

Univerzita Karlova v Praze  
Matematicko-fyzikální fakulta

## DIPLOMOVÁ PRÁCE



Bc. Karel Kolář

### **Fyzikální korespondenční seminář na MFF UK – reflexe a rozvoj**

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Vojtěch Žák, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Učitelství fyziky-matematiky pro SŠ

Praha 2014

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne

Podpis autora

Název práce: Fyzikální korespondenční seminář na MFF UK – reflexe a rozvoj

Autor: Bc. Karel Kolář

Ústav: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Vojtěch Žák, Ph.D.

Abstrakt: TODO

Klíčová slova: korespondenční seminář, pedagogický výzkum, neformální vzdělávání, fyzika

Title: Correspondence physics competition of MFF UK – its feedback and development

Author: Bc. Karel Kolář

Department: Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Vojtěch Žák, Ph.D.

Abstract: TODO

Keywords: correspondence competition, pedagogical research, informal education, physics

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>O Fyzikálním korespondenčním semináři</b>	<b>4</b>
2.1	Úvod . . . . .	4
2.2	Cíle FYKOSu a základní fakta o FYKOSu . . . . .	4
2.2.1	Význam slova FYKOS . . . . .	4
2.2.2	Pořadatel . . . . .	4
2.2.3	Cíle FYKOSu . . . . .	5
2.2.4	Organizace semináře . . . . .	6
2.2.5	Používaná technika pro organizaci . . . . .	7
2.3	Korespondenční část . . . . .	7
2.3.1	Úvod . . . . .	7
2.3.2	Kategorie . . . . .	8
2.3.3	Průběh sérií semináře . . . . .	8
2.3.4	Typy úloh . . . . .	9
2.3.5	Hodnocení úloh . . . . .	9
2.3.6	Ročenka . . . . .	10
2.3.7	Přínosy pro účastníky a odměny . . . . .	10
2.3.8	Statistiky počtu účastníků . . . . .	11
2.4	Soustředění . . . . .	11
2.5	Výpočty fyzikálních úkolů . . . . .	11
2.6	Exkurze, poznávací zájezdy . . . . .	11
2.6.1	Den s experimentální fyzikou . . . . .	11
2.6.2	Týden s aplikovanou fyzikou . . . . .	11
2.7	Jednorázové soutěže . . . . .	11
2.7.1	FYKOSí Fyziklání . . . . .	11
2.7.2	Fyziklání online . . . . .	11
2.7.3	MFnáboj . . . . .	11
2.8	Historie Fyzikálního korespondenčního semináře . . . . .	11
2.8.1	Vznik Fyzikálního korespondenčního semináře . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Metody a cíle CZV</b>	<b>12</b>
3.1	Cíle cílené zpětné vazby FYKOSu . . . . .	12
3.2	Použité metody cílené zpětné vazby . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Realizace a výsledky CZV</b>	<b>13</b>
4.1	Rozhovory . . . . .	13
4.2	Dotazník . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Další soutěže a akce mimo FYKOS v ČR a SR</b>	<b>14</b>
5.1	Úvod . . . . .	14
5.2	Soutěže a akce organizované MFF UK . . . . .	14
5.2.1	Matematický korespondenční seminář . . . . .	14
5.2.2	Korespondenční seminář z programování . . . . .	14
5.2.3	Fyzikální kroužek . . . . .	14

5.3	Další soutěže . . . . .	14
5.3.1	Fyzikální olympiáda . . . . .	14
5.3.2	Astronomická olympiáda . . . . .	14
5.3.3	Turnaj mladých fyziků . . . . .	14
5.3.4	Fyzikální korespondenční seminár . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Navržená a realizovaná vylepšení FYKOSu</b>	<b>15</b>
6.1	XXXXX . . . . .	15
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>Literatura</b>	<b>17</b>
	<b>Seznam zkratk</b>	<b>18</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>20</b>
8.1	Statut korespondenčních seminářů MFF UK . . . . .	20
8.2	Ukázky úloh ze sérií FYKOSu . . . . .	21
8.2.1	Jednoduchá – 24-IV-1 a) – napnutá struna . . . . .	21
8.2.2	Jednoduchá – 26-I-1 – tlustý papír . . . . .	21
8.2.3	Jednoduchá – 26-II-2 – hollow Earth . . . . .	21
8.2.4	Normální – 24-IV-4 – konečné řešení otázky globálního oteplování . . . . .	21
8.2.5	Normální – 25-I-4 – drrrrr . . . . .	21
8.2.6	Normální – 25-VI-5 – běh na přednášku z eugeniky . . . . .	21
8.2.7	Problémová – 25-V-P – světelný meč . . . . .	21
8.2.8	Problémová – 26-II-P – gravitace si žádá větší slovo . . . . .	21
8.2.9	Experimentální – 24-V-E – strunatci . . . . .	21
8.2.10	Experimentální – 25-I-E – brumlovo tajemství . . . . .	25
8.2.11	Experimentální – 25-II-E – čočkování . . . . .	25

# 1. Úvod

DEMOVERZE

TODO napíše se pořádně na konec

Práce je rozdělená na několik kapitol. První kapitola se zabývá tím, co je Fyzikální korespondenční seminář Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze (dále jen Fyzikální korespondenční seminář či FYKOS), pro koho je určen, jaké aktivity pořádá a kdo ho organizuje. V rámci této kapitoly jsou rozebrány i základní postupy, kterými se korespondenční seminář řídí a jeho historie.

DEMOVERZE

Hlavním veřejně dostupným zdrojem informací o Fyzikálním korespondenčním semináři jsou jeho stránky (FYKOS).

## 2. O Fyzikálním korespondenčním semináři

### 2.1 Úvod

Tato kapitola dává odpověď na otázky jako: „Co je vlastně Fyzikální korespondenční seminář?“, „Pro koho je určen?“, „Jaké další akce pořádá?“, „Jaká je jeho historie?“ apod.

Fyzikální korespondenční seminář vznikl před více než 26 lety. Od té doby funguje korespondenční část semináře se soustředěnými stále relativně podobným způsobem, ale přitom probíhá seminář neustálým vývojem a jeho další aktivity se, zejména v několika posledních letech, značně rozšířily.

Hlavní činností každého korespondenčního semináře je zadávání a opravování úloh v několika sériích, které probíhají v průběhu roku. V každé sérii jsou zadány příklady, které mohou řešit středo- či základoškoláci, sepsat jejich řešení a odeslat k opravení zpět semináři. Opravená a obodovaná řešení jim pak organizátoři pošlou zpět domů. Na základě získaných bodů jsou nejlepší řešitelé semináře zváni na soustředění, která probíhají dvakrát ročně.

Dalšími, sice původně vedlejšími, ale v dnešní době ne méně důležitými a organizačně také značně časově náročnými, aktivitami, které FYKOS pořádá jsou jednorázové soutěže: *FYKOSí Fyziklání*, *Fyziklání online* a *MFnáboj* a také exkurze v rámci *Dnů s experimentální fyzikou* a *Týdne s aplikovanou fyzikou*.

