

FREKVENČNÁ ANALÝZA ZVUKOV

Peter Hockicko ^{a)}

*a) Katedra fyziky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita, Univerzitná 8215/1, 010 26
Žilina, Slovensko
hockicko@fyzika.uniza.sk
<http://hockicko.uniza.sk>, <http://duef.uniza.sk>*

Abstract: The Children's university at the University of Žilina endeavours to conduce to solving a particularly important public problem – the increase of education level of the nation with emphasis especially on the young generation to show the research and development importance for the future improvement of the society. In this paper we demonstrate, how we can use the frequency analysis for the demonstration and the motivation of the study of Physics (especially Acoustics) at every level of the school system. The computer analysis of recorded sounds enables us to collect some interesting physical information for children on the one hand, and for the students on the other hand. Using this analysis, the frequency characteristics of human and animal sounds can be determined.

1 Úvod

Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v tomto roku zorganizovala už štvrtý ročník Žilinskej detskej univerzity (ŽDU) v Žiline a tretí ročník v Liptovskom Mikuláši. Jej hlavným cieľom je popularizovať prírodovedné a technické predmety pre deti základných škôl, a tak eliminovať rešpekt pred matematikou a fyzikou, pričom snahou je taktiež poukázať na prepojenie aplikácií výtvarných týchto vied v našom každodennom živote.

Fyzika je jednou z oblastí, ktorá pomáha študentom už od mladého veku znovuobjavovať zákonitosti, na základe ktorých dnes funguje nespočetné množstvo prístrojov. Je veľa vecí okolo nás, ktoré používame, pričom princíp ich činností niektorým z nás nie je známy. Jednou z možností, ako zaujať a zanietiť deti pre vedu a techniku už v mladom školskom veku je ozrejmiť im princíp činností prístrojov, s ktorými sa stretávajú, na ich vedomostnej úrovni a dať im aspoň na chvíľu možnosť stať sa vedcami, aby mohli objavovať a skúmať ďalšie možnosti prístrojov a javov, na základe ktorých dané stroje pracujú.

Frekvenčná analýza zvukov je vhodnou metódou pre motiváciu a rozvoj manuálnych zručností a intelektuálnych spôsobilostí študentov už od mladšieho školského veku, pričom postupným získavaním vedomostí z fyziky (prípadne akustiky) a rozšírením si matematického aparátu je možné túto metódu využívať aj vo vysokoškolských kurzoch (napr. v predmete Elektroakustika) [1].

