

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyziky

Experimenty ve výuce akustiky: Fyzika hudebních nástrojů

Diplomová práce

Autor:	Bc. Natálie Faltová
Studijní program:	N0114A11
Studijní obor:	NUFYMA - Učitelství fyziky a matematiky pro střední školy
Vedoucí práce:	RNDr. Leontýna Šlégrová, Ph.D.

Hradec Králové

červenec 2023



## Zadání diplomové práce

**Autor:** Natálie Faltová

**Studium:** S21FY001NP

**Studijní program:** N0114A110004 Učitelství fyziky a matematiky pro střední školy

**Studijní obor:**

**Název diplomové práce:** **Experimenty ve výuce akustiky: Fyzika hudebních nástrojů**

**Název diplomové práce AJ:** Experiments in the teaching of acoustics: The physics of musical instruments

### **Cíl, metody, literatura, předpoklady:**

VYBÍRAL, Bohumil. Kapitoly z experimentální fyziky: historie měření, fundamentální experimenty, zpracování fyzikálních měření, experimenty ve školské fyzice. Hradec Králové: Gaudeamus, 2014. ISBN 978-80-7435-545-5. HAJKO, Vladimír. Fyzika v experimentoch, Bratislava: Veda, 1988. LORBEER, George C. a Leslie W. NELSON. Fyzikální pokusy pro děti: náměty a návody pro zajímavé vyučování: hmota, energie, vesmír, letectví. Praha: Portál, 1998. ISBN 80-7178-181-9.

### **Anotace:**

Diplomová práce navazuje na práci bakalářskou Fyzika hudebních nástrojů, a také ji rozšiřuje. V teoretické části práce jsou detailněji popsána témata, která byla v práci bakalářské nastíněna pouze okrajově (např. barva zvuku). V praktické části práce je návrh série experimentů zaměřených na akustiku, a především potom na fyziku hudebních nástrojů.

**Zadávací pracoviště:** Katedra fyziky,  
Přírodovědecká fakulta

**Vedoucí práce:** RNDr. Leontýna Šlégrová, Ph.D.

**Oponent:** doc. RNDr. Jan Šlégr, Ph.D.

**Datum zadání závěrečné práce:** 11.8.2021

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, z kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne

Natálie Faltová

## **Poděkování**

Děkuji RNDr. Leontýně Šlégrové, Ph.D. za odporné vedení, trpělivost a cenné rady při tvorbě mé diplomové práce. Děkuji také Mgr. Františku Štěpánkovi a Mgr. Andree Lackové za pomoc při tvorbě a realizaci laboratorních úloh. Nakonec chci také poděkovat mé rodině, která mne celou dobu podporovala.

## **Anotace**

FALTOVÁ, N. *Experimenty ve výuce akustiky: Fyzika hudebních nástrojů*. Hradec Králové, 2023. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí diplomové práce RNDr. Leontýna Šlégrová, Ph.D. 50 s.

Diplomová práce navazuje na práci bakalářskou Fyzika hudebních nástrojů, a také ji rozšiřuje. V teoretické části práce jsou detailněji popsána témata, která byla v práci bakalářské nastíněna pouze okrajově (např. barva zvuku). V praktické části práce je návrh série experimentů zaměřených na akustiku, a především potom na fyziku hudebních nástrojů.

## **Klíčová slova**

experiment, laboratorní úloha, hudební nástroj, zvuk

## **Annotation**

FALTOVÁ, N. *Experiments in the teaching of acoustics: The physics of musical instruments*. Hradec Králové, 2023. Diploma Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis Supervisor RNDr. Leontýna Šlégrová, Ph.D. 50 p.

The thesis builds on, and extends, the thesis of The Bachelor's Physics of Musical Instruments. In the theoretical part of the thesis, topics that were only marginally outlined in the bachelor's thesis (e.g., color of sound) are described in more detail. In the practical part of the work is the design of a series of experiments focusing on acoustics, and especially then on the physics of musical instruments.

## **Keywords**

experiment, laboratory task, musical instrument, sound

# OBSAH

ÚVOD.....	9
1 AKUSTIKA.....	10
1.1 ZVUK.....	10
1.1.1 BARVA TÓNU.....	12
1.1.2 TÓNOVÝ ROZSAH.....	13
1.2 SLUCHOVÝ ORGÁN.....	15
1.3 ZDROJE ZVUKU.....	16
1.3.1 HLASOVÉ ÚSTROJÍ.....	17
1.3.2 LADIČKA.....	17
1.3.3 XYLOFON (METALOFON).....	18
1.3.4 BUBÍNEK.....	18
1.3.5 PÍŠŤALKA.....	18
1.3.6 KYTARA.....	19
2 FYZIKÁLNÍ EXPERIMENT.....	20
2.1 EXPERIMENT V HISTORII A DNES.....	20
2.2 KLASIFIKACE EXPERIMENTU.....	21
2.2.1 KLASIFIKACE PODLE LOGICKÉ POVAHY.....	21
2.2.2 KLASIFIKACE PODLE PROVEDENÍ.....	22
2.2.3 KLASIFIKACE PODLE DIDAKTICKÉ FUNKCE.....	23
2.2.4 KLASIFIKACE PODLE ZAMĚŘENÍ.....	25
3 LABORATORNÍ PRÁCE.....	26
3.1 PRÁCE UČITELE PŘI LABORATORNÍCH PRACÍCH.....	26
3.2 PRÁCE ŽÁKA PŘI LABORATORNÍCH PRACÍCH.....	26
3.3 PROTOKOL.....	27
3.4 FYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ.....	27
3.4.1 METODY MĚŘENÍ.....	28
4 SOFTWARE.....	29
4.1 AUDACITY.....	29
4.2 SPECTRUM LABORATORY.....	30
4.3 SOUNDCARD SCOPE.....	30
4.4 VERNIER GRAPHICAL ANALYSIS.....	31

5	LABORATORNÍ ÚLOHY .....	33
5.1	LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 1 .....	34
5.1.1	METODIKA PRO UČITELE.....	34
5.1.2	SAMOTNÉ MĚŘENÍ.....	34
5.2	LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 2 .....	37
5.2.1	METODIKA PRO UČITELE.....	37
5.2.2	SAMOTNÉ MĚŘENÍ.....	38
5.3	LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 3 .....	39
5.3.1	METODIKA PRO UČITELE.....	39
5.3.2	SAMOTNÉ MĚŘENÍ.....	40
5.4	LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 4 .....	41
5.4.1	METODIKA PRO UČITELE.....	41
5.4.2	SAMOTNÉ MĚŘENÍ.....	42
6	PRŮZKUM .....	43
6.1	CÍL PRŮZKUMU .....	43
6.2	MEZIPŘEDMĚTOVÉ VZTAHY .....	43
6.3	METODOLOGIE.....	43
6.4	POPIS PRŮZKUMNÉHO VZORKU .....	44
6.5	VYHODNOCENÍ ŠETŘENÍ.....	44
	ZÁVĚR.....	47
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	48
	PŘÍLOHA 1 .....	I
	PŘÍLOHA 2 .....	III
	PŘÍLOHA 3 .....	V
	PŘÍLOHA 4 .....	VIII
	PŘÍLOHA 5 .....	X



# ÚVOD

Tato diplomová práce navazuje na bakalářskou práci s názvem *Fyzika hudebních nástrojů*, kterou jsem napsala v roce 2021. Odůvodnění, proč jsem si vybrala spojení fyziky a hudby najdete v jejím úvodu. Jelikož mě psaní bakalářské práce bavilo, rozhodla jsem se, že ji chci rozšířit. Hudbu mám stále ráda a za nedlouho budu fyziku už vyučovat. Napadlo mě vytvořit laboratorní úlohy zaměřené na hudební nástroje pro žáky z gymnázií.

Celá práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teorie neobsahuje veškeré informace, které jsou potřeba k daným laboratorním úlohám, jelikož je jí spousta už v dříve zmiňované bakalářské práci. Je to například kapitola Kmitání, Vlnění, Tón a Hudební nástroje. V teoretické části této diplomové práce jsou kapitoly už pouze doplňující, je to: Akustika, Fyzikální experiment, Laboratorní práce a Software. Kapitola o fyzikálním experimentu vysvětluje jeho význam a rozděluje ho podle různých kritérií. Následující kapitola – Laboratorní práce popisuje práci vyučujícího a žáka při daném měření, vysvětluje, jak má vypadat protokol a také se zabývá měřením a jeho rozdělením. Poslední kapitola této části popisuje softwary, které je možné použít při měření, v této práci obsažených, laboratorních prací

Druhá, praktická část je obsáhlejší. Je tvořena dvěma částmi. První je o laboratorních úlohách. Nejdříve jsou sepsané obecné informace, které platí pro všechny úlohy. Následují podkapitoly týkající se konkrétních laboratorních úloh. Každá obsahuje stručný popis, metodiku pro učitele a samotné měření, které jsem prováděla já, aby čtenář měl představu o výsledcích. Ke každé úloze je na konci práce v příloze vložen protokol pro žáky, kteří budou provádět měření. V tomto protokolu jsou sepsané potřebné pomůcky, teorie, úkoly, postup a tabulky potřebné k práci. Druhá část, také už poslední této práce, popisuje průzkum, jeho cíle, mezipředmětové vztahy, metodologii, popis průzkumného vzorku a vyhodnocení.

Všechny laboratorní úlohy naměřili a sepsali k nim protokol žáci druhého ročníku čtyřletého studia a šestého ročníku osmiletého studia na Gymnáziu Františka Martina Pelcla v Rychnově nad Kněžnou. Toto je škola, kterou jsem navštěvovala osm let jako žákyně a tento školní rok jsem na ní už vyučovala na poloviční úvazek fyziku. Doufám, že v dalších letech na ní setrvám a budu už plnohodnotnou členkou pedagogického sboru.

Celá práce je obohacena o obrázky propůjčené z různých literatur, nebo mnou pořízené fotografie výrobků, pomůcek a časových diagramů. Najdete zde také tabulky a grafy.

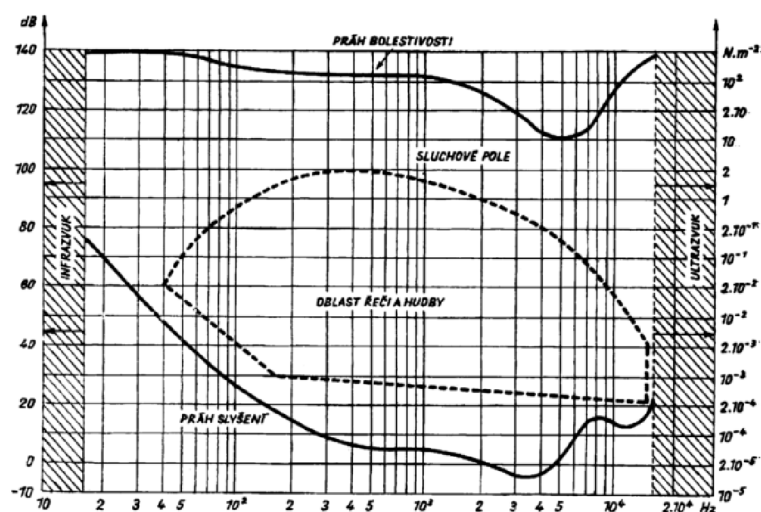
# 1 AKUSTIKA

Akustika je jednou z osmi podoborů fyziky. Profesor Bohumil Vybíral ji v knize *Kmitání a vlnění* popisuje takto: „Akustika je fyzikální obor, který se zabývá zvukem, jeho vznikem, šířením a působením na sluchové orgány člověka a také působením na jiná tělesa.“ [16] Dále lze tento obor rozdělit do pěti částí:

- **fyzikální akustika** – zkoumá, jak se zvuk šíří, jak vzniká zvuk a jak se odráží a pohlcuje v různých materiálech,
- **hudební akustika** – studuje zvuky z hlediska hudebního a zvuky hudebních nástrojů,
- **fyziologická akustika** – zabývá se vznikem a vnímáním zvuku orgány člověka,
- **stavební akustika** – hledá vhodné podmínky pro šíření zvuku v různých prostorech,
- **elektroakustika** – zkoumá zvuk za využití elektrického proudu. [16]

## 1.1 ZVUK

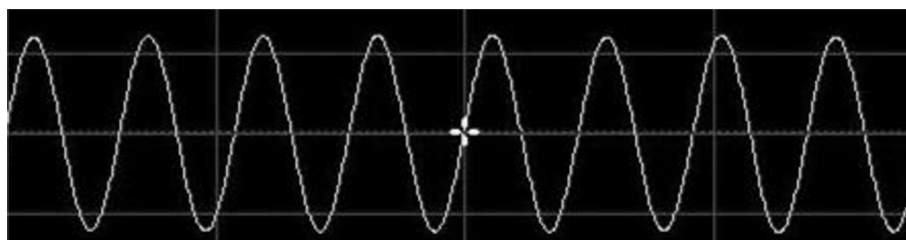
Člověk je schopen pomocí smyslů přijímat informace z okolí. Jedná se o zrak, hmat, čich, chuť, a pro účely této práce je nejdůležitější **sluch**, díky kterému vnímáme mechanické vlnění o frekvenci přibližně 16 Hz až 16000 Hz, také jinak řečeno **zvuk**. Celému tomuto rozmezí se říká **sluchové pole** (Obr. č. 1), které je dole omezeno hranicí, kdy člověk ještě slyší velmi slabý tón – **prahem slyšení**, a z druhé strany **prahem bolesti** – v uchu už vzniká bolestivý pocit. Frekvence mechanického vlnění pod dolní mezí (16 Hz) se nazývá **infrazvuk**, což jsou například záchvěvy půdy a mořské hladiny při zemětřesení. Toto vlnění vnímají ryby, sloni, medúzy, hroši atd. Pokud bude frekvence vyšší než 16000 Hz, jedná se o **ultrazvuk**. Tyto zvuky o velmi vysoké frekvenci využívají k dorozumívání psi, delfíni a netopýři.



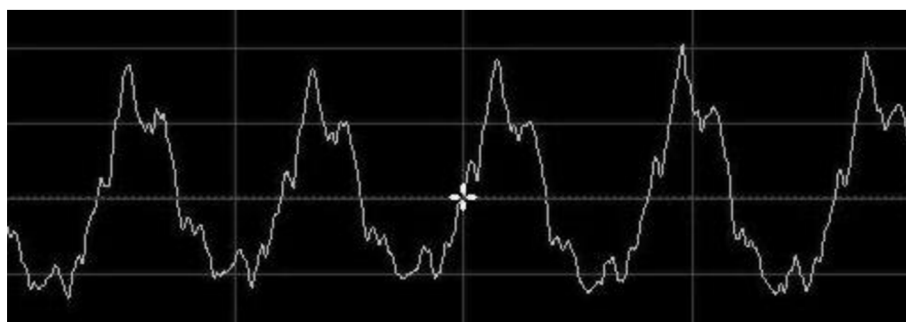
Obr. č. 1 Sluchové pole, převzato z [13]

Zvuk se dělí do dvou skupin: **nehudební** (nepravidelné, neperiodické vlnění) a **hudební** (pravidelné, periodické vlnění). Nehudební zvuk vzniká nepravidelnými a neperiodickými tlakovými změnami v prostředí, jako je rána, vrzání, hukot, šum atd. Hudební tóny vznikají pravidelnými a periodickými změnami v prostředí, častěji se nazývají **tóny**. Zahrajeme-li jeden tón na ladící vidlici, získáme tzv. **jednoduchý** (sinusový) tón, který lze popsat sinusoidou (Obr. č. 2). Pokud má křivka složitější průběh, než u jednoduchého tónu, ale má stále periodický charakter, jedná se o **složený** tón (Obr. č. 3). Jestliže křivka obsahuje část periodickou, ale i neperiodickou, hovoříme už o **hluku** (Obr. č. 4). Šum je takový zvuk, který je tvořený velkým počtem různých tónů o velmi blízkých frekvencích.

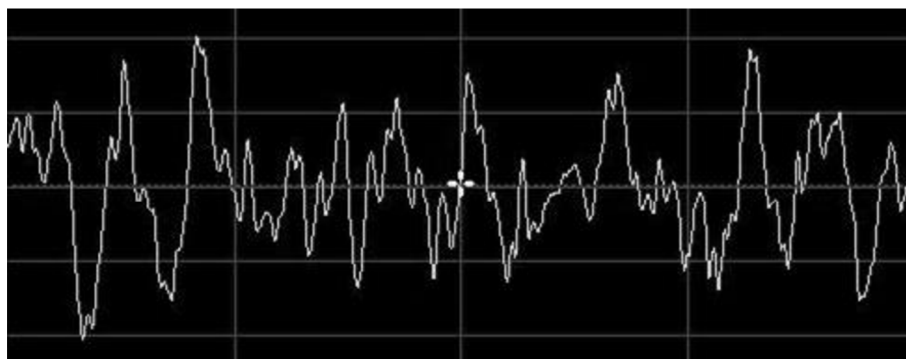
U každého tónu rozeznáváme čtyři základní vlastnosti – **barvu, hlasitost, výšku** a časovou délku. Všechny první tři znaky zkoumá akustika, o kterých bude pojednáváno v následujících odstavcích. [13]



Obr. č. 2 Jednoduchý tón, Soundcard Scope, práce autorky



Obr. č. 3 Složený tón, Soundcard Scope, práce autorky



Obr. č. 4 Hluk, Soundcard Scope, práce autorky

### 1.1.1 BARVA TÓNU

Zahraju-li jeden a ten samý tón na klavír, poté na flétnu, následně ho zazpívám a ve všech případech bude stejně hlasitý, posluchač, který mne nevidí, určitě pozná rozdíly mezi jednotlivými ukázkami. Musí tedy existovat ještě nějaká vlastnost tónu, díky které je možné rozlišit jeho zdroj. Jedná se o **barvu** tónu, nebo jinými slovy **témbr** tónu. Inženýr Stěnička v knize *Základy akustiky pro učitele hudební výchovy* píše: „Pojem „barva zvuku“ dříve označovaná *témber* se objevil až koncem 18. století ve francouzské literatuře. Jako slovníkové heslo byl tento pojem poprvé autonomně vysvětlen ve *Slovníku moderní hudby* vydané v Paříži 1821. V Německu znají od r. 1835 výraz *klang* nebo *tonfarbe*, který znamená „světlý“, „temný“, „drsný“, „tvrdý“, „plný“. Barva zvuku je tedy ve všech definicích vztahována k subjektivní představě kvality zvuku, především smyslem zraku a hmatu.“ [12]

V hudbě, v téměř každém složeném tónu, zní základní tón o frekvenci  $f$  současně s dalšími **vyššími harmonickými tóny**  $2f$ ,  $3f$ ,  $4f$  atd. Jedná se o tóny s vyšší nebo menší amplitudou. Pro výslednou výchylku  $\varepsilon$  složeného tónu o frekvenci  $f$  platí

$$\varepsilon = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + A_2 \sin(2\omega t - \varphi_2) + \dots + A_n \sin(n\omega t - \varphi_n),$$

kde  $A_i$  je amplituda, kde  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , vzdálenost rovnovážné polohy od největší výchylky;  $\omega$  je úhlová frekvence, pro kterou platí  $\omega = 2\pi f$ ;  $t$  je čas a  $\varphi$  je fázový posuv. Výsledná výchylka tedy vznikne pouhým součtem všech výchylek jednotlivých vyšších harmonických tónů. Je zřejmé, že vyšší harmonické tóny určují barvu (témbr) složeného tónu. Barva složeného tónu bude tím ostřejší, čím budou obsaženy vyšší harmonické tóny a čím větší je jejich amplituda.