Všechny výše zmíněné skutečnosti jsou podrobněji rozebrány v dalších kapitolách.

### 2.2 Cíle FYKOSu a základní fakta o FYKOSu

#### 2.2.1 Význam slova FYKOS

Fyzikální korespondenční seminář MFF UK se interně dělí na dvě části. První je nazývána FYKOS a zabývá se akcemi pro středoškoláky. Druhá používá zkratku Výfuk (ze slov Výpočty fyzikálních úkolů) a zabývá se výhradně akcemi pro základní školy a odpovídající ročníky víceletých gymnázií. Dále bude často zmiňován FYKOS jak jako celý seminář, tak i jako pouze část pro střední školy, ale z kontextu by mělo být zřejmé, o jaký pojem se jedná<sup>1</sup>.

#### 2.2.2 Pořadatel

FYKOS je pořádán Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy v Praze, která jej financuje v rámci systému svých propagačních aktivit. FYKOS organizačně spadá pod Oddělení pro vnější vztahy a propagaci, jehož vedoucí je PhDr.

---

<sup>1</sup>Toto pojmové schizma vzniklo z historických důvodů, kdy FYKOS začal pořádat seminář i pro ZŠ a současně s tím se oddělily procesy příprav úloh a jejich opravování. Bylo praktičtější oddělit komunikaci k workflow nad úlohami pro ZŠ a SŠ a tak se tomu stalo prakticky okamžitě po vzniku Výfuku.

Alena Havlíčková. Zaštitěn je Ústavem teoretické fyziky MFF UK, z něž je tradičně vedoucí semináře, kterým je v současnosti RNDr. Přemysl Kolorenč, Ph.D.

### 2.2.3 Cíle FYKOSu

Základní cíle FYKOSu formuluje jeho statut<sup>2</sup>.

Hlavní cíle FYKOSu v bodech<sup>3</sup>

- Popularizovat fyziku a přírodní vědy
- Zvyšovat kvalitu studentů MFF UK
- Propagovat možnost studia na MFF UK
- Vytváření sociálních vazeb účastníků a organizátorů

Hlavním posláním FYKOSu je zvyšovat popularitu zejména fyziky, ale i přírodních věd obecně mezi středoškolskými žáky a žáky základních škol zejména v České a Slovenské republice a zvyšovat jejich motivaci k řešení fyzikálních příkladů. Má umožňovat nadaným a talentovaným žákům další vzdělávání a rozvíjet jejich schopnosti v řešení komplexních fyzikálních problémů.

Důležitým cílem je i zvyšování kvality nastupujících studentů na MFF UK právě jejich vzděláváním již v průběhu studia střední školy. V současném systému rámcových vzdělávacích plánů, které nepožadují probrání zdaleka tak velkého množství látky jako dřívější osnovy, a školních vzdělávacích plánů, které se mohou značně mezi jednotlivými školami výrazně lišit, se totiž stále častěji stává, že látka, kterou považují přednášející na MFF UK za základní látku probíranou na SŠ, často není probírána ani na velké části gymnázií. Pokud jsou tedy žáci řešením semináře vystaveni složitějším středoškolským a někdy i vysokoškolským problémům, tak mají možnost svoje znalosti konfrontovat dříve a případně si nějaké oblasti matematiky a fyziky sami dostudovat.

Společně se zvyšováním úrovně SŠ a ZŠ žáků se zvyšuje i úroveň VŠ organizátorů, kteří úlohy připravují a opravují, protože vytváří autorská řešení a současně kriticky hodnotí práci řešitelů. Při organizaci FYKOSu pak i získávají zkušenosti s organizací akcí, které pak mohou uplatnit dále ve svém profesním životě.

Důležitým cílem je propagovat studium na MFF UK, zvedat povědomí o MFF UK a UK ve své cílové skupině a informovat o akcích pořádaných MFF UK, jako jsou dny otevřených dveří apod.

Dalším důležitým cílem je vytváření sociálních vazeb, a to jak mezi řešiteli, tak i mezi řešiteli a organizátory a potažmo i mezi organizátory navzájem. Tyto vazby pak mohou zvyšovat motivaci (či snižovat demotivaci) při studiu na MFF UK a usnadnit orientaci novému studentovi na škole<sup>4</sup> Seminář tak může pomoci, zejména introvertnějším povahám, najít si přátele a to jak mezi spolužáky, tak i mezi staršími i mladšími ročníky.

<sup>2</sup>V dnešní době je však již částečně zastaralý, protože nebyl po dlouhá léta aktualizován.

<sup>3</sup>Pořadí je od nejdůležitějšího cíle dle osobního mínění autora práce.

<sup>4</sup>Nový student, který byl řešitelem semináře a zúčastnil se nějakého soustředění ví, na koho se může obrátit s dotazy o studiu, na rozdíl od „běžného studenta“, který semináře neřešil a za současného stavu často neví, na koho se může obrátit. Jedinou akcí, kterou totiž noví studenti MFF UK procházejí, je Alber, na které se zapisí do studia, dozví se v průběhu pár dní spoustu věcí o studiu, ale často se moc neseznámí se svými spolužáky. Pak se již obvykle potkávají pouze



## 2.2.4 Organizace semináře

### Organizátoři semináře

Jako ostatní korespondenční semináře MFF UK má i FYKOS hlavního organizátora a vedoucího semináře. Hlavní organizátor je student MFF UK, který, dle statutu, organizačně zabezpečuje rozesílání zadání a řešení úloh, opravování úloh a veškerou agendu s tím související a organizuje také vedlejší aktivity korespondenčního semináře. Vedoucí semináře je zaměstnanec MFF UK jmenovaný děkanem na návrh proděkana fyzikální sekce MFF UK. Vedoucí semináře řídí a kontroluje práci hlavního organizátora a jeho týmu a formálně se stará o hospodaření semináře. Dalšími organizátory jsou téměř výhradně<sup>5</sup> studenti vysokých škol, z větší části z MFF UK. Jedná se většinou o studenty bakalářských a magisterských studijních programů, ale na organizaci se podílí i několik studentů doktorského studia. Celkový počet aktivních organizátorů je pohyblivý, ale dá se říci, že v průběhu roku se na více jak jedné aktivitě zapojuje zhruba 40 osob (FYKOS a Výfuk dohromady), ale v průběhu akcí jako FYKOSí Fyziklání či MFnáboj se jednorázově zapojují i další organizátoři (z jiných seminářů, bývalí organizátoři FYKOSu či známí organizátorů FYKOSu).

