

Klasické a inovované měření rychlosti zvuku

Jiří Tesař

katedra fyziky, Pedagogická fakulta JU

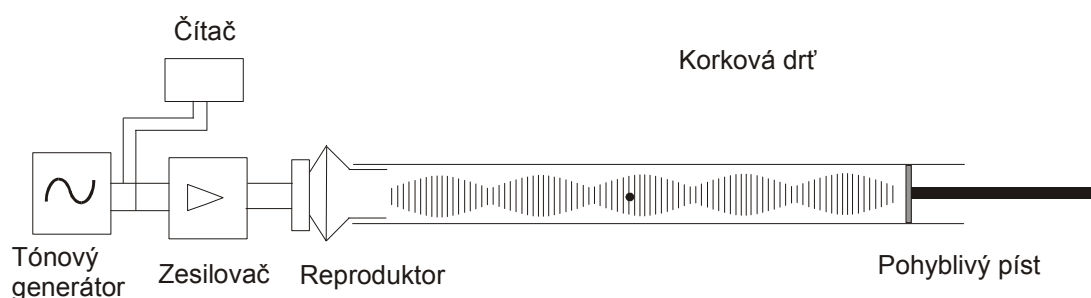
Klíčová slova: Rychlost zvuku, vlnová délka, frekvence, interference vlnění, stojaté vlnění, kmitny, uzly, interferenční minimum a maximum, fázový rozdíl, Lissajousovy obrazce, reproduktor, mikrofon, osciloskop, Kundtova trubice, Quinckeho trubice.

Anotace: Možnosti měření rychlosti zvuku ve fyzikálním praktiku – Kundtova trubice, Quinckeho trubice, srovnání fáze zvukového vlnění s referenčním zdrojem

Ve školní praxi se nejčastěji k měření rychlosti zvuku používají Kundtova a Quinckeho trubice. Další podobná metoda spočívá ve srovnání fáze zvukového vlnění s referenčním zdrojem. Základní myšlenkou všech těchto měření je určit vlnovou délku a frekvenci měřeného zvuku a pomocí vztahu $v = \lambda \cdot f$ lze potom určit rychlost šíření zvuku. Jejich princip je z fyzikálního hlediska odlišný, a tak je vhodné, např. ve fyzikálním praktiku, tyto metody použít jako navzájem se doplňující.

Ukažme si nejprve základní provedení, princip a některé modifikace **Kundtovy trubice**. Kundtova trubice je skleněná trubice, která má na jednom konci zdroj zvuku a druhý konec je uzavřen pomocí pohyblivého pístu. Zvuk se šíří trubicí od zdroje a na druhém konci se odrazí s opačnou fází a při vhodné poloze pohyblivého pístu dochází ke vzniku stojatého vlnění.

Z teorie vyplývá, že vzdálenost mezi dvěma sousedními uzly nebo kmitnami je rovna polovině vlnové délky, musíme tedy nějakým způsobem „zviditelnit“ místa v trubici, kde jsou kmitny resp. uzly. K tomuto účelu se v klasickém měření (obr. 1) používá korková drť, která se v trubici rozkmitá - v místech kmiten rychlosti je korkový prášek rozmetán a v místech uzlů rychlosti zůstává v klidu^{*)}. Experimentátor tak může zřetelně určit uzly a kmitny rychlosti. Protože přesné určení kmitny, resp. uzlu je velmi obtížné, je z hlediska přesnosti měření výhodné určit vzdálenost co největšího počtu např. uzlů a z tohoto údaje určit vlnovou délku měřeného zvuku.

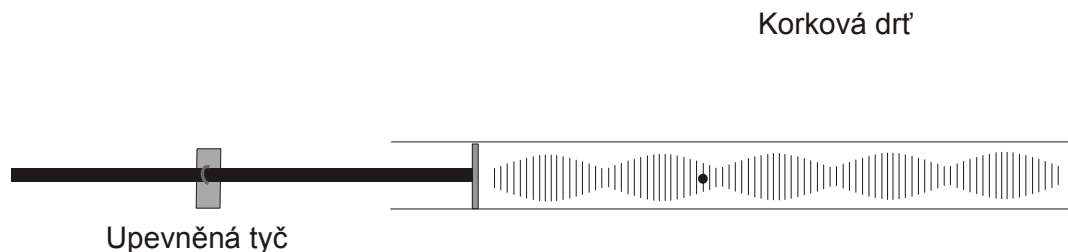


obr. 1

Frekvenci měřeného zvuku určíme v případě, že jako zdroj zvuku používáme reproduktor připojený k tónovému generátoru, snadno pomocí čítače připojeného k tónovému generátoru. V případě, že jako zdroj zvuku používáme kovovou tyč (obr. 2), kterou podélně rozkmitáme, dostáváme zvuk o konstantní frekvenci (při daném upevnění tyče). Frekvenci

