

## STUDUJEME ZVUK POMOCÍ POČÍTAČE – JEDNODUŠE, NÁZORNĚ A S MINIMEM NÁKLADŮ

Leoš Dvořák

### *Abstract*

*The article presents some possibilities how a physics teacher can use freeware and shareware programs (Winscope and Cool Edit) with (even rather old-fashioned) PC and a cheap microphone to visualise sounds and to demonstrate and study some interesting properties of sound and its propagation.*

### Úvod –aneb o jednom módním termínu...

Při úvahách, jak zlepšit a zatraktivnit experimenty při výuce fyziky, se v posledních letech stal oblíbeným termín „**low-cost, high-tech**“. Tedy pokusy s co nejnižšími náklady, ale zároveň s využitím pokročilých technologií, které nás v moderním světě obklopují.

Což o to, pokusy s jednoduchými pomůckami mají ve výuce fyziky již tradici – a jednoduché pomůcky znamenají obvykle minimum nákladů. Další výhodou jednoduchých pomůcek je názornost. Do uspořádání pokusu „je vidět“, není to nějaká kryptická „černá skříňka“. A navíc si příslušné pomůcky mohou zhotovit a pokusy realizovat sami žáci a studenti.

O tyto výhody bychom neradi přišli, i když do věci zapojíme ono „high-tech“. A to nás přivádí k využití počítače. I to nejobyčejnější PC je určitě produktem vysoce pokročilých technologií – a na druhou stranu se dnes už na počítač můžeme dívat jako na jednoduchou pomůcku. A takto, jako na běžný nástroj a pomůcku, se zřejmě už dnes na počítače dívá i většina žáků a studentů. Samozřejmě, počítač není úplně „low-cost“ (i když, oproti cenám z dob počátků konference Poškole...), ale nepochybně je dnes na většině škol výrazně dostupnější než třeba osciloskop. Nemluvě o tom, kdyby chtěl některý ze studentů „pokusničit“ doma.

Takže cenu počítače ze svých úvah škrtneme. Bude nám ostatně stačit i starší PC s velmi lacinou zvukovou kartou. A zbývající náklady už jsou skutečně minimální. Nějaký mikrofon k počítači řada uživatelů má, jinak stačí koupit malý elektretový mikrofon (typ MCE100 je za 15 Kč, viz [1]), připájet k němu kus stíněného kablíku a na jeho konec „mono“ konektor pro připojení do mikrofonního vstupu zvukové karty. Dostaneme se tak k nákladům zhruba ve výši 1 Euro (abychom byli „evropští“ :-), což lze snad opravdu označit za „low-cost“.

Přesto se s tímto „železem“ doplněným programy z kategorie freeware a shareware dá dělat – konkrétně při studiu a demonstraci vlastností zvuku – mnoho zajímavého.

### Winscope a Cool Edit – dva užitečné programy

O programech, které při studiu zvuku použijeme, a o některých možnostech jejich využití jsem se už zmiňoval v příspěvku [2]; zde proto připomenu jen základní informace.

*Winscope*, neboli *Oscilloscope for Windows*, je již více než 5 let starý freewarový program K. Zel'doviče (viz [3]). Navzdory tomu je velice užitečnou pomůckou, která umí mnohem víc, než bychom od programu v délce pouhých 92 kB (!) čekali. Z PC se zvukovou kartou dělá jednoduchý jedno- nebo dvoukanálový osciloskop s frekvenčním rozsahem 20 Hz až 20 kHz (vzorkovací frekvence jsou 11025, 22050 nebo 44100 Hz). Má sice pouze osmibitové

rozlišení a pevnou velikost okénka, ale pro většinu pokusů z oblasti akustiky na školách s přehledem vyhoví. Signál lze zobrazit v režimu „real-time“ nebo fixovat momentálně sejmутý průběh (v délce 50 ms). Při prohlížení „pozastaveného“ signálu lze měnit zesílení, nastavovat „časovou základnu“ (tj. délku zobrazeného časového intervalu), měřit čas mezi zvolenými body na obrazovce apod. Kromě uvedených režimů je k dispozici je i režim WAIT umožňující zobrazit jednorázový zvuk.