Barvu tónu neovlivňují pouze vyšší harmonické tóny, ale i různé **šumy** a **šelesty**, které daný tón doprovázejí. Ty vznikají úderem kladívka o strunu u klavíru, u flétny zase kvalitou nátisku, nebo u houslí pohybem smyčce po struně atd. Dále také nesmíme zapomenout, že každý tón, ať už hraný na nástroj, nebo zpívaný, má tři fáze: **počáteční**, **střední** a **doznívající**. V první fázi se tvoří tón, mění se jeho kvalita. Například zpěvák „hledá“ tu správnou frekvenci, kytarista drnká o strunu, dechař se nadechuje a vytváří nátisk. Při střední fázi se tón rozeznívá, je jasný a čistý. A na konci opět tón ztrácí kvalitu, doznívá a rychle utichá.

Dalšími faktory, jež ovlivňují barvu tónu, jsou tzv. **formanty** – výrazné, intenzivní, rezonanční, tónové oblasti ozvučných skříněk hudebních nástrojů. Podívejme se například na smyčcové nástroje – housle (g až c<sup>5</sup>), viola (c až c<sup>4</sup>), violoncello (C až e<sup>3</sup>), kontrabas (E<sub>1</sub> až e<sup>2</sup>) (Obr. č. 5). Nástroje jsou seřazeny od nemější ozvučné skřínky po největší, tedy i od nejvyššího možného tónu, který lze zahrát na houslích, až po nejnižší tón kontrabasu. V závorce jsou uvedeny jejich tónové rozsahy. Housle a violu hráč drží v ruce a jsou podepřené pod krkem. Zatímco violoncello a kontrabas jsou už tak velké hudební nástroje, že je hráč má opřené o zem a rameno. Dalším příkladem mohou být flétny, klarinety, saxofony, obecněji řečeno dechové nástroje, pro které platí, že čím delší tělo, tím hlubší tón.



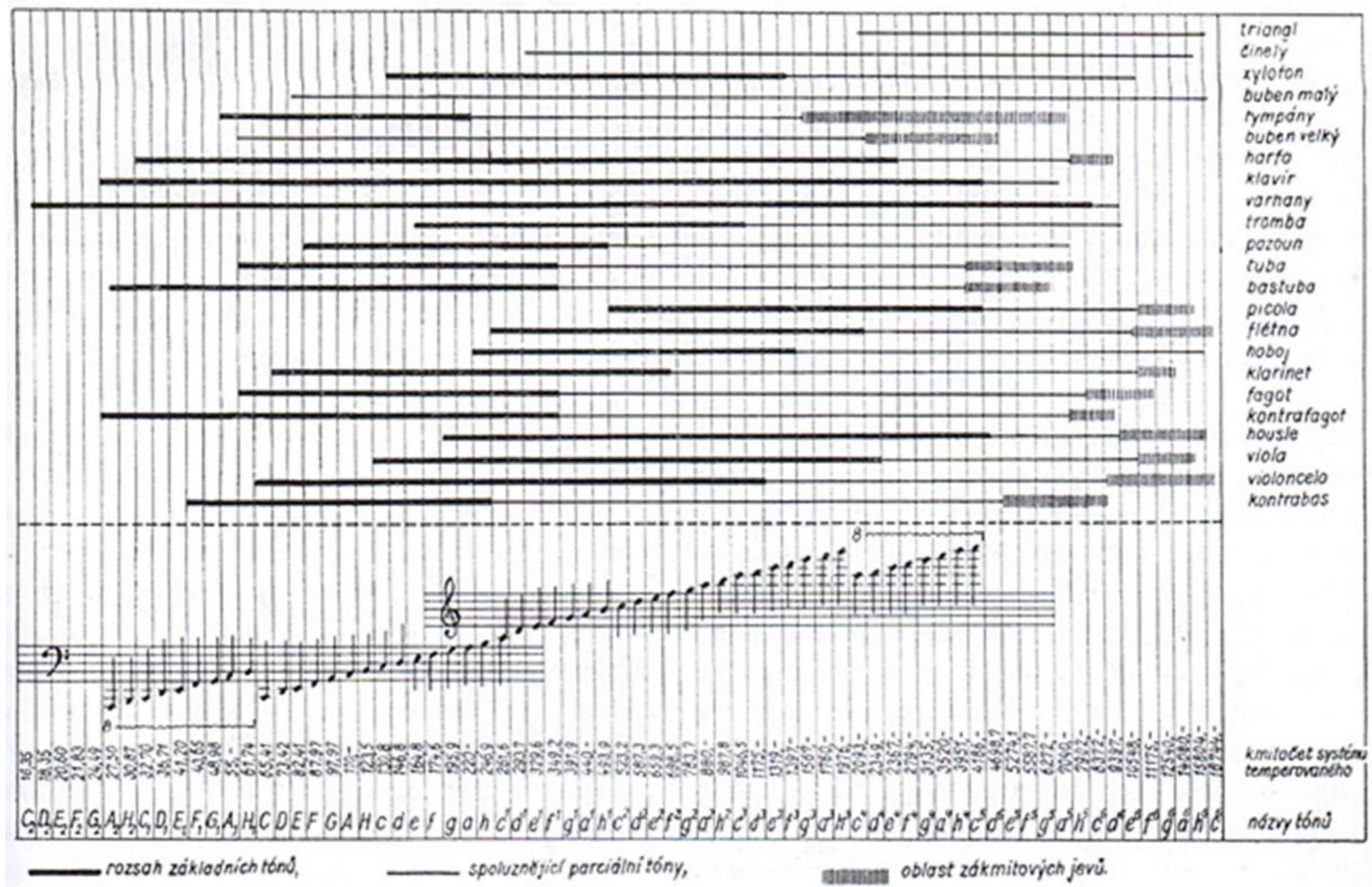
Obr. č. 5 Smyčcové nástroje, převzato z [30]

Oktáva								
<b>subkontra</b>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	G <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>
<b>kontra</b>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>			...		C
<b>velká</b>	C	D	E			...		c
<b>malá</b>	c	d	e			...		c <sup>1</sup>
<b>jednočárkovaná</b>	c <sup>1</sup>	d <sup>1</sup>	e <sup>1</sup>			...		c <sup>2</sup>
<b>dvoučárkovaná</b>	c <sup>2</sup>	d <sup>2</sup>	e <sup>2</sup>			...		c <sup>3</sup>
<b>tříčárkovaná</b>	c <sup>3</sup>	d <sup>3</sup>	e <sup>3</sup>			...		c <sup>4</sup>
<b>čtyřčárkovaná</b>	c <sup>4</sup>	d <sup>4</sup>	e <sup>4</sup>			...		c <sup>5</sup>

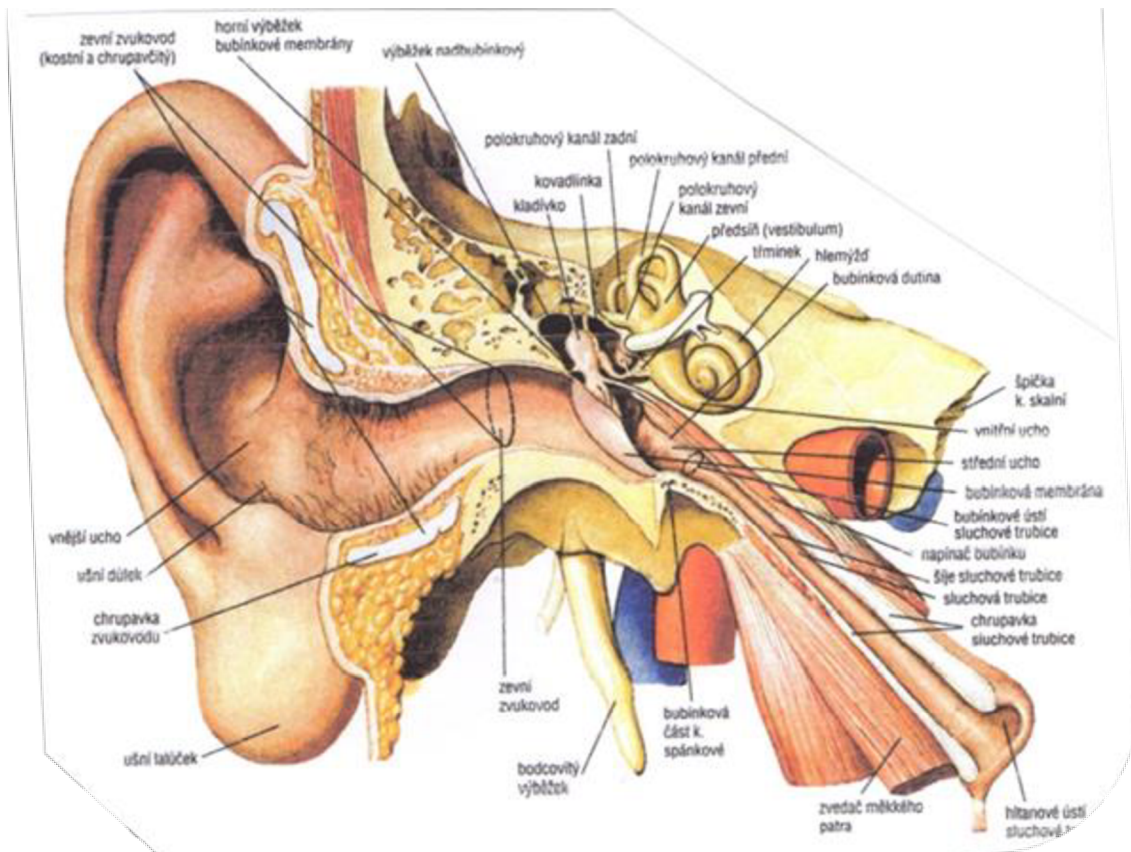
Tab. č. 1 Oktávy, převzato z [13]

### 1.1.2 TÓNOVÝ ROZSAH

V hudbě se nejčastěji využívá frekvenční rozsah 16 Hz až 4000 Hz, nebo lze napsat  $\frac{4000}{16} = 250 \cong 256 = 2^8$ , jedná se o osm oktáv, avšak například takové varhany mají ještě větší rozsah. Nejnižšímu tónu, tedy 16 Hz, odpovídá subkontra-C a značí se C<sub>2</sub> a nejvyššímu, přesně 4186 Hz, pětičárkované c se značením c<sup>5</sup>. Přehled jednotlivých oktáv a jejich názvy jsou v tab. č. 1. Na obr. č. 6 jsou jednotlivé velikosti frekvencí tónů a rozsahy vybraných hudebních nástrojů. [13]



Obr. č. 6 Frekvence tónů a rozsahy hudebních nástrojů, převzato z [12]



Obr. č. 7 Sluchový orgán, převzato z [11]

## 1.2 SLUCHOVÝ ORGÁN

Profesor Hybášek a docent Vokurka v knize *Otorinolaryngologie* píší: „*Sluchové ústrojí se skládá ze tří částí, a to z ucha zevního (boltec a zevní zvukovod), středního (dutina bubinková s bubínkem, sluchovými kůstkami, sluchovou čili Eustachovou trubicí a systémem dutin ve výčnělku kosti spánkové), a konečně z ucha vnitřního, v němž je uloženo vlastní sluchové vnímací ústrojí (spolu s ústrojím statickým). Zařízení zevního a středního ucha jednak zachycuje a přenáší zvuk, jednak chrání ucho vnitřní; vlastní přeměna energie zvukové v energii nervovou se děje až v uchu vnitřním.*“ [3]

Od ušního boltce se zevním zvukovodem šíří vibrace, které rozkmitávají bubínek. Jedná se o vazivovou blanku, která zesílí vibrace a předá je do středního ucha. Zde jsou tři sluchové kůstky – kladívko, kovadlinka a třmínek, které komunikují s hltanem pomocí Eustachovy trubice, jež slouží k vyrovnávání tlaku vzduchu. Všechny tři kůstky převádí zvuk do vnitřního ucha, které je tvořeno labiryntem. V labiryntu se nachází hlemýžď s Cortiho orgánem. Tlakové změny v kapalině uvnitř vnitřního ucha vyvolávají podráždění Cortiho orgánu, kde vznikají elektrické potenciály a přesouvají se sluchovým nervem do mozku, tedy vzniká sluchový vjem (Obr. č. 7).

dB	ZVUKY	POZNÁMKY
10-20	šeptání	
30-40	klidná ulice divadelní představení	
50-60	hlasitý hovor telefon hlasité rádio a televize	
70-80	budík tramvaj textilní stroj	vznikají nepříjemné pocity ↓
90-100	těžký motor vlak slévárna	
110-120	kotoučová pila motocykl závodní automobil	práh bolesti, nutné ochranné prostředky ↓
130-140	dělo letadlo	
150-170	stíhačka kulomet	
180	řízená střela huť	

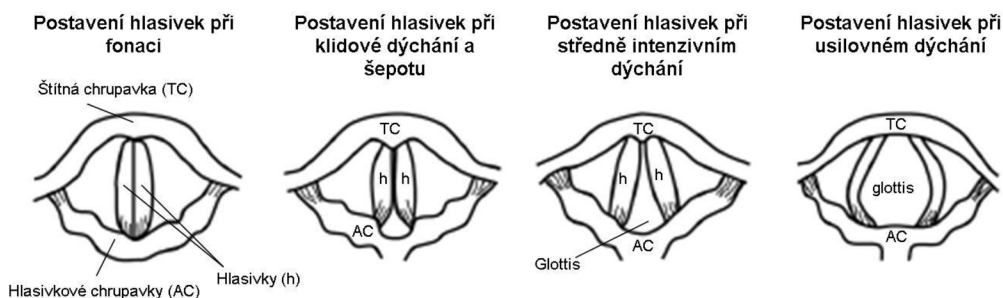
Tab. č. 2 Hodnoty decibelů, převzato z [11]

Obor audiometrie určuje stupeň hluchoty nebo nedoslýchavosti, tedy citlivost uší na zvukové vlny o různých frekvencích. V polovině případů se jedná o genetickou vadu a v druhém případě to ovlivňuje spousta faktorů (úrazy, stáří, neustálé se vystavování vysoké hlasitosti atd.). Hluchota může být vrozená, centrální (problémy mozku), percepční (změny ve středním uchu nebo ve sluchovém nervu) a převodní (onemocnění středního ucha či zvukovodu). Pokud dochází ke stárnutí sluchového ústrojí, hovoříme o presbyoakuzii a socioakuzii. Velké nebezpečí nastává při častém vystavování se hluku a intenzitě vyšší jak 110 dB, na což si musí dávat hlavně pozor spousta hudebníků, kteří často vystupují na koncertech. Hodnoty decibelů a příslušných zvuků lze vidět v tab. č. 2.

### 1.3 ZDROJE ZVUKU

Zdrojem zvuku může být různá mechanická soustava, která kmitá, v již dříve zmiňovaném slyšitelném rozmezí. Jedná se o hudební nástroje, hlasové ústrojí, dopravní prostředky, a takto bych mohla pokračovat dále a dále. V této diplomové práci jsou uvedené takové zdroje, které se využívají v praktické části a nejsou již zmiňované v mnou napsané bakalářské práci.





Obr. č. 8 Hlasivky a jejich postavení, převzato z [8]

### 1.3.1 HLASOVÉ ÚSTROJÍ

Proces, při němž se vytváří zvuk hlasivkami, se nazývá fonace. Nejprve dochází k tzv. hlasivkovému ataku, hlasivky se napínají a přibližují se k sobě. Následně do nich začne proudit vzduch z plic a hlasivky se přibližují a oddalují, tím se změní tlak nad a pod hlasivkami. Dojde k vibraci hlasivek a vzduchu nad nimi, čemuž se říká zvuk generovaný hlasivkami, který pokračuje dál do vokálního traktu. Jedná se o dutinu, kde dochází k úpravě a přeměně zvuku z hlasivek na výsledný hlas daného člověka (Obr. č. 8).

Každý člověk je jedinečný právě lidským hlasem, kterým se liší, díky různým tvarům hlasivek. Lidské hlasy se liší hlasitostí, výškou, znělostí/neznělostí a barvou. Hlasitost lidského hlasu je popsána hladinou intenzity zvuku stejně, jako tomu je u všech ostatních zvuků. Šeptá-li člověk do ucha jiného člověka, jedná se přibližně o hladinu intenzity zvuku 20 dB, mluví-li velmi hlasitě, poté je to cca 60 dB. Hlasitost je ovlivňována intenzitou proudu vzduchu z plic a rozkmitem hlasivek. Výška lidského hlasu je závislá na frekvenci kmitání hlasivek, což je zase ovlivněno délkou hlasivek. Ženy mají kratší hlasivky, tedy jejich hlas je vyšší, zatímco muži je mají delší, takže mají hlubší hlas. Pokud je hlas člověka neznělý, znamená to, že šeptá, hlasivky nejsou v kontaktu. Znělý hlas je popsán v předchozím odstavci. Hlas každého člověka je jiný, právě díky barvě hlasu, která už byla popsána v kapitole 1.1.1.

### 1.3.2 LADIČKA

Ladička (Obr. č. 9a) je nástroj, který se řadí do skupiny idiofonů (samozvukných), v nichž je tón tvořen chvěním hmoty, ze které jsou vyrobeny. Má tvar písmenka U, které když rozdělíme na dvě části, získáme tyče na jednom konci upevněné a na druhém volné, jež konají kmity. Jedná se tedy o zařízení vydávající tón o přesné frekvenci komorního a 440 Hz. Ale vyrábí se i ladičky s jinou frekvencí. Název získala podle toho, že se nejčastěji využívá k ladění hudebních nástrojů. Ladička má nejjednodušší tvar zvuku – sinusoidu, vždy má amplitudu určující hlasitost zvuku a frekvenci určující výšku tónu. Tento nástroj je tvořen vidlicí, dřevěnou dutou krabičkou a paličkou. Vidlice je upevněná v krabičce, která vytváří ozvučnou skříňku. Do vidlice udeříme paličkou, díky čemuž se rozezná tón.

