle doby přerušení paprsku procházejícím tělesem můžeme určit například periodu nebo rychlost pohybu. Pro připojení fotobrány je potřeba digitální adaptér PS-2159 a rozhraní Airlink (<https://pasco.cz/senzory-a-cidla/8-senzory-dratove/16-pridavna-fotobrana>).



Obrázek 18: Fotobrána a digitální adaptér

Zdroj: Vlastní fotografie

Senzor pohybu

Tento bezdrátový senzor pohybu využívá k analyzování pohybu ultrazvuk (viz Obrázek 19). Vyšle ultrazvukový signál, který se odrazí od překážky a senzor jej detekuje. Tímto způsobem je schopen v rozmezí 15 cm až 4 m určovat polohu, rychlost nebo zrychlení. Díky otočné hlavici o 180 stupňů můžeme senzor nasměrovat do libovolného směru pohybu. Senzor můžeme k počítači připojit buď pomocí Bluetooth nebo USB kabelem bez jakéhokoli rozhraní (<https://pasco.cz/senzory-a-cidla/7-bezdratove-senzory/108-bezdratovy-senzor-pohybu>).



Obrázek 19: Ultrazvukový senzor pohybu

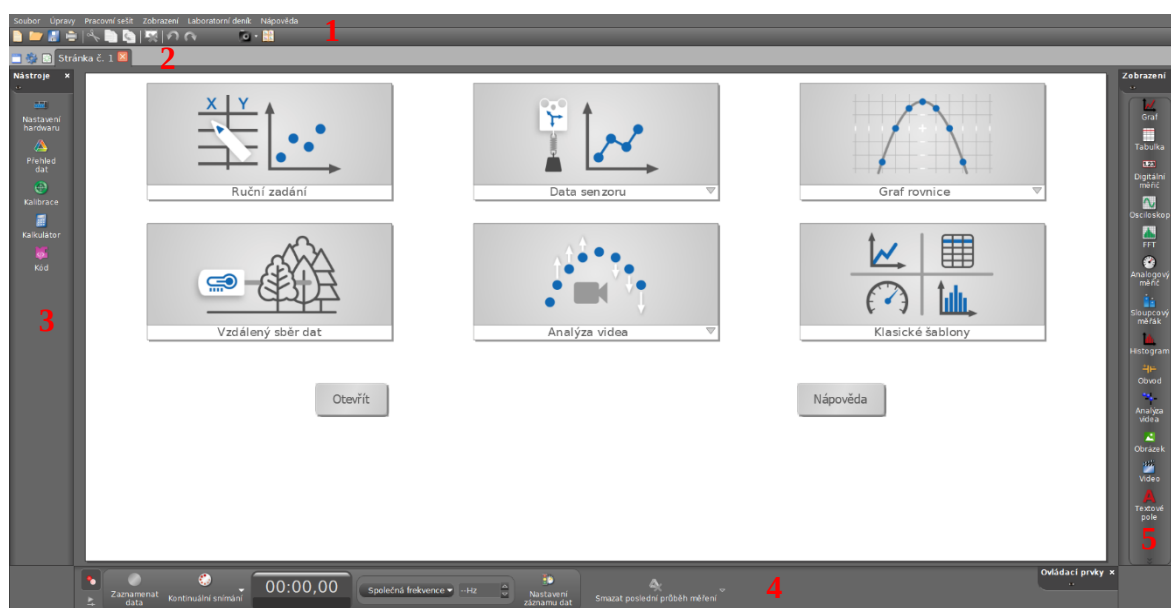
Zdroj: Vlastní fotografie

3.2.2 Příprava experimentů v PASCO Capstone

V této podkapitole si ve stručnosti ukážeme, jaké nástroje budeme v programu PASCO Capstone využívat. Dále bych ráda představila základní úkony při vytváření nového experimentu. Tyto postupy pak využijeme při všech našich měřeních.

Základní orientace v programu PASCO Capstone:

Po otevření programu PASCO Capstone zabírají největší část obrazovky předpřipravená rozložení stránek. V horní části obrazovky nalezneme nástrojovou lištu (viz Obrázek 20, č.1). Ta nám při našem měření poslouží například při otevírání předpřipravených souborů, zamykání stránek nebo při práci s laboratorním deníkem. Pod touto lištou je řádek, ve kterém se zobrazují jednotlivé stránky, které k danému pokusu vytvoříme (viz Obrázek 20, č.2). Můžeme je libovolně přidávat pomocí ikony v tomto řádku. Stránky lze přejmenovávat, a to pomocí nabídky *Pracovní sešit* v nástrojové liště a možnosti přejmenovat stránku. Podél levého okraje obrazovky se nalézá paleta nástrojů (viz Obrázek 20, č.3). První ikonou je *Nastavení hardwaru*, kde vidíme připojené senzory a můžeme pracovat s jejich nastavením. V sekci *Přehled dat* vidíme jak data ze senzoru, tak data námi zadaná. Dále budeme při některých pokusech využívat nástroj *Kalkulátor*. Tam můžeme vytvářet výpočty využívající data z měření. V dolní části obrazovky se nachází ovládací lišta (viz Obrázek 20, č.4). Ta obsahuje tlačítko *Zaznamenat data*, pomocí kterého budeme spouštět a ukončovat měření. Dále je zde také možnost změnit vzorkovací frekvenci senzoru. Po pravé straně obrazovky najdeme paletu *Zobrazení* (viz Obrázek 20, č.5).



Obrázek 20: Úvodní stránka programu PASCO Capstone (1 – Nástrojová lišta; 2 – Stránky souboru; 3 – Paleta nástrojů; 4 – Ovládací lišta; 5 – Paleta zobrazení)

Zdroj: Vlastní snímek obrazovky

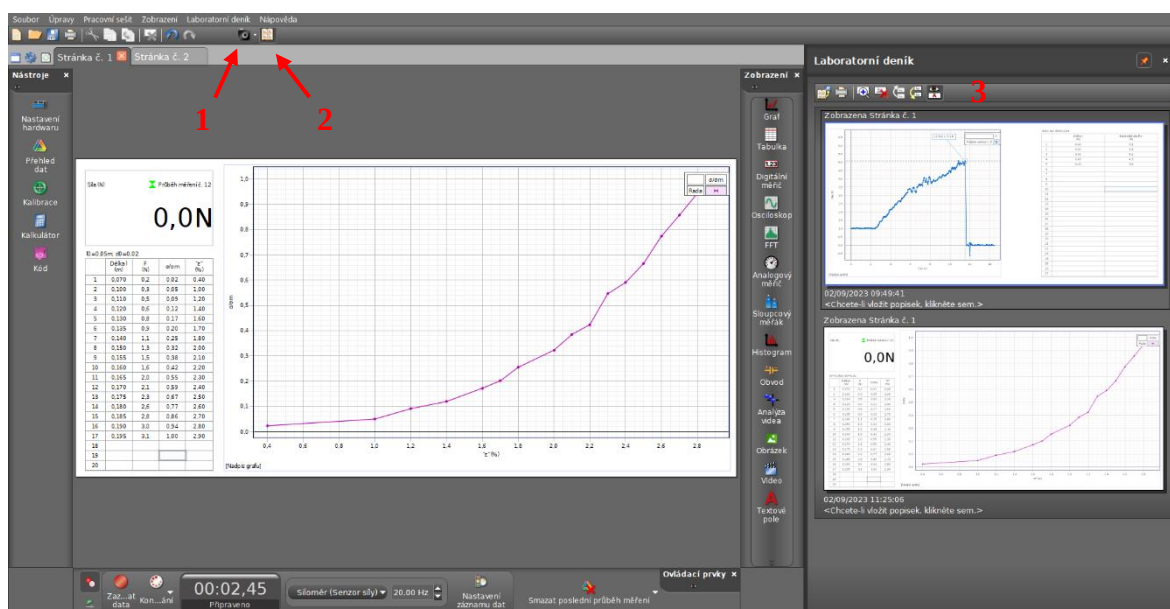
Vytvoření nového experimentu:

Když spustíme program PASCO Capstone, zobrazí se základní nabídka předpřipravených rozložení stránky. Pokud některé z nich vyhovuje našim požadavkům, můžeme je využít. Pokud si chceme vytvořit vlastní, využijeme paletu *Zobrazení* na pravé

straně obrazovky (viz Obrázek 20, č.5). My využijeme při našich měření *Graf*, *Digitální měřič* a *Histogram*. Námi zvolené zobrazení pak přetáhneme na bílou pracovní plochu a umístíme.

Práce s Laboratorním deníkem:

Laboratorní deník je prostor, kam můžeme ukládat naměřená data ve formě snímků obrazovky. Využíváme k tomu ikonu fotoaparátu v horní nástrojové liště (viz Obrázek 21, č.1). Po jejím stisknutí se uloží snímek stránky experimentu, kterou máme právě otevřenou. Když chceme *Laboratorní deník* otevřít, použijeme vedlejší ikonu alba (viz Obrázek 21, č.2) a na pravé straně obrazovky se zobrazí náhledy uložených snímků. Vzhledem k tomu, že se do deníku ukládají obrázky, není možné data v nich dále upravovat. Pokud bychom tedy chtěli udělat nějakou změnu, provedeme ji na stránce experimentu a znovu uložíme do laboratorního deníku. Lišta laboratorního deníku nám dává několik možností, jak s ním pracovat (viz Obrázek 21, č.3). Prostřednictvím první ikony můžeme obrázky exportovat do úložiště v počítači nebo na flash disk. Po stisknutí ikony se zobrazí okno, ve kterém najdeme požadované úložiště a stiskneme tlačítko *Export*. Dále máme možnost uložené snímky vytisknout. Zbývající čtyři ikony slouží k náhledu snímku, jeho odstranění nebo změně pořadí snímků.



Obrázek 21: Laboratorní deník (1 – Ikona pro uložení do laboratorního deníku; 2 – Ikona pro otevření laboratorního deníku; 3 – Lišta laboratorního deníku

Zdroj: Vlastní snímek obrazovky

Zamknutí experimentu:

Po nastavení celého experimentu je potřeba ho uzamknout před změnami, aby jej nemohli studenti upravovat jinak, než po nich požadujeme. Projdeme tedy lišty u všech zobrazení a pomocí ikony oka skryjeme nepotřebné nástroje. V horní liště otevřeme záložku *Pracovní sešit* a zvolíme možnost *Zamknout všechny stránky*.

3.3 Pokusy měřené pomocí systému PASCO

V této kapitole také naleznete návod pro středoškolské učitele na přípravu čtyř pokusů v programu PASCO Capstone. Zadání těchto pokusů vychází ze zadání 63. ročníku FO. V některých částech bylo nutné pokusy mírně pozměnit, aby bylo možné je naměřit pomocí senzorů PASCO. Systém PASCO využijeme pouze pro naměření veličin pomocí senzorů. Zpracovávání dat bude probíhat tabulkovým editorem (např. MS Excel). Tento program je pro studenty uživatelsky přístupnější a zároveň umožňuje vytváření protokolů mimo vyučovací hodinu. Tím dojde k výraznému snížení časové náročnosti pokusů.

Jsem si vědoma toho, že export dat ve formě obrázku a následné přepisování hodnot do tabulkového editoru, není ideálním řešením. Mnohem výhodnější by bylo exportovat data ve formátech *xlsx*, *xlsm*, *xls* atd. Toto umožňuje ale pouze novější verze programu PASCO Capstone, kterou jsem bohužel neměla k dispozici.

3.3.1 Příprava pokusu kategorie A – Latexová rukavice:

Otevřeme si zobrazení *Graf* v programu Pasco Capstone. Připojíme siloměr a zkontrolujeme si v *Nastavení hardwaru*, že ho program rozpoznal. V MS Excel si student vytvoří tabulku o třech sloupcích, do které bude zapisovat naměřené hodnoty. Nastavíme parametry grafu. Osu *x* zvolíme jako čas a osu *y* jako sílu měřenou senzorem. Student bude postupovat podle pokynů v pracovním listu (viz 0) a provede měření (viz Obrázek 22).

Pro druhou část měření si otevřeme další stránku. To uděláme pomocí ikonky v horní liště programu vedle seznamu otevřených stránek. Na této stránce budeme potřebovat zobrazení *Digitální měřič*. V MS Excel si student vytvoří druhou tabulku, která bude mít čtyři sloupce. V prvním z nich bude délka pásky, do druhého budeme zapisovat odpovídající sílu. Do třetího sloupce bude zapisovat vypočítané relativní prodloužení. Čtvrtý sloupec bude určen pro normálové napětí normalizované na mez pevnosti.

