



## **Středoškolská technika 2010**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Měření zvuku**

**Judita Hyklová**

První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové, s r.o.  
Brandlova 875, 500 03 Hradec Králové

## Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>FYZIKÁLNÍ POJMY ZVUKU</b> .....	<b>2</b>
Zvuk .....	2
Frekvence zvuku .....	2
Zdroj zvukového vlnění .....	2
Rozdělení zvuků .....	4
<b>SLUCH</b> .....	<b>5</b>
Zpracování zvuku .....	5
Lidské vnímání zvuku .....	5
Vnímání zvuku zvířaty.....	7
<b>VLASTNOSTI ZVUKU</b> .....	<b>9</b>
Výška zvuku .....	9
Barva zvuku .....	9
Hlasitost a intenzita zvuku .....	10
<b>RYCHLOST ZVUKU</b> .....	<b>11</b>
Rychlost zvuku v ideálním plynu .....	11
Tabulka 2 - Rychlost zvuku v některých plynech.....	11
<b>VLASTNÍ MĚŘENÍ</b> .....	<b>11</b>
Co vše lze slyšet .....	11
<b>MĚŘENÍ RYCHLOSTI ZVUKU</b> .....	<b>21</b>
Třískání dřevy.....	21
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>21</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ</b> .....	<b>22</b>

## Úvod

Projekt “Zvuk a jeho vlastnosti“ je zaměřen na zkoumání vlastností zvuku a na měření jeho rychlosti. Všechna měření jsou prováděna v domácím prostředí, a to velmi rozmanitými a nápaditými způsoby. K měření jsou používány ty nejjednodušší prostředky, které máme doma každý z nás. Pokusy jsou zaznamenávány nejen vizuálně ale také akusticky programem Power Sound Editor. V projektu je rovněž zahrnuto vnímání zvuku lidmi a zvířaty a ukázky hluků a tónů. Změříme energii zvuku, budeme měnit jeho vlastnosti, docílíme rezonance a dokonce si ukážeme, jak je možné slyšet světlo.

## **Fyzikální pojmy zvuku**

### **Zvuk**

Zvuk je každé podélné (v pevných látkách případně také příčné) mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem.

### **Frekvence zvuku**

Frekvence zvuku leží v rozsahu přibližně 16 Hz až 20 kHz; za jeho hranicemi člověk zvuk sluchem nevnímá. V širším smyslu lze za zvuk označovat i vlnění s frekvencemi mimo tento rozsah.

### **Infrazvuk**

Zvuk s frekvencí nižší než 16 Hz (slyší např. sloni).

### **Ultrazvuk**

Zvuk s frekvencí vyšší než 20 kHz (např. delfínovití či netopýři vnímají zvuk až do frekvencí okolo 150 kHz).

### **Rezonance**

Jev nastávající v případě, kdy je vlastní frekvence předmětu totožná s frekvencí dopadajícího zvuku. Pokud zvuk způsobí v předmětu stojaté vlnění a intenzita zvuku je dostatečná, může u předmětu dojít k deformaci.

### **Zdroj zvukového vlnění**

Zdroj zvukového vlnění se stručně nazývá zdroj zvuku a hmotné prostředí, ve kterém se toto vlnění šíří, jeho vodič.

### **Vodič zvuku**

Vodič zvuku, obvykle vzduch, zprostředkuje spojení mezi zdrojem zvuku a jeho přijímačem (detektorem), kterým bývá v praxi ucho, mikrofon nebo snímač. Zvuky se šíří i kapalinami (např. vodou) a pevnými látkami (např. stěnami domu).

## Zdroj zvuku

Zdrojem zvuku může být každé chvějící se těleso. O vlnění v okolí zdroje zvuku však nerozhoduje jen jeho chvění, ale i okolnost, jestli je tento předmět dobrým nebo špatným zářičem zvuku. Tato jeho vlastnost závisí hlavně na jeho geometrickém tvaru.

Zdrojem zvuku mohou být kromě těles kmitajících vlastními kmity i tělesa kmitající kmity vynucenými. (např. ozvučnice mnohých hudebních nástrojů, reproduktory, sluchátka a další zařízení pro generování nebo reprodukci zvuku)



Obrázek 1.: gramofon

## **Rozdělení zvuků**

Zvuky můžeme rozdělit na hudební (tóny) a nehudební (hluky).

### **Tóny**

Tóny vznikají při pravidelném, v čase přibližně periodicky probíhajícím, pohybu kmitání. Při jejich poslechu vzniká v uchu vjem zvuku určité výšky, proto se tónů využívá v hudbě.

