

Nový přístup k fyzikálním experimentům

Čeněk Kodejška¹
e-mail: kodejska@gnb.cz

¹ Gymnázium Nový Bydžov, Komenského 77

Klíčová slova

zvuková karta, laserové ukazovátko, fyzikální experiment, Free Audio Editor, Visual Analyser, SCLPX

Úvod

Moderní, rychle se vyvíjející doba klade na vyučujícího stále větší nároky na to, jak má zaujmout své studenty a nadchnout je pro studium fyziky. Žákům připadá většinou studium fyziky příliš těžké, a proto se většinou jejich zájem obrátí ke studiu humanitních předmětů. Důkazem toho jsou nejen různé statistické průzkumy ale i každodenní zkušenost vyučujících fyziky (obecně většiny přírodních předmětů).

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout fyzikální experimenty, které by si studenti mohli kdykoliv vyzkoušet sami doma, nicméně všechny navržené experimenty lze realizovat také ve škole formou laboratorních prací a některé i při výukových hodinách jako demonstrační experimenty. Jedná se o alternativní přístup, který vychází z klasických experimentů nebo z měření s profesionálními školními experimentálními systémy (ISES, Vernier, Coach). Na rozdíl od klasických pokusů využívá k vyhodnocení experimentu počítač a na rozdíl od profesionálních souprav cenově dostupné pomůcky, jejichž celková cena se pohybuje řádově v desetikorunách, maximálně ve stokorunách.

Všechny navržené experimenty si vystačí se základní sadou pomůcek: laserovým ukazovátkem, fotodiodou nebo solárním článkem, elektretovým mikrofonom a předměty domácí potřeby (papírový hřeben, sklenice, tužka, špejle, apod.).

Současně však všechny navržené experimenty dosahují minimálně stejné přesnosti, které lze dosáhnout např. se soupravou ISES, Coach nebo Vernier a dokazují, že zvuková karta PC může sloužit jako plnohodnotný měřicí nástroj.

Domníváme se, že experimenty provedené s pomocí počítače mohou studentům ztraktivnit nejen fyziku jako samotný předmět, ale přivést je k objevování nových vlastních postupů při realizaci pokusů.

Studenti v dnešní době s oblibou používají počítač k nejrůznějším účelům a proto jeho zapojení do hodin fyziky nebo jeho využití v rámci laboratorních prací je jen logickým důsledkem, který přináší dnešní technicky rychle se vyvíjející společnost. Je však nutné nabídnout studentům takovou alternativu, která je v jejich finančních možnostech, a která jim kromě poučení přinese i trochu zábavy a radost z objevování nových věcí.

Na závěr je dobré připomenout, že experimenty se zvukovou kartou vycházejí z reálných experimentů a samy především jsou reálnými experimenty. Nejedná se tedy o virtuální náhradu pokusů pomocí počítačových modelů, apletů apod., jakkoliv i tyto jsou v dnešní době často učiteli fyziky často používány.

Domníváme se, že nic nemůže studenta zaujmout natolik, jako reálný experiment, který si může sám sestavit, promyslet jiný postup při měření a zejména kdykoliv zopakovat ve svém domácím prostředí.

Cílem této práce bylo navrhnout právě takové experimenty, které by studenty zaujaly a přivedly je ke studiu fyziky nebo jiných přírodních věd.

V další části se nejprve stručně zaměříme na srovnání SCLPX (Sound Card Laser Pointer eXperiments) s profesionálními experimentálními soupravami, zejména se systémem ISES, který je patrně na českých školách nejrozšířenější a se kterým také my máme největší zkušenosti, pak přistoupíme ke stručnému popisu společných metod při záznamu experimentálních hodnot systémem SCLPX a nakonec uvedeme přehled námi navržených nových laboratorních pokusů, které lze realizovat pomocí zvukové karty PC, a z nichž většina již byla ověřena v praxi.

V závěru práce je provedeno shrnutí poznatků získaných při měření se zvukovou kartou, stručně jsou shrnuty hlavní výhody a nevýhody jejího použití a naznačeny směry dalšího možného vývoje.

1 Srovnání SCLPX s profesionálními experimentálními systémy

1.1 Náklady na zřízení jednoho pracoviště

V našem porovnání budeme vycházet především z našich zkušeností se soupravou ISES. Srovnáme nejprve finanční náklady na jedno laboratorní pracoviště, protože o peníze jde, jak se říká, vždy až v první řadě. Počítač do nákladů zahrnovat nebudeme, protože ten musíme mít k dispozici v obou uvažovaných případech.