### Účastníci semináře

Počet účastníků FYKOSu v posledních několika letech stoupal společně se zaváděním dalších aktivit. Také se rozšířilo spektrum účastníků z původně téměř pouze středoškolských žáků i na žáky základních škol. Pro vytvoření základního přehledu – ve školních letech 2010/11, 2011/12 a 2012/13 byly počty účastníků následující: FYKOS 60, 122 a 168 středoškoláků; Výfuk 36, 79 a 270 účastníků; FYKOSí Fyziklání 31, 48 a 76 týmů<sup>6</sup>. Podrobnější údaje najdete v částech práce o jednotlivých akcích.

Účastníky FYKOSu jsou většinou nadaní studenti se zájmem hlavně o fyziku. Zejména při jednorázových akcích jako FYKOSí Fyziklání se však objevují i studenti, co mají zájem o další přírodní vědy, nejčastěji matematiku, a seminář v průběhu roku nemají zájem řešit, ale společně s dalšími spolužáky a kamarády vytvoří tým na takovou akci.

V korespondenčních sériích FYKOSu přijímáme řešení v češtině, slovenštině a angličtině, přičemž zadání zveřejňujeme v češtině a v angličtině<sup>7</sup>. Účastnit se tedy mohou žáci z celého světa. Příležitostně se účastní i účastníci z různých zemí mimo ČR a SR, např. Litvy, Srbska, Turecka atd., ale není to pravidlem, např. ve školním roce 2012/13 byli účastníci FYKOSu pouze z Česka a Slovenska. Výfuk zveřejňuje zadání pouze v češtině a zatím měl pouze účastníky z ČR. FYKOSí Fyziklání probíhá v Praze v češtině a zpravidla se ho účastní kromě osob s trvalým

---

na přednáškách a cvičeních, na kterých není prostor pro seznamování. Projekt „patronů“, který, jako zatím jediný, měl sloužit k tomu, aby systematicky vytvořil kontakty stávajících studentů s novými (probíhal tak, že stávající studenti, kteří se chtěli do projektu zapojit, se, částečně náhodně, přidělili novým studentům, kteří se na ně měli obracet s dotazy apod.), v současné době, bohužel, neběží.

<sup>5</sup>Občas se do organizace zapojují jako dobrovolníci i bývalí organizátoři semináře, kteří již dostudovali.

<sup>6</sup>Týmy jsou maximálně pětičlenné. Většina týmů bývá naplněná.

<sup>7</sup>Vzorová řešení pak však bývají pouze v češtině nebo slovenštině (podle jazyku autora).

bydlištěm v ČR i obyvatelé Slovenska. Fyziklání online probíhá online formou a od druhého ročníku soutěže je zadání i v angličtině. Účastnit se zde tedy také mohou žáci z celého světa. Fyziklání online má i otevřenou kategorii, které se může zúčastnit kdokoli<sup>8</sup>

## 2.2.5 Používaná technika pro organizaci

### Úvod k technice

Pro organizaci velkého množství aktivit v co nejprofesionálnější formě je potřebné používat různé technické prostředky. Jak pro archivaci, evidenci již vykonaného, tak zejména i komunikaci. Tato kapitola proto zmiňuje některé ze základních programů a služeb, které seminář používá, pro vytvoření lepší představy o organizaci semináře.

### Organizátorská wiki

Organizátoři pro přípravu akcí používají organizátorskou wiki, interně *fiki*. Jedná se o prostředí, která funguje podobně jako Wikipedie, jenom s tím rozdílem, že přístup na tuto wiki mají pouze organizátoři FYKOSu.

Wiki běží na enginu DokuWiki - <http://dokuwiki.org>. Umístěná je na internetové adrese <http://wiki.fykos.cz/start>.

Je obecně rozdělená na část pro FYKOS, pro Výfuk a pro MFnáboj s tím, že jednotliví uživatelé mají přístup obvykle pouze do některých částí podle toho, co organizují.

### Organizátorská konference, emaily

FYKOS i Výfuk mají oba po jedné centrální konferenci, tj. emailu společném pro všechny organizátory. Tyto konference slouží pro obecné informování organizátorů a to jak o nadcházejících akcích, jejich termínech, tak případně i pro zajímavé informace o nabídkách, které přímo nesouvisí se seminářem. Dále existují emaily pro jednotlivé akce semináře pro dotazy účastníků, úpravy registrace atd. (např. FYKOSí Fyziklání) a osobní emaily jednotlivých organizátorů, přes které mohou účastníci kontaktovat, koho jen chtějí, přímo.

Konference FYKOSu je emailová adresa [fykos-1@kolej.mff.cuni.cz](mailto:fykos-1@kolej.mff.cuni.cz) spravovaná v rámci serveru <http://www.kolej.mff.cuni.cz/>. Ostatní emailové adresy, včetně konference Výfuku, jsou spravované v rámci služby GoogleApps.

## 2.3 Korespondenční část

### 2.3.1 Úvod

TODO

---

<sup>8</sup>Tedy i studenti vysokých škol i lidé, kteří již nestudují, např. i vysokoškolští učitelé.

### 2.3.2 Kategorie

Žáci SŠ soutěží v semináři automaticky zařazení do kategorií podle svých školních ročníků. Kategorie 4. ročníků je pro 4. roč. SŠ a odpovídající ročníky gymnázií. Takto dále až ke kategorii 1. ročníků, do které se případně zařazují i žáci ZŠ, pokud se rozhodnou seminář řešit<sup>9</sup>.

### 2.3.3 Průběh sérií semináře

#### Z hlediska účastníka

FYKOS má 6 korespondenčních sérií v průběhu jednoho školního roku. Série probíhají tak, že se nejprve zveřejní zadání na internetu, stávajícím řešitelům pak přijde, cca po třech týdnech, zadání poštou domů ve formě brožurky, ve které jsou i vzorová řešení předchozí série. V zásilce řešitelé obdrží i jejich opravená řešení předchozí série<sup>10</sup>. Pak mají řešitelé ještě nějaký čas na řešení příkladů, obvykle zhruba další tři týdny.

Uzávěrka příjmu příkladů má dva termíny. První, zpravidla v pondělí, je termín na podání řešení na poště (datum razítka) pro řešitele, kteří chtějí svá řešení zasílat řešení poštou. Druhý termín je pro elektronické zasílání příkladů přes elektronický systém uploadu na stránkách FYKOSu<sup>11</sup>, tzv. *termín uploadu*, který bývá zpravidla ve 20.00 druhý den po prvním termínu.

Autorská řešení úloh se na stránkách FYKOSu<sup>12</sup> objeví obvykle do tří dnů po termínu uploadu.

