

**Katedra Silników Spalinowych
i Pojazdów ATH
ZAKŁAD TERMODYNAMIKI**

Wyznaczanie ciepła właściwego c_p dla powietrza

Wprowadzenie teoretyczne

Ciepło pochłonięte przez ciało o jednostkowej masie przy nieskończenie małym przyroście temperatury dt wyraża się wzorem:

$$dq_c = c \cdot dt \quad (1)$$

gdzie wielkość c jest ciepłem właściwym ciała:

$$c = \frac{dq_c}{dt} \text{ [J/kgK]} \quad (2)$$

jeżeli ciepło właściwe zależy od temperatury ($c=c(t)$), wówczas ilość ciepła pochłoniętego przez ciało ogrzane od temperatury t_1 do t_2 jest równa:

$$q_c = \int_1^2 c(t) dt \quad (3)$$

Rozpatrywanym ciałem może być zarówno ciało stałe, ciecz jak i gaz. W przypadku gazu wyróżnia się gaz doskonały oraz gaz rzeczywisty. Przy założeniach gazu doskonałego ciepło właściwe jest stałe i nie zależy od temperatury. Wzór (3) upraszcza się do zależności:

$$q_c = c \cdot (t_2 - t_1) \quad (4)$$

Jeżeli temperatura gazu rzeczywistego nie jest zbyt wysoka to może on być traktowany jak gaz doskonały. Gaz półdoskonały różni się od doskonałego tym, że w jego drobinach występują drgania, których energia zależy od temperatury. Ciepło właściwe gazów półdoskonałych zależy więc od temperatury i obowiązuje wzór (3).

Można zdefiniować średnie ciepło właściwe w pewnym zakresie temperatur:

$$c|_{t_1}^{t_2} = \frac{\int_1^2 c(t) dt}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

Wykorzystując tą wielkość można wyznaczyć ciepło pochłonięte przez gaz ze wzoru:

$$q_c = c \Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c \Big|_0^{t_1} \cdot t_1 = c \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) \quad (6)$$

Wartość $c \Big|_0^t$ są podawane w tablicach.

Wartość ciepła właściwego gazu zależy od rodzaju przemiany termodynamicznej, jakiej podlega gaz podczas wymiany ciepła:

przemiana izochoryczna

gaz jest ochładzany lub podgrzewany przy stałej objętości:

$v = \text{idem}, c = c_v$

przemiana izobaryczna

podczas podgrzewania lub ogrzewania gazu ciśnienie nie zmienia się:

$p = \text{idem}, c = c_p$

Między c_p i c_v zachodzi związek:

$$c_p = c_v + R$$

R indywidualna stała gazowa, [J/kgK].

Związek ten dotyczy również gazów półdoskonałych.

Zasada pomiaru.

Podczas ćwiczenia dokonywany jest pomiar ciepła właściwego gazu (powietrza) przy stałym ciśnieniu. Przepływający przez rurę gaz jest podgrzewany grzejnikiem elektrycznym. Strumień przepływającego gazu \dot{V} mierzony jest rotametrem, a przyrost temperatury gazu $t_2 - t_1$ mierzony jest termoparami zamontowanymi wewnątrz rury przy jej wlocie i wylocie. Mierzona jest również moc grzejnika elektrycznego \dot{Q}_{el} . Ciepło wydzielone przez grzejnik \dot{Q}_{el} jest pochłaniane przez przepływający gaz \dot{Q}_g i częściowo oddawany do otoczenia \dot{Q}_{ot} .

$$\dot{Q}_{el} = \dot{Q}_g + \dot{Q}_{ot} \quad (7)$$

lub

$$\dot{Q}_{el} = \dot{m} \int_1^2 c_p(t) dt + \dot{Q}_{ot} \quad (7a)$$

inaczej zapisując:

$$\dot{Q}_{el} - \dot{Q}_{ot} = \dot{m} \cdot \int_1^2 c_p(t) dt \quad (7b)$$

czyli

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_{el} - \dot{Q}_{ot} = (1 - \eta) \cdot \dot{Q}_{el} \quad (8)$$

gdzie

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{ot}}{\dot{Q}_{el}} \quad \text{część ciepła grzejnika traconego do otoczenia.}$$