V případě systému ISES (verze PCI, která je nejpoužívanější) musíme investovat do zakoupení speciální ISES PCI karty, připojovacího panelu ISES a softwaru ISESWIN32i. Tento set je nabízen výrobcem za cenu 33.000 Kč bez DPH (cca 40.000 Kč vč. DPH). Doplnkové moduly nabízí za následující ceny: optická brána 2080 Kč bez DPH (cca 2500 Kč vč. DPH), mikrofon 1780 bez DPH (cca 2100 Kč vč. DPH). Celková cena na vybavení jednoho pracoviště v tomto případě tedy činí přibližně 43 600 Kč vč. DPH, [1]. Podotýkáme, že tyto dva základní moduly můžeme využít při experimentech z mechaniky nebo akustiky. V případě, že bychom uvažovali o experimentech z oblasti elektromagnetismu, celková cena na jedno pracoviště přesáhne 50.000 Kč vč. DPH.

Systém SCLPX používá laserové ukazovátko (50 Kč vč. DPH), solární článek 0,5 V / 100 mA (63 Kč vč. DPH) a elektretový PC mikrofon (67 Kč vč. DPH), propojovací audio kabel 5m s konektorem jack 3,5 mm, který lze upravit pro využití na 2 pracovištích (119 Kč vč. DPH). Celkové náklady tedy v tomto případě činí cca 300 Kč vč. DPH. Software, který používáme pro záznam signálu je freeware a je tedy zdarma. Jedná se o Free Audio Editor a Visual Analyser.

1.2 Srovnání čidel a konektorů

Porovnejme dále klady a zápory profesionálních systémů se systémem SCLPX při běžné práci žáka. V případě souprav typu ISES je např. optická brána omezena pevně danou vzdáleností přijímače a vysílače, což u některých experimentů značně ztěžuje či přímo znemožňuje jejich provedení. Jedná se např. o kmity kyvadla nebo pružinového oscilátoru, při kterých je manipulační prostor velmi omezen. Naproti tomu v případě SCLPX je laserové ukazovátko umístěné na jednom stojanu zcela nezávislé na přijímací fotodiodě nebo solárním článku, který je umístěn na druhém stojanu. Vzdálenost tedy můžeme libovolně přizpůsobit danému experimentu.

Další určitou nevýhodou profesionálních systémů jsou připojovací konektory, které využívají zejména sériový port COM nebo u nových typů port USB. V případě opravy se většinou neobejdeme bez odborné pomoci. U systému SCLPX je využíván pouze vstup nebo výstup zvukové karty, který je opatřen konektorem typu JACK 3,5 mm. U tohoto konektoru můžeme v případě mono i stereo jacku využít jen dva ze tří možných kanálů: uzemnění a levý kanál L. Pokud umíme pracovat s pájecí pistolí, případnou opravu kabelu tedy můžeme realizovat sami.

1.3 Porovnání softwaru a hardwaru

Pokud jde o práci s příslušným softwarem, který daný výrobce nabízí k příslušnému experimentálnímu systému, můžeme na základě vlastní zkušenosti konstatovat, že zcela jasným kladem je komfort, který svému uživateli nabízí: po zvolení parametrů se on-line vykreslují grafy, hodnoty lze ukládat do formátu MS Excel a dále zpracovávat, lze vytvářet náhledy obrazovek, lze opakovat měření stisknutím jediného tlačítka atd. Nevýhodu spatřujeme v nemalé časové náročnosti na ovládnutí a zapamatování si všech funkcí a možností, které daný software nabízí. Nelze pominout ani poměrně vysokou pořizovací cenu programům, která se pohybuje v řádu desítek tisíců.

Výhodou SCLPX je využívání freeware programů, které jsou zcela zdarma, ale přesto nabízí srovnatelné využití při provádění fyzikálního experimentu. Kromě ceny je dalším kladem v případě programu Free Audio Editor jeho snadná ovladatelnost a rychlá orientace v programu. Naším studentům trvalo cca 10 minut, aby se naučili s programem pracovat a správně ho používat. V případě programu Visual Analyser je již situace podobná jako u profesionálních systémů, protože se jedná o plnohodnotný program umožňující měřit napětí, frekvenci, dělat frekvenční analýzu nebo generovat signál různého průběhu (sinusový, obdélníkový, pilovitý, aj.) Ke správnému používání je tedy někdy třeba nastavit některé parametry, jejichž zadání nepatří mezi nejsnadnější úkoly.