#### Z hlediska organizátora

Organizátoři v průběhu roku vymýšlejí úlohy či se inspiroují z různých učebnic fyziky, stránek věnovaných fyzice a dalších zdrojích<sup>13</sup>. Připravené návrhy zadání umísťují organizátoři na interní organizátorskou wiki. Zde jsou úlohy zařazovány podle jejich zamýšleného určení (viz dále subkapitola Typy úloh). Z nich pak pro výběr úloh do série vybere jeden organizátor, tzv. *vedoucí výběru úloh do sérií*, několik úloh z každé kategorie a vytvoří hlasování, na které upozorní ostatní organizátory. Tím začíná série pro většinu organizátorů. Hlasování je uzavřeno na jedné organizátorské schůzce, kde dojde k definitivnímu výběru úloh do série. Následuje období, kdy se mohou organizátoři hlásit k opravování jednotlivých úloh a současně doba, v jejímž průběhu píšou vzorová řešení úloh. Zpravidla organizátor, který napíše vzorové řešení, danou úlohu i opravuje.

Po termínech příjmu úloh zajistí roztrídění úloh a vytištění elektronických řešení tzv. *správce příjmu řešení*. Ty si pak rozeberou opravující organizátoři,

<sup>9</sup>Přestože se jedná o část semináře primárně určenou pro SŠ a mohou současně řešit i Výfuk.

<sup>10</sup>Tento systém je zaveden od 24. ročníku semináře. Dříve se zadání rozesílalo rovnou cca v době uzávěrky předchozí série a opravená řešení se odesílala se zadáním přespříští série. Vzorová řešení byla taktéž až v brožurce se zadáním série o dvě čísla vyšším. Jedinou výjimkou byla 7. brožurka, ve které byla řešení 5. a 6. série.

<sup>11</sup><http://fykos.cz/upload>

<sup>12</sup><http://fykos.cz/ulohy/reseni>

<sup>13</sup>V případě, že je použita úloha založená na již známé existující úloze, bývá úloha zpravidla upravena tak, aby nebyla příliš snadno dohledatelná na internetu. To je zejména z důvodu, aby řešitelé nebyli příliš v pokušení řešení pouze někde opsat, ale sami vymyslet.

opraví je a okomentují a donesou na schůzku, která je přibližně o dva týdny později. Tato schůzka bývá označována jako *obálkovací*, protože jsou na ní řešení zaobálkována a následně odeslána řešitelům poštou domů.

### 2.3.4 Typy úloh

V každé sérii je 8 úloh. První dvě, označené č. 1 a 2, jsou *jednoduché*<sup>14</sup>. Na *jednoduché* úlohy se aplikuje jediné bodové zvýhodnění ve FYKOSu, a to pouze pro kategorii 1. a 2. ročníků. Body získané řešením *jednoduché* úlohy se těmito řešitelům násobí dvěma<sup>15</sup>.

Úlohy č. 3, 4 a 5 jsou pak *normální*, což u příkladů FYKOSu znamená, že se jedná obvykle o složitější příklady, které při řešení požadují fyzikální uchopení zadání, matematické přeformulování problému, uvědomění si, které veličiny jsou k řešení třeba a často i v zavedení rozumné aproximace.

Šestou úlohou je úloha *problémová* označovaná jako *P*. V pojetí FYKOSu<sup>16</sup> by se mělo ideálně jednat o zajímavou otevřenou otázku, která zatím nemá nějaké obecně uznávané řešení (ať už z důvodu jeho komplexnosti či kvůli tomu, že zatím nebyla vědecky řešená), ale nadaný středoškolák by ji mohl alespoň částečně úspěšně řešit (např. za určitých omezení). Jedná se ovšem spíše o ideál a objevuje se více typů *problémových* úloh. Někdy je jako *problémová* zařazená úloha, která má více možných přístupů k řešení či úloha, která je založená na vícenásobném odhadu hodnot fyzikálních veličin.

Sedmá úloha je *experimentální* s označením *E*. Žáci mají vždy za úkol provést měření a to zpracovat. V řešení požadujeme zejména popis měření, výsledky měření a diskuze a závěry z měření. Hodnocená je i teorie, která je pro vytvoření správné diskuze také potřebná. Jednou za čas dostanou řešitelé domů se zadáním nějakou věc, u které mají měřením určit požadovanou fyzikální veličinu.

Poslední, osmou, úlohou v sérii je úloha *seriálová* označovaná jako *S*. Váže se vždy ke studijnímu doprovodnému textu, který se nazývá *seriál*. Název plyne z toho, že obvykle se seriál v průběhu celého školního roku váže k jednomu, pro tento rok vybranému, tématu. Příklady témat, na které byly seriály jsou plazma, astrofyzika, komplexní čísla a teoretická mechanika.

### 2.3.5 Hodnocení úloh

Každá úloha má v okamžiku zveřejnění určený počet bodů *studenta Pilného*, což by se dalo označit za bodové maximum úlohy. Není to však striktní bodové maximum, ale spíše očekávaný počet bodů při obvyklém vyřešení úlohy.

V případě, že řešitel úlohu zpracuje významně lépe, než se očekává, získá tzv. bonusové body, které se počítají do jeho celkového bodového zisku z dané úlohy. Některé úlohy mají přímo v zadání uvedený návrh na hlubší zpracování úlohy

<sup>14</sup>Jsou tak označovány, přestože nemusí být vždy pro řešitele zcela jednoduché, ale mělo by se jednat obvykle o dvě nejjednodušší úlohy série.

<sup>15</sup>Je tomu tak od 25. ročníku semináře, tj. od školního roku 2011/12. Ve 24. ročníku byly dvě *jednoduché* úlohy pod jednou úlohou č. 1 a neexistovalo žádné bodové zvýhodnění. V předcházejících letech pak místo dvou *jednoduchých* úloh byla jedna *normální* a úloh bylo pouze 7.

<sup>16</sup>Pojem problémové úlohy ve školní výuce fyziky, pro což se tento název používá více frekventovaně, má obvykle jiný význam.

(např. uvážít zanedbaný odpor vzduchu, tyče uvažované původně jako nehmotné, uvážít jako hmotné) nebo může řešitel zapojit vlastní invenci, a to u jakékoliv úlohy.

Opravující organizátor každou úlohu jak oboduje, tak by měl ke každé úloze dodat slovní komentář. Komentář je nutný zejména v případě, že řešitel nezíská plný počet bodů, aby si uvědomil, co udělal špatně a jak by měl podobnou úlohu příště řešit lépe. Potřebné jsou však i povzbuzující komentáře motivující k řešení úloh v dalších sériích.

### **Bodové zvýhodnění**

Jediné bodové zvýhodnění uplatňované v současné době v rámci korespondenční části FYKOSu platí pro kategorii 1. a 2. ročníku. Účastníkům těchto kategorií se bodový zisk z 1. a 2. úlohy násobí dvěma. Toto pravidlo platí od 25. ročníku semináře, tj. od školního roku 2011/12. Žádné jiné bodové zvýhodnění není uplatňováno.

### **2.3.6 Ročenka**

Po proběhnutí celého ročníku seminář vydává ročenku, ve které jsou všechny úlohy ročníku FYKOSu i se vzorovými řešeními, kompletní text seriálu i drobné reportáže z akcí, které seminář pořádal pro středoškoláky. Jedná se o jedinou publikaci s ISBN, kterou seminář obvykle vydává.

