

**Katedra Silników Spalinowych
i Pojazdów ATH
ZAKŁAD TERMODYNAMIKI**

Pomiar ciepła spalania paliw gazowych

Wstęp teoretyczny.

Spalanie polega na gwałtownym chemicznym łączeniu się składników paliwa z tlenem, czemu towarzyszy wydzielanie się ciepła i światła. Ciepło reakcji spalania wywiązuje się przez całkowite i zupełne spalanie paliwa. Można je wyznaczyć przez tzw. kalorymetrowanie paliwa.

Ciepło spalania W_g paliwa jest to ilość ciepła, jakie wydziela się przy całkowitym i zupełnym spalaniu jednostki masy paliwa (1kg lub 1kmol) oraz po ochłodzeniu produktów spalania do temperatury początkowej substratów (paliwa i powietrza), przy czym para wodna w spalinach ulega całkowitemu wykropleniu.

Wartość opałowa W_d paliwa to ilość ciepła, która wydziela się po całkowitym i zupełnym spalaniu jednostki masy paliwa oraz po ochłodzeniu produktów spalania (spalin) do temperatury początkowej paliwa i powietrza, przy założeniu, że para wodna zawarta w spalinach nie wykropliła się, czyli:

$$W_d = W_g - r_n m_w$$

gdzie:

m_w ilość kilogramów wody powstałej przy spaleniu 1 kilograma paliwa.

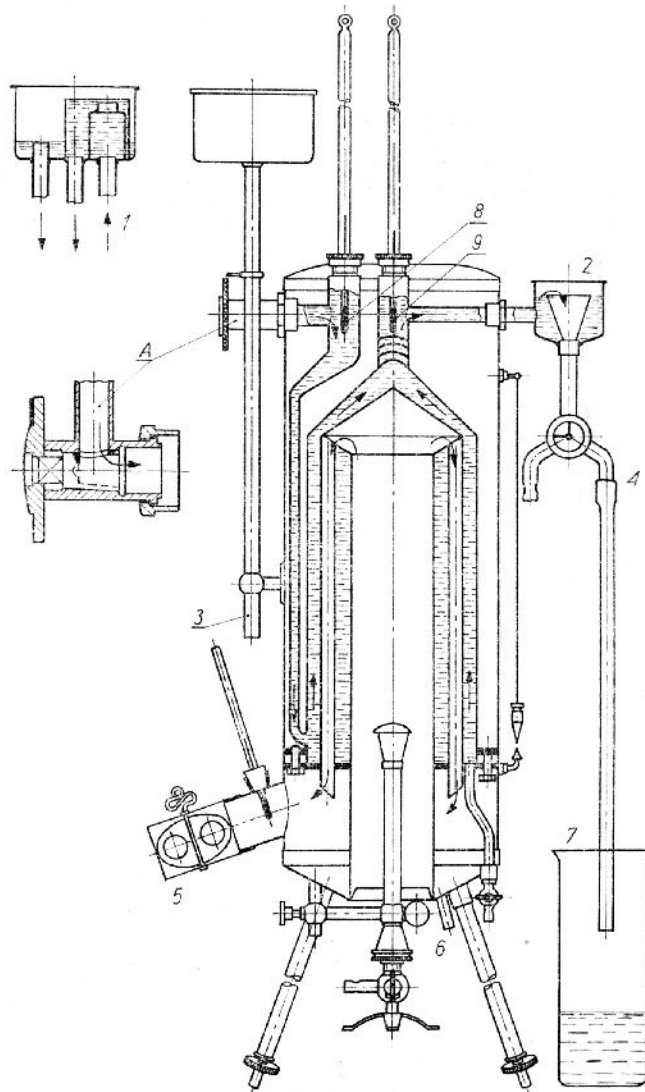
Para wodna w kalorymetrze ulega zawsze skropleniu, przeto wartości opałowej nie można wyznaczyć doświadczalnie. Wyznacza się ją za pomocą obliczeń.

Wyznaczanie ciepła spalania paliw jest typowym przykładem pomiaru kalorymetrycznego opartego na zasadzie bilansu cieplnego. Ciepło wytworzone przy spalaniu całkowitym i zupełnym określonej ilości paliwa przekazywane jest podczas pomiaru do określonej masy wody chłodzącej co wywołuje przyrost jej temperatury.

Realizacja pomiaru kalorymetrycznego dla paliw stałych opiera się również na pomiarze kalorymetrycznym, lecz jest przeprowadzany w tzw. bombie kalorymetrycznej.

Wyznaczanie wartości opałowej paliw gazowych kalorymetrem Junkersa.

