

# Određivanje ogrjevnih vrijednosti kapljevitih i krutih goriva pomoću adijabatskog kalorimetra

---

**Romić, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:368390>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Nikola Romić**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas, dipl. ing.

Student:

Nikola Romić

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se Prof.dr.sc. Davoru Ljubasu, dipl.ing.na na velikodušnosti, susretljivosti i ponajviše na razumijevanju koje mi je ukazao prilikom izrade ovog rada.

Također bih se zahvalio laborantu Marku Skozritu, na izvođenju laboratorijskih ispitivanja i pomaganju u laboratoriju.

Nikola Romić

**SADRŽAJ**

1. Uvod.....	1
2. TEORIJSKA OSNOVA.....	2
2.1.Osnovne definicije.....	2
Referentna temperatura .....	2
Efektivni toplinski kapacitet kalorimetra .....	2
Temperaturni porast .....	2
2.2. Aparatura [2].....	3
- Kalorimetrijska bomba .....	3
- Posuda.....	4
- Mješalica.....	4
- Termostat .....	4
- Mjerni instrumenti temperature .....	5
- Strujni sklop.....	5
- Štoperica .....	5
Mjeri minute i sekunde.....	5
- Vaga za uzorke .....	5
- Vaga za kalorimetrijsku vodu .....	5
- Termostat .....	5
2.3. Način pravilne upotrebe korištenog kalorimetra .....	6
2.3.1. Puštanje u pogon .....	6
2.3.2. Uključivanje instrumenta .....	7
2.3.3. Punjenje vanjske posude .....	7
2.4. Adijabatski kalorimetar s bombom.....	9
2.4.1. Postupak ispitivanja.....	9
2.4.2. Određivanje toplinskog kapaciteta sustava .....	10
2.4.3. Određivanje ogrjevne vrijednosti goriva .....	10
2.4.4. Izvori grešaka kod adijabatskog kalorimetra .....	12
2.4.5. Termostat.....	13
2.4.6. Vrijeme trajanja izgaranja .....	13
2.5. Metode za ispitivanje udjela vlage i pepela u ispitnom uzorku.....	14
2.5.1. Udio vlage u uzorku .....	14

2.5.2.	Udio pepela u uzorku .....	15
2.5.3.	Aparatura .....	15
2.5.4.	Priprema ispitnog uzorka .....	16
2.5.5.	Postupak određivanja udjela vlage .....	17
2.6.	Rezultati ispitivanja .....	19
3.	Eksperimentalni dio.....	20
3.1.	Vodena vrijednost kalorimetra .....	21
3.2.	Ugljen .....	22
3.2.1.	Ugljen u dostavnom stanju .....	22
3.2.2.	Osušeni ugljen .....	23
3.3.	Peleti (Kineski šaš) .....	25
3.3.1.	Dostavno stanje – Peleti .....	26
3.3.2.	Sušeno stanje - Peleti.....	28
3.4.	Eurodizel.....	29
3.5.	Etanol 96% .....	30
3.6.	Ispitivanje pepela i vlage kod kamenog ugljena i peleta .....	31
3.6.1	Ispitivanja pepela kod ugljena .....	31
3.6.2.	Ispitivanje pepela kod peleta .....	33
3.7.	Ispitivanje vlage u gorivima .....	34
3.7.1.	Ispitivanje vlage u ugljenu .....	34
3.7.2.	Ispitivanje vlage u peletima.....	35
4.	Zaključak.....	36
	Literatura .....	37

**Popis slika**

Slika 2.1. Shema adijabatskog kalorimetra .....	3
Slika 2.2. Bomba kalorimetra.....	4
Slika 2.3. Adijabatski kalorimetar C 4000 A .....	6
Slika 2.4. Graf temperatura-vrijeme u kalorimetru .....	12
Slika 2.5. Korištena laboratorijska peć.....	16
Slika 3.1. Sušionik u laboratoriju .....	23
Slika 3.2. Tarionik sa usitnjenim ugljenom.....	24
Slika 3.3. Kineski šaš .....	25
Slika 3.4. Peleti.....	26
Slika 3.5. Uzorci pepela nakon izgaranja. 3 u dostavnom i 3 u sušenom stanju.....	31

