

## Studujeme zvuk na počítači i bez něj

Leoš Dvořák  
KDF MFF UK  
Ke Karlovu 3  
121 16 Praha 2  
e-mail: Leos.Dvorak@mff.cuni.cz

### Abstrakt

Příspěvek se týká jednoduchých možností využití počítače při výuce fyziky v partiích týkajících se vlnění a akustiky na úrovni střední školy, v úvodních VŠ kurzech obecné fyziky a případně též v neformálním fyzikálním vzdělávání. Navzdory minimálním finančním nákladům (díky využití sharewareového programu CoolEdit resp. freewareového programu Winscope a běžné zvukové karty v počítači) lze s daným vybavením nejen kvalitativně demonstrovat řadu jevů, ale provádět i kvantitativní měření. Příkladem je měření rychlosti zvuku. Mnohá měření lze ovšem alternativně jednoduše změřit i bez počítače.

### Klíčová slova:

výuka fyziky, jednoduché pokusy, zvuk, využití freeware, osciloskop z počítače

### Úvod

Při výuce fyziky je v partiích týkajících se vlnění a akustiky často výhodné ukázat časový průběh daných kmitů či daného zvuku. K těmto účelům lze samozřejmě využít osciloskop. To ovšem není právě nejlevnější přístroj. Při použití starších přístrojů, které se leckdy vyskytují na školách, může být problém získat dostatečně kvalitní výsledky. K tomu přistupují problémy s malou velikostí obrazovky, někde možná i s připojením mikrofону apod. Nemluvě už o tom, že případný zájemce z řad studentů si příslušné pokusy těžko zopakuje doma – osciloskop k běžnému vybavení domácností přece jen nepatří.

Počítač již k běžnému vybavení patřit začíná – i na normálních školách už je nebo brzy bude podstatně dostupnější, než osciloskop. Navíc jak pro demonstrační účely, tak pro měření, nabízí podstatně širší možnosti než běžné osciloscropy.

Jednou z možností, jak použít počítač při studiu zvuku, jsou specializované školní měřicí systémy jako IP-Coach [1] nebo na našich školách široce rozšířený ISES [2]. V tomto příspěvku však chceme upozornit na možnost využívat běžný hardware dostupný dnes na většině počítačů: normální zvukovou kartu ve spojení s běžným, k počítačům prodávaným mikrofonom.

### Hardware

Dále popisované „vybavení“ funguje i na počítačích, dnes již braných jako zastaralé. Bylo ověřováno na nejrůznějších PC (včetně notebooků) s procesory od frekvence asi 200 MHz, na nichž běžel operační systém Windows 98. Zvukové karty byly též různých typů (včetně karet integrovaných na základní desce).

Mikrofon lze užít běžný dodávaný k počítači (v ceně řádově stokoruny). Ještě lepším řešením je použít malý elektretový mikrofon (např. typ MCE100, který lze koupit za cenu pouhých 15 Kč [3].) S kusem stíněného kablíku a „mono“ konektorem pro připojení do mikrofonního vstupu počítače je tak cena přídatného „hardware“ nižší než padesátikoruna. Připájet kablík k mikrofону a zesilovači svede každý, kdo někdy držel v ruce pistolovou páječku. (Přitom samozřejmě stínění připojujeme k vývodu mikrofónu spojenému s jeho pláštěm a u konektoru k vnějšímu vývodu. Pokud bychom na jedné straně kablíku přehodili polaritu, mikrofon by

nefungoval, protože si z počítače bere napětí, potřebné pro činnost zesilovače, který je v něm zabudován.)

Výhodou zvláště koupeného a připojeného mikrofону není jen cena, ale i skutečnost, že délku kablíku můžeme volit dle svých potřeb a snímat s ním zvuk třeba pět metrů od počítače. Navíc, díky tomu, že průměr mikrofónu je menší než centimetr, lze mikrofón prostrčit i úzkým hrdlem a snímat zvuk například uvnitř malé láhve od minerálky. (Což, jak uvidíme, je pokus, který má svůj význam.)

