

## Pomiary ciepła spalania i wartości opałowej paliw gazowych

**Ciepło spalania  $Q_s$**  jest to ilość ciepła otrzymana przy spalaniu całkowitym i zupełnym jednostki paliwa wagowej lub objętościowej, gdy produkty spalania zostały oziębione do temperatury początkowej paliwa i powietrza, a para wodna zawarta w paliwie lub powstała ze spalania wodoru ulega skropleniu wydzielając ciepło skraplania (parowania).

**Wartość opałowa  $Q_i$**  jest to ilość ciepła otrzymana przy spalaniu całkowitym i zupełnym jednostki paliwa wagowej lub objętościowej, gdy produkty spalania oziębione do temperatury początkowej paliwa i powietrza zawierają wodę w postaci pary.

Pomiary ciepła spalania i wartości opałowej wykonuje się w kalorymetrze Junkersa, ręcznym lub automatycznym, przez pomiar bezpośredni. Schemat ręcznego kalorymetru Junkersa pokazano na rys. 1.

**Metoda oznaczania ciepła spalania** w kalorymetrze Junkersa polega na odebraniu całej ilości ciepła, powstającej podczas spalania określonej ilości paliwa gazowego, przez przepływający w sposób ciągły strumień wody.

**Zasada oznaczenia wartości opałowej w kalorymetrze Junkersa** polega na oznaczeniu ciepła, powstającego z kondensacji pary wodnej przy oziębianiu spalin, poprzez pomiar masy wykroplonej wody.

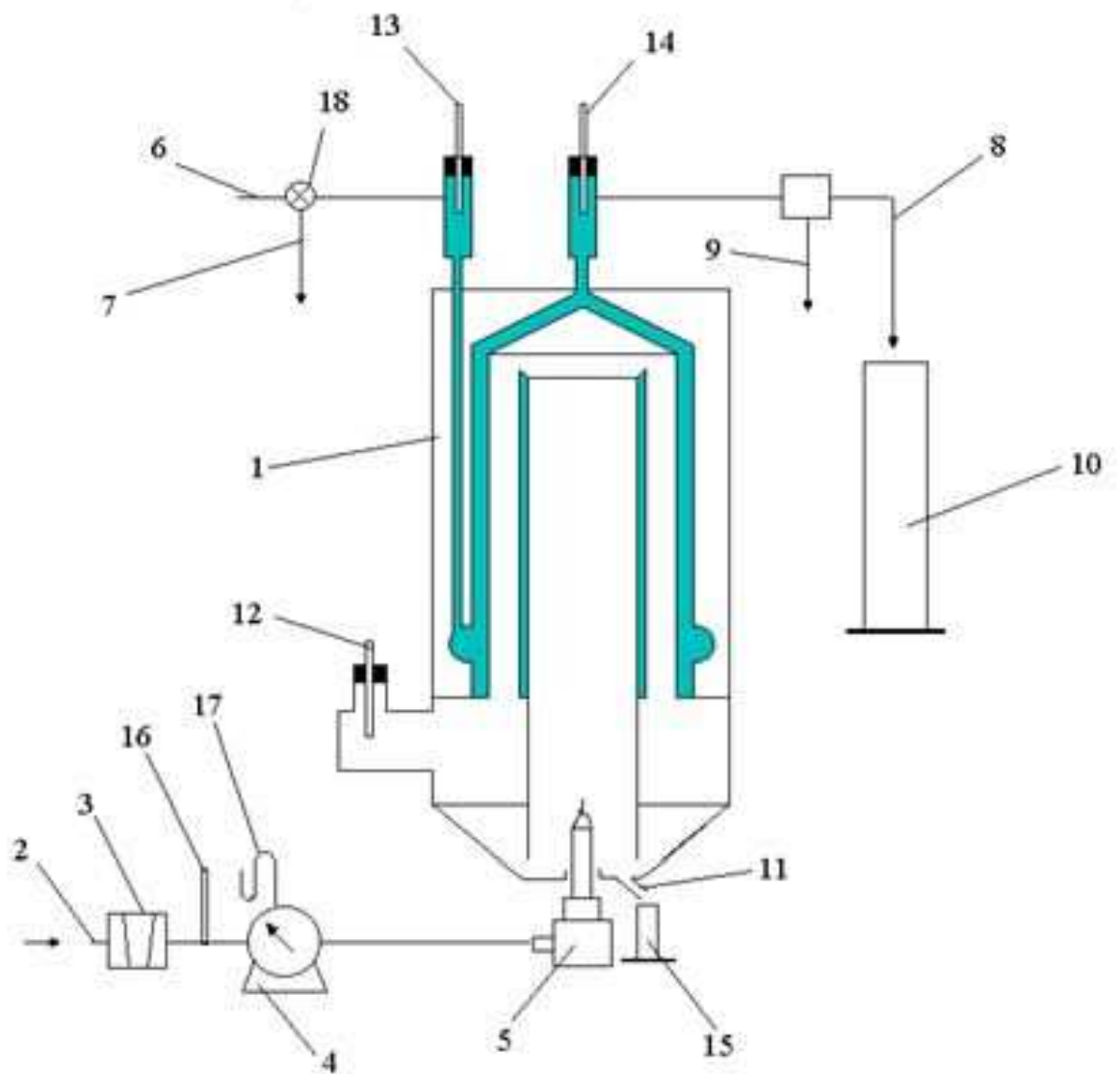
W celu uzyskania poprawnych wyników pomiarów, strumienie gazu i wody dopływające do kalorymetru należy regulować tak, aby różnica temperatur między wypływającą ciepłą wodą i wpływającą zimną wynosiła  $10 \pm 12$  K.