Wartość opałowa paliw gazowych oraz paliw ciekłych lekkich o niskiej temperaturze wrzenia przeprowadza się najdogodniej za pomocą **kalorymetru Junkersa** (rys. 1).



Rys. 1. Kalorymetr Junkersa.

Zasada pomiaru polega na pomiarze przyrostu temperatury znanej masy wody chłodzącej przepływającej przez płaszcz kalorymetru strumieniem o stałym natężeniu, ogrzewanej gazami spalinowymi-ciepłem wywiązany przy spalaniu znacznej ilości paliwa, spalanego w sposób ciągły. Zasadniczymi elementami kalorymetru Junkersa są:

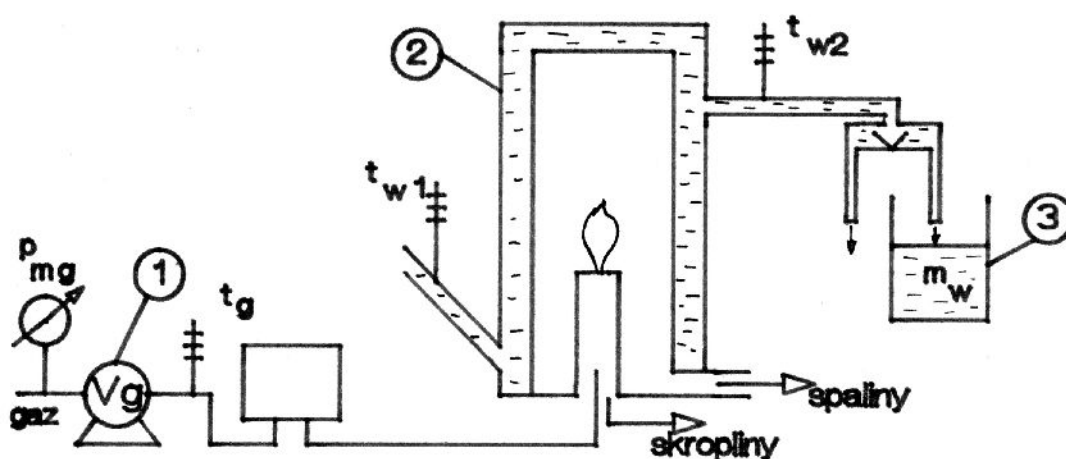
- specjalny palnik do spalania paliwa,
- komora spalania otoczona dwuściennym cylindrycznym płaszczem wodnym,
- system rur kierujący spaliny przez płaszcz wodny do wylotu,
- dwuścienny płaszcz wodny, którego wewnętrzna część stanowi komorę spalania,
- cylindryczna obudowa poniklowana z zewnątrz w celu zmniejszenia wymiany ciepła przez promieniowanie.

Woda chłodząca z sieci wodociągowej dopływa do płaszcza poprzez naczynie przelewowe 1, zawór regulacyjny A i cylindryczną komorę, w której umieszczony jest czujnik termometru 8.

Termometr wskazuje temperaturę wody na wlocie do kalorymetru. Przepływająca przez płaszcz woda chłodząca odbiera ciepło wydzielone przy spalaniu znanej ilości paliwa, woda chłodząca opuszcza płaszcz wodny płynąc poprzez urządzenie mieszające i drugą komorę, w której jest umieszczony czujnik termometru 9, do naczynia przelewowego 2. Termometr 9 wskazuje temperaturę wody ogrzanej na wylocie z kalorymetru. Ta ilość wody, jaka przepłynęła przez płaszcz od chwili rozpoczęcia do zakończenia pomiaru, jest przez obrót kurka znajdującego się poniżej przelewu 2 bez strat kierowana do wytarowanego naczynia 7 i wazona. Zadaniem naczyń przelewowych 1 i 2 jest zapewnienie stałego ciśnienia, a zatem i stałego natężenia przepływu wody chłodzącej przez płaszcz wodny, niezależnie od zmian ciśnienia wody w sieci. Natężenie przepływającej wody reguluje się zaworkiem na wlocie tak, aby średnia arytmetyczna z temperatur wody dopływającej i odpływającej była równa temperaturze otoczenia. Optymalną dokładność pomiaru uzyskuje się przy różnicy temperatur $6 \pm 10^\circ\text{C}$. Termometry 8 i 9 mają skalę z podziałką $0,1^\circ\text{C}$. Za pomocą lupy odczytuje się setne części stopnia. Badany gaz z sieci doprowadza się do **palnika Bunsena** poprzez gazomierz. Dopływ powietrza do palnika Bunsena regulujemy tak, aby badany gaz spalał się zupełnie, tj. płomieniem utleniającym niebieskiej barwy. Wylot palnika tkwi w komorze spalania płaszczu wodnego.