Winscope nás nezklame, ani když chceme zobrazit spektrum snímaného signálu. Nejenže lze na zobrazení spektra přepnout v pozastavení, ale tento režim funguje i jako „real-time“. (Můžete třeba měnit výšku tónu píšťaly nebo barvu hlasu a na obrazovce rovnou sledovat rozložení a změny frekvencí.) Při pozastavení můžeme měřit frekvenci, na níž ukazuje kurzor. Takto lze například demonstrovat, že vyšší harmonické jsou opravdu násobky základní frekvence – nebo naopak, že třeba v případě kmitajících tyčí nebo membrán se vyskytují frekvence, které nejsou v poměru malých celých čísel.

Winscope byl ověřován pod operačními systémy Windows 98 a Windows 2000 a s různými levnými zvukovými kartami. Podle údajů svého autora funguje již pod Windows 95 na PC s procesorem 486. Problémem může být spolupráce s dražšími (vícekanálovými) zvukovými kartami – zde se bohužel projevuje skutečnost, že autor svůj program dále nevyvíjel. Ovšem lze předpokládat, že s počítačovým vybavením dostupným na školách, může tento program ještě nějakou dobu velmi dobře sloužit.

Winscope je díky laskavosti svého autora pro české uživatele možno stáhnout i ze stránek českého serveru FyzWeb – viz [4]. Pro jeho použití dodejme jen ještě jednu praktickou radu: Na začátku práce si v menu v položce *Options/Timing* nastavte *Refresh* na nižší hodnotu (osvědčuje se 50 ms) a zaškrtněte volbu *Disable warning*. Toto nastavení pak uložte volbou *Options/Save Setup*. Zobrazení průběhu signálu pak bude „svižnější“ a plynulejší.

Program *Cool Edit 2000* zde asi detailně představovat nemusíme. V komunitě „lidí od počítačů“ je již dostatečně známý, byť bývá zmiňován spíše v souvislosti s nahráváním hudby z gramofonových desek – viz např. [5]. Není tedy ani nutno zvlášť zdůrazňovat, že jde o shareware (registrace prostřednictvím jedné české firmy vyšla na 3 tisíce Kč) ani detailně popisovat celou plejádu jeho možností. (Učitel, který chce tento program využít ve výuce, se je naštěstí nemusí snažit zvládnout všechny – to by na jejich zkoumání mohl „strávit mládí“.)

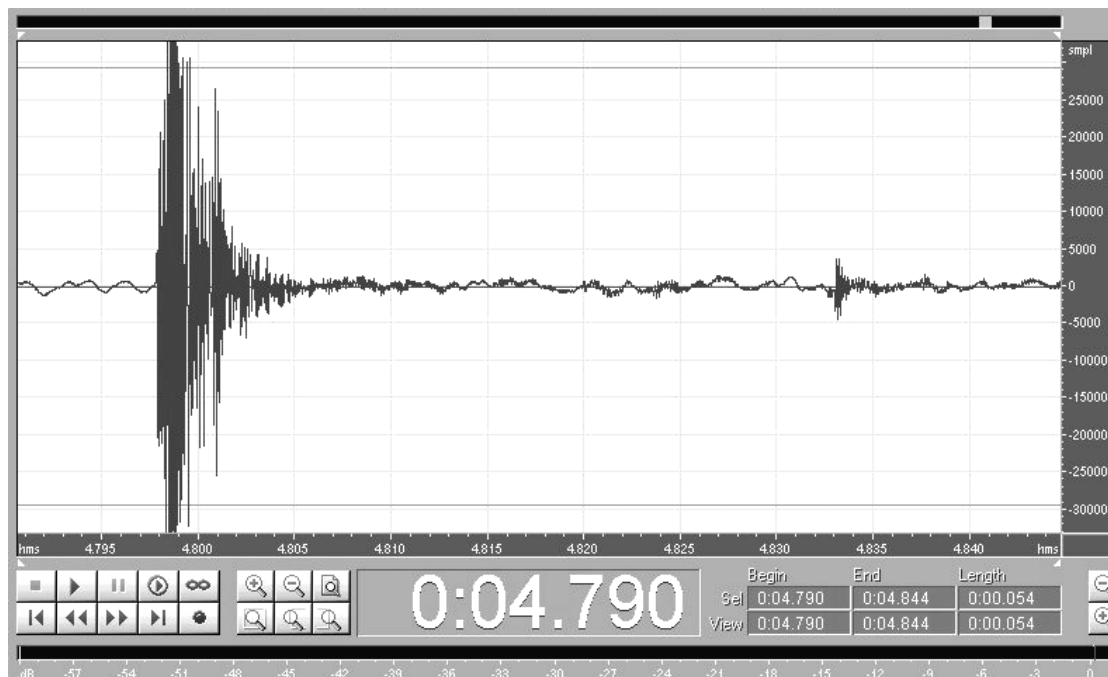
Výhodou pro použití ve škole je právě skutečnost, že jde o shareware, takže prvních 30 dnů po stažení z adresy výrobce [6] můžete *Cool Edit 2000* legálně užívat zdarma a jen s minimálními omezeními. (Pak sice program funguje i nadále, ale není možno nahrané event. upravené signály ukládat na disk.)

