

TERMODYNAMIKA TECHNICZNA – LABORATORIUM

Ćwiczenie nr 2

1. TEMAT

Praktyczna realizacja przemiany adiabatycznej

2. CEL

Celem doświadczenia jest:

- sprawdzić, czy adiabata gazu doskonałego jest politropą,
- sprawdzić, że dekompresja zbiornika ze sprężonym powietrzem jest procesem (w przybliżeniu) adiabatycznym,
- oszacować dokładność realizacji adiabaty.

3. 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 zrealizować 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 opróżnia się 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:

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

gdzie:

Q_{z1-2} - całkowita ilość ciepła (dodatnia lub ujemna) dostarczona do gazu w czasie $\Delta\tau$,

$U_2 - U_1$ - całkowita zmiana energii wewnętrznej gazu przy przejściu od stanu 1 do stanu 2.

Jeśli $Y = 0$, to oznacza, że zrealizowano adiabatę. W przeciwnym wypadku w zależności od konkretnej wartości tego wskaźnika można mówić o adiabacie zrealizowanej z dokładnością wynikającą z wartości Y .

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

Problem w sposób istotny upraszcza się, jeśli należy zrealizować adiabatę dla gazu spełniającego równanie Clapeyrona $pV=RT$ oraz warunek $c_v = \text{const}$.

Wtedy bowiem adiabata jest politropą tzn. jej równanie w układzie współrzędnych

$(p - v)$ ma postać:

$$p v^k = \text{idem} \quad (2)$$

Wykładnik “ k ” (wykładnik adiabaty) jest związany z wielkościami c_v i c_p równaniem:

$$k = c_p / c_v \quad (3)$$

W układzie logarytmicznym równanie to przekształca się w prostą.

4. OPIS DOŚWIADCZENIA.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe

4.1. Zbiorniki A i B o stałej objętości V należy napełnić powietrzem aż do uzyskania nadciśnień odpowiednio Δp_{A1i} oraz Δp_{B1i} (np. wskazanych w arkuszu pomiarowym) w celu uzyskania relacji:

$$p_{A1i} > p_{B1i} \geq p_o \quad (4)$$

gdzie p_o – ciśnienie otoczenia,

$$p_{A1i} = p_o + \Delta p_{A1i} \text{ oraz } p_{B1i} = p_o + \Delta p_{B1i}.$$

Temperatura gazu w zbiornikach, po zakończeniu pompowania (należy pompować powoli, a po napompowaniu odczekać aż ciśnienie w zbiorniku się ustabilizuje), równa temperaturze otoczenia t_0 tzn.:

$$t_{A1i} = t_{B1i} = t_o \quad (5)$$

4.2. Należy na okres (około) 1 sekundy otworzyć zawór łączący zbiorniki A i B. Następuje szybki przepływ powietrza, który kończy się, gdy wyrównają się ciśnienia tzn.:

$$p_{A2i} = p_{B2i} = p_{mi} > p_o \quad (6)$$

Temperatury osiągają wtedy wartości:

$$t_{A2i} < t_o, t_{B2i} > t_o \quad (7)$$

Uwaga:

Ciśnienia p_m nie mierzy się, ponieważ dla gazu doskonałego może być obliczone z wzoru:

$$p_m = \frac{P_{A1} + P_{B1}}{2}$$

Wyprowadzenie wzoru:

W przedziale czasu od otwarcia zaworu do jego zamknięcia nie jest wykonywana praca zewnętrzna, a dopływy ciepła są znikome z powodu dużej szybkości procesu. Dlatego można przyjąć, że całkowita energia wewnętrzna układu nie zmienia się (w fazie wyrównywania temperatur już tak nie jest!) Dla gazu doskonałego energia wewnętrzna dana jest wzorem:

$$U = \frac{pV}{k-1} + U_0$$

Wobec tego warunek stałości energii dla układu wyraża równanie:

$$\frac{p_{A1}V}{k-1} + \frac{p_{B1}V}{k-1} = \frac{p_{A2}V}{k-1} + \frac{p_{B2}V}{k-1}$$

Podstawiając $p_{A2} = p_{B2} = p_m$ otrzymuje się szukany wzór.