## Popis tablica

Tabela 1. Vodena vrijednost kalorimetra .....	21
Tabela 2. Ogrjevna vrijednost ugljena - dostavno stanje .....	22
Tabela 3. Ogrjevna vrijednost ugljena - sušeno stanje .....	24
Tabela 4. Ogrjevna vrijednost kineskog šaša - dostavno stanje .....	26
Tabela 5. Ogrjevna vrijednost kineskog šaša - sušeno stanje.....	28
Tabela 6. Ogrjevna vrijednost dizela.....	29
Tabela 7. Ogrjevna vrijednost etanola.....	30
Tabela 8. Udio pepela u ugljenu - dostavno stanje .....	32
Tabela 9. Udio pepela u ugljenu - sušeno stanje .....	32
Tabela 10. Udio pepela u peletima - dostavno stanje.....	33
Tabela 11. Udio pepela u peletima - sušeno stanje .....	33
Tabela 12. Udio vlage u ugljenu .....	34
Tabela 13. Udio vlage u peletima.....	35



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$T$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura
$\Delta T$	$^{\circ}\text{C}$	Promjena temperature
$H$	J/g	Ukupna kalorička vrijednost
$Q$	J	Parazitna toplina
$m$	g	Masa tvari

### **Sažetak rada**

U ovome radu opisat će se ispitivanje goriva u adijabatskome kalorimetru. Rad će pružiti teorijsku osnovu za mjerenje ogrjevnih vrijednosti goriva te eksperimentalni dio. Pri tome će se ispitivati četiri vrste goriva, od kojih su dva kapljevita, a dva krutoga stanja tvari. Ispitivanje se provodi sa ciljem dobivanja gornjih ogrjevnih vrijednosti ispitivanih goriva. Donje ogrjevne vrijednosti, koje su važnije za praktičnu primjenu, određuju se na temelju podataka iz literature te iz gornje ogrjevne vrijednosti. U eksperimentalnoj fazi, ispitni uzorci se pripremaju za ispitivanje tako da se prvo obavi sušenje, kako bi se uklonila vlaga. S točno određenom količinom uzorka se ulazi u fazu ispitivanja, tj. fazu spaljivanja uzorka u kalorimetru. Ispitivanja se ponavljaju da bi se se dobili što točniji rezultati mjerenja. Također, i kalorimetar mora biti ispitan i kalibriran prije samoga ispitivanja. Kalibracija se provodi prema uputama proizvođača kalorimetra s referentnom tvari - benzojevom kiselinom.

## Summary

Caloric value of fuels is measured with adiabatic calorimeter . With teoretical terms, definitions and formulas there is and experimental part of measuring caloric values of fuels. It will be tested four fuels, which two of them are in solid state and two others in liquid. Testing will be provided to get net and gross caloric valeus of fuels, Net caloric values, which is more important for practical use, will be evaluated from specifications from literatures. In experimental phase, tested samples will be dried before testing in calorimeter, because of moisture in samples. The weighed samples are burned in calorimeter. Experiments are reaped to give better results of measuring. Likewise, calorimeter must be calibrated before experiments. Calibration must be carried out according to manufacturs directions.

## 1. Uvod

Uz određivanje ogrjevnosti goriva, provoditi će se i određivanje udjela vlage i pepela u uzorcima. Za određivanje ogrjevnosti, potrebno je odrediti vodenu vrijednost kalorimetra, koja se određuje kalibracijom. Točno definiranim postupcima se provode ispitivanja za dobivanje ogrjevnosti goriva. Uz podatke dobivene pomoću kalorimetra i poznatih masa uzoraka može se odrediti gornja ogrjevna vrijednost. Iz analize uzorka i nekih podataka iz odabrane literature, te dobivenom gornjom ogrjevnom vrijednosti može se izračunati i donja ogrjevna vrijednost. Ona je važnija u praksi, jer opisuje koliko se točno energije može dobiti iz određene količine goriva. Određuje se i udio vlage, jer uz udio vodika u gorivu, daje razliku između gornje i donje ogrjevnosti goriva. Prilikom izgaranja ostaje i neizgoreni, kruti dio, pepeo. Prije eksperimentalnog dijela, obrađuje se teorijska osnova, koja će opisati pravilan pristup ispitivanju i računanju uz objašnjenje potrebnih termina i definicija.