*Cool Edit 2000* je skutečně vynikající pomůckou. (Doufám, že mu zde tím nedělám „nekalou reklamu“; rozhodně na tom nemám žádný finanční ani jiný, skrytý ani zjevný zájem.) Jeho užití bude ovšem trochu jiné než v případě výše popisovaného programu Winscope. *Cool Edit* nedělá z počítače osciloskop. Signál musíme nahrát a až následně jej můžeme prohlížet, analyzovat a upravovat. Zato máme možnost nahrát (prakticky) libovolně dlouhý signál a pohodlně tak studovat např. odrazy zvuku, dozvuk apod. Pokud chceme, můžeme signál upravovat řadou různých způsobů – až po přímou editaci jednotlivých sejmутých hodnot. I tuto možnost využití dále stručně ukážeme.

### **Příklad použití: dva způsoby měření rychlosti zvuku**

Podívejme se teď na některé možnosti využití zmíněných programů. Prvním úkolem, který si dáme, je určit rychlost zvuku.

Asi nejjednodušší je pro studenty vyjít přímo z definice rychlosti: je to dráha dělená časem, za nějž zvuk tuto dráhu urazí. Toto měření se dá sice dělat i zcela „nepočítačově“ (pomocník na louce pár set metrů od vás „třískne“ nad hlavou dvěma dřevy a vy stopkami změříte čas mezi tím, když „třísknutí“ uvidíte a uslyšíte), výsledky však nejsou moc přesné. Počítač nám umožní udělat podobný pokus v menší prostoru. Využijeme-li ozvěny, vystačíme přitom s jediným mikrofonem. Ten sejme jak původní zvuk, tak zvuk odražený od několik metrů vzdálené stěny. Obrázek 1 ukazuje jedno z takovýchto měření prováděné studenty středních škol na Letním MF soustředění pro středoškoláky – viz [7].

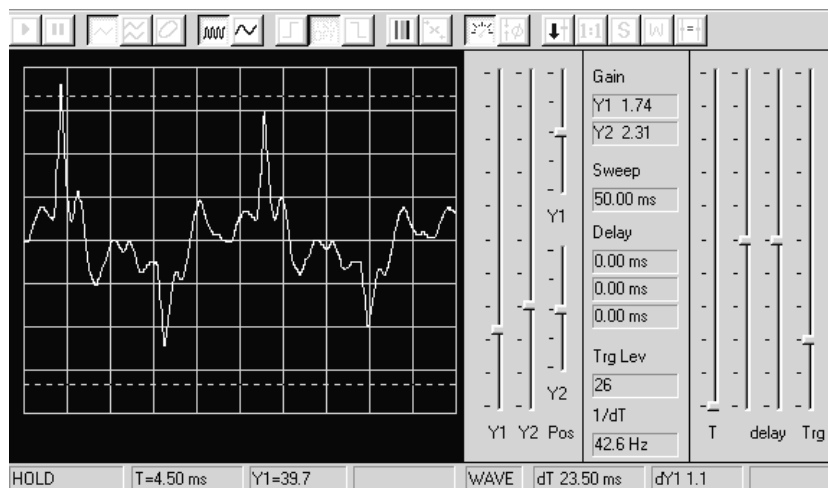


Obr. 1: Odraz zvuku na 6 metrů vzdálené zdi – nahráno a zobrazeno programem Cool Edit