Nakonec se ještě zastavme nad jednou, dle našeho názoru ne zcela vydařenou, vlastností některých profesionálních systémů (nyní máme na mysli program Vernier LoggerPro). Zde jsme byli např. u experimentu s kyvadlem nepříjemně překvapeni téměř absolutní automatizací práce. Student jen kliká na tlačítka v programu a program udělá vše za něj: vykreslí a spočítá (!) periodu, vykreslí graf kmitů, případně určí automaticky další parametry. Žák se tak stává pouhou cvičenou opicí, která mačká tlačítka, aniž by si dal do souvislosti závislost periody na délce kyvadla nebo aniž by pochopil, jak vůbec záznam kmitů vzniká.

V případě SCLPX využíváme k sestrování grafů program MS Excel (nebo jiný tabulkový procesor). Žák tedy musí nejen ovládat základní práci v Excelu, ale navíc využívá zcela praktickým způsobem jeho rozšířené možnosti: tvorbu grafů funkcí s případnou regresní analýzou, výpočty průměrů nebo celé statistické zpracování dat včetně histogramu. Pomineme-li mezipředmětovou vazbu mezi fyzikou a výpočetní technikou, je toto vzájemné propojení znalostí důležité i z dalšího hlediska: žák je aktivním experimentátorem, který měří a

zapisuje zjištěné hodnoty, zadává v Excelu příslušné vzorce a se znalostí příslušných fyzikálních vztahů dospívá k hlubšímu porozumění fyzikálních jevů, které ho obklopují. Jeho práce se v tomto případě mnohem více podobá skutečné práci vědce, než v případě pouhého klikání na pár tlačítek super softwaru, který za něj vše udělá a spočítá. Současně se také setkává s eventualitou, že ne každé měření dopadne dobře hned napoprvé, že je třeba hledat nové postupy, že je důležité objevovat chyby v provedených výpočtech nebo i v samotném uspořádání experimentu.

Výhodou SCLPX je také to, že nemá na rozdíl od profesionálních systémů žádné významné hardwarové požadavky: i ten nejstarší a nejpomalejší počítač má dnes zvukovou kartu a programy Free Audio Editor i Visual Analyser pracují bez problémů na všech OS Windows.

2 Free Audio Editor a Visual Analyser

Free Audio Editor je freeware, který slouží primárně k úpravě zvuku. Zvukový záznam můžeme tedy stříhat, zesilovat, používat různé efekty jako je ozvěna apod. Nic z toho však při našich experimentech nebudeme potřebovat. Vystačíme si úplně se záznamem zvuku, jeho následným zobrazením a uložením a se zjištěním velikosti časového údaje (nejčastěji periody), kterou program přímo nabízí v položce nazvané *Length*. Program je ke stažení např. na webové adrese <http://www.free-audio-editor.com/>.

Visual Analyser (VA) je freeware a za jeho objevení vděčíme PaedDr. Přemyslu Šedivému. Navzdory tomu, že se jedná o freeware, svými funkcemi se plně vyrovná profesionálním softwarům jako je např. TrueRTA, ARTA nebo Multi-Instrument Virtins Technology.

VA pracuje v režimu osciloskop, voltmetr, RLC metr, umí měřit frekvenci a fázi signálu, podrobit signál frekvenční analýze, umí generovat všechny známé typy signálu, umí demonstrovat rázy pouze na základě generátoru funkcí nebo princip činnosti jednocestného usměrňovače střídavého napětí.

Bitovou hloubku lze nastavit na hodnotu 8, 16 nebo 24 bitů, vzorkovací frekvenci lze pak zadat v rozsahu 11 025 – 90 000 Hz. Menu je sice v angličtině, ale překonáme-li prvotní zdánlivou nepřehlednost programu, rychle se tento software naučíme ovládat.

Další neocenitelnou výhodou je možnost míchání kanálů A a B s různými výstupními funkcemi jako např. A+B, A – B, A/B, aj.