Pro některé experimenty je výhodné snímat zvuk dvěma mikrofóny. Většina počítačů má ovšem mikrofónní vstup řešen jen jako monofónní. Další vstup, označovaný jako „linkový“, je stereofónní, ale vyžaduje vyšší úroveň napětí (stovky milivoltů) a nelze z něj napájet elektretový mikrofón. Pokud tento vstup chceme využívat, je třeba postavit si pro každý kanál alespoň jednoduchý jednotranzistorový zesilovač a na jeho vstupu zařídit napájení mikrofónu (přes rezistor o odporu několika  $k\Omega$  na napětí několik V) [4].

## Software

Jak pro demonstrační účely, tak pro kvantitativní měření, lze využít dvou programů, které (v prvním případě alespoň ve zkušební verzi) jsou dostupné zdarma.

Profesionálnější z obou programů je *Cool Edit 2000*, který je dostupný jako shareware - viz [5]. Tento program již byl zmiňován v českých počítačových časopisech, např. pro účely archivace hudby ze starých gramofonových desek [6]. Není nutno jej tedy podrobněji popisovat zde – tím spíše, že *Cool Edit* nabízí velké bohatství funkcí, z nichž ve výuce fyziky využijeme jen malou část. Potřebujeme-li však nahrát libovolný zvuk prakticky v libovolné délce (omezení jsme jen volným prostorem na disku) a pak jej prohlížet, vybírat z něj části, upravovat, uschovávat v nejrůznějších formátech..., pak *Cool Edit* je vhodným, dostatečně výkonným – a přitom dostatečně jednoduše a názorně ovladatelným programem.

(Upozornění: Autor tohoto příspěvku nemá na daném programu žádné komerční zájmy, nepodílí se na jeho distribuci ani ničím podobným. Výše uvedené hodnocení je samozřejmě subjektivní. Vychází ale ze zkušeností, které získal s tímto programem jednak sám a jednak při jeho využití v práci se středoškoly například na letním soustředění, viz [7].)

*Cool Edit* dává možnost vidět průběh signálu jak v celé nahrané délce (kdy lze dobře vidět např. obálku signálu), tak v detailech až do rozlišení, v němž jsou zvýrazněny jednotlivé naměřené hodnoty. (Frekvenci vzorkování lze volit v širokém rozmezí od 6 kHz až do 192 kHz; záleží ovšem na možnostech dané zvukové karty.) Samozřejmě lze prohlížet i spektrum signálu, přičemž osa frekvencí může být škálována v lineárním nebo v logaritmickém měřítku. Lze volit počet bodů, z nichž se spektrum počítá, a řadu dalších parametrů.

Jak již bylo uvedeno, *Cool Edit 2000* je shareware. Program lze stáhnout z webové adresy firmy výrobce [5] a 30 dnů zdarma zkusit. Omezením je nutnost volit při jeho startu dvě z několika skupin funkcí, ostatní jsou v daném běhu nefunkční. I po uplynutí zkušební doby zůstane program funkční, ovšem bez možnosti ukládat nahrané zvuky na disk. Tato možnost je znepřístupněna dosti důkladně – jednoduché akce typu odinstalování programu a jeho nová instalace rozhodně ukládání souborů znovu neumožní. Cena za legalizaci tohoto software je asi dva a půl tisíce Kč. (Při registraci prostřednictvím české firmy vyšla na tři tisíce Kč.)

*Cool Edit* ovšem z vašeho počítače neudělá osciloskop – zvuk je třeba nejprve nahrát a až pak prohlížet. Využití počítače jako osciloskop umožní jiné programy. Jako velmi výhodný se překvapivě ukázal datem vzniku již relativně starší a možná dosud ne příliš známý *Winscope*.

*Winscope* (*Oscilloscope for Windows*) je příkladem programu, který má patrně geniálního autora. Nevíme, zda autor Konstantin Zeldovich (v době vytvoření programu patrně student Moskevské státní univerzity – viz [8]) je příbuzným slavného fyzika J.B.Zel'doviče. Ale jak jinak než schopnostmi jeho tvůrce vysvětlit, že program, který vznikl již v roce 1997, a který je dodáván jako jediný EXE soubor v délce pouhých 92 kB (!) předčí svými možnostmi jiné (leckdy placené) programy, které můžeme najít na internetu. Přitom jde o freeware, který dle údajů autora funguje již pod Windows 95 a na PC s procesorem 486. Ověřovali jsme jej na řadě počítačů, většinou pod systémem Windows 98. Problémy nastávaly na jediném počítači, u něhož bylo později zjištěno, že si jeho zvuková karta „nerozumí“ se zbytkem hardware a software ještě v jiných ohledech. Ověřena byla i funkce programu pod systémem Windows XP.