2 Grafické znázornenie zvuku

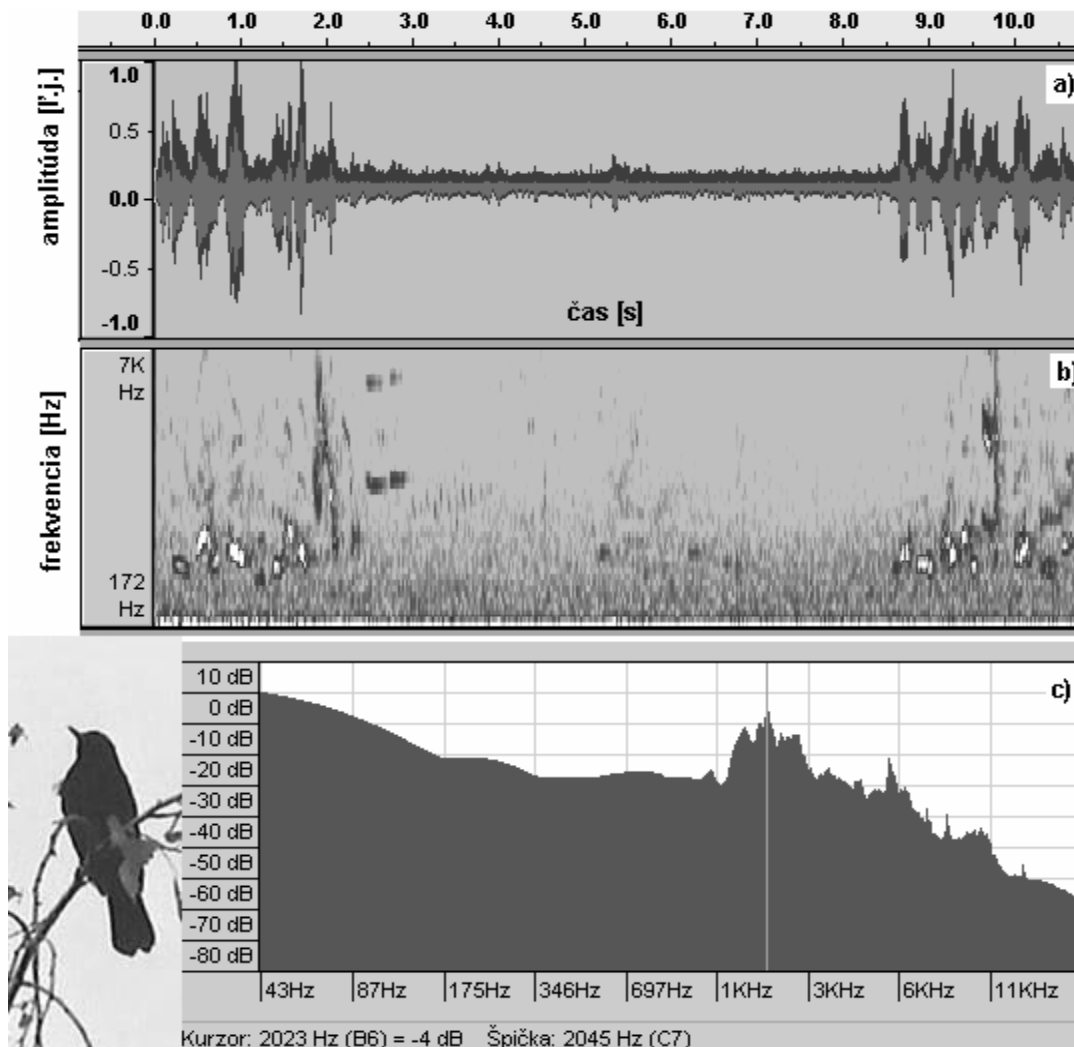
Okolo roku 1940 sa skupina vedcov rozhodla rozvíjať metódu pre lepšie zviditeľnenie a pochopenie detailov reči. Oscilogramy boli úspešne použité pre štúdium zvukov hmyzu, avšak nie veľmi úspešné pre komplexnejšiu frekvenčnú analýzu spevu vtákov a ľudskej reči. O niekoľko rokov sa zvukový spektrogram reči stal základným nástrojom lingvistov [2].

V dnešnej dobe, kedy do školstva prenikajú moderné informačné a komunikačné technológie, internet sa stáva samozrejmosťou v školách, na pracoviskách a v domácnostiach, je možné využitím týchto nástrojov realizovať analýzu zvukov aj v zjednodušených či už školských alebo domácich podmienkach. Veľmi užitočnou pomôckou pre jednoduchú analýzu zvukov pre učiteľov a študentov na školách môžu byť programy voľne dostupné na internete. Pre

našu analýzu s použitím počítača, mikrofónu a reproduktorov využívame voľne prístupný program Audacity [3].

Pre vizualizáciu zvukov sa zvyčajne využívajú tri typy grafov [2]. Tieto grafy sú ilustrované na nasledujúcom obrázku 1, ktorý pozostáva z grafov a), b), c), ktoré predstavujú záznam toho istého zvuku zvierat'a. Prvý graf a) predstavuje fluktuáciu intenzity zvuku v čase – tvar amplitúdy vlny – *oscilogram*. X-ová os reprezentuje čas, zatiaľ čo hlasitosť je vyjadrená vo výške špičky nad alebo pod časovou osou. Zvyčajne y-ová os reprezentuje relatívnu amplitúdu. Najhlasnejší zvuk dosahuje maximálne zvýšenie na grafe.