Nejprve je však potřeba odvodit vztah pro normálové napětí σ_n normalizované na mez pevnosti σ_p . Vyjdeme z Hookova zákona, který rozšíříme o zlomek l/l

$$\sigma_n = \frac{F}{S} \cdot \frac{l}{l} \quad (24)$$

Zlomky upravíme do jednoho a ve jmenovateli součin $S \cdot l$ nahradíme objemem V . Nyní získáme výraz

$$\sigma_n = \frac{F \cdot l}{V} \quad (25)$$

Obdobný výraz platí také pro mez pevnosti pásky

$$\sigma_p = \frac{F_m \cdot l_m}{V} \quad (26)$$

kde F_m je síla, která způsobí přetržení, a l_m je maximální délka v momentě přetržení pásky. Jelikož potřebujeme získat napětí normalizované na mez pevnosti, podělíme rovnice mezi sebou, vykrátíme objem V a dostaneme vztah

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{F \cdot l}{F_m \cdot l_m} \quad (27)$$

kde F je tahová síla působící na pásek, l je odpovídající délka pásku, F_m je síla, která způsobí přetržení, a l_m je maximální délka v momentě přetržení pásku.

Obě stránky v programu PASCO Capstone je potřeba uzamknout před úpravami studentů (viz 3.2.2 – Zamknutí experimentu). Zpracování dat studenty proběhne v MS Excel.



Obrázek 22: Měření pokusu kategorie A pomocí senzorů PASCO

Zdroj: Vlastní fotografie

3.3.2 Příprava pokusu kategorie B – Vlákenné tření

Otevřeme program Pasco Capstone. Z nabídky zobrazení vybereme *Histogram*. Přes Airlink (Powerlink) připojíme senzor síly a v *Nastavení hardwaru* zkontrolujeme, že jej program vidí. V histogramu nastavíme sílu jako veličinu zobrazovanou na ose x . Pomocí ikon v horní liště histogramu přidáme intervaly. V MS Excel si student vytvoří tabulku, do které bude zapisovat naměřené hodnoty síly. Zkontrolujeme, že nám senzor dává kladné hodnoty. Pokud by tomu tak nebylo, přejdeme do *Nastavení hardwaru* a rozklikneme ozubené kolečko u senzoru síly. V tabulce zaškrtneme možnost *Změnit znaménko* a opět zkontrolujeme, jaké hodnoty siloměr měří. Uzamkneme stránku proti úpravám studentů (viz 3.2.2 – Zamknutí experimentu). Student provede měření podle uvedeného postupu (viz Obrázek 23).



Obrázek 23: Měření pokusu kategorie B pomocí senzorů PASCO
Zdroj: Vlastní fotografie

3.3.3 Příprava pokusu kategorie C – Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby

V Programu Pasco Capstone otevřeme z palety zobrazení *Tabulka*. Připojíme Senzor pohybu (přes Airlink/Powerlink) a v *Nastavení hardwaru* se ujistíme, že je správně připojen. Vrátime se do tabulky, abychom nastavili potřebné veličiny do jednotlivých sloupců. V prvním sloupci vybereme čas, ve druhém rychlost pohybu. Ve spodní liště programu snížíme vzorkovací frekvenci měření. Mně se nejvíce osvědčila vzorkovací frekvence 1 Hz. Při měření tohoto pokusu jsem musela PET lahev nahradit širší skleněnou nádobou (viz Obrázek 24). Senzor totiž měřil chybné hodnoty z důvodu odrazů od stěny PET lahve. Použila jsem tedy skleněnou nádobu na nápoje, která má ve spodní části kohoutek. Stejně tak by šel ale použít plastový kyblík, do kterého by se vyvrtal otvor pro výtok kapaliny. Při měření položíme na hladinu vystřižený kus papíru, který usnadní senzoru detekci polohy hladiny. Připravenou stránku zamkneme (viz 3.2.2 – Zamknutí experimentu). Student bude postupovat podle pracovního listu (viz 3.4.6). Výsledkem jeho měření se senzorem PASCO bude exportovaný *laboratorní deník*. Při zpracovávání dat bude tedy student muset přepsat naměřená data do MS Excel. I z tohoto důvodu nedoporučuji nastavovat vyšší vzorkovací frekvenci měření.



Obrázek 24: Měření pokusu kategorie C pomocí senzorů PASCO
Zdroj: Vlastní fotografie

3.3.4 Příprava pokusu kategorie D – Závitová tyč

Otevřeme program Pasco Capstone. V nabídce *Zobrazení* vybereme *Tabulku*. Připojíme optickou bránu pomocí digitálního adaptéru přes Powerlink (Airlink) k počítači. V sekci *Nastavení hardwaru* vybereme zdířku, ve které máme senzor připojený, a jeho typ. Objeví se ikonka pro *Nastavení časovače*. Zvolíme možnost *Přednastavený časovač* a zkontrolujeme, že program vidí naši připojenou fotobránu. V třetí části zvolíme *Časovač kyvadla*. Zaklikneme, že chceme měřit periodu. Změříme šířku naší závitové tyče a nastavíme ji jako šířku kyvadla a zvolíme *Dokončit*. Uděláme tabulku pouze s jedním sloupcem a nastavíme do něj z nabídky měření periody. Pod symbolem sumy v horní liště tabulky zaškrtneme *Aritmetický průměr*. Jeho hodnota se zobrazí na konci tabulky. V MS Excel si student vytvoří tabulku, kam bude zapisovat průměrné hodnoty periody. Zamkneme stránku proti úpravám studentů (viz 3.2.2 – Zamknutí experimentu). Student provede měření dle návodu (viz Obrázek 25).



Obrázek 25: Měření pokusu kategorie D pomocí senzorů PASCO

Zdroj: Vlastní fotografie

3.4 Pracovní listy k pokusům

V rámci své bakalářské práce jsem připravila pracovní listy ke všem čtyřem praktickým úlohám 63. ročníku fyzikální olympiády. Ty primárně sloužily studentům účastnícím se seminářů pro řešitele FO, ale je možné je použít i při výuce fyziky. Ke každému experimentu zde najdete dvě verze. První z nich kopíruje zadání FO, druhá je připravena pro měření s pomůckami systému PASCO. V bakalářské práci se nachází vyplněné pracovní listy s hodnotami, které jsem naměřila v rámci přípravy na semináře pro řešitele fyzikální olympiády nebo při měření se senzory PASCO. Pro přehlednost je barvou odlišen předpřipravený pracovní list a mé zpracování. Prázdné pracovní listy jsou pak k dispozici jako přílohy bakalářské práce.

Přiložené pracovní listy mají sloužit jako návod k provedení experimentu i jako základ pro tvorbu protokolu.

3.4.1 Kategorie A – Latexová rukavice

Praktická úloha 63. ročníku fyzikální olympiády – kategorie A

Latexová rukavice

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Bednařík, Šíroká, 2000)

Normálové napětí: $\sigma_n = \frac{F_p}{S}$

Relativní prodloužení pásku: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

Hookův zákon: $\sigma_n = E\varepsilon$

Normálové napětí normalizované na mez pevnosti: $\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{d_{m0} \cdot l}{d_0 \cdot l_m}$

Úkol

- a) Určete maximální relativní prodloužení ε_m pásku latexového filmu, tedy relativní prodloužení odpovídající mezi pevnosti latexu. Měření proveďte alespoň třikrát a diskutujte výsledky.
- b) Navrhněte způsob, jak zajistit stejné silové působení na pásy latexu o stejné délce a různé šířce. Změřte a vynesete do grafu deformační křivku latexu, tj. závislost normálového napětí σ_n na relativním prodloužení. Normálové napětí měřte v relativních jednotkách, normalizujte je na napětí, které způsobí přetržení pásku (mez pevnosti σ_p).

Pomůcky

Bezbarvé lékařské latexové rukavice; pevná průhledná lepicí páska; nůžky; milimetrový papír; pravítka; metr; permanentní fix (viz Obrázek 26)



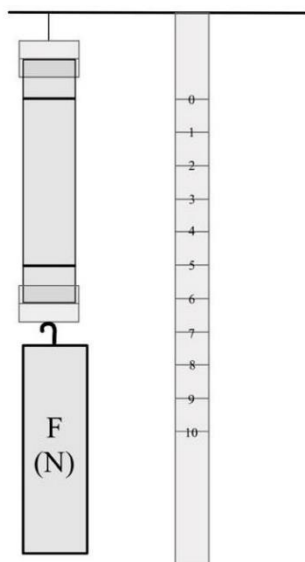
Obrázek 26: Pomůcky k měření
Zdroj: Vlastní fotografie

Postup měření

a)

1. Z latexové rukavice vystříhneme alespoň 3 pásy o stejné šířce a co největší délce. Na všech páscích si fixou vyznačíme stejnou délku tak, aby nám na krajích zbyl dostatek místa na uchycení pásku. Do tabulky si zapíšeme délku a šířku pásků.
2. Natáhneme si na podložku metr. Pásek přiložíme k metru tak, aby čára na pásku, která označuje zkoumanou délku, byla co nejbližší nule (viz Obrázek 27).
3. Začneme pásek natahovat a stále udržujeme čáru na nule. Pásek natahujeme až do jeho přetržení. Na metru odečteme maximální délku pásku v okamžiku, kdy se přetrhl, a zaznamenáme ji do tabulky.
4. Postup z bodu 3 opakujeme alespoň třikrát. Následně vypočítáme relativní prodloužení latexového pásku.

Tip: Je dobré si všechna měření natáčet na mobilní telefon. Ze záznamu je pak jednodušší odečíst maximální délku pásku než při pozorování pouhým okem.



Obrázek 27: Ilustrační obrázek k měření

Zdroj: Vlastní zpracování

b)

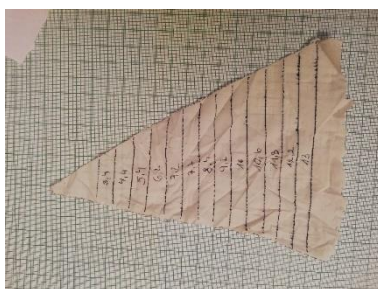
I. způsob:

1. Z latexových rukavic nastříháme pásy o různých šířkách a co největší délce a tyto hodnoty si zapíšeme do tabulky. Opět vyznačíme pomocí fixy na všech páscích stejnou zkoumanou délku.
2. Pásy pak spojíme za sebe od nejtenčího k nejsilnějšímu. Můžeme k tomu využít lepicí pásy nebo jejich konce svázat. Pozor ale, abyste měli stále vidět celou zkoumanou délku každého pásku.

3. Na podložku si natáhneme metr. Začátek zkoumané délky nejtenčího pásku přiložíme k nule na metru a začneme spojené pásky natahovat, než nejtenčí z nich praskne.
4. Zaznamenejme si do tabulky délky jednotlivých natažených pásků ve chvíli, kdy se nejtenčí z nich přetrhl. Vypočítáme ε_m a $\frac{\sigma}{\sigma_p}$ jednotlivých pásků. Vytvoříme graf závislosti normálového napětí σ_n na relativním σ_p prodloužení.

II. způsob

1. Z latexové rukavice vystříhneme trojúhelník. Pomocí fixu jej rozdělíme na několik stejných proužků (viz Obrázek 28). Změříme si šířku každého z nich a údaje zaneseme do tabulky.



Obrázek 28: Ilustrační obrázek k postupu měření
Zdroj: Vlastní fotografie

2. Na podložku natáhneme metr. Začátek prvního z proužků přiložíme k nule a začneme trojúhelník natahovat. Je možné trojúhelník přehnout nebo srolovat, což nám usnadní jeho držení.
3. Natahujeme jej až do přetržení. Opět zaznamenejme délky jednotlivých natažených pásků v momentě přetržení. Vypočítáme ε_m a $\frac{\sigma}{\sigma_p}$ jednotlivých pásků. Vytvoříme graf závislosti normálového napětí σ_n na relativním σ_p prodloužení.