*Winscope* funguje jako jedno- nebo dvoukanálový osciloskop s frekvenčním rozsahem 20 Hz až 20 kHz. Což dle slov samotného autora je omezením, ale pro většinu pokusů z oblasti akustiky na školách stačí. Vzorkovací frekvenci lze nastavit na 11025, 22050 nebo 44100 Hz. Omezením je i pouze osmibitové rozlišení. Ovšem jinak jsou možnosti tak malého programu úctyhodné: možnost „real-time“ zobrazení se synchronizací náběžnou nebo sestupnou hranou (a s nastavitelnou úrovní synchronizace), možnost pozastavení (režim HOLD) a prohlížení dat v rozsahu 50 ms, režim WAIT, kdy se běžící zobrazení pozastaví v okamžiku, kdy signál převyší nastavenou úroveň. Dále lze nastavit zobrazení X-Y (jak v real-time tak v pozastaveném zobrazení).

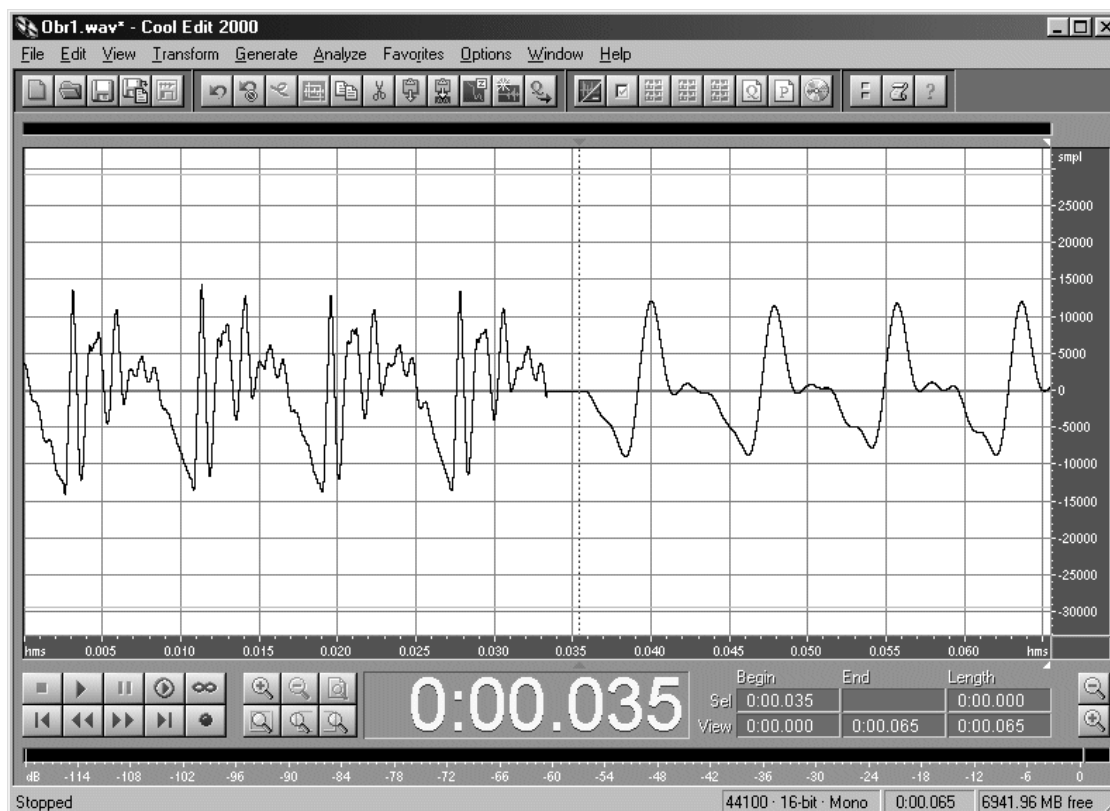
Výhodou je možnost přepnout do zobrazení spektra, tedy vidět Fourierův obraz signálu. Spektrum lze dokonce zobrazovat v režimu „real-time“, tedy sledovat spektra měnící se s časem. V režimu zobrazení časových průběhů lze na délku stínítka zobrazit časový interval od 0,5 do 50 ms (nastavitelný ve dvou krocích hrubě a posuvníkem jemně). V režimu zobrazení spektra lze podobně nastavovat rozsah zobrazených frekvencí: při vzorkovací frekvenci 22050 Hz je maximální frekvence na stínítku od 110 Hz do 11 kHz. Při posunu kurzoru po stínítku se samozřejmě zobrazuje příslušný čas nebo frekvence. Navíc lze měřit interval mezi časy (či frekvencemi), na něž ťukneme levým a pravým tlačítkem myši.

