

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

INSTRUKCJA LABORATORYJNA

Temat ćwiczenia 30a

WYZNACZENIE CIEPŁA SPALANIA I WARTOŚCI OPAŁOWEJ  
GAZU ZIEMNEGO GZ-50 METODĄ KALORYMETRYCZNĄ ORAZ  
OBLICZENIOWĄ DLA ZNANEGO SKŁADU GAZU

## 1. PODSTAWY TEORETYCZNE

Spalanie jest egzotermiczną reakcją polegającą na łączeniu się paliwa z tlenem. Może ono być zupełne i całkowite (spaliny nie zawierają substancji palnych oraz cała masa paliwa ulega spalaniu), lub niezupełne oraz niecałkowite w przypadkach, gdy ilość tlenu jest niewystarczająca.

**Ciepło spalania  $Q_s$**  paliwa jest to ilość ciepła jaka wydziela się po całkowitym i zupełnym spalaniu jednostki masy paliwa i ochłodzeniu produktów spalania (spalin) do temperatury początkowej, przy czym para wodna zawarta w spalinach ulega całkowitemu skropleniu.

$$Q_s = \frac{m_w \cdot c_w \cdot (t_{2w} - t_{1w})}{V_g} \quad (1)$$

**Wartość opałowa  $W_d$**  paliwa jest to ilość ciepła jaka wydziela się po całkowitym i zupełnym spalaniu jednostki masy paliwa i ochłodzeniu produktów spalania (spalin) do temperatury początkowej, przy założeniu, że zawarta w spalinach para wodna nie ulega wykropleniu.

Z definicji wartości opałowej  $W_d$  i ciepła spalania  $Q_s$  wynika, że jedynie ciepło spalania może zostać wyznaczone eksperymentalnie. Określenia wartości opałowej dokonuje się zgodnie z równaniem:

$$W_d = Q_s - \frac{r \cdot m_{skr}}{V_g} \quad (2)$$

gdzie:

$W_d, Q_s$  – wartość opałowa i ciepło spalania,

$r$  - ciepło parowania wody

$m_{skr}$  – ilość kondensatu otrzymanego po spalaniu jednostki masy paliwa.

## 2. OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO I ZASADA POMIARU

Stanowisko składa się z przepływowego kalorymetru wodnego Junkersa zasilanego gazem ziemnym (rys. 1). Ciśnienie gazu utrzymane jest na stałym poziomie przez reduktor. Przepływ gazu mierzony jest gazomierzem mokrym. Nasycony wilgocią gaz spalany jest w specjalnie przystosowanym palniku. Gorące spaliny, płynąc przez kalorymetr oddają ciepło przepływającej wodzie. Zgodnie z definicją ciepła, przepływ wody należy tak dobrać, aby temperatura wylotowa spalin była równa temperaturze gazu i powietrza atmosferycznego, w którym spalany jest gaz. Jednocześnie (ze względu na straty ciepła do otoczenia) przyrost temperatury wody powinien być się w przedziale 10 – 12 °C.

Woda chłodząca komorę spalania 1 dopływa do płaszcza wodnego 3 z przelewu 11 i wypływa do przelewu 12, z którego płynie dalej do zlewu. W czasie pomiaru wodę chłodzącą gromadzi się w naczyniu 13. Woda dopływająca do płaszcza wodnego 3 ma temperaturę  $t_{w1}$ , a opuszczając płaszcz  $t_{w2}$ . Palnik Bunsena 2 zasilany jest gazem o temperaturze  $t_g$  i nadciśnieniu  $h_g$  (mierzone za pomocą manometru i termometru 7 umieszczonego na gazomierzu). Ilość spalonego gazu mierzy gazomierz mokry 4. Stabilizacji ciśnienia gazu zasilającego palnik dokonuje zawór wyrównujący ciśnienie 9. Wodę powstałą ze spalania wodoru zawartego w gazie gromadzi się w naczyniu 8. Gaz i powietrze przed spalaniem są nawilżane: gaz w gazomierzu mokrym 4, a powietrze w nawilżaczu 10. Nawilżanie ma na celu zmniejszenie błędów w ocenie ilości wody powstałej ze spalania wodoru zawartego w gazie. Temperaturę spalin  $t_s$  mierzy termometr 6. W skład zestawu pomiarowego wchodzi barometr 14 i termometr do pomiaru temperatury otaczającego powietrza 15.