Zpracování

a)

Tabulka 1: Naměřené hodnoty

$l_0 = 0.1 \text{ m}$	$d_0 = 0.02 \text{ m}$	
číslo měření	$l \text{ (m)}$	$\varepsilon \text{ (%)}$
1	0.440	340
2	0.460	360
3	0.460	360
4	0.450	350
5	0.470	370
průměr	0.456	356

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

b)

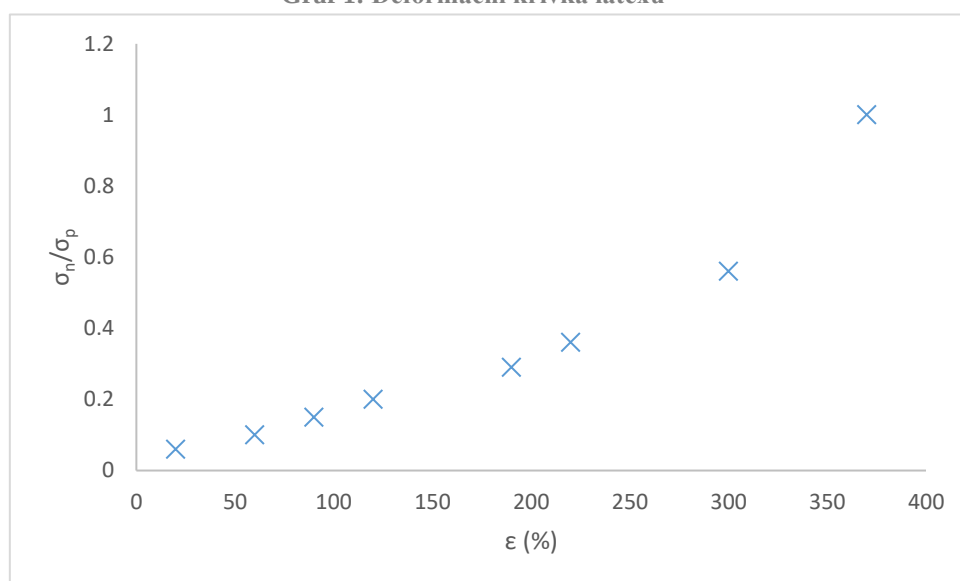
I. způsob

Tabulka 2: Naměřené hodnoty

$l_0 = 0.1 \text{ m}$			
$d_0 \text{ (m)}$	$l \text{ (m)}$	$\varepsilon \text{ (}\% \text{)}$	σ_n/σ_p
0.020	0.47	370	1.00
0.028	0.40	300	0.56
0.035	0.32	220	0.36
0.039	0.29	190	0.29
0.042	0.22	120	0.20
0.050	0.19	90	0.15
0.060	0.16	60	0.10
0.070	0.12	20	0.06

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Graf 1: Deformační křivka latexu



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

II. způsob

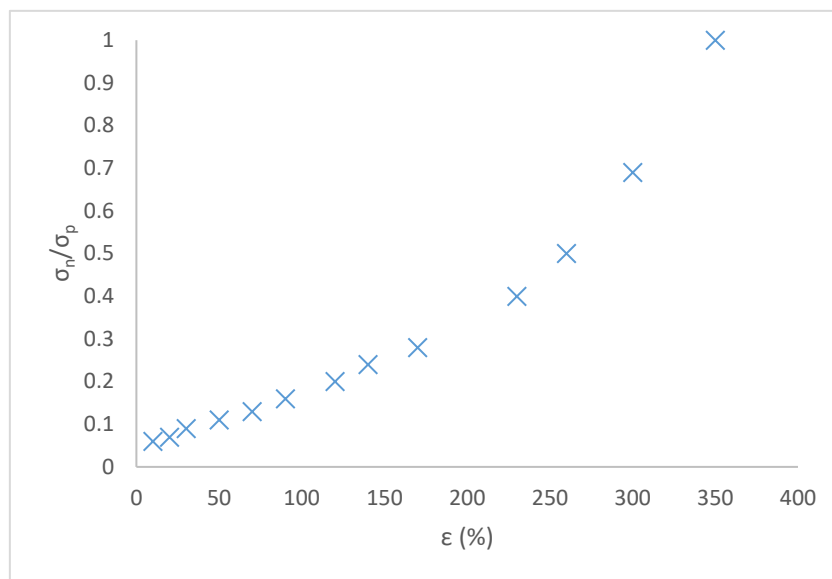
Tabulka 3: Naměřené hodnoty

$l_0 = 0.1 \text{ m}$			
$d_0 \text{ (m)}$	$l \text{ (m)}$	$\varepsilon \text{ (}\% \text{)}$	σ_n/σ_p
0.034	0.045	350	1.00
0.044	0.040	300	0.69
0.054	0.036	260	0.50
0.062	0.033	230	0.40

0.072	0.027	170	0.28
0.077	0.024	140	0.24
0.084	0.022	120	0.20
0.092	0.019	90	0.16
0.100	0.017	70	0.13
0.106	0.015	50	0.11
0.113	0.013	30	0.09
0.122	0.012	20	0.07
0.130	0.011	10	0.06

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Graf 2: Deformační křivka latexu



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Diskuze

Relativní prodloužení latexových pásků bylo naměřeno v rozmezí 340-370 %. Rozdíl mezi hodnotami mohl být způsoben nerovnostmi na okraji pásku, které mohly vzniknout při stříhání. Výslednou hodnotu jsem pak určila jako aritmetický průměr jednotlivých hodnot.

Při získávání dat pro vytvoření deformační křivky se více osvědčil druhý způsob měření. První způsob byl velmi prostorově náročný a nebylo jej možno naměřit v jednom člověku. S tím souviselo i to, že bylo těžké nastavit mobilní telefon tak, aby snímal všechny pásky a šlo odečíst potřebné hodnoty. Druhý způsob navíc umožňuje získat najednou větší množství dat.

Závěr

Relativní prodloužení latexu: $\epsilon = 356 \%$

Deformační křivka latexu (viz Graf 1 a Graf 2)

3.4.2 Kategorie A – Latexová rukavice PASCO

Latexová rukavice

PASCO

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Bednařík, Šíroká, 2000)

Normálové napětí: $\sigma_n = \frac{F_p}{S}$

Relativní prodloužení pásku: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

Hookův zákon: $\sigma_n = E\varepsilon$

Normálové napětí normalizované na mez pevnosti: $\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{F \cdot l}{F_m \cdot l_m}$

Úkol

Určit relativní prodloužení odpovídající mezi pevnosti latexu.

Změřit a vytvořit graf deformační křivky latexu. Normálové napětí měřte v relativních jednotkách, normalizujte je na napětí, které způsobí přetržení pásku (mez pevnosti σ_p).

Pomůcky

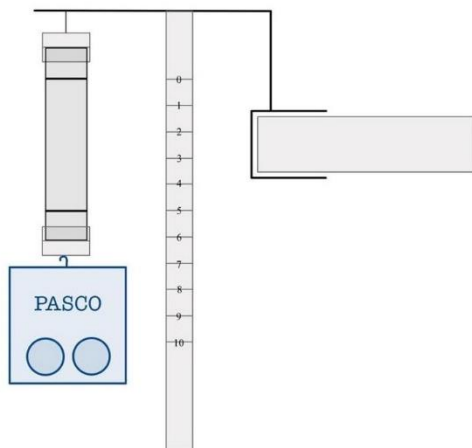
Latexové rukavice; truhlářské svěrky; senzor síly PASCO; AirLink; nůžky; pravítka; metr; provázek; permanentní fix; laboratorní stojan; mobilní telefon; počítač s programem PASCO Capstone

Postup měření

a)

1. Zapneme počítač a spustíme program PASCO Capstone. V horní liště otevřete záložku *Soubor* a zvolte možnost *Otevřít experiment*. Tímto způsobem otevřete připravený soubor k tomuto pokusu. Otevřeme také program MS Excel a připravíme si tabulku pro zapisování naměřených hodnot.
2. Z latexové rukavice vystříhneme 5 pásků o stejné šířce a co největší délce. Na všech páscích si fixou vyznačíme stejnou délku tak, aby nám na krajích zbyl dostatek místa na uchycení pásku. Do záhlaví tabulky si zapíšeme šířku a měřenou délku pásků.

3. Laboratorní stojan připevníme k desce stolu. Do laboratorního stojanu uchytníme jednu z truhlářských svěrek. Ve svislém směru spustíme vedle ní metr. Na druhou svěrku přivážeme z provázku očko, za které zahákneme háček senzoru síly (viz Obrázek 29).
4. Latexový pásek upevníme mezi dvě svěrky tak, aby rysky označující měřenou délku byly vidět.



Obrázek 29: Ilustrační obrázek k měření
Zdroj: Vlastní zpracování

5. Umístíme mobilní telefon tak, aby snímal celou délku natahovaného pásku a zároveň bylo možné odečíst hodnoty z metru.
6. Zapneme záznam videa na mobilním telefonu. Spustíme měření. Začneme pomalu táhnout za siloměr a pásek natahovat až do jeho přetržení.
7. Ukončíme měření a zastavíme nahrávání videa. Z videozáznamu odečteme maximální délku pásku těsně před přetržením a zaznamenáme ji do tabulky.
8. V grafu v programu PASCO Capstone je vidět moment přetržení, kdy síla velmi prudce klesá. Označíme bod maximální síly před přetržením a program nám nabídne 3 ikonky. Zvolíme levou z nich, která ním zobrazí souřadnice bodu. Hodnotu síly zapíšeme do tabulky
9. Body 6 až 8 opakujeme pro další 4 pásy stejné šířky.
10. Následně vypočítáme relativní prodloužení latexového pásku.

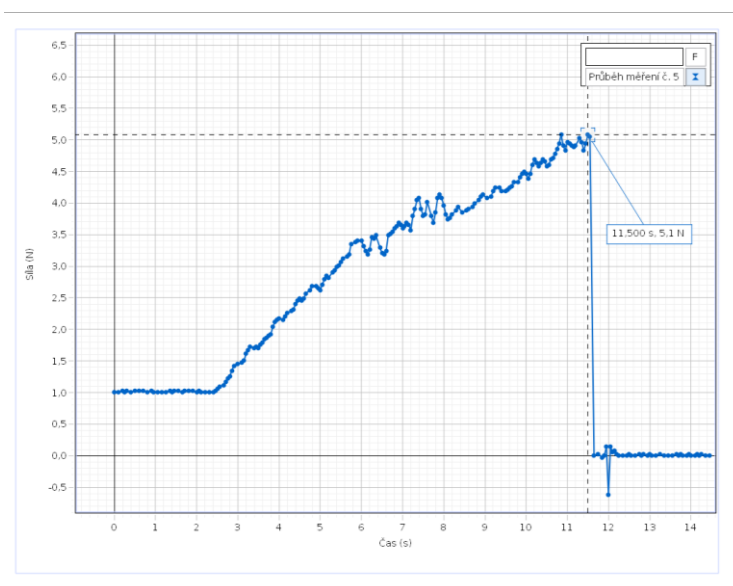
b)

1. Z latexové rukavice vystříhneme co nejdelší pásek. Pomocí fixy na něm vyznačíme zkoumanou délku pásku tak, aby na koncích zůstal dostatečný prostor na uchycení pásku do svěrek.
2. V programu PASCO Capstone otevřeme druhou připravenou stránku.
3. Pásek uchytníme do svěrek, připravíme mobilní telefon a zapneme záznam videa. Zahájíme měření.

4. Začneme pásek natahovat a nahlas čteme z digitálního měřiče hodnoty síly. Po přetržení pásku měření ukončíme a vypneme záznam videa.
5. Z videozáznamu přepíšeme do tabulky hodnoty síly a odpovídající délku pásku. Dále dopočítáme ε a $\frac{\sigma_n}{\sigma_p}$.
6. V MS Excel vytvoříme deformační křivku latexu.

Zpracování výsledků

Jako ukázkou jsem uvedla snímek jednoho z měření maximální délky pásku v momentu přetržení, ze které jsem následně určovala relativní prodloužení latexu (viz Obrázek 30).



Obrázek 30: Určování relativního prodloužení latexu

Zdroj: Vlastní zpracování v programu PASCO Capstone

Tabulka 4: Naměřené hodnoty délky a síly a odpovídající relativní prodloužení latexu

$l_0 = 0.1 \text{ m}$ $d_0 = 0.02 \text{ m}$			
číslo měření	$l \text{ (m)}$	$F \text{ (N)}$	$\varepsilon \text{ (%)}$
1	0.410	4.80	310
2	0.420	3.40	320
3	0.420	4.20	320
4	0.430	5.10	330
5	0.410	3.80	310
průměr	0.418	4.26	318

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

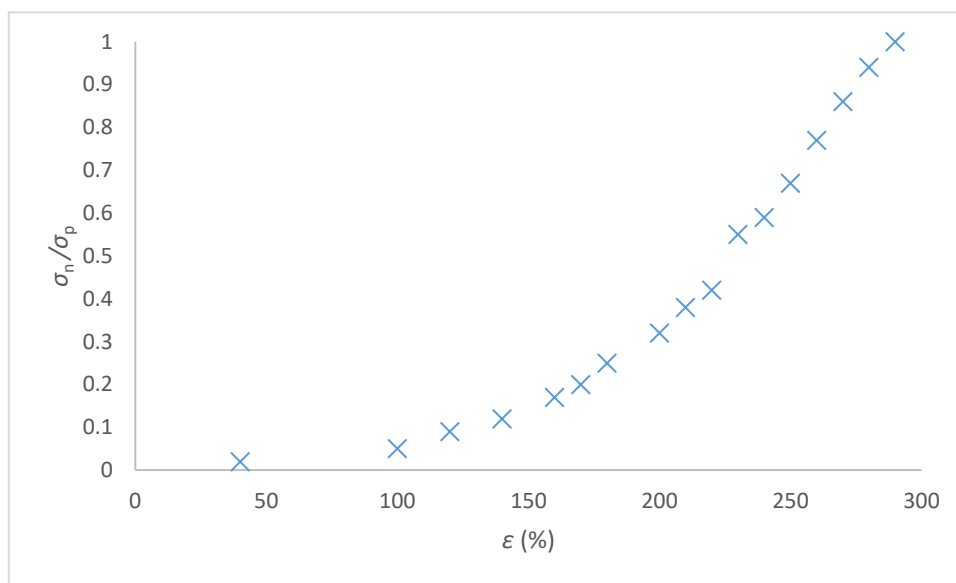
V druhé části experimentu jsem vytvořila deformační křivku latexu, tedy závislost normálového napětí (normovaného na normálové napětí v momentě přetržení) na relativním prodloužení.