### 1.3.3 XYLOFON (METALOFON)

Mezi skupinu idiofonů patří také xylofon (Obr. č. 9b), což je sada tyčí obdélníkovitého tvaru z ořechového, smrkového nebo javorového dřeva. Všechny tyče jsou navlečeny na bavlněné šňůry nebo struny a leží na slaměných provazcích nebo na dřevěných pražcích, které se podkládají pod tyče v místech jejich uzlových bodů. Metalofon (Obr. č. 9c) je ten samý nástroj jako xylofon, pouze jeho tyče jsou z kovového materiálu. Na oba nástroje se hraje pomocí paliček a platí pro ně pravidlo, čím kratší tyč, tím vyšší tón.

### 1.3.4 BUBÍNEK

Bubínek (Obr. č. 9d) je nástroj patřící do skupiny membránofonů (blanzvučných), u kterých tón vzniká chvěním membrány. Je válcovitého tvaru a jeho podstavu tvoří pevně napnutá blána. Druhou podstavu má podle toho, jakého je typu, některé na druhé straně nemají nic, některé tam mají opět napnutou blánu a některé mají na druhé straně napnuty 1 až 4 struny, které mu dávají drnčivý nádech. Hraje se na něj pomocí dlaní nebo dřevěnými paličkami. Šum je nedílnou součástí typické barvy bubínku. Zvláštním příkladem bubínku je tamburína (Obr. č. 9e), která je doplněna chrastícími kovovými kotoučky, nebo tom-tom, jehož blána je kožená.

### 1.3.5 PÍŠŤALKA

Areofony (dechové) je skupina hudebních nástrojů, do které patří píšťalka. Doktor Vochozka v knize *3D tisk ve výuce fyziky* píše: „Píšťalka je trubice s kruhovým, čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem, ve které se vzduch uvádí do podélného chvění buď foukáním proti ostré hraně, která se nazývá ret, nebo chvěním pružného jazýčku. Ret nebo jazýček mají funkci zdroje kmitů, vzduchový sloupec funkci rezonátoru a zesilovače zvuku. Na základě konstrukce se dělí píšťalky na retné a jazýčkové.“ [14] Píšťalka na obr. č. 9f se řadí mezi retné píšťalky a zvuk u ní vzniká na rtu, na hraně, která je obrácená proti štěrbině, jež z ní vychází vzduchový proud. Šířka rtů ovlivňuje výšku tónu, tedy při rozšiřování rtů klesá výška tónu. Také při zužování rtů se tón na píšťalce vytváří mnohem složitěji.



Obr. č. 9 a – ladička, b – xylofon, c – metalofon, d – bubínek, e – tamburína, f – píšťalka, převzato z [24, 20, 28, 26, 21, 23]

### 1.3.6 KYTARA

Kytara (Obr. č. 10) se řadí do skupiny chordofonů (strunných nástrojů), přesněji do strunných drnkacích nástrojů. Aby kytara vydávala zvuk, je potřeba se všeho nejdříve drknout prstem nebo trsátkem o strunu, která se prohne na jednu stranu a vrátí se zpět. Struna se chvěje s určitou frekvencí a vibrace se přenáší na kobytku a rozechvívají celé tělo kytary. Spolu s touto určitou frekvencí zní i jiné „nechtěné frekvence“, ty však rychle odeznívají a původní frekvence se stále zesiluje a vyladuje se. Následně se tón ustálí a celá kytara (struna, krk, kobytko a tělo) vibruje na základní frekvenci. O tomto průběhu pan Powel v knize *Emoční síla krásných zvuků* píše: „*Jelikož takhle vibruje celá kytara, není možné, aby celková vibrace dávala jednoduchý, čistý tón. Dostáváme tedy komplikovaný, opakující se typ vlny příznačný pro tvar dřevěné akustické kytary. Tím je dána barva kytary vibrující na této frekvenci. Změníme-li tvar kytary nebo materiál, z něhož je vyrobena, změníme i její tón.*“ [10] Tento odstavec z knihy hovoří i o barvě tónu, která byla zmíněna už v kapitole 1.1.1. Jak již bylo řečeno výše, tón je ustálený, jenomže poté struna ztratí energii a mění se její vibrace, na níž se podílí stále méně a méně částí kytary. Struna se přestane chvět a tón utichne.



Obr. č. 9 Kytara, převzato z [19]

## 2 FYZIKÁLNÍ EXPERIMENT

Ilustrovaná encyklopedie [17] říká, že experiment (vědecký pokus) je: „*metoda vědeckého poznávání, při níž se jevy zkoumají za kontrolovaných podmínek. Obvykle se uskutečňuje na základě teorie, která určuje kontext problému i interpretaci výsledků. Často slouží k ověření hypotézy nebo prognostických důsledků teorie, které mají zásadní význam.*“ Toto je definice experimentu obecně, kterou lze využít pro jakýkoliv obor. Podívejme se nyní na fyzikální experiment podrobněji.

Fyzika, jako vědní obor, by se neobešla bez **experimentu**. Díky němu získává nové fyzikální poznatky a ověřuje je. Člověk, který provádí daný experiment, se nazývá badatel. Badatel navodí předem stanovené podmínky pro daný děj tak, aby bylo možné ho za stejných podmínek opakovat znovu. Experiment se provádí vždy za co nejmenšího počtu rušivých elementů, aby byl co nejméně ovlivněný. Ve většině případů jsou potřeba měřicí přístroje k pozorování průběhu chodu experimentu.

Jakmile badatel získá výsledky experimentu, je schopný vyslovit **hypotézu**, jinak řečeno domněnku. Funkcí hypotézy je formulace daného zákona a utřídění poznatků. K ulehčení přípravy slouží pracovní hypotéza, jež je formulována před samotným začátkem experimentu. Tato pracovní hypotéza musí být správná, popisuje totiž, jak daný experiment bude probíhat. Pokud nebude shodná s již proběhlým experimentem, je třeba ji zamítnout a vytvořit jinou.

Při každém experimentu poznáme fyzikální děje, jevy, vlastnosti a stavy. Abychom je mohli popsat, musíme znát vhodné fyzikální veličiny a jejich jednotky. Vztahy mezi jednotlivými veličinami vyjadřuje **fyzikální zákon**. Lze ho formulovat slovně, graficky nebo matematicky. Nejdůležitější se formulace matematická, jelikož umožňuje teoreticky vyjádřit nový jev, ale jeho existenci je třeba ověřit experimentem.

Fyzikální zákon, který je možné uplatnit univerzálně, se nazývá **fyzikální princip**, jenž se neověřuje ani nedokazuje. Poslední pojem je **fyzikální teorie**, což je soustava fyzikálních zákonů, které spolu příčinně souvisí. Ta vlastně vytváří zobecněný obraz nějaké popisované fyzikální skutečnosti a díky ní můžeme předvídat nové jevy.

### 2.1 EXPERIMENT V HISTORII A DNES

Experiment, z pohledu vědeckého, se začal rozvíjet až v 16. století v renesanci. Nejspíš někteří vědci experimentovali už dříve, ale jednalo se spíše o pouhé spekulace. Jako první stanovil pravidla Ital Galileo Galilei a současně s ním i Angličan Francis Bacon. Oba dva jsou považováni za průkopníky experimentu, jako prostředek metody poznávání přírodních jevů.

Profesor Vybíral v knize *Kapitoly z experimentální fyziky* napsal: „*Náročnost experimentů se v průběhu staletí zvyšovala – jak po stránce personální, tak materiální. K poznávání v 18., 19. i v počátku 20. století stačili jednotliví experimentátoři, např. jako Otto von Guericke, Coulomb, Hertz nebo jen dvojice*

*(Michelson, Morley), pracovali sami, nanejvýš za pomoci nějakého mechanika. Michael Faraday k tomu nepotřeboval ani odborné vzdělání – stačila mu intuice a pracovitost. I lord Rutherford roku 1909 objevil jádro atomu jen za pomoci malého zařízení a dvou asistentů.“ [15] Pan profesor popisuje, že dříve bylo k objevu potřeba pár vědců, znalosti, pracovitost a malé množství strojů. Zatímco v dnešní době je tomu jinak. Používají se velmi drahá zařízení, pracují na tom týmy lidí z různých zemí, existují obrovské továrny atd. Navíc se ve většině případů teorie nepotvrdí ze dne na den, ale trvá to i několik let.*

V současnosti se nejdříve pracuje s matematickými modely, jež jsou popsány matematickými rovnicemi fyziky. Tyto rovnice se vyřeší a dospěje se k výsledku, který je potřeba ověřit verifikačním experimentem. Pokud ověřovací pokus, provedený více různými způsoby, bude v souladu s předpokladem, vše je v pořádku. Nastane-li, že je v rozporu s předpokladem, je potřeba ho upravit nebo vytvořit nový.

## 2.2 KLASIFIKACE EXPERIMENTU

Nejzákladnější rozdělení experimentu je: vědecký, školní a praktický. Vědecký experiment provádí vědci v laboratořích, či v jiném prostředí, kteří se snaží objevit něco nového v přírodovědných oborech. Chtějí něco dokázat nebo vyvrátit. Praktický pokus je součástí života každého člověka, experimentují v dílně, v kuchyni, na zahradě atd. A poslední je školní experiment, který provádí žáci základních a středních škol a studenti vysokých škol. Diplomová práce se v dalších částech bude zaměřovat pouze na školní experiment.

### 2.2.1 KLASIFIKACE PODLE LOGICKÉ POVAHY

Podle logické povahy dělíme experimenty na kvalitativní a kvantitativní. Rozdíl mezi nimi je prostý. **Kvalitativní** experiment prokazuje existenci nebo neexistenci daného fyzikálního jevu. Zatímco **kvantitativní** pokus slouží ke zjišťování zákonitostí a jejich vyjadřování ve formě fyzikálních zákonů.

V oblasti akustiky může být vhodným příkladem kvalitativního experimentu například ukázka energie zvuku. Žáci nebo vyučující si vyrobí z plechovky, gumové blány (balónek, gumové rukavice atd.), plastové lahve a provázku (gumičky) soustavu podle obrázku č. 10, následně se nasype na blánu cukr krupice. Mluvením do lahve se chvěje blána, jelikož zvuk ji předal energii a poté se pohybuje i cukr, protože tomu zase energii předala blána. Celý tento experiment funguje na stejném principu jako Chladního pokus.

Kvantitativní experiment je například ukázka závislosti frekvence tónu struny na její délce. Při pokusu použijeme strunný nástroj (kytara, ukulele, housle, viola), drkneme o jednu strunu a změříme její frekvenci, následně ji jednou rukou přitlačíme v půlce, druhou rukou drkneme a opět změříme frekvenci. To samé uděláme v  $\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}$  atd. délky a vhodným programem změříme frekvence. A v posledním kroku zakreslíme graf závislosti frekvence tónu na délce struny.



Obr. č. 10 Energie zvuku, práce autorky

### 2.2.2 KLASIFIKACE PODLE PROVEDENÍ

Experimenty můžeme rozdělit také podle toho, jak jsou provedeny. **Reálný** pokus, je takový pokus, kdy pozorujeme reálně probíhající fyzikální děje a fyzikální veličiny měříme reálnými přístroji v reálném čase. Tento typ pokusu je velmi důležitý a zásadní. Dalším typem je experiment **modelový** (myšlenkový), kde pouze v myšlenkách navodíme podmínky a možný postup daného experimentu, ale nic neměříme, pouze odvozujeme ze známých zákonů a podmínek. Tento pokus vyvozuje nové poznatky, ale daný experiment není realizovatelný.

Poslední je experiment **počítačový**, jedná se o naprogramované matematické simulace prostřednictvím počítače. Velmi povedené applety jsou například na stránkách doktora Vaščáka – mechanické kmitání a vlnění, to je zástupce české tvorby. Dále zahraniční, jako je PHET: interactive simulations, který obsahuje také spoustu simulací, ale bohužel na kmitání a vlnění jich je jenom pár. Poté tu jsou také webové aplikace, kde si vyučující může předem vytvořit nějaký pracovní list pro své žáky, který oni poté vypracovávají samostatně, ve dvojicích či ve skupinkách na počítači nebo svém chytrém mobilu. Patří sem například Mentimeter, Nearpod, Wordwall, Wizer.me a spoustu dalších.

Avšak je nutno poznamenat, že myšlenkové a počítačové pokusy vlastně pravými fyzikálními experimenty nejsou, nemůžeme jimi plně nahradit reálné pokusy. Pouze dochází k simulaci experimentu, podle dosavadních zákonů a poznatků.

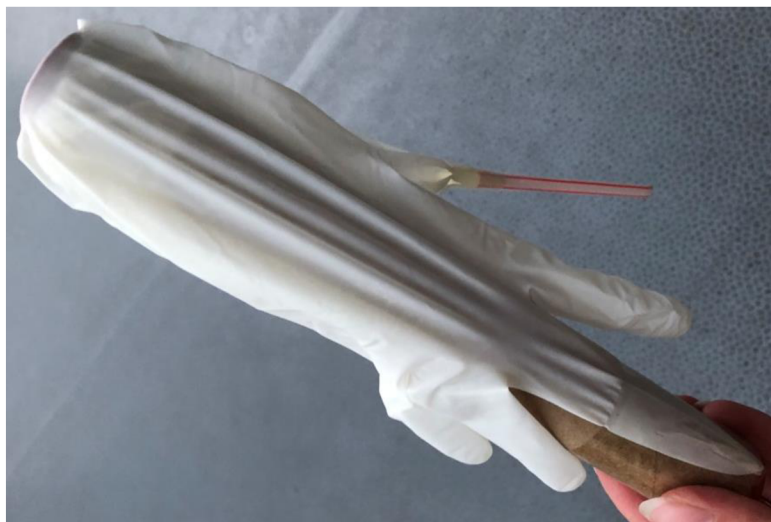
### 2.2.3 KLASIFIKACE PODLE DIDAKTICKÉ FUNKCE

Didaktická funkce rozděluje experiment do pěti skupin: heuristický, ověřovací, motivační, ilustrační a historický. Při **heuristickém** pokusu žáci odhalují, pro ně doposud neznáme fyzikální zákonitosti a jevy. Doktorka Holubová v knize *Didaktika fyziky* rozděluje u heuristického pokusu etapy takto:

- a) „Stanovení cíle pokusu.
- b) *Myšlenková a technická příprava pokusu.*
- c) *Vlastní provedení pokusu.*
- d) *Zhodnocení výsledků pokusu, čímž se rozumí kritické posouzení platnosti odvozených výsledků, dále posouzení chyb, jejich původ, vliv přístrojů na přesnost měření apod.“ [2]*

Heuristické experimenty mají své výhody, ale i nevýhody. Plusem je, že žáci jsou více nemotivovaní, než když pouze poslouchají výklad učitele, přijdou si na dané fyzikální zákonitosti samy, tedy si je určitě lépe zapamatují, jsou zapojení úplně všichni žáci ve třídě. Bohužel na druhé straně je časová náročnost, jak pro žáky, tak pro učitele. Žákům trvá určitě déle probírání jednoho daného tématu, než, když jim je učitel pouze vyloží. Učitel sice při hodině má méně práce, ale zase musí vše přichystat a promyslet předem, a nakonec i při hodině musí na žáky dohlížet a vést je tím správným směrem. Posledním záporem je tematická náročnost, ne úplně na všechno učivo fyziky lze použít heuristický pokus. Příkladem tohoto typu pokusu v akustice může být toto: Žákům do dvojic či skupin rozdáme ladičí vidlici s ozvučnou skříňkou a paličkou a necháme je si s ní chvíli „pohrát“. Až žáci přijdou na to, jak ji rozeznít, zeptáme se jich na otázku: „Co se s ladičkou děje, když do ní udeřím a slyším tón?“ Opět žáky chvíli necháme přemýšlet, buď na to přijdou, nebo se společně dostaneme k tomu, že ladičí vidlice se musí velmi rychle a málo pohybovat. V dalším kroku necháme žáky vymyslet, jak by se mohlo ukázat chvění ladičky. Nejdříve jim nedávejte žádné pomůcky, nechte fantazii volně plynout, třeba si Vám o něco řeknou a budete ještě překvapeni, jak dobré věci je napadly. Pokud se nikomu nebude dařit, zkuste jim rozdat do dvojic či skupin miskou, provázek a lehkou kuličku a opět je nechte pracovat. Někdo možná přijde na řešení, někdo možná ne, ale určitě musí dojít k závěrečné diskusi výsledků pokusu, kde všichni žáci uvidí, jak chvění ladičky zviditelnit.

Dalším typem je **ověřovací** pokus, který učitel využije v tom případě, když daný fyzikální vztah sdělil žákům jako hotovou informaci. Jedná se o experiment, který ověřuje již získané znalosti. Ověřovací experiment je například vhodné zavést v případě, kdy s žáky probereme výšku tónu, absolutní, jež určuje frekvenci daného vnímaného tónu, a relativní, což je poměr frekvence vnímaného tónu  $f_2$  a základního tónu  $f_1$ , tedy podíl  $\frac{f_2}{f_1}$ . Je-li podíl roven 1, mezi tóny je vztah prima,  $\frac{9}{8}$  sekunda,  $\frac{5}{4}$  tercie atd. Následně by se provedl ověřovací pokus s kytarou, flétnou, houslemi, nebo s jiným hudebním nástrojem. Zahraje se jeden tón o absolutní výšce a změří se jeho frekvence, poté tón o primu vyšší, změří se jeho frekvence a ověří se poměr jejich frekvencí, a takto by se pokračovalo dále.



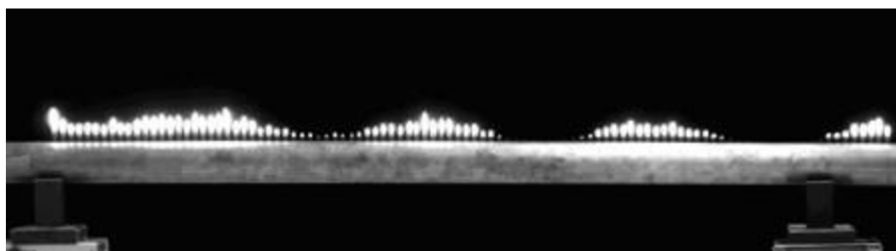
Obr. č. 11 Hudební nástroj, práce autorky

**Motivační** experiment se řadí do výuky před začátek výkladu nového poznatku pro upoutání pozornosti a k motivaci žáků. Je vhodné u tohoto pokusu používat netradiční pomůcky nebo nečekaný závěr, aby se žáci o učivo zajímali se zvědavostí. Pokud se u tohoto experimentu odvozuje nějaký fyzikální zákon, měl by se zopakovat i při výkladu daného jevu. Před kapitolou zvuk, si mohou například žáci vyrobit svůj vlastní hudební nástroj (Obr. č. 11) z gumové rukavice, papírové ruličky od kuchyňských utěrek, plastového brčka a lepicí pásky. Na jeden konec ruličky nasadí rukavici a přilepí ji páskou, poté přilepí prostředníček rukavice k druhému konci ruličky. Nakonec ustříhnou malý kousek palce, vloží do něj brčko a také přilepí izolepou a nástroj je hotový.

