Katedra Silników Spalinowych
i Pojazdów ATH
ZAKŁAD TERMODYNAMIKI

Wyznaczanie stosunku c_p/c_v metodą Clementa-Desormesa.

Wprowadzenie teoretyczne

Stosunek ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości nazywamy wykładnikiem adiabaty i oznaczamy literą κ

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{(Mc_p)}{(Mc_v)}$$

Wielkość ta jest dla gazów wielkością stałą, zależną jedynie od budowy ich cząstek. Największa wartość κ, mianowicie około 1,67, odpowiada gazom o cząsteczkach jednoatomowych. Dla gazów o cząsteczkach dwuatomowych κ wynosi około 1,41, dla trójatomowych- około 1,30, zaś dla cząsteczek złożonych z większej liczby atomów wartość κ dąży do 1.

Liczba κ jest niezbędna dla matematycznego opisu bardzo ważnej w teorii termodynamicznej przemiany izentropowej (adiabata odwracalna gazu doskonałego). Równanie termiczne tej przemiany ma postać

$$pv^{\kappa} = \text{idem}$$

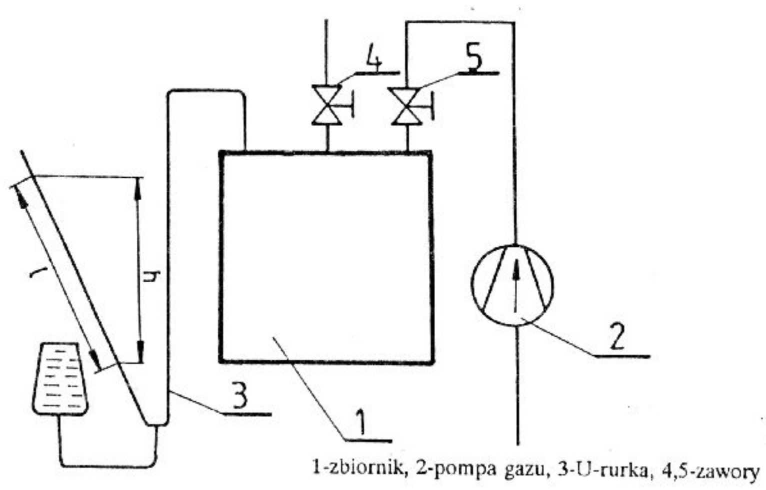
Znając wartość liczbową κ dla gazu doskonałego i jego skład, można obliczyć c_p i c_v według następujących wzorów:

$$c_v = \frac{1}{\kappa - 1} R = \frac{1}{\kappa - 1} \frac{(MR)}{M}$$

$$c_p = \kappa \cdot c_v = \frac{\kappa}{\kappa - 1} R = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{(MR)}{M}$$

Zasada pomiaru

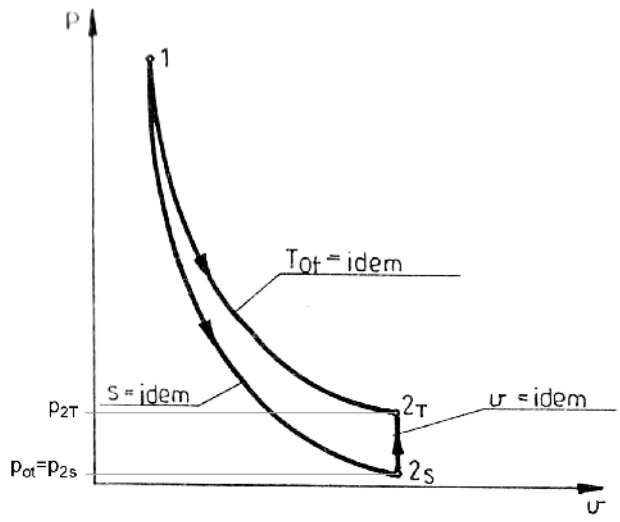
Stanowisko badawcze służące do pomiaru κ metodą Clementa–Desormesa jest przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego.

W czasie pomiaru do zbiornika wtłacza się badany gaz (w tym przypadku powietrze atmosferyczne) do ciśnienia $p_{1,}$ nieco większego od ciśnienia atmosferycznego $p_{ot.}$ W wyniku sprężenia gaz w zbiorniku ma temperaturę nieco wyższą od temperatury otoczenia $t_{ot.}$ Należy więc odczekać aż ustalą się parametry powietrza w zbiorniku. Na skutek wymiany ciepła z otoczeniem wartość temperatury i ciśnienia spada, aż temperatura powietrza zrówna się z temperaturą otoczenia. W tym czasie w zbiorniku przebiega proces izochorycznego ochładzania gazu, w czasie którego ciśnienie maleje. Osiągnięcie stanu równowagi cieplnej z otoczeniem to pierwszy etap doświadczenia.

