

Postup merania

B. Trpišová, J. Kúdelčík

Úlohy:

1. Generovanie signálu
2. Analýza grafu – signálu
 - A. Monofrekvenčný zvuk
 - B. Rázy
3. Meranie rýchlosti zvuku vo vzduchu
 - A. Meranie rýchlosti zvuku z oneskorenia zvukového signálu za napätím.
 - B. Meranie rýchlosti zvuku pomocou šírenia zvukového impulzu trubicou.

Pomôcky:

Počítač, EuroLab, senzory zvuku a napätia, ladička, reproduktor, posuvná lavica, trubica, meter

Generovanie signálu

1. Kliknite na ikonu **Frekvencia**. Zobrazí sa panel s nadpisom **Coach 6 – IPCoach – Frekvencia.cma**. Prázdny graf použijeme na zobrazenie kmitania vybraného elementu vzduchu, t.j. na zaznamenanie zmeny tlaku vzduchu v mieste tohto elementu v závislosti od času. Na os x teda nanášame čas v milisekundách a na os y zmenu tlaku v jednotkách Pascal.
2. Klikneme na šiestu ikonu zľava s obrázkom hodín – nastavenia – a nastavíme parametre merania. Kliknutím na **Metóda** nastavíme dobu merania na napr. 20 ms. Potom klikneme na **Spúšť** a v nej zapneme **Aktivuj spúšťanie úrovňou signálu**. Nastavíme parameter **Spúšť úroveň** na napr. 2 alebo 5. Tieto čísla v jednotkách Pascal udávajú, aká zmena tlaku musí byť dosiahnutá v mieste nášho vybraného kmitajúceho elementu vzduchu, aby sa začalo jeho zaznamenávanie, ktoré bude trvať v našom príklade 20 ms.
3. Zvuk – tón, ktorý budeme zaznamenávať, budeme produkovať dvoma spôsobmi – pomocou ladičky a pomocou generátora zvuku **Audacity 1.3 Beta**.
4. Setup na produkovanie zvuku ladičkou je znázornený na Obr. 10. Postupujeme tak, že senzor zvuku umiestnime k otvorenému koncu podstavca ladičky. Meranie spustíme kliknutím na zelený krúžok zo šípkou – **Štart** – a úderom rozochvejeme ladičku. Ak amplitúda zmien tlaku vzduchu v mieste snímania presiahne nastavenú **Spúšť úroveň**, zobrazí sa graf – signál.



Obr. 10.

4. Pri generovaní zvuku generátorom máme súčasne otvorený panel **Coach 6 – IPCoach – Frekvencia.cma**. Senzor zvuku umiestnime pred reproduktor a klikneme na ikonu **Audacity 1.3 Beta**. Na zobrazenom paneli s názvom **Audacity** klikneme na **Generovať** a **Tón**. Nastavíme frekvenciu a amplitúdu (intenzitu). Generovanie zvuku spustíme kliknutím na zelenú šípku na paneli **Audacity** a po jeho zaznamenaní zastavíme kliknutím na hnedý štvorček. Zvuk zaznamenáme podobne ako v prípade jeho generovania ladičkou: Po spustení generovania zvuku pomocou **Audacity 1.3 Beta** klikneme na paneli **Coach 6 – IPCoach – Frekvencia.cma** na tlačítko **Štart**, pričom takisto máme nastavenú zvolenú hodnotu **Spúšť úrovne** a doby merania.