Tabulka 5: Naměřené hodnoty délky a síly, relativní prodloužení a normálové napětí normalizované na mez pevnosti

$l_0 = 0.05 \text{ m}$		$d_0 = 0.02 \text{ m}$	
$l \text{ (m)}$	$F \text{ (N)}$	$\varepsilon \text{ (%)}$	σ_n / σ_p
0.070	0.2	40	0.02
0.100	0.3	100	0.05
0.110	0.5	120	0.09
0.120	0.6	140	0.12
0.130	0.8	160	0.17
0.135	0.9	170	0.20
0.140	1.1	180	0.25
0.150	1.3	200	0.32
0.155	1.5	210	0.38
0.160	1.6	220	0.42
0.165	2.0	230	0.55
0.170	2.1	240	0.59
0.175	2.3	250	0.67
0.180	2.6	260	0.77
0.185	2.8	270	0.86
0.190	3.0	280	0.94
0.195	3.1	290	1.00

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Graf 3: Deformační křivka latexu



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Diskuze

Prvním z úkolů bylo určit relativní prodloužení latexu. Měřila jsem na páscích o šířce 2 cm a zkoumané délce 10 cm. Všechny pásy praskly v přibližně stejné délce s rozdílem max. 2 cm, což znamená, že i relativní prodloužení latexu se pohybovalo u všech pásků v rozmezí 310-

330 %. I přes to, že se maximální délka a relativní prodloužení nijak nelišily, síla působící na pásek v momentě přetržení byla naměřena různá. Nejvyšší naměřená hodnota byla 5,1 N, nejnižší 3,4 N. Tento rozdíl mohl být způsoben nerovnoměrnou tloušťkou materiálu latexové rukavice, ze které byly pásky nastříhány nebo drobným mechanickým poškozením na okrajích pásků vzniklým při stříhání. Výslednou hodnotu relativního prodloužení latexu jsem určila jako aritmetický průměr hodnot.

V druhé části měření bylo úkolem vytvořit deformační křivku latexu, což se podařilo.

Závěr

Relativní prodloužení latexu: $\varepsilon = 318 \%$

Deformační křivka latexu (viz Graf 3: Deformační křivka latexu)

3.4.3 Kategorie B – Vlákenné tření

Praktická úloha 63. ročníku FO – kategorie B

Vlákenné tření

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Bednařík, Šíroká, 2000)

Třecí síla: $F_t = f \cdot F_N$

Síla zjišťovaná pomocí siloměru: $F = mg \cdot e^{f\varphi}$

Úkol

Změřte závislost tahové síly na úhlu opásání pro daný válec a dvě různé hmotnosti závaží, pro válec z téhož materiálu a s jiným poloměrem a pro válec z jiného materiálu. V každé závislosti zjistěte součinitel smykového tření.

Pomůcky

Válcové profily, provázek, siloměry, závaží, pravítko, fix (viz Obrázek 31)



Obrázek 31: Pomůcky k měření

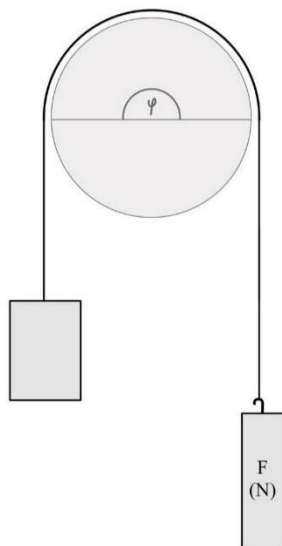
Zdroj: Vlastní fotografie

Postup měření

1. Závaží navážeme na provázek. Jeho druhý konec připevníme k siloměru. Provázek natáhneme přes válec tak, aby bylo možné odečíst úhel opásání (viz Obrázek 32).
2. Pomalu táhneme za siloměr, provázek klouže po plášti válce a závaží se pohybuje rovnoměrně vzhůru. Hodnotu ze siloměru zapíšeme do tabulky. Velikost síly naměříme pro úhly od 0 do 4π po kroku o velikosti $\pi/2$.

- Postup z bodu 2 opakujeme na stejném válci s těžším závažím, na válci ze stejného materiálu s větším průměrem, a nakonec na válci z jiného materiálu.
- Všechny hodnoty zaznamenáváme do tabulky. Vytvoříme graf závislosti tahové síly na úhlu opásání pro všechna měření. Proložíme body exponenciálou a zobrazíme si její rovnici. Z koeficientu v exponentu rovnice určíme hodnotu součinitele smykového tření.

Tip: Na plášti válce je dobré si vyznačit pomocí fixu úhly, které pak budeme využívat při měření.



Obrázek 32: Ilustrační obrázek k postupu měření

Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování

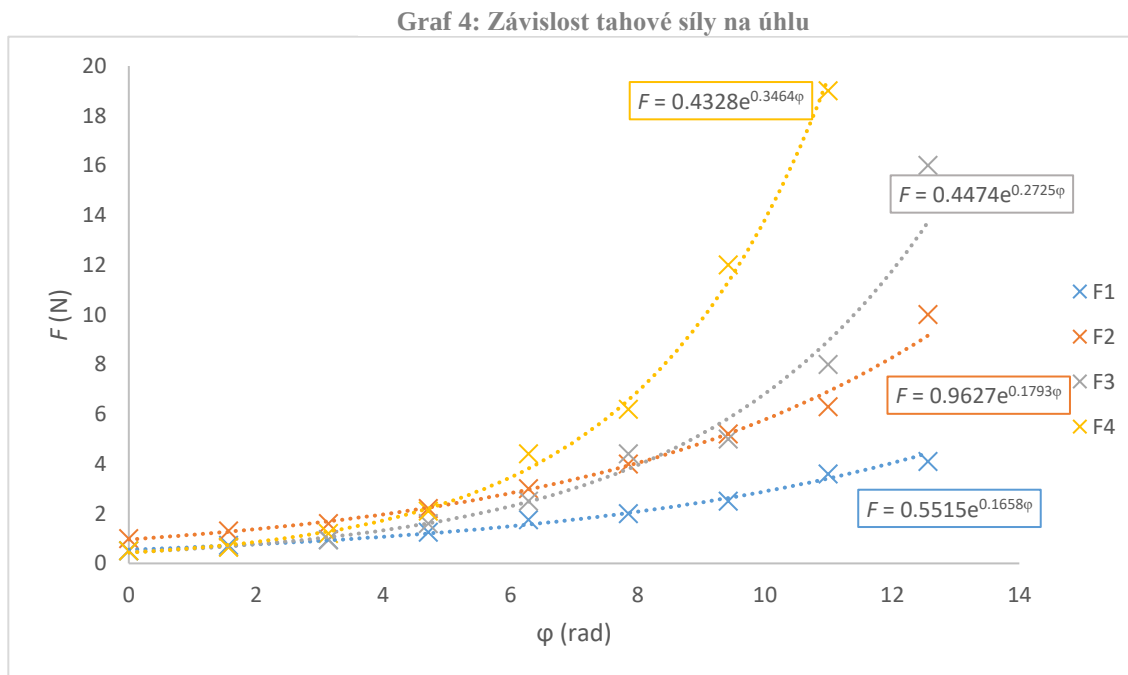
Všechny naměřené hodnoty jsem zapsala do tabulky:

Tabulka 6: Naměřené hodnoty tahové síly pro dané úhly opásání

φ (rad)	F_1 (N) $m = 50$ g novodur $d = 0.05$ m	F_2 (N) $m = 100$ g novodur $d = 0.05$ m	F_3 (N) $m = 50$ g novodur $d = 0.07$ m	F_4 (N) $m = 50$ g železo $d = 0.033$ m
0	0.50	1.0	0.50	0.50
$\pi/2$	0.72	1.3	0.66	0.65
π	0.96	1.6	0.95	1.20
$3\pi/2$	1.25	2.2	1.60	2.10
2π	1.75	3.0	2.50	4.40
$5\pi/2$	2.00	4.0	4.40	6.20
3π	2.50	5.2	5.00	12.0
$7\pi/2$	3.60	6.3	8.00	19.0
4π	4.10	10.0	16.0	-
f	0.17	0.18	0.28	0.35

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Z naměřených hodnot jsem v aplikaci MS Excel vytvořila graf závislosti tahové síly na úhlu opásání. Z exponentu proložené funkce můžeme vyčíst součinitel smykového tření.



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Diskuze

Jak můžeme vyčíst z grafu, závislost tahové síly na úhlu opásání je exponenciální. Hodnoty součinitele smykového tření mezi pláštěm válce a provázkem vyšly pro novodurový válec s průměrem 5 cm podobné. U novodurového válce s průměrem 7 cm se hodnota lišila. Rozdíl v hodnotách součinitelů smykového tření novoduru byl zřejmě dán různými druhy materiálu od jiných výrobců. Součinitel smykového tření železa vyšel dle očekávání vyšší než u novoduru.

Závěr

Naměřené hodnoty součinitele smykového tření:

$$f_1 = 0,1658$$

$$f_2 = 0,1793$$

$$f_3 = 0,2725$$

$$f_4 = 0,3464$$

3.4.4 Kategorie B – Vláknové tření PASCO

Vláknové tření

PASCO

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Bednařík, Šíroková, 2000)

Třecí síla: $F_t = f \cdot F_N$

Síla zjišťovaná pomocí siloměru: $F = mg \cdot e^{f\varphi}$

Úkol

Změřte závislost tahové síly na úhlu opásání pro daný válec a dvě různé hmotnosti závaží, pro válec z téhož materiálu a s jiným poloměrem a pro válec z jiného materiálu. V každé závislosti zjistěte součinitel smykového tření.

Pomůcky

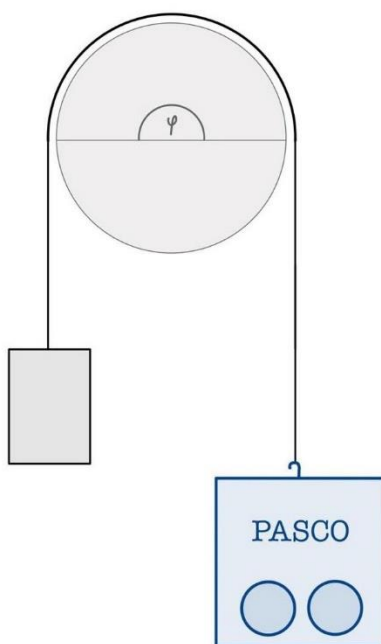
Válcové profily, provázek, senzor síly Pasco, AirLink, závaží, počítač s programem Pasco Capstone

Postup měření

1. Zapneme počítač a spustíme program PASCO Capstone. V horní liště otevřete záložku *Soubor* a zvolte možnost *Otevřít experiment*. Tímto způsobem otevřete připravený soubor k tomuto pokusu. Připojíme siloměr pomocí rozhraní AirLink. Otevřeme MS Excel a připravíme si tabulku pro zapisování naměřených hodnot.
2. Ustříhneme dostatečně dlouhý provázek. Na obou jeho koncích uvážeme očko. Do jednoho oka zavěsíme závaží, do druhého zahákneme háček siloměru PASCO (viz Obrázek 33).
3. Do záhlaví tabulky vyplníme parametry měření, jako je hmotnost závaží, materiál válcového profilu a jeho průměr. Provázek natáhneme přes válec tak, aby bylo možné odečíst úhel opásání.
4. Spustíme měření. Pomalu táhneme za siloměr, provázek klouže po plášti válce, závaží se pohybuje rovnoměrně vzhůru a na histogramu se ukazují četnosti hodnot síly. Ukončíme měření.