## 2. TEORIJSKA OSNOVA

### 2.1. Osnovne definicije

**Ogrjevna vrijednost goriva** - određuje se mjerenjem u kalorimetru. Pri tome, kisik i gorivo moraju biti iste temperature. Nastali produkti izgaranja moraju biti ohlađeni na istu temperaturu. Tijekom tog hlađenja toplinu na sebe preuzima rashladna voda, tzv. kalorimetrijska voda, kojoj se mjeri temperaturni porast. Iz tih podataka se izračunava ogrjevna vrijednost goriva.

Pri kalorimetriranju bitno je uočiti da li se u nastalim produktima izgaranja, nakon ohlađivanja dimnih plinova na početnu temperaturu, vlaga pojavljuje u plinovitom ili kapljevitom agregatnom stanju. Budući da se specifične entalpije parovite i kapljevite vlage razlikuju, razlikuju se i međusobno i ogrjevne vrijednosti promatranog goriva, već prema tome da li je vlaga, nakon ohlađivanja produkata izgaranja, u njima parovita ili kapljevita.

Ako je para u produktima izgaranja kapljevita, tada ona ima manju specifičnu entalpiju od vodene pare, Tada je vrijednost specifične entalpije produkata izgaranja manja, a ogrjevna vrijednost veća, od slučaja kada se vlaga u produktima izgaranja javlja u parovitom agregatnom stanju. [1]

**Donja ogrjevna vrijednost** goriva označava razliku specifičnih entalpija zraka i goriva te produkata izgaranja u kojima je vlaga, nakon njihova ohlađivanja, pojavljuje u parovitom stanju.

**Gornja ogrjevna vrijednost** predstavlja razliku specifičnih entalpija zraka i goriva te produkata izgaranja, u kojima vlaga, nakon ohlađivanja, egzistira u kapljevitom agregatnom stanju. [1]

**Referentna temperatura** - internacionalna temperatura za termokemiju od 25 °C je prihvaćena kao referentna temperatura za kalorijske vrijednosti.

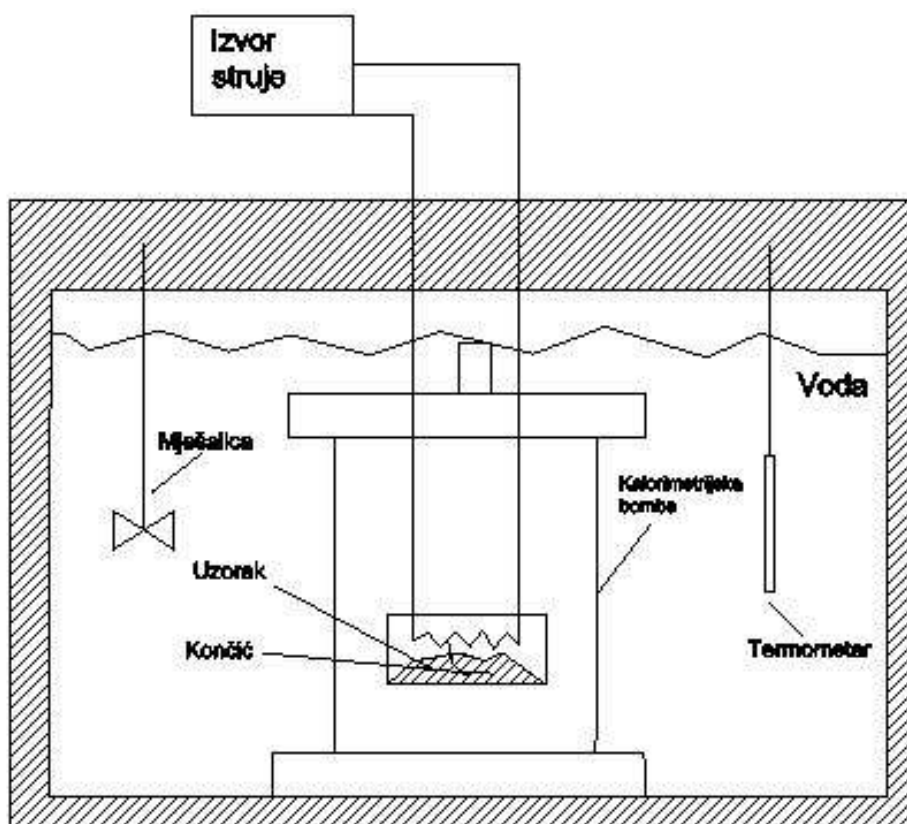
**Efektivni toplinski kapacitet kalorimetra** - količina energije potrebna da uzrokuje promjenu temperature u kalorimetru