Analýza grafu – signálu

A. Monofrekvenčný zvuk

1. Horeuvedeným postupom, t.j. pomocou ladičky alebo **Audacity 1.3 Beta** generátora, budeme generovať a zobrazovať zvuk o jednej frekvencii – monofrekvenčný zvuk. Kliknutím na graf zobrazeného signálu a stlačením ľavého tlačítka na myši môžeme vybrať zo zobrazeného signálu len jeho určitý úsek. Alternatívne môžeme nastaviť rozlíšenie na zvislej osi na maximálne možné kliknutím pravým tlačítkom na myši na graf so zobrazeným signálom a voľbou **Lupa automaticky**. Ďalej postupujeme tak, že opäť pravým tlačítkom na myši klikneme na graf so zobrazeným signálom. Ak chceme tento signál vymazať, klikneme na **Vymazať hodnoty**. Ak chceme signál spracovať, klikneme na **Spracuj/Analyzuj**. Zvolíme **Fitovanie funkciou**. Zobrazí sa panel s názvom **Fitovanie**. V ňom vyberieme **Typ funkcie** – sínusoidu $a \sin(bx + c) + d$, kde x predstavuje čas v milisekundách. Potom klikneme na **Odhadnúť** a **Vylepšiť**.
2. Na paneli **Fitovanie** takto dostaneme dve krivky – graf pôvodného signálu a sínusoidu, ktorou ho fitujeme – fitovaciú sínusoidu. Taktiež sa ukážu hodnoty koeficientov a, b, c a d , ktoré odpovedajú fitovacej sínusoide. Koeficient a je amplitúda. Je to polovica vzdialenosti medzi ľubovoľným maximom a ľubovoľným minimom fitovacej sínusoidy. Ako vidíme, táto amplitúda $[\Delta p_m]$ v rovniciach (10) a (11) v časti “Teória”] je rádovo jednotky až desiatky pascalov, čo je naozaj oveľa menej ako tlak pri povrchu zeme, ktorý je zhruba 100000 Pa. Koeficient b vynásobený 10^3 (x je v milisekundách) je uhlová frekvencia ω v s^{-1} a koeficient c je fázový posun v (t.j. číslo $a \sin c + d$ je rovné výchylke

fitovacej sínusoidy v čase $t = 0$) teda v momente, kedy sa začal zaznamenávať signál. Jednotky c , ako aj bx sú radiány. Význam koeficientu d je zrejmý. Je to posunutie sínusoidy $a \sin(bx + c)$ pozdĺž zvislej osi, čím vzniká fitovacia sínusoida.

3. Z grafu fitovacej sínusoidy odhadneme jej amplitúdu a porovnáme s číselnou hodnotou koeficientu a danou na paneli **Fitovanie**. To isté urobíme pre koeficient d . Vypočítame hodnotu $a \sin c + d$, kde za a , c a d dosadíme hodnoty z panelu **Fitovanie** a zistíme, či je toto číslo rovné výchylke fitovacej sínusoidy v čase $t = 0$, ktorú zistíme zhruba z jej grafu.
4. Pomocou hodnoty $b \times 10^3 = 2\pi f$, určíme frekvenciu signálu f . Túto frekvenciu určíme zhruba aj pomocou grafu fitovacej sínusoidy odhadom doby trvania jedného kmitu – periódy, a tak overíme správnosť určenia frekvencie z hodnoty koeficientu b . Ak ste signál vygenerovali pomocou **Audacity 1.3 Beta** generátora, porovnajte tieto experimentálne hodnoty s nastavenou frekvenciou. Panel **Fitovanie** zatvoríme kliknutím na **Zrušiť**.
5. Analýzu popísanú v bodoch 1 až 4 môžeme urobiť pre rôzne signály, t.j. zvuk o rôznych frekvenciách a intenzite. Pri generovaní zvuku pomocou ladičky toto znamená použitie rôznych ladičiek a rôzne sily klepnutia na tú istú ladičku. Signály pre rôzne ladičky by sa mali líšiť frekvenciou. Signály získané pre tú istú ladičku by mali mať rovnakú frekvenciu, ale pre rôzne sily klepnutia rôznu amplitúdu, a teda vo všeobecnosti aj fázový posun, pretože tento závisí aj od hodnoty parametra **Spúšť úroveň**. Pripomíname, že pre rôzne sily klepnutia bude asi potrebné nastaviť rôznu hodnotu tohto parametra. Toto platí aj pre generovanie zvuku o rôznej frekvencii a intenzite (amplitúdy) pomocou **Audacity 1.3 Beta** generátora, ktoré je zrejmé. Poznamenajme, že ak nevymažeme predchádzajúci graf, nový graf sa naň naloží. Takto môžeme teda porovnať 2 a viac rôznych signálov, ktoré môžeme získať hore popísaným spôsobom.