5. Hodnotu síly s největší četností zapíšeme do tabulky.
6. Velikost síly naměříme pro úhly od 0 do 4π po kroku o velikosti $\pi/2$.
7. Body 3 až 6 opakujeme na stejném válci s těžším závažím, poté na válci ze stejného materiálu s větším průměrem, a nakonec na válci z jiného materiálu. Všechny hodnoty zaznamenáváme.
8. V MS Excel zpracujeme data a vytvoříme graf závislosti součinitele smykového tření na úhlu opásání.

Tip: Na plášti válce je dobré si vyznačit pomocí fixu úhly, které pak budeme využívat při měření.

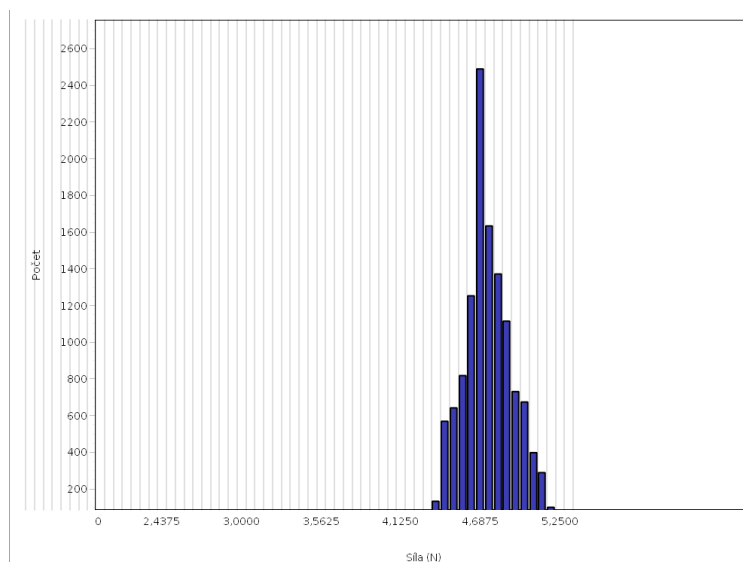


Obrázek 33: Ilustrační obrázek k měření

Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování

Jako ukázkou měření v programu PASCO uvádím měření závislosti tahové síly na úhlu opásání pro novodurovou trubku s průměrem 5 cm a závaží o hmotnosti 100 g (viz Obrázek 34).



Obrázek 34: Histogram k měření závislosti tahové síly na úhlu opásání
Zdroj: Vlastní zpracování v programu PASCO Capstone

Všechna naměřená data jsou zapsána v tabulce:

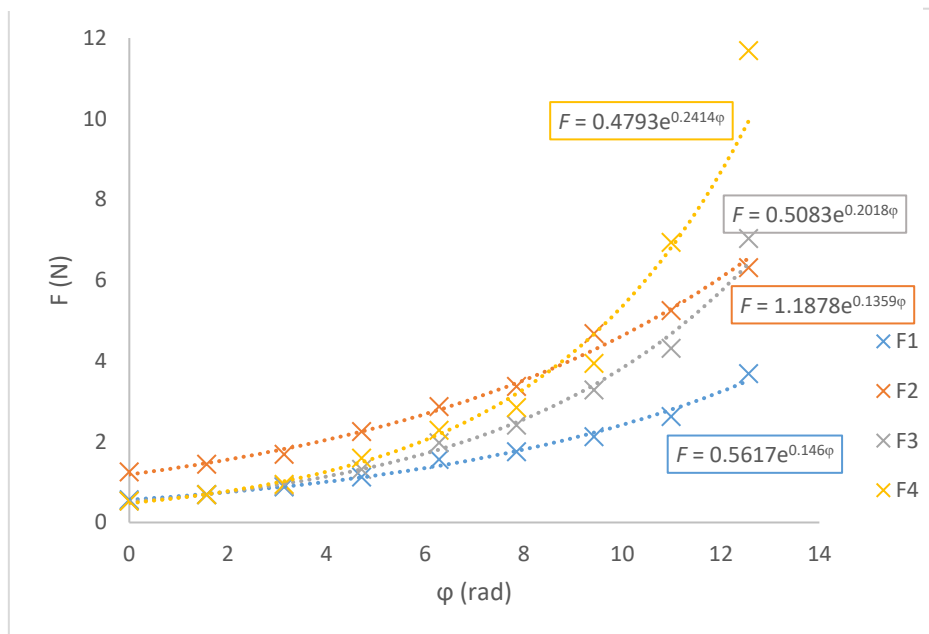
Tabulka 7: Naměřená data

φ (°)	F_1 (N) $m = 50$ g novodur $d = 0.05$ m	F_2 (N) $m = 100$ g novodur $d = 0.05$ m	F_3 (N) $m = 50$ g novodur $d = 0.07$ m	F_4 (N) $m = 50$ g železo $d = 0.033$
0	0.5625	1.2500	0.53125	0.53125
90	0.6875	1.4375	0.68750	0.68750
180	0.8750	1.6875	0.90625	0.93750
270	1.1250	2.2500	1.31250	1.59375
360	1.5625	2.8700	1.96875	2.28125
450	1.7500	3.3700	2.40625	2.84375
540	2.1250	4.6800	3.28125	3.93750
630	2.6250	5.2500	4.31250	6.93750
720	3.6875	6.3125	7.03125	11.6875

Zdroj: Vlastní měření

Naměřená data jsem v programu PASCO Capstone vynesla do grafu závislosti tahové síly na úhlu opásání.

Graf 5: Deformační křivka latexu



Zdroj: Vlastní zpracování MS Excel

Z předpisu exponenciální funkce, kterou je graf proložen, můžeme vyčíst součinitele smykového tření.

Diskuze

Jak můžeme vidět v grafu, závislost tahové síly na úhlu opásání je exponenciální. Z exponentu zároveň vyčteme součinitele smykového tření. Součinitele získané z prvního a druhého měření mají podobnou hodnotu. Třetí součinitel se liší, přestože se také jednalo o novodur. Domnívám se, že tento rozdíl by mohl být způsoben jiným typem novoduru (jiným výrobcem apod.). V případě železného válcového profilu vyšel vyšší součinitel smykového tření než u novoduru, což lze ze struktury obou materiálů předpokládat.

Koeficient v předpisu funkce v grafu představuje součin mg . Používala jsem závaží o hmotnostech 50 a 100 g. Koeficienty tedy přibližně odpovídají. Nejvíce se liší hodnota u měření č. 2, kde vznikl rozdíl 19 setin mezi naměřenou hodnotou a součinem mg .

Závěr

Součinitel smykového tření:

Měření č. 1: $f_1 = 0,1460$

Měření č. 2: $f_2 = 0,1359$

Měření č. 3: $f_3 = 0,2018$

Měření č. 4: $f_4 = 0,2414$

3.4.5 Kategorie C – Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby

Praktická úloha 63. ročníku fyzikální olympiády – kategorie C

Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Bednařík, Šíroková, 2000)

Hydrostatický tlak a výtoková rychlost kapaliny závisí na výšce hladiny.

Úkol

Při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby změřte závislost rychlosti pohybu hladiny v nádobě na čase, vyneste ji do grafu a určete fyzikální význam směrnice přímky v grafu.

Pomůcky

PET lahev s konstantním příčným průřezem v rozmezí 20 cm, hřebík o průměru 2,5 mm, kleště, svíčka, zapalovač, lihový fix, pravítko, voda (viz Obrázek 35)

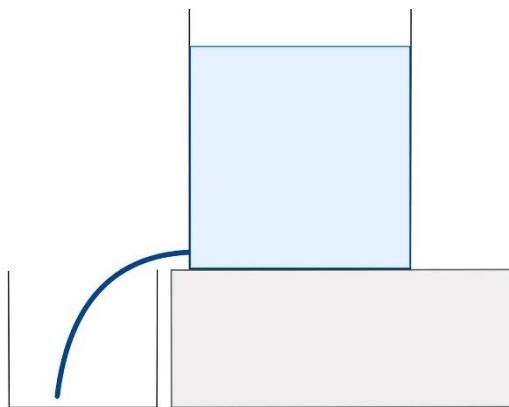


Obrázek 35: Pomůcky k měření

Zdroj: Vlastní fotografie

Postup měření

1. Připravíme si PET lahev k měření. Zapálíme svíčku. Hřebík o průměru 2,5 mm uchopíme do kleští a nahřejeme jeho konec nad plamenem. Opatrně uděláme žhavým hřebíkem kulatý otvor ve spodní části stěny PET lahve. Pomocí lihového fixu a pravítka vytvoříme nad otvorem svislou stupnici tak, že počátek se nachází ve středu otvoru a jeden dílek na stupnici odpovídá 1 cm.
2. Připravíme si stopky, na kterých je možné měřit mezičasy. PET lahev naplníme a vodu necháme vytékat otvorem ven (viz Obrázek 36).
3. Ve chvíli, kdy hladina dosáhne nejvyššího dílku stupnice, spustíme stopky. Zaznamenáváme všechny mezičasy, kdy hladina prochází ryskou na stupnici.
4. Měření ukončíme ve chvíli, kdy proud vody přestane tryskat a začne téct po stěně lahve. Mezičasy vyplníme do tabulky.
5. Body 3 a 4 opakujeme celkem pětkrát pro zpřesnění výsledků. Z pěti časových údajů u každého dílku stupnice uděláme aritmetický průměr. Do dalšího sloupce vyplníme dobu průchodu hladiny mezi sousedními dvěma ryskami $\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_{i-1}$. Následující údaj $t_i = \frac{\bar{t}_i + \bar{t}_{i-1}}{2}$ je aritmetický průměr krajních časů intervalu Δt_i . V posledním sloupci pak spočítáme průměrnou rychlost hladiny mezi sousedními dvěma ryskami $v_i = \frac{\Delta h}{\Delta t_i}$, kde za Δh dosadíme hodnotu 0,01 m.
6. Hodnoty z posledních dvou sloupců vyneseme do grafu závislosti rychlosti na čase. Body proložíme přímkou a zobrazíme rovnici přímky.



Obrázek 36: Ilustrační obrázek k měření

Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování

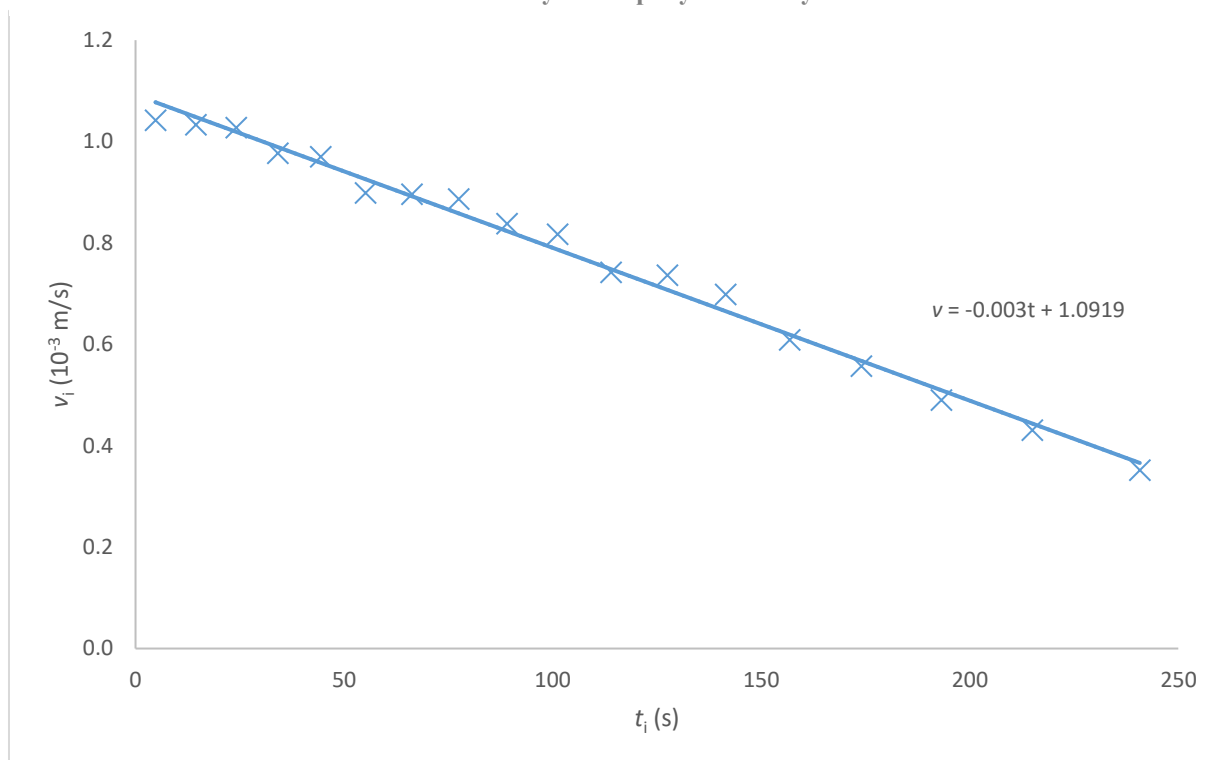
Naměřené hodnoty jsem zapsala do tabulky.