Zdrojem hudebních zvuků mohou být například lidské hlasivky nebo různé hudební nástroje.

### **Hluky**

Jako hluky označujeme nepravidelné vlnění, vznikající jako složité nepravidelné kmitání těles, nebo krátké nepravidelné rozruchy (srážka dvou těles, výstřel, přeskočení elektrické jiskry apod.). I hluky jsou využívány v hudbě, neboť k nim patří i zvuky mnoha hudebních nástrojů, především bicích.

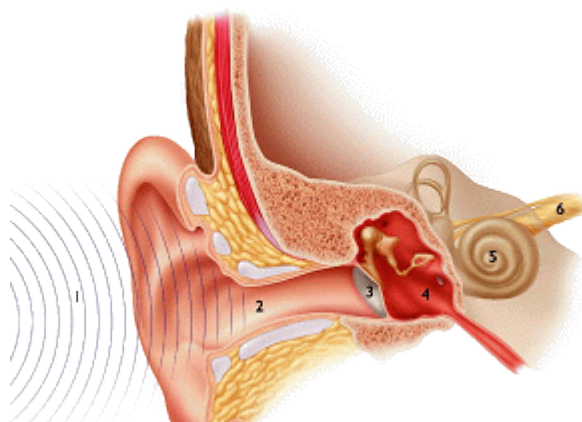
Každý zvuk, hudební i nehudební, se vyznačuje svojí fyzikální intenzitou, s kterou je rovnocenná veličina nazývaná hladina intenzity zvuku měřená v dB, a fyziologickou hladinou své hlasitosti. Mimo to se hudební zvuky vyznačují ještě frekvencí, která určuje jejich výšku. Třetí základní vlastností zvuku je průběh kmitání, ovlivňující jeho zabarvení. Trvání zvuku v čase určuje jeho délku.

## Sluch

Sluch je schopnost vnímat zvuky, kterou ovládají všichni vyšší živočichové mající ucho.

### Zpracování zvuku

Zvuk nejprve prochází zvukovodem (1,2), kde naráží do bubínku (3). Ten se rozechvěje a vibrace přenáší přes kladívko, kovadlinku a třmínek (4) do hlemýždě (5). Zde na vibrace reagují smyslové buňky, které vedou zvukové informace pomocí zvukového nervu (6) do mozku.



Obrázek 2.: lidské ucho

### Lidské vnímání zvuku

#### Frekvenční rozsah

Frekvenční rozsah zvuku, který většina lidí vnímá, začíná kolem 16 Hz a dosahuje k 20 kHz. S rostoucím věkem horní hranice výrazně klesá. Nejvýznamnější rozsah je 2 – 4 kHz, který je nejdůležitější pro srozumitelnost řeči a na nějž je lidské ucho nejcitlivější. Běžný lidský hlas má frekvenci zhruba od 200 do 800 Hz.

#### Hudební sluch

Hudební sluch je schopnost rozeznávat jednotlivé tóny. Pokud člověk dokáže rozeznat i nepatrné změny v zabarvení zvuků, má tzv. sluch absolutní.



Obrázek 3.: křídlo

### Sluchové poruchy

Sluchovou poruchou je např. nedoslýchavost neboli částečná ztráta sluchu. Úplná ztráta sluchu se pak nazývá hluchota. Poruchy jsou ve většině případů způsobeny nadměrným hlukem.

### Sluchové halucinace

Zajímavým jevem sluchové halucinace je tzv. akuse hudby, kdy se člověk domnívá, že slyší hrát hudbu, ale přitom ví, že se jedná o přelud. Tento jev se vyskytuje především u lidí se sluchovou vadou či u lidí s velkým hudebním talentem.



Obrázek 4.: sluchové halucinace



### Frekvenční maskování

Schopnost odlišit dva frekvenčně blízké tóny je ovlivněna frekvenčním maskováním. Pokud znějí dva tóny současně, může jeden z nich potlačit slyšitelnost toho druhého. Tato neschopnost slyšet oba současné tóny se nazývá frekvenční maskování.

Maximální úroveň maskovaného signálu je závislá na frekvenční vzdálenosti a úrovni maskujícího signálu. Maskovací schopnost je též závislá na frekvenci maskujícího tónu. Vnímání tónů s blízkými frekvencemi je ovlivněno šířkou kritického pásma. To má na nejnižších kmitočtech velikost kolem 100 Hz, zatímco na nejvyšších kmitočtech dosahuje až 4 kHz. Maskování se využívá u některých algoritmů pro kompresi zvukových dat, např. MP3, Ogg Vorbis nebo ATRAC.