Pokud vám to nestačí, máte možnost nastavovat vzájemné zpoždění signálů v obou kanálech, měřit korelaci obou průběhů... a kdybyste chtěli data analyzovat podrobněji, tak je nahrát ve formě textového souboru na disk.

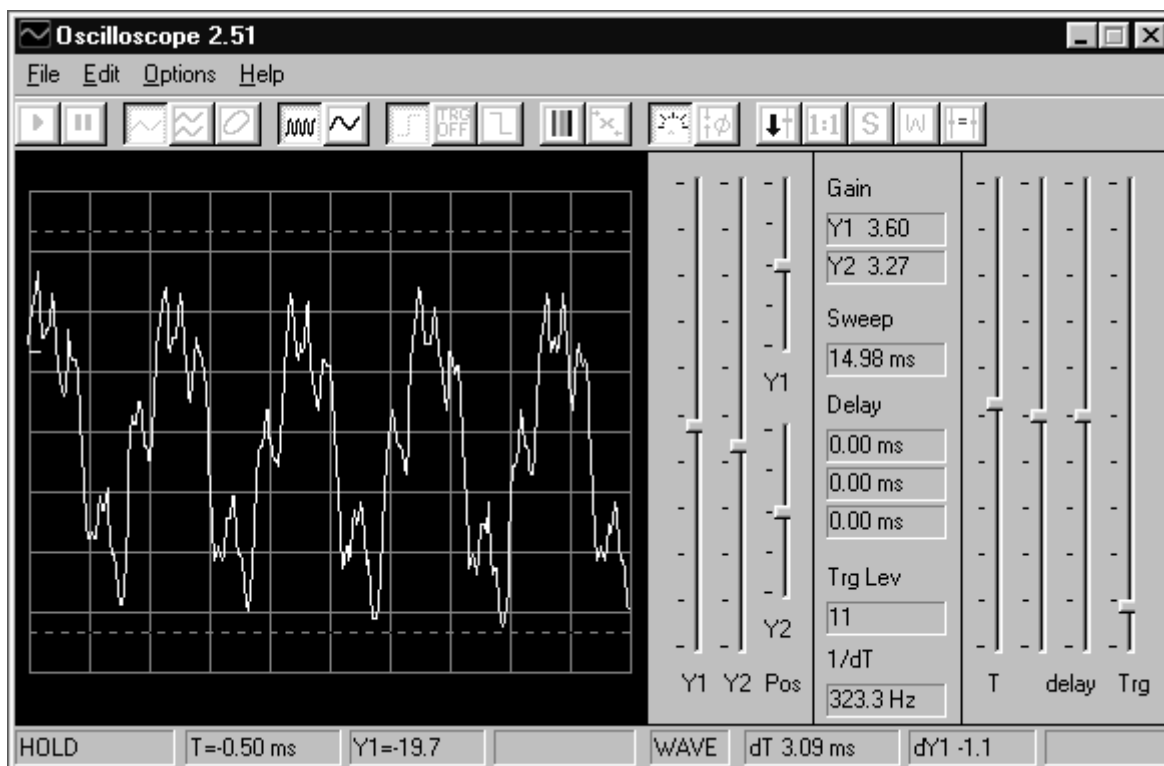
Litovat můžeme jen toho, že autor svůj program dále nevyvíjel. Ovšem pro mnoho účelů *Winscope* na školách bohatě vyhoví. Díky laskavosti autora jej lze jako freeware stáhnout i z českého serveru FyzWeb – viz [9].