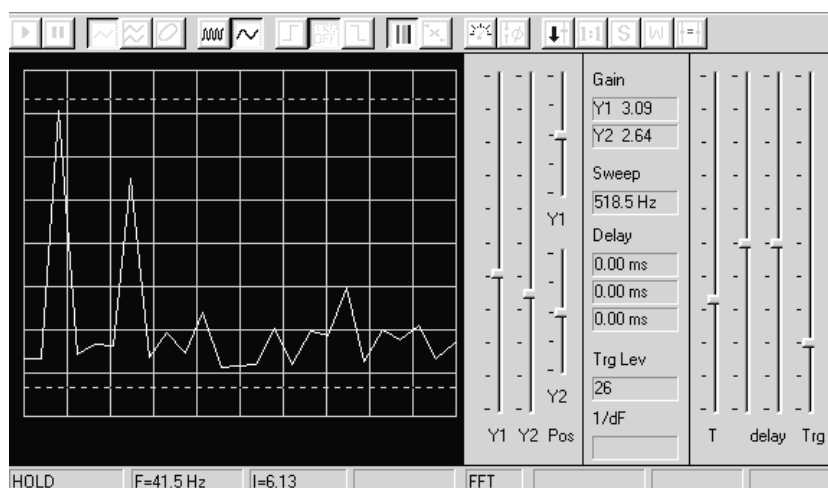
(Poznámka k praktickému provedení: Odražený zvuk se vrátí za několik desítek milisekund. Aby se dal pokus dobře vyhodnotit, nesmí se odražený zvuk „utopit“ v původním zvuku. Úder dřev o sebe zní pro daný účel až příliš dlouho. Potřebujeme zkrátka dostatečně „ostrý“ zvuk, který se rychle utlumí. Osvědčilo se tlučnout o sebe např. dvěma lžičkami, které držíme v prstech a tak jejich doznívání tlumíme.)

Jinou možností, jak změřit rychlost zvuku  $v$ , je využít vztahu spojujícího vlnovou délku  $\lambda$  a frekvenci zvuku  $f$ :  $v = f \cdot \lambda$ . Zvuk budeme budít píšťalou, která je na jednom konci otevřená a na druhém uzavřená. Délka takové píšťaly je rovna  $\lambda/4$ , frekvenci změříme např. programem *Winscope*.