Jeżeli podgrzewany gaz można uznać za doskonały to wówczas:

$$\dot{Q}_g = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$$

$$c_p = \frac{\dot{Q}_g}{\dot{m}(t_2 - t_1)} \quad (9)$$

Jeżeli badanym gazem jest powietrze, to można je traktować jako dwuatomowy gaz doskonały o masie drobinowej $M=28,96\text{kg/kmol}$. Wartość molowego ciepła właściwego dla powietrza wynosi więc:

$$(Mc_p) = M \cdot c_p \quad [\text{J/kmol K}]$$

Wartość tę należy porównać z wartością molowego ciepła dla dwuatomowego gazu doskonałego.

Pomiar

W ćwiczeniu mierzymy strumień powietrza przepływającego przez rurę z grzejnikiem, moc grzejnika elektrycznego oraz temperaturę powietrza na dolocie i wylocie z rury.

Objętościowy strumień powietrza mierzony jest rotametrem, wyskalowanym od 0 do 100. Z charakterystyki rotametry można odczytać strumień w m^3/h . Charakterystyka ta sporządzona jest dla powietrza o temperaturze $t_n=15^\circ\text{C}$ i ciśnieniu $p_n=101325\text{ Pa}$. Przeliczenie wskazań rotametry na rzeczywiste parametry powietrza t i p odbywa się wg zależności

$$\dot{V} = \dot{V}_n \sqrt{\frac{\rho}{\rho_n}} = \dot{V}_n \sqrt{\frac{p}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T}} \quad (10)$$

Gdzie:

ρ gęstość powietrza w warunkach pomiaru

ρ_n gęstość powietrza w warunkach normalnych p_n, t_n .

Masowy strumień powietrza wynosi

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho \quad (11)$$

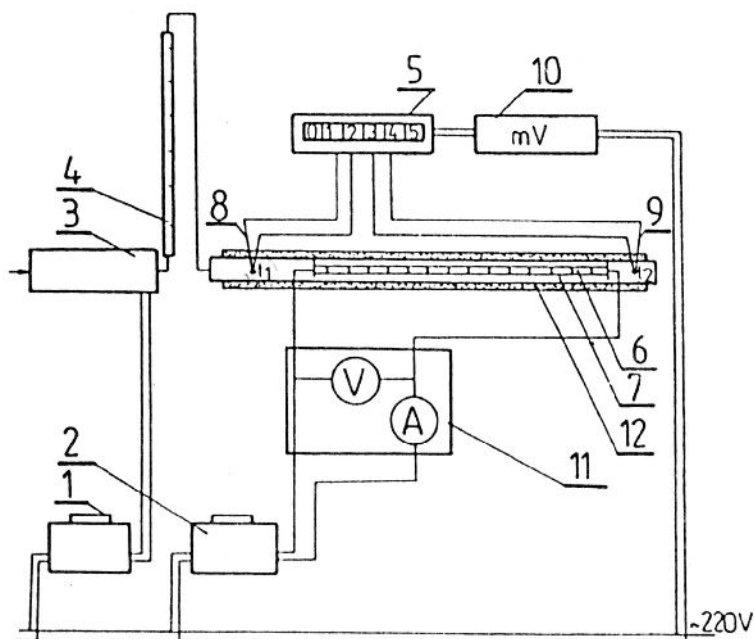
Temperaturę gazu mierzymy termoparami Fe-Ko umieszczonymi w strumieniu gazu przed i za grzejnikiem. Napięcie na termoparze może być przeliczone na temperaturę wg zależności:

$$t = C \cdot U + t_{ot}$$

Gdzie:

- t_{ot} temperatura odniesienia, [°C]
- U napięcie termopary, [mV]
- C stała termopary Fe-Ko.

Po nastawieniu żądanego przepływu powietrza oraz mocy grzejnika poczekać na osiągnięcie przez układ cieplnego stanu ustalonego, rejestrując temperatury powietrza co 1min. Po osiągnięciu stanu ustalonego odczytać wskazania rotametu, termopar oraz moc grzejnika. Pomiar powtórzyć dla innej mocy grzejnika.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego.

**CHARAKTERYSTYKA STRAT CIEPŁA
DLA IZOLACJI RURY POMIAROWEJ
(w stanie ustalonym)**