B. Rázy

1. Ako vieme z časti “Teória”, rázy vznikajú pri skladaní dvoch vlnení o blízkyh frekvenciách. Našou úlohou je zistiť frekvencie, ktoré rázy popisujú. Najprv klikneme na ikonu **Rázy** a otvorí sa panel **Coach 6 – IP Coach – Razy.cma**. Na grafe máme už pripravený signál. Tento môžeme analyzovať, t.j. zistiť obe frekvencie charakteristické pre rázy. Menšiu z týchto frekvencií – frekvenciu rázov – zistíme odhadom z grafu. Za tým účelom klikneme pravým tlačítkom na myši na graf a zvolíme postupne **Spracuj/Analyzuj** a **Vyber/Odstráň dáta**. Ukáže sa panel **Vybrať/Odstrániť Dáta**, na ktorom je náš graf. Kliknutím na tento graf a podržaním ľavého tlačítka na myši na zvislú čiarkovanú čiaru môžeme túto čiaru posúvať a tak zhruba určiť periódu rázov, t.j. vzdialenosť medzi dvoma susednými minimami signálu. Podobný efekt môžeme dosiahnuť aj tak, že po kliknutí na **Spracuj/Analyzuj** zvolíme aplikáciu **Sklon**, kde pohybujeme osovým krížom po grafe v okne **Sklon grafu (Gradient)** len posúvaním myši bez stlačenia pravého, či ľavého tlačítka. Príslušnú frekvenciu zistíme ľahko ako prevrátenú hodnotu periódy. Aby sme so zaznamenaných rázov zistili väčšiu z frekvencií, ktorá ich charakterizuje, klikneme na graf na paneli **Coach 6 – IP Coach – Razy.cma** ľavým tlačítkom na myši a pri jeho podržaní vyberieme vhodný kratší úsek zaznamenaného signálu. Postupom popísaným v bodoch 1, 2 a 4 časti A potom túto frekvenciu zistíme.

2. Pomocou **Audacity 1.3 Beta** generátora si môžeme vygenerovať rázy s inými frekvenciami. Otvoríme teda generátor – panel **Audacity**, klikneme na **Generovať** a **Tón** a nastavíme frekvenciu napr. 407 Hz. Druhú frekvenciu nastavíme tak, že klikneme na sivú prázdnu časť panelu, potom opäť **Generovať** a **Tón** a nastavíme frekvenciu napr. 460 Hz. Týmto frekvenciám odpovedajú rázy zobrazené na Obr. 9 v časti “Teória”. Zvuk sa začne generovať podobne, ako pri generovaní monofrekvenčného signálu stlačením zelenej šípky. Jeho zaznamenanie dosiahneme stlačením tlačítka **Štart** na paneli **Coach 6 – IP Coach – Razy.cma**. Po zaznamenaní rázov zvuk vypneme.
3. Z hodnôt frekvencií 407 Hz a 460 Hz vypočítame teoretické hodnoty oboch frekvencií charakterizujúcich rázy. Príslušné vzorce nájdete v časti “Teória”. Obe hodnoty týchto frekvencií zistené z nášho záznamu spôsobom popísaným v bode 1 porovnáme s teoretickými hodnotami, ktoré vypočítame na základe rovníc (20) uvedených v časti “Teória”.
4. Celú procedúru môžeme zopakovať pre iné hodnoty frekvencií zvuku generovaného **Audacity 1.3 Beta** generátorom. Ak chceme tento generátor použiť na ďalšie merania, pri ktorých potrebujeme monofrekvenčný zvuk, odstránime jednu z nastavených frekvencií tak, že klikneme na jeden z modrých pásov v žltom rámečku a zvolíme **Upraviť** a **Späť tón**.