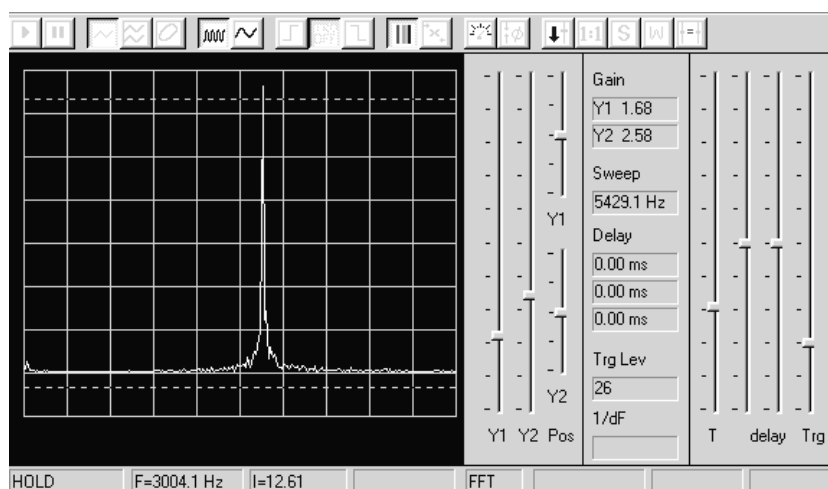
Píšťalu nemusíme nijak složitě vyrábět. Kus zahradní hadice poslouží jako hrubý model australského domorodého nástroje „didgeridoo“ a s trochou cviku se z něj dá vyloudit zajímavý bručivý zvuk. Jak ukazuje obr. 2, nejde v žádném případě o sinusový signál – ale v zobrazení časového průběhu můžeme přesto vcelku pohodlně změřit periodu nebo přepnout do zobrazení frekvencí (viz obr. 3) a určit základní frekvenci kmitů. (Zde můžeme např. také ověřit, že první vyšší frekvencí je ve shodě s teorií až třetí harmonická.) Vlnová délka zvuku je čtyřnásobkem délky hadice – po vynásobení frekvencí dostaneme zhruba 340 m/s, což dobře odpovídá tabulkové hodnotě. Nemáme-li zahradní hadici, můžeme pískat např. na uzávěr od fixu – spektrum ukazuje obr. 4.



Obr. 2: Záznam zvuku „didgeridoo“ (z 2m zahradní hadice) pomocí programu Winscope. (Časový průběh signálu; vpravo dole je vidět změřenou dobu  $dT$  mezi dvěma „píky“ signálu – tedy změřenou periodu signálu.) Vlnová délka daného zvuku je 8 metrů.



Obr. 3: Spektrum signálu z obr.2. Je vidět, že rozlišení nízkých frekvencí je dosti hrubé – přesto lze po najetí kurzoru myši (na obrázku není vidět) na první „pík“ zleva s rozumnou přesností změřit základní frekvenci signálu.



Obr. 4: Spektrum zvuku – pískání na uzávěr od fixu. Vlnová délka daného zvuku je necelých 12 cm.

## Další možnosti

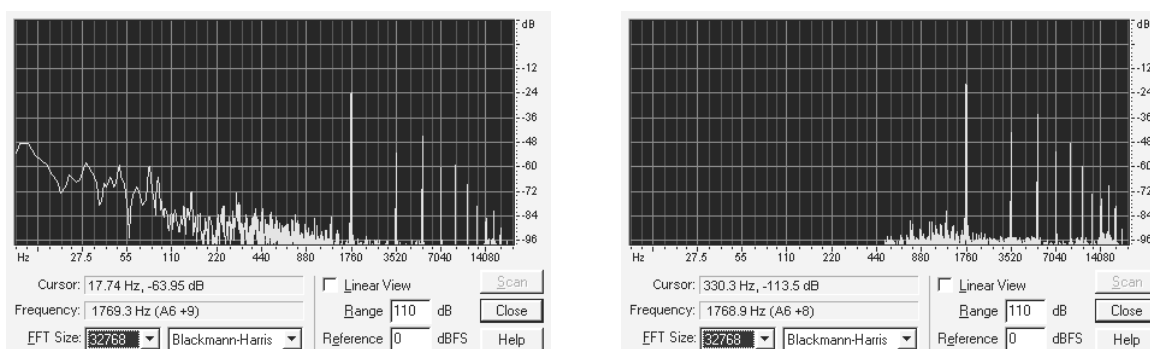
V příspěvku [2] jsou stručně popsány další možnosti: například ukázka spektra zvuku kytary, demonstrace dozvuku v různých místnostech, zkoumání rezonance, zviditelňování časového průběhu zvuku při vyslovování různých hlásek. (Například samohláska „ú“ má výrazně menší obsah vyšších harmonických než třeba „á“. Samozřejmě záleží na mluvčím či na zpěvákovi – je zajímavé porovnat spektrum školeného hlasu se spektrem hlasu nás ostatních.)

Příkladů experimentů a jejich variant by bylo mnoho a přesáhly by rozsah tohoto příspěvku. (Snad se povede alespoň některé časem blíže popsat na webu.) Nahráním a analýzou ovšem ještě možnosti zejména programu *Cool Edit* nejsou vyčerpány. Leckdy se hodí mít možnost zvuk upravit.

