

ODREĐIVANJE TOPLOTNE MOĆI ČVRSTIH GORIVA

1. Uvod

Toplotna moć goriva se definiše kao odnos oslobođene količine toplote pri potpunom sagorevanju goriva i količine goriva iz koje je toplota oslobođena:

$$H = \frac{Q}{m_g},$$

gde je:

H	-toplotna moć goriva, kJ/kg,
Q	-količina oslobođene toplote, kJ i
m_g	-masa goriva, kg.

U opštem slučaju, gorivo se sastoji od gorivog dela i balasta (negorivog dela). *Vlaga*, zajedno sa mineralnim materijama, čini tzv. spoljnu balast. Vlaga se u gorivu javlja u tri oblika: kao gruba, higroskopna i konstituciona. **Vlaga umanjuje toplotnu moć goriva jer se za njeno isparavanje troši deo toplote nastao sagorevanjem goriva.** Shodno tome, razlikujemo *gornju* i *donju toplotnu moć goriva*.

Gornja toplotna moć goriva (H_g) je količina toplote koja se oslobodi potpunim sagorevanjem jedinice mase goriva pod sledećim uslovima:

- (1) voda iz produkata sagorevanja, koja potiče od vlage iz goriva i od sagorelog vodonika (H_2), **prevedena je u tečno stanje**,
- (2) produkti sagorevanja goriva dovedeni su na temperaturu koju je gorivo imalo na početku i
- (3) sumpor (S) i ugljenik (C) iz gorive materije se nalaze u obliku svojih dioksida (SO_2 i CO_2), dok do sagorevanja azota (N_2) nije došlo.

Donja toplotna moć goriva (H_d) je količina toplote koja se oslobodi potpunim sagorevanjem jedinice mase goriva pod sledećim uslovima:

- (1) voda u produktima sagorevanja **ostaje u parnom stanju**,
- (2) produkti sagorevanja goriva dovedeni su na temperaturu koju je gorivo imalo na početku i
- (3) sumpor (S) i ugljenik (C) iz gorive materije se nalaze u obliku svojih dioksida (SO_2 i CO_2), dok do sagorevanja azota (N_2) nije došlo.

Veza između gornje i donje toplotne moći kod čvrstih goriva može se predstaviti relacijom:

$$H_g = H_d + 25 \cdot (9H + W_U),$$

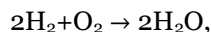
gde je:

H_g	-gornja toplotna moć goriva, kJ/kg,
H_d	-donja toplotna moć goriva, kJ/kg,
25	-stoti deo zaokružene vrednosti latentne toplote isparavanja vode, ($r=2450$ kJ/kg), kJ/kg,
W_U	-sadržaj ukupne vlage u uzorku goriva, %, jednakoj sumi sadržaja grube i higroskopne vlage:

$$W_U = W_G + W_H,$$

W_G -sadržaj grube vlage, %,
 W_H -sadržaj higroskopne vlage, % i
 H -sadržaj vodonika u uzorku goriva, %.

$9H$ u jednačini predstavlja količinu vode nastalu sagorevanjem vodonika (H_2) iz goriva u procentima. Iz stehiometrijske jednačine sagorevanja:



pri čemu su molarne mase vodonika (H_2), kiseonika (O_2) i vode (H_2O) redom 2kg/kmol, 32kg/kmol i 18kg/kmol, sledi da je za potpuno sagorevanje 1kg vodonika (H_2) potrebno 8kg kiseonika (O_2) i pri tome nastaje 9kg vode (H_2O). Znači, ako se količina sagorelog vodonika označi sa H , dobijena količina vode će biti $9H$.

$9H + W_U$ je ukupna količina vlage u procentima, a $25 \cdot (9H + W_U)$ je količina toplote potrebna za isparavanje 1kg te vlage u kJ/kg.

Određivanje gornje toplotne moći čvrstih goriva u *kalorimetru sa bombom* zasniva se na potpunom sagorevanju odmerene količine goriva u atmosferi kiseonika pri povišenom pritisku i stalnoj zapremini ($V = \text{const}$). Toplota nastala sagorevanjem predaje se okolnom medijumu- vodi. Mereći masu vode i porast njene temperature možemo naći količinu oslobođene toplote:

$$Q = m_W \cdot c_W \cdot \Delta t_W,$$

gde je:

Q -količina oslobođene toplote, kJ,
 m_W -masa vode, kg,
 c_W -specifična toplota vode, čija je vrednost 4,2kJ/(kg°C) i
 Δt_W -porast temperature vode, °C.

Na osnovu tako određene količine oslobođene toplote i mase goriva dobija se toplotna moć goriva:

$$H = \frac{Q}{m_g},$$

gde je:

H -toplotna moć goriva, kJ/kg,
 Q -količina oslobođene toplote, kJ i
 m_g -masa goriva, kg.

2. Opis eksperimenta

Određivanje toplotne moći čvrstog goriva se vrši u kalorimetru sa bombom, koji je prikazan na Slici 1.

