

## WYZNACZANIE PRĘDKOŚCI DŹWIĘKU METODAMI QUINCKEGO I KUNDTA

### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest obserwacja i wykorzystanie skutków zjawisk falowych do poznania specyficznej własności ośrodków/materiałów. W pierwszej części ćwiczenia wyznaczana jest prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu. W drugiej przeprowadza się pomiary pozwalające ustalić prędkość dźwięku w prętach wykonanych z różnych materiałów.

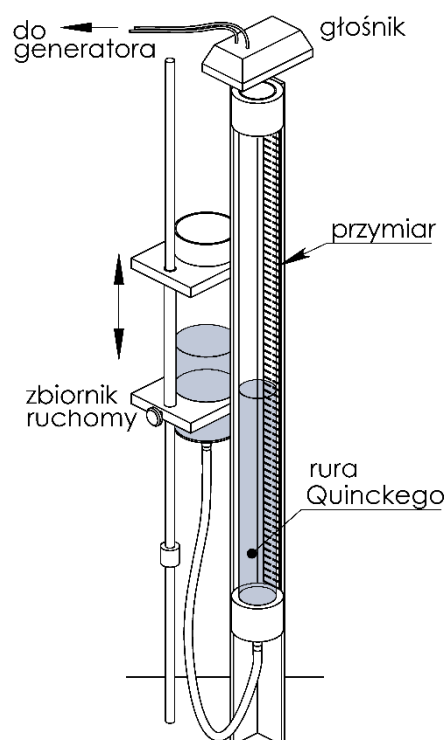
### 2. Zagadnienia do przygotowania

- ruch falowy, rodzaje fal, równanie fali, superpozycja fal, zjawiska związane z falami
- wielkości charakteryzujące fale i związki między nimi
- mechanizm powstawania i rozchodzenia się fali dźwiękowej
- prędkość dźwięku w różnych ośrodkach
- pojęcie rezonansu
- fala stojąca i jej równanie
- zasady działania rury Quinckego i rury Kundta

### 3. Przyrządy pomiarowe, opis i schematy aparatury

#### 3.1. Metoda Quinckego

Do wyznaczania prędkości fali dźwiękowej w powietrzu służy układ przedstawiony schematycznie na rys. 1. Jego działanie opiera się o zasadę tzw. rury Quinckego. Pionowa nieruchoma rura szklana, połączona jest elastycznym węzłem z ruchomym zbiornikiem na ciecz. Przy przesuwaniu w pionie tego zbiornika i wyrównywaniu się poziomów cieczy w połączonych naczyniach, zmieniają się wysokości słupów cieczy i powietrza w rurze Quinckego. Nad wylotem rury umieszczony jest głośnik, który może emitować dźwięki o różnych tonach ustalanych przy pomocy generatora sygnałów o częstotliwościach akustycznych. Przy pewnych wysokościach słupa powietrza następuje wyraźny wzrost głośności dźwięku słyszanego w otoczeniu stanowiący skutek wytworzenia się fali stojącej i rezonansu. Mierząc różnice tych wysokości można wyznaczyć długość fali dźwiękowej i – znając częstotliwość – prędkość jej propagacji w powietrzu.



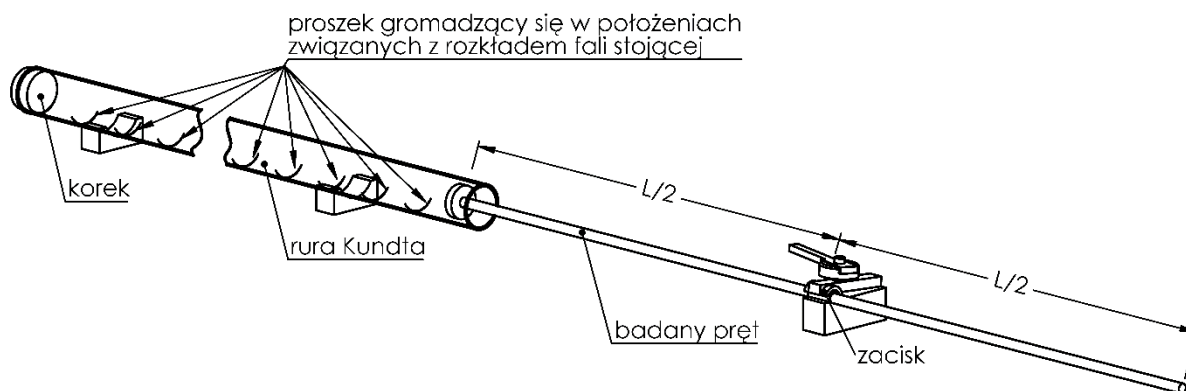
Rys. 1. Układ do wyznaczania prędkości dźwięku w powietrzu.

\* Aktualizacja: 2017-10-23

### 3.2. Metoda Kundta

Do wyznaczania prędkości fali dźwiękowej w pręcie metalowym wykorzystuje się szklaną rurę (o długości około 1 m i średnicy około 4 cm) zwaną rurą Kundta. Schemat układu przedstawiono na rys. 2. Jeden z końców rury można zamknąć korkiem, przez drugi natomiast wkładany jest pręt zakończony lekkim krążkiem. Średnica krążka jest nieco mniejsza od wewnętrznej średnicy rury, tak by nie dotykał jej ściany i by mógł swobodnie wykonywać drgania. Pręt mocowany jest w połowie swojej długości przy pomocy zacisku śrubowego. Przez odpowiednie pocieranie szmatką nawilżoną alkoholem pręt można pobudzić do drgań podłużnych. Wzbudzona fala dźwiękowa powoduje drgania krążka – te, z kolei, wywołują ruchy cząsteczek powietrza wewnątrz rury. Fala akustyczna rozchodząca się w powietrzu i ulegająca odbiciu na końcu rury może wytworzyć falę stojącą.

Wewnątrz rury rozsypany jest drobny proszek, który gromadzi się określonych położeniach zależnych od rozkładu fali stojącej. Mierząc odległości pomiędzy tymi położeniami wyznacza się długość fali dźwiękowej w powietrzu. Na jej podstawie można obliczyć częstotliwość, która jest wspólna dla drgań akustycznych w powietrzu i w pręcie. Znajomość długości fali wygenerowanej w pręcie pozwala ustalić prędkość rozchodzenia się w nim dźwięku.



Rys. 2. Układ do wyznaczania prędkości dźwięku w pręcie metalowym.

Niezbędne przyrządy dodatkowe: taśma miernicza.

## 4. Przebieg ćwiczenia

### 4.1. Metoda Quinckego

- Włączamy generator sygnału, ustawiamy częstotliwość na  $f = 2000$  Hz.
- Ruchome naczynie szklane powoli opuszczamy od jego najwyższego położenia, zatrzymując w pozycji, przy której słyszymy najsilniejsze wzmocnienie dźwięku,
- Czynności powyższe powtarzamy pięciokrotnie, za każdym razem odczytane z przymiaru wysokości ( $h_1$ ) zapisujemy w tabeli (np. tab.1), by na ich podstawie obliczyć później wartość średnią  $\bar{h}_1$ .

Tabela 1. Rura Quinckego – wyniki pomiarów.

$f$ /Hz	$h_1$ /mm	$h_2$ /mm
2000		
1750		
...		

- Rozpoczynając od położenia pierwszego rezonansu opuszczamy naczynie ruchome niżej, do następnego położenia w którym słyszymy wzmocnienie. Pięciokrotnie lokalizujemy tę pozycję i zapisujemy otrzymane wysokości  $h_2$  w tabeli.
- powtarzamy takie same pomiary dla częstotliwości 1750 Hz, 1500 Hz, 1250 Hz i 1000 Hz.

Otrzymane dane umożliwiają obliczenie prędkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu.

#### 4.2. Metoda Kundta

Dla wszystkich prętów (wg zaleceń prowadzącego) powtarzamy następujące czynności:

- Zamykamy rurę korkiem.
- Rozprowadzamy równomiernie proszek na dnie rury.
- Przy pomocy taśmy mierniczej wyznaczamy długość  $L$  badanego pręta.
- Mocujemy pręt w środku jego długości (w miejscu zacisku powstaje węzeł fali stojącej).
- Pobudzamy pręt do drgań przez pocieranie jego wolnego końca szmatką nawilżoną alkoholem (uwaga: decydujący wpływ na wytwarzanie drgań ma nie siła nacisku, ale umiętny uchwyt - kciuk i palec wskazujący muszą obejmować pręt przez szmatkę).
- Przesuwając rurę względem pręta, dobieramy takie położenie, dla którego w rurze następuje rezonans słupa powietrza (proszek grupuje się w regularnych odstępach).
- Przy pomocy taśmy mierniczej wyznaczamy odległość  $l$  pomiędzy dwoma jak najdalszymi wyraźnymi węzłami i ustalamy liczbę  $n$  połówek długości fali odpowiadającą tej odległości – dane zapisujemy w tabeli (przykład: tab. 2).
- Wyjmujemy korek i powtarzamy pomiary z rurą otwartą – strzałki i węzły występują w zmienionych położeniach – notujemy obserwacje.