Dalším typem je pokus **ilustrační**. Pokud se jedná o kvalitativní ilustrační experiment, tak seznamuje žáky s tím, jak zkoumaný jev vypadá. V některých případech může být i hodně podobný heuristickému pokusu. Příkladem ilustračního kvalitativního experimentu je ukázka stojatého vlnění na struně. Jedná-li se o kvantitativní pokus, více připomíná experiment ověřovací.

Posledním typem experimentu je **historický** pokus, který měl v historii fyziky veliký význam pro rozvíjení myšlení. Historický pokus v akustice může být například Rubensova trubice (Obr. č. 12), o které píše doktor Konečný v *Souhrnném sborníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky* toto: „Rubensova trubice představuje vtipné a poměrně jednoduché řešení problému, jak demonstračně zobrazit nikoliv akustickou výchylku, ale akustický tlak stojatého vlnění. Jedná se vlastně o lineární plynový hořák tvořený tenkostěnnou, zpravidla kovovou trubkou o průměru kolem 4 cm s řadou malých otvorů (průměru 0,5 mm až 1,5 mm) vyvrtaných v plášti v pravidelných rozestupech asi 1 cm podél trubice. Na jedné straně trubice je laditelný zdroj vlnění, druhý konec je uzavřen. Do trubice přivádíme pod velmi malým tlakem plyn, který dává svítivý plamen, například propan butan. Naladíme-li zdroj na rezonanční frekvenci, původně stejně vysoké plamínky změní v pravidelných úsecích svoji výšku.“ [6] Tuto pomůcku asi nebude mít každý učitel fyziky ve škole, proto je možné se i na tento pokus podívat na internetu, kde jich je spousta, například od ČT edu [25], kde je i návod, jak si tuto trubici vyrobit.





Obr. č. 12 Rubensova trubice, převzato z [6]

#### 2.2.4 KLASIFIKACE PODLE ZAMĚŘENÍ

Poslední rozdělení experimentu je na demonstrační a žákovský. **Demonstrační** pokus žákům pouze něco demonstruje. Předvádí ho učitel a žáci poslouchají a pozorují, nebo ho také může předvádět jeden z žáků a opět ostatní pouze vnímají. Slouží k doplnění výkladu, k objasnění a upevnění nových fyzikálních poznatků. Tento pokus by měl být jednoduchý, názorný, přesvědčivý, pochopitelný, srozumitelný atd. Je potřeba používat veliké a názorné pomůcky. Pokud bude nějaká část, nebo celý pokus probíhat rychle, je nutné ho vícekrát zopakovat. Při tomto experimentu je důležité vysvětlení, komentář a náčrt na tabuli. Před provedením demonstračního pokusu, je dobré žáky namotivovat vhodnými otázkami, jelikož bohužel u tohoto typu často hrozí pasivita žáků. Žáci pouze sedí, nebo stojí a koukají na pokus, nejsou tedy všichni zapojení do procesu, je tak vhodné žáky zapojit, například si je vzít k tabuli jako pomocníky. Pokud používáme nějaké přístroje nebo složitější pomůcky, je třeba je popsat a vysvětlit, jak pracují. Vždy si musíme dávat také pozor na to, abychom vyučovací hodinu nepřeplnili velkým počtem různorodých experimentů. A to nejdůležitější je si vždy všechny pokusy vyzkoušet předem, zkontrolovat a připravit si všechny pomůcky.

Druhým typem je **žákovský** experiment, který provádí všichni žáci najednou, buď individuálně, ve dvojicích, nebo ve skupinkách, záleží hlavně na vybavenosti pomůckami dané školy pomůckami. Žáci mohou pracovat všichni na jednom a tom samém pokusu, nebo si ho rozdělí do částí. V tomto případě je ale potom nutná společná diskuse výsledků. Tím, že pracují všichni žáci, je u tohoto experimentu zvýšená jejich motivace, než u demonstračního pokusu. Zároveň si z tohoto pokusu odnesou více znalostí a zkušeností, než když pouze na nějaký experiment koukají. Bohužel ale tento typ má také hodně negativ. Pokus žákovský je více časově náročný, ve většině případů se pro ně vyhrazuje samostatná hodina a zařazují se na konec daného celku. Je také složitější v tom směru, že je potřeba více stejných pomůcek, a to bohužel v dnešní době není samozřejmostí našich škol. Nejvíce je žákovský pokus ale náročný pro vyučujícího. Musí daný pokus vymyslet, sepsat jednotlivé kroky pro žáky, zkorigovat jejich práci při hodině, udržet ve třídě „zdravý“ klid a dávat pozor, aby se nikomu nic nestalo. Zvláštním typem žákovského experimentu je laboratorní práce, o které je více pojednáno v následující kapitole.

## 3 LABORATORNÍ PRÁCE

Laboratorní práce, jak již bylo napsáno v předešlé kapitole, se řadí do žákovského experimentu jako jeho zvláštní případ. Žáci opět pracují samostatně, ve dvojicích, nebo ve skupinkách, všichni pracují na jednom pokusu, ale každý svým tempem. Na některých středních školách v ČR mají žáci navíc ke klasickým hodinám fyziky ještě hodiny laboratorních prací. Je na vedení školy jak práce rozdělí, ale nejčastěji má celý ročník jednu hodinu každý týden, nebo polovina ročníku dvě spojené hodiny jednou za čtrnáct dní. Toto rozdělení záleží na tom, kolik má škola k dispozici pomůcek, kolik žáků chodí do jednoho ročníku a na rozhodnutí vedení školy.

### 3.1 PRÁCE UČITELE PŘI LABORATORNÍCH PRACÍCH

Laboratorní práce je velmi časově náročná pro učitele. Nejdříve musí vymyslet nějaký experiment vhodný pro žáky v nějakém věku, aby se v něm využívali pouze ty znalosti z fyziky, které žáci už mají, aby k němu měl ve škole dostatek pomůcek, aby byl zvládnutelný v daném časovém rozmezí. Následně musí vyučující vytvořit protokol, kde bude krátce sepsaná teorie a postup v jednotlivých krocích. Pokud je potřeba, poskytnout protokol žákům dříve, aby si danou teorii a postup pročetli a měli při hodině už trochu přehled v tom, co budou dělat. Ještě před hodinou musí vyučující žákům připravit a zkontrolovat všechny pomůcky, které budou potřebovat. Toto všechno je práce vyučujícího před danou hodinou, kdy budou probíhat laboratorní práce.

Jakmile už hodina začala, učitel žáky rozdělí do skupin, vysvětlí jim a ukáže, co budou dělat, a poskytne každé skupině sadu potřebných pomůcek. V některých případech ještě žáci dostanou na začátku malý test, který prověří, zda si dané informace v protokolu předem nastudovali. Poté vyučující kontroluje žáky v průběhu práce, radí jim, pomáhá a dává pozor na bezpečnost práce. Pár minut před koncem hodiny s žáky zkontroluje stav používaných pomůcek a uklidí je.

Tímto ale práce učitele nekončí. Jelikož žáci musí vypracovat a odevzdat protokol, musí ho také vyučující zkontrolovat. Pokud je v pořádku, založí ho a zarchivuje, pokud s ním není spokojený, vrátí ho žákovi na opravení.

### 3.2 PRÁCE ŽÁKA PŘI LABORATORNÍCH PRACÍCH

Žák začíná svou práci ještě doma před hodinou. Pokud má možnost, nahlédne do příslušného protokolu a projde si teorii a postup, aby při hodině už věděl, co má dělat. Jestli to vyučující požaduje, tak si také daný protokol vytiskne a přinese na hodinu. Popřípadě si zajistí nějaké pomůcky, které si mají přinést oni sami.

Na začátku hodiny žáci poslouchají vyučujícího, přinesou si všechny potřebné pomůcky a pracují podle postupu. Sestavují si svoje pracoviště, měří, zapisují si hodnoty, doplňují do tabulek, počítají se vztahy. Když svou práci dokončí, uklidí po sobě pracoviště a pomůcky.

Doma musí žáci ještě dodělat protokol: doplnit tabulky, provést výpočty, zhodnotit výsledky a zapsat závěr. Protokol odevzdávají buď ve formě elektronické, nebo na papíru, podle toho, jak to vyučující preferuje. Pokud jejich protokoly obsahují chyby, učitel jim je vrátí a oni je následně opraví.

### 3.3 PROTOKOL

Protokol je záznam z experimentálního zkoumání nějakého fyzikálního jevu či zákonitosti. Každý protokol je tvořen ze sedmi částí:

- **Hlavička** – jméno a příjmení autora, název školy, školní rok, třída/ročník, datum měření, jméno a příjmení spolupracovníka a název a číslo dané laboratorní práce.
- **Pomůcky** – soupis všech potřebných pomůcek k vypracování práce.
- **Teorie** – jasný a stručný souhrn fyzikálních zákonitostí.
- **Úkol** – body, které jasně a přesně vyjádří, co se má měřit.
- **Postup** – soupis jednotlivých a postupných kroků.
- **Měření** – naměřené hodnoty, tabulky, grafy, výpočty, výsledky.
- **Závěr** – shrnutí, jak měření dopadlo, popřípadě, jaké vznikly chyby.

Pomůcky, teorii, úkoly a postup ve většině případů sepisuje vyučující, všechno ostatní je už na žácích.

Protokol může mít dvě podoby, tedy písemnou a elektronickou. Pokud žáci mají odevzdávat protokol v tištěné formě, je třeba dbát na vzhled. Psát čitelně, obsahuje-li protokol graf, je třeba ho narýsovat na milimetrový papír, pokud má mít obrázek, vždy bude nakreslený obyčejnou tužkou. V podobě elektronické je lepší si vybrat vhodný program, ve kterém se bude protokol vytvářet.

Každý protokol musí být přehledný, jasný, stručný a strukturovaný. Nebude obsahovat škrtnance a jednotlivé části se mezi sebou nesmí míchat. Samozřejmě se v něm nesmí vyskytovat gramatické chyby.

Závěr shrnuje výsledky měření. Měl by být jasný a stručný. Závěr je jediná část, kde může být žák trochu tvůrčí. Věta, která rozhodně nepatří do závěru: „Tato práce se mi moc líbila. Už se těším na další hodinu.“

### 3.4 FYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ

Doktor Jezbera v práci *Úvod do fyzikálních měření* píše: „Fyzikální měření je obecně činnost směřující ke zjištění hodnoty fyzikální veličiny. Člověk se s fyzikálními měřeními setkává v běžném životě, měří svoji výšku, dobu, po kterou trvá nějaká činnost, rychlost jakou jede autem, jeden z prvních úkonů, který se provede s čerstvě narozeným nemluvnětem je jeho zvážení. V takových případech se jedná o jednoduchá, levná a rychlá měření. Naopak ve špičkové fyzice se vyskytují experimenty velmi propracované a nákladné. Avšak kvalitní a přesná měření jsou nezbytně nutná ve všech oblastech techniky a průmyslu dnešní moderní civilizace.“  
[4]

### 3.4.1 METODY MĚŘENÍ

Metody fyzikálního měření se rozdělují podle různých kritérií. Záleží na tom, jaké fyzikální metody jsou používány, na přístrojích a vybavení, které se při měření používá.

Metoda **přímá** je taková metoda, při které se naměří hodnota požadované veličiny přímo daným měřidlem. Například chceme zjistit délku struny kytary, změříme ji pomocí metru. Naopak existuje i **nepřímá** metoda. Chceme zjistit danou veličinu a známe vztah, který pro ni platí, jenž se skládá z jiných veličin. Metodou přímou si naměříme ty potřebné veličiny a následně dosazením a výpočtem zjistíme hodnotu požadované veličiny. Když zůstaneme u kytary a budeme chtít určit hustotu materiálu, ze které je struna. Nejdříve určíme její hmotnost, poté změříme délku a poloměr, vypočítáme její objem a následně dosadíme do vztahu pro hustotu, kterou výpočtem získáme.

Další je metoda **absolutní**, která nám dává výsledek přímo v daných jednotkách. Například při měření hladiny intenzity zvuku pomocí hlukoměru. Protikladem je metoda **relativní** (srovnávací), kdy porovnáváme naměřenou hodnotu veličiny se známou hodnotou té samé veličiny, se standardou.

Také existují metody **statické** a **dynamické**, které se liší v časové změně měřené veličiny. Statická metoda je stálá a určujeme ji z klidové polohy měřicího přístroje. U dynamické metody určujeme hodnotu veličiny z periodického pohybu měřicího systému.

Měříme-li přístrojem, který se dotýká měřeného tělesa, jedná se o metodu **kontaktní**. Například chceme změřit průměr struny pomocí mikrometru. Pokud se přístroj nedotýká měřeného tělesa, metoda měření se nazývá **bezkontaktní**. Tu využíváme například při měření frekvence tónu hudebního nástroje.

U **substituční**, též nahrazovací, metody porovnáváme neznámou veličinu s řadou hodnot stejné veličiny a hledáme takovou, u níž měřicí přístroj ukáže stejnou výchylku.

Poslední metodou měření je metoda **kompensační**, kterou popisuje magistr Kohout v knize *Laboratorní cvičení z fyziky* takto: „Metoda kompenzační je založena na tom, že kompenzujeme efekt měřeného objektu stejně velkým efektem opačného znaménka pomocí normálu veličiny stejného druhu. Na rozdíl od substituční metody působení měřené a kompenzující veličiny probíhají současně.“ [5]

## 4 SOFTWARE

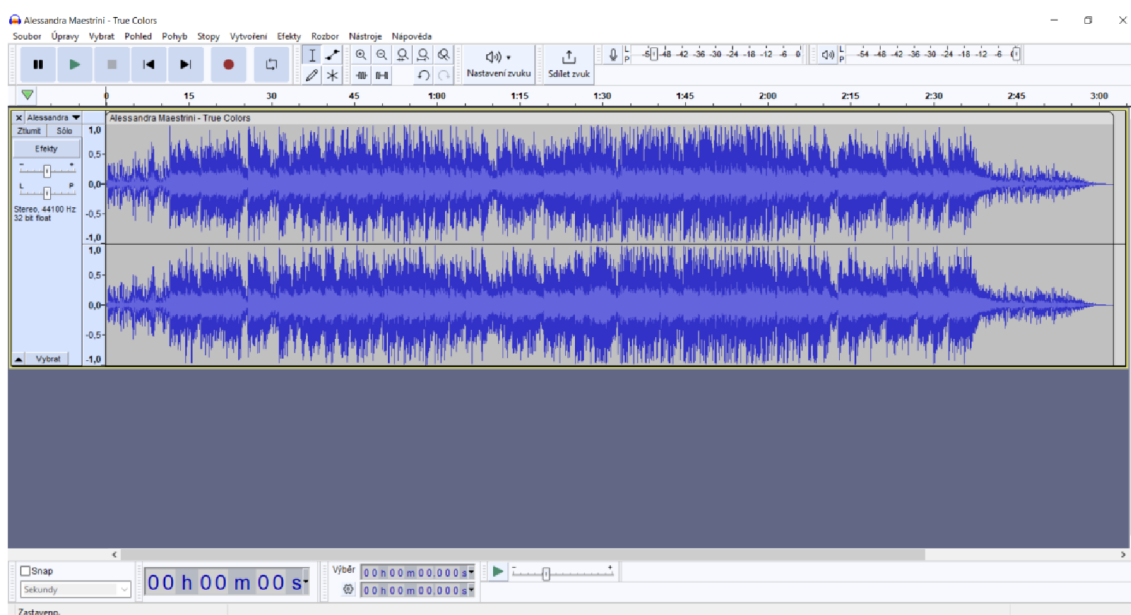
Tato diplomová práce je zaměřená na experimenty ve výuce akustiky, ke kterým je ve většině případů potřeba software – editor digitálního zvuku. Následující podkapitoly budou pojednávat o programech Audacity, Spectrum Laboratory, Soundcard Scope a Vernier Graphical Analysis. Všechny tyto softwary jsou v českém školství už známé, neměl by být problém je získat a pracovat s nimi. Navíc jsou využitelné ve více odvětví.

### 4.1 AUDACITY

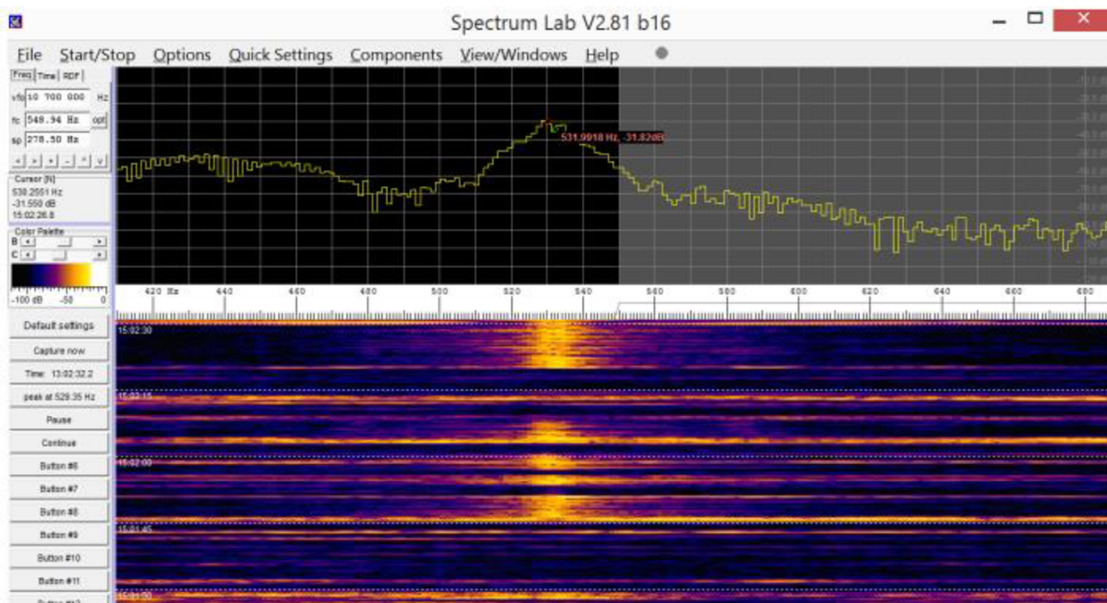
„Audacity je volně stažitelný zvukový editor a rekordér pro Windows, macOS, GNU/Linux a další operační systémy. Rozhraní programu je přeloženo do mnoha jazyků.“ [18] Takto popisuje software internetová stránka přímo od Audacity. Editor je možný používat k:

- přímému nahrávání zvuku;
- převedení nahrávek z pásek a desek na CD nebo do digitálního záznamu;
- editování zvukových souborů ve formátu WAV, AIFF, FLAC, MP2, MP3, Ogg Vorbis;
- frekvenční analýze;
- stříhání, kopírování a mixování zvukových nahrávek;
- odstraňování šumů;
- změně rychlosti a ladění.

