

**LABORATORIUM TERMODYNAMIKI
INSTYTUTU TECHNIKI CIEPLNEJ I MECHANIKI PŁYNÓW
WYDZIAŁ MECHANICZNO-ENERGETYCZNY
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ**

INSTRUKCJA LABORATORYJNA

Temat ćwiczenia 24

Wyznaczanie ciepła właściwego ciała stałego

WROCŁAW 2010r

1. Wprowadzenie

Ciepło właściwe ciała stałego wyznaczymy metodą kalorymetryczną sporządzając odpowiedni bilans cieplny.

1.1 Określenie wartości $(mc)_t$ metodą bilansu ciepła „pobranego i oddanego”.

Q_{od} -ciepło oddane przez ciało o temperaturze wyższej

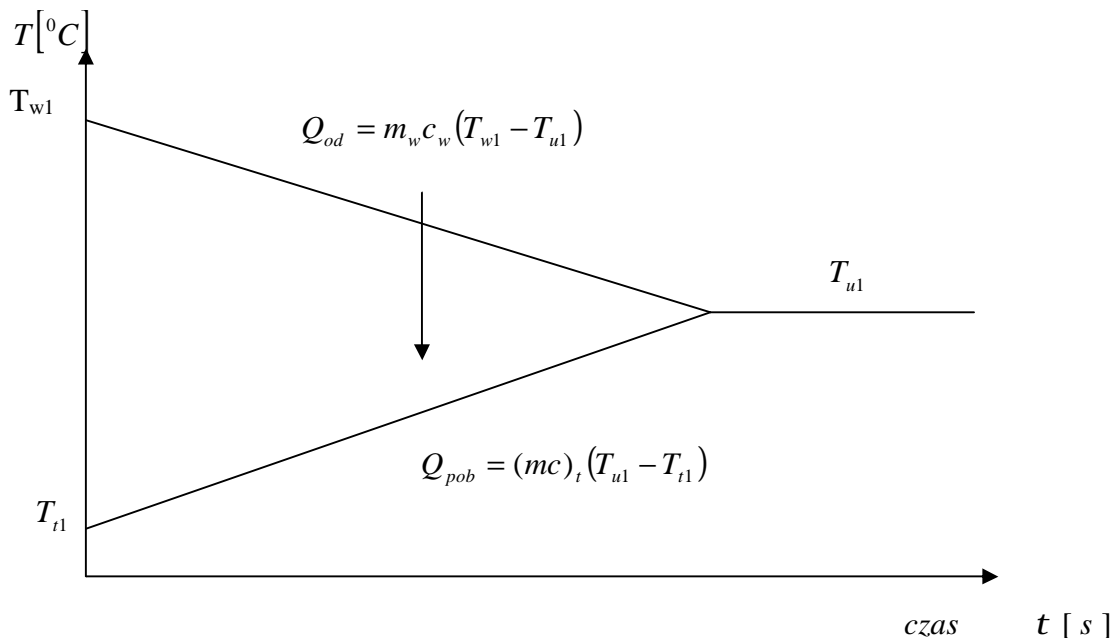
Q_{pob} -ciepło pobrane przez ciało o temperaturze niższej

T_{u1}, T_{u2} - temperatura ustalona mieszaniny odpowiednio w pierwszej i drugiej fazie ćwiczenia

Na tym etapie doświadczenia wlewamy odmierzoną ilość wody do termosu.

Określenie odpowiedniej temperatury początkowych i temperatury ustalonej po procesie tzw. „wygrzewania się termosu” pozwoli na obliczeniu dla wkładu termosu iloczynu $m_t c_t = (mc)_t$. Jest to istotne ze względu na konieczność wykorzystania tej danej do bilansu ciepła dla właściwego ćwiczenia.

Dane pomiarowe na które zwrócimy uwagę to temperatura początkowa wody gorącej wlewanej do termosu T_{w1} , temperatura otoczenia decydująca o temperaturze wkładu termosu $T_{t1} = t_0$ oraz temperatura po uzyskaniu równowagi termicznej w naczyniu (wygrzaniu się termosu), czyli temperatura T_{u1} . Wykres zmian temperatur w czasie, który powinien ułatwić nam określenie strumieni ciepła wymienianych między poszczególnymi częściami układu jest następujący rys.1:



Rys.1

Schemat zmian temperatury po uzyskaniu równowagi termicznej w termosie („wygrzaniu się termosu”)