Kalibrace napěťových úrovní je samozřejmostí, kterou využijeme, např. použijeme-li vstup zvukové karty k měření napětí, teploty apod. Zde musíme vždy před vlastním měřením provést kalibraci čidla pomocí digitálního voltmetru nebo teploměru.

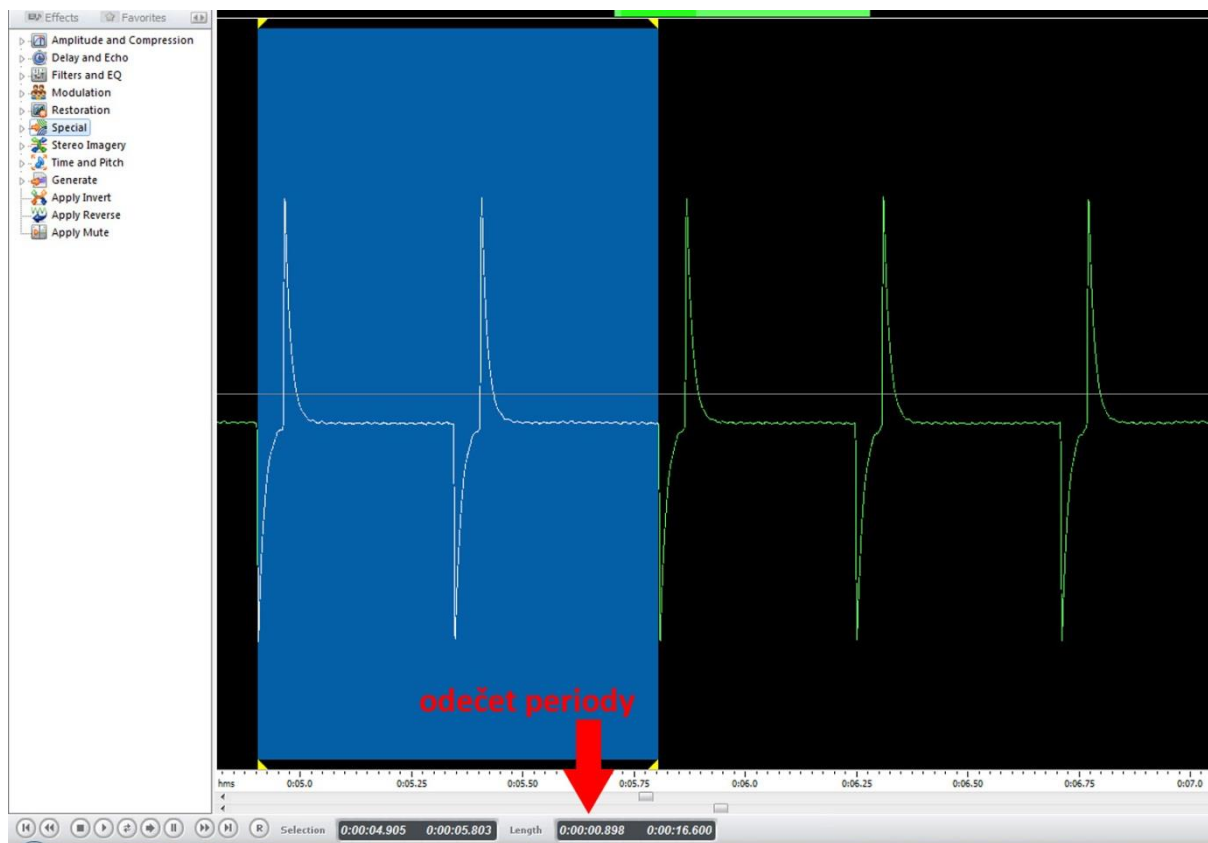
Program můžeme zdarma získat např. na <http://www.sillanumsoft.org/download.htm>.

2.1 Záznam a vyhodnocení signálu pomocí Free Audio Editoru

Laserové ukazovátko ve spojení s fotodiodou nebo solárním článkem tvoří optickou bránu. Lze tedy s velkou přesností zaznamenat časové děje trvající řádově tisíce sekund. Všechny experimenty, které jsou svojí povahou periodické (ať už se ze zjištěné periody zjišťuje jakákoliv veličina) nebo které souvisí s pohybem nebo zvukovým efektem, je možno pomocí SCLPX zrealizovat jednoduchým, a při tom fyzikálně přesným způsobem, kterým dokážeme na školní úrovni uskutečnit nejrůznější měření s dostatečnou přesností.