### **Příklady použití**

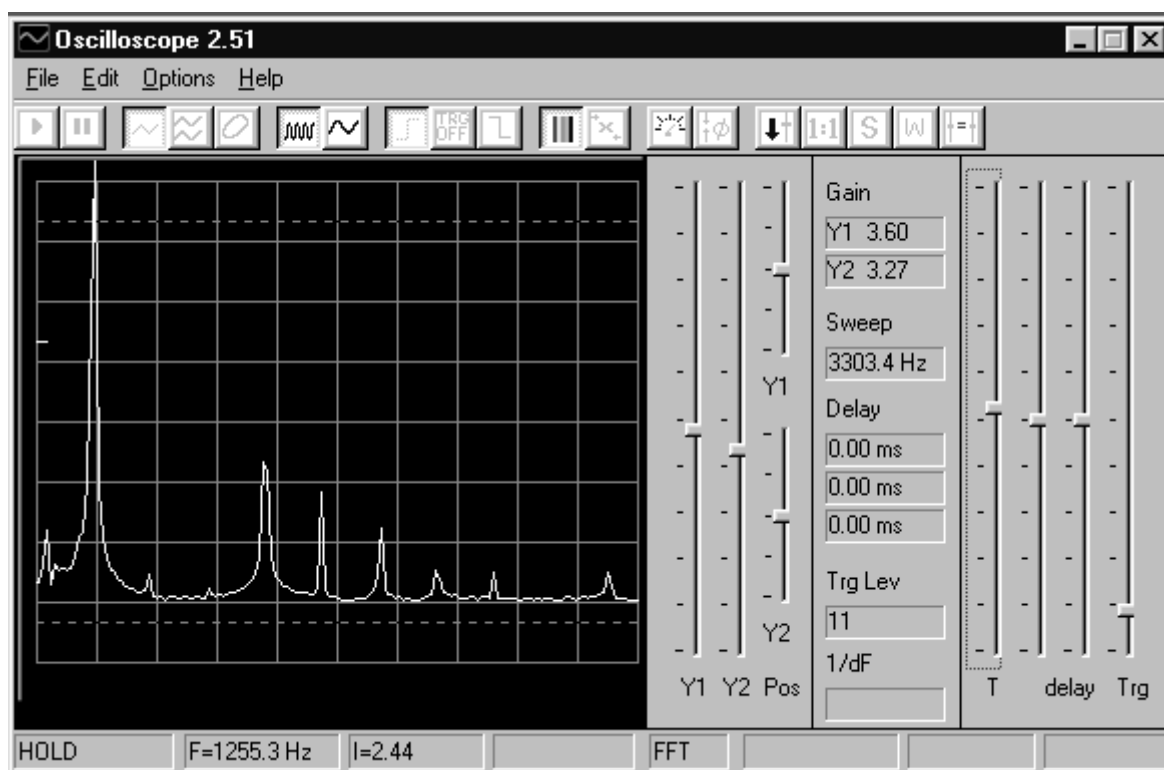
„**Zviditelnění zvuku**“, tedy zobrazení jeho časového průběhu, patří k velmi vděčným základním aplikacím. Oba výše popisované programy umožňují ukázat např. různé průběhy při vyslovování různých hlásek či při „vyluzování tónů“ z různých nástrojů. Při zobrazení spekter těchto zvuků lze okamžitě názorně ilustrovat, co rozumíme barvou zvuku, diskutovat o vyšších harmonických apod. (Viz obr.1 a 2.) Pro okamžité využití ve výuce je v těchto případech zřejmě vhodnější program *Winscope*, neboť umožňuje zobrazit spektrum přímo během „výroby zvuku“ a ukázat např., jak souvisí barva s obsahem vyšších harmonických. Snadno lze demonstrovat i skutečnost, že u bubnů a dalších bicích nástrojů, kde jde o kmity membrán, nejsou význačné frekvence v poměru malých celých čísel.