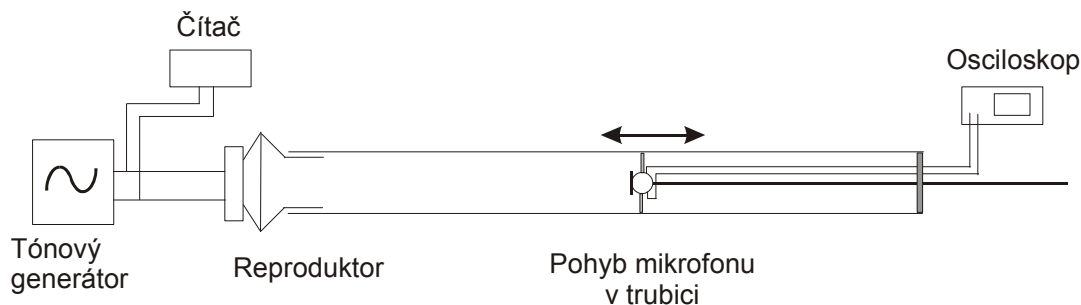
^{*)} Kmitna akustického tlaku je oproti kmitně rychlosti posunuta o $\lambda/4$, tj. v místech kmiten rychlosti jsou uzly tlaku a naopak.

tohoto zvuku určíme z rychlosti šíření zvuku v tyči^{**)} a z její délky. Je-li tyč upevněna v jedné čtvrtině nebo ve třech čtvrtinách své délky je vlnová délka vydávaného zvuku rovna délce tyče, je-li tyč upevněna v polovině své délky je vlnová délka vydávaného zvuku rovna dvojnásobku délky tyče.



obr. 2

Modifikace tohoto provedení spočívá v tom, že kmitny resp. uzly určujeme pomocí citlivého mikrofону připojeného k osciloskopu. Stojaté vlnění vzniká v celém prostoru Kundtovy trubice - zvuk vychází z reproduktoru na jednom konci trubice a odráží se na uzavřeném konci na druhém konci trubice. Mikrofon připevníme do čela lehce pohyblivého segmentu připevněného k duté tyči, kterou procházejí vodiče od mikrofону k osciloskopu (obr. 3). Protože segment neuzavírá celý průřez trubice, nedochází na něm k odrazu zvukové vlny a zvuk se odráží až na protější straně trubice. Pomalým posouváním mikrofону v trubici můžeme pomocí výchylky na osciloskopu určit poměrně přesně místa, kde se nacházejí kmitny resp. uzly a z jejich vzdálenosti (případně ze vzdáleností dalších) vypočítat vlnovou délku zvuku.



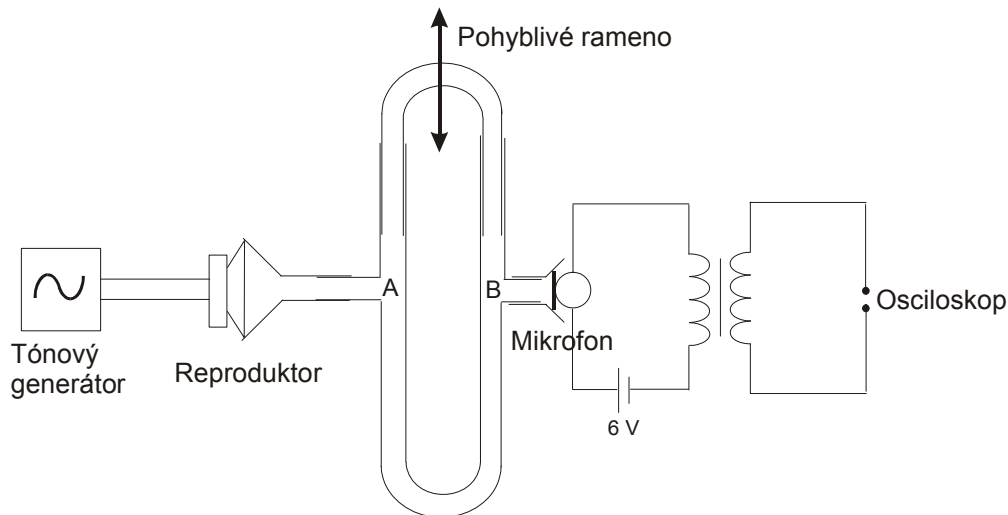
obr. 3

K tomuto měření je možné využít Kundtovu trubici dodávanou v rámci ústředních dodávek Koménia na konci 80. let. Trubicu opatříme výše uvedeným pohyblivým pístem s mikrofonom. Připojíme-li vestavěný zdroj zvuku (reproduktor) postupně k napětí 3, 5, 7 a 9 voltů, dostáváme zvuk o frekvenci 1440, 2877, 3983 a 4940 Hz.