**Temperaturni porast** - promjena u temperaturi kalorimetra uzrokovana procesom u bombi kalorimetra

## 2.2. Aparatura [2]

Kalorimetar se sastoji od komore izgaranja, posude, mješalice, vode, temperaturnog senzora, te žica sa konektorima potrebnima za zapaljenje goriva ili žica za termometar. Tijekom mjerenja kalorimetrijska bomba je u termostatu. Način na koji se kontrolira temperatura termostata opisuje način rada instrumenta.

Atmosferski uvjeti u sobi (temperatura, ventilacija) mogu imati utjecaj na točnost mjerenja, stoga se sva ispitivanja moraju provoditi u uvjetima koje definira proizvođač kalorimetra.



Slika 2.1. Shema adijabatskog kalorimetra

### - *Kalorimetrijska bomba*

Bomba kalorimetra mora biti sposobna podnijeti tlakove koji nastaju prilikom izgaranja. Materijal od kojeg je izrađena košuljica komore je otporna na trošenje i koroziju, čak i na kiseline koje nastaju prilikom izgaranja.



Slika 2.2. Bomba kalorimetra

- ***Posuda***

Izrađena je od metala, visoko poliranog sa vanjske strane i sposobna da izdrži masu vode koja mora prekriti gornju površinu komore, voda je pritom miješana mješalicom. Poklopac uglavnom služi za smanjenje isparavanja kalorimetrijske vode, osim ako nije u toplinskom dodiru sa kantom pri čemu dolazi do izmjene topline sa termostatom.

- ***Mješalica***

Radi pri konstantnoj brzini vrtnje. Vratilo mješalice bi trebalo imati nisku toplinsku vodljivost i/ili malu masu unutar termostata da se smanji prijenos topline prema ili od sustava.

- ***Termostat***

U potpunosti okružuje kalorimetar, sa zračnim razmakom između kalorimetra i termostata, veličine oko 10 mm.

Količina vode u termostatu bi trebala biti dostatna da spriječi prijenos topline od komore. Temperatura se treba kontrolirati do  $\pm 0.1$  K, ili bolje. Pasivni termostat, konstantne temperature bi trebao imati visoki toplinski kapacitet dovoljan da ograniči promjenu temperature vode.

Kada bi termostat trebao blisko pratiti temperaturu kalorimetra, mora imati malu masu i poželjno, grijače. Energija bi trebala biti u mogućnosti održati temperaturu vode termostata približnu temperaturi kalorimetra. Ta vrijednost ne smije prelaziti 0.1 K.

- ***Mjerni instrumenti temperature***

Trebaju biti sposobni registrirati promjenu temperature sa rezolucijom od 0.001 K tako da temperaturni intervali 2 do 3 K može biti determiniran sa rezolucijom od 0.002 K ili boljom. Apsolutna temperatura bi trebala biti točna do 0.1 K razlike od referente temperature kalorimetrijskih mjerenja. Uređaj za mjerenje temperature bi trebao biti linearan u odazivu prema promjenama temperature.

- ***Strujni sklop***

Električni izvor bi trebao biti izmjenična struja 6 do 12 V ili istosmjerna struja sa baterijama

- ***Štoperica***

Mjeri minute i sekunde

- ***Vaga za uzorke***

- ***Vaga za kalorimetrijsku vodu***

- ***Termostat***



### 2.3. Način pravilne upotrebe korištenog kalorimetra

Za ispitivanje se koristio kalorimetar oznake C 4000A koji se nalazi u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje..