Ďalší graf (b) je nazývaný *sonogram*. Sonogram zahŕňa informáciu o výške alebo presnejšie o frekvencii zvuku. X-ová os reprezentuje čas, y-ová frekvenciu, nízkofrekvenčné zvuky sa nachádzajú blízko základnej čiary, vysokofrekvenčné zvuky sú vyššie. Frekvencie spevavých vtákov sa zvyčajne nachádzajú v rozmedzí 500 až 10 000 Hz. Vo frekvenčno-časovom grafe informácia o amplitúde je znázornená tmavou farbou v stupňoch sivej, pričom čierna odráža frekvencie s najvyššími amplitúdami. Tieto stupne sivej často zanikajú pri tlači, pričom sú nahradené čierno-bielou verziou. Preto vo viacerých počítačových programoch sú stupne sivej nahradené farebnou škálou.



Obrázok 1. Drozd čierny (*Turdus merula*, *Kos čierný*, *Eurasian Blackbird*). Oscilogram (a), sonogram (b) a spektrogram (c) zvukového záznamu, pomocou ktorého bola určená ako dominantná frekvencia 2045 Hz.

Ak by sme jednotlivé harmonické zložky znázornili radou zvislých úsečiek, ktorých vodorovné vzdialenosti by udávali kmitočty a ktorých veľkosti by boli úmerné amplitúdam, dostali by sme tzv. *frekvenčné spektrum*. Tretí graf (c) predstavuje *spektrogram*, ktorý znázorňuje amplitúdu versus frekvencia, buď pre celý zaznamenaný zvuk alebo len pre označený segment zvuku. Neperiodické deje charakterizuje spojité spektrum, ktoré sa vyznačuje tým, že spektrálne čiary vyplňujú spojitě buďto celý frekvenčný obor alebo len niektoré jeho časti. Získané spektrum, ktoré číselne udáva amplitúdu pripadajúcu na frekvenčné pásmo o šírke 1 Hz vyjadruje *spektrálnu hustotu amplitúd* spojitého frekvenčného spektra.

3 Matematický aparát frekvenčnej analýzy

Pri akustických meraniach sa častokrát prispôbujeme logaritmickému charakteru sluchu, keď pracujeme s tzv. *hladinou akustického tlaku* podľa vzťahu $20 \log(\delta p / \delta p_0)$, kde δp predstavuje efektívnu hodnotu meranej amplitúdy tlaku a $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ je prahová hodnota akustického tlaku zodpovedajúca prahovej intenzite tónu s frekvenciou 1 kHz. Ako jednotku používame *decibel (dB)*.

Pri frekvenčnej analýze využívame tú vlastnosť, že ľubovoľný periodicky sa opakujúci dej možno rozložiť na súčet harmonických priebehov, ktorých frekvencie sú celočíselnými násobkami frekvencie periodického deja. Neperiodickú funkciu f definovanú na intervale $(-\infty, \infty)$ však trigonometrickým radom vyjadriť nemožno, avšak pri skonštruovaní periodického rozšírenia je možné urobiť rozvoj neperiodickej funkcie na ohraničenom intervale do Fourierovho radu. Periodický signál môže byť opísaný ako funkcia spojitého signálu v istom časovom intervale $(0, T)$ alebo diskretnými hodnotami $g(0), g(1), \dots, g(N-1)$, kde N je počet diskretných vzoriek. Ak sa bude získaný súbor diskretných hodnôt $g(n)$ nekonečne opakovať, možno považovať analyzovaný signál za periodický. Amplitúdy jednotlivých harmonických zložiek analyzovaného signálu určíme podľa vzťahu:

$$G(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} g(n) \exp\left(-j \frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (1)$$

Daný vzťah určuje postupnosť koeficientov, ktoré reprezentujú *Diskretnu Fourierovu transformáciu (DFT)* analyzovaného signálu [1,4]. Pre väčší počet vzoriek N sa výpočet koeficientov DFT stáva náročný na čas (N^2 násobení), a preto sa stále častejšie používa *Rýchla Fourierova transformácia (FFT) (Fast Fourier Transformation)*, pri ktorej je počet vzoriek N celou mocninou dvoch, pričom to nám do značnej miery skráti čas pre určenie koeficientov FFT ($N \log_2 N$ násobení).

