

1. WYZNACZANIE CIEPŁA WŁAŚCIWEGO c_p i c_v DLA POWIETRZA

1.1 Wprowadzenie

Zgodnie z definicją ciepła właściwe c_v i c_p dane są wzorami:

$$c_v = \frac{Q_{v1-2}}{m(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

$$c_p = \frac{Q_{p1-2}}{m(T_2 - T_1)} \quad (2)$$

gdzie : Q_{v1-2} , Q_{p1-2} – ciepło doprowadzone do układu przy stałej, odpowiednio objętości, ciśnieniu,
 m – masa czynnika termodynamicznego,
 T_1 , T_2 – temperatury bezwzględne w stanie 1 i 2.

Wyznaczenie c_v i c_p wymaga więc zmierzenia wszystkich wielkości występujących we wzorach. Metody korzystające z definicji to metody kalorymetryczne. Dają one dokładne wyniki dla cieczy i ciał stałych.

Dla gazów, tak w zakresie niskich jak i wysokich ciśnień, prowadzą do dużych błędów.

Dlatego do pomiaru c_v i c_p gazu o niskim ciśnieniu używa się metody dynamicznej, wykorzystującej proces ekspansji adiabatycznej.

Równanie adiabaty powietrza o własnościach zbliżonych do gazu doskonałego ma postać:

$$p v^k = const \quad (3)$$

gdzie wykładnik adiabaty k :

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (3.1)$$

Ponadto c_v i c_p powiązane są zależnością:

$$c_p - c_v = R \quad (4)$$

gdzie R – indywidualna stała gazowa.

Z indywidualną stałą gazową jest związane pojęcie uniwersalnej stałej gazowej, przedstawianej jako iloczyn $(MR) = 8,314 \text{ kJ / kmol K}$, gdzie M – masa molowa badanego gazu.

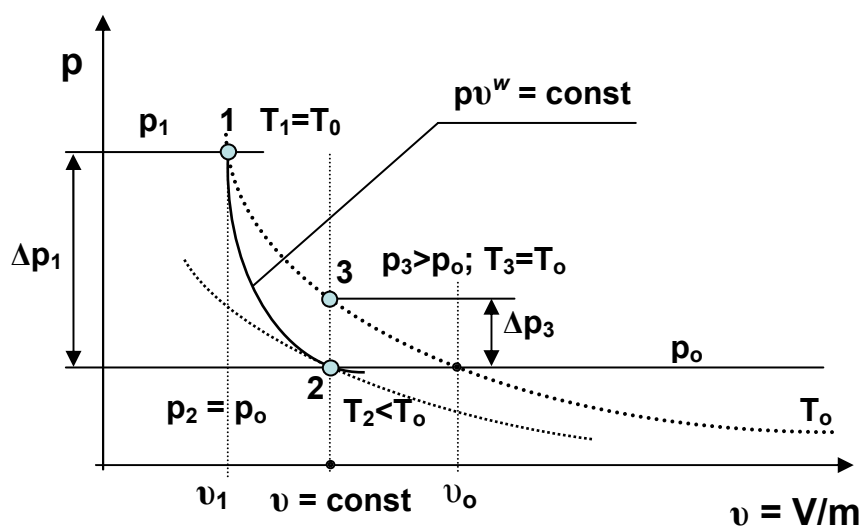
Ze skojarzenia wzorów (3.1) i (4) wynika:

$$c_v = \frac{R}{k - 1} \quad (5.1)$$

$$c_p = R \frac{k}{k - 1} \quad (5.2)$$

1.2 Opis doświadczenia

Zbiornik o stałej objętości napełnia się powietrzem do ciśnienia $p_1 > p_0$ (p_0 – ciśnienie otoczenia; $p_1 = p_0 + \Delta p_1$). Temperatura początkowa powietrza $t_1 = t_{ot} = t_0$. Otwierając "na moment" zawór łączy się zbiornik z otoczeniem. Następuje szybki wypływ powietrza do otoczenia. Ciśnienie w zbiorniku spada do wartości $p_2 = p_0$, a temperatura osiąga wartość $t_2 < t_0$. Po zamknięciu zaworu należy odczekać, aż temperatura powietrza t_3 zrówna się z temperaturą otoczenia t_0 , tzn. $t_3 = t_0$ (a Δp_3 ustabilizuje się). Wówczas odczytuje się ciśnienie $p_3 > p_0$ ($p_3 = p_0 + \Delta p_3$).