Ročenka je primárně určená aktivním řešitelům proběhlého ročníku a účastníkům soustředění FYKOSu v dalších letech. Používá se částečně i jako propagační publikace zejména pro učitele, který mají zájem se o FYKOSu dozvědět něco více.

### **2.3.7 Přínosy pro účastníky a odměny**

#### **Přínosy**

Hlavním přínosem pro řešitele korespondenčních sérií je to, že se sami vzdělávají. A to jak v jednotlivých oblastech fyziky, ze kterých jsou konkrétní úlohy, tak i to, jakým způsobem úlohy srozumitelně zpracovávat a sepisovat.

#### **Odměny**

Odměny pro řešitele slouží jako motivace k řešení

Na základě počtu získaných bodů jednotlivými řešiteli v sériích se sestavují výsledkové listiny jednotlivých kategorií. Pro některé řešitele je samotná existence výsledkových listin jednou z odměn.

Na základě výsledkových listin kategorií a celkového pořadí jsou řešitelé zváni na soustředění, někdy případně i na další akce (obvykle na Týden s aplikovanou fyzikou).

Zhruba nejlepší třetina řešitelů získává i materiální odměny – učebnice, populární vědecké knihy, deskové či karetní hry či trička semináře.

ročenka trička

odpuštění příjmaček

### **2.3.8 Statistiky počtu účastníků**

## **2.4 Soustředění**

## **2.5 Výpočty fyzikálních úkolů**

## **2.6 Exkurze, poznávací zájezdy**

### **2.6.1 Den s experimentální fyzikou**

### **2.6.2 Týden s aplikovanou fyzikou**

## **2.7 Jednorázové soutěže**

### **2.7.1 FYKOSí Fyziklání**

### **2.7.2 Fyziklání online**

### **2.7.3 MFnáboj**

## **2.8 Historie Fyzikálního korespondenčního semináře**

### **2.8.1 Vznik Fyzikálního korespondenčního semináře**

FYKOS vznikl školním roce 1986/87, kdy proběhl nultý ročník semináře. Vznikl jako fyzikální alternativa k Matematickému korespondenčnímu semináři, který v té době již několik let fungoval. Za jeho vznikem stála skupina kolem Leoše Dvořáka<sup>17</sup> a Davida Vokrouhlického<sup>18</sup>. V tomto roce proběhlo méně sérií a zatím nebylo pořádáno žádné soustředění, ale přesto se semináře účastnilo zhruba sto studentů.

O této aktivitě Leoše Dvořáka se o rok později dozvěděla skupina studentů (Pavel Krtouš, Přemysl Dědic a Tomáš Kopf), která převzala seminář do svých rukou. Tato skupina dala již FYKOSu z velké části jeho korespondenční části dnešní podobu.

---

<sup>17</sup>Tehdy byl vědeckým pracovníkem na tehdejší Katedře teoretické fyziky, dnešním Ústavu teoretické fyziky. V současné době je doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc. docentem na Katedře didaktiky fyziky MFF UK.

<sup>18</sup>Tehdy byl studentem tehdejší Katedry astronomie, dnešním Astronomickým ústavu UK. Dnes je prof. RNDr. David Vokrouhlický, DrSc. zástupcem ředitele Astronomického ústavu UK.

## 3. Metody a cíle CZV

3.1 Cíle cílené zpětné vazby FYKOSu

3.2 Použité metody cílené zpětné vazby

## 4. Realizace a výsledky CZV

### 4.1 Rozhovory

### 4.2 Dotazník



# 5. Další soutěže a akce mimo FYKOS v ČR a SR

## 5.1 Úvod

FYKOS je jednou z relativně velkého množství aktivit, které pro zájemce o přírodní vědy pořádá jak MFF UK, tak i další vysoké školy a instituce v rámci České republiky. Většina těchto aktivit probíhá víceméně nezávisle na sobě a ani neexistuje žádný kompletní přehled všech možností pro nadané. V současné době sice probíhá vývoj portálu [talentovani.cz](http://talentovani.cz) v rámci projektu Perun<sup>1</sup>, ale stále nepokrývá všechny existující aktivity. Dalším sdružujícím prvkem pro větší počet soutěží je dotační program MŠMT *Podpora soutěží a přehlídek v zájmovém vzdělávání*, do kterého je přihlášena velká část soutěží a na jehož základě se posléze vytváří seznam soutěží do věstníku MŠMT.

Následující seznam soutěží a dalších aktivit si nebere za cíl jakoukoliv úplnost, ale pouze poznamenat nějaká zajímavá fakta o těchto aktivitách, které jsou FYKOSu podobné způsobem organizaci či předmětem, fyzikou, a tedy i cílovou skupinou. Každá z těchto aktivit pak může být FYKOSu inspirací k tomu, jak může organizace fungovat v nějakých aspektech lépe (nebo i hůře) či zcela jinak a jsou tak jednou z možností inspirace pro úpravy a vylepšení ve FYKOSu.

## 5.2 Soutěže a akce organizované MFF UK

### 5.2.1 Matematický korespondenční seminář

### 5.2.2 Korespondenční seminář z programování

### 5.2.3 Fyzikální kroužek

## 5.3 Další soutěže

### 5.3.1 Fyzikální olympiáda

### 5.3.2 Astronomická olympiáda

### 5.3.3 Turnaj mladých fyziků

### 5.3.4 Fyzikální korespondenční seminář

---

<sup>1</sup>Projekt *Péče, rozvoj, uplatnění nedání* běžel pod NIDM, které bylo ovšem k 31. 12. 2013 zrušeno a MĚLO BY TO PŘEJÍT (UPRAVIT AŽ JAK TO DEFINITIVNĚ DOPADNE A BUDE TO TAK A NEBUDE SE NA TO JEN ČEKAT) do 31. 6. 2014 pod NÚV a jeho pokračování není známé (TODO - UPRAVIT PODLE SITUACE V DOBĚ ODEVZDÁNÍ)

## 6. Navržená a realizovaná vylepšení FYKOSu

### 6.1 XXXXX

## 7. Závěr

TODO napíše se nakonec

## 8. Literatura

(FoL) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *Fyziklání online* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://online.fyziklani.cz>

(FYKOS) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *Fyzikální korespondenční seminář* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://fykos.cz>

(FYKOS-DSEF) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *den s experimentální fyzikou* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://dsef.cz>

(FYKOS-historie) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *Historie FYKOSu* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://fykos.cz/o-nas/historie>

(FYKOS-přednášky) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *Přednášky pro středoškoláky* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://fykos.cz/akce/prednasky>

(FYKOS-soustředění) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *Soustředění FYKOSu* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://fykos.cz/soustredeni>