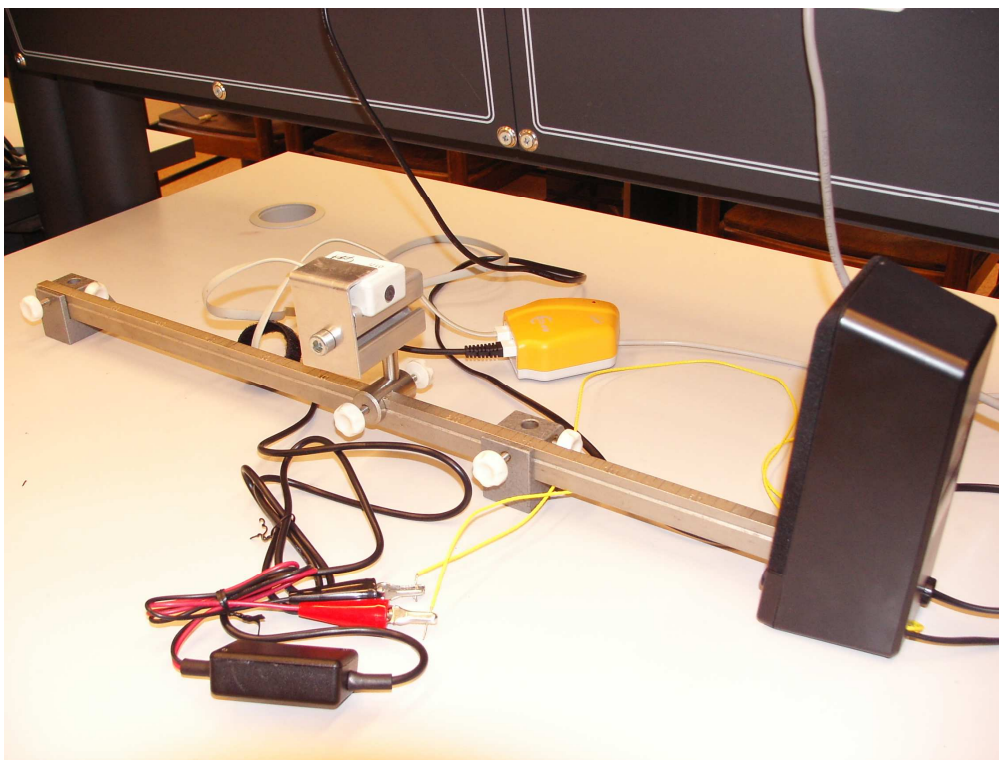
Meranie rýchlosti zvuku vo vzduchu

Princíp merania je popísaný v časti “Teória”. Preto tu popíšeme už len presný postup.

A. Meranie rýchlosti zvuku z oneskorenia zvukového signálu za napätím.

1. Odmeriame teplotu v miestnosti. Potom zapojíme aparatúru podľa schémy danej na Obr. 5 časti “Teória” alebo Obr. 11. Zvukový senzor upevníme na stojan na lište ociachovanej v jednotkách dĺžky do vzdialenosti x_A od reproduktora umiestneného na konci lišty v polohe 0 m. Ako nájdeme x_A , je popísané v bode 4.
2. Otvoríme **Audacity 1.3 Beta** generátor zvuku a nastavíme frekvenciu zvuku – okolo 400 – 500 Hz, alebo ju necháme na predvolenej frekvencii 440 Hz.
3. Klikneme na ikonu **Rýchlosť zvuku**. Zobrazí sa panel **Coach 6 – IP Coach Zvuk – RychlostZvuku.cma**. Zobrazia sa tri grafy. Jeden bude obsahovať súčasné záznamy zvuku a napätia, jeden záznam napätia a tretí záznam zvuku. Pred meraním klikneme na senzor napätia v Eurolabe pravým tlačítkom na myši a dáme **Nastav nulu**. Potom v paneli **Audacity** spustíme zvuk, ktorý zaznamenáme tlačítkom **Štart** na paneli **Coach 6 – IP Coach Zvuk – RychlostZvuku.cma**. Po zaznamenaní zvuku a napätia zvuk vypneme. Poznamenajme, že ak by na Eurolabe nebola nastavená nula, alebo nastavíme nenulovú **Spúšť úroveň**, po naštartovaní generovania zvuku a kliknutí na **Štart** sa objaví panel s oznamom, že treba stlačiť klávesu **Medzera**, ak chceme zvuk zaznamenať.
4. Vzdialenosť x_A nájdeme na základe grafu, ktorý obsahuje súčasný záznam napätia a zvuku. Volíme ju tak, aby ľubovoľné maximum sínusoidy odpovedajúcej zvuku bolo