Podczas wypływu gazu ze zbiornika z oczywistych względów nieuniknione są dopływy ciepła, ale można wykazać, że w rozpatrywanym przedziale zmian temperatury i ciśnienia ich wielkość jest taka, że wskaźnik Y jest mały:

$$Y = \frac{Q_{z1-2}}{|U_2 - U_1|} \quad (6)$$

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.

Rzeczywista adiabata występuje w przypadku $Y = 0$. W przeciwnym, wypadku w zależności od konkretnej wartości tego wskaźnika, mówi się o adiabacie zrealizowanej z dokładnością do 1%, 0,1% itd.

Przyjmując wstępnie $Q_z \neq 0$, sugeruje się, że realizowana jest przemiana politropowa o wykładniku $w \neq k$. Znając wartość wykładnika „w” możnaby oszacować wielkość Q_z . Opisane doświadczenie daje tę możliwość, albowiem „w” można wyliczyć ze wzoru, w którym po prawej stronie znaku równości występują tylko wielkości mierzone. Poszukiwaną wartość wykładnika „w” oblicza się ze wzoru:

$$w_i = \frac{\ln(p_{1i} / p_0)}{\ln(p_{1i} / p_{3i})} \quad (7)$$

Doświadczenie należy wykonać dla kilku wartości ciśnienia początkowego:

$$p_{1i} = p_0 + \Delta p_{1i}$$

gdzie:

- i – numer pomiaru; przyjmuje wartości od 1 do 5,
- Δp - nadwyżka ciśnienia z przedziału (0 – 1000 mmH₂O), np. 800, 650, 500, 350, 200.

1.3 Opracowanie wyników

1.3.1 Dla każdego pomiaru „i” obliczyć wartość „ w_i ” a następnie wartość średnią arytmetyczną:

$$w_{sr} = \frac{\sum_i w_i}{i} \quad (8)$$

1.3.2 Obliczyć c_v i c_p z zależności:

$$c_{vm} = \frac{R}{w_{sr} - 1} \quad (9.1)$$

$$c_{pm} = R \frac{w_{sr}}{w_{sr} - 1} \quad (9.2)$$

Te wartości należy porównać z wartościami obliczonymi z wzorów (5.1) i (5.2) dla $k=1,4$ i wyznaczyć błąd względny pomiaru.

Wzór tabel:

Ćw. 1. Wyznaczanie ciepła właściwego c_p i c_v dla powietrza

data:godz.:

Układ pomiarowy 1

lp	wielkość \ i	1	2	3	4	5
1	$p_o, Pa / p_o, mm H_2O$					
2	$\Delta p_{1i}, mm H_2O$	800	650	500	350	200
3	p_{1i}					
4	$\Delta p_{3i}, mm H_2O$					
5	p_{3i}					
6	w_i					
7	w_{sr}					
8	c_{vm}					
9	c_{pm}					
10	c_v					
11	c_p					
12	c_{vm}/c_v					
13	c_{pm}/c_p					

Układ pomiarowy 2

lp	wielkość \ i	1	2	3	4	5
1	$p_o, Pa / p_o, mm H_2O$					
2	$\Delta p_{1i}, mm H_2O$	800	650	500	350	200
3	p_{1i}					
4	$\Delta p_{3i}, mm H_2O$					
5	p_{3i}					
6	w_i					
7	w_{sr}					
8	c_{vm}					
9	c_{pm}					
10	c_v					
11	c_p					
12	c_{vm}/c_v					
13	c_{pm}/c_p					