Nami vyšetrované vstupné súbory sú v zvukovom formáte wav. Zosnímané dáta predstavujú okamžité hodnoty akustického tlaku v určitom čase. Program Audacity pracuje so vzorkovacou frekvenciou 44 100 Hz, pričom využitím FFT môžeme pri frekvenčnej analýze pracovať s $N = 128 - 16\,384$ vzorkami (pri našej analýze (obr. 1c) $N = 1024$).

4 Realizácia frekvenčnej analýzy v rámci ŽDU

Frekvenčnú analýzu zvukov (zvierat alebo ľudského hlasu) možno podľa Bloomovej taxonómie poznávacích cieľov [5] riešiť na rôznych úrovniach. Nasledujúci obrázok číslo 2 zachytáva pri takejto analýze na najjednoduchšej úrovni (znalosť, vedomosť) s využitím počítača, mikrofónu a reproduktorov žiakov zo základných škôl, ktorí si takúto analýzu mohli vyskúšať v rámci Žilinskej detskej univerzity 2008 v Liptovskom Mikuláši.



Obrázok 2. Realizácia frekvenčnej analýzy zvukov žiakmi základných škôl v rámci ŽDU

Ako vyplynulo z dotazníkov, ktoré vyplňali deti po absolvovaní letnej aktivity ŽDU [6], deti by chceli na základných školách, aby vyučovacie hodiny boli vedené viac hravou formou, malo by byť prezentovaných viac praktických ukážok a experimentov, využívanie modelov, simulácií, videosekvencií, viac pokusov v laboratóriách určených pre vlastnú aktivitu žiakov.

5 Závery

Rozvoj tvorivosti v mladšom školskom veku, realizovanie vlastných nápadov už na základných školách môže podnietiť žiakov a neskôr aj študentov ku kreatívnemu riešeniu fyzikálnych a technických úloh na vysokých školách a neskôr aj v praxi.

Ako veľmi efektívne sa ukazuje riešenie problémov, ktoré zaťažia čo najviac ich zmyslov. Podľa J. A. Komenského: „...ak sa niečo môže vnímať naraz viacerými zmyslami, nech sa to predloží viacerým zmyslom. A teda veci viditeľné zraku, počuteľné sluchu, voňajúce čuchu, ochutnateľné chuti a hmatateľné hmatu.“ Len tak možno pri štúdiu fyziky naplniť vzdelávací cieľ, aby názorné vyučovanie čo najviac vplývalo na rozvoj manuálnych zručností a intelektuálnych spôsobilostí žiakov potrebných pre ich ďalšie uplatnenie v praxi. Frekvenčná analýza zvukov môže byť v tomto smere vhodnou nápomocnou činnosťou.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. LPP-0195-07.

Odvolávky

- [1] Hockicko, P., Jurečka, S. (2007): Frequency Analysis of Sound of Animals. Proceedings of the conference New Trends in Physics NTF 2007, Brno, 300-303
- [2] Marler, P., Slabbekoorn, H. (2004): Nature's Music The Science of Birdsong, Elsevier
- [3] Odvolávka na webovú stránku Audacity: <http://audacity.sourceforge.net/>
- [4] Randall, R. B. (1987): Frequency Analysis, Brüel & Kjær
- [5] Hockicko, P. (2008): Interaktívne riešenie fyzikálnych úloh využitím dostupných webovských aplikácií. Zborník príspevkov z E-learn 08, Žilina, 66 -71
- [6] Tarjányiová, G., Hockicko, P. (2006): Detská univerzita EF ŽU 2005 z pohľadu detí, rodičov a pedagógov, Matematika Informatika Fyzika (28) XV. ročník, Metodicko-pedagogické centrum Prešov, 117-122