

TERMODYNAMIKA TECHNICZNA – LABORATORIUM

Ćwiczenie nr 2

2.1. TEMAT

Praktyczna realizacja przemiany adiabatycznej

2.2. 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, 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:

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

gdzie:

Q_{z1-2} – ciepło zewnętrzne przemiany od stanu 1 do stanu 2.

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

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

Oszacowanie stopnia przybliżenia realizowanej przemiany do przemiany adiabatycznej wymaga więc pomiaru wielkości występujących we wzorze (1), lub wykorzystania tzw. równania adiabaty. Dla gazu spełniającego równanie Clapeyrona i przez to spełniającego warunek $c_v = \text{idem}$ przemiana adiabatyczna opisana jest wzorem:

$$pv^k = idem \quad (2)$$

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

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

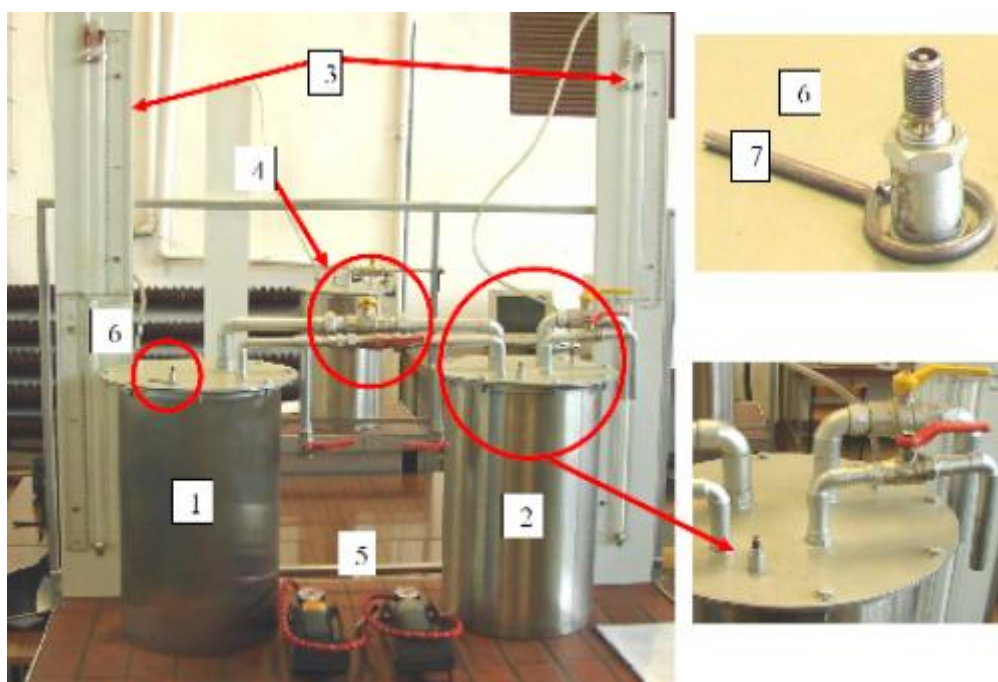
W układzie logarytmicznym równanie to przekształca się w prostą.

2.3 CEL DOŚWIADCZENIA

Celem doświadczenia jest:

1. sprawdzić, czy dekompresja zbiornika ze sprężonym powietrzem jest procesem adiabatycznym,
2. oszacować dokładność realizacji adiabaty.

2.4 OPIS DOŚWIADCZENIA.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe, [1] zbiornika A, [2] zbiornik B, [3] manometr, [4] zawór łączący A z B, [5] pompki, [6] zaworek, [7] klucz

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

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

gdzie p_o – ciśnienie otoczenia.

Ciśnienia absolutne w zbiornikach A i B wyznacza się z zależności

$$p_{A1i} = p_o + \Delta p_{A1i} \quad (5a)$$

$$p_{B1i} = p_o + \Delta p_{B1i} \quad (5b)$$

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

$$t_{A1i} = t_{B1i} = t_o \quad (6)$$

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

$$p_{A2i} = p_{B2i} = p_{mi} > p_o \quad (7)$$

Temperatury osiągają wtedy wartości

$$t_{A2i} < t_o; t_{B2i} > t_o \quad (8)$$

Uwaga:

Ciśnienie p_m dla gazu doskonałego może być obliczone z wzoru:

$$p_m = \frac{P_{A1} + P_{B1}}{2} \quad (9)$$

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.