(FYKOS-TSAF) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *Týden s aplikovanou fyzikou* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://tsaf.cz>

(Fyziklání) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *FYKOSí Fyziklání* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://fyziklani.cz>

(MFnáboj) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *MFnáboj - Matematicko-fyzikální soutěž* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://vyfuk.fykos.cz/mfnaboj>

(Výfuk) ORGANIZÁTOŘI FYKOSU. *Výpočty fyzikálních úkolů* [online]. [cit. 2013-09-08]. Dostupné z: <http://vyfuk.fykos.cz>

# Seznam zkratek

**CZV** cílená zpětná vazba

**ČR** Česká republika

**DAKOS** Databáze korespondenčních seminářů na MFF UK (do 2011/12)

**DSEF** Den s experimentální fyzikou

**FKS** slovenský Fyzikálny korespondenčný seminár pořádaný občanským sdružením Trojsten (alternativně, zejména dříve a v oficiálních dokumentech, používaná zkratka pro FYKOS – dnes je již ale preferováno používání zkratky FYKOS i ve většině dokumentů)

**FO** Fyzikální olympiáda

**FYKOS** Fyzikální korespondenční seminář MFF UK

**G** Gymnázium/gymnázia

**KTF** dříve Katedra teoretické fyziky MFF UK (dnes ÚTF)

**MFF UK** Matematicko-fyzikální fakulta UK

**MKS** Matematický korespondenční seminář (jinak PraSe)

**MO** Matematické olympiáda

**MŠMT** Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky

**NIDM** Národní institut dětí a mládeže Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, zařízení pro další vzdělávání pedagogických pracovníků a školské zařízení pro zájmové vzdělávání (zanikl 31. 12. 2013)

**NÚV** Národní ústav pro vzdělávání, školské poradenské zařízení a zařízení pro další vzdělávání pedagogických pracovníků

**OVVP** Oddělení pro vnější vztahy a propagaci MFF UK

**PraSe** Pražský seminář (jinak MKS)

**SEx** Sekce experimentování (FYKOSu)

**SR** Slovenská republika

**SŠ** střední škola/y (včetně odpovídajících ročníků víceletých gymnázií, pokud není řečeno jinak)

**TMF** Turnaj mladých fyziků

**TSAF** Týden s aplikovanou fyzikou

**UK** Univerzita Karlova v Praze

**ÚTF** Ústav teoretické fyziky MFF UK (dříve KTF)

**VŠ** vysoká škola/y

**Výfuk** Výpočty fyzikálních úkolů (součást FYKOSu pro ZŠ)

**ZŠ** základní škola/y (včetně odpovídajících ročníků víceletých gymnázií, pokud není řečeno jinak)

**XXX** XXX

# Přílohy

## 8.1 Statut korespondenčních seminářů MFF UK

ve znění z května 2001

1. MFF UK pořádá tři korespondenční semináře (dále jen KS): Matematický korespondenční seminář (MKS), Fyzikální korespondenční seminář (FKS) a Korespondenční seminář z programování (KSP).
2. Korespondenční semináře jsou soutěže v příslušných oborech organizované pro studenty středních, případně základních škol. Pořadatelé seminářů zasílají účastníkům několikrát do roka sadu problémů, účastníci je řeší a posílají svá řešení zpět. Tato řešení jsou opravována a ohodnocena a vracejí se spolu s komentáři zpět k řešitelům. Podle výsledku v každém kole se vyhotovuje průběžné pořadí řešitelů a nejlepší řešitelé jsou zváni na soustředění obsahující odborný a rekreační program.
3. Práci každého KS řídí vedoucí KS ve spolupráci s hlavním organizátorem a jeho týmem.
4. Vedoucího KS jmenuje děkan z řad zaměstnanců MFF UK na základě návrhu příslušného sekčního proděkana. Vedoucí KS se po svém jmenování stává členem Propagační komise MFF UK. Na návrh vedoucího KS sekční proděkan jmenuje hlavního organizátora z řad studentů na každý školní rok.
5. KS finančně zajišťuje fakulta v rámci svých propagačních aktivit. V rozpočtu KS jsou zohledněny tyto položky:
  - náklady na sestavení, tisk a rozesílání zadání a řešení úloh,
  - soustředění KS,
  - vydání publikace celého ročníku KS a odměna pro autora publikace.
6. Hlavní organizátor zajišťuje průběh celého ročníku KS, pro který byl jmenován. Zabezpečuje rozesílání zadání a řešení úloh, opravování úloh a veškerou agendu s tím související, organizuje také vedlejší aktivity KS (např. soustředění).
7. Vedoucí KS řídí a kontroluje práci hlavního organizátora a jeho týmu. V rámci Propagační komise jedná s ostatními vedoucími KS o společných otázkách KS. V souladu s platnými hospodářskými směrnicemi hospodaří s finančními prostředky pro jeho KS fakultou určenými. Zabezpečuje pedagogický dozor na soustředěních, exkurzích a jiných výjezdních akcích KS.
8. Předseda propagační komise podává studijnímu proděkanovi návrh na vyplacení odměn organizátorům všech tří KS ve formě stipendia.

## 8.2 Ukázky úloh ze sérií FYKOSu

8.2.1 Jednoduchá – 24-IV-1 a) – napnutá struna

8.2.2 Jednoduchá – 26-I-1 – tlustý papír

8.2.3 Jednoduchá – 26-II-2 – hollow Earth

8.2.4 Normální – 24-IV-4 – konečné řešení otázky globálního oteplování

8.2.5 Normální – 25-I-4 – drrrrr

8.2.6 Normální – 25-VI-5 – běh na přednášku z eugeniky

8.2.7 Problémová – 25-V-P – světelný meč

8.2.8 Problémová – 26-II-P – gravitace si žádá větší slovo

8.2.9 Experimentální – 24-V-E – strunatci

### Zadání

Vytvořte si zařízení, na kterém bude moci být upevněna struna (či gumička) s proměnlivou délkou tak, že bude napínána stále stejnou silou. Prozkoumejte, jak se mění hlavní frekvence vydávané strunou (či gumičkou) v závislosti na délce struny. Na zpracování zvuku můžete použít například program Audacity.

*Původ zadání: Karel chtěl zadat něco z akustiky  
Autor řešení: Karel Kolář*

### Teorie

Příčné vlny se šíří v napjaté struně přibližně rychlostí

$$v = \sqrt{\frac{\sigma}{\varrho}},$$

kde  $\sigma$  je napětí ve struně a  $\varrho$  je hustota materiálu struny. Vzhledem k tomu, že napjatá gumička je podobná struně, můžeme aplikovat tento vzoreček i na náš experiment.