Tabulka 8: Naměřené hodnoty

i	h_i (m)	t_{i1} (s)	t_{i2} (s)	t_{i3} (s)	t_{i4} (s)	t_{i5} (s)	Průměr t_i (s)	Δt_i (s)	t_i (s)	v_i (m/s)
0	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
1	0.19	9.91	9.83	9.93	9.10	9.22	9.60	9.60	4.80	1.04
2	0.18	19.87	19.05	19.34	19.09	19.02	19.27	9.68	14.44	1.03
3	0.17	29.70	28.94	28.92	28.75	28.71	29.00	9.73	24.14	1.03
4	0.16	39.51	39.36	39.62	38.96	38.74	39.24	10.23	34.12	0.98
5	0.15	49.95	49.54	49.36	49.82	49.06	49.55	10.31	44.39	0.97
6	0.14	61.01	61.07	60.68	60.43	60.18	60.67	11.13	55.11	0.90
7	0.13	72.67	72.63	71.81	71.09	70.94	71.83	11.15	66.25	0.90
8	0.12	83.59	82.70	82.65	83.72	82.85	83.10	11.27	77.47	0.89
9	0.11	95.02	95.12	95.17	94.72	95.13	95.03	11.93	89.07	0.84
10	0.10	107.99	107.69	107.24	107.39	106.00	107.26	12.23	101.15	0.82
11	0.09	121.63	121.74	120.36	120.07	119.87	120.73	13.47	114.00	0.74
12	0.08	135.24	134.59	134.88	133.34	133.52	134.31	13.58	127.52	0.74
13	0.07	149.76	148.62	148.60	148.23	147.93	148.35	14.03	141.33	0.71
14	0.06	165.82	165.09	165.06	164.92	164.31	165.04	16.70	156.69	0.60
15	0.05	184.30	185.45	183.55	180.69	180.91	182.98	17.94	174.01	0.56
16	0.04	206.69	203.41	202.95	202.34	201.45	203.37	20.39	193.17	0.49
17	0.03	227.94	226.84	226.75	225.37	225.90	226.56	23.19	214.96	0.43
18	0.02	255.12	254.96	255.02	254.80	255.04	254.99	28.43	240.77	0.35
19	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Graf 6: Závislost rychlosti pohybu hladiny na čase



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Diskuze

Hladina se při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby pohybovala rovnoměrně zpomaleně, což můžeme vyčíst z grafu. Velikost zrychlení (zpomalení) pohybu hladiny nám udává směrnice přímky, která je proložena body v grafu.

Závěr

Rovnoměrně zpomalený pohyb se zrychlením $a = -3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (viz Graf 6)

3.4.6 Kategorie C – Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby PASCO

Pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby PASCO

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Bednařík, Široká, 2000)

Hydrostatický tlak a výtoková rychlost kapaliny závisí na výšce hladiny.

Úkol

Při výtoku kapaliny otvorem ve stěně nádoby změřte závislost rychlosti pohybu hladiny v nádobě na čase, vynesete ji do grafu a určete fyzikální význam směrnice přímky v grafu.

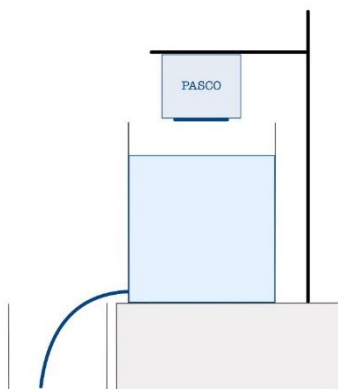
Pomůcky

Široká skleněná nádoba na pití s kohoutkem, voda, papír, ultrazvukový senzor PASCO, počítač s programem PASCO Capstone

Postup měření

1. Zapneme počítač a spustíme program PASCO Capstone. V horní liště otevřete záložku *Soubor* a zvolte možnost *Otevřít experiment*. Tímto způsobem otevřete připravený soubor k tomuto pokusu.
2. Do nádoby napustíme vodu a na hladinu položíme vystřižený kruh z papíru s průměrem o málo menším, než je průměr nádoby.
3. Připojíme ultrazvukový senzor pohybu, který umístíme na laboratorní stojan nad hrdlo nádoby s vodou (viz Obrázek 37).
4. Spustíme měření a necháme kapalinu samovolně vytékat otvorem z nádoby.
5. Měření zastavíme ve chvíli, kdy je hladina těsně nad otvorem.
6. V programu PASCO Capstone se naměřené hodnoty zapisují do tabulky. Tu uložíme do *laboratorního deníku* a exportujeme.

7. Naměřená data přepíšeme do MS Excel, kde také vytvoříme graf závislosti rychlosti pohybu hladiny na čase.



Obrázek 37: Ilustrační obrázek k měření
Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování výsledků

Hodnoty naměřené ultrazvukovým senzorem PASCO jsem přepsala do tabulky v MS Excel.

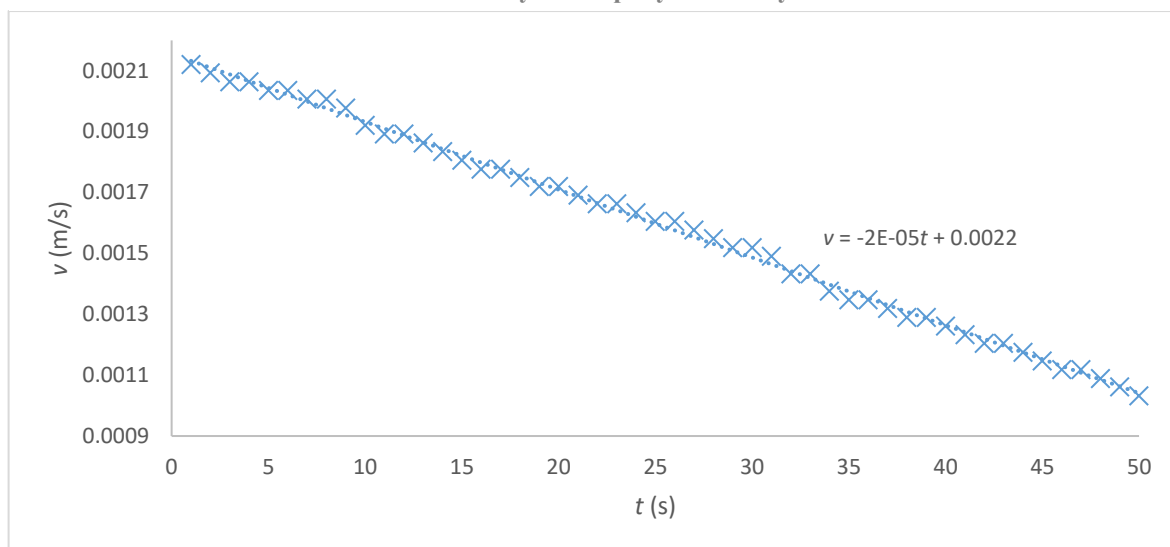
Tabulka 9: Naměřené hodnoty rychlosti pohybu hladiny

t (s)	v (m/s)	t (s)	v (m/s)
1	0.002121	26	0.001605
2	0.002093	27	0.001577
3	0.002064	28	0.001548
4	0.002064	29	0.001519
5	0.002035	30	0.001519
6	0.002035	31	0.001491
7	0.002007	32	0.001433
8	0.002007	33	0.001433
9	0.001978	34	0.001376
10	0.001921	35	0.001347
11	0.001892	36	0.001347
12	0.001892	37	0.001319
13	0.001863	38	0.00129
14	0.001835	39	0.00129
15	0.001806	40	0.001261
16	0.001777	41	0.001233
17	0.001777	42	0.001204
18	0.001749	43	0.001204
19	0.00172	44	0.001175
20	0.00172	45	0.001147
21	0.001691	46	0.001118
22	0.001663	47	0.001118
23	0.001663	48	0.001089
24	0.001634	49	0.001061
25	0.001605	50	0.001032

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Naměřené hodnoty jsem vynesla do grafu a proložila je lineární funkcí. Ze směrnice funkce jsem vyčetla hodnotu zrychlení pohybu hladiny.

Graf 7: Závislost rychlosti pohybu hladiny na čase



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Zrychlení pohybu hladiny ze směrnice: $a = -2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Diskuze

Jak lze vidět z grafu, pohyb hladiny při vytékání kapaliny z nádoby je rovnoměrně zpomalený. Závislost rychlosti na čase je tedy lineární a předpis odpovídající lineární funkce má zápornou směrnici. Tato směrnice představuje zrychlení pohybu hladiny, které je konstantní. Drobné odchylky hodnot od proložené lineární funkce byly zřejmě způsobeny vlněním hladiny.

Závěr

Rovnoměrně zpomalený pohyb se zrychlením $a = -2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (viz Graf 7).

3.4.7 Kategorie D – Závítová tyč

Praktická úloha 63. ročníku fyzikální olympiády – kategorie D

Rotační kmity zavěšené tyče

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Lepil, 2003)

Frekvence kmitání kyvadla: $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$

Frekvence malých rotačních kmitů vodorovné tyče: $f = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}} \cdot x$

Úkol

Zjistěte experimentálně funkční závislost frekvence f malých rotačních kmitů vodorovné tyče na vzájemné vzdálenosti x rovnoběžných závěsů a ověřte platnost uvedeného vztahu.

Pomůcky

závítová tyč, provázek, metr, tyč na zavěšení, stopky (viz Obrázek 38)



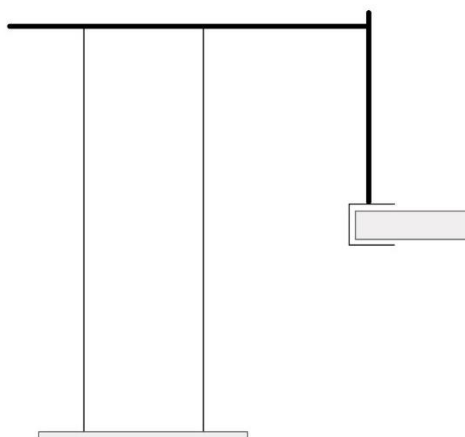
Obrázek 38: Pomůcky k měření
Zdroj: Vlastní fotografie

Postup měření

1. Připravíme si závěsy na tyč z provázků o délce alespoň čtyřikrát větší, než je závítová tyč. Zavěšíme závítovou tyč (viz Obrázek 39).
2. Změříme si vzdálenost závěsů. Mírně vychýlíme závítovou tyč od rovnovážné polohy v rotaci podél svislé osy. Pomocí stopek měříme čas $10 T$ a zapíšeme do tabulky. Pro

větší přesnost měříme čas $10 T$ dvakrát a vypočítáme aritmetický průměr z těchto hodnot.

- Postup z bodu 2 opakujeme pro 10 různých vzdáleností mezi závěsy.
- Určíme velikost jedné periody a k ní odpovídající frekvenci. Vytvoříme graf závislosti frekvence kmitů tyče na vzdálenosti závěsů. Body proložíme přímkou a zobrazíme její rovnici. Směrnici přímky pak porovnáme s hodnotou vypočtenou ze vzorce $A = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}}$.