### Časové maskování

Pokud po hlasitém tónu následuje stejný tón s menší hlasitostí, je jeho vnímání potlačeno. Potlačen může být i tichý tón předcházející maskovacímu tónu.

### Vnímání zvuku zvířaty

Někteří živočichové mají výrazně lepší sluch než člověk a to jak v oblasti citlivosti, tak ve frekvenčním rozsahu.



Obrázek 5.: radio



Obrázek 6.: pes



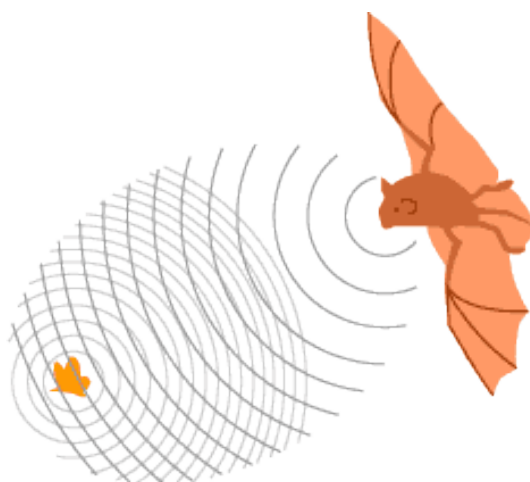
Obrázek 7.: kočka

**Tabulka 1 – Příklady vnímání zvuku u některých zvířat**

<b>zvíře</b>	<b>min. sluch [Hz]</b>	<b>max. sluch [Hz]</b>
<b>pes</b>	30	45000
<b>kočka</b>	15	50000
<b>netopýr</b>	6	135000
<b>slon</b>	5	140000
<b>delfín</b>	4	175000

### **Echolokace**

Echolokace je schopnost využívání zvuku k orientaci v prostoru ve tmě. Je založena na principu vysílání zvukového signálu, kdy zvíře podle jeho odrazu určí polohu a velikost překážky či potravy. Tento postup využívají zejména netopýři, mýry, kytovci a někteří ptáci.



Obrázek 8.: echolokace

## Vlastnosti zvuku

Jako vlastnostmi zvuku se uvádí výška, barva a hlasitost neboli intenzita.

### Výška zvuku

Výška zvuku je dána jeho frekvencí. Čím vyšší je frekvence, tím vyšší je výška. U jednoduchých tónů s harmonickým průběhem určuje jejich frekvence absolutní výšku tónu.

Absolutní výška tónu se měří přístroji pro měření zvukových frekvencí - za obvyklých podmínek ji nelze určit sluchem. Pro subjektivní hodnocení zvuku je důležitá relativní výška tónu - podíl frekvence daného tónu vůči frekvenci referenčního tónu. Hudební akustika určuje jako základní tón 440 Hz, v technické praxi se jako základní (referenční) tón udává 1000Hz.

U zvuků s neharmonickým průběhem (složené tóny) je základní výška rovna tónu nejmenší frekvencí.

### Barva zvuku

Barva zvuku umožňuje určit u tónů se stejnou výškou zvukový zdroj. Je určena počtem vyšších harmonických tónů ve složeném tónu a jejich amplitudami. Pomocí barvy zvuku rozeznáváme hudební nástroje a hlasy lidí.

Hudební nástroje se i při stejné výšce tónu liší odlišným zabarvením. Barvu tónu jednotlivých nástrojů tvoří celistvé násobky základního kmitočtu tónu - vyšší harmonické kmitočty. V hudební terminologii alikvotními tóny.



Obrázek 9.: mikrofon

## Hlasitost a intenzita zvuku

Hlasitost zvuku je určena velikostí akustického tlaku, kterým zvukové vlnění působí na sluch.

Intenzita zvuku je zvuková energie dopadající na jednotku plochy za jednotku času. Hladina intenzity zvuku je veličina udávající intenzitu zvuku v jednotkách decibel. Intenzita zvuku je objektivní veličina, hlasitosti zvuku subjektivní.

Nejnižší hodnotě intenzity zvuku odpovídá práh slyšení (0,00001 Pa), nejvyšší intenzita zvuku určuje práh bolesti (100 Pa). Sluch reaguje nejlépe na zvuky o frekvenci 700 Hz – 6000 Hz. Jestliže budou změny tlaku velké, může dojít k poškození sluchu.