Další způsob detekce kmiten, resp. uzlů je pomocí lékařského fonendoskopu bez kovové hlavičky. V uzlech je ticho, v kmitnách slyšíme pískot – viz [1].

Quinceho trubice (obr. 4.) funguje na principu interferometru. Do místa A přivádíme zvuk o známé frekvenci od reproduktoru, který se rozděluje do dvou zvukovodů 1 a 2. Následně v místě B spolu obě zvuková vlnění interferují. V místě B umístíme citlivý mikrofon, který registruje výsledek interference.

^{**)} Rychlost zvuku v materiálu, z něhož je tyč zhotovena nalezneme v tabulkách

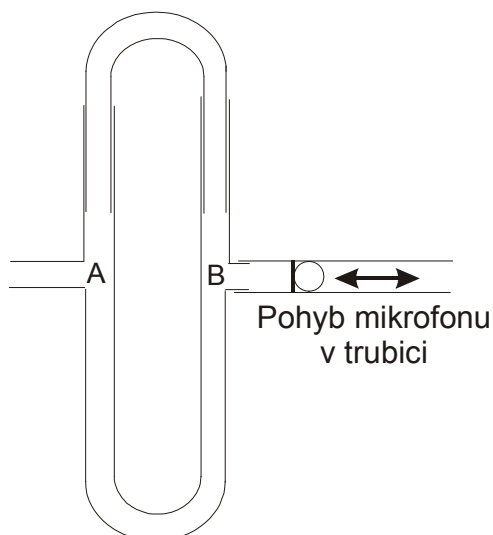


obr. 4

Jsou-li délky zvukovodů stejné, nebo je-li rozdíl jejich délek Δl roven celistvému násobku vlnové délky zvuku, vzniká v místě B interferenční maximum intenzity zvuku, je-li rozdíl délek zvukovodů Δl roven lichému násobku poloviny vlnové délky zvuku vzniká v místě B interferenční minimum intenzity zvuku. Rozdíl délek zvukovodu dvou po sobě jdoucích minim nebo maxim je roven vlnové délce zvuku λ . Změnu délky zvukovodu provádíme jeho postupným vysouváním o vzdálenost d , protože zvukovod má dvě ramena, je dráhový rozdíl $\Delta l = 2 \cdot d$.

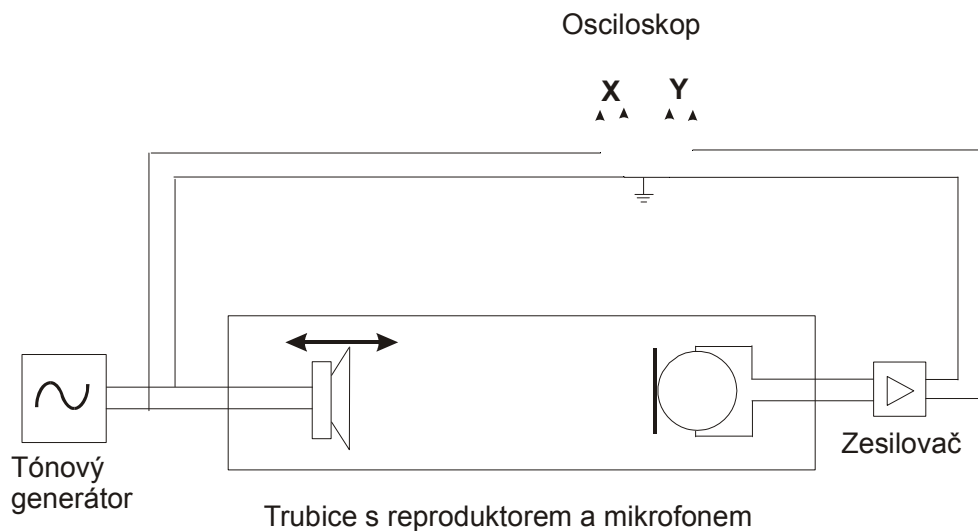
Vzhledem k rozměrům školního provedení Quinckeho trubice, lze tuto metodu použít pro frekvence 2 kHz a vyšší, jejichž vlnová délka je přibližně rovna 17 cm. Při nižších frekvencích a při posuvu ramene Quinckeho trubice cca 15 cm se nepodaří zachytit dvě sousední interferenční minima nebo maxima.