Obrázek 39: Ilustrační obrázek k měření

Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování

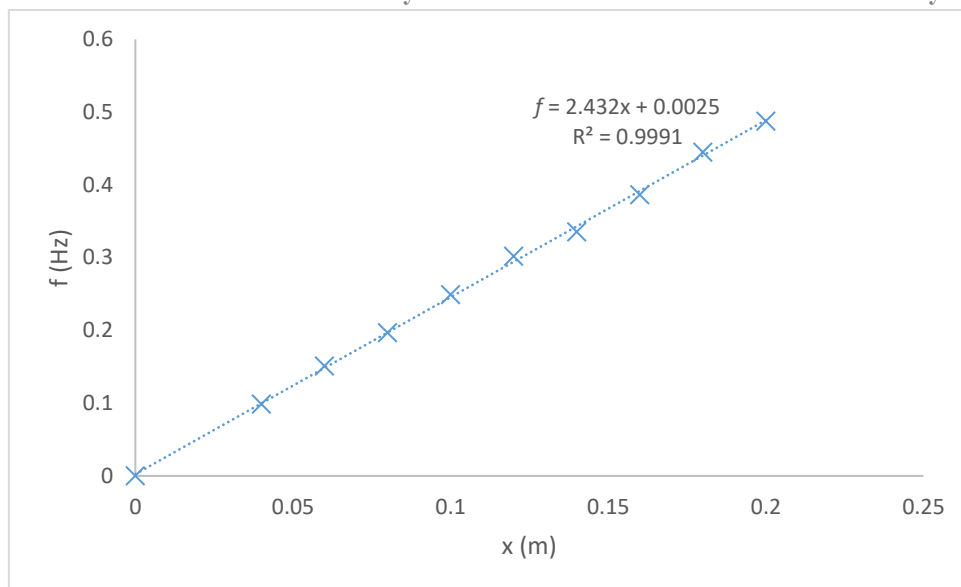
Délka tyče $d = 0,325$ m; délka závěsů $l = 1,29$ m

Tabulka 10: Naměřené hodnoty

číslo měření	x (m)	$10T_1$ (s)	$10 T_2$ (s)	T (s)	f (Hz)
1	0.20	20.03	20.97	2.0500	0.487805
2	0.18	22.61	22.36	2.2485	0.444741
3	0.16	25.79	25.98	2.5885	0.386324
4	0.14	30.01	29.65	2.9830	0.335233
5	0.12	32.99	33.27	3.3130	0.301841
6	0.10	40.10	40.22	4.0160	0.249004
7	0.08	50.68	51.02	5.0850	0.196657
8	0.06	66.34	66.21	6.6275	0.150886
9	0.04	100.26	102.46	10.136	0.098658
10	0.00	-	-	-	0.000000

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Graf 8: Závislost frekvence malých rotačních kmitů na vzdálenosti mezi závěsy



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Dosadila jsem do vzorce a vypočítala hodnotu A, která označuje konstantu úměrnosti:

$$A = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,325} \sqrt{\frac{3 \cdot 9,81}{1,29}} = 2,34$$

Diskuze

Frekvence kmitů tyče je přímo úměrná vzdálenosti závěsů. Konstanta úměrnosti určená ze směrnice přímky v grafu přibližně odpovídá vypočtené konstantě. Rozdíl může být způsoben nepřesným měřením času na stopkách, drobným rozdílem mezi délkami závěsů nebo různým vychýlením tyče při měření.

Závěr

Frekvence malých rotačních kmitů závitové tyče je přímo úměrná vzdálenosti závěsů.

3.4.8 Kategorie D – Závítová tyč PASCO

Rotační kmity zavěšené tyče

PASCO

Jméno: Nováková Lucie

Datum:

Teorie (Lepil, 2003)

Frekvence kmitání kyvadla: $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$

Frekvence malých rotačních kmitů vodorovné tyče: $f = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}} \cdot x$

Úkol

Zjistěte experimentálně funkční závislost frekvence f malých rotačních kmitů vodorovné tyče na vzájemné vzdálenosti x rovnoběžných závěsů a ověřte platnost uvedeného vztahu.

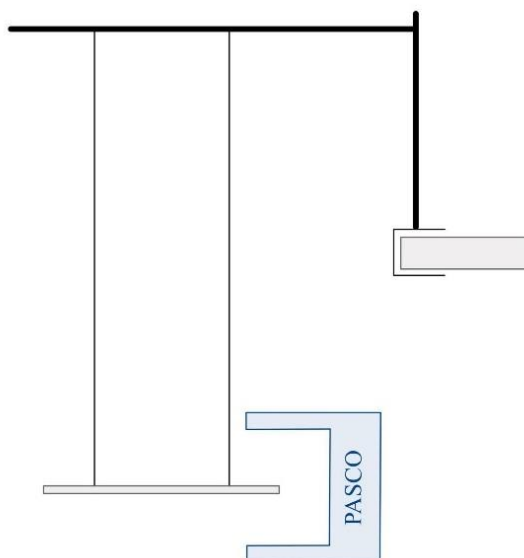
Pomůcky

závítová tyč, provázek, metr, tyč na zavěšení, optická brána PASCO, počítač s programem PASCO Capstone, podstavec pod optickou bránu

Postup měření

1. Zapneme počítač a spustíme program PASCO Capstone. V horní liště otevřete záložku Soubor a zvolte možnost Otevřít experiment. Tímto způsobem otevřete připravený soubor k tomuto pokusu. Otevřeme si také MS Excel a vytvoříme si tabulku pro zapisování hodnot.
2. Připravíme si závěsy na tyč z provázků o délce alespoň čtyřikrát větší, než je závítová tyč. Zavěsíme závítovou tyč. Pomocí jakéhokoli podstavce umístíme optickou bránu tak, aby jí po vychýlení tyč procházela (viz Obrázek 40).
3. Změříme si vzdálenost závěsů. Mírně vychýlíme závítovou tyč od rovnovážné polohy v rotaci podél svislé osy.
4. Spustíme měření a necháme závítovou tyč kmitat. Po naměření 10 period měření ukončíme. Průměrnou hodnotu frekvence přepíšeme do tabulky v MS Excel.
5. Body 3 a 4 opakujeme pro 10 různých vzdáleností mezi závěsy.

6. Z průměrných hodnot v MS Excel vytvoříme graf závislosti frekvence malých rotačních kmitů na vzdálenosti závěsů. Proložíme tento graf lineární funkcí a zobrazíme její rovnici. Směrnici přímky pak porovnáme s hodnotou vypočtenou ze vzorce $A = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}}$.



Obrázek 40: Ilustrační obrázek k měření

Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování

K měření jsem používala závitovou tyč o délce 0,325 m. Jako ukázkou vkládám naměřená data v programu PASCO Capstone (viz Obrázek 41).

délka závěsu: 129 cm
průměr závitové tyče: 1,4 cm
vzdálenost závěsů: x= 18 cm

	Perioda (s)	Frekvence (Hz)
1	2,284	0,438
2	2,284	0,438
3	2,284	0,438
4	2,283	0,438
5	2,283	0,438
6	2,282	0,438
7	2,282	0,438
8	2,282	0,438
9	2,282	0,438
10	2,282	0,438
Aritm. prům.	2,283	0,438

Obrázek 41: Hodnoty periody naměřené pomocí fotobrány

Zdroj: Vlastní zpracování v programu PASCO Capstone

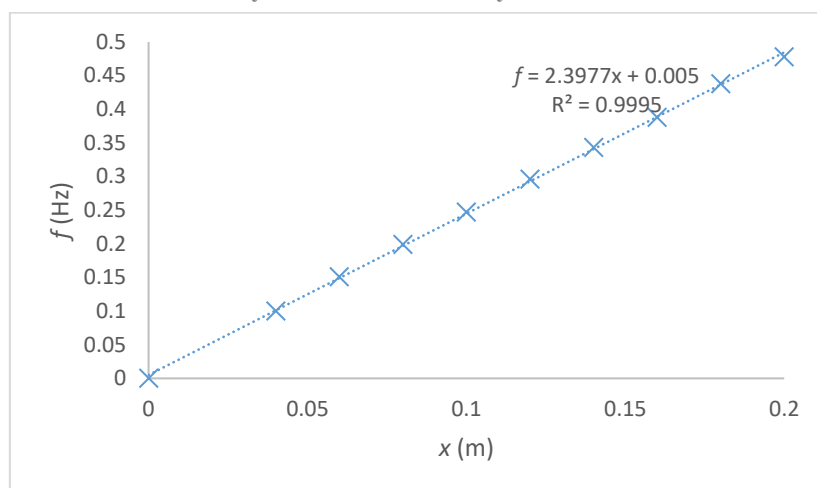
Všechny naměřené hodnoty periody jsem zapsala do tabulky a vytvořila graf závislosti frekvence na vzdálenosti závěsů.

Tabulka 11: Naměřené hodnoty vzdálenosti závěsů a periody, frekvence

č.měř.	x (m)	T (s)	f (Hz)
1	0.20	2.092	0.478
2	0.18	2.283	0.438
3	0.16	2.577	0.388
4	0.14	2.915	0.343
5	0.12	3.378	0.296
6	0.10	4.049	0.247
7	0.08	5.025	0.199
8	0.06	6.623	0.151
9	0.04	10.00	0.100
10	0.00	-	0.000

Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Graf 9: Závislost frekvence malých rotačních kmitů tyče na vzdálenosti dvou vodorovných závěsů



Zdroj: Vlastní zpracování v MS Excel

Vypočítala jsem směrnici přímky také podle rovnice:

$$A = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{3g}{l}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,325} \sqrt{\frac{3 \cdot 9,81}{1,29}} = 2,34$$

kde d je délka závitové tyče, g je gravitační zrychlení a l je délka závěsů.

Diskuze

Malé rotační kmity závitové tyče jsou přímo úměrné vzdálenosti závěsů. Měřila jsem pro vzdálenosti od 20 do 4 cm. Pro menší hodnoty již tyč nekmitala, ale otáčela se okolo své osy. Hodnota směrnice z grafu se blíží té vypočítané. Rozdíl mezi nimi by mohl být způsoben nedokonalým zavěšením tyče do vodorovné polohy nebo různým vychýlením v jednotlivých měřeních.

Závěr

Zjištěnou závislostí kmitů na vzdálenosti závěsů je přímá úměrnost.

3.5 Srovnání pokusů měřených se systémem PASCO a bez něj

Použit senzory PASCO pro naměření pokusů fyzikální olympiády jsem se rozhodla ve snaze zatraktivnit fyzikální měření pro studenty. V dnešní době je žádoucí začleňovat do výuky digitální technologie. V přírodovědných předmětech se může jednat právě o využívání moderních senzorů. Klasické pokusy i pokusy se senzory mají svá pro a proti. Nejprve bych chtěla obecně porovnat oba způsoby měření, a poté se více zaměřit na jednotlivé pokusy.

Začneme oba postupy porovnávat od přípravy, kterou musí udělat vyučující. Připravit klasické pokusy je jednoznačně časově méně náročné. Když se rozhodneme použít při měření senzory PASCO, musíme zároveň vytvořit soubory v programu PASCO Capstone, ve kterých bude připravené prostředí pro měření. Samozřejmostí je, že je potřeba mít k dispozici dané senzory, rozhraní a program v počítači, což je finančně náročnější. Na rozdíl od toho, při pokusech měřených podle zadání fyzikální olympiády není potřeba žádných speciálních pomůcek. Vše je dostupné a dá se snadno sehnat. Velkou výhodou pomůcek PASCO je, že umožňují získat přesnější a podrobnější data. Co se týká zpracovávání naměřených dat, jsou oba postupy srovnatelné. Rozhodla jsem se pokusy sestavit tak, aby tvorba tabulek a grafů probíhala v MS Excel, který je studentům dostupnější a předpokládám, že s ním mají určité zkušenosti. Některá data by bylo možné zpracovat také pomocí programu PASCO Capstone, ale jeho ovládání není tak snadné a výstupy se mi zdají méně přehledné.

Samotné zadání pokusu kategorie A dává velký prostor pro chyby a nepřesnosti měření. Při stříhání latexové rukavice na proužky totiž dochází k mechanickým poškozením okraje pásku. Zároveň je velmi složité docílit toho, že je pásek po celé své délce stejně široký. To způsobuje rozdíly mezi jednotlivými měřeními. Relativní prodloužení bylo při obou pokusech zjišťováno stejnou metodou. Pouze při měření siloměrem PASCO jsem zaznamenávala navíc sílu působící v momentě přetržení. Byly naměřeny hodnoty relativního prodloužení 356 % při klasickém pokusu a 318 % při měření se senzorem PASCO. Rozdíl mohl být způsoben již zmíněnými nedokonalostmi latexových pásků nebo rozdílem v uchycení během měření. Deformační křivky latexu z obou měření také vypadají velmi podobně. Abych ale při měření mohla použít siloměr PASCO, musela jsem odvodit nový vzorec pro výpočet $\frac{\sigma_n}{\sigma_{sp}}$, ve kterém se objeví měřená síla a odpovídající délka pásku. Velký rozdíl je v celé měřící soustavě využívané při jednotlivých pokusech. Zatímco u původního pokusu jsme se studenty drželi pásky v rukou, u měření pomocí siloměru PASCO jsem pásky uchytla do svěrek a zavěsila na laboratorní stojan. Tento krok mi umožnil lépe manipulovat s pomůckami a mít zároveň možnost ovládat program PASCO Capstone během měření.

U pokusů ke kategorii B není veliký rozdíl v potřebných pomůckách a postup měření je totožný. Pouze jsem klasický siloměr nahradila senzorem PASCO. Během měření na semináři se studenty jsme tahovou sílu pouze odhadovali ze stupnice na siloměru, jelikož její hodnota velmi kolísala. Takto získaná hodnota však nemusí být přesná. Proto jsem se při měření se siloměrem PASCO rozhodla využít zobrazení histogram, které mi umožnilo získat hodnotu síly s nejvyšší četností. Zde vidím výrazné zpřesnění postupu měření. Naměřené hodnoty součinitele smykového tření dvěma způsoby se liší. Vzhledem k přesnosti určování tahové síly při měření klasickým siloměrem bych za přesnější výsledek považovala hodnoty získané při měření senzorem PASCO.