Při stejné hodnotě akustického tlaku je subjektivně vnímaná hlasitost zvuku o různých frekvencích rozdílná. Pro určení subjektivního vjemu hlasitosti bez závislosti na kmitočtu byla stanovena jednotka hlasitosti - fon (Ph). Pro tón o kmitočtu 1000 Hz je stupnice fonů (Ph) totožná s decibelovou [dB]. Směrem ke kmitočtům nižším a vyšším se tyto stupnice rozcházejí. Vztah mezi akustickým tlakem [dB] a hlasitostí (Ph) udávají křivky shodné hlasitosti (izofóny). Rozsah hlasitosti lidského sluchu se pohybuje od prahu slyšitelnosti (0 až 4 Ph) do prahu bolestivosti (120 až 130 Ph). Rozdíly v obou hodnotách odpovídají průměrnému rozptylu vlastností sluchových orgánů.

Dynamika zvuku je rozdíl mezi intenzitou nejtiššího a nejhlasitějšího zvuku. Udává se v decibelech. Dynamika lidského sluchu je 120 dB.



Obrázek 10.: sluchátka

## Rychlost zvuku

Rychlost zvuku je rychlost, jakou se zvukové vlny šíří prostředím. Často se tímto pojmem myslí rychlost zvuku ve vzduchu, která závisí na atmosférických podmínkách - největší vliv na její hodnotu má teplota vzduchu.

Aby se zvuk nějakým způsobem šířil, je třeba látkového prostředí, neboli prostředí, kde se nacházejí nějaké částice. Proto se zvuk nemůže šířit ve vakuu.

### Rychlost zvuku v ideálním plynu

V ideálním plynu pro rychlost zvuku platí vzorec:

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p_0}{\rho_0} \left(1 + \frac{1}{2} \gamma \cdot t\right)}$$

kde

$p_0$  je tlak plynu při teplotě 0 °C,  $\rho_0$  příslušná hustota a  $\gamma$  součinitel teplotní rozpínivosti plynu.



Obrázek 11.: gripen

### Tabulka 2 - Rychlost zvuku v některých plynech

látka	teplota [°C]	rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]
vodík	0	258
oxid uhličitý	25	259
kyslík	25	316
suchý vzduch	0	331
suchý vzduch	25	346
helium	0	970

## Vlastní měření

Všechny své pokusy provádím s pomocí programu Power Sound Editor. Tento program zaznamenává zvuky pomocí mikrofону, které pak může nejen analyzovat, ale i různými způsoby dotvářet.

### Co vše lze slyšet

O svém sluchu toho ještě moc nevíme. Ucho je vlastně jakýsi akustický přijímač a analyzátor, rekonstruující z akustického pole různé objekty a události. Náš sluchový orgán je velmi citlivý a jemný. Vnímá intenzitu  $0,5 \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , což vzhledem k jeho povrchu (asi  $1 \text{ cm}^2$ ) znamená, že práh slyšení leží na hranici energetického důkazu 10 W zdroje ve vzdálenosti 1000km. Jinými slovy, oblast největší citlivosti v okolí frekvence 3 kHz zaznamená naše ucho slyšitelný zvuk už při rozkmitu vzduchových částic o jednu milióntinu milimetru. V případě, že by naše ucho bylo ještě o řád citlivější, slyšelo by molekulární pohyb částic vzduchu a vnímalo by jej jako šum.

Opravdové ticho vlastně neexistuje. Za ticho tedy považujeme nízkou hladinu hluku. Je prokázáno, že dlouhý pobyt v naprostém tichu působí za čas velmi depresivně. Naopak dlouhý pobyt v silném hluku způsobí znecitlivění našeho sluchu a může ho nenávratně poškodit. Je potřeba si uvědomit, že náš sluch je velice zranitelný a žádná účinná léčba zatím neexistuje.

## Papírový zesilovač

Pomůcky: mobilní telefon  
arch papíru A4

Postup: Připravíme si mobilní telefon a arch papíru A4, který smotáme do kornoutu. Na mobilním telefonu pustíme jakoukoli píseň. Přiložíme zúženou část kornoutu k repráčku telefonu. Pozorujeme změny.

Závěr: Po přiložení kornoutu k repráčku zjistíme, že hudba zní nyní o poznání hlasitěji.