Audacity (Obr. č. 13) založili v roce 1999 Dominic Mazzoni a Roger Dannenberg na Carnegie Mellon University, kde oba získali titul magistra v oboru informatiky.



Obr. č. 13 Okno Audacity



Obr. č. 14 Okno Spectrum Lab, převzato z [1]

## 4.2 SPECTRUM LABORATORY

Pan Přemysl Lukavský v článku pro iDnes.cz o tomto softwaru píše: „*Freewareový program Spectrum Laboratory patří mezi mnoho programů, které pro svůj provoz využívají zvukovou kartu počítače. Nejde ale jen o obyčejný osciloskop nebo frekvenční analyzátor, i když je také obsahuje. Spectrum Lab je komplexní program, opravdová spektrální laboratoř, umožňující důkladnou analýzu a zpracování zvukových signálů jak přivedených na zvukovou kartu, tak i uložených ve zvukových souborech \*.wav.*“ [7]

Spectrum Laboratory (Obr. č. 14) obsahuje osciloskop, frekvenční analyzátor, modulátory a demodulátory, generátory, filtry, směšovače, záznamník atd. Vytvořili ho radioamatéři, kteří mu přidali speciální funkce pro řízení transceiverů, příjem a vysílání znaků v digitálních komunikačních prozovech nebo po přivedení příslušných signálů. Lze ho využít i k výukovým účelům, například k zobrazování různých druhů modulace a k změně jejich spekter při změnách parametrů.

## 4.3 SOUND CARD SCOPE

Autorem Soundcard Scope (Obr. č. 15) je německý profesor Christian Zeitnitz pracující na Bergische Universität Wuppertal. Jedná se o software, který je poskytován zdarma pro soukromé a nekomerční použití ve vzdělávacích institucích, v jiném případě je nutné si zakoupit licenci. Soundcard Scope obsahuje:

- osciloskop;
- x – y graf;
- frekvenční analýzu;
- generátor signálu.

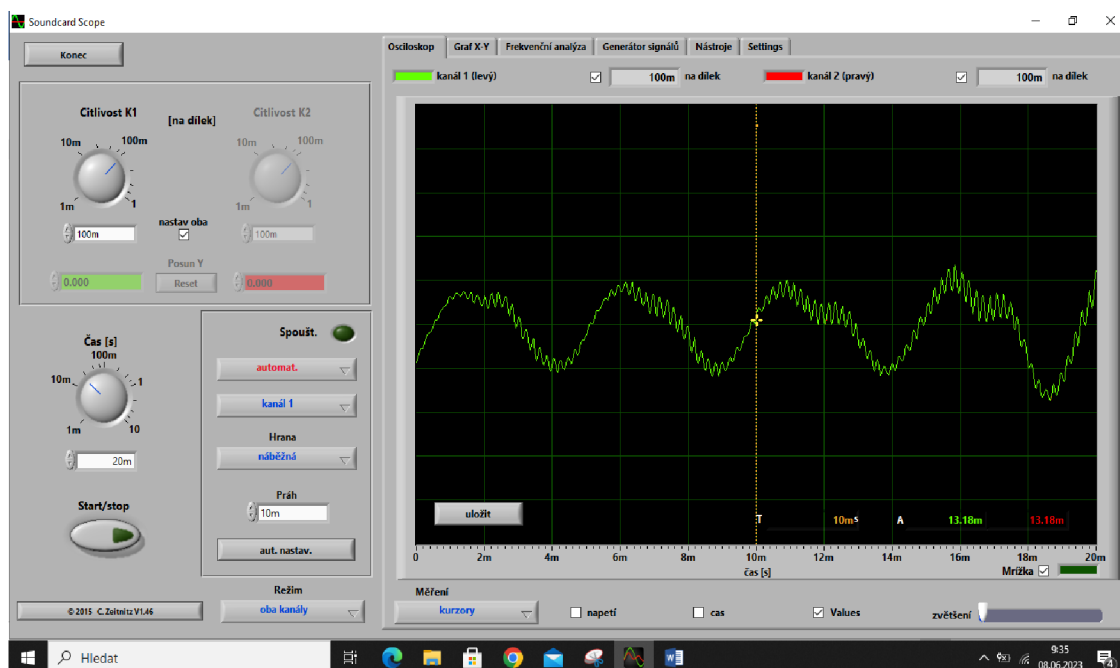
Na svých internetových stránkách pan Christian Zeitnitz píše: „*Tento program je vhodný pro počítače Windows 2000/XP/Vista/7/8/10. Na starších verzích Windows ho nelze nainstalovat. Zdrojem zvuku tohoto programu mohou být jak interní (MP3 přehrávač, generátor funkcí atd.) tak externí zdroje (line-in, mikrofon).*“ [27]

#### 4.4 VERNIER GRAPHICAL ANALYSIS

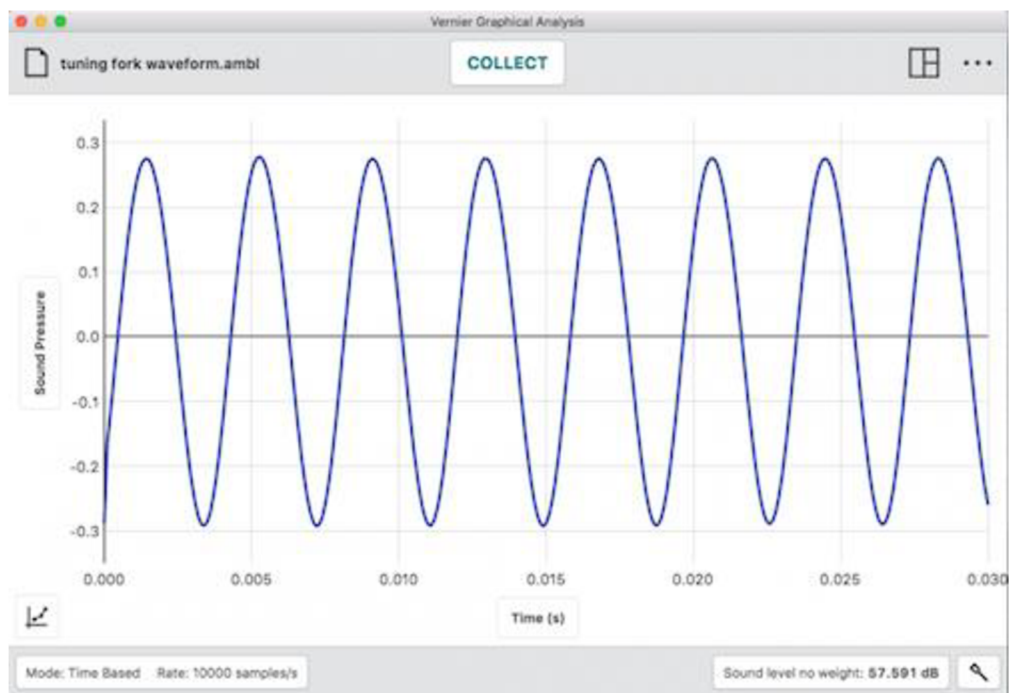
Začátky firmy Vernier popisují jejich internetové stránky takto: „*Spoluzakladatel Vernier, Dave Vernier, byl osm let středoškolským učitelem fyziky a fyzikálních věd, když začal programovat svou první softwarovou aplikaci Precision Timer. Daveovy rané roky vyučování na zaostalé škole v Clevelandu ve státě Ohio ho naučily, že studenti získávají hlubší porozumění vědě prostřednictvím kombinace každodenních demonstrací a vysoce interaktivních experimentů. Právě tento objev přiměl Davea trávit léta tím, že se snažil přijít s novými výukovými nástroji, které by se daly použít ve třídě. Daveova kreativita a jeho vášeň pro vědecké vzdělávání v kombinaci s obchodním talentem jeho manželky a spoluzakladatelky Verniera Christine byly hnací silou prvních let Vernier Software & Technology.*“ [22]

Vernier vyrábí čidla a senzory, vyvíjí software Vernier Graphical Analysis a školí lektory a učitele. Všechny pomůcky jsou určeny pro výuku fyziky, chemie a biologie na základních, středních i vysokých školách.

Vernier Graphical Analysis (Obr. č. 16) je software, díky kterému lze měřit, za pomoci senzorů Vernier, spoustu fyzikálních, chemických a biologických veličin. Naměřená data potom zpracovává a vizualizuje. Je možné ho zdarma stáhnout pro Windows, Android, iOS, Mac i Chromebook.



Obr. č. 15 Okno Soundcard Scope



Obr. č. 16 Okno Vernier Graphical Analysis, převzato z [29]



## 5 LABORATORNÍ ÚLOHY

Praktická část této diplomové práce je tvořena čtyřmi laboratorními úlohami, které jsou zaměřené na akustiku ve výuce fyziky. Pracuje se v nich hlavně s hudebními nástroji. Ve všech vznikají mezipředmětové vztahy (viz. kapitola 6.2), fyzika – matematika, fyzika – hudební výchova a v jedné i fyzika – výpočetní technika. Všechny úlohy byly ověřeny druhým ročníkem čtyřletého a šestým ročníkem osmiletého studia Gymnázia Františka Martina Pelcla (GFMP) v Rychnově nad Kněžnou.

Na GFMP v Rychnově nad Kněžnou je fyzika vyučována v prvních třech ročnících čtyřletého studia a na vyšším gymnáziu osmiletého studia v pátém až sedmém ročníku. Dále v práci bude první ročník označovat první ročník čtyřletého studia a pátý osmiletého, druhý ročník bude značit druhý ročník čtyřletého a šestý osmiletého studia atd. V prvním ročníku je fyzika vyučována tři hodiny týdně bez hodin laboratorního cvičení. Následuje druhý ročník, kdy mají žáci dvě klasické hodiny týdně a dvouhodinovku cvičení z fyziky jednou za čtrnáct dní. A ve třetím ročníku mají žáci už jenom dvě hodiny fyziky týdně.

Všechny laboratorní úlohy, kromě páté, vypracovaly oba druhé ročníky. Pracovali na nich tři týdny a všechny úlohy proměřili. První týden jsem laboratorní úlohy vyučovala já, následující dva týdny pan Mgr. František Štěpánek a paní Mgr. Andrea Lacková. Oba vyučující dostali ještě před hodinou příručku a vzorové řešení, navíc jsem jim to vše ještě vysvětlila osobně. Žáci pracovali ve většině případů ve dvojicích, popřípadě někde vznikla trojice.

Žáci nedostali předem k nahlédnutí protokol, nebylo potřeba si ho tisknout, jelikož ho o hodinu mohli mít před sebou na počítačích, které potřebovali k práci. Pouze jsem je dopředu poprosila, aby si přinesli z domu hudební nástroje, které mají. Bohužel ale na každou hodinu přinesli cca čtyři lidi jeden nástroj. Naštěstí jsem zajistila nástroje z učebny hudební výchovy. Na každé hodině měli žáci k dispozici kytaru, zobcovou flétnu, bubínek a xylofon. Jelikož ve třídě byl vždy od každé skupiny jeden nástroj, pracovala každá skupina na jiné úloze.

Bohužel na GFMP je kapitola mechanické kmitání a vlnění obsahem učiva až třetího ročníku, ale v tomto ročníku cvičení z fyziky však není. Což byl i důvod výběru druhých ročníků. O tomto problému jsem ale věděla dopředu a podle toho jsem už vytvářela teorii v protokolech, proto je trochu obsáhlejší než bývá zvykem.

Před tím, než začnete úlohy vypracovávat s žáky, je potřeba se trochu zorientovat v softwarech, které s žáky budete používat. Volně ke stažení jsou programy Audacity, SpectrumLab nebo Soundcard Scope, ve kterém jsem pracovala s žáky já. Používáte-li ve škole pomůcky Vernier, je možné využít i ty. Nejšikovnější bude, pokud budete mít možnost vlastního počítače pro každou skupinku žáků. Proto je vhodné laboratorní úlohy vypracovávat v učebnách informační techniky. Máte-li více notebooků pro výuku fyziky, nemusíte vůbec nic řešit. Pokud vám nevyhovuje ani jedna z možností, můžete použít chytré telefony, do kterých lze stáhnout alternativní aplikace.

U každé úlohy najdete stručný popis, metodiku pro učitele, výsledky mnou naměřené, vybrané závěry od žáků, které psali do protokolů a také samostatný protokol, vhodný k využití při hodině. Každý protokol obsahuje soupis pomůcek, teorii, úkoly, postup měření a žáci musí samostatně doplnit samotné měření a závěr.

## **5.1 LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 1**

První laboratorní úloha je zaměřena na barvu zvuku hudebních nástrojů. Časově je nenáročná, ani doma jí žáci nemusí věnovat tolik času. Když budou šikovní, pracovití a rychlí, stihnou sepsat celý protokol i o hodině. Není k ní potřeba žádných speciálních pomůcek, vše lze sehnat ve škole a domácnosti.

### **5.1.1 METODIKA PRO UČITELE**

Tato laboratorní úloha, v pořadí první, je nejjednodušší ze všech pěti, je tedy vhodné s ní začínat. Zaměřuje se na barvu zvuku, která je podrobněji popsána v kapitole 1.1.1. Úkolem žáků je rozlišit barvu zvuku různých hudebních nástrojů podle záznamu časového diagramu jejich zvuku.

Minimálně týden předem, žáky poproste, aby si donesli hudební nástroje, které doma mají. Raději pro jistotu, obstarajte ale i vy nástroje, jež má škola k dispozici. Poté už při hodině, než žáci začnou měřit, jim vysvětlete, co je to barva tónu, nebo lehce připomeňte, pokud jste to už o klasických hodinách probírali. Následně si žáci vezmou všechny potřebné pomůcky a ze všeho nejdříve jim ukažte, kde ve vámi používaném softwaru, naleznou časový diagram.

V prvním kroku si vyberou libovolný hudební nástroj, zahrají na něj nějaký tón za hluku spolužáků a získají diagram, který si uloží. Následně udělají to samé, ale poprosí spolužáky, aby se ztišili. Opět si diagram uloží. Raději jim oba diagramy zkontrolujte, abyste si byli jistí, že vše dělají správně. Doma, nebo ještě při hodině, porovnejte tyto dva digramy, napíší, čím se liší. Chceme, hlavně aby viděli rozdíl mezi hudebním zvukem a nehudebním zvukem (hlukem).

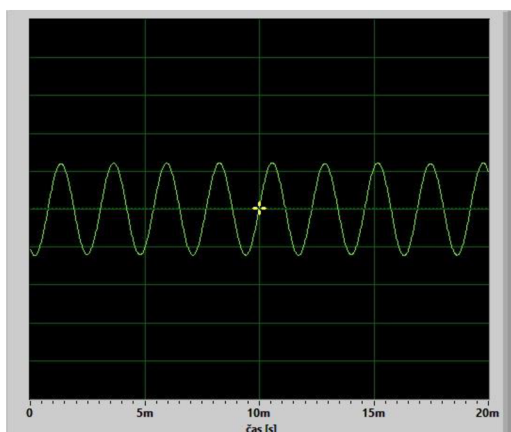
V dalších krocích, žáci budou dělat to samé pro ladičku, zpěv a všechny ostatní nástroje, které mají k dispozici. Upozorněte je, aby si vždy nezapomněli diagram uložit a až budou mít vše hotové, tak si obrázky poslat na email, prostřednictvím aplikace Teams, kamkoliv, hlavně aby s nimi mohli pracovat i doma. Po porovnání tónu a hluku, budou žáci porovnávat nástroj a ladičku, tedy jednoduchý a složený tón, následně nástroj a zpěv a naposledy všechny hudební nástroje, alespoň z každé skupiny jeden, minimálně čtyři. Pokud budou chtít více nástrojů, bude to jenom dobře.

### **5.1.2 SAMOTNÉ MĚŘENÍ**

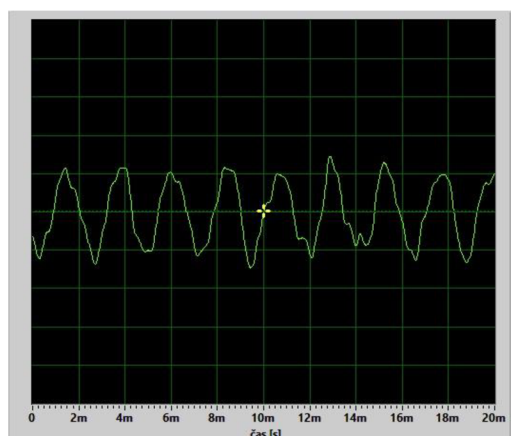
Pro představu příkládám časové digramy jednotlivých hudebních nástrojů, které jsem naměřila já, abyste měli představu, jak přibližně mají vypadat (Obr. č. 17 – 23). Pracovala jsem s ladičkou, metalofonem, bubínkem, zobcovou flétnou a kytarou. Pokud ale seženete ještě víc nástrojů, bude to pro žáky o to víc zajímavé.

Těž vkládám jeden nejvhodnější závěr od žáka: „Ve všech případech, kdy byl porovnáván časový diagram určitého nástroje za ticha a za hluku, bylo zjištěno, že byl více pravidelný za ticha, jelikož nedocházelo k nabalování šumů na základní tón. Ladička měla pravidelnější diagram než všechny ostatní hudební nástroje. Naopak časový digram zpívaného tónu byl v porovnání se všemi ostatními nástroji méně pravidelný. Při porovnávání diagramů jednotlivých nástrojů bylo zjištěno, že nejpravidelnější byl u xylofonu a flétny, naopak tomu bylo u kytary.“

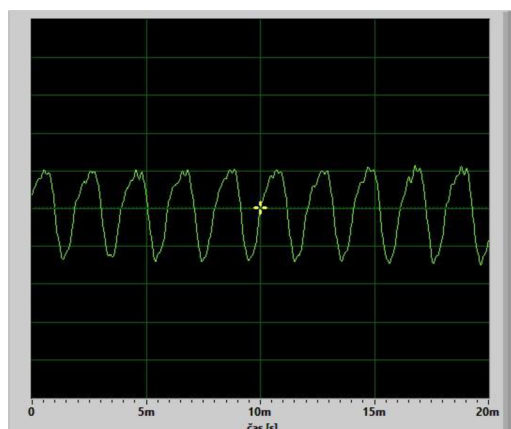
K nahlédnutí vkládám, mnou vytvořený, protokol (Příloha 1). Jak jsem psala již dříve, teorie je obsáhlejší než bývá zvykem. Je tomu tak proto, že žáci, kteří vypracovávali tyto úlohy, ještě neprobírali o klasických hodinách fyziky kapitulu mechanické kmitání a vlnění. V některých případech bude asi i vhodné ji upravit a zkrátit.