Při průchodu tělesa (hřeben, kyvadlo, špejle) laserovým paprskem vzniká na výstupu čidla (solárního článku nebo fotodiody) typický průběh impulzů, který můžeme vidět na obrázku obr. 1.

Všechny mechanické experimenty tedy převádíme na úlohu nepřímého měření dané veličiny, kdy z naměřených časových údajů vyvodíme dosazením do příslušného vzorce hodnoty zjišťovaných veličin, jako jsou např. rychlost, zrychlení, tuhost pružiny apod. Výstupní napětí solárního článku nebo fotodiody se pohybuje kolem 100 – 200 mV, což je pro zvukovou kartu optimální a nemůže tak dojít k jejímu poškození (maximální hodnota přivedená na vstup zvukové karty může být cca 1,5 V). Solární článek má oproti fotodiodě (např. BPW 34) tu výhodu, že má mnohem větší účinnou plochu, takže laserový paprsek můžeme mnohem lépe zaměřit.



Obr. 1 Ukázka zaznamenaného signálu a odečet periody v programu Free Audio Editor

3 Nové experimenty realizované pomocí SCLPX

Protože by popis (byť stručný a minimální) všech experimentů zde níže uvedených zabral několik desítek stran, odkazujeme laskavého čtenáře nebo případné zájemce na stránky <http://www.sclpx.eu>, kde jsou některé experimenty podrobně popsány. Postupem času zde budou zveřejněny další laboratorní práce včetně šablon protokolů. Níže uvedené experimenty jsou rozděleny podle ročníků klasického čtyřletého gymnázia, nicméně z vlastní zkušenosti můžeme potvrdit, že většina těchto experimentů je proveditelná i se žáky nižších stupňů víceletých gymnázií nebo se žáky základních škol. Musíme samozřejmě pro tyto účely experimenty i pracovní listy přiměřeně zjednodušit nebo žáky seznámit jen s pochopitelnými vztahy a souvislostmi.

Většina experimentů byla již ověřena v praxi, některé formou demonstračních experimentů při výukových hodinách, experimentů zařazených do SOČ, jiné jako laboratorní práce prováděné žáky našeho gymnázia, další se staly nebo stanou v upravené formě součástí soutěže Faradayův pohár, kterou naše škola pořádá pro základní školy našeho regionu v rámci soutěže Great Naturalistic Brainstorming, podrobnosti na <http://www.gnb.cz/gnb/>.

Většina experimentů je založena na průchodu tělesa (např. padajícího hřebenu, hřebenu upevněného pomocí modelíny na vozík, apod.) optickou závorou, kterou vytvoříme z laserového ukazovátka a solárního článku (nebo fotodiody) připojené kabelem na vstup zvukové karty počítače, nebo na záznamu zvuku mikrofonem, který snímá zvuky vzniklé při pohybu (kuličkový padostroj) či ze zdroje zvuku (rychlost zvuku).

3.1 První ročník - mechanika

1. Rovnoměrný přímočarý pohyb – ověření závislosti rychlosti na čase
2. Rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb – ověření závislosti rychlosti na čase
3. Volný pád – ověření závislosti rychlosti na čase padajícího hřebenu
4. Volný pád – ověření závislosti dráhy na čase kuličkovým padostrojem (záznam mikrofonem)
5. Měření zrychlení na nakloněné rovině
6. Určení koeficientu smykového tření ze zrychlení na nakloněné rovině
7. Ověření druhého Newtonova zákona
8. Dynamické určení hmotnosti vozíku
9. Rovnoměrný pohyb po kružnici – ověření vztahu pro obvodovou a úhlovou rychlost
10. Určení hodnoty tíhového zrychlení z volného pádu hřebenu