Obr.1: Časový průběh zvukových kmitů při vyslovování hlásek „á“ a „ú“. Jde o výstupy programu Cool Edit.



Obr.2a: Časový průběh tónu kytary. (Tón vytvořen drnknutím tak, aby byl „ostřejší“, tj. obsahoval více vyšších harmonických.) Jde o výstup z programu Winscope.



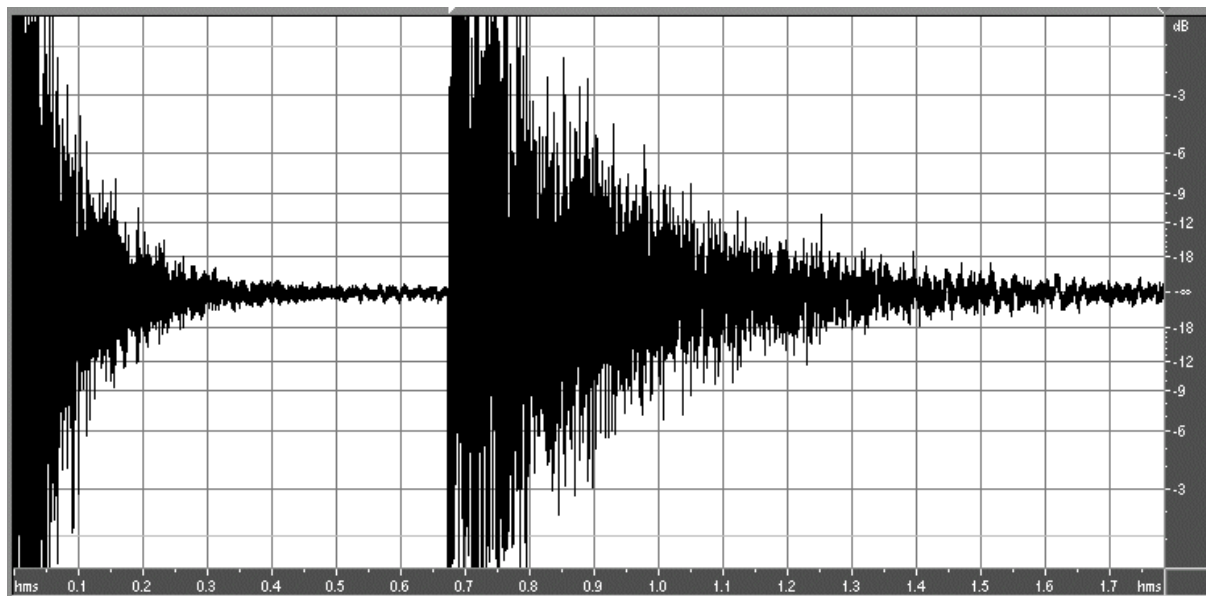
Obr.2a: Spektrum tónu kytary. Kurzor myši (který není na obrázku zobrazen) ukazoval na 3. harmonickou (první z „nižších píků“). Příslušnou frekvenci zobrazuje program Winscope dole na stavovém řádku.

**Měření frekvence** zvuku můžeme využít například k určení rychlosti šíření příčných vln ve struně, k ověření faktu, že frekvence struny je nepřímo úměrná její délce, k demonstraci faktu, že otevřená píšťala má dvakrát vyšší základní frekvenci než píšťala na jednom konci uzavřená apod. S využitím faktu, že vlnová délka základního tónu na jednom konci uzavřené píšťaly je (až na malou korekci) rovna čtyřnásobku délky píšťaly, lze ze změřené frekvence určit i rychlost zvuku ve vzduchu. Stačí-li nám přesnost několik procent, může jít třeba o „píšťalu“ z kusu zahradní hadice v délce třeba metr až dva nebo naopak z několikacentimetrového závěru na „fixku“, na který z boku foukáme.