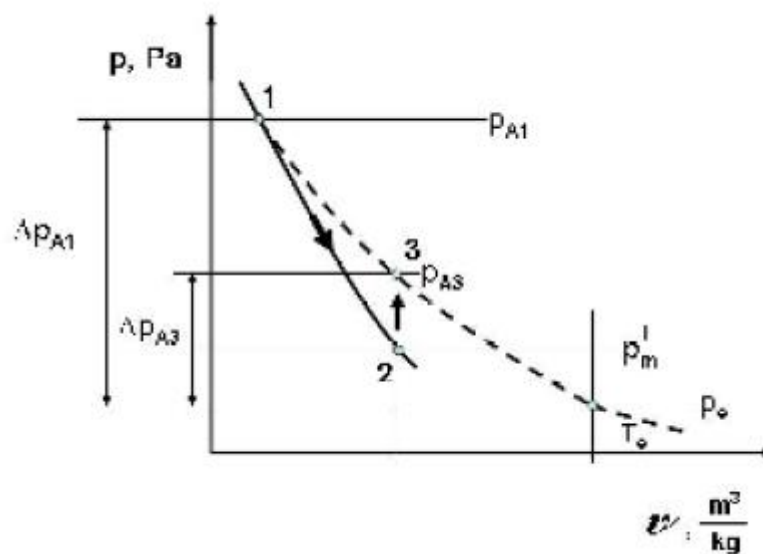
3. Po zamknięciu zaworu i należy odczekać, aż temperatura powietrza w zbiornikach ponownie osiągnie wartość.

$$t_{A3i} = t_{B3i} = t_o \quad (10)$$

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

$$p_{A3i} > p_{B3i} > p_o \quad (11)$$

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:

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

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

$$p_o v_o = RT_o \quad (R = 0,287 \text{ kJ/kg K})$$

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

$$p_{A1i} = p_o + (\Delta p)_{A1i} \quad p_{B1i} = p_o + (\Delta p)_{B1i}$$

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

- 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

$$v_{A3i} = v_{A2i} \quad \text{to:}$$

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

$$\frac{p_{A1}}{p_{A2i}} = \left(\frac{p_{A1}}{p_{A3i}} \right)^w \quad \text{lub} \quad \frac{p_{A1}}{p_{A3i}} = \left(\frac{p_{A1}}{p_{A3i}} \right)^w$$

Logarytmując otrzymuje się:

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

co można zapisać w postaci:

$$\eta_i = w \xi_i$$

2.5 OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Wyniki pomiarów umieścić w tabeli

| Tabela wyników pomiarów | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| $(\Delta p)_{A1}$ | 800 mm H ₂ O | | | | | ustalić |
| $(\Delta p)_{B1i}$ | 0 | 150 | 300 | 450 | 600 | ustalić |
| $(\Delta p)_{A3i}$ | | | | | | mierzyć |
| P_{mi} | | | | | | wyliczyć |
| P_{A1} | | | | | | wyliczyć |
| P_{A3i} | | | | | | wyliczyć |

2. Obliczyć:

$$\eta_i = \ln \frac{P_{A1}}{P_{mi}}$$

$$\xi_i = \ln \frac{P_{A1}}{P_{A3i}}$$

3. Obliczone wartości wstawić w tabelę:

| | | | | | |
|--------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| $(\Delta p)_{B1i}$ | 0 | 150 | 300 | 450 | 600 |
| η_i | | | | | |
| ξ_i | | | | | |

i przedstawić na wykresie

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

5. Wyznaczyć postać analityczną linii trendu (równanie) oraz współczynnik determinacji R_2 . Tak wyznaczona wartość „ w ” jest przybliżeniem wykładnika „ k ” adiabaty gazu doskonałego.
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 przemianą politropową), to ciepło tej przemiany wynosi

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

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 $k=1,4$

Wyznaczenie błędu względnego pomiaru:

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

Ćw. 2 Praktyczna realizacja przemiany adiabatycznej

data: godz.:

Układ pomiarowy 1:

| Tabela wyników pomiarów | | | | | | |
|--|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| p_o , hPa/ p_o , mm H ₂ O | / | | | | | |
| Δp_{A1} | 800 mm H ₂ O | | | | | ustalić |
| Δp_{B1i} | 0 | 150 | 300 | 450 | 600 | ustalić |
| Δp_{A3i} | | | | | | mierzyć |
| p_{mi} | | | | | | wyliczyć |
| p_{A1} | | | | | | wyliczyć |
| p_{A3i} | | | | | | wyliczyć |

Dane do wykresu - obliczone wartości η_i i ξ_i :

| | | | | | |
|------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| Δp_{B1i} | 0 | 150 | 300 | 450 | 600 |
| η_i | | | | | |
| ξ_i | | | | | |

Układ pomiarowy 2:

| Tabela wyników pomiarów | | | | | | |
|--|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| p_o , hPa/ p_o , mm H ₂ O | / | | | | | |
| Δp_{A1} | 800 mm H ₂ O | | | | | ustalić |
| Δp_{B1i} | 0 | 150 | 300 | 450 | 600 | ustalić |
| Δp_{A3i} | | | | | | mierzyć |
| p_{mi} | | | | | | wyliczyć |
| p_{A1} | | | | | | wyliczyć |
| p_{A3i} | | | | | | wyliczyć |

Dane do wykresu - obliczone wartości η_i i ξ_i :

| | | | | | |
|------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| Δp_{B1i} | 0 | 150 | 300 | 450 | 600 |
| η_i | | | | | |
| ξ_i | | | | | |