trochu napravo od najbližšieho maxima sínusoidy odpovedajúceho napätia. Dôvod takejto voľby je popísaný v ďalšom texte v bode 7.



Obr. 11.

5. Zvuk a napätie ofitujeme sínusoidou ako je popísane v časti “Analýza grafu – signálu, A” pomocou grafov, ktoré ich zobrazujú každý zvlášť. Pritom treba použiť aplikáciu **Lupa automaticky**. Z fitovacích sínusoid opíšeme hodnoty koeficientov c , t.j. počiatočnú fázú φ_1 kmitov napätia a počiatočnú fázú φ_2 zmien tlaku vzduchu vo zvukovom senzore a z nich určíme oneskorenie zvuku za napätím Δt_A na základe vzorca (13) uvedeného v časti “Teória”. Aby sme tento vzorec správne použili, musíme sa riadiť nasledujúcimi pravidlami:

I. $0 \leq \omega t_2 - \omega t_1 = \Delta\Phi \leq \pi$

Tejto situácii odpovedá Obr. 6a. Rozlišujeme štyri podsituácie vzťahujúce sa na čas $t = 0$, t.j. na čas, v ktorom sme zapli zaznamenávanie napätia a zvuku v senzorech

	výchylka napätia	výchylka zmeny tlaku vzduchu	
a)	kladná	záporná	$\Delta\Phi = 2\pi + \varphi_1 - \varphi_2$
b)	kladná	kladná	$\Delta\Phi = \varphi_1 - \varphi_2$
c)	záporná	kladná	$\Delta\Phi = \varphi_1 - \varphi_2$
d)	záporná	kladná	$\Delta\Phi = \varphi_1 - \varphi_2$

II. $\pi \leq \omega t_2 - \omega t_1 = \Delta\Phi \leq 2\pi$

Tejto situácii odpovedá Obr. 6b. Ako v I aj tu rozlišujeme štyri podsituácie

vzťahujúce sa na čas $t = 0$

	výchylka napätia	výchylka zmeny tlaku vzduchu	
a)	kladná	záporná	$\Delta\Phi = 2\pi + \varphi_1 - \varphi_2$
b)	kladná	kladná	$\Delta\Phi = 2\pi + \varphi_1 - \varphi_2$
c)	záporná	kladná	$\Delta\Phi = 2\pi + \varphi_1 - \varphi_2$
d)	záporná	kladná	$\Delta\Phi = \varphi_1 - \varphi_2$

Upozorníme, že **IP Coach** dáva hodnoty počiatočných fáz z intervalu $-\pi, \pi$. Naše úvahy však platia pre $0 \leq \varphi_1, \varphi_2 \leq 2\pi$. Preto ak po fitovaní dostaneme záporný koeficient c , musíme k nemu pripočítať 2π , aby sme dostali $\varphi_{1,2}$ vystupujúce v našich vzorcoch.