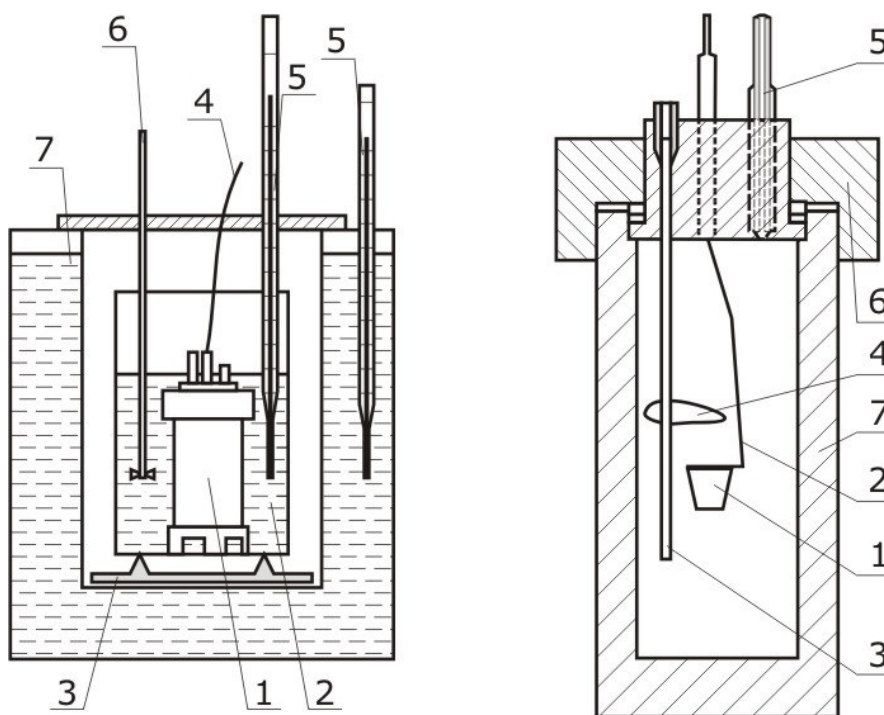
Postupak pri radu. U kalorimetarsku bombu se uspe 5ml vode (radi razblaženja kiselina). Posuda sa odmerenom masom goriva se postavi na postolje i u gorivo se uroni žica za inicijalno paljenje, a njeni krajevi se povežu sa priključcima za paljenje. Bomba se zatvara, puni kiseonikom na 30 bara i stavlja u kalorimetarsku posudu sa odmerenom masom vode koja obezbeđuje potpuno potapanje bombe. Nakon postavljanja priključaka za dovod električne energije na poklopac bombe, telo kalorimetra se zatvara i pušta u rad mešalica. U vodu se postavlja termometar. Kada se temperatura vode ustali, registruje se, a zatim se vrši paljenje goriva. Toplota sagorevanja se predaje vodi u posudi i registruje

se porast temperature vode. Sagorevanje se smatra potpunim ako na zidovima bombe nema tragova čađi, a u lončiću zaostalog nesagorelog ugljenika.



Slika 1

Kalorimetar sa bombom (levo) i kalorimetarska bomba (desno)



Levo-kalorimetar sa bombom: (1) kalorimetarska bomba, (2) vodeno kupatilo, (3) postolja kalorimetarske posude, (4) dovod kiseonika, (5) termometri, (6) mešalica i (7) telo kalorimetra

Desno-kalorimetarska bomba: (1) posuda za uzorak, (2) držač posude za uzorak, (3) elektroda, (4) žica za paljenje uzorka, (5) dovod kiseonika, (6) poklopac kalorimetarske bombe i (7) telo kalorimetarske bombe

Određivanje higroskopske vlage. U okviru ovog eksperimenta potrebno je odrediti i sadržaj higroskopske vlage u gorivu. Princip određivanja se zasniva na utvrđivanju gubitka mase goriva njegovim sušenjem. Sušenje se vrši u sušnici (Slika 2) na temperaturi od 105°C u trajanju od 1 sata. Početna masa goriva je 2g.



Slika 2

Sušnica za sušenje goriva

3. Obrada rezultata

Na osnovu eksperimenta moguće je izračunati gornju toplotnu moć goriva, zato što je kalorimetar konstrukcijski tako rešen, a na osnovu jednačine:

$$H_g = \frac{C \cdot \Delta t_w - Q_{\dot{z}}}{m_g},$$

gde je:

- H_g -gornja toplotna moć goriva, kJ/kg,
- C -konstanta kalorimetra, čija je vrednost 9500J/°C,
- Δt_w -porast temperature vode, °C,
- $Q_{\dot{z}}$ -količina toplote nastala sagorevanjem žice, koja iznosi 50J i
- m_g -masa goriva, g.

Sadržaj higroskopske vlage u gorivu se sračunava po sledećem obrascu:

$$W_H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100,$$

gde je:

- W_H -sadržaj higroskopske vlage, %,
- m_1 -početna masa uzorka goriva, koja iznosi 2g i
- m_2 -izmerena masa uzorka goriva posle sušenja, g.

Rezultati se prikazuju tabelarno.

Tabela 1. Određivanje higroskopske vlage

Uzorak goriva			I	II
Masa uzorka pre sušenja	m_1	[g]		
Masa uzorka posle sušenja	m_2	[g]		
Udeo vlage u uzorku	W_H	[%]		

Nakon toga se, prema dobijenim vrednostima za oba uzorka, izračunava srednja vrednost sadržaja higroskopske vlage:

$$W_H = \frac{W_{HI} + W_{HII}}{2}.$$

Donja toplotna moć goriva se izračunava pomoću jednačine:

II | Određivanje toplotne moći čvrstih goriva

$$H_d = H_g - 25 \cdot (9H + W_G + W_H),$$

gde je:

- H_d - donja toplotna moć goriva, kJ/kg,
- H_g - gornja toplotna moć goriva, kJ/kg,
- W_G - sadržaj grube vlage, %, čija se vrednost zanemaruje jer se smatra da je gruba vlaga već otklonjena iz goriva,
- W_H - sadržaj higroskopne vlage, % i
- H - sadržaj vodonika u uzorku goriva, %.