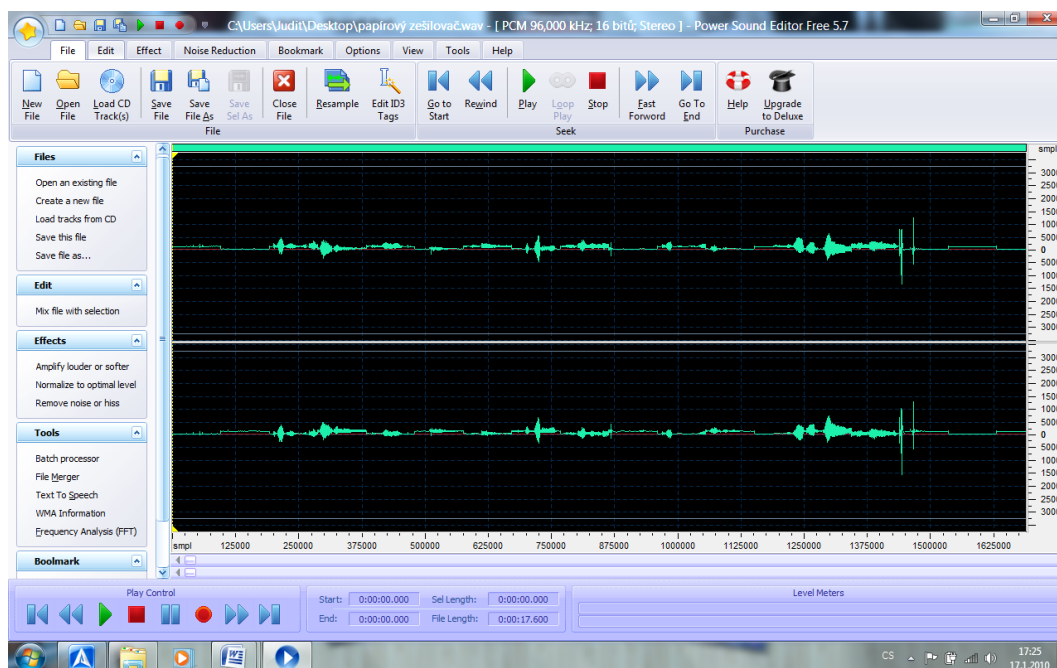


Obrázek 15.: pokus č.1 - pokus



Obrázek 13.: pokus č.1 - telefon

Obrázek 14.: pokus č.1 - kornout



Obrázek 12.: pokus č.1 - záznam frekvence

## Energie zvuku

Pomůcky: umělohmotný kelímek  
rulička z archu papíru A4  
tenký papír na přikrytí kelímku  
pružná blána

Postup: Vezmeme si umělohmotný kelímek, kde na vrch položíme velmi tenkou vrstvu papíru. Na straně kelímku vyřízneme menší otvor, do kterého zasuneme ruličku, vytvořenou z archu papíru A4. Na konec ruličky připevníme pružnou blánu (zde potravinářská folie). Na papírek nahoře nasypeme: a) hrubou mouku  
b) rýži

Závěr: Při hučení do papírové ruličky přes pružnou blánu pozorujeme, že se hrubá mouka po papíru povrchu začala posouvat a rýže se začala mírně chvět. Tímto pokusem jsme dokázaly energii zvuku.



Obrázek 17.: pokus č.2 - kelímek



Obrázek 19.: pokus č.2 - rulička



Obrázek 18.: pokus č.2 - mouka



Obrázek 16.: pokus č.2 - rýže



### Umělé hromobití

Pomůcky: provaz

Postup: Obě ruce si přiložíme k uším a asistent nám napříč kolem hlavy a uší omotá provaz, na který začne brnkat.

Závěr: Slyšíme velmi intenzivní zvuk podobný hromobití.

### Zhasínání svíček

Pomůcky: svíčka  
papírový kornout  
pružná blána  
sirky

Postup: Připravíme si obyčejnou svíčku a papírový kornout. Na rozšířenou stranu kornoutu připevníme pružnou blánu (v našem případě potravinářskou folii). Kornout přiložíme zúženým otvorem k plameni a před rozšířeným otvorem s blánou tleskneme. Závěr: Svíčka okamžitě zhasne.