Keďže napätie i zvuk kmitajú s rovnakou frekvenciou, a teda sínusoidy im odpovedajúce majú rovnakú periódu, nie je problém zo záznamu kmitov týchto veličín ako funkcií času, resp. ωt , zistiť, či ide o situáciu I alebo II. Ďalej si musíme uvedomiť, že zvuk má byť oneskorený za napätím. To znamená, že na našu analýzu je potrebné uvažovať takú fázu kmitov zaznamenaných zvukovým senzorom, ktorá je na našom zázname najbližšia sprava rovnakej fáze kmitov napätia. To ukazujú aj Obr. 6a,b. Rozdiel časových okamihov korešpondujúcich týmito dvom rovnakým fázam bude vždy v našom experimente menší ako perióda kmitov napätia, resp. zmeny tlaku vzduchu. T.j. ani pre väčšie vzdialenosti zvukového senzora od reproduktora nedostaneme prekrývajúci sa záznam kmitov týchto veličín. Je to tak preto, lebo vzdialenosť reproduktor – zvukový senzor je vždy menšia ako vlnová dĺžka zvukovej vlny. Tá nadobúda pre frekvencie z intervalu 400 – 500 Hz hodnoty zhruba 0.7 až 0.9 m [použite $v = f\lambda$ a vzorec (15) z časti “Teória”], pričom lišta, po ktorej posúvame zvukový senzor má 0.59 m.

- Posunieme zvukový senzor o niekoľko centimetrov ďalej od reproduktora do polohy x_{B1} . Pravým tlačítkom na myši klikneme na graf, ktorý obsahuje záznam zvuku aj napätia, a vymažeme predchádzajúce meranie. Opäť vygenerujeme a zaznamenané zvuk a napätie. Určíme Δt_{B1} rovnakým postupom ako Δt_A a zistíme oneskorenie zvuku $\Delta t_1 = \Delta t_{B1} - \Delta t_A$. Vypočítame tiež dráhu odpovedajúcu Δt_1 , t.j. $\Delta x_1 = x_{B1} - x_A$. Takto postupujeme, až kým neurobíme zhruba 10 meraní, teda budeme mať okolo desať dvojíc Δt_i , Δx_i .
- Na tomto mieste sa chceme zmieniť ešte o jednej skutočnosti. Pokiaľ vzdialenosť x_A zvolíme menšiu ako tú, čo sme si zvolili podľa bodu 4, môže sa stať, že na našom zázname kmitov napätia a zmeny tlaku vzduchu sa napätie bude oneskorovať za zvukom. T.j. kmitanie zmeny tlaku vzduchu bude zaznamenané vo zvukovom senzore skôr ako bude zaznamenané kmitanie napätia v napäťovom senzore. Toto je dané povahou použitých meracích prístrojov a neovplyvňuje naše meranie, keďže vždy počítame rozdiely časov $\Delta t_i = \Delta t_{Bi} - \Delta t_A$. To znamená, že ak odčítame od Δt_{Bi} i od Δt_A ten istý čas – čas oneskorenia záznamu kmitov napätia za jeho vyprodukovaním, dostaneme to isté Δt_i . Ak chceme, môžeme v našom meraní na výpočet Δt_i použiť aj záznamy kmitov napätia a zvuku aj v takomto prípade s tým, že $\Delta t_i = \Delta t_A - \Delta t_{Bi}$. Toto Δt_i , ktoré je vlastne

oneskorením záznamu napätia za záznamom zvuku, bude s narastajúcou vzdialenosťou zvukového senzora od reproduktora klesať, čo sa prejaví tým, že sínusoida reprezentujúca záznam kmitov zmeny tlaku vzduchu vo zvukovom senzore bude “dobiehať” sínusoidu reprezentujúcu záznam kmitov napätia v napäťovom senzore -- určitá fáza kmitov zmeny tlaku vzduchu v reproduktore bude detekovaná vo zvukovom senzore za čoraz väčší čas. Až napokon sa tento čas vyrovná času oneskorenia záznamu kmitov napätia v napäťovom senzore za záznamom kmitov zmeny tlaku vzduchu vo zvukovom senzore, čo sa prejaví na našom zázname týchto kmitov prekrytím oboch sínusoid. Na výpočet Δt_A a Δt_{Bi} môžeme i v tomto prípade použiť pravidlá dané v bode 5 s tým, že index 1 bude odpovedať zvuku a index 2 napätiu.