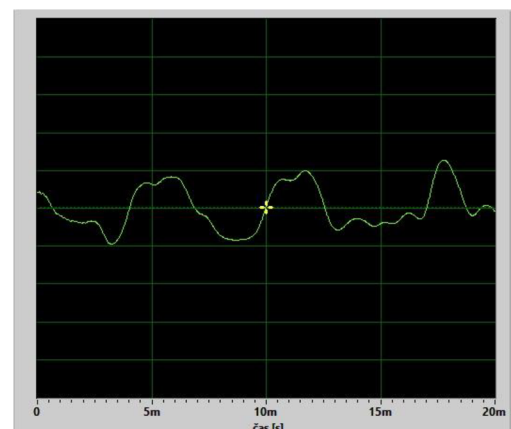
Obr. č. 17 Ladička za ticha,  
práce autorky



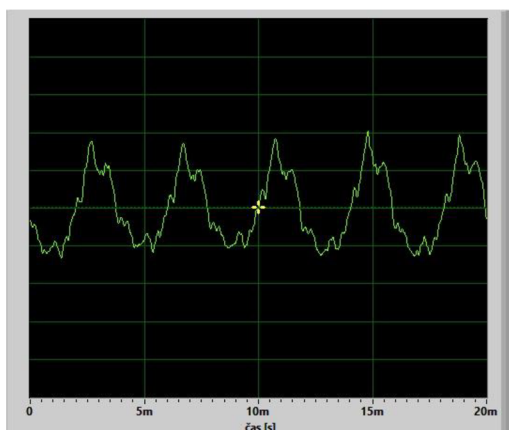
Obr. č. 18 Ladička za hluku,  
práce autorky



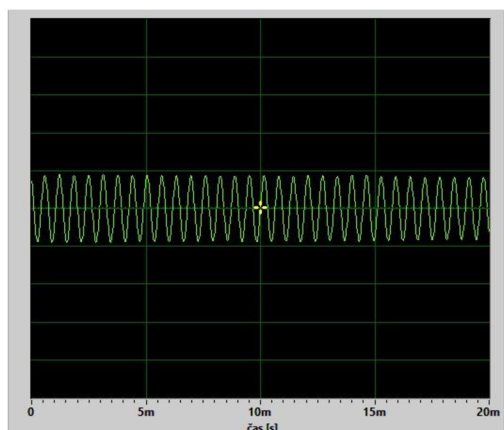
Obr. č. 19 Zpěv za ticha,  
práce autorky



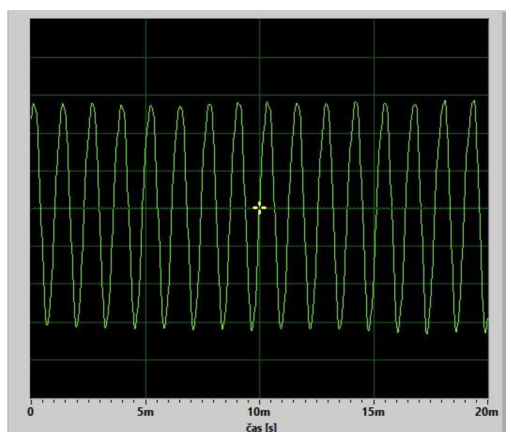
Obr. č. 20 Bubínky za ticha,  
práce autorky



Obr. č. 21 Kytara za ticha,  
práce autorky



Obr. č. 22 Metalofon za ticha,  
práce autorky



Obr. č. 23 Zobcová flétna za ticha,  
práce autorky

## 5.2 LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 2

Laboratorní úloha číslo dva zkoumá, na čem závisí tón píšťalky. Celá úloha je propojena s předmětem výpočetní technika, jelikož píšťalky, které potřebujete, si žáci vytisknou na 3D tiskárně při hodině tohoto předmětu. Úloha je velmi časově náročná na tisk píšťalek, ale měření je poté už rychlé a jednoduché.

### 5.2.1 METODIKA PRO UČITELE

Celá tato úloha není tolik složitá z pohledu fyziky, za to pro vyučujícího výpočetní techniky to bude trochu složitější. Je potřeba si promyslet hodně dopředu, kdy chci tuto úlohu s žáky měřit. Domluvte se s kolegou, jež je učí výpočetní techniku, aby si při hodinách vytiskli sadu 3D píšťalek. Každá skupina potřebuje minimálně šest píšťalek různé velikosti a s různými rty. Je na vás, zda si každý žák vytiskne všech šest píšťalek, nebo už i při návrhu a tisku budou žáci pracovat společně.

Pokud ve škole nemáte 3D tiskárnu, musíte si píšťalky dát někde vytisknout tak, abyste měli alespoň jednu sadu šesti píšťalek. Píšťalky je možné navrhnout a tisknout podle knihy *3D tisk ve výuce fyziky* od doktora Vochozky [14]. Kniha je velmi dobře zpracovaná a vše je zde jasně a srozumitelně vysvětleno. Ale kniha není podmínkou pro měření této úlohy. Píšťalky si můžeme vytisknout sami, anebo si je můžete nechat vytvořit.

V mém případě si žáci netiskli svoje píšťalky, ale měla jsem jednu sadu od kamaráda. Na obrázku číslo 24 jsou tři píšťalky různé velikosti a na obrázku 25. Jsou opět tři píšťalky stejné velikosti, ale liší se ve velikosti a sklonu rtů a v šířce píšťalky. Pro žáky bude jednodušší, když si vyrobí píšťalky pouze s rozdílným sklonem rtů, jelikož to pro ně bude jednodušší při měření.

K této úloze není potřebné žákům poskytovat protokol dopředu. Opět na začátku hodiny je třeba žákům vysvětlit, jak se tvoří zvuk v takovéto píšťalce, což je popsáno i v teorii protokolu. Následně si žáci připraví své pracoviště, opět potřebují software, ve kterém jim ukážete, jak se pracuje s frekvenční analýzou, kde budou měřit dané frekvence.

Nejprve si žáci prohlédnou píšťalky rozdílné svou velikostí a na základě toho, co slyšeli nebo si přečetli, budou typovat, která z nich bude znít nejhlouběji, a která bude vydávat nejvyšší tón. Poté na jednotlivé píšťalky zapískají a změří frekvenci jejich tónů. Hodnoty si zapíší a v závěru porovnájí se svými odhady.

V posledním kroku žáci budou pracovat se třemi píšťalkami s různými rty. Nejdříve na ně zapískají a odzkouší své sluchové dovednosti, jelikož si opět odhadnou výšku jejich tónů. A nakonec jednotlivé tóny píšťalek změří pomocí frekvenčního spektra a v závěru opět porovnájí své tipy s realitou.



Obr. č. 24 Sada tří píšťalek o různé velikosti, práce autorky



Obr. č. 25 Sada tří píšťalek o různých rtech, práce autorky

### 5.2.2 SAMOTNÉ MĚŘENÍ

I tuto úlohu jsem sama proměřila, abych věděla přibližné hodnoty frekvencí jednotlivých píšťalek. Začneme píšťalkou největší, jejíž frekvence je 1700 Hz, střední vydává tón o frekvenci 2580 Hz a nejmenší 5400 Hz. A druhá sada, kde bílá píšťalka má frekvenci 2500 Hz, oranžová 2770 Hz a černá píšťalka 2350 Hz. Toto jsou samozřejmě hodnoty pro mé píšťalky, vaše píšťalky budou mít frekvence odlišné.

Důležité je, aby si žáci uvědomili, že se zmenšováním těla píšťalky se zvyšuje její frekvence. A že ten malý otvor – rty má veliký vliv na výsledný tón.

Opět přikládám jeden z nevhodnějších závěrů, který napsal jeden z žáků: *„V prvním úkolu se potvrdil náš odhad, že se zvyšující se velikostí píšťalky bude klesat její frekvence. V druhém úkolu černá píšťalka s největším rtem měla frekvenci nejnižší, ale bílá píšťalka, která měla nejmenší ret, měla frekvenci menší než oranžová píšťalka se středně velkým rtem.“*

Stejně jako v předešlé úloze, i zde přikládám protokol (Příloha 2). Opět je teorie obsáhlá stále ze stejných důvodů.

## 5.3 LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 3

Třetí laboratorní úloha, při které se pracuje pouze s kytarou, je časově náročná, jak na měření, tak na počítání. Je zaměřena na tvorbu tónu na struně. Z hudebních nástrojů je potřeba pouze kytara, nebo ji lze upravit například pro ukulele. Při měření této úlohy jsou třeba určitě dva žáci, nelze ji dělat samostatně. I když je úloha náročnější, dle mého názoru je nejzajímavější.

### 5.3.1 METODIKA PRO UČITELE

Jak jsem už psala dříve, na vypracování této úlohy dejte žákům dost času, jelikož potřebují vyjadřovat ze vzorce a počítat ještě při hodině. Je důležité, jak se rozhodnete, že budete měření provádět. Pokud chcete, aby všichni žáci při hodině pracovali pouze na této úloze, musíte si sehnat větší množství kytar, jednu do skupiny, což bude trochu složitější. Záleží také na tom, kolik jich máte k dispozici ve škole a kolik jich mohou přinést žáci.

Není potřeba žákům protokol posílat s předstihem, pouze se domluvit na počtu možných kytar. Před samotným měřením žákům vysvětlíte, jak se tvoří tón na struně, jaký platí vztah pro frekvenci tónu a na jaké tóny jsou naladěny jednotlivé struny kytary. Všechno je to sepsané v protokolu, jenž obsahuje i tabulku tónů a jejich příslušných frekvencí. Důležité je hlavně žákům vysvětlit, proč neměří se všemi šesti strunami. Důvod je prostý, struny E, A, d a g nejsou vyrobeny pouze z jednoho materiálu, tedy neznáme jejich hustotu. Je to znatelné i na pouhý dotek.

Následně si žáci připraví své pracoviště. Opět budou pracovat se softwarem, je třeba jim ukázat, kde naleznou frekvenční analýzu. Pro přesnější měření si nejdříve žáci zkontrolují, zda je jejich kytara správně naladěna, respektive ty dvě struny, které budou používat. Naladí je za pomoci tabulky frekvencí tónů v protokolu a frekvenční analýzy.

Vše mají připraveno a mohou začít měřit. Za pomoci metru změří délku strun od kobyly po nultý pražec (Obr. č. 9), tedy všechny struny jsou stejně dlouhé. Poté mikrometrem žáci změří průměr strun. Tady bych doporučila žákům pomoci, aby nedošlo k poškození kytary. Vše si zapíší do tabulky, ze vztahu z protokolu si vyjádří sílu  $F$ , která napíná struny, dosadí do vztahu naměřené hodnoty a vypočítají velikost napínající síly. Určitě ničemu neuškodí, když žákům zkontrolujete vyjádření síly ze vztahu, aby si neudělali chybu a poté s ní dále počítali.

Jakmile mají doplněnou první tabulku, přichází na řadu druhá, kde jsou zapsány jednotlivé tóny, které oni mají zahrát na kytaru. Ze všeho nejdříve si najdou tabulkové frekvence k příslušným tónům a poté se zamyslí, na jakou strunu bude vhodné daný tón zahrát. Následně budou opět vyjadřovat z původního vztahu, ale tentokrát délku  $l$ . Opět žákům toto vyjádření zkontrolujte. Do upraveného vztahu dosadí tabulkovou frekvenci tónu, který mají zahrát, poté průměr struny, na kterou budou hrát, sílu, jež tuto strunu napíná, tedy vypočítanou v první tabulce a hustotu. Vícekrát žákům připomeňte, že mají dosazovat frekvenci požadovaného tónu a ne frekvenci dané struny. Žáci získají vzdálenost  $l$  od

kobyلكy, kde musí strunu přitlačit prstem ke krku kytary. A poslední krokem bude v tomto bodě strunu zmáčknout, drknout na ni a změřit frekvenci znějícího tónu, kterou si opět zapíše do tabulky.

Celou tuto laboratorní úlohu lze měřit i s ukulele. Pouze se protokol musí trochu upravit. Struny jsou nylonové, tedy se bude používat hustota  $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Ukulele je naladěno na tóny  $g^4$ ,  $c^4$ ,  $e^4$ ,  $a^4$ , což odpovídá frekvencím 3126 Hz, 2093 Hz, 2637 Hz, 3535 Hz. Měření na ukulele bude probíhat stejně jako s kytarou, akorát je třeba si vybrat tóny, které chcete, aby žáci zahráli.

### 5.3.2 SAMOTNÉ MĚŘENÍ

I k této úloze přidávám mé výsledky měření (Tab. č. 3 a 4). Myslím si, že v tomto případě je velmi důležité, abyste věděli přibližné výsledky dopředu. Pokud byste to měřili po žácích ještě při hodině, zabralo by vám to více času. Takto budete vědět a nemusíte si s tím dělat starosti. Samozřejmě výsledky platí pro kytaru, ukulele jsem neměřila.

Tato úloha byla pro žáky nejsložitější, a podle toho vypadají i závěry. Nicméně jsem jeden vybrala, ale není úplně vzorový. Žákyně ho napsala takto: „V této laboratorní práci jsme pracovaly s tóny kytary. Naměřené hodnoty frekvencí se od těch tabulkových lišily maximálně o 5 Hz. Z toho vyplývá, že délku  $l$  jsme naměřily poměrně přesně.“

Opět příkládám protokol (Příloha 3). Teorie je velmi dlouhá, je na vašem uvážení, zda ji zkrátíte, ale dle mého názoru je v ní vše důležité.

STRUNA	$l/m$	$d/m$	$F/N$
<b>h</b>	0,647	$29\cdot 10^{-5}$	52,969
<b>e<sup>1</sup></b>	0,647	$21\cdot 10^{-5}$	49,579

Tab. č. 3 Měření strun kytary, práce autorky

STRUNA	$f_{\text{tabulková}}/\text{Hz}$	$l_{\text{vypočítané}}/m$	$f_{\text{naměřená}}/\text{Hz}$
<b>c<sup>1</sup></b>	262	0,610	265
<b>d<sup>1</sup></b>	294	0,544	295
<b>e<sup>1</sup></b> (na struně h)	330	0,484	331
<b>g<sup>1</sup></b>	392	0,545	390
<b>h<sup>1</sup></b>	494	0,432	492
<b>d<sup>2</sup></b>	587	0,364	586

Tab. č. 4 Měření tónů kytary, práce autorky



## 5.4 LABORATORNÍ ÚLOHA ČÍSLO 4

Laboratorní úloha zaměřená na hladinu intenzity zvuku je pro žáky nejsložitější. Není těžká na měření, z hlediska matematického je obtížnější. Cesta k výsledku vede přes logaritmy, které ale žáci druhého ročníku gymnázia ještě neznají. Pokud ale budete zavádět tyto úlohy o rok později, neměl by s tím být žádný problém.

### 5.4.1 METODIKA PRO UČITELE

Úloha je sice náročnější na počítání, ale měření při hodině nebude dělat žákům žádný problém. K práci je potřeba hlukoměr, který pokud nemáte ve škole k dispozici, lze stáhnout do chytrého telefonu aplikaci například Sound Meter. Jelikož se bude zjišťovat závislost hladiny intenzity zvuku na vzdálenosti od zdroje, bude třeba v softwaru, který používáte, najít zdroj šumu.

Pro vypracování této úlohy není potřeba žádných speciálních pomůcek, žákům se nemusí poskytovat protokol předem. Důležité ale je, jim úplně na začátku hodiny vysvětlit jednotlivé veličiny a vztahy, jež se týkají této práce, a také jim ukázat, co je to logaritmus, aby měli nějakou představu. Následně si žáci připraví svá pracoviště, pokud bude potřeba, stáhnou si do svých chytrých telefonů již zmíněnou aplikaci. Pokud se vám to povede, nejlepší bude, když každá skupina bude sama v místnosti, aby je ostatní spolužáci nevyrušovali. Není se třeba ale obávat, měření je velice rychlé, takže ho zvládnou všichni.

Další podmínkou je prostor, žáci budou totiž měřit vzdálenosti až 4 metry od počítače. Nejdříve žáci zjistí, kde má počítač reproduktory, samozřejmě pokud jsou externí, je vše jasné. Poté si naměří za pomoci metru či pásma vzdálenost 1 m od zdroje, tedy reproduktoru. Spustí šum a v této vzdálenosti naměří určitou hodnotu hladiny intenzity zvuku, kterou si zapíše do tabulky v protokolu. Stejným způsobem budou pokračovat dále, vždy se vzdálí od zdroje o půl metru, až se dostanou do vzdálenosti 4 metrů. Tímto končí ta jednoduchá část a začne pro žáky ta složitější.

Následující část mohou klidně provádět žáci až doma, ale určitě bude lepší, když jim alespoň na začátku trochu pomůžete. Jelikož akustický výkon  $P$  bude ve všech případech při měření stejná, zjistíme ji nejdříve z prvního měření ve vzdálenosti 0,5 m. Použijeme tyto vztahy z protokolu  $I = \frac{P}{4\pi r^2}$  a  $I = 10^{0,1L} I_0$ . Co jaká veličina představuje je vysvětleno v teorii. Tyto dva vztahy spojíme v jeden, vyjádříme  $P$  a dosadíme za jednotlivé veličiny: za  $L$  naměřenou hodnotu v dB, za  $I_0$   $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  a za  $r$  0,5 m. Vypočítáme akustickou energii používaného zdroje zvuku, která je pro všechna ostatní měření stejná. Následně žáci vždy vypočítají velikost intenzity pro jednotlivé vzdálenosti a následně, za pomoci vztahu  $L = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$  vypočítají velikost hladiny intenzity zvuku v dB. V závěru porovnájí naměřené hodnoty hladiny intenzity zvuku.

### 5.4.2 SAMOTNÉ MĚŘENÍ

Opět přikládám výsledky mého měření (Tab. č. 5). Porovnáme-li ale mé naměřené hodnoty dB s vypočítanými, v celku se shodují. Pokud by to takto vyšlo i žákům, bylo by to nejlepší.

Tato úloha se bohužel povedla pouze třem skupinám, které zvládly logaritmy. Ostatní žáci si s nimi neuměli poradit, i když jsme jim poté věnovali část hodiny, kde jsme jim ukázali vyjádření ze vztahu a následné dosazení do kalkulačky. Vybrala jsem jeden závěr, který lze považovat za uspokojivý: „V této laboratorní práci jsme zkoumali závislost hladiny intenzity zvuku na vzdálenosti od zdroje. Už ze samotného měření naše hodnoty decibelů vypadaly slibně. Potvrdily se i při následujících výpočtech, které nebyly vůbec jednoduché. Jakmile jsme se vzdálili o půl metru od počítače, hladina intenzity klesla přibližně o 2 decibely.“

V práci najdete i protokol (Příloha 4) příslušný k této laboratorní úloze, ve kterém je důkladně popsána příslušná teorie. Doporučuji ji nezkracovat, i když to žáci nemají rádi, jelikož matematické části této úlohy vůbec nerozumí.