Opět zde lze využít obou programů. Při své jednoduchosti je *Winscope* i pro tyto účely vlastně názornější a flexibilnější. *Cool Edit* ovšem umožní určit frekvenci v případě potřeby přesněji. Pokud byste frekvenci určovali z průběhu spektra signálu, nezapomente nastavit co nejvyšší počet bodů, z nichž se spektrum počítá. Frekvenci s nejvyšší amplitudou signálu v tom případě *Cool Edit* určí sám s přesností na zlomky Hz.

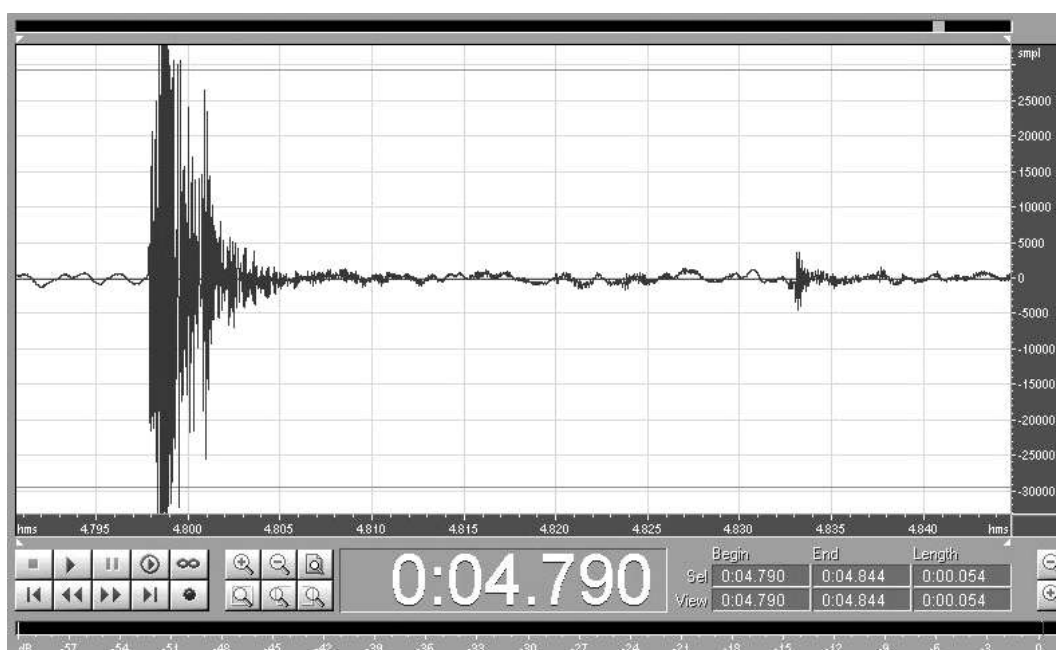
Měření frekvence je užitečné i v případě, kdy zkoumáme **rezonanci** nějakého systému. Příkladem mohou být již zmiňované píšťaly. Pro demonstraci stačí i kus plastické trubky, do níž zastrčíme mikrofon. Přiblížíme-li k trubce reproduktor napájený signálem z tónového generátoru a měníme-li frekvenci zvuku, pak lehce najdeme kmitočty, na nichž vzduch v trubce rezonuje. (Lze se obejít i bez generátoru a reproduktoru a tóny o proměnné výšce vyluzovat hlasem.) Velmi výrazná je rezonance vzduchu v láhvi – např. v půllitrové láhvi od minerálky, ale vyhoví i jiná skleněná. Láhev se chová jako Helmholtzův rezonátor. Je přitom zajímavé, že základní tón, na němž vzduch v láhvi rezonuje, lze přibližně určit velmi jednoduchým teoretickým odhadem (viz [10], kap.2.2), při němž vzduch v hrdle láhve bereme jako kmitající hmotu a vzduch v láhvi jako pružinu. Kupodivu tento odhad dává chybu jen asi 10%.

*Cool Edit* lze využít i k názorné demonstraci **dozvuku** v uzavřené místnosti a k ilustraci, jak charakter místnosti ovlivňuje dobu dozvuku. Stačí při nahrávání vyluzovat nějaký dostatečně silný zvuk a náhle přestat. Vyhoví i hlasité tlesknutí. *Cool Edit* umožní názorně vidět, jak obálka kmitů klesá s časem – v místnosti s holými stěnami podstatně pomaleji, než v místnosti, kde je hodně pohltivých materiálů. (Viz obr. 3.)