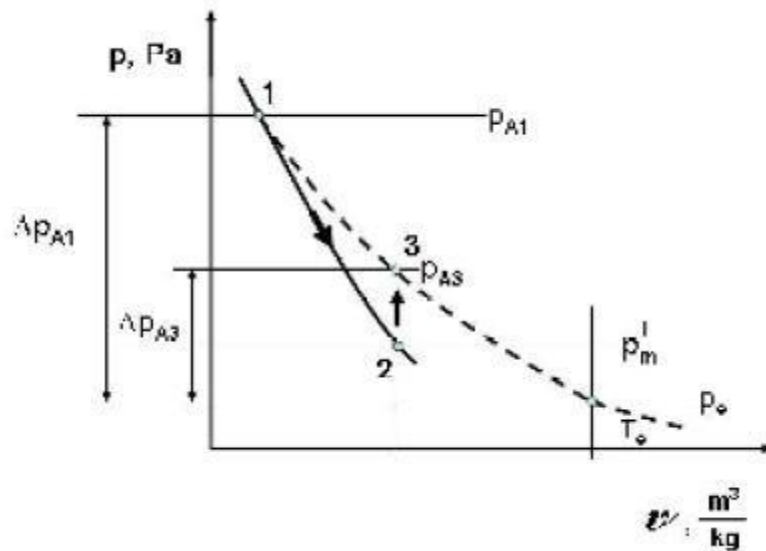
4.3. Po zamknięciu zaworu należy odczekać aż temperatura powietrza w zbiornikach ponownie osiągnie wartość

$$t_{A3i} = t_{B3i} = t_0 \quad (8)$$

Wówczas można odczytać ciśnienia Δp_{A3i} i wyliczyć wartość p_{A3i} :

$$p_{A3i} > p_{B3i} > p_0 \quad (9)$$

Opisane wyżej czynności należy powtórzyć dla kilku różnych ciśnień p_{Bi} i tej samej wartości początkowej ciśnienia p_{Ai} .



Rys.2 Proces dekompresji w zbiorniku A w układzie (p-v)

Obowiązują następujące zależności:

$$T_2 < T_0 \quad p_{A2i} = p_{mi} \quad (i = 1, 2, \dots, 5)$$

$$T_3 = T_0 \quad p_{A3i} > p_m$$

$$p_0 v_0 = RT_0 \quad (R = 0,287 \text{ kJ/kg K})$$

$$p_{mi} = \frac{p_{A1i} + p_{B1i}}{2}$$

$$p_{A1i} = p_o + (\Delta p)_{A1i}$$

$$p_{B1i} = p_o + (\Delta p)_{B1i}$$

$$(\Delta p)_{A1i} = (\Delta p)_{A1}$$

- stałe np. 800 mm H₂O

$$(\Delta p)_{B1i} - 0, 150, 300, 450, 600, \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$p_{mi} = \frac{p_o + (\Delta p)_{A1} + p_o + (\Delta p)_{B1i}}{2}$$

lub

$$p_{mi} = p_o + \frac{(\Delta p)_{A1} + (\Delta p)_{B1i}}{2}$$

$$p_{A3i} = p_o + (\Delta p)_{A3i}$$

Stany gazu „1”, „2” leżą na politropie, wobec tego spełniają równanie $pv^w = \text{idem}$:

$$p_{A1} v_{A1}^w = p_{A2i} v_{A2i}^w = p_{mi} v^w \quad \text{stąd:} \quad \frac{p_{A1}}{p_{A2i}} = \left(\frac{v_{A2i}}{v_{A1}} \right)^w$$