Slika 2.3. Adijabatski kalorimetar C 4000 A

#### 2.3.1. Puštanje u pogon

Instrument treba postaviti na položaj koji zadovoljava sljedeće uvjete:

- napajanje naponom treba biti sukladno onome navedenom na ploči instrumenta
- ne smije se postaviti na izravnu Sunčevu svjetlost
- ne smije biti na propuhu (blizu vrata, prozora)

- priključen na dovod vode za hlađenje:
- temperatura manja od 19 °C
- protočna brzina vode oko 2 litre u minuti

Za postizanje povećane točnosti (pogreška manja od 0.1%) potrebna je prostorija sa klimatizacijom ( $25 \pm 0.5$  °C)

### 2.3.2. *Uključivanje instrumenta*

Otvoriti poklopac, uključiti instrument. Odmah nakon uključivanja automatski započinje autotest:

- motor za miješanje radi oko 1 sekundu
- grijanje se uključuje na trenutak
- 3 LED svjetla žmirkaju, istodobno se čuje zvučni signal

Ukoliko autotest ne protječe kako je propisano, instrument se ne smije uporabiti i treba ga pregledati stručnjak.

### 2.3.3. *Punjenje vanjske posude*

C 4000 kalorimetar opremljen je integriranim elektroličkim grijanjem.

Elektrolit se sastoji od 1.3 l destilirane vode miješane sa 1.5 g natrijevog karbonata,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

#### **Postupak:**

- isključiti instrument
- pripremiti elektrolit
- otvoriti poklopac
- otvoriti prednje ploču
- uliti elektrolit do 1 cm od otvora za punjenje
- uključiti instrument
- puniti dok razina ne ostane stalna na približno 1 cm od ispod otvora za punjenje

**Vodljivost elektrolita:**

Za ispitivanje vodljivosti elektrolita treba uključiti uređaj. Kazaljka na mjeracu će se otkloniti. Vodljivost treba biti na približno 9 podjeljaka ljestvice. Može se povećati dodatkom natrijevog karbonata. Ukoliko se doda previše natrijevog karbonata dio elektrolita treba izliti i zamijeniti s destiliranom vodom.

## **2.4. Adijabatski kalorimetar s bombom**

U idealnom adijabatskom kalorimetru izolacija mijenja temperaturu u skladu s porastom temperature radi izgaranja uzorka pa nema izmjene topline sa okolinom (nema izmjene topline između dva sustava jednakih temperatura). U idealnom slučaju, temperatura poklopca i unutarnje strane termostata mora biti jednaka temperaturi bombe, da ne bi dolazilo do izmjene topline. Ali tu je uvijek prisutni porast temperature zbog mješanja vode, ali i provođenja topline kroz vratilo mješalice i ostalih pomoćnih uređaja u kalorimetru.

### ***2.4.1. Postupak ispitivanja***

#### ***2.4.1.1. Priprava uzorka***

Krute tvari se mogu spaljivati izravno u praškastom obliku. U tu svrhu se odvagne u lončić s točnošću od 0,1 mg. Tvari koje eksplozivnu reagiraju prilikom zapaljenja (benzojeva kiselina), se ne smiju ispitivati u slobodnom stanju, nego moraju biti prešane u tabletu. Jer prilikom zapaljenja dolazi do raspršenja takve tvari, a to dovodi do nepotpunog sagorijevanja.

Većina kapljevutih tvari se može postavljati izravno u lončić. Međutim, lako zapaljive tvari (alkohol, benzin) treba staviti u želatinske kapsule.

#### ***2.4.1.2. Priprava bombe***

Bomba mora biti čista i suha sa unutarnje i vanjske strane. Niklova žica, duljine 4 do 5 cm, se stavlja na elektrode na za to predviđeno mjesto. Potom se postavlja lončić sa uzorkom, te se uzorak povezuje sa žicom pomoću končića. Taj končić osigurava da uzorak dođe u kontakt sa strujom zapaljenja. Tim načinom se sigurno zapale i teško zapaljive tvari. Zatim se bomba zatvara, te se puni kisikom iz boce pod pritiskom do tlaka od 30 bara. Time je bomba spremna za mjerenje.