Zauważmy, że gdybyśmy chcieli dokładnie zapisać bilans cieplny przy wykorzystaniu umowy, że wartość ciepła pobieranego przez czynnik jest dodatnia (ciało zwiększa wtedy

swoją temperaturę i entropię), a wartość ciepła oddawanego przez czynnik jest ujemna (ciało zmniejsza swoją temperaturę i entropię) to :

$$Q_{pob} - Q_{od} - Q_{strat} = 0 \quad (1)$$

Co po uporządkowaniu daje

$$Q_{pob} = Q_{od} + Q_{strat} \quad (2)$$

Zakładamy, że ciepło strat Q_{strat} jest niemierzalne (np. z braku możliwości pomiarowych lub tak małe, że można je pominąć). Równanie powyższe upraszcza się wtedy do postaci :

$$Q_{pob} = Q_{od} \quad (3)$$

W naszym przypadku daje to: $Q_{od} = m_w c_w (T_{w1} - T_{u1}) = Q_{pob} = (mc)_t (T_{u1} - T_{t1})$. (4)

Stąd łatwo określić, że : $(mc)_t = \frac{m_w c_w (T_{w1} - T_{u1})}{(T_{u1} - T_{t1})} = stałt$. (5)

Ostatnia wyliczona wartość $(mc)_t = stałt$ podana w postaci liczbowej o wymiarze $\frac{J}{K}$ zostanie wykorzystana w dalszej części rozważań.

1.1.1 Określenie wartości $(mc)_t$ metodą bilansu entalpii (bilansu energii)(rys.1).

Aby wykorzystać tę, podobno prostszą metodę, trzeba przypomnieć sobie co to jest właściwie entalpia?

Mówi się, że entalpia układu jest funkcją stanu układu, czyli informuje nas o jego stanie. Z definicji entalpia w termodynamice jest sumą energii wewnętrznej i iloczynu ciśnienia i objętości, co determinuje jej wymiar w [J].

$$I = U + pV \quad (6)$$

I tak w stanie pierwszym i drugim mamy odpowiednio: $I_1 = U_1 + p_1 V_1, I_2 = U_2 + p_2 V_2$ (7)

Gdyby zróżniczkować entalpię to otrzymamy :

$$dI = dU + pdV + Vdp \quad (8)$$

Dla ciał stałych i cieczy pod niewysokim ciśnieniem, w których odkształcenie postaciowe i zmiany ciśnienia wewnątrz są do pominięcia (dwa ostatnie człony się zerują).

Zatem można przyjąć, że dla ciał stałych i cieczy pod niewysokim ciśnieniem na skutek braku odkształcenia postaciowego i zmian ciśnienia w ciele zmiana entalpii jest równa zmianie energii wewnętrznej.

$$dI \cong dU \quad (9)$$

Przy przejściu na zapis różnicowy otrzymamy: $\Delta I \cong \Delta U$, czyli $I_2 - I_1 \cong U_2 - U_1$. (10)

Przypomnijmy sobie jeszcze I Zasadę Termodynamiki (IZT) dla układów izobarycznych.

Takim układem jest właśnie układ kalorymetr – ciało stałe. W termosie panuje stałe ciśnienie ze względu na ograniczony kontakt z otoczeniem (nieszczelności). Zgodnie z prawem ciepło doprowadzone do układu jest wykorzystywane do zmiany entalpii i wykonania pracy technicznej przez medium. Ponieważ ani ciecz, ani ciało stałe nie wykonują pracy, ani nie ma pracy związanej z ich odkształceniem postaciowym człon związany z pracą techniczną zeruje się.

IZT upraszcza się do postaci :

$$Q_{1-2} = \Delta I \cong \Delta U \text{ (co wynika (10))}$$

Czyli: $Q_{1-2} = mc_p(T_2 - T_1) = I_2 - I_1 \cong mc_v(T_2 - T_1) = U_2 - U_1$ (11)
ostatniego równania widać, że:

$$I_2 = mc_p T_2 \text{ oraz } I_1 = mc_p T_1 \quad (12)$$

$$U_2 = mc_v T_2 \text{ oraz } U_1 = mc_v T_1 \quad (13)$$

$$c_p \cong c_v = c \quad (14)$$

Dla ciał stałych i cieczy pod niewysokim ciśnieniem przyjmuje się jedną, podaną w PN wartość ciepła właściwego, która jest niezależna od realizowanej przemiany.

Zastosujmy teraz tę wiedzę do naszego przypadku.