Stany gazów „1” i „3” leżą na izotermie $T = T_o$ wobec tego spełniają równanie:

$$p_{A1} v_{A1} = p_{A3i} v_{A3i}$$

Ponieważ

$$v_{A3i} = v_{A2i}$$

to: i

$$p_{A1} v_{A1} = p_{A3i} v_{A2i} \quad \text{i} \quad \frac{v_{A2i}}{v_{A1}} = \frac{p_{A1}}{p_{A3i}} \quad \text{ostatecznie:}$$

$$\frac{p_{A1}}{p_{A2i}} = \frac{p_{A1}}{p_{A3i}}^w \quad \text{lub} \quad \frac{p_{A1}}{p_{A3i}} = \frac{p_{A1}}{p_{A3i}}^w$$

Logarytmując otrzymuje się:

$$\ln \frac{p_{A1}}{p_{mi}} = w \ln \frac{p_{A1}}{p_{A3i}}$$

$$\eta_i = w \xi_i$$

co można zapisać w postaci:

5. OPRACOWANIE WYNIKÓW

5.1. Wyniki pomiarów umieścić w tabeli.

5.2. Obliczyć:

$$\eta_i = \ln \frac{P_{A1}}{P_{mi}} \quad \xi_i = \ln \frac{P_{A1}}{P_{A3i}}$$

5.3. Obliczone wartości wstawić w tabelę i przedstawić na wykresie

5.4. Wyznaczyć tzw. linię trendu w postaci $\eta = w\xi + u$ (wielomianu pierwszego stopnia).

5.5. Wyznaczyć postać analityczną linii trendu (równanie) oraz współczynnik determinacji R_2

Tak wyznaczona wartość „w” jest przybliżeniem wykładnika „k” adiabaty gazu doskonałego.

5.6. Wyznaczyć wskaźnik dokładności oszacowania Y oraz błąd pomiaru b (wyznaczyć wartość w, w stosunku do oczekiwanej wartości k)

Oszacowanie dokładności odwzorowania adiabaty

We wstępie podano, że można dokładność tego oszacowania określić wskaźnikiem:

$$Y = \frac{Q_{z1-2}}{U_2 - U_1} = \frac{q_{z1-2}}{u_2 - u_1}$$

Ponieważ $w \neq k$ i $w = \text{idem}$ (bo zrealizowana przemiana jest politropą), to ciepło tej przemiany

$$Q_{w1-2} = m c_w (T_2 - T_1)$$

oraz

$$c_w = c_\sigma - \frac{R}{w-1}$$

Ponieważ $U_2 - U_1 = m c_v (T_2 - T_1)$

Podstawiając w/w zależności do „Y” otrzymuje się:

$$Y = \frac{w-k}{w-1}$$

Dla powietrza $k=1$,

Wyznaczenie błędu względnego pomiaru:

$$b = \frac{|w-k|}{k} 100 \%$$

wzór tabel

Ćw. 2 Praktyczna realizacja przemiany adiabatycznej

data: godz.:

Układ pomiarowy 1:

Tabela wyników pomiarów						
p_o , hPa/ p_o , mm H ₂ O	/					
(p) _{A1}	800 mm H ₂ O					ustalić
(p) _{B1i}	0	150	300	450	600	ustalić
(p) _{A3i}						mierzyć
p _{mi}						wyliczyć
p _{A1}						wyliczyć
p _{A3i}						wyliczyć

Dane do wykresu - obliczone wartości η_i i ξ_i :

(p) _{B1i}	0	150	300	450	600	p)
η_i						
ξ_i						

Układ pomiarowy 2:

Tabela wyników pomiarów						
p_o , hPa/ p_o , mm H ₂ O	/					
$(p)_{A1}$	800 mm H ₂ O					ustalić
$(p)_{Bli}$	0	150	300	450	600	ustalić
$(p)_{A3i}$						mierzyć
p_{mi}						wyliczyć
p_{A1}						wyliczyć
p_{A3i}						wyliczyć

Dane do wykresu - obliczone wartości η_i i ξ_i :

$(p)_{Bli}$	0	150	300	450	600
η_i					
ξ_i					