## „Čistíme zvuk“ – aneb co dělat, když nahrajete kmity tyčí v zašuměném prostředí

*Cool Edit 2000* se velice dobře hodí pro nahrávání zvuků, které chceme pro potřeby výuky prezentovat třeba na webu. Příkladem může být zvuk podélně kmitající skleněné tyče vybuzené třením kusem kůže. Nahrával jsem takto zvuky, které prezentoval B. Patč na loňské konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 7 (viz [8]). *Cool Edit* umožnil nahrát zvuk opakovaně, vybrat nejpovedenější případ, vymazat vše nepotřebné – práce byla velmi pohodlná.

Nevýhodou byla skutečnost, že jsme nahrávali v místnosti, kde současně běžel počítač. Hluk od větráku a dalších komponent byl v záznamu přece jen slyšet a projevil se i ve spektru frekvencí. Právě pohled na spektrum frekvencí naznačil řešení: odfiltrovat nízké frekvence. Výsledek ukazují obr. 5.



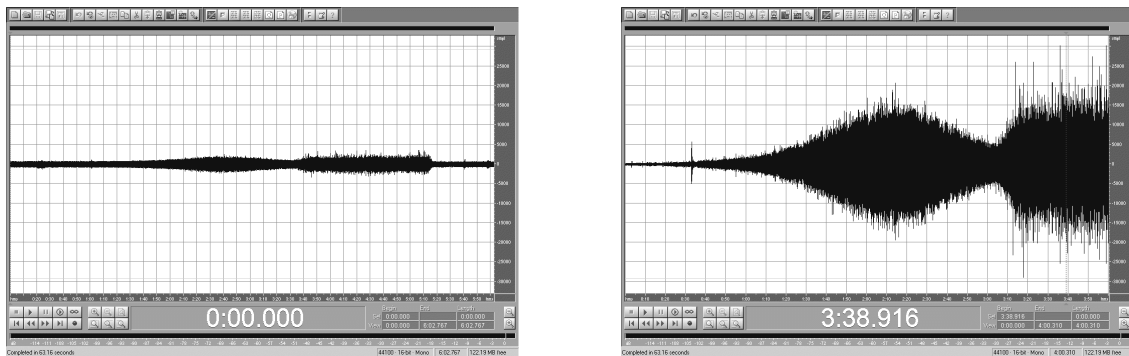
Obr.5: Spektrum podélných kmitů skleněné tyče před a po odfiltrování šumu v oblasti nízkých frekvencí. (Pozn.: Nejde o spektra „sejmutá“ v přesně stejném časovém okamžiku, takže amplitudy jednotlivých vyšších harmonických se mohou na obou obrázcích mírně odlišovat. Jak kmity doznívají, obsah vyšších harmonických klesá; základní tón zní velmi dlouho.)

## Ještě jeden příklad: zvuk vařící vody

Fáma praví, že programátoři se v časovém stresu udržují v kondici velkým množstvím kávy. Vezměme si proto jako další příklad ohřívání a var vody (třeba právě na tu javu – pardon, kávu).