<b><i>R/m</i></b>	<b><i>L/dB</i></b>	<b><i>L<sub>vypočítané</sub>/dB</i></b>
1	62	X
1,5	59	58,48
2	56	55,98
2,5	54	54,04
3	52	52,46
3,5	50	51,12
4	48	49,96

Tab. č. 5 Naměřené a vypočítané hodnoty hladiny intenzity, práce autorky

## 6 PRŮZKUM

### 6.1 CÍL PRŮZKUMU

Cílem mého průzkumu je zjistit, zda žáci chtějí v hodinách fyziky více laboratorních úloh zaměřených na mezipředmětové vztahy. S čímž i souvisí další z mých cílů, kterým je spokojenost žáků se zadáními, které jsem pro ně vymyslela a připravila. A mým osobním cílem bylo, zda já, jako budoucí učitelka fyziky, zvládnou pro žáky vytvořit a zrealizovat zajímavé a poutavé experimenty, díky kterým se začnou více zajímat o fyziku.

### 6.2 MEZIPŘEDMĚTOVÉ VZTAHY

V dnešní době se ve školství klade veliký důraz na mezipředmětové vztahy. Pedagogický slovník je vymezuje takto: „...vzájemné souvislosti mezi jednotlivými předměty, chápání příčin a vztahů přesahujících předmětový rámec, prostředek mezipředmětové integrace. V předmětovém kurikulu jsou vyjadřovány v učebních osnovách jednotlivých předmětů jako tzv. mezipředmětová témata. Progresivním trendem v zahraničí je řešení mezipředmětových vztahů na úrovni kurikula jako celku“ [9] Dle mého názoru by se žáci měli začít učit propojovat své znalosti z různých předmětů. Například fyzika se neobejde bez matematiky, stejně tak i chemie, biologie a zeměpis. Jedná se o přírodovědné předměty, kde by jeden bez druhého nemohl existovat. To ale platí i pro humanitní předměty, literatura je velmi spjata s historií, souvisí i s hudbou nebo výtvarným uměním.

Mě například nejvíce zajímá vztah fyziky s hudební výchovou. Vždyť bez fyziky by nebylo možné hudební nástroje vyrobit a vysvětlit, jak se v nich vytváří ten uchu lahodící zvuk. Všechny laboratorní úlohy uvedené v této práci se zaměřují na tento vztah.

### 6.3 METODOLOGIE

Pro svůj průzkum jsem si vybrala dotazník (Příloha 5), jelikož je krátký a pro žáky jednoduchý na vyplnění. Dotazník je tvořen 18 otázkami a je rozdělen do několika částí. V první části mě zajímalo, jakého pohlaví je respondent, jaký ročník v současnosti navštěvuje a zda má jednu hodinu laboratorních cvičení v týdnu nebo dvě spojené hodiny, ale jednou za čtrnáct dní.

Další část dotazníku je zaměřena na oblibu fyziky a hudby. Žáci vybírali z možností: mám rád/a, nezajímá mě nebo nesnáším ji. Součástí byla také otázka, jestli se na měření těšili, netěšili, nebo jim to bylo jedno.

V další části byly otázky směřovány už na konkrétní laboratorní práce. Respondenti vybírali, jaké úlohy vypracovali, která pro ně byla nejjednodušší, a která nejtěžší. Zda se jim úlohy líbily či nelíbily, jestli je zaujaly a zda chtějí takových úloh o hodinách více. Čtyři otázky zaměřené na protokoly, u nichž vybírali z možností, zněly takto:

- Teorie byla dostačující, nebo nedostačující a musel/a jsem si informace dohledat.
- Úkolům a postupům jsem rozuměl/a či nerozuměl/a.
- Celé úlohy jsem stihl/a dodělat při hodině, nestihl/a při hodině, dodělal/a jsem je doma, nebo některé stihl/a při hodině a některé ne.
- V jaké podobě raději odevzdáváš protokol? V tištěné. V elektrické.

Poslední část je složena ze dvou otevřených otázek: Proč si myslíte, že jsem propojila fyziku s hudbou? Co bys mi doporučil/a pro příště? Tyto dvě otázky byly do dotazníku zařazeny hlavně z mojí zvědavosti, zda už i žáci středních škol znají pojem mezipředmětový vztah.

Všechny otázky, kromě dvou, byly uzavřené. Žáci vyplňovali dotazník v tištěné podobě při hodině, cca týden až dva po absolvování měření.

## 6.4 POPIS PRŮZKUMNÉHO VZORKU

Anonymní dotazník vyplnilo 47 žáků z Gymnázia Františka Martina Pelcla v Rychnově nad Kněžnou. Z celkového počtu bylo 26 žáků šestého ročníku osmiletého studia a 21 druhého ročníku čtyřletého studia.

## 6.5 VYHODNOCENÍ ŠETŘENÍ

Z celkového počtu dotazujících bylo 68 % žen a 32 % mužů. V osmiletém studiu bylo 69 % žen a 31 % mužů. V čtyřletém studiu to bylo 67 % žen a 33 % mužů. Všichni respondenti mají dvě spojené hodiny laboratorního cvičení z fyziky jednou za čtrnáct dní.

62 % žáků uvedlo, že má rádo fyziku, 32 % fyzika nezajímá a 6 % ji nesnáší. Dále se podíváme na oblíbenost hudby: 96 % ji má rádo, nezajímá 4 % a nikdo ji nesnáší. V obou ročnících byly jednotlivé zájmy o fyziku či hudbu téměř srovnatelné. Ze všech respondentů se 19 % těšilo na měření, 72 % to bylo jedno a 9 % se na laboratorní úlohy netěšilo. V šestém ročníku osmiletého studia se na hodinu těšilo 11 % žáků, 85 % to bylo jedno a 4 % žáků se netěšilo.

Kolik procent respondentů naměřilo a vypracovalo protokol z jednotlivých laboratorních úloh, naleznete v tabulce č. 6.

Pro 83 % žáků byla teorie dostačující, ale 17 % odpovědělo, že si museli dohledat ještě nějaké informace. 79 % respondentů rozumělo úkolům a postupům a 21 % je nechápal. Ještě při hodině laboratorního cvičení z fyziky stihlo dodělat protokoly 17 % dotazovaných, 34 % je všechny dodělávali doma a 49 % stihlo některé při hodině a některé doma.

Laboratorní úloha číslo	Počet v %
1	79
2	92
3	55
4	79

Tab. č. 6 Rozložení naměřených úloh, práce autorky

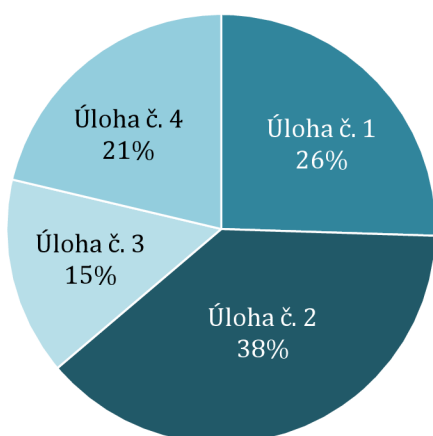
Podle odpovědí respondentů byla nejjednodušší druhá úloha, ve které se pracuje s vytisknutými píšťalkami. Která ze všech ostatních třech byla nejsložitější, se žáci nemohli rozhodnout, ale nejvíce hlasu bylo pro úlohu číslo tři. Procentuální rozložení můžete vidět v grafu číslo 1 a 2. 34 % respondentů raději odevzdává protokol v tištěné formě a 66 % zase ve formě elektronické.

Celkem úlohy 72 % žáků zaujaly a 28 % nezaujaly (Graf č. 3). Zajímavější je ale rozdělení ročníků. Ze čtyřletého studia úlohy pouze 10 % respondentů nezaujaly a 90 % ano. Zatímco z osmiletého studia úlohy nezaujaly 42 % dotazovaných a 58 % zaujaly. A u odpovědí na otázku: „Chtěl/a bys o hodinách více takových úloh?“ to dopadlo takto: 58 % odpovědělo ano a 42 % ne (Graf č. 4). Opět podle doby studia na gymnáziu vyšly výsledky rozdílně. Ve druhém ročníku by 76 % žáků uvítalo více takových úloh, zatímco v šestém ročníku pouze 42 %.

V sedmnácté otevřené otázce žáci odpovídali, že jsem propojila fyziku s hudbou, protože spolu souvisí, abych zpestřila výuku, protože většina lidí má ráda hudbu, jelikož to jsou mé koníčky. Ve všech případech žáci napsali podobné důvody. Ale přiložím dvě odpovědi pro pobavení: „Protože je to chytrý. Kvůli diplomce.“

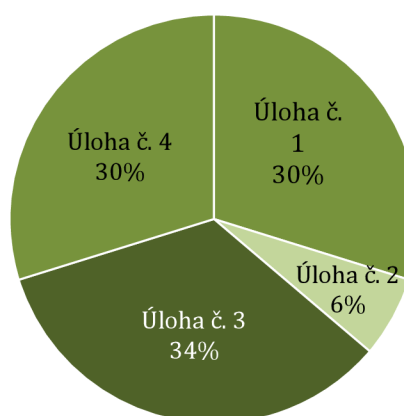
A poslední otázka byla také otevřená, ve které jsem se ptala, co by mi žáci doporučili pro příště. Někteří žáci by upřednostnili, kdyby všichni dělali stejnou úlohu, protože pro ně bylo složité zařídit si u spolužáků ticho. Jiní zase moji práci chválili a chtěli by víc hodin se mnou na tato témata. Opět přidám dvě zajímavé odpovědi, jestli pro pobavení, to už musíte posoudit sami: „Míň protokolů bez závěru. Vybrat si třídu s žáky, kteří nejsou znuděni životem.“

Která z úloh pro tebe byla nejjednodušší?



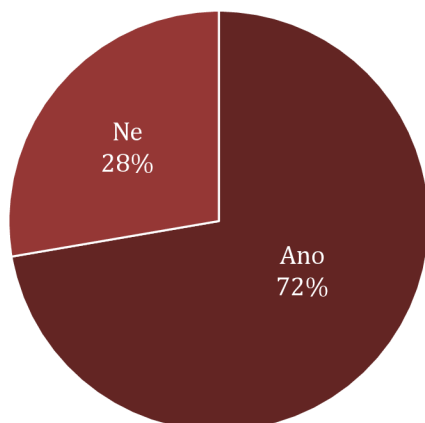
Graf č. 1 Výsledek 12. otázky

Která z úloh pro tebe byla nejtěžší?



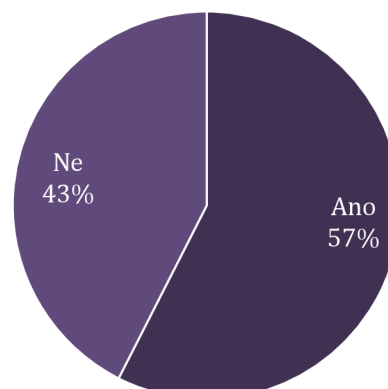
Graf č. 2 Výsledek 13. otázky

Zaujaly tě tyto úlohy?



Graf č. 3 Výsledek 14. otázky

Chtěl/a bys o hodinách více takových úloh?



Graf č. 4 Výsledek 15. otázky

Z dotazníkového šetření vyplývá, že více jak polovina respondentů by chtěla laboratorní úlohy zaměřené na mezipředmětové vztahy. Trochu jsem byla překvapena výsledkem, protože jsem si myslela, že většina žáků mé úlohy uvítá, jelikož jim je toto téma bližší. Po přečtení všech odpovědí si také myslím, že jsem experimenty pro žáky vymyslela docela dobře. Samozřejmě byla spousta věcí, které jsem musela upravovat přímo při výuce, určitě jsem jim mohla teorii vysvětlit lépe a důkladněji. Myslím si, že žákům se lépe pracovalo o hodinu, kdy měli přímo svého vyučujícího, což je pro ně už známá osoba. Zatímco, když jsem do třídy „vtrhla“ já, museli být překvapeni, neznali mě, nevěděli, jak hodina bude probíhat atd. Výsledky tohoto šetření ale nelze zevšeobecnit. Určitě by bylo vhodnější naměřit úlohy s více respondenty, kteří by následně i vyplnili dotazník.

## ZÁVĚR

Výsledkem mé diplomové práce je vytvoření metodiky pro učitele k výuce akustiky za pomoci experimentů a hlavně laboratorních úloh. Práce obsahuje čtyři laboratorní úlohy zaměřené na barvu zvuku hudebních nástrojů, frekvenci tónů píšťalky, hladinu intenzity zvuku a tóny akustické kytary. Laboratorní úlohy uvedené v této práci se mohou také předvádět formou demonstračního experimentu. Mým cílem bylo hlavně vytvořit takové laboratorní úlohy, díky kterým se žáci budou více zajímat o fyziku ale i hudbu. Například člověk, který má rád fyziku, si díky ní může najít cestu k hudbě, nebo naopak, člověk s oblibou k hudbě si zase přes ni najde lásku k fyzice.

Tuto práci by bylo vhodné rozšířit o další laboratorní úlohy zaměřené na akustiku. Například mě napadla hra na sklenice od vína, kde by žáci ověřili závislost frekvence na výšce vodního sloupce. Další možností je foukání do hrdla láhve z boku. Ozval by se zvuk, jehož frekvenci by naměřili, kterou by poté ověřili výpočtem pro stojaté vlnění ve vzduchovém sloupci, kde je jeden konec pevný a druhý volný. Do této lahve by bylo možné i přilít vodu a ovlivňovat jí frekvenci vzduchu. Tímto způsobem by se připravili i další experimenty.

Psaní teoretické části diplomové práce pro mě bylo docela složité, jelikož už mám velkou část popsanou v práci bakalářské. Složitější bylo i sehnat si literaturu, aby nebyla úplně všechna stejná jako v předešlé práci. Napsat protokol pro laboratorní úlohy nebylo až tak těžké, jako ty úlohy vymyslet. Nesmějí být pro žáky složité a časově náročné, musí se v nich používat pomůcky, které lze najít ve škole nebo je přinést z domu. Jakmile jsem jednu úlohu vymyslela, naměřila jsem ji a zjistila jsem, co všechno je v ní špatně a co se musí dělat jinak. Postupnými úpravami si myslím, že jsem došla k uspokojivým experimentům, které žáky budou bavit a zajímat.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BŘÍZOVÁ, Leontýna. Fyzikální měření s programem Audacity [online]. Hradec Králové, 2015 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/qxecxm/STAG66978.pdf?zpet=%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3Dleont%C3%BDna%20b%C5%99%C3%ADzov%C3%A1%26st%20art%3D1>. Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové. Vedoucí práce RNDr. Jan Šlégr, Ph.D.
- [2] HOLUBOVÁ, Renata. Didaktika fyziky: studijní modul. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3296-0.
- [3] HYBÁŠEK, Ivan a Jan VOKURKA. Otorinolaryngologie. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1019-1.
- [4] JEZBERA, Daniel. Úvod do fyzikálních měření [online]. Hradec Králové, 2012 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: [https://lide.uhk.cz/prf/ucitel/jezbeda1/uvod\\_do\\_fyzikalnich\\_mereni-01-2012.pdf](https://lide.uhk.cz/prf/ucitel/jezbeda1/uvod_do_fyzikalnich_mereni-01-2012.pdf)
- [5] KOHOUT, Zdeněk. Laboratorní cvičení z fyziky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02472-5.
- [6] KONEČNÝ, Pavel. Z jídelního lístku Fyzikální kavárny při ÚFE PŘF MU aneb Kundtova a Rubensova trubice [online]. Praha, 2007 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://vnuf.cz/sbornik/prispevky/12-02-Konecny.html>
- [7] LUKAVSKÝ, Přemysl. Spectrum Lab. IDNES.cz [online]. 14. 5. 2008 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/hry/cestiny/software/spectrum-lab.A080512\\_94096\\_bw-cestiny-software\\_bw](https://www.idnes.cz/hry/cestiny/software/spectrum-lab.A080512_94096_bw-cestiny-software_bw)
- [8] LUNGOVÁ, Vlasta. Schematický pohled na hlasivky shora včetně jejich postavení při fonaci a dýchání. [online]. In: . 2012, 16. 11. 2012 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <http://pfyziolmysl.upol.cz/?p=2661>
- [9] PRŮCHA, Jan, Jiří MAREŠ a Eliška WALTEROVÁ. Pedagogický slovník. 2. rozš. a přeprac. vyd. Praha: Portál, 1998. ISBN 80-7178-252-1.
- [10] POWELL, John. Emoční síla krásných zvuků, aneb, Proč máme rádi hudbu. Přeložil Kateřina ORLOVÁ. Olomouc: ANAG, [2018]. ISBN 978-80-7554-162-8.
- [11] RIGUTTI, Adriana. Ilustrovaný atlas anatomie. Praha: Sun, 2006. ISBN 80-7371-142-7.



- [12] STĚNIČKA, Jan a Olga KITTNAROVÁ. Základy akustiky pro učitele hudební výchovy. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, 2013. ISBN 978-80-7290-397-9.
- [13] ŠPELDA, Antonín. Hudební akustika: pro posluchače filosofických a pedagogických fakult a akademií múzických umění. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1978.
- [14] VOCHOZKA, Vladimír. 3D tisk ve výuce fyziky: fyzikální pokusy, videonávody, tvorba pomůcek : praktická učebnice pro ZŠ a SŠ. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, akciová společnost, 2022. ISBN 978-80-7235-665-2.
- [15] VYBÍRAL, Bohumil. Kapitoly z experimentální fyziky: historie měření, fundamentální experimenty, zpracování fyzikálních měření, experimenty ve školské fyzice. Hradec Králové: Gaudeamus, 2014. ISBN 978-80-7435-545-5.
- [16] VYBÍRAL, Bohumil. Kmitání a vlnění. Hradec Králové: Gaudeamus, 2014. ISBN 978-80-7435-379-6.
- [17] Ilustrovaná encyklopedie. Praha: Encyklopedický dům, 1995. ISBN 80-901647-4-9.
- [18] About. Audacity [online]. 2023 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.audacityteam.org/about/credits/>
- [19] Baton Rouge L1C/D akustická kytara. In: Audioworks [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.audioworks.cz/akusticke-kytary-western/62723-baton-rouge-l1cd-akusticka-kytara-4250771307167.html>
- [20] GW Xylofon. In: Kytary.cz [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://kytary.cz/gw-xylofon/HN231174/>
- [21] MEINL TAH1WB. In: Kytary.cz [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://kytary.cz/meinl-tah1wb/HN153591/>
- [22] Our Story. Vernier [online]. 2023 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.vernier.com/about-us/>
- [23] Píšťalka Whistle Metal - kovová. In: Legea-eshop.cz [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.legea-eshop.cz/pistalka-whistle-metal-kovova/>
- [24] Rezonanční ladička ladicí vidlice Kladivo Turn. In: Allegro [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://allegro.cz/nabidka/rezonancni-ladicka-ladici-vidlice-kladivo-turn-13358210770>

- [25] Rubensova trubice. In: ČT edu [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/video/3540-rubensova-trubice>
- [26] Ruční bubínek + palička (841160). In: Hudební-dům.cz [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.hudebni-dum.cz/rucni-bubinek-palicka-841160/>
- [27] Soundcard Oscilloscope. Christian Zeitnitz [online]. 12. 8. 2021 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: [https://www.zeitnitz.eu/scope\\_en?mid=4.01](https://www.zeitnitz.eu/scope_en?mid=4.01)
- [28] STUDIO 49 Soprán metalofon SM 2000. In: CLARINA music [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.clarina.cz/studio-49-sopran-metalofon-sm-2000>
- [29] The graph of the sound pressure waveform of a tuning fork. In: Nsta [online]. 2023, 14. 10. 2018 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.nsta.org/blog/vernier-go-direct-sound-sensor-see-sounds-new-light-bluetooth>
- [30] This is a size comparison of the Violin Family. In: LE MAITRE DE MUSIQUE [online]. 15. 12. 2012 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://lemaitredemusique.wordpress.com/2012/12/15/modern-string-instruments>

# PŘÍLOHA 1



Univerzita Hradec Králové  
Přírodovědecká fakulta

Laboratorní úloha z akustiky č. 1.	
Autor:	Školní rok:
Škola:	Naměřeno:
Třída:	Spolupracovník:
Název: <b>Barva zvuku hudebních nástrojů</b>	

Pomůcky: Počítač (software Audacity, Vernier atd.)/chytrý telefon (alternativní aplikace), mikrofon, různé hudební nástroje, ladička.