#### ***2.4.1.3. Priprava mjerne stanice kalorimetra***

Potrebno je napuniti unutrašnju posudu s približno 1800 g vode pri 25 °C. Ovdje je bitno da razina vode bude iznad kalorimetrijske bombe. Zatim se posuda stavlja u kalorimetar, a unutar posude se stavlja napunjena bomba. Poklopac kalorimetra se zatvori, čime započinje ispitivanje.

### 2.4.2. *Određivanje toplinskog kapaciteta sustava*

#### **Postupak kalibracije**

Točnost određivanja ukupne kaloričke vrijednosti presudno ovisi o kalibraciji sustava. Stoga je od osobite važnosti pozoran pristup kalibraciji i konstantni uvjeti pokusa.

Nakon što je pripremljena bomba sa benzojevom kiselinom i kalorimetar prema načinu kako je opisan u odjeljku 2.4.1., bomba se postavlja u kalorimetar te ispitivanje započinje. Izgaranjem certificirane benzojeve kiseline pod određenim uvjetima dobivaju se ugljikov dioksid i voda kao produkti reakcije kiseline i kisika. Pritom dolazi do oslobađanje topline, te porasta temperature unutar kalorimetra. Iz tog temperaturnog porasta se određuje toplinski kapacitet kalorimetra.

Kada se izjednače temperature između bombe i vode u unutrašnjoj posudi, ispitivanje je završeno i poklopac se može otvoriti.

Toplinski kapacitet se računa prema jednadžbi:

$$C = \frac{H \cdot m - Q}{\Delta T} \quad (1)$$

Gdje je:

$H$  – ukupna kalorička vrijednost tvari (benzojeve kiseline), J/g

$m$  – masa uzorka (benzojeve kiseline), g

$Q$  – parazitna toplina =  $Q_k + Q_z = 50 + 30 = 80$  J

$Q_k$  - toplina oslobođena izgaranjem konca, J

$Q_z$  - toplina oslobođena izgaranjem žice, J

$\Delta T$  – temperaturni porast mjeren u sustavu, K

Toplinski kapacitet je konstanta specifična za aparaturu i mora se povremeno provjeravati. Ponovna kalibracija je neophodna kada se zamjenjuju unutrašnja posuda, bomba ili slično.

### 2.4.3. *Određivanje ogrjevnne vrijednosti goriva*

Poznavajući toplinski kapacitet kalorimetra, pristupa se određivanju ogrjevnne vrijednosti goriva.

U kalorimetrijsku bombu se postavi uzorak, kojem je izmjerena masa, te se uzorak pomoću konca poveže sa žicom koja spaja elektrode u bombi. Potom se bomba zatvara i puni kisikom

do tlaka od 30 bara. Nakon punjenja bomba je spremna za ispitivanje te se postavlja u kalorimetar. Kada se ustali temperatura u kalorimetrijskom sustavu, uzorak se zapaljuje. Za 10 – 15 min se temperatura ustali, čime ispitivanje završava. Ovim ispitivanjem se određuju temperature prije i poslije izgaranja uzorka. Sa tim podacima i poznavajući toplinski kapacitet kalorimetra određuje se gornja ogrjevna vrijednost uzorka iz jednadžbe:

$$H_g = \frac{C \cdot \Delta T - Q}{m} \quad (2)$$

Gdje su:

$H_g$  – gornja ogrjevna vrijednost uzorka

$C$  – toplinski kapacitet kalorimetra

$\Delta T$  – razlika temperatura prije i poslije izgaranja uzorka

$Q_p$  - parazitna toplina =  $Q_k + Q_z = 50 + 30 = 80$  J

$Q_k$  - toplina oslobođena izgaranjem konca, J

$Q_z$  - toplina oslobođena izgaranjem žice, J

$m$  – masa uzorka

Donja ogrjevna vrijednost  $H_d$  se određuje nakon provedene analize i utvrđene vrijednosti % $V_v$  i % $H$ .