Největší rozdíl ve variantách pokusu pro kategorii C je v náročnosti zpracování dat do protokolu. Při pokusu, který odpovídá zadání FO, si student naměří časové intervaly mezi

průchody hladiny ryskami. Musí tedy při zpracovávání dopočítat rychlost pohybu hladiny, což studentovi zároveň dává možnost se rozvíjet a naučit se něco nového. Při měření pomocí ultrazvukového senzoru PASCO ji ale získá rovnou z měření. Stačí tedy pouze, když vytvoří tabulku a graf časové závislosti rychlosti přímo z naměřených hodnot. Když jsem připravovala postup měření pokusu se senzory PASCO pro kategorii C, musela jsem trochu pozměnit nádobu, která se bude při měření používat. Když jsem totiž používala PET lahev, neměřil ultrazvukový senzor správně. Musela jsem tedy vyměnit PET lahev za skleněnou nádobu na nápoje s kohoutkem. Širší průměr nádoby umožnil správné snímání senzoru. Kvůli rozdílnosti průměru nádob u obou měření bohužel nelze porovnat získané výsledky.

Pokusy kategorie D s fotobránou PASCO a bez ní mají stejný postup měření. Zpracování dat se liší pouze tím, že soubor pro toto měření v programu PASCO Capstone je nastaven tak, aby rovnou přepočítal hodnotu periody na frekvenci. Využitím senzoru PASCO k měření periody došlo ke zpřesnění dat. Při měření pomocí stopek mohlo dojít ke zkreslení naměřených hodnot. Na rozdíl od fotobrány nejsme schopni pouze pomocí oka určit, kdy přesně prochází kyvadlo rovnovážnou polohou. Zpřesnění vidíme také na hodnotách spolehlivosti R^2 , které jsou zobrazeny v grafech (viz Graf 8 a Graf 9). Výsledky obou pokusů se i přes to liší pouze o 4 setiny.

4 Závěr

V závěru bych chtěla shrnout výsledky mé bakalářské práce. Hlavním cílem byla příprava, provedení a vyhodnocení pokusů 63. ročníku fyzikální olympiády. Tato část se převážně opírala o semináře organizované na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity, kde probíhaly. V rámci těchto seminářů jsme zadané pokusy se studenty naměřili. Jejich úkolem pak bylo naměřená data samostatně zpracovat. S tím jim mohl pomoci připravený pracovní list, který měli k dispozici. Ukázku práce jednoho ze studentů naleznete v přílohách bakalářské práce. Také jsem si za cíl své práce stanovila zpřesnění pokusů FO pomocí senzorů PASCO. Zároveň by tato změna mohla pokusy v očích studentů ztraktivnit. Všechny čtyři pokusy jsem tedy provedla znovu. Některé z nich jsem musela lehce poupravit, aby byly k tomuto měření vhodné. V průběhu vlastní přípravy a měření jsem vytvářela návod pro práci v programu PASCO Capstone. Ten by měl usnadnit práci všem, kteří se rozhodnou tyto pokusy provádět a pracují s tímto systémem poprvé. Věřím, že pro některé vyučující fyziky bude návod nebo zpracování pokusů inspirací.

Kdo jiný může hodnotit práci učitele než student? Po skončení seminářů na fakultě jsem oslovila účastníky s prosbou o vyplnění dotazníku se zpětnou vazbou. Vybrala jsem některé výsledky napříč kategoriemi. Šest z celkových čtyřadvaceti studentů se zúčastnilo semináře ve snaze o postup do krajského kola FO. Devět řešitelů mělo za cíl rozšíření svých znalostí v oblasti fyziky. Také devět studentů ocenilo předpřipravený pracovní list k praktické úloze. Bohužel pouze 4 studenti odevzdali vyřešené zadání FO. Důvodem neodevzdání u většiny ostatních byla časová náročnost. Zajímavou odpovědí bylo, že jeden ze studentů si nevěřil na krajské kolo, a proto neodevzdal ani řešení kola domácího. Co mě ale nejvíce potěšilo, bylo, že více než 75 % studentů odpovědělo, že pro ně byl seminář pro řešitele FO na naší fakultě prospěšný. Během těchto seminářů jsem se utvrdila v tom, že i přes to, že jich není mnoho, stále jsou mezi studenty zájemci o fyziku a má smysl jejich zájem dále rozvíjet a věnovat se jim.

Seznam literatury

- BARTUŠKA, Karel a Emanuel SVOBODA. *Fyzika pro gymnázia: Molekulová fyzika a termika*. 5. vyd. Praha: Prometheus, 2009. ISBN 978-80-7196-383-7.
- BEDNAŘÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia: mechanika*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2000. ISBN 80-719-6176-0.
- FENCLOVÁ, Jitka. *Didaktické myšlení a jednání učitele fyziky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1984.
- GASCHA, Heinz a Stefan PFLANZ. *Kompendium fyziky: vzorce, zákony a pravidla - úlohy, příklady a jejich řešení - podrobná slovníková část*. Vydání druhé. Praha: Knižní klub, 2017. Universum (Knižní klub). ISBN 978-80-242-5716-7.
- HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: Mechanika a termodynamika*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1868-0.
- JANÁS, Josef. *Kapitoly z didaktiky fyziky*. Brno: Masarykova univerzita, 1996. ISBN 80-210-1334-6.
- KAŠPAR, Emil. *Didaktika fyziky: obecné otázky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1978.
- KOMENSKÝ, Jan Amos. *Didaktika Velká*. Vydání třetí. Brno: Komenium, 1948. Dostupné také z: https://monoskop.org/images/3/3e/Komensky_Jan_Amos_Didaktika_velka_3_vydani_1948.pdf
- LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia: Mechanické kmitání a vlnění*. Dotisk 3., přeprac. vydání. Praha: Prometheus, 2003. ISBN 80-7196-216-3.
- MAŇÁK, Josef a Martina HORÁKOVÁ. *Experiment v pedagogice*. Brno: Moravská zemská knihovna, 1994. ISBN 80-705-1076-5.
- MAŇÁK, Josef a Vlastimil ŠVEC. *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003. ISBN 80-731-5039-5.
- MOJŽÍŠEK, Lubomír. *Vyučovací metody*. 3. uprav. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988.
- SHAHEEN, Amrozia a Muhammad Sabieh ANWAR. *A Doubly Suspended Pendulum* [online]. In: . [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.physlab.org/wp-content/uploads/2017/05/Bifilar-Pendulum-1.compressed.pdf>
- SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 5., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2014. ISBN 978-80-7196-438-4.
- TARÁBEK, Pavol a Petra ČERVINKOVÁ. *Odmaturuj! z fyziky*. Brno: Didaktis, 2004. Odmaturuj!. ISBN 80-862-8539-1.

Řešení kategorie A. In: *Fyzikální olympiáda* [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63a1_r.pdf

Zadání kategorie D. In: *Fyzikální olympiáda* [online]. [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63d1_z.pdf

Zadání kategorie A. In: *Fyzikální olympiáda* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63a1_z.pdf

Bezdrátový senzor pohybu. *Pasco.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://pasco.cz/senzory-a-cidla/7-bezdratove-senzory/108-bezdratovy-senzor-pohybu>

Senzor síly. *Pasco.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://pasco.cz/senzory-a-cidla/8-senzory-dratove/23-senzor-sily>

Přídavná fotobrána. *Pasco.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://pasco.cz/senzory-a-cidla/8-senzory-dratove/16-pridavna-fotobrana>

Bezdrátové rozhraní Airlink. *Pasco.cz* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://pasco.cz/senzory-a-cidla/9-rozhrani/83-bezdratove-rozhrani-airlink>

O Pasco.cz. *Pasco.cz* [online]. [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://pasco.cz/component/content/article/225-o-pasco?Itemid=348>

Fyzikální olympiáda: Co je Fyzikální olympiáda [online]. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/co-je-fo>

Zadání kategorie C. In: *Fyzikální olympiáda* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63c1_z.pdf

Úlohy Fykos - 32. ročník [online]. In: . [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: https://fykos.org/_media/rocnik32/ulohy/pdf/uloha32_6_4.pdf

Zadání kategorie B. In: *Fyzikální olympiáda* [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/63/fo63b1_z.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1: Zadání praktické úlohy kategorie A	11
Obrázek 2: Měření pokusu kategorie A	14
Obrázek 3: Zadání praktické úlohy kategorie B.....	15
Obrázek 4: Ilustrační obrázek k měření	17
Obrázek 5: Měření pokusu kategorie B.....	18
Obrázek 6: Zadání praktické úlohy kategorie C.....	19
Obrázek 7: Výtoková rychlost.....	21
Obrázek 8: Příprava PET lahve pro měření pokusu kategorie C	22
Obrázek 9: Měření pokusu kategorie C.....	22
Obrázek 10: Měření pokusu kategorie C.....	23
Obrázek 11: Zadání praktické úlohy kategorie D	24
Obrázek 12: Časový diagram kmitavého pohybu	25
Obrázek 13: Kyvadlo	27
Obrázek 14: Měření pokusu kategorie D	28
Obrázek 15: Měření pokusu kategorie D	29
Obrázek 16: Bezdrátové rozhraní Airlink	30
Obrázek 17: Senzor síly	30
Obrázek 18: Fotobrána a digitální adaptér	31
Obrázek 19: Ultrazvukový senzor pohybu.....	31
Obrázek 20: Úvodní stránka programu PASCO Capstone (1 – Nástrojová lišta; 2 – Stránky souboru; 3 – Paleta nástrojů; 4 – Ovládací lišta; 5 – Paleta zobrazení)	32
Obrázek 21: Laboratorní deník (1 – Ikona pro uložení do laboratorního deníku; 2 – Ikona pro otevření laboratorního deníku; 3 – Lišta laboratorního deníku.....	33
Obrázek 22: Měření pokusu kategorie A pomocí senzorů PASCO	35
Obrázek 23: Měření pokusu kategorie B pomocí senzorů PASCO	36

Obrázek 24: Měření pokusu kategorie C pomocí senzorů PASCO	37
Obrázek 25: Měření pokusu kategorie D pomocí senzorů PASCO	38
Obrázek 26: Pomůcky k měření	40
Obrázek 27: Ilustrační obrázek k měření	41
Obrázek 28: Ilustrační obrázek k postupu měření.....	42
Obrázek 29: Ilustrační obrázek k měření	46
Obrázek 30: Určování relativního prodloužení latexu	47
Obrázek 31: Pomůcky k měření	50
Obrázek 32: Ilustrační obrázek k postupu měření.....	51
Obrázek 33: Ilustrační obrázek k měření	54
Obrázek 34: Histogram k měření závislosti tahové síly na úhlu opásání.....	55
Obrázek 35: Pomůcky k měření	57
Obrázek 36: Ilustrační obrázek k měření	58
Obrázek 37: Ilustrační obrázek k měření	62
Obrázek 38: Pomůcky k měření	64
Obrázek 39: Ilustrační obrázek k měření	65
Obrázek 40: Ilustrační obrázek k měření	68
Obrázek 41: Hodnoty periody naměřené pomocí fotobrány PASCO	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Naměřené hodnoty	42
Tabulka 2: Naměřené hodnoty	43
Tabulka 3: Naměřené hodnoty	43
Tabulka 4: Naměřené hodnoty délky a síly a odpovídající relativní prodloužení latexu....	47
Tabulka 5: Naměřené hodnoty délky a síly, relativní prodloužení a normálové napětí normalizované na mez pevnosti	48
Tabulka 6: Naměřené hodnoty tahové síly pro dané úhly opásání	51
Tabulka 7: Naměřená data.....	55
Tabulka 8: Naměřené hodnoty	59
Tabulka 9: Naměřené hodnoty rychlosti pohybu hladiny	62
Tabulka 10: Naměřené hodnoty	65
Tabulka 11: Naměřené hodnoty vzdálenosti závěsů a periody, frekvence	69

Seznam příloh

Příloha 1: Zadání A

Příloha 2: Pracovní list A prázdný

Příloha 3: Pracovní list A PASCO prázdný

Příloha 4: Zadání B

Příloha 5: Pracovní list B prázdný

Příloha 6: Pracovní list B PASCO prázdný

Příloha 7: Zadání C

Příloha 8: Pracovní list C prázdný

Příloha 9: Pracovní list C PASCO prázdný

Příloha 10: Zadání D

Příloha 11: Pracovní list D prázdný

Příloha 12: Pracovní list D PASCO prázdný

Příloha 13: PASCO návod