### 3. OPIS POMIARU

Kalorymetr Junkersa został wcześniej ustawiony i przygotowany do przeprowadzenia pomiaru w warunkach ustalonych.

Przystępując do pomiarów należy:

- a. odczytać ciśnienie otoczenia,
- b. odczytać parametry (temperaturę i ciśnienie) gazu na gazomierzu,
- c. odczytać temperaturę wody na wlocie i wylocie z kalorymetru,
- d. wyznaczyć strumień objętości przepływającego gazu ( 10 l gazu w czasie  $\tau_g$  ),

- e. wyznaczyć strumień objętości przepływającej wody ( zmierzyć 2 l wody wypływającej z kalorymetru do menzurki w czasie  $\tau_w$ ). Pomiar wykonać przynajmniej dwa razy i czas uśrednić,
- f. wyznaczyć strumień objętości kropli wypływających z kalorymetru (zmierzyć ilość kropli ściekających do menzurki w czasie 30 min).

#### 4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Dysponując wartościami objętości wody chłodzącej  $V_w$ , która przepływa przez kalorymetr oraz objętości kropli  $V_{sk}$  i znając czasy, możemy obliczyć strumień masy wody chłodzącej oraz kropli.

$$\dot{m}_w = \frac{m_w}{\tau_w} = \frac{V_w \cdot \rho_w}{\tau_w} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{skr} = \frac{m_{skr}}{\tau_{skr}} = \frac{V_{skr} \cdot \rho_w}{\tau_{skr}} \quad (4)$$

Dla zakresu pomiarów występujących podczas ćwiczenia przyjmujemy gęstość wody  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Poprawne byłoby jednak odczytanie gęstości z tablic dla aktualnych parametrów (temperatury) wody.

Ciepło spalania gazu obliczamy ze wzoru:

$$Q_s = \frac{\dot{m}_w \cdot c_w \cdot \Delta t_w}{\dot{V}_g} = \frac{V_w \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot \Delta t_w \cdot \tau_g}{V_g \cdot \tau_w} \quad [\text{kJ/m}^3] \quad (5)$$

gdzie:

$Q_s$  – ciepło spalania,  $\text{kJ/m}^3$

$V_w$  – objętość wody przepływającej przez kalorymetr,  $\text{m}^3$

$\tau_w$  - czas wody przepływającej przez kalorymetr, s

$c_w$  - ciepło właściwe wody,  $c_w = 4.19 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})$

$\Delta t_w$  - przyrost temperatury wody chłodzącej,  $\Delta t_w = t_2 - t_1$ , K

$V_g$  – objętość spalonego w czasie pomiaru gazu ziemnego,  $\text{m}^3$

$\tau_g$  - czas spalania gazu ziemnego, s

Po wyznaczeniu ciepła spalania można, korzystając ze wzoru (2) obliczyć wartość opałową gazu. Dla warunków pomiaru można przyjąć  $r = 2300 \text{ kJ/kg}$  (w zasadzie powinna zostać odczytana z tabel dla aktualnego ciśnienia otoczenia).

$$W_d = Q_s - r \frac{\dot{m}_{skr}}{\dot{V}_g} = Q_s - \frac{V_{skr} \cdot \rho_w \cdot r \cdot \tau_g}{V_g \cdot \tau_{skr}} \quad [\text{kJ/m}^3] \quad (6)$$

$r$  – ciepło skraplania (parowania) wody, przyjmujemy  $r = 2300 \text{ kJ/kg}$ , lub odczytujemy z tablic dla temp. wody początkowej przepływającej kalorymetr

Otrzymane wartości ciepła spalania i wartości opałowej należy przeliczyć na warunki normalne:  $t_n = 0\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p_n = 101325\text{ Pa}$ .