Obr.3: Dozvuk v běžné místnosti a v místnosti s holými stěnami z kachlíků. (Jde o dva různé záznamy pomocí editačních možností programu Cool Edit spojené do jednoho.)

Je-li zdrojem zvuku krátký impuls, například tlesknutí nebo cinknutí, je na záznamu zvuku obvykle zřetelně vidět odraz či několik odrazů od nejbližších předmětů nebo zdí. **Měření doby** mezi příchodem přímého a odraženého zvuku umožní určit rychlost zvuku ve vzduchu. (Viz obr.4.)



Obr.4: Odraz zvuku na 6 metrů vzdálené stěně

Ještě přesnější měření rychlosti zvuku by bylo možno realizovat se dvěma mikrofony, kdy kromě měření doby příchodu signálu lze využít i dalších metod.) Pro tato měření se lépe hodí *Cool Edit*, ale s využitím režimu WAIT lze použít i *Winscope*.

V uvedených měřeních se počítač uplatní jako velmi přirozený zobrazovací a měřicí nástroj. Jak už ale bylo uvedeno, jeho použití není samospasitelné. Frekvenci tónů lze například odhadovat porovnáním s tóny vyluzovanými strunou na dobře naladěné kytare – byť neškolené ucho se zde snadno zmýlí o oktávu či dokonce o kvintu. Nejlepší je ovšem mít v kolektivu člověka s absolutním sluchem... Též klasické pokusy určující rychlost zvuku např. s pomocí ladičky a vzduchového sloupce by neměly zapadnout v zapomenutí. (V každém případě je velmi výhodné použít ladičku se známou frekvencí k ověření, jak přesně umíme určit frekvenci pomocí uvedených počítačových programů.) A rychlost zvuku se dá kupodivu docela dobře změřit pomocí dvou dřev, jimiž o sebe „třískneme“ nad hlavou a pomocník, stojící o pár set metrů dál, změří na stopkách interval mezi okamžiky, kdy vidí a slyší dřeva „třísknout“. Měřením při více vzdálenostech se dá kupodivu značně omezit i chyba daná reakční dobou člověka.

### **Závěr**

Popsané programy, přestože patří do oblasti shareware a freeware, umožňují řadu kvalitativních demonstrací i jednodušších kvantitativních měření využitelných při výuce partií týkajících se vlnění a akustiky na prakticky všech typech škol. Naznačené možnosti mohou snad být inspirací pro další uplatnění těchto a podobných programů v oblasti fyzikálního vzdělávání.

### **Literatura:**

[1] Pešat P.: Coach 5 (pro ty starší). In: Sborník semináře POŠKOLE 2000 Ed. B.Mannová, M.Černochová, S.Siňor, ČVUT Praha, 2000, s. 96-97

[2] Lustig F.: ICT a laboratorní měřicí systémy. In: Sborník konference ICTE 2000, Ed.: E.Mechlová, Ostravská Univerzita 2000, s.211-215

[3] Součástky pro elektroniku 2002 GM Electronic s.r.o., 2002. Str. 240.

[4] Dvořák L.: In: Matematika, fyzika, informatika. (Bude publikováno.)

[5] <http://www.syntrillium.com>

[6] Goldmann S., Zákostelný P.: Návrat starých desek. Chip No.10, 11 (2001), s.116-120

[7] Dvořák L.: Pár věcí z tábora 4 – tentokrát o zvuku. In: Sborník příspěvků konference Veletrh nápadů učitelů fyziky VI, Olomouc, srpen 2001. Ed. O.Lepil., Univerzita Palackého, Olomouc 2001, s. 32-38.

[8] <http://polly.phys.msu.su/~zeld/oscill.html>

[9] <http://fyzweb.mff.cuni.cz/dilna/osciloskop/osciloskop.htm>

[10] Main I.G.: Kmity a vlny ve fyzice. Český překlad Academia, Praha 1990.