Obrázek 23.: pokus č.4 - kornout



Obrázek 20.: pokus č.4 - svíčka



Obrázek 22.: pokus č.4 - pokus



Obrázek 21.: pokus č.4 - výsledek



## Lahve

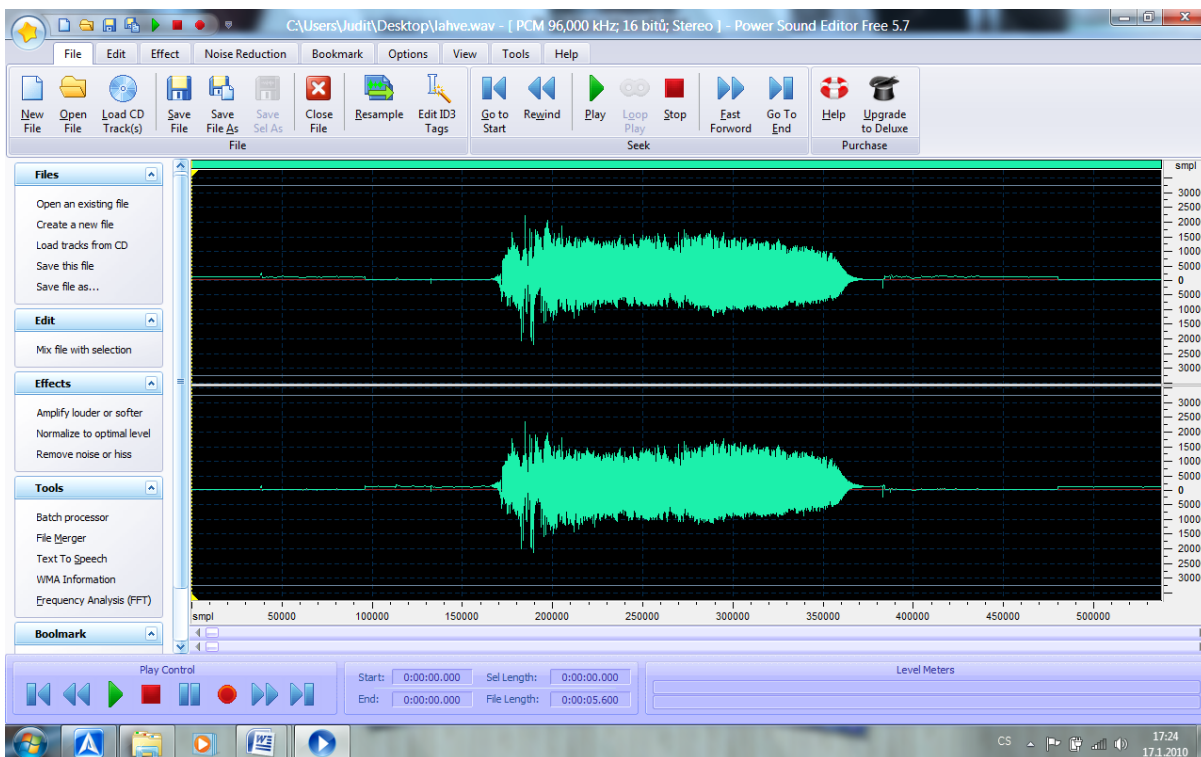
Pomůcky: 2 lahve od piva

Postup: Připravíme si 2 stejné lahve (např. lahve od piva). Jednu si přiložíme k uchu, do druhé náš asistent začne foukat tak, že bude vytvářet zvuk.

Závěr: Lahev u našeho ucha se začne chvět a asistentův zvuk uslyšíme mnohem intenzivněji. Tento fyzikální úkaz se nazývá rezonance:



Obrázek 25.: pokus č.5 - lahve



Obrázek 24.: pokus č.5 - záznam frekvence

## Domácí fonograf

Pomůcky: gramofonová deska  
tužka  
hladká podložka  
papírový kornout  
špendlík

Postup: Připravíme si starou gramofonovou desku a tužku, která bude přesně procházet středem desky. Tužku zasuneme přibližně 1 cm ostrouhaným hrotem směrem dolů a celou naši "káču" položíme na hladkou podložku. Dále si připravíme tenký rovný špendlík, jehož hlavičku zasadíme do papírového kornoutu. Desku kolem tužky roztočíme a špendlík k ní opatrně přiblížíme.

Závěr: Z trychtýře se, i když poněkud zkresleně, ozývá hudba:



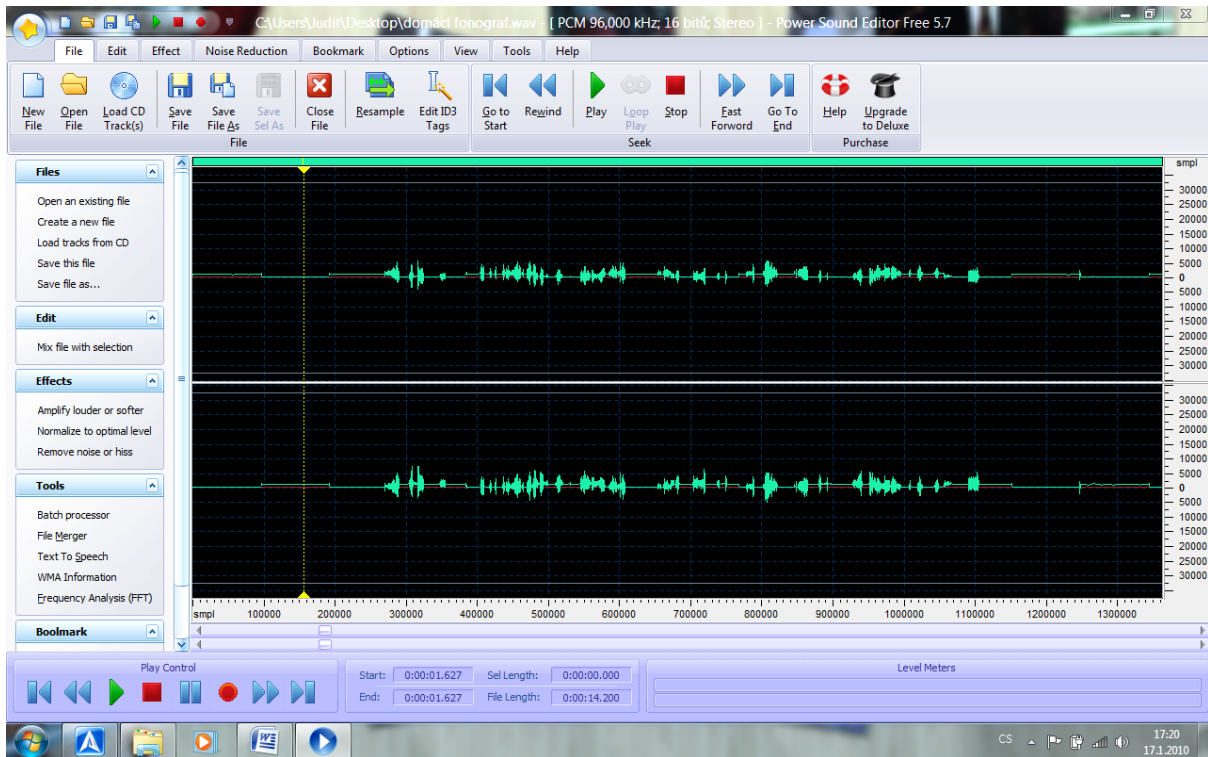
Obrázek 26.: pokus č.6 - špendlík v kornoutu



Obrázek 28.: pokus č.6 - tužka v desce



Obrázek 27.: pokus č.6 - pokus



Obrázek 29.: pokus č.6 - záznam frekvence

## Rezonance

Pomůcky: 2 stojany  
provázky o délkách 50 cm, 15 cm, 15 cm, 15 cm, 10 cm, 8 cm a 5 cm  
6 závaží

Postup: Mezi dva stojany (zde skleničky na šampaňské) napneme provázek o délce 50 cm. Na napnuté vlákno zavěsíme dalších 6 vláken o délkách 15 cm, 8 cm, 15 cm, 5 cm, 10 cm a 15 cm. Ke svislým provázkům připevníme nějakou zátěž (např. korálek). Šesté vlákno rozkýváme.

Závěr: Při rozkývání 6. vlákna pozorujeme, že vlákna 1 a 3 (vlákna se stejnou délkou) se začnou kývat spolu s ním:



Obrázek 30.: pokus č.7 - pokus

## Jak slyšet světlo

Pomůcky: zavařovací sklenice o objemu 0,75 l s víčkem  
svíčka  
sirky  
žárovka 50 W

Postup: Připravíme si prázdnou zavařovací sklenici o objemu 0,75 l a do jejího víčka vytvoříme otvor o průměru 3 mm. Pomocí zapálené svíčky půlku sklenice začerníme a půlku necháme čirou.

Dále si připravíme 50 W žárovku, napájenou ze sítě, kterou ozáříme čirou polovinu sklenice. Přiložíme ucho ke sklenici.

Závěr: Po přiložení ucha ke sklenici zřetelně uslyšíme hluboký bručivý zvuk. Černá vrstva světlo absorbuje a tepelná energie je vyzařována do okolí. Vzduch je zahříván v rytmu střídavého proudu procházejícího žárovkou. Změny teploty vedou ke změnám tlaku. Tak vzniká zvuk.



Obrázek 32.: pokus č.8 - sklenice



Obrázek 33.: pokus č.8 - svíčka



Obrázek 31.: pokus č.8 - žárovka

Ucho totiž spolu se sklenicí představuje fotoakustický měnič, jinými slovy reaguje na slabé fluktuační světelného proudu. Co naše oko vidí jako stejnosměrný světelný tok, naše ucho vnímá jako periodicky se měnící.