Przed waniem wody do termosu miała ona entalpię $I_{w1} = m_w c_w T_{w1}$ a termos $I_{t1} = m_t c_t T_{t1}$. Po waniu i ustaleniu się temperatury w termosie oba ciała tj. termos i woda mają tę samą temperaturę, czyli T_{u1} . Ich entalpie w stanie „drugim” to dla wody i termosu odpowiednio:

$I_{w2} = m_w c_w T_{u1}$ oraz $I_{t2} = m_t c_t T_{u1}$. Po zestawieniu stronami otrzymamy:

$$I_{w1} + I_{t1} = I_{w2} + I_{t2} \quad (15)$$

$$m_w c_w T_{w1} + m_t c_t T_{t1} = m_w c_w T_{u1} + m_t c_t T_{u1} \quad (16)$$

$$m_t c_t = (mc)_t = \frac{m_w c_w (T_{w1} - T_{u1})}{(T_{u1} - T_{t1})} = \text{stała} \quad (17)$$

1.2 Określenie ciepła właściwego ciała stałego.

Do wody w termosie, po uzyskaniu równowagi termicznej w naczyniu wrzucamy ciało stałe o określonej masie.

Temperatura po „wygrzaniu termosu” jest temperaturą początkową zarówno wody w termosie, jak i samego termosu. Temperatura ustalona T_{u2} jest temperaturą, która otrzymamy po wrzuceniu ciała stałego i odczekaniu co najmniej kilkunastu minut. Aby skutecznie określić wartość tej temperatury można postąpić w dwojaki sposób:

a/ mierzyć temperaturę w kolejnych minutach eksperymentu i na podstawie tak otrzymanego wykresu temperatury w funkcji czasu określić wartość T_{u2} .

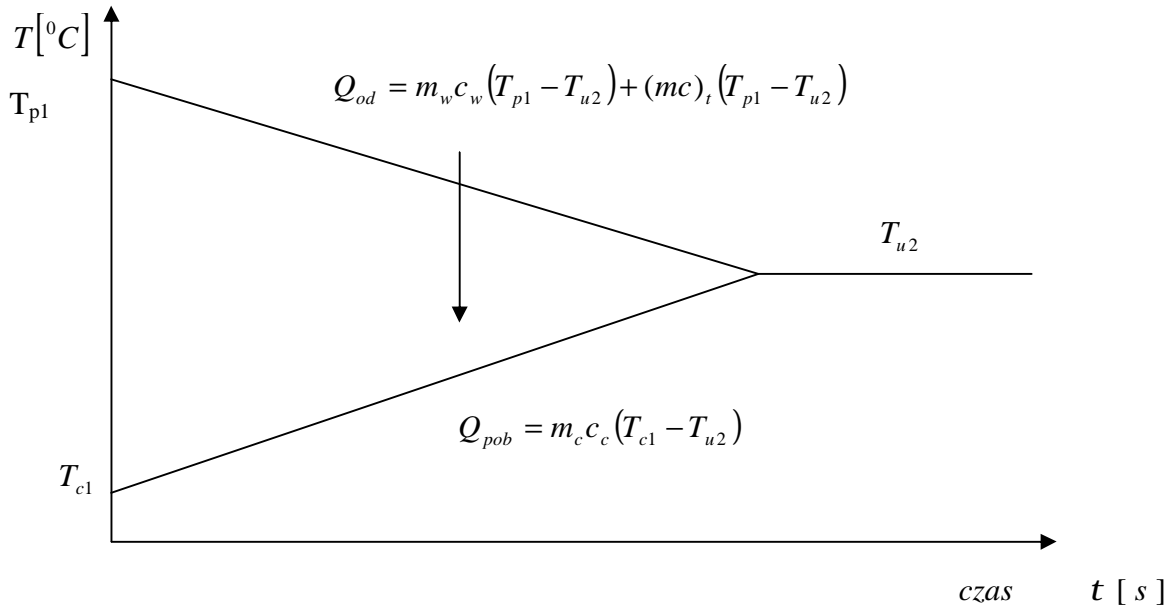
b/ mierzyć czas jaki jest potrzebny do tego aby temperatura w naczyniu spadła o 1K. Jak można się domyślać w miarę jak temperatura będzie zbiegać do swojej wartości w stanie ustalonym w/w czas będzie się wydłużał.. Podobnie jak w podpunkcie a/ wykreślić przebieg temperatury w funkcji czasu i określić wartość T_{u2} .