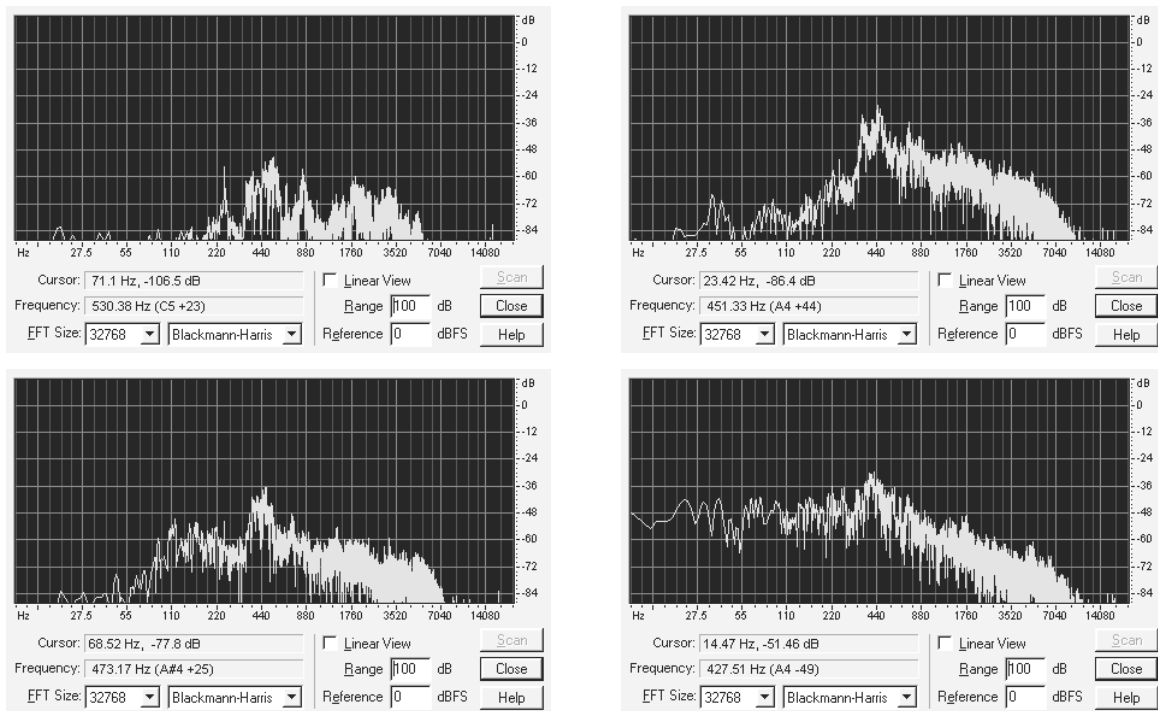
Každý jsme si jistě všimli, že voda ve varné konvici nejprve syčí „zvysoka“, pak postupně „hlubším hlasem“, těsně před vlastním varem se ztiší – a pak už bublá docela „zhluboka“. Souvisí to s velikostí bublinek v kapalině, ale to teď nebudeme diskutovat – nás zajímá, zda si lze toto subjektivní pozorování nějak „objektivně doložit“.

Samozřejmě, že lze – stačí zvuk vody ve varné konvici nahrát a podívat se na spektrum signálu. I zde byl *Cool Edit* dobrým pomocníkem. Umožnil původní signál lehce vyfiltrovat od „brumu“ 50 Hz, zesílit a oříznout nepotřebný začátek a konec.



Obr. 6: Původní a upravený záznam zvuku ohřívání a vařící se vody.

Spektra signálu v různých fázích ohřevu nám pak potvrdí, že se naše uši nemýlily:



Obr. 7: Spektrum zvuku (postupně z levého horního do pravého dolního rohu): v začátcích ohřevu, při maximálním sykotu, při ztišení před začátkem varu, při varu.

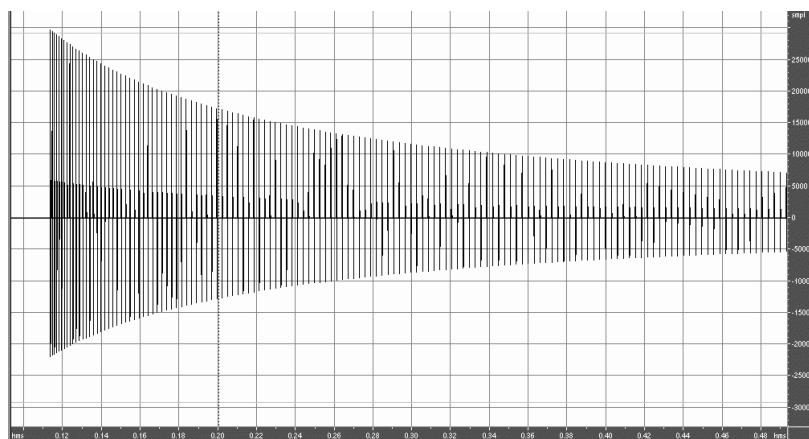
### Na konec trocha generování zvuku: schodiště starých Mayů a pták Quetzal