11. Určení momentu setrvačnosti z torzních kmitů
12. Určení viskozity kapaliny z tlumených kmitů v látkovém prostředí

3.2 Druhý ročník – mechanické vlastnosti pevných látek, kmity a vlny

13. Určení modulu pružnosti oceli z torzních kmitů
14. Určení modulu pružnosti oceli z kmitů pružiny
15. Určení modulu pružnosti v ohybu dřevěného hranolu s využitím CD disku
16. Určení modulu pružnosti v ohybu z vlastních kmitů dřevěné destičky jednostranně vetknuté
17. Ověření vztahu pro periodu mechanického oscilátoru
18. Určení tuhosti pružiny dynamickou metodou
19. Ověření vztahu pro periodu kyvadla
20. Určení hodnoty tíhového zrychlení z periody kyvadla
21. Měření rychlosti zvuku jedním mikrofonem a dvěma reproduktory
22. Měření rychlosti zvuku dvěma mikrofony
23. Měření frekvence zvuku různých píšťal a strun
24. Tlumené kmity – určení logaritmického dekrementu útlumu
25. Demonstrace zvukových rázů – zázněje
26. Měření tepové frekvence mikrofonem
27. Lissajousovy obrazce

3.3 Třetí ročník – elektřina a magnetismus

28. Ověření Ohmova zákona pro část obvodu
29. Určení vnitřního odporu zdroje
30. VA charakteristika měkkého a tvrdého zdroje
31. Měření impedance
32. Určení kapacity kondenzátoru
33. Určení indukčnosti cívky
34. Závislost odporu vodiče a polovodiče na teplotě
35. Určení účinnosti transformátoru
36. Měření závislosti kapacitance kondenzátoru na frekvenci
37. Měření závislosti indukčnosti cívky na frekvenci
38. Demonstrace principu jednocestného usměrňovače
39. Měření magnetické síly ze zrychlení prstence
40. Přechodový jev – bezkontaktní laserový spínač

3.4 Čtvrtý ročník – optika, kvantová fyzika

41. Určení svítivosti zdroje fotodiodou
42. Určení vlnové délky světla laserového ukazovátka
43. Určení mřížkové konstanty CD disku
44. Měření rychlosti světla

Náměty pro experimenty jsme čerpali zejména z [2] – [10], nicméně všechny zde uvedené SCLPX experimenty jsou originální prací autora a dosud nikým nepublikované.

Shrnutí

V naší práci jsme popsali alternativní přístup ke školním fyzikálním experimentům, který spočívá ve využití zvukové karty počítače a několika jednoduchých pomůcek jako je laserové ukazovátko, solární článek a papírový hřebec. Porovnali jsme nový systém SCLPX (detaily na <http://www.sclpx.eu>) s profesionálními experimentálními systémy a dospěli k závěru, že za neskonale nižší cenu lze zrealizovat obdobné experimenty, aniž by to bylo na úkor přesnosti prováděných měření.

Lze tedy i v případě nedostatku finančních prostředků realizovat se žáky zajímavá měření s využitím počítače. Z vlastní zkušenosti můžeme potvrdit, že měření s využitím počítače žáky baví a získávají obecně k fyzice kladnější vztah. Na Gymnáziu v Novém Bydžově jsme vybavili fyzikální laboratoř notebooky a žáci si práci na nich nemůžou vynachválit.

Citace

- [1] Souprava ISES PCI Professional [online]. 2013 [cit. 2013-02-18]. Měřicí a laboratorní studio ISES. Dostupné z WWW: <<http://www.ises.info/old-site/index1.html>>.
- [2] Bednařík M., Šíroková, M., Bujok, P. *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. Prometheus, Praha, 2006.
- [3] Lepil, O. *Fyzika pro gymnázia – Mechanické kmitání a vlnění*. Prometheus, Praha, 2001
- [4] Lepil, O., Šedivý, P. *Fyzika pro gymnázia - Elektřina a magnetismus*. Prometheus, Praha, 2000.
- [5] Lepil, O. *Fyzika pro gymnázia – Optika*. Prometheus, Praha 2002.
- [6] Lustig, F., Lustigová, Z. *Fyzikální experimenty se systémem ISES*. Praha, 1996.
- [7] Sedláček, J. *Fyzikální experimenty s běžným hardwarem*. Doktorská dizertační práce, MFF UK, Praha, 2005.
- [8] Aguiar, C.E., Pereira, M.M. *Using the Sound Card as a Timer*. The Physics Teacher, Vol.49, January 2011.
- [9] Gingel, Z., Kocsis, P. *Measure resistance and temperature with a sound card*. EDN (Elektronics Deign, Strategy, News), May 26, 2011, page 58.
- [10] Litwhiler, D.H., Lovell, T.D. *Acoustic Measurement Using Common Computer Accessories: Do Try This at Home*. Proceeding of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Dostupné také na WWW: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3817>>