Równanie bilansu ciepła jest teraz takie rys.(2):

$$m_w c_w (T_{p1} - T_{u2}) + (mc)_t (T_{p1} - T_{u2}) = m_c c_c (T_{c1} - T_{u2}) \quad (18)$$

Skąd łatwo określić ciepło właściwe ciała stałego:

$$c_c = \frac{m_w c_w (T_{p1} - T_{u2}) + (mc)_t (T_{p1} - T_{u2})}{m_c (T_{c1} - T_{u2})} \quad (19)$$



Rys.2

Schemat zmian temperatury w czasie na etapie wymiany ciepła pomiędzy „wygrzanym termosem” i ciałem stałym

1.2.1 Określenie ciepła właściwego ciała stałego metodą bilansu entalpii (bilansu energii)(rys.2).

Teraz na początku procesu mamy wodę i „wygrzany” termos o temperaturze ustalonej w pierwszej części ćwiczenia $T_{p1} = T_{u1}$, których entalpie wynoszą odpowiednio dla wody i termosu: $I_{w1} = m_w c_w T_{p1}$ i $I_{t1} = m_t c_t T_{p1}$ oraz ciało stałe (piach lub aluminium) o temperaturze $T_{c1} = T_o$ i entalpii $I_{c1} = m_c c_c T_{c1}$. Po wrzuceniu ciała stałego do termosu i wyrównaniu się temperatur (dojściu do stanu ustalonego) mamy entalpię dla wody, termosu i ciała stałego odpowiednio: $I_{w2} = m_w c_w T_{u2}$; $I_{t2} = m_t c_t T_{u2}$; $I_{c2} = m_c c_c T_{u2}$. Zbilansujmy teraz proces zachodzący w termosie przy użyciu pojęcia entalpii:

$$I_{w1} + I_{t1} + I_{c1} = I_{w2} + I_{t2} + I_{c2} \quad (20)$$

$$m_w c_w T_{p1} + m_t c_t T_{p1} + m_c c_c T_{c1} = m_w c_w T_{u2} + m_t c_t T_{u2} + m_c c_c T_{u2} \quad (21)$$

Skąd:

$$c_c = \frac{m_w c_w (T_{p1} - T_{u2}) + (mc)_t (T_{p1} - T_{u2})}{m_c (T_{c1} - T_{u2})} \quad (22)$$

2. Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Przed przystąpieniem do wyznaczania ciepła właściwego piasku i aluminium należy przed tym wyznaczyć iloczyn $(mc)_t$ termosu używanego w doświadczeniu. Wyznaczany go metodą kalorymetryczną w następujący sposób:

- Podgrzaną wodę z czajnika w ilości 300 ml wlewamy do zlewki, mierzymy termometrem jej temperaturę T_{w1} ; termos przed rozpoczęciem ćwiczenia ma temperaturę otoczenia $T_{t1} = T_{ot}$
- Wodę ze zlewki wlewamy do termosu zakręcamy nakrętkę i wsadzamy termometr, co jakiś czas mieszamy termos z wodą w celu równomiernego wygrzania termosu. Kiedy uznamy że temperatura w termosie nie ulega zmianie (po ok.4-6 minutach) , zapisujemy ją i możemy teraz z bilansu cieplnego wyznaczyć szukaną wartość iloczynu $(mc)_t$ (rys.3)
- Mając na uwadze , że temperatura po wygrzaniu termosu jest równocześnie temperaturą początkową wody i termosu $T_{u1} = T_{p1}$, w następnej części ćwiczenia , wrzucamy do termosu ciało stałe o temperaturze T_{c1} (aluminium lub piasek)(rys.4).Czekamy aż temperatura mieszaniny ustali się na T_{u2} .



Rys.4
Wyznaczenie dla termosu jego stałej czyli iloczynu $(mc)_t$.



Rys.5
Wyznaczenie ciepła właściwego ciała stałego

3. Opracowanie wyników

1. W ćwiczeniu należy wyznaczyć ciepło właściwe znajdujących się na stanowisku ciał stałych (piach, aluminium), oraz obliczyć błąd względny i bezwzględny względem wartości tablicowych.
2. Zaproponować pomiar strat ciepłych do otoczenia Q_{strat} .

4. Pytania

1. Jaka przemiana realizowana jest w termosach. Dlaczego używa się termosów a nie otwartych naczyń.
2. Co to jest kalorymetria i gdzie znajduje główne zastosowania.
3. Dlaczego czas ustalenia się temperatury dla piasku i aluminium jest różny.
4. Czy można przyjąć, że c_p ciała stałego jest stałe i dlaczego.
5. Jaką wartość ma ciepło właściwe dla aluminium i piasku.
6. Jak będą wpływać straty ciepła na wykresy temperatury w funkcji czasu, w trakcie prowadzonych obserwacji.