Drugi etap doświadczenia polega na rozprężaniu powietrza znajdującego się w zbiorniku (o ciśnieniu $p_1=p_{ot}+\rho_m g\cdot h_1$) do ciśnienia otoczenia. W tym celu otwiera się zawór łączący zbiornik z otoczeniem. Czas otwarcia tego zaworu nie powinien przekraczać 1.5 sek. W czasie rozprężania gazu następuje spadek temperatury poniżej temperatury otoczenia, gdyż proces ten można uznać za adiabatyczny (przepływ ciepła od ścian zbiornika do powietrza znajdującego się w zbiorniku przebiega znacznie wolniej niż proces adiabatycznego rozprężania gazu). Po zamknięciu zaworu ciepło dopływać będzie w warunkach izochorycznych z otoczenia do gazu w zbiorniku, aż ten osiągnie temperaturę t_{ot}. Ciśnienie powietrza będzie się zwiększać i w warunkach stanu równowagi cieplnej osiągnie wartość p_2.



Rys.2. Obraz przemian termodynamicznych na wykres p-v.

W tym stanie powietrze w zbiorniku osiąga parametry p_2, T_2, znajdujące się na izotermie t_1=t_{ot}=t_2 (rys.2). Ten sam stan można osiągnąć rozprężając gaz izotermicznie od stanu **1** (p_1, t_1=t_{ot}) do stanu **2** p_2, t_2= t_{ot}).

Stan **2s** (p_{2s}<p_2, t_{2s}<t_{ot}) powietrza w zbiorniku można natomiast uznać za końcowy stan w procesie izentropowego rozprężania gazu od stanu **1**.

Objętość właściwa gazu v_{2s} pod koniec rozprężania izentropowego jest taka sama, jak byłaby w czasie rozprężania izotermicznego v_2 (rys.2), a zatem:

$$v_1 - v_{2S} = v_1 - v_2 = \Delta v$$

wzór do obliczenia κ przy użyciu wielkości pomierzonych w czasie ćwiczenia otrzymuje się analizując procesy: izentropowy od **1** do **2s** i izotermiczny od **1** do **2**.

Przemiana izentropowego rozprężania powietrza **1-2s**

$$s = \text{idem}$$

$$pv^{\kappa} = \text{C}$$

$$\ln p + \kappa \ln v = \ln \text{C}$$

$$\frac{dp}{p} + \frac{dv}{v} = 0$$

$$\left(\frac{dp}{dv}\right)_s = -\kappa \frac{p}{v} \qquad \text{(a)}$$

Przy niewielkiej zmianie ciśnienia Δp_s równanie (a) można zastąpić równaniem różnicowym:

$$\frac{\Delta p_s}{\Delta v} = -\kappa \frac{p_1}{v_1} \qquad \text{(b)}$$

Przemiana izotermiczna rozprężania powietrza **1-2**:

$$T = \text{idem}$$

$$pv = \text{idem} = C_1$$

$$\ln p + \ln v = \ln C_1$$

$$\frac{dp}{p} + \frac{dv}{v} = 0$$

$$\left(\frac{dp}{dv}\right) = -\frac{p}{v} \qquad \text{(c)}$$

Dla niewielkiej zmiany ciśnienia $\Delta p_t = p_1 - p_2$ równanie (c) można zapisać w postaci:

$$\frac{\Delta p_T}{\Delta v} = -\frac{p_1}{v_1} \qquad \text{(d)}$$

Po podzieleniu stronami równań (b) i (d) otrzymuje się zależność:

$$\kappa = \frac{\Delta p_s}{\Delta p_T} = \frac{p_1 - p_{2s}}{p_1 - p_2}$$

$$\kappa = \frac{(p_{ot} + p_{1m}) - p_{ot}}{(p_{ot} + p_{1m}) - (p_{ot} + p_{2m})} = \frac{p_{1m}}{p_{1m} - p_{2m}} = \frac{\gamma_m h_1}{\gamma_m h_1 - \gamma_m h_2} = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

Dla odczytu ciśnienia w rurce pochyłej:

$$\kappa = \frac{l_1 \sin\alpha}{l_1 \sin\alpha - l_2 \sin\alpha}$$

ostatecznie

$$\kappa = \frac{l_1}{l_1 - l_2}$$

gdzie:

h_1 spiętrzenie płynu manometrycznego w stanie 1,

l_1 odczyt długości spiętrzenia na u-rurce manometrycznej pochylonej pod kątem α

h_2, l_2 wielkości w stanie 2 analogiczne do stanu 1.

Otrzymany wzór ma bardzo prostą postać matematyczną, ale trzeba pamiętać, że został uzyskany przy następujących założeniach upraszczających:

początkowe nadciśnienie p_{m1} jest niewielkie,

zawór został zamknięty we właściwym momencie po rozprężeniu gazu (po ok. 1.5 sek.), aby nie nastąpiło dostrzegalne nagrzanie gazu przed zamknięciem zaworu.

W czasie ćwiczeń należy wykonać 5 lub 6 prób, prowadząc kartę pomiarową.