Jsou dvě možnosti, jak podle zadání zatížit gumičku. Buď tak, že máme zatíženou stále stejnou délkou pružiny, ale měníme délkou, na které pružina vibruje (např. pomocí kladky), nebo zatěžíme pouze délkou, na které pružina vibruje, a jenom nezbytně krátký úsek pro zavěšení přes kladku. V obou případech by ovšem, při použití stejné hmotnosti závaží, mělo být napětí v gumičce stejné, protože to závisí pouze na hmotnosti a na průřezu gumičky, který považujeme za konstantní. Označme délkou mezi upevněním gumičky a vrchem kladky, přes kterou je zavěšené závaží, jako  $l$ .

Frekvence  $f_k$ , které se brnknutím na gumičku vybudí, budou odpovídat vlnovým délkám  $\lambda_k$  a rychlosti šíření vln v materiálu vztahem

$$f_k = \frac{v}{\lambda_k},$$



kde  $f_k$  označuje  $k$ -tou harmonickou frekvenci. Vlnové délky vypočteme z předpokladu, že na okrajích, kde je gumička upevněná, bude nulová výchylka v každém čase a bude tam tedy uzel. Z toho vyplývá, že se do kmitající délky pružiny  $l$  musí vejít celočíselný počet půlvln.

$$l = k \frac{\lambda_k}{2}.$$

Z toho pak pro frekvence vyplývá celkový vztah

$$f_k = \sqrt{\frac{\sigma}{\varrho}} \frac{1}{\lambda_k} = \sqrt{\frac{\sigma}{\varrho}} \frac{k}{2l} = v \frac{k}{2l},$$

kde  $v/2$  je konstanta, kterou budeme fitovat ve zpracování měření.

## Postup měření

Při měření byla využita kladka, jak již bylo zmíněno v teorii. Pro co nejlepší určení délky gumičky byla použita co nejmenší kladka s poloměrem 1,0 cm. Pro všechna měření byla použita jedna obyčejná kancelářská gumička. Závaží, kterým byla zatížena, mělo hmotnost  $m = 200$  g. Nejprve byla gumička na jedné straně upevněna a na druhé straně bylo přes kladku zavěšeno volně závaží. Pak byla kladka zafixována, aby se v průběhu kmitů gumičky příliš nepohybovala. Měření délky probíhala pomocí obyčejného pravítka s dílkou po 1 mm, ale vzhledem k tomu, že místo upevnění gumičky a místo vrchu kladky není zcela přesně určující části pružiny, na které pružiny kmitá, bereme chybu měření jako 0,5 cm.

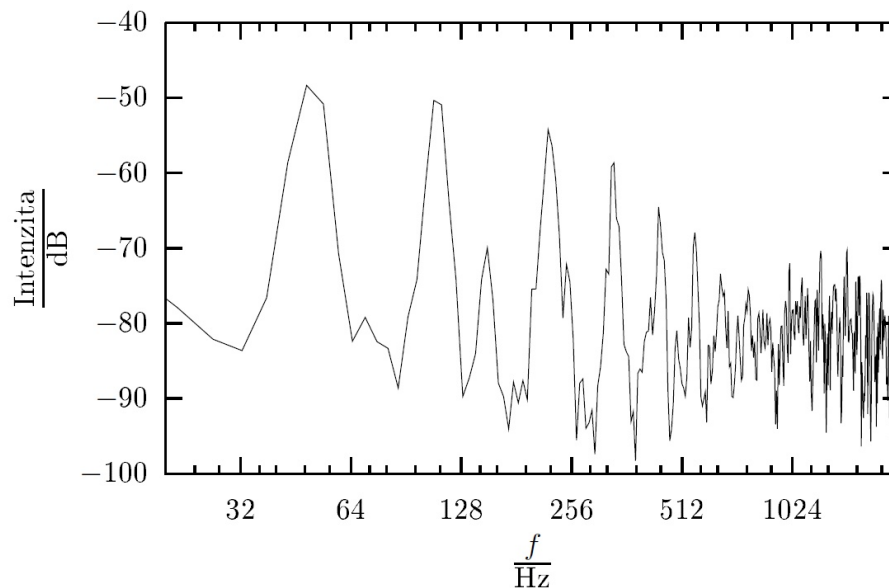
Zvuk gumičky byl měřen pomocí mikrofону připojeného na počítač a zvuk byl zaznamenáván pomocí programu Audacity, kde posléze probíhala spektrální analýza zvuku. Vždy bylo naměřeno více brnknutí, z nichž pak 3 byla analyzována. Zaznamenány byly první nejvýraznější frekvence vyšší než cca 100 Hz, protože mikrofóny v oblasti nízkých frekvencí nejsou příliš přesné a hlavně protože okolo 50 Hz se objevoval zvuk, který jednak nezávisel na délce  $l$ , navíc se vždy objevoval i v oblastech záznamu zvuku, kde nebylo na gumičku brnkáno, a nejpádňejším argumentem je, že právě tato frekvence je v elektrické síti a proto se nám může objevit pravděpodobně jako šum.

Na obrázku 8.1 můžete vidět ukázkou spektrální analýzy zvuku v Audacity. Zvolili jsme velikost okna 8192 vzorků, protože při nižších hodnotách jsme nedosahovali dostatečného frekvenčního rozlišení (nakonec bylo zhruba 2 Hz). Logaritmickou stupnici jsme použili z důvodu jednoduššího odečítání hodnot.

Při každém nastavení délky byly vybrány tři brnknutí a z odečtených hodnot frekvencí, které si odpovídaly, byl vypočten aritmetický průměr.

## Výsledky

Naměřená data pro gumičku, kde bylo zavěšeno závaží ve vzdálenosti 41 cm od upevnění, jsou v grafu 8.2 a data pro závaží upevněné za kladkou jsou v grafu 8.3. V obou grafech jsou nafitované frekvence přes parametr rychlosti, který považujeme za neznámý. Většinou bylo měřeno prvních 5 frekvencí, které byly přibližně celočíselným násobkem první frekvence (resp. 1, 2, 3, 4 a 5násobkem), z čehož můžeme usuzovat, že se opravdu jedná o prvních pět harmonických



Obrázek 8.1: Ukázka spektrální analýzy zvuku pro nastavení  $l = 24$  cm při délce gumičky 41 cm

frekvencí vydávaných gumičkou. Všechny naitované závislosti odpovídají (podle výpočtu metodou nejmenších čtverců v Gnuplotu) s odchylkou menší než 2% nepřímo úměrné závislosti frekvence na délce  $l$ .