Jestliže mikrofon připojíme k místu B přes gumovou nebo plastovou hadici, můžeme sledovat další zajímavý jev, který sice neovlivňuje výrazně výsledek měření, ale může přispět k upřesnění polohy interferenčního maxima resp. minima. Malý elektretový mikrofon, totiž uzavře výstup hadice, takže v ní dochází k o odrazu a následnému zesílení resp. zeslabení složeného zvuku. Než začneme měřit, musíme tedy pro danou vlnovou délku naléznout takovou polohu mikrofonu, kdy je amplituda vlnění na osciloskopu maximální (obr. 5).



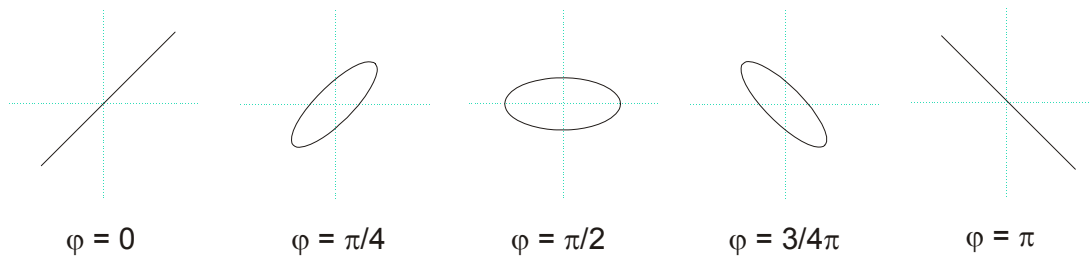
obr. 5

Poslední metodou, kterou se budu zabývat, je metoda spočívající ve **srovnání fáze zvukového vlnění s referenčním zdrojem**. Měření provádíme pomocí zařízení, které je znázorněno na obr. 6. Elektrický signál o frekvenci f z tónového generátoru je přiváděn na reproduktor a zároveň na x-výchylku osciloskopu. Z reproduktoru umístěného ve skleněné trubici se šíří zvuková vlna rovněž o frekvenci f k mikrofonu. Mikrofon tuto zvukovou vlnu převádí na napětí, které přivádíme na y-výchylku osciloskopu. Výsledkem složení těchto dvou signálů jsou Lissajouseovy obrazce, v našem případě se jedná o elipsy nebo úsečky, protože se jedná o signály se stejnou frekvencí.



obr. 6

Protože zvuk musí urazit vzdálenost d mezi reproduktorem a mikrofonem, je signál přicházející na y-výchylku osciloskopu fázově opožděn o φ za signálem přicházejícím na x-výchylku. Změnou vzdálenosti reproduktor – mikrofon (jejich vzájemným posuvem) dochází ke změně doby, za kterou překoná zvuk tuto vzdálenost, což se projeví změnou fázového posunu obou signálů φ a tedy i tvaru výsledného Lissajouseova obrazce. Z teorie vyplývá, že v našem případě mohou mít Lisajousovy obrazce v závislosti na fázovém posunu tvary, které jsou na obr. 7.



obr. 7

Pro naše měření jsou důležité polohy reproduktoru a pístu, při nichž nastanou krajní případy Lissajousových obrazců, tj. kdy oba signály jsou ve stejné fázi ($\varphi = 2k\pi$) nebo mají fázi opačnou ($\varphi = (2k+1)\pi$) - elipsa přechází v úsečku opačného sklonu. Vzdálenost mezi polohami reproduktoru pro oba krajní případy Lissajousových obrazců je tedy rovna polovině vlnové délky λ . Při měření posouváme reproduktor od výchozí polohy těsně u mikrofonu a zaznamenáváme jeho polohu v případě, že se na osciloskopu objeví úsečka, po dalším posunu se postupně objeví elipsy a následně úsečka, která však prochází jinými kvadranty. Posunutí mezi dvěma opačnými úsečkami je rovno polovině vlnové délky λ , posunutí mezi dvěma stejnými úsečkami je rovno vlnové délce λ .

Pro určení rychlosti zvuku můžeme použít i další metody – viz [2], pro běžnou praxi jsou však výše uvedené nejspíše proveditelné a při stejném výchozím vztahu $v = \lambda \cdot f$, se všechny opírají o odlišné fyzikální principy.

Použitá literatura:

- [1] Baník, I., Baník, R.: Měření rychlosti zvuku netradičním způsobem, MFvŠ 10, č. 3, 1979
- [2] Brož, J. a kol. Základy fyzikálních měření, SPN Praha 1983
- [3] Lehotský, D. a kol.: Praktika z fyziky pro Pedagogické fakulty, SPN Bratislava 1967
- [4] Stach, V., Tesař, J.: Fyzikální praktikum III., Pedagogická fakulta Č. Budějovice 1990
- [5] Tögl, T. a kol.: Fyzikální praktikum, Západočeská univerzita v Plzni 2002