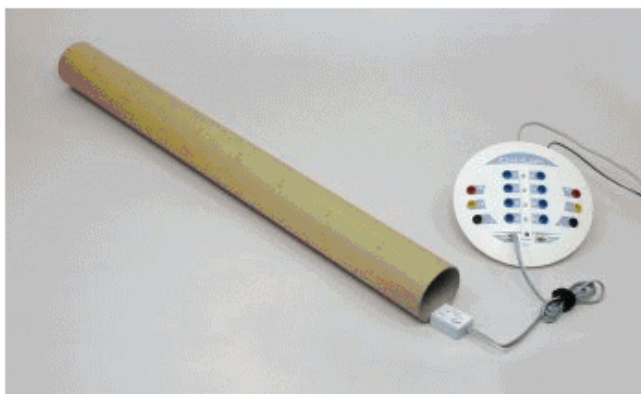
Chceme ešte upozorniť, že podľa našich skúseností pre rôzne frekvencie je vzdialenosť x_A rôzna, čo asi znamená, že pre rôzne frekvencie je oneskorenie záznamu napätia za záznamom zvuku rôzne. Inak by táto vzdialenosť bola rovnaká pre všetky frekvencie, keďže rýchlosť zvukovej vlny je stále tá istá. Preto aj nastavujeme x_A postupom uvedeným v bode 4.

8. Dvojice hodnôt Δt_i , Δx_i vložíme do tabuľky. Preto klikneme na paneli **Coach 6 – IP Coach Zvuk – RychlostZvuku.cma** na jeden z grafov a potom na 12. symbol zľava v hornej časti tohto panelu. Zobrazí sa panel **Zvoľ tabuľku**. V ňom klikneme na **Nová tabuľka**. Zobrazí sa panel **Vytvoriť/Upraviť tabuľku**. Tam môžeme napr. zapnúť zobrazenie číslovania riadkov. K tomuto panelu sa tiež dopracujeme, ak na paneli **Zvoľ tabuľku** klikneme na už existujúcu tabuľku a potom na **Upraviť**..
9. Ďalej na paneli **Vytvoriť/Upraviť tabuľku** zvolíme stĺpec **C1** a priradíme mu manuálny vstup. Zadáme veličinu a jednotku, *t.j.* čas a sekundy. Potom zvolíme stĺpec **C2**, tiež mu priradíme manuálny vstup a ako veličinu vpíšeme vzdialenosť a jednotku meter. Potom odklikneme 2-krát **OK** a ešte raz klikneme ľavým tlačítkom na myši v okne, v ktorom chceme tabuľku zobraziť. Namiesto grafu so zaznamenaným napätím a zvukom sa zobrazí tabuľka. Pomocou pravého tlačítka na myši a kliknutím na **Riadky** a **Vlož riadok** vložíme potrebný počet riadkov.
10. Do tabuľky vložíme naše dáta – Δt_i v sekundách do prvého stĺpca a Δx_i v metroch do druhého stĺpca. Potom pravým tlačítkom na myši klikneme na tabuľku a zvolíme **Zobraz ako graf**. Namiesto tabuľky sa zobrazí graf priamky, ktorý ofitujeme funkciou $f(x) = ax + b$. Dôvod je ten, že graf dráha verzus čas pre pohyb s konštantnou rýchlosťou je priamka, ktorej smernica je táto rýchlosť. Z panela **Fitovanie** teda odčítame hodnoty koeficientov a a b a porovnáme ich s predpokladanými hodnotami -- b by mal byť rovný nule a a rýchlosti zvuku vo vzduchu. Predpokladanú hodnotu tejto rýchlosti vypočítame zo vzorca (15) uvedeného v časti “Teória”. Na to zmeriame znovu teplotu v miestnosti a do (15) dosadíme za t priemer teplôt, ktoré sme zistili na začiatku a na konci merania.
11. Ak chceme namiesto tabuľky opäť mať graf zobrazujúci naraz zvuk a napätie, postupujeme podobne ako pri vytváraní tabuľky. Klikneme na 11. symbol zľava s obrázkom grafu na paneli **Coach 6 – IP Coach Zvuk – RychlostZvuku.cma**. Zobrazí sa panel **Zvoľ graf**. Ďalej klikneme na **Graf 1**. Zobrazí sa panel **Vytvor/Uprav graf**. Skontrolujeme, či stĺpcu **C1** je priradený čas na vodorovnej osi kliknutím na **C1**. Potom klikneme na stĺpec **C2** a skontrolujeme, že mu je priradený zvuk, pričom zvolíme druhú zvislú os. Nakoniec klikneme na **C3** a priradíme napätiu prvú zvislú os. Podobne ako pri tabuľke odklikneme 2x **OK** a ešte raz klikneme pravým tlačítkom na myši v okne, kde