*Cool Edit* se osvědčil i při jiné příležitosti. Byl jsem požádán, abych zkusil vysvětlit, proč třesnutí dvěma kameny u schodiště mayské pyramidy v Chichén Itzá dá ozvěnu, která údajně imituje hlas posvátného ptáka Quetzala. Ozvěna tam prý dává zvuk o klesající výšce. A prý to souvisí s tím, že vzdálenost jednotlivých schodů od nás roste nejprve pomaleji a ve vyšších částech schodiště již rychleji (protože pak jde o vzdálenost v šikmém směru).

Poté, co jsem si lámal hlavu, jak by ozvěna mohla měnit frekvenci odraženého zvuku (což nemůže, pokud je odrazejí stěna v klidu) jsem přece jen na základě analogie s Dopplerovým

jevem dostal nápad, že nejde ani tak o frekvenci původního zvuku, jako o frekvenci, s níž k nám přicházejí odrazy od různých schodů. Tato frekvence se bude snižovat. Může to však při odrazu od pár desítek schodů dát zmíněný slyšitelný efekt?

A právě zde pomohl *Cool Edit*. Nejprve to sice znamenalo dosti otrockou práci: „nakreslit“ si jednu „vlnku“, která modeluje počáteční třesnutí, a tuhle vlnku pak „hrubou silou“ kopírovat do časů, v nichž by přicházely ozvěny. Poté, co první výsledky byly slibné, přišel navíc ke slovu starý (dobrý) Famulus, v němž již šlo snáze vygenerovat odrazy od různě strmých schodišť, vzít v úvahu pokles hlasitosti odrazů od vzdálenějších schodů a vůbec si s daným problémem „vyhrát“. A pomocí *CoolEditu* (který navíc umožnil, že generované soubory ve formátu wav nemusely mít hlavičku) si prohlédnout a přehrát výsledky. Až následně jsem pak dohledal původní (a velmi dobrý) zdroj informací [9]. Stojí za shlédnutí.



Obr. 8: Simulace efektu ozvěn od schodiště mayské pyramidy Kukulkana v Chichén Itzá

## Závěr

Nemáte chuť také si trochu zaexperimentovat s jednoduchým studiem zvuku pomocí počítače? Pokud ano, pak tento příspěvek splnil svůj účel. (A dáte-li mi vědět, co pěkného se vám povedlo, v čem jste vylepšili výše naznačené pokusy apod., budu rád.)

## Literatura:

- [1] Součástky pro elektroniku 2002. GM Electronic s.r.o., 2002, s. 240.
- [2] Dvořák L.: Studujeme zvuk na počítači i bez něj. In: Proceedings of ICTE 2002, ed. Mechlová E., Ostravská Univerzita 2002, s. 291-298
- [3] <http://polly.phys.msu.su/~zeld/oscill.html>
- [4] <http://fyzweb.mff.cuni.cz/dilna/osciloskop/osciloskop.htm>
- [5] Goldmann S., Zákostelný P.: Návrat starých desek. Chip No.10, 11 (2001), s.116-120
- [6] <http://www.syntrillium.com>
- [7] Dvořák L.: Pár věcí z tábora 4 – tentokrát o zvuku. In: Sborník příspěvků konference Veletrh nápadů učitelů fyziky VI, Ed. Lepil O., UP, Olomouc 2001, s. 32-38.
- [8] Patč B.: Chvění tyčí. In: Sborník příspěvků konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 7, Ed. Svoboda E., Dvořák L., Prometheus, Praha 2002, s. 47-48.
- [9] <http://www.ocasa.org/MayanPyramid.htm>

## Autor:

Doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc.

Katedra didaktiky fyziky, MFF UK Praha, Ke Karlovu 3, Praha 2, 121 16

[leos.dvorak@mff.cuni.cz](mailto:leos.dvorak@mff.cuni.cz)