

### 3 Rýchlosť zvuku

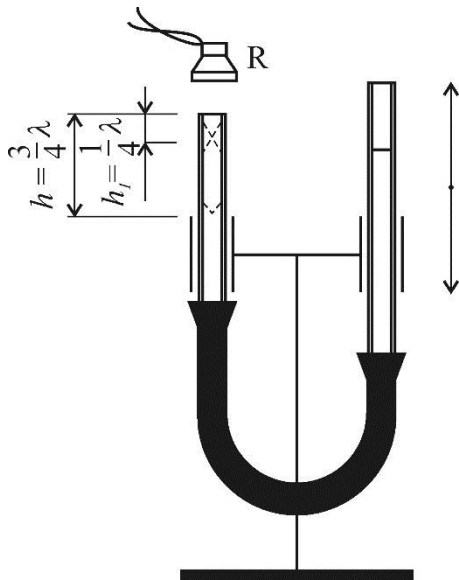
#### 3.1 Rýchlosť zvuku vo vzduchu

##### Teória

Pre zvukové vlny šíriace sa od zdroja v danom prostredí rýchlosťou  $c$  platí

$$c = \lambda \cdot f \quad (3.1)$$

kde  $\lambda$  je dĺžka vlny a  $f$  frekvencia kmitov zdroja vln.



Obr. 3.1 Rezonančná trubica a reproduktor pripojený na výstup tónového generátora.

Rýchlosť šírenia sa zvuku, ktorý je mechanickým vlnením, je pri danej teplote vzduchu konštantná. Frekvenciu zdroja zvuku – v prípade, že týmto zdrojom je tónový generátor – môžeme jednoducho z neho odčítať. Pri postupnom vlnení by sme vlnovú dĺžku ako druhý údaj potrebný na určenie rýchlosti zvuku merať nemohli. Tento problém môžeme však prekonať vytvorením podmienok pre vznik stojatého vlnenia. Stojaté vlnenie vznikne zložením dvoch proti sebe postupujúcich vlnení s rovnakou vlnovou dĺžkou (resp. frekvenciou) a rovnakou amplitúdou. Stojaté vlnenie je charakteristické vytvorením kmitní (miest s maximálnou amplitúdou, rovnajúcou sa dvojnásobku amplitúdy postupujúceho vlnenia) a uzlov (miest s nulovou amplitúdou). Stojaté vlnenie môže vzniknúť teda aj zložením postupujúceho vlnenia a vlnenia odrazeného od rozhrania dvoch prostredí, ku ktorému postupujúce vlnenie dospelo.

##### Rezonančná metóda určovania rýchlosti zvuku vo vzduchu

Ak nad sklenenou trubicou, v ktorej je voda (s meniteľnou výškou hladiny), podržíme reproduktor pripojený na výstup tónového generátora (obr. 3.1), dôjde v prípade, že výška vzduchového stĺpca nad hladinou je celistvým násobkom  $1/4$  vlnovej dĺžky, k rezonancii. V stĺpci dochádza k stojatému vlneniu. Na konci vzduchového stĺpca pri reproduktore sa v takomto prípade vytvorí kmitňa akustickej výchylky vlnenia, zároveň aj akustickej rýchlosti (resp. uzol akustického tlaku), na úrovni hladiny uzol výchylky vlnenia (resp. kmitňa akustického tlaku). Ak zmeníme výšku hladiny, vzduchový stĺpec nebude v rezonancii (so zdrojom). Vzdialenosť dvoch po sebe nasledujúcich maxim rezonancie je  $1/2$  vlnovej dĺžky.

##### Teoretická hodnota rýchlosti zvuku vo vzduchu

Pre výpočet teoretickej hodnoty rýchlosti zvuku  $c_T$  vo vzduchu sa používa závislosť rýchlosti zvuku vo vzduchu od teploty vzduchu  $t$  v tvare (3.2)

$$c_T = (331,8 + 0,61\{t\}) \text{ m.s}^{-1} \quad (3.2)$$

### Pomôcky

Tónový generátor, reproduktor, spojovacie vodiče, rezonančná trubica (s možnosťou merania výšky hladiny, obr. 3.1).

### Pracovný postup

1. Odmeriame teplotu v rezonančnej trubici, ktorá je rovná teplote vzduchu v miestnosti.
2. K okraju trubice priložíme reproduktor vysielajúci tón frekvencie 1 000 Hz.
3. Meníme výšku hladiny vody (pri hornom okraji trubice), kým nedôjde k rezonancii (čo sa prejaví nápadným zosilnením počutého tónu). Polohu hladiny si zaznamenávame.
4. Výšku hladiny znižujeme, pokiaľ dôjde k rezonancii v inej polohe. Z rozdielov týchto úrovní ( $\Delta h$ ) môžeme zistiť vlnovú dĺžku. Táto vzdialenosť je rovná 1/2 vlnovej dĺžky.
5. Rýchlosť šírenia zvuku vypočítame pomocou rovnice (3.1).
6. Meranie podľa bodov (2) až (5) zopakujeme pri frekvenciách 900 a 800 Hz a zapíšeme do tabuľky.
7. Určíme priemer rýchlostí  $c_E$ , ktoré sme dosiahli pri jednotlivých frekvenciách a takto získanú hodnotu porovnáme s vypočítanou hodnotou rýchlostí vo vzduchu pri danej teplote  $c_T$  (vzťah 3.2).

### Kontrolné otázky

#### A.

1. Aká je vzdialenosť susedných kmitní a uzlov stojateho vlnenia?
2. Aký je rozsah frekvencií rýchlosti počuteľných vln?
3. Prečo môžeme pri výpočte  $c$  využiť vzťah (3.1), ku ktorému sa dospeje pri štúdiu postupných vln, keď vieme, že v prípade rezonancie sa vytvorí vlnenie stojaté?
4. Ako závisí rýchlosť zvuku od teploty?

#### B.

1. Vypočítajte v percentách odchýlku vami určenej experimentálnej hodnoty rýchlosti  $c_E$  od teoretickej hodnoty vypočítanej podľa vzťahu (3.2) pre rýchlosť  $c_T$  ako funkciu teploty, podľa vzťahu  $PO = \frac{|c_E - c_T|}{c_T} \cdot 100\%$
2. Kedy sa vám rezonancia určovala ľahšie, pri menšej alebo pri väčšej hlasitosti signálu?
3. Vymenujte hlavné zdroje nepresností pri tomto experimente.

### Vyhodnotenie úlohy 3.1

Tab. 3.1 Namerané a vypočítané hodnoty výšky hladiny vody, vlnovej dĺžky a rýchlosti zvuku.

	$f$ (Hz)	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	$\Delta h$ (m)	$\lambda$ (m)	$c_E$ (m.s <sup>-1</sup> )
1.	1 000					
2.	900					
3.	800					
Aritmetický priemer						