Stały strumień objętości gazu można uzyskać poprzez:

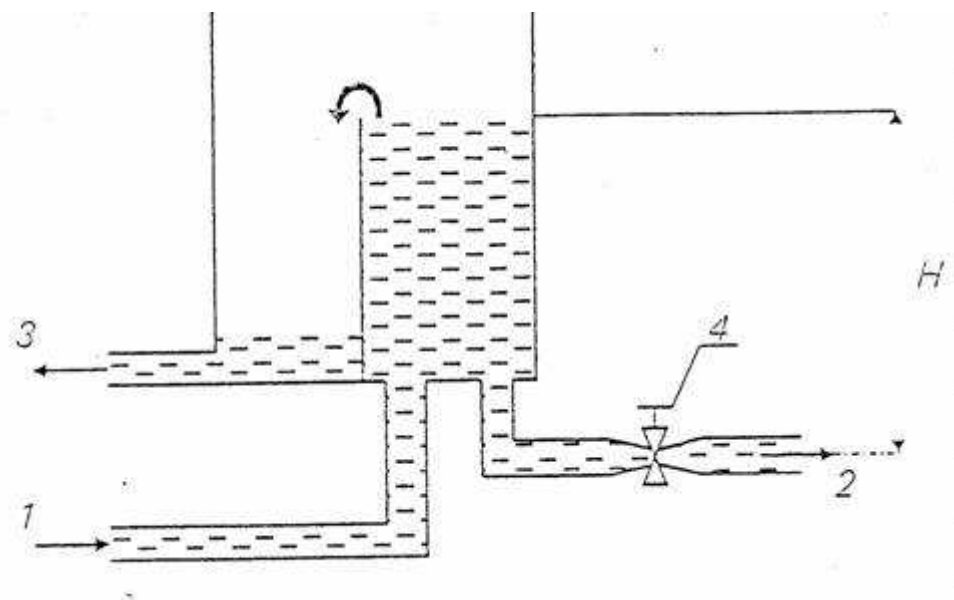
- zamontowanie regulatora przepływu gazu na wejściu do kalorymetru
- zamontowanie stabilizatora ciśnienia gazu na wejściu do kalorymetru

Stały strumień objętości przepływającej wody można uzyskać stosując naczynie przelewowe. Schemat naczynia przelewowego przedstawiono na rys. 2.

Regulując średnicę dyszy na wlocie wody do kalorymetru, przy stałym ciśnieniu hydrostatycznym, uzyskuje się stały strumień objętości wody dopływającej do kalorymetru. Woda ogrzewa się w płaszczu kalorymetru Junkersa – wymienniku ciepła. Następnie wpływa do zbiornika wypływowego wody skąd przez zawór trójdrożny odpływa do naczynia pomiarowego lub do zlewu.



Rys. 1. Schemat ręcznego kalorymetru Junkersa. 1 – kalorymetr Junkersa;  
 2 – dopływ gazu z sieci gazowej; 3 – regulator przepływu gazu; 4 – gazomierz mokry;  
 5 – palnik; 6 – dopływ wody z sieci; 7 – powrót wody nadmiarowej; 8 – odpływ wody do naczynia pomiarowego; 9 – odpływ wody do zlewu; 10 – naczynie pomiarowe wody;  
 11 – odpływ skroplin; 12 – pomiar temperatury spalin; 13 – pomiar temperatury wody na dopływie do kalorymetru (zimnej); 14 - pomiar temperatury wody na odpływie do kalorymetru (cieplej); 15 – naczynie pomiarowe ilości skroplin; 16 – pomiar temperatury gazu; 17 – pomiar ciśnienia gazu; 18 – naczynie przelewowe.



Rys. 2. Schemat naczynia przelewowego. 1 – woda zasilająca z sieci;  
 2 – woda wpływająca do płaszcza wodnego kalorymetru; 3 – woda nadmiarowa;  
 4 – regulacja średnicy dyszy; H – stałe ciśnienie hydrostatyczne w naczyniu przelewowym.

Temperaturę wody zimnej wpływającej oraz temperaturę wody ciepłej wypływającej z kalorymetru odczytuje się na termometrach zamontowanych na wlocie i wylocie wody. Spaliny uchodzą wylotem spalin. Temperaturę spalin mierzy się termometrem. Skraplająca się woda przy oziębianiu spalin wypływa z dolnej części kalorymetru.

