TERMODYNAMIKA TECHNICZNA – LABORATORIUM

Ćwiczenie nr 1

1. TEMAT

Wyznaczanie ciepła właściwego c_p i c_v dla powietrza **2. CEL**

Celem pracy jest wyznaczenie c_p i c_v metodą dynamiczną

3. WPROWADZENIE

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

$$c_v = \frac{Q_{v1-2}}{m\ T_2 - T_1} \tag{1}$$

$$c_p = \frac{Q_{v1-2}}{m\ T_2 - T_1} \tag{2}$$

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:

$$pv^k = const \tag{3}$$

gdzie wykładnik adiabaty k:

$$\boldsymbol{k = \frac{c_p}{c_v}} \tag{3.1}$$

Ponadto c_v i c_p powiązane są zależnością:

$$\mathbf{c_p - c_v = R} \tag{4}$$

gdzie R – indywidualna stała gazowa.

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

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

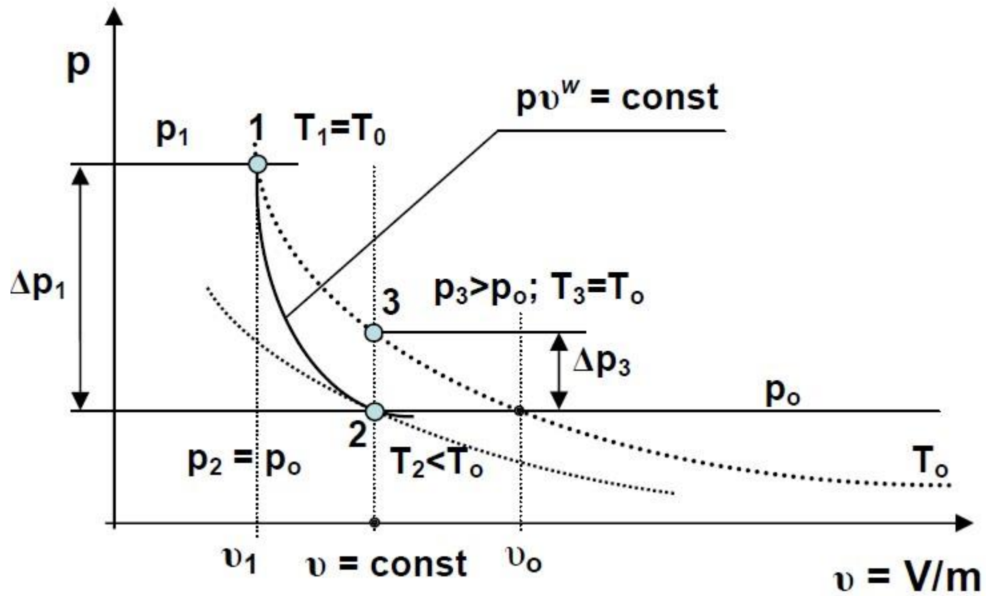
$$\boldsymbol{c_v = \frac{R}{k-1}} \tag{5.1}$$

$$\boldsymbol{c_p = R\frac{k}{k-1}} \tag{5.2}$$

4. OPIS DOŚWIADCZENIA

Rys. 1. Stanowisko pomiarowe

4.1. Zbiornik o stałej objętości napełnia się powietrzem do ciśnienia $p_1 > p_o$ (p_o –ciśnienie otoczenia; $p_1=p_o+\Delta p_1$). Temperatura początkowa powietrza $t_1 = t_{ot} = t_0$.
4.2. Otwierając "na moment" zawór łączy się zbiornik z otoczeniem. Następuje szybki wypływ powietrza do otoczenia. Ciśnienie w zbiorniku spada do wartości $p_2 = p_o$, a temperatura osiąga wartość $t_2 < t_0$.
4.3. Po zamknięciu zaworu należy odczekać, aż temperatura powietrza t3 zrówna się z temperaturą otoczenia t_0, tzn. $t_3 = t_0$ (a $>p_3$ ustabilizuje się). Wówczas odczytuje się ciśnienie $p_3 > p_o$ ($p_3=p_o+\Delta p_3$).



Rys.2. Ekspansja politropowa

Doświadczenie należy wykonać dla kilku wartości ciśnienia początkowego:
$p_{li} = p_0 + \Delta p_{li}$

gdzie:

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

5. OPRACOWANIE WYNIKÓW

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:

$$\boldsymbol{Y = \frac{Q_{z1-2}}{U_2 - U_1}} \tag{6}$$

gdzie:

- Q_{zl-2} - całkowita ilość ciepła (dodatnia lub ujemna) dostarczona do gazu w czasie,
- | $U_2 - U_1$|- 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 Qz ≠0, sugeruje się, że realizowana jest przemiana politropowa o wykładniku w ≠k. Znając wartość wykładnika „w” można by oszacować wielkość Q_z.
Opisane doświadczenie daję tę możliwość, albowiem „w” można wyliczyć ze wzoru, w którym po prawej stronie znaku różności występują tylko wielkości mierzone. Poszukiwaną wartość wykładnika „w” oblicza się ze wzoru:

$$\boldsymbol{w_i = \frac{\ln(\frac{p_{1i}}{p_o})}{\ln(\frac{p_{1i}}{p_{3i}})}} \tag{7}$$

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

$$\boldsymbol{w_{ŚR} = \frac{{}_i w_i}{i}} \tag{8}$$

5.2. Obliczyć c_{vm} i c_{pm} z zależności:

$$\boldsymbol{c_{vm} = \frac{R}{w_{sr} - 1}} \tag{9.1}$$

$$\boldsymbol{c_{pm} = R\frac{w_{sr}}{w_{sr} - 1}} \tag{9.2}$$

Te wartości należy porównać z wartościami c_p i c_v 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	Δp_{1i}, mm H_2O	800	650	500	350	200
3	p_{1i}					
4	Δp_{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	Δp_{1i}, mm H_2O	800	650	500	350	200
3	p_{1i}					
4	Δp_{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					