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 \cdot H) \quad (3)$$

Gdje su:

$V_v$  – vezana vlaga =  $\Delta G/m_1 \cdot 100$  (%)

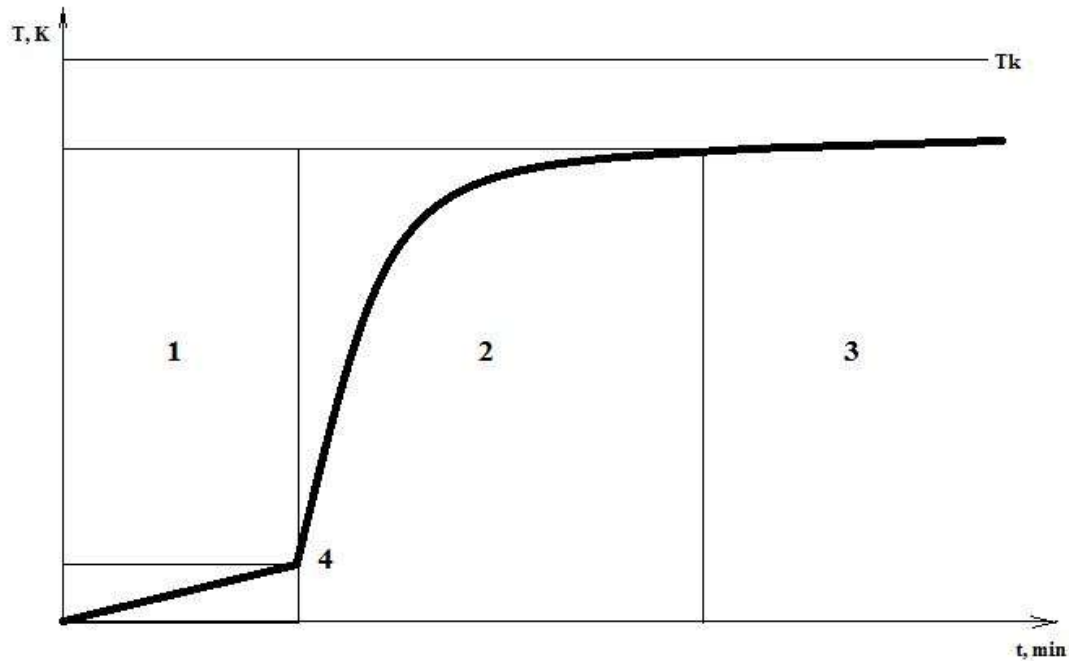
$\Delta G$  – gubitak mase vlage

$m_1$  – masa uzorka prije sušenja

$H$  – maseni udio vodika u uzorku

Ako je uzorak u osušenom stanju, donja ogrjevna vrijednost se računa iz izraza:

$$H_d = H_g - 225,9 \cdot H \quad (4)$$



Slika 2.4. Graf temperatura-vrijeme u kalorimetru

Slika prikazuje graf sa odnosom temperature i vremena prilikom zapaljenja uzorka u adijabatskom kalorimetru.

Prvi period (1) prikazuje vrijeme ustaljenja temperature sustava te se vidi linearni porast temperature. Točka (4) je vrijeme zapaljenja uzorka. Drugi period (2) prikazuje glavni period izgaranja gdje se vidi nagli porast temperature. Treći period (3) pokazuje ustaljenje temperature u sustavu, nakon završetka izgaranja.

#### 2.4.4. Izvori grešaka kod adijabatskog kalorimetra

Teško je postići idealne uvjete adijabatskog stanja, najviše zbog nagle promjene temperature tijekom izgaranja uzorka. Konstrukcija i način rada termostata određuje koliko efektivno termostat može reagirati na promjene temperature kalorimetrijske bombe, te da spriječi izmjenu topline.

Kada kalorimetar nema poklopac, svojstva izmjene topline gornjeg dijela kalorimetra, uvelike je određen površinom kalorimetrijske vode skupa sa površinama dijelova bombe, koji se nalaze iznad površine vode. S takvim, "otvorenim sustavom" uvijek dolazi do nekontroliranog isparavanja vode, koje uzrokuje izmjenu topline, što se smatra gubitkom topline.

Poklopac je inače u lošem toplinskom kontaktu sa posudom kalorimetra, što zna biti uzrokom

gubitka topline iz termostata. Također može uzrokovati produljenje vremena da se postigne ustaljenje temperature. S druge strane, poklopac sprječava gubitak topