

# 4 Praktyczna realizacja przemiany adiabatycznej jako wybranej przemiany politropowej

## 4.1 Wprowadzenie

Przemiana jest adiabatyczna, jeśli dla każdego dwóch stanów 1, 2 leżących na tej przemianie  $Q_{1-2} = 0$ . Z tej definicji wynika, że aby realizować wyżej wymieniony proces, np. ekspansję gazu w cylindrze z ruchomym tłokiem, to cylinder i tłok muszą być wykonane z materiału będącego doskonałym izolatorem cieplnym.

Analogicznie jeśli opróżnimy zbiornik napełniony wcześniej gazem (powietrzem) przez otwarcie zaworu, to aby stan gazu w zbiorniku zmieniał się według adiabaty, ściany zbiornika muszą być idealnie izolowane termicznie. Ponieważ nie ma doskonałej izolacji, więc w praktyce możemy co najwyżej zrealizować adiabatę w przybliżeniu. Miarą tego przybliżenia jest wskaźnik:

$$Y = \left| \frac{Q_{z1-2}}{U_2 - U_1} \right| \quad (1)$$

gdzie:

$Q_{z1-2}$  – całkowita ilość ciepła (dodatnia lub ujemna) w czasie  $\Delta\tau$  dostarczona do gazu,  
 $U_2 - U_1$  – całkowita zmiana energii wewnętrznej gazu przy przejściu od stanu 1 do stanu 2.

Jeśli  $Y = 0$ , to mamy rzeczywistą adiabatę. W przeciwnym wypadku w zależności od konkretnej wartości tego wskaźnika będziemy mówić o adiabatce zrealizowanej z dokładnością do 1%, 0,1% itd.

Dla konkretnego procesu oszacowanie stopnia przybliżenia adiabaty wymaga więc pomiaru wielkości występujących we wzorze (1). Nie jest to łatwe zadanie.

Problem w sposób istotny upraszcza się, jeśli chcemy zrealizować adiabatę gazu spełniającego równanie Clapeyrona oraz warunek  $c_v = const$ . Wtedy bowiem adiabatą jest politropą, tzn. jej równanie w układzie współrzędnych  $\{p, v\}$  ma postać:

$$pv^\kappa = const \quad (2)$$

Ponadto – wykładnik „ $\kappa$ ” (wykładnik adiabaty) jest związany z wielkościami  $c_p$ ,  $c_v$  równaniem:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (3)$$

## 4.2 Cel doświadczenia

- Sprawdzić, że adiabatą gazu doskonałego jest politropą.
- Sprawdzić, że dekompresja zbiornika ze sprężonym powietrzem jest procesem (w przybliżeniu) adiabatycznym.
- Oszacować dokładność realizacji przemiany.

### 4.3 Opis doświadczenia

1. Zbiorniki A i B o równej objętości  $V$  napełniamy powietrzem aż do uzyskania ciśnień odpowiednio:

$$p_{A1} > p_{B1} > p_o$$

Temperatura gazu w zbiornikach ma być, po zakończeniu pompowania równa temperaturze otoczenia:

$$t_{A1} = t_{B1} = t_{ot} = t_o$$

2. Otwieramy „na chwilę” zawór łączący zbiorniki. Następuje szybki przepływ powietrza, który kończy się gdy wyrównają się ciśnienia:

$$p_{A2} = p_{B2} = p_m > p_o$$

Temperatury osiągają wtedy wartości:

$$t_{A2} < t_o, t_{B2} > t_o$$

3. W tym momencie zamykamy zawór i czekamy aż temperatury powietrza w zbiornikach ponownie osiągną wartość:

$$t_{A3} = t_{B3} = t_o$$

Wówczas odczytujemy ciśnienia:

$$p_{A3} > p_{B3} > p_o$$

Opisane wyżej czynności należy powtórzyć dla kilku różnych wartości ciśnienia  $p_B^i$  i tej samej wartości początkowej ciśnienia  $p_{A1}$ .

#### **Uwagi:**

1. Ciśnienia  $p_m$  nie mierzy się, ponieważ dla gazu doskonałego możemy obliczyć ze wzoru:

$$p_m = \frac{p_{A1} + p_{B1}}{2} \quad (4)$$

#### **Wyprowadzenie wzoru:**

W przedziale czasu od otwarcia zaworu do jego zamknięcia nie jest wykonywana praca zewnętrzna, a dopływy ciepła są znikomo małe z powodu dużej szybkości procesu. Dlatego można przyjąć, że całkowita energia wewnętrzna układu ( $U_A + U_B$ ) nie zmienia się (w fazie wyrównywania temperatur już tak nie jest!).

Dla gazu doskonałego energia wewnętrzna dana jest wzorem:

$$U = \frac{p \cdot V}{\kappa - 1} + U_o \quad [\text{J}] \quad (5)$$

Wobec tego warunek stałości energii dla układu wyraża równanie:

$$\frac{p_{A1} \cdot V}{\kappa - 1} + \frac{p_{B1} \cdot V}{\kappa - 1} = \frac{p_{A2} \cdot V}{\kappa - 1} + \frac{p_{B2} \cdot V}{\kappa - 1} \quad (6)$$

Podstawiając  $p_{A2} = p_{B2} = p_m$  otrzymamy szukany wzór (4).

## 4.4 Opracowanie wyników

1. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli.

$p_{A1}$						
$p_{B1}^{(i)}$						
$p_{m1}^{(i)}$						
$p_{A3}^{(i)}$						
$p_{B3}^{(i)}$						

gdzie:

$$p_{A1} = p_o + \Delta p_{A1}$$

$$p_{B1}^i = p_o + \Delta p_{B1}^i$$

$$p_m^i = \frac{p_{A1} + p_{B1}^i}{2}$$

$$p_{A3}^i = p_o + \Delta p_{A3}^i$$

### **Uwaga:**

Indeksy dolne dotyczą kolejno wykonywanych czynności (1,2,3).

Indeks górny „i” dotyczy kolejnych pomiarów.

2. Uzyskane wyniki przedstawić graficznie w układzie współrzędnych  $\{\xi, \eta\}$  gdzie:

$$\eta = \ln \left( \frac{p_{A1}}{p_m^i} \right)$$

$$\xi = \ln \left( \frac{p_{A1}}{p_{A3}^i} \right)$$

$$\eta = \xi \cdot n$$

Jeżeli realizowana przemiana jest politropą to kolejne stany na wykresie grupują się wokół prostej.

Należy wyznaczyć graficznie w/w prosta i znaleźć „n”

3. Obliczenie wskaźnika Y.

Ciepło właściwe  $c_n$  (przemiany politropowej) wyznaczamy ze wzoru:

$$c_n = c_v \cdot \frac{n-k}{n-1} \quad (7)$$

Wtedy wskaźnik Y (wzór 1):

$$Y = \left| \frac{c_n \cdot \Delta t}{c_v \cdot \Delta t} \right| \quad (8)$$

Po podstawieniu (7) do (8) otrzymamy:

$$Y = \left| \frac{n-k}{n-1} \right| \quad (9)$$

**Uwaga:** dla powietrza  $\kappa=1,41$

4. Sprawdzić, że wskaźnik  $\gamma$  jest mały gdy  $n$  jest bliskie  $k$ .

#### 4.5 Pytania sprawdzające

1. Podaj definicję przemiany adiabatycznej i wykładnika adiabaty. Jaka wartość ma ciepło właściwe przemiany adiabatycznej?
2. Wyprowadź równanie izentropy gazu doskonałego.
3. Czy podczas przemiany adiabatycznej zmienia się temperatura? Uzasadnij odpowiedź.
4. Jak można praktycznie zrealizować przemianę adiabatyczną gazu?
5. Przedstaw na wykresach  $p$ - $V$ ,  $p$ - $T$  oraz  $T$ - $s$  procesy zachodzące w rozpatrywanym doświadczeniu.
6. Wyprowadź wzór na obliczenie wykładnika przemiany adiabatycznej w realizowanym doświadczeniu:

$$k = \frac{\ln\left(\frac{p_1}{p_o}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_3}\right)}$$