Obrázek 34.. pokus č.8 - připravená sklenice

## Měření rychlosti zvuku

### Třískání dřevy

Pomůcky: 2 prkénka  
stopky

Postup: Připravíme si 2 prkénka a stopky. Najdeme si klidnou ulici o délce 250 m. Postavíme se na začátek ulice, v každé ruce máme jedno dřívko. Náš asistent se postaví na konec ulice, v ruce se stopkami. Krátce třískneme dřevy nad hlavou. Jakmile náš asistent zpozoruje jejich dotyk, spustí stopky. V okamžiku, kdy prasknutí uslyší, stopky zastaví. Pokus vyžaduje klidné okolí a bezvětří. Můj pokus probíhal ve vzduchu o teplotě  $-10^{\circ}\text{C}$ . Měření zopakujeme několikrát, aby náš výsledek byl co nejpřesnější. Rychlost zvuku pak vypočítáme vzorcem:  $v = s \cdot t^{-1}$ , kde  $s$  je dráha a  $t$  naměřený čas.

Závěr: Rychlost zvuku ve vzduchu o teplotě  $-10^{\circ}\text{C}$  nám vyšla přibližně  $322 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Výsledek tedy odpovídá skutečné hodnotě rychlosti zvuku, která je za normálních podmínek ( $25^{\circ}\text{C}$ ) rovna  $346 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Tabulka 3 – Naměřené údaje rychlostí zvuku**

číslo měření	dráha [m]	čas [s]	rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
1	250	0,78	320
2	250	0,76	329
3	250	0,79	316
4	250	0,8	312
5	250	0,78	320
6	250	0,77	325
7	250	0,75	333

### Závěr

V závěru práce bych ráda shrnula veškeré výsledky svých experimentů. Pravděpodobně nejnáročnějším pokusem bylo měření rychlosti zvuku. Mohlo by se zdát, že úspěšné měření pokusu takového charakteru v domácích podmínkách je téměř nemožné, ukázalo se však, že jednoduché metody správný výsledek vůbec neovlivní a že při šikovnosti a postřehu se tento pokus dá bez problému provést.

Dalším úkolem bylo zjistit, zda je možné slyšet světlo. Tento pokus byl také velice úspěšný. Dokázali jsme ho díky průchodu světla začerněnou sklenicí. To v ní způsobilo změny teploty a rovněž vedlo ke změnám tlaku. Tyto změny pak bylo možno slyšet prostřednictvím hlubokých bručivých zvuků.

Velice zajímavý byl pokus dokazující rezonanci. Při rozkývání jednoho z provázků se začaly pohybovat jen ty s autentickou délkou. Ostatní zůstaly zcela bez pohnutí.

Na první pohled neuvěřitelným byl experiment se špendlíkem a gramofonovou deskou. Při správném nasměrování desky se však pokus opět zdařil a z kornoutu se skutečně začala ozývat hudba.

Díky pružné bláně (v našem případě potravinářské folii) jsme mohli dokázat energii zvuku a to hned ve dvou pokusech. V prvním jsme pomocí energie z tlesknutí zhasli svíčku, ve druhém jsme hučením rozpohybovali hrubou mouku i rýži. Nakonec jsme si ještě kornoutkem mohli zesílit či zeslabit oblíbenou písničku, zahrát si na lahve a poslechnout si skutečně věrohodné hromobití.



## Seznam použité literatury a zdrojů

1. Tarábek, P. (2006). *Odmaturuj z fyziky*. Brno: Didaktis, s r.o. ISBN 80-7358-056-6
2. Farndon, J. (1999). *Encyklopedie do kapsy*. Praha: Ottovo nakladatelství, s.r.o. ISBN 80-7181-345-1
3. Collins, H. (2007). *Rozum v kapse*. Ostrava: Matys. ISBN 80-8088-064-6
4. Svobodová, H. (2000). *Velká všeobecná dětská encyklopedie*. Praha: Svojtka a Co. ISBN 80-7237-258-0
5. Holubová, R. (2002). *kdf.mff.cuni.cz*. Retrieved from [http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh\\_07/07\\_05\\_Holubova.html](http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_07/07_05_Holubova.html)
6. Dvořák, L. (2007). *kdf.mff.cuni.cz*. Retrieved from [http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh\\_12/12\\_21\\_Dvorak.html](http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_12/12_21_Dvorak.html)
7. Pastorius (2003. červenec 9.). *cs.wikipedia.org*. Retrieved from <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>
8. Kotrč, P. (2005. srpen 22.). *cs.wikipedia.org*. Retrieved from [http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost\\_zvuku](http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost_zvuku)
9. Janoušek, V. (2007. srpen 4.). *iabc.cz*. Retrieved from <http://www.iabc.cz/clanek/priroda/7907/slysi-neslysitelne-zvirata-pouzivaji-sonary.html>