graf chceme mať (predtým sme tam mali tabuľku). Pri vytváraní ľubovoľného iného grafu postupujeme podobne, len na paneli **Zvoľ graf** klikneme na **Nový graf** a pri priradení veličín jednotlivým stĺpcom a osiam volíme **Manuálny vstup** a zadáme jednotlivé veličiny a ich jednotky. Podobne, ako pri vytváraní alebo upravovaní tabuľky, už vytvorený graf môžeme upraviť kliknutím na **Upraviť** na paneli **Zvoľ graf**.

B. Meranie rýchlosti zvuku pomocou šírenia zvukového impulzu trubicou.

1. Zapojíme aparatúru podľa schémy zobrazenej na Obr. 7 v časti “Teória”. Setup je názorne ukázaný na Obr. 12. Odmeriame teplotu miestnosti. Klikneme na ikonu **Echo**. Otvorí sa panel s názvom **Coach 6 – IP Coach Zvuk – Echo.cma**. Na základe časti “Generovanie signálu”, bod 2, môžeme skontrolovať hodnoty, na ktoré sú nastavené doba merania a **Spúšť úroveň**, prípadne ich môžeme zmeniť. **Spúšť úroveň** musí byť nastavená na nenulovú hodnotu. Klikneme na zelené tlačítko so šípkou – **Štart** – a pri voľnom konci trubice vygenerujeme zvukový impulz. V okne v pravom hornom rohu panela **Coach 6 – IP Coach Zvuk – Echo.cma** sa zobrazí graf, ktorý môžeme zväčšiť lupou a ktorý by mal vyzeráť ako graf na Obr. 8.



Obr. 12.

2. Z grafu pomocou funkcií **Spracovať/Analyzovať** a **Vyber/Odstráň dáta** alebo **Sklon** tak, ako je to popísané v časti “Rázy”, bod 1, odhadneme časy korešpondujúce jednotlivým píkcom. Na základe bodov 8, 9 časti **A** môžeme tieto časy priebežne vkladať do tabuľky v ľavom hornom rohu panela **Coach 6 – IP Coach Zvuk – Echo.cma** tak, že v prvom stĺpci bude číslo píku a v druhom mu odpovedajúci čas v sekundách. Podľa bodu 10 časti **A** zobrazíme tejto tabuľke odpovedajúci graf – priamku, ktorú ofitujeme. Keďže ide o pohyb s konštantnou rýchlosťou, smernica fitujúcej priamky je potom rovná priemernému času Δt , za ktorý sa náš zvukový impulz dostane z jedného konca trubice na druhý a späť. Odmeriame dĺžku trubice v metroch a zistíme experimentálnu rýchlosť zvuku vo vzduchu pomocou vzorca (14) z časti “Teória”.
3. Opäť odmeriame teplotu miestnosti. Vypočítame aritmetický priemer teplôt na začiatku a na konci merania a túto hodnotu dosadíme za t do vzorca (15) z časti “Teória”, čím získame predpokladanú hodnotu rýchlosti zvukových vln vo vzduchu.