Tabulka naitovaných hodnot rychlostí šíření zvukových vln v gumičce

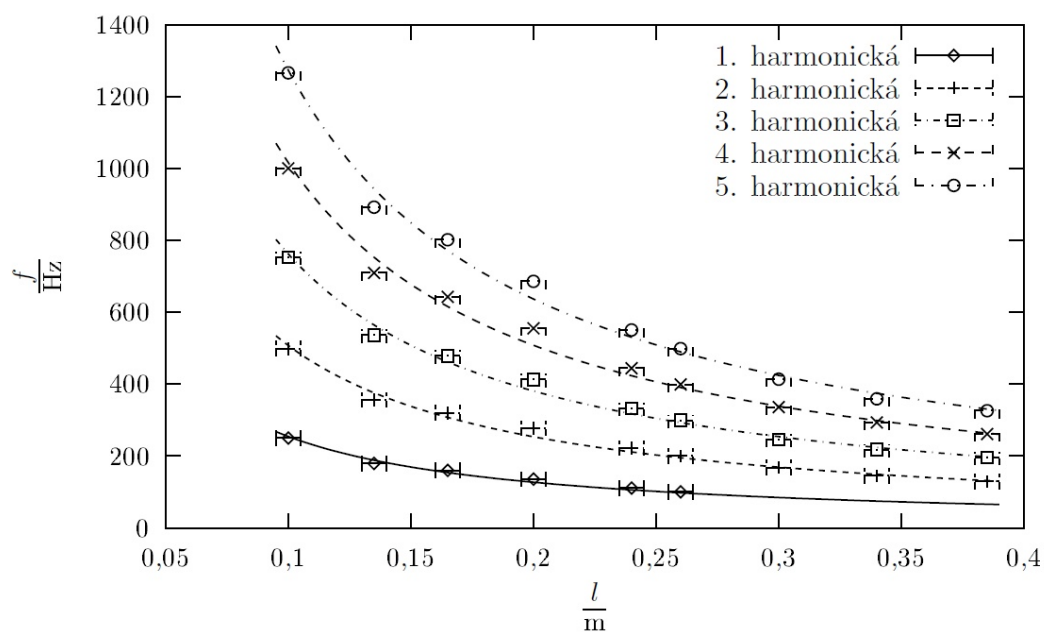
harmonická	$\frac{v_k}{\text{ms}^{-1}}$	$\frac{v_n}{\text{ms}^{-1}}$
1.	50,9	49,3
2.	50,8	49,4
3.	50,8	49,4
4.	50,8	49,0
5.	50,9	49,2

V tabulce můžete vidět hodnoty naitovaných rychlostí. Jako  $v_k$  je označen tento parametr u měření s konstantní délkou napnuté gumičky, kdežto  $v_n$  je pro nekonstantní délku gumičky. Je vidět, že u fitů v rámci jednoho grafu vychází prakticky stejná hodnota a pokud srovnáme obě dvě metody, tak se hodnoty liší jenom zhruba o 3%, což potvrzuje teorii, že by měly být frekvenční závislosti stejné u obou metod.

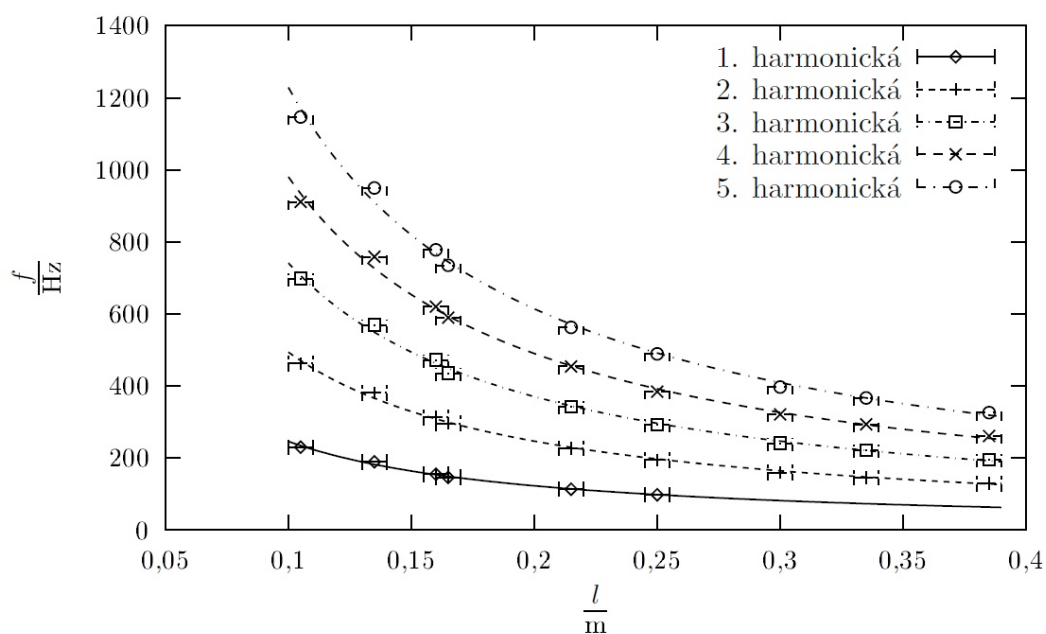
## Diskuze

Měření mohlo jednak ovlivnit nepřesné určení délky gumičky, ve které vznikl zvuk, protože kvůli použití kladky nebylo přesně definované místo upevnění.

Další možná chyba mohla vzniknout už kvůli způsobu záznamu zvuku, protože mikrofon je směrový a zaznamenával tak více zvuk z určité oblasti gumičky. Další vliv mikrofonu je takový, že je potřeba, aby v místě detekce zvuku byla kmitna nebo alespoň aby se nenacházel v oblasti uzlu, protože v uzlu není mikrofon



Obrázek 8.2: Graf závislosti frekvencí vydávaných gumičkou konstantní délky v závislosti na vzdálenosti  $l$



Obrázek 8.3: Graf závislosti frekvencí vydávaných gumičkou s upravovanou délkou (závaží upevněno těsně za kladkou)

schopný měřit (takříkajíc – nic neslyší). Podobný vliv by mohlo mít i to, na kterém místě byla gumička rozkmitaná, protože by se mohlo stát, že některé frekvence by byly utlumené, ale protože byla rozkmitávaná prsty, tak prakticky vždy se vybudily všechny frekvence.

Je také možné, že síla nebyla přesně určená závažím, vzhledem k tomu, že gumička byla po zatížení zafixována upevněním kladky, ale na druhou stranu by nejspíše chyba byla větší, pokud by kladka byla volná a mohla by sama kmitat. Pak bychom nejspíše generovali i jiné zvukové frekvence a ty, které jsme chtěli pozorovat, by byly posunuté/rozmazané.

Vzhledem k tomu, že gumička byla relativně dost zatížena, měření mohlo být ovlivněno i trvalou změnou jejích fyzikálních vlastností v průběhu měření.

## **Závěr**

Ověřili jsme, že frekvence vydávané gumičkou jsou nepřímo úměrné délce gumičky mezi upevněním a kladkou. Také jsme pozorovali prvních 5 harmonických frekvencí a z nafitovaných hodnot jsme přibližně určili rychlost šíření příčných vln v gumičce.

### **8.2.10 Experimentální – 25-I-E – brumlovo tajemství**

### **8.2.11 Experimentální – 25-II-E – čočkování**