Pomiary rozpoczyna się po ustaleniu różnicy temperatur wody na dopływie i wypływie wynoszącej  $10 \div 12$  K.

### Wykonanie pomiaru ciepła spalania $Q_s$

Po ustaleniu się warunków pracy w kalorymetrze Junkersa podstawić pod wylotem wody naczynie pomiarowe. Odkręcić zawór trójdrożny i równocześnie odczytać stan początkowy pomiarów: stan gazomierza oraz temperatury na termometrach po stronie dopływu i wypływu wody. Wykonać 10 odczytów temperatur wody w równych odstępach czasu. Następnie zakręcić zawór, odczytać stan końcowy gazomierza i zważyć dokładnie zebraną wodę. Wykonać pomiar trzykrotnie.

### Wykonanie pomiaru wartości opałowej $Q_i$

Po ustaleniu się warunków pracy w kalorymetrze Junkersa podstawić pod wylotem skraplającej się wody ze spalin suche naczynie pomiarowe i równocześnie odczytać stan początkowy gazomierza. Po spaleniu określonej ilości gazu odczytać stan końcowy gazomierza i równocześnie wyjąć naczynie pomiarowe z wykroploną wodą. Zważyć wykroploną wodę. Wykonać pomiar trzykrotnie.

### Wyniki pomiarów:

Wielkość	Jednostka	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III
$V_{g1}$	$m^3$			
$V_{g2}$	$m^3$			
$m_w$	kg			
$t_p$	$^{\circ}C$			
$t_k$	$^{\circ}C$			
$t_{sp}$	$^{\circ}C$			
$t_g$	$^{\circ}C$			
a	mm SW			
$p_b$	Pa			
g	kg			

### Obliczenie ciepła spalania $Q_s$ i wartości opałowej $Q_i$ :

$$Q_s = \frac{m_w c_p (t_k - t_p)}{V_{o1}}, \quad \text{kJ/m}^3$$

$$Q_i = Q_s - \frac{2454 g}{V_{o2}}, \quad \text{kJ/m}^3$$

gdzie:

2454 – ciepło parowania wody w  $20^{\circ}C$ , kJ/kg,

$m_w$  – masa podgrzanej wody zebranej w naczyniu pomiarowym, kg,

$c_p$ - ciepło właściwe wody równe 4.187 kJ/kg K,

$t_p$  – temperatura wody wlotowej – zimnej,  $^{\circ}C$ ,

$t_k$  – temperatura wody wylotowej – cieplej,  $^{\circ}C$ ,

g – masa wykroplonej wody ze spalin, kg,

$V_{o1}$  – objętość spalonego gazu w trakcie pomiaru masy podgrzanej wody przeliczonej na warunki normalne:  $p = 101325 \text{ Pa}$  i  $T = 273 \text{ K}$ ,  $m^3$ ,

$V_{o2}$  – objętość spalonego gazu w trakcie pomiaru masy wykroplonej wody ze spalin przeliczonej na warunki normalne:  $p = 101325 \text{ Pa}$  i  $T = 273 \text{ K}$ ,  $m^3$ .

$$V_o = V_g \frac{(p_b + 9.81 a) 273}{101325 (273 + t_g)}, \quad m^3$$

gdzie:

$V_g$  – zmierzona objętość spalonego gazu,  $m^3$ ,

$p_b$  – ciśnienie barometryczne, Pa,

$a$  – nadciśnienie gazu odczytane z gazometru, mm SW,

$t_g$  – temperatura gazu,  $^{\circ}C$ .

### **Sprawozdanie powinno zawierać:**

1. Schemat stanowiska pomiarowego,
2. Wyniki pomiarów,
3. Obliczenie średnich wartości  $Q_s$  i  $Q_i$ ,
4. Spostrzeżenia i wnioski.

### **Literatura:**

1. PN-86/C-96002. Pomiar ciepła spalania i wartości opałowej za pomocą kalorymetru.
2. PN-92/C-96004/02. Terminologia. Paliwa gazowe. Spalanie.
3. Słupek S., Nocoń J., Buczek A.: Technika Ciepłna-ćwiczenia obliczeniowe. Uczelniane Wyd. Naukowo-dydaktyczne AGH, Kraków 2005,
4. Nocoń J., Poznański J.: Technika Ciepłna-przykłady z techniki procesów spalania. Wyd. AGH, Kraków 1990,
5. Chomiak J.: Podstawowe problemy Spalania. PWN, Warszawa 1981,
6. Jarosiński J.: Techniki Czystego Spalania. WNT, Warszawa 1996,
7. Kordylewski W. i in.: Spalanie i paliwa. Oficyna Wyd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław 2001.

**Zakres pytań sprawdzających:**

1. Spalanie, spalanie całkowite i zupełne
2. Paliwa i ich podział,
3. Ciepło spalania,
4. Wartość opałowa,
5. Zasada działania kalorymetru Junkersa,
6. Metoda oznaczania ciepła spalania gazu w kalorymetrze Junkersa,
7. Zasada oznaczenia wartości opałowej gazu w kalorymetrze Junkersa.