Teorie: Zvuk, tedy stojaté mechanické vlnění, dělíme na dvě skupiny. Zvuky s harmonickými nebo periodickými průběhy nazýváme **tóny** (hudební zvuky). Druhá skupina zvuků má neperiodický průběh, a říkáme jim **hluky** (nehudební zvuky). Vaším úkolem bude porovnat jejich časové diagramy.

Tóny vydávají **hudební nástroje**, nebo také samohlásky řeči, stejně tak zpěv. Hluk je potom nějaké **praskání, bušení, klepání, skřípání** atd. Nehudební zvuk jsou také souhlásky řeči.

Hudební nástroje můžeme rozdělit do pěti skupin podle toho, jak jimi vytváříme tóny: **samozvučné** (triangl, xylofon atd.), **blanozvučné** (tamburína, buben atd.), **strunné** (kytara, klavír atd.), **dechové** (flétna, klarinet atd.) a **elektrické**.

Některé z hudebních nástrojů se ladí pomocí ladičky. Většina z vás už někdy viděla digitální ladičku, vy však o hodině budete používat ladící vidlici, jež vydává pouze jeden tón, který se přesněji nazývá **jednoduchý**. Jedná se o periodický zvuk s harmonickým průběhem. Pokud je ale průběh složitější, hovoříme už o **složeném** tónu. Jaký je rozdíl mezi jejich časovými diagramy, opět uvidíte v průběhu práce.

Každý hudební nástroj zní pro naše ucho rozdílně díky **barvě zvuku**. Jaký je rozdíl mezi barvou zvuků různých nástrojů je krásně vidět ve tvaru křivky časových diagramů.



- Úkol:
- 1) **Porovnejte časový diagram jednoho tónu libovolného nástroje za hluku spolužáků a za úplného klidu.**
  - 2) **Porovnejte časový diagram libovolného nástroje a ladičky.**
  - 3) **Porovnejte časový diagram libovolného nástroje a zpěvu.**
  - 4) **Porovnejte časové diagramy jednotlivých hudebních nástrojů.**

- Postup:
- 1) Osvojte si funkce softwaru/aplikace, se kterými budete následně pracovat. Připojte mikrofon do zařízení a vyzkoušejte, zda vše funguje správně.
  - 2) Zahrajte libovolný tón na libovolný hudební nástroj a jeho zvuk zaznamenejte pomocí mikrofону a zařízení, se kterým pracujete. To samé opakujte s dalšími nástroji, které máte k dispozici. Vyberte si z každé skupiny (viz teorie) jeden hudební nástroj, tedy abyste jich použili minimálně čtyři. U každého nástroje zaznamenejte nejdříve jeho zvuk za úplného ticha. Všechny grafy si průběžně ukládejte, jelikož s nimi budete následně pracovat.
  - 3) Rozezvučte ladičku a pomocí mikrofónu a zařízení zaznamenejte její zvuk, úplně stejně jako s nástroji.
  - 4) Pokuste se najít mezi spolužáky dobrovolníka, který vám zazpívá jeden libovolný tón, se kterým budete pracovat stejně, jako v předchozích krocích. Neodváží-li se nikdo, najděte nějakou nahrávku na internetu, kterou použijete.
  - 5) Všechny grafy přiložte k protokolu. V závěru porovnejte jednotlivé grafy, jak je napsáno v úkolech.

Měření:

Závěr:

## PŘÍLOHA 2



Univerzita Hradec Králové  
Přírodovědecká fakulta

Laboratorní úloha z akustiky č. 2.	
Autor:	Školní rok:
Škola:	Naměřeno:
Třída:	Spolupracovník:
Název: <b>Na čem závisí tón píšťalky</b>	

**Pomůcky:** Sada píšťalek vytištěných na 3D tiskárně, počítač (software Audacity, Vernier atd.)/chytrý telefon (alternativní aplikace), mikrofon.

**Teorie:** V této laboratorní práci budete pracovat pouze s hudebním nástrojem ze skupiny **aerofonů** (dechových) – píšťalkou, jež jste si sami vytiskli na hodinách IVT. U dechových hudebních nástrojů zvuk vznikne rozechvěním vzduchu uvnitř dutiny nástroje. Kmitání může vzniknout různými způsoby, a právě podle toho je dělíme do dvou skupin: jazýčkové a založené na principu retné píšťaly. Píšťalku řadíme do skupiny druhé, stejně jako zobcovou flétnu.

Budete foukat do zúžené části píšťalky – **štěrbiny**, čímž vháníte vzduch do trubice. Ihned za štěrbinou se nachází malý otvor s ostrou hranou, do které narazí vzduch vháněný do píšťalky. Otvoru s hranou se říká **ret** píšťalky. Proud vzduchu se při nárazu na ostrou hranu rozděluje, a tak vzniká šum a zvuk různých frekvencí. Celá tato část se nazývá **budič** – systém, kde vznikají kmity. Ve zbylé části – **rezonátoru**, dochází k výběru a zesílení pouze těch tónů, jejichž frekvence odpovídá těm frekvencím, na které je rezonátor naladěn.

Tón – zvuk s periodickým a harmonickým průběhem – vydává každý hudební nástroj. Tón, který slyšíte od ladičky, se nazývá **jednoduchý** a má harmonický průběh. Ze všech hudebních nástrojů slyšíte tóny **složené** – periodické zvuky složitějšího průběhu. Jedná se o velký počet harmonických kmitů o různých frekvencích. Tón, jenž určuje absolutní výšku složeného tón, má nejnižší frekvenci a nazývá se **základní**. Všechny ostatní frekvence složeného tónu – **vyšší harmonické tóny** – jsou násobky základního tónu.



- Úkol:
- 1) Zjistěte, jestli tón, který vydává píšťalka, závisí na její velikosti.**
  - 2) Porovnejte chování píšťalek s různými rty.**
- Postup:
- 1) Postupně zapísejte na všechny tři vytisknuté píšťalky, které máte z hodin IVT a seřad'te je od nejvyšší frekvence po nejmenší podle vašeho úsudku.
  - 2) Spust'te software pro frekvenční analýzu a opět zapísejte na tři píšťalky a za pomoci aplikace určete základní frekvence jednotlivých píšťalek.
  - 3) Porovnejte svůj odhad s naměřenými hodnotami a vysvětlete, jak souvisí změna frekvence s rozměry píšťalky. Ke svému měření přiložte jednotlivé snímky frekvenční analýzy.
  - 4) Celé měření opakujte se třemi píšťalkami s různými rty.
- Měření:
- Závěr:

# PŘÍLOHA 3



Univerzita Hradec Králové  
Přírodovědecká fakulta

Laboratorní úloha z akustiky č. 3.	
Autor:	Školní rok:
Škola:	Naměřeno:
Třída:	Spolupracovník:
Název: <b>Tóny kytary</b>	

Pomůcky: Počítač (software Audacity, Vernier atd.)/chytrý telefon (alternativní aplikace), mikrofon, metr, mikrometr, kytara.

Teorie: Kytara, se kterou budete nyní pracovat, patří do skupiny strunných hudebních nástrojů (chordofonů). Struny kytary jsou upevněny na obou koncích a napínány **silami  $F$** . Jakmile na strunu drkneme, předáme jí energii, která ji příčně rozkmitá, tedy kolmo na její délku. Každá struna má tyto vlastnosti: **délku  $l$ , hustotu materiálu struny  $\rho$ , průměr struny  $d$  a základní frekvenci kmitu struny  $f$** , pro kterou platí vztah:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}}$$

Velkou část akustické kytary zaujímá dřevěné tělo, které zesiluje zvuk, aby byl hlasitý a dobře slyšitelný.

Existuje několik druhů kytar, ale nejnámější, a se kterou budete pracovat, je šestistrunná akustická kytara, která je naladěna na tóny **E, A, d, g, h, e<sup>1</sup>**. Neznamená to, že by nebylo možné zahrát i jiné tóny, přitlačením na strunu prstem v oblasti pražců ji zkrátíme a zvýšíme tak její frekvenci. Kytara zahraje nejnižší tón E a nejvyšší h<sup>2</sup>. Hodnoty frekvencí pro všechny tóny, které je kytara schopna zahrát, najdete v této tabulce:

TÓN	E	F	G	A	H	c	d	e	f	g	a	h	c <sup>1</sup>
$f/\text{Hz}$	82	87	98	110	123	130	146	165	174	196	220	247	262
TÓN	d <sup>1</sup>	e <sup>1</sup>	f <sup>1</sup>	g <sup>1</sup>	a <sup>1</sup>	h <sup>1</sup>	c <sup>2</sup>	d <sup>2</sup>	e <sup>2</sup>	f <sup>2</sup>	g <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>	h <sup>2</sup>
$f/\text{Hz}$	294	330	349	392	440	494	523	587	659	699	784	880	988



Barva zvuku kytary záleží na materiálu strun. Nejčastěji se používají kovové (ocelové) struny, které zní jasněji a výrazněji, nebo struny nylonové, které jsou zase na druhou stranu měkčí a tlumenější. Pro naše výpočty budeme struny naší kytary považovat za ocelové, jež mají hustotu  $7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

- Úkol:           **1) Vypočítejte, jakou silou jsou napínány struny kytary.**  
                  **2) Zjistěte, jak se na kytaru hrají tóny:  $c^1$ ,  $d^1$ ,  $e^1$ ,  $g^1$ ,  $h^1$  a  $d^2$ .**

- Postup:        1) Osvojte si funkce softwaru/aplikace, se kterými budete následně pracovat. Připojte mikrofon do zařízení a vyzkoušejte, zda vše funguje správně.
- 2) Aplikací ověřte, zda mají všechny struny na kytaru správnou frekvenci, popřípadě je dolad'te.
- 3) Za pomoci mikrometru změřte průměr strun  $h$  a  $e^1$ , metrem změřte jejich délku. Vše si zapisujte do tabulky, a poté podle vhodného vztahu vypočítejte sílu, kterou jsou struny napínány.
- 4) V dalším kroku zkusíte zjistit, jak se hrají různé tóny na kytaru. Nejdřív si z příslušné tabulky zjistíte, jakou frekvenci mají dané tóny, které máte zahrát. Poté si ze vztahu pro frekvenci vyjádříte délku  $l$ , dosadíte příslušné hodnoty ostatních veličin a dopočítáte v jaké vzdálenosti je nutno strunu přitlačit, abychom zahráli daný tón. Následně svůj výsledek ověříte tím způsobem, že v dané vzdálenosti strunu podržíte, brnknete na strunu a frekvenci tónu změříte příslušnou aplikací. Vše si zapište do tabulky a pokračujte stejným způsobem i pro ostatní tóny.

Měření:

STRUNA	$l/\text{m}$	$d/\text{m}$	$F/\text{N}$
$h$			
$e^1$			





<b>STRUNA</b>	<b><math>f_{\text{tabulková}}/\text{Hz}</math></b>	<b><math>l_{\text{vypočítané}}/\text{m}</math></b>	<b><math>f_{\text{naměřená}}/\text{Hz}</math></b>
<b>c<sup>1</sup></b>			
<b>d<sup>1</sup></b>			
<b>e<sup>1</sup></b> (na struně h)			
<b>g<sup>1</sup></b>			
<b>h<sup>1</sup></b>			
<b>d<sup>2</sup></b>			

Závěr:

# PŘÍLOHA 4



Univerzita Hradec Králové  
Přírodovědecká fakulta

Laboratorní úloha z akustiky č. 4.	
Autor:	Školní rok:
Škola:	Naměřeno:
Třída:	Spolupracovník:
Název: <b>Závislost hladiny intenzity zvuku na vzdálenosti od zdroje</b>	

Pomůcky: Počítač (software Audacity, Vernier atd.)/chytrý telefon (alternativní aplikace), hlukoměr, metr/pásmo.

Teorie: Množství akustické energie  $P$ , která dopadne na jednotku plochy za 1 sekundu, nazýváme **intenzita**, jež se značí  $I$  a platí pro ni vzorec

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \text{a} \quad [I] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2},$$

kde  $4\pi r^2$ , je vztah pro plochu koule. Zvuk se šíří v prostoru všemi směry, a tak má tvar kulových vlnoploch.

Vám bude asi bližší veličina **hladina intenzity  $L$**  zvuku, která se využívá k měření hlasitosti zvuku a její jednotka je bel B (respektive decibel dB = 0,1 B). Naše ucho zvuk nevnímá lineárně, ale logaritmicky. Znamená to, že změna hladiny intenzity zvuku o 10 dB a 20 dB neodpovídá dvojnásobné, ale stonásobné změně akustického výkonu, platí vztah:

$$L = \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right).$$

$L$  je hladina intenzity v belech,  $I$  je intenzita v  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  a  $I_0$  je intenzita, která je nejnižší registrovatelnou intenzitou čistého tónu, tedy práh slyšení o hodnotě  $10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Pokud chceme počítat hladinu intenzity v dB, použijeme vztah:

$$L = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad \rightarrow \quad I = 10^{0,1L} I_0$$

Jak už bylo řečeno, **práh slyšení** má hodnotu  $10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , což pro referenční tón 1000 Hz odpovídá hladině intenzity 0 dB, jedná se o nejnižší intenzitu, které naše ucho ještě vnímá. Naopak 130 dB je **práh bolesti**, při referenčním tónu 1000 Hz, což je hodnota, kterou naše ucho ještě vnímá. Vyšší hodnoty intenzity už poté vyvolávají pouze bolest v uchu.



- Úkol:
- 1) Za pomoci hlukoměru ověřte, zda hladina intenzity zvuku závisí na vzdálenosti od zdroje.
  - 2) Závislost intenzity zvuku na vzdálenosti od zdroje ověřte výpočty.

- Postup:
- 1) Osvojte si funkce softwaru/aplikace, se kterými budete následně pracovat. Zapněte hlukoměr a vyzkoušejte, zda vše funguje správně.
  - 2) Rozdělte si úkoly. Jeden z vás za pomoci metru/pásma naměří vzdálenost 1 m od zdroje zvuku a na toto místo se postaví se zapnutým hlukoměrem. Druhý z dvojice v aplikaci zapne soubor šumu, následně spolupracovník s hlukoměrem přečte hodnotu na hlukoměru, kterou si zapíšete do tabulky. Poté se z 1 m od zdroje posunete na vzdálenost 1,5 m od zdroje a provedete celé měření znovu. Měření budete opakovat pro vzdálenosti 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m a 4 m od zdroje.
  - 3) Až budete mít tabulku vyplněnou, vše, co jste naměřili, si ověřte výpočtem, který provádějete tak, jak je uvedeno v teorii.

Měření:

<b><i>R/m</i></b>	<b><i>L/dB</i></b>	<b><i>L<sub>vypočítané</sub>/dB</i></b>
		X

Závěr:

# PŘÍLOHA 5

## Dotazník

Dobrý den,

jmenuji se Natálie Faltová a jsem studentkou druhého ročníku navazujícího magisterského studia v oboru učitelství fyziky a matematiky pro střední školy na Univerzitě v Hradci Králové. Pro mou diplomovou práci z fyziky jsem si vybrala téma: Experimenty ve výuce akustiky: Fyzika hudebních nástrojů. Vytvořila jsem 4 laboratorní úlohy, zaměřené na hudební nástroje, které jste v nedávné době vypracovávali. Chtěla bych Vás poprosit o vyplnění krátkého dotazníku, který Vám nezabere ani 5 minut a mně moc pomůže. Je anonymní, tedy se ničeho nemusíte bát, a můžete klidně napsat i kritiku.

Moc Vám děkuji a přeji Vám hodně školních úspěchů.

Natálie Faltová

### 1. Pohlaví

Žena

Muž

### 2. Ročník

První

Druhý

Třetí

### 3. Měl/a jsem

jednu hodinu týdně.

dvě hodiny v kuse jednou za čtrnáct dní.

### 4. Fyziku

mám rád/a.

nezajímá mě.

nesnáším ji.

### 5. Hudbu

mám rád/a.

nezajímá mě.

nesnáším ji.

### 6. Na laboratorní práce

jsem se těšil/a.

bylo mi to jedno.

jsem se netěšil/a.

### 7. Vypracovával/a jsem

úlohu č. 1. – Barva zvuku hudebních nástrojů.

úlohu č. 2. – Na čem závisí tón píšťalky.

úlohu č. 3. – Tóny kytary.

úlohu č. 4. – Závislost hladiny intenzity zvuku na vzdálenosti od zdroje.

8. Teorie byla

dostačující.  nedostačující, musel/a jsem si informace dohledat.

9. Úkolům a postupu jsem

rozuměl/a.  nerozuměl/a.

10. Celé úlohy jsem

stihl/a dodělat při hodině.  nestihl/a při hodině, dodělal/a jsem doma.  
 některé stihl/a při hodině a některé ne.

11. Laboratorní úlohy se mi

líbily.  nelíbily.

12. Která z úloh pro tebe byla nejjednodušší?

Úloha č. 1.  Úloha č. 2.  Úloha č. 3.  Úloha č. 4.

13. Která z úloh pro tebe byla nejtěžší?

Úloha č. 1.  Úloha č. 2.  Úloha č. 3.  Úloha č. 4.

14. Zaujaly tě tyto úlohy?

Ano.  Ne.

15. Chtěl/a bys o hodinách fyziky více takových úloh?

Ano.  Ne.

16. V jaké podobě raději odevzdáváš protokol?

V tištěné.  V elektronické.

17. Proč si myslíte, že jsem propojila fyziku s hudbou?

18. Co bys mi doporučil/a pro příště?