

**Andrzej Grzebielec**

2009-11-20

Laboratorium  
Chłodnictwa

**Ćwiczenie nr 6**  
**Termoakustyczne**  
**urządzenie chłodnicze**

# 1 Termoakustyczne urządzenie chłodnicze

## 1.1 Cel ćwiczenia

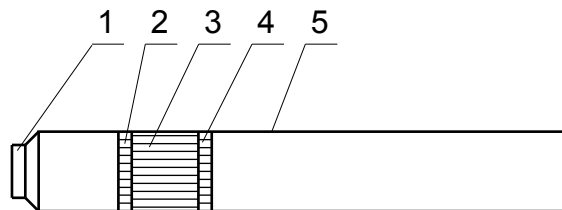
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i zasadą działania termoakustycznego urządzenia chłodniczego.

## 1.2 Podstawy teoretyczne

### 1.2.1 Zasada działania

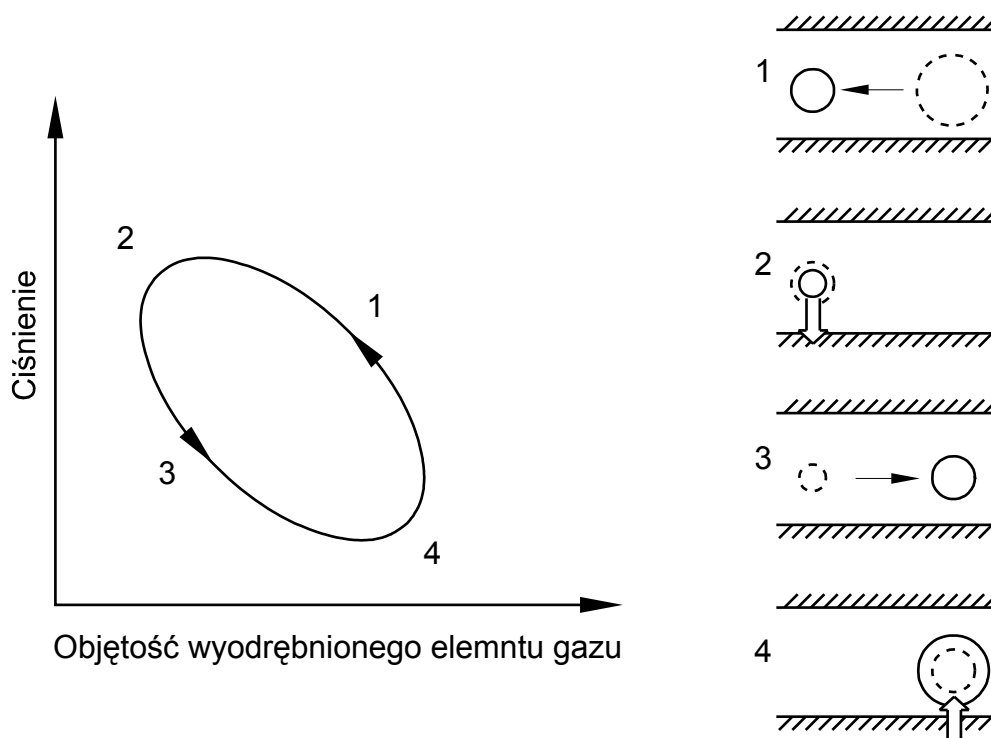
Fala akustyczna rozchodząca się w np. w powietrzu to nic innego jak rozchodzące się zaburzenie gęstości, ciśnienia, temperatury i energii. Zmiana tych parametrów powoduje miejscowe przemieszczenie się wyodrębnionego elementu gazu. Termoakustyczne urządzenie chłodnicze wykorzystuje fakt przemieszczenia się gazu do przetransportowania ciepła z ośrodka o temperaturze niższej do ośrodka o temperaturze wyższej. Urządzenie realizujące to zadanie zostało przedstawione na rys. 1. Składa się ono z głośnika (1), który emituje dźwięk o zadanej częstotliwości, rury rezonansowej (5) dobranej do emitowanej częstotliwości. Wewnątrz rezonatora znajdują się trzy elementy zespolone w całość, są to:

- gorący wymiennik ciepła (2) – wymiennik, który oddaje ciepło do czynnika, który przez niego przepływa;
- stos (3) – element łączący oba wymienniki, wewnątrz którego realizowane jest przenoszenie ciepła od jednego wymiennika do drugiego;
- zimny wymiennik ciepła (4) – wymiennik, który odbiera ciepło od przepływającego przez niego czynnika.



**Rys 1.** Podstawowe elementy termoakustycznego urządzenia chłodniczego (1-głośnik lub generator dźwięku, 2-gorący wymiennik ciepła, 3-stos, 4-zimny wymiennik ciepła, 5-rezonator)

Stos najczęściej zbudowany jest w postaci cienkich warstw tworzących między sobą szczeliny o określonych wysokościach. Wewnątrz szczelin realizowane jest przenoszenie ciepła.



**Rys. 2.** Zasada działania termoakustycznego urządzenia chłodniczego

Na rys. 2. został zobrazowany proces przenoszenia ciepła wewnątrz szczeliny dla wyodrębnionego elementu gazu. Wszystko opiera się na tym, że w stosie w wyniku rozchodzenia się fali akustycznej dochodzi do cyklicznego przepychania gazu to w jedną to w drugą stronę. W punkcie 1 fala dźwiękowa spręża miejscowo element gazu, co powoduje przesunięcie go w lewo. W punkcie 2 element gazu oddaje ciepło do ścianki – gdyż jest ona tam chłodniejsza, co powoduje, że wydzielony element gazu zmniejsza jeszcze swoją objętość. W kolejnym etapie 3, gaz przy pomocy fali dźwiękowej jest rozprężany, co powoduje, że jest on przesuwany w prawo. Natomiast w punkcie 4, ponieważ element gazu jest o niższej temperaturze niż ścianka, odbiera ciepło od ścianki, co powoduje dodatkowe rozprężenie się elementu gazu. W ten sposób cykl się zamyka – wszystko to dzieje się w czasie jednej oscylacji dźwięku. Jeden taki cykl zachodzi na dość nieznacznej odległości. Jednak w stosie takich zjawisk będzie występować koło siebie bardzo wiele, co powoduje, że wzdłuż stosu wytworzy się nam dość spory gradient temperatury, a to umożliwia przenoszenie ciepła z jednego wymiennika do drugiego.

### 1.1. Podstawowe parametry urządzenia

Przy projektowaniu i budowie termoakustycznego urządzenia opartego na fali stojącej, należy zwrócić uwagę na kilka parametrów, które decydują o sprawności działania urządzenia. Jeśli w urządzeniu rezonatorem ma być rura – to istotna jest jej długość. Wyliczamy ją z podstawowego równania (1) na częstotliwość fali dźwiękowej.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Gdzie:  $f$  – częstotliwość dźwięku,  $c$  – prędkość dźwięku,  $\lambda$  – długość fali.

Długość rezonatora powinna być równa długości fali, może być także 1/2 lub 1/4 długości fali i urządzenie będzie także działało poprawnie.

Kolejnym parametrem, na jaki szczególnie trzeba zwrócić uwagę to wysokość szczeliny w stosie. Zależność nr 2 określa szerokość warstwy oddziaływania termicznego – w tym wypadku definiowana jest jako odległość, na jaką ciepło może być przekazane w gazie w czasie  $t=1/2\pi f$ , gdzie  $f$  jest częstotliwością fali stojącej. Szczelina w stosie powinna być kilkukrotnością tej wartości [2]. Drugim parametrem jest natomiast wysokość warstwy oddziaływań lepkich, która określa taką wysokość szczeliny, przy której elementarna jednostka gazu nie zostanie przesunięta pod wpływem pulsacji akustycznych, ze względu na oddziaływanie sił lepkości.

$$\delta_k = \sqrt{\frac{k}{\pi f \rho c_p}} \quad (2)$$

$$\delta_v = \sqrt{\frac{\mu}{\pi f \rho}} \quad (3)$$

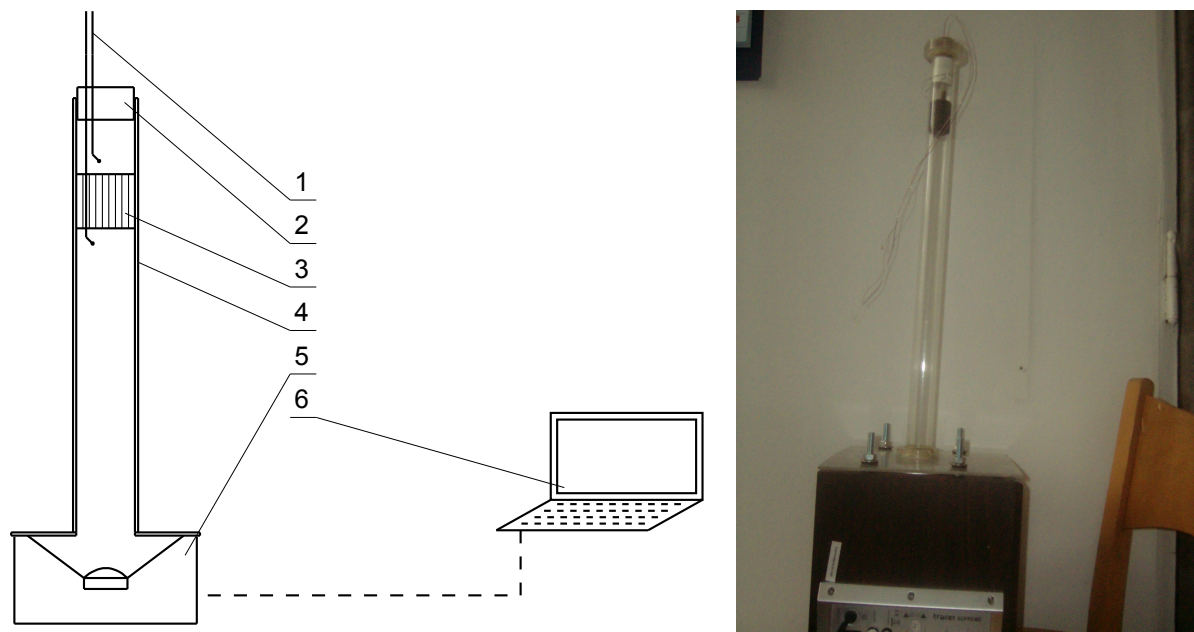
Gdzie:  $k$  – przewodność cieplna gazu,  $\rho$  – gęstość gazu,  $c_p$  – ciepło właściwe gazu,  $\mu$  – dynamiczna lepkość gazu.

### 1.3 Stanowisko laboratoryjne

Do badania pracy urządzenia termoakustycznego zostało zaprojektowane i zbudowane stanowisko umożliwiające przeprowadzenie badań podstawowych.

#### 1.3.1 Budowa stanowiska

Schemat i widok stanowiska badawczego został przedstawiony na rysunku 3. Badane urządzenie składa się z 20 W głośnika (5) podłączonego do komputera typu PC (6). Komputer poprzez kartę dźwiękową i odpowiednie oprogramowanie wraz z głośnikiem wytwarza dźwięk o zadanej częstotliwości. Do głośnika przymocowana jest rura rezonansowa (4) o długości 0,55 m i wewnętrznej średnicy 26 mm, zatkana przesuwным korkiem (2). Wewnątrz rezonatora znajduje się stos (3). Po obu stronach stosu umieszczone są termopary (1).



**Rys. 3.** Stanowisko badawcze (1-termopary, 2-przesuwny korek, 3-stos, 4-rezontor, 5-głośnik, 6-komputer PC)

Czynnikiem roboczym w urządzeniu jest powietrze – przy badaniach wstępnych jest to duże ułatwienie, gdyż układ nie musi być szczelny. Wadą takiego rozwiązania jest niewielka moc chłodzenia i niewielki uzyskiwany gradient temperatury. Badane urządzenie nie posiada także gorącego i zimnego wymiennika ciepła po obu stronach stosu. Nie ma to w tym wypadku znaczenia, gdyż celem doświadczenia było uzyskanie danych podstawowych o możliwościach urządzenia termoakustycznego – czyli w tym przypadku przede wszystkim różnicy temperatury. Stos zbudowany jest z cienkiego tworzywa sztucznego o szerokości 35 mm nawiniętego na rurkę o średnicy 10 mm. Kolejne warstwy tworzywa są oddalone od siebie o 0,35 mm. Rurka została wykorzystana do przeciągnięcia przewodów termopary. Po ułożeniu przewodów została zatkana silikonem.

#### 1.4 Przebieg ćwiczenia

Po zapoznaniu się z budową urządzenia należy obliczyć na podstawie równania 1 częstotliwość rezonansową dźwięku którego  $1/4$  długości jest długość rezonatora. Pierwszą częścią pomiarów jest wyznaczenie zależności maksymalnej do uzyskania różnicy temperatury od częstotliwości dźwięku, przy tej samej długości rury rezonansowej. Pomiaru należy zacząć od częstotliwości o 100 Hz mniejszej od obliczonej częstotliwości rezonansowej, a następnie przeprowadzać pomiary co 10 Hz większe. Pomiary należy zakończyć po dojściu do częstotliwości większej o 100 Hz od częstotliwości rezonansowej. Przy częstotliwościach bliskich częstotliwości rezonansowej częstość pomiarów należy zwiększyć. Jeden pomiar polega na włączeniu dźwięku o zadanej częstotliwości odczekaniu jednej minuty i odczytaniu wyniku.

Druga seria pomiarów ma za zadanie określić zależność maksymalnej do uzyskania różnicy temperatury od poziomu natężenia dźwięku. Pomiary przeprowadzane są dla częstotliwości rezonansowej. W tym celu należy ustawić częstotliwość rezonansową, a poziom natężenia dźwięku na  $-40$  [dB]. Następnie zmieniając poziom natężenia dźwięku co 2 dB w górę odczytywać różnicę temperatury. Pomiaru należy dokonać po minucie od zmiany poziomu natężenia dźwięku. Po dojściu do 0 dB serię pomiarową należy zakończyć.

## 1.5 Opracowanie wyników i pomiarów

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów należy wyznaczyć zależności maksymalnej do uzyskania różnicy temperatury od częstotliwości i poziomu natężenia dźwięku.

## 1.6 Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- cel ćwiczenia;
- opis stanowiska;
- pomiary;
- obliczoną częstotliwość rezonansową;
- wykres zależności maksymalnej do uzyskania różnicy temperatury od częstotliwości;
- wykres zależności maksymalnej do uzyskania różnicy temperatury od poziomu natężenia dźwięku;
- wnioski.

## 1.7 Literatura

- [1]. Bao R., Chen G.B., Tang K., Jia Z., Cao W.: *Influence of resonance tube geometry shape on performance of thermoacoustic engine*. Ultrasonics, 44, 2006, str. 1519-1521
- [2]. Russell D.A., Weibull P.: *Tabletop thermoacoustic refrigerator for demonstrations*. Am. J. Phys., Vol. 70, No. 12, 2002, str. 1231-1233
- [3]. Tang K., Chen G.B., Jin T., Bao R., Kong B., Qiu L.M.: *Influence of resonance tube length on performance of thermoacoustically driven pulse tube refrigerator*. Cryogenics, 45, 2005, str 185-191
- [4]. Tijani M.E.H., Zeegers J.C.H., de Waele A.T.A.M.: *Design of thermoacoustic refrigerators*. Cryogenics, 42, 2002, str. 49-57
- [5]. Wetzel M., Herman C.: *Design optimization of thermoacoustic refrigerators*. Int J. Refrig. Vol 20, No. 1, 1997, str. 3-21