Gaz za gazomierzem można uważać za nasycony parą wodną w temperaturze pokojowej. Gazy spalinowe unoszą się początkowo w komorze spalania ku górze, po czym opadają w dół przez rurki przechodzące przez płaszcz wodny do komory dolnej i dalej uchodzą wylotem 5. Woda wykraplająca się w komorze dolnej z gazów spalinowych wypływa króćcem 6. Wodę tę zbiera się ilościowo do wytarowanej zlewki i wagi. Temperatura spalin uchodzących z kalorymetru jest o kilka stopni niższa od temperatury otoczenia. Wynikający stąd błąd jest niewielki i pomijany w obliczeniach.

Zgodnie z zasadą pomiaru kalorymetrycznego pomiar rozpocząć można w chwili osiągnięcia równowagi układu, kiedy kontrolowane temperatury pozostają stałe, a temperatura uchodzących spalin jest bliska temperaturze otoczenia.



Rys.2 Schemat układu pomiarowego.

Przebieg obliczeń

Ciepło spalania W_g [kJ/Nm³] gazu oblicza się ze wzoru:

$$W_g = \frac{m_w(t_{w2} - t_{w1})c_w}{V_N}$$

Gdzie:

- m_w to masa wody chłodzącej,
- $(t_{w2} - t_{w1})$ jest przyrostem temperatury wody chłodzącej,
- c_w ciepło właściwe wody ($c_w = 4186.7$ J/kgK),
- V_N to objętość normalna gazu spalonego podczas pomiaru.

Objętość gazu V_g wskazana przez gazomierz sprowadza się do warunków normalnych ($T_n=273.15$ K, $p_n=0.1$ MPa) przy pomocy wzoru:

$$V_N = V_g \frac{p_{ot} + p_{mg} - p_s}{p_n} \frac{T_n}{t_g + 273,15}$$

Gdzie:

- p_{ot} jest ciśnieniem otoczenia,
- p_{mg} to ciśnienie manometryczne gazu wskazywane przez manometr cieczowy umieszczony wewnątrz gazomierza,
- p_s ciśnienie nasycenia pary wodnej dla temperatury t_g ,
- t_n, p_n temperatura i ciśnienie normalne.

Wartość opałową (W_d) oblicza się ze wzoru:

$$W_d = W_g - r m_s/V_N$$

Gdzie:

- r to utajone ciepło parowania wody ($r=2500$ kJ/kg)
- m_s/V_n oznacza ilość kondensatu wykroplonego po spaleniu 1Nm³ gazu suchego.

Uwagi dotyczące przeprowadzania pomiaru ciepła spalania paliw.

W celu poprawnego przeprowadzenia pomiaru V_g należy po uruchomieniu stanowiska pomiarowego ustalić drogą regulacji natężeń przepływu gazu lub wody chłodzącej taką temperaturę wody opuszczającej kalorymetr (t_{w2}) aby średnia temperatura wody w kalorymetrze była równa temperaturze otaczającego powietrza. Celem tego działania jest zmniejszenie strat ciepła (lub zysków) z powierzchni kalorymetru do otoczenia. Po ustaleniu temperatury w układzie należy jednocześnie:

odczytać stan gazomierza,

przestawić odpływ wody z kalorymetru z kierunku „zlew” na położenie „do naczynia pomiarowego”

wymienić pod rurką odprowadzającą skropliny z kalorymetru zlewkę z okresu przygotowania pomiaru na naczynko przeznaczone na zbieranie skroplin

Od tej chwili należy odczytywać temperatury wody na wejściu i wyjściu z kalorymetru (co ok.20s)

Kilka razy w czasie pomiaru należy odczytać temperaturę gazu t_g , ciśnienie manometryczne gazu p_{mg} oraz temperaturę otoczenia. Gdy naczynie dla wody chłodzącej będzie pełne należy jednocześnie:

odczytać stan gazomierza,

przestawić odpływ wody z kalorymetru na położenie „zlew”,

odstawić naczynko ze skroplinami, a podstawić zlewkę.

Następnie należy zważyć naczynie z wodą chłodzącą i naczynko ze skroplinami.

Wyniki pomiarów zestawiamy w tabeli. W tabeli tej trzeba zapisać temperaturę otoczenia t_{ot} oraz ciśnienie otoczenia p_{ot} . Pomiar powinno się wykonać kilka razy (przynajmniej 3). Po zakończeniu pomiaru należy zgasić palnik (przez odcięcie dopływu gazu), a w drugiej kolejności zamknąć dopływ wody chłodzącej do kalorymetru.