Aby obliczyć ilość normalnych metrów sześciennych gazu zużytego w czasie pomiaru zapisujemy termiczne równanie stanu Clapeyrona dla warunków normalnych i warunków pomiaru:

$$\left. \begin{aligned} p_n \cdot V_n &= n_g (MR) \cdot T_n \\ p_g \cdot V_g &= n_g \cdot (MR) \cdot T_g \end{aligned} \right\} V_n = V_g \cdot \frac{T_n}{T_g} \cdot \frac{p_g}{p_n} \quad (7)$$

Ciśnienie bezwzględne gazu:  $p_g = p_{ot} + p_{mg}$  (8)

gdzie:

$$p_{mg} = h_{H_2O} \cdot g \cdot \rho_w \quad [\text{Pa}] \quad (9)$$

$g$  – przyspieszenie ziemskie,  $g = 9.81\text{ m/s}^2$   
 $h_{H_2O}$  – nadciśnienie przepływającego gazu przez gazomierz, mmH<sub>2</sub>O  
 $p_{ot}$  – ciśnienie barometryczne, Pa

Przeliczenia wartości spalania i wartości opałowej na warunki normalne wykonujemy wg. następujących zależności:

$$Q_{s,n} = Q_s \cdot \frac{V_g}{V_n} \quad (10)$$

$$W_{d,n} = W_d \cdot \frac{V_g}{V_n} \quad (11)$$

## 5, TABELA POMIAROWA

$h_g$	$t_g$	$t_{w1}$	$t_{w2}$	$V_w$	$\tau_w$	$V_g$	$\tau_g$	$V_{skr}$	$\tau_{skr}$	$p_{ot}$
[mmH <sub>2</sub> O]	[ $^\circ\text{C}$ ]	[ $^\circ\text{C}$ ]	[ $^\circ\text{C}$ ]	[l]	[s]	[l]	[s]	[ml]	[s]	[Pa]

## 6, WARTOŚĆ OPAŁOWA OBLICZONA ZE SKŁADU GAZU

Jednostką ciepła spalania paliw gazowych jest [kJ/um<sup>3</sup>]. Wartość opałową paliw gazowych wyznacza się odejmując od ciepła spalania ciepło parowania wody zawartej w spalinach. Ciepło parowania 1 um<sup>3</sup> wody w temperaturze 25  $^\circ\text{C}$  wynosi  $r = 3043\text{ kJ/um}^3$ . Wartość opałową wyznacza się ze wzoru.

$$W_d = Q_s - r (2\text{CH}_4 + m/2 \text{C}_n\text{H}_m + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}) \quad [\text{kJ/um}^3 \text{ pal}] \quad (12)$$

gdzie:

$r$  – ciepło parowania wody, odczytać z tabeli dla danej temp. wody początkowej przepływającej przez kalorymetr

## 5. SPRAWOZDANIE

W sprawozdaniu należy zamieścić:

- krótką charakterystykę wielkości wyznaczanych,
- schemat i krótki opis stanowiska,
- sposób przeprowadzenia pomiarów,
- zestawienie wyników pomiarów,
- obliczenia cieplne spalania i wartości opałowej paliwa,
- uwagi końcowe i wnioski

## 6. PYTANIA

- Jaką część  $m^3$  i  $cm^3$  stanowi 1l i 1ml ?
- Jaka jest różnica pomiędzy ciepłem spalania a wartością opałową?
- Co to jest ciepło parowania i od czego zależy?
- Jak obliczamy wartość opałową gdy znamy skład gazu?
- Co to jest ciśnienie bezwzględne i jak się je wyznacza?
- Jakie warunki musi spełniać kalorymetr Junkersa, żeby można było przystąpić do pomiarów?