Tabela 2. Rura Kundta – wyniki pomiarów

pręt	$L$ /mm	rura	$l$ /mm	$n$
		zamknięta		
		otwarta		
...				

## 5. Opracowanie wyników - schemat wykonania obliczeń

### 5.1. Metoda Quinckego

- Obliczamy średnie wysokości słupów powietrza  $\overline{h_1}$  i  $\overline{h_2}$  przy których tworzyły się fale stojące dla każdej częstotliwości. Dane pozwalają na obliczenie długości fal dźwiękowych. Szacujemy również niepewności standardowe. Wyniki umieszczamy w tabeli (np. takiej jak tab. 3).
- Prędkość dźwięku w powietrzu obliczamy (dla każdej częstotliwości) korzystając z równań:

$$v_{pow} = f\lambda = 2f(\overline{h_1} - \overline{h_2}) \quad (1)$$

Szacujemy niepewności standardowe. Wyniki umieszczamy w tabeli. We wprowadzeniu do sprawozdania należy wyjaśnić pochodzenie równań (1), a we wnioskach przeanalizować zgodność wartości prędkości  $v_{pow}$  otrzymanych dla różnych częstotliwości z oczekiwaniami.

Tabela 3. Metoda Quinckego – wyniki obliczeń

$f$ /Hz	$\bar{h}_1$ /mm	$\bar{h}_2$ /mm	$\lambda$ /mm	$v_{pow}$ (m/s)
2000	±	±	±	±
1750	±	±	±	±
1500	±	±	±	±
1250	±	±	±	±
1000	±	±	±	±

## 5.2. Metoda Kundta

Długości fal w pręcie i w powietrzu obliczamy korzystając ze wzorów:

$$\lambda_{pręt} = 2L \quad (2)$$

$$\lambda_{pow} = 2l/n, \quad (3)$$

które po odpowiednim przekształceniu z użyciem podstawowego związku pomiędzy częstotliwością, długością i prędkością fazową prowadzą do formuły pozwalającej na wyznaczenie prędkości fali dźwiękowej w pręcie znając prędkość dźwięku w powietrzu:

$$v_{pręt} = \frac{nv_{pow}}{l} \quad (4)$$

- Obliczamy długości i częstotliwości fal dźwiękowych w prętach oraz ich niepewności standardowe.
- Obliczamy odpowiadające im długości  $\lambda_{pow}$  fal dźwiękowych wywołanych w powietrzu w zamkniętej i otwartej rurze Kundta przez drgania różnych prętów.
- Znając wyznaczoną metodą Quinckego prędkość  $v_{pow}$  rozchodzenia się dźwięku w powietrzu, obliczamy prędkości  $v_{pręt}$  rozchodzenia się dźwięku w prętach i ich niepewności standardowe.
- Wyniki przedstawiamy w postaci tabeli (np. tab. 4).
- Część wprowadzająca sprawozdania powinna zawierać krótkie wyjaśnienie równań (2) – (4). We wnioskach należy ocenić zgodność prędkości dźwięku w prętach ustalone przy zamkniętej i otwartej rurze Kundta, opisując także różnice w układzie węzłów i strzałek fal stojących. Weryfikujemy także zgodność otrzymanych prędkości dźwięku z ich literaturowymi wartościami dla stali, miedzi i aluminium.

Tabela 4. Metoda Kundta – wyniki obliczeń

pręt	rura	$l$ /m	$n$	$\lambda_{pow}$ /m	$f$ /Hz	$\lambda_{pręt}$ /m	$v_{pręt}$ (m/s)
stalowy	zamknięta	±		±	±	±	±
	otwarta	±		±	±	±	±
...		±		±	±	±	±

## 6. Literatura

T. Dryński, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki”, wyd. VI, PWN, Warszawa 1977 (lub inne wydanie)

H. Szydłowski, „Pracownia fizyczna”, wyd. IX, PWN, Warszawa 1997 (lub inne wydanie)

F.C. Crawford, „Fale”, PWN, Warszawa 1975

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, „Podstawy fizyki”, PWN, Warszawa 2007

A. Bielski, R. Ciuryło, „Podstawy metod opracowania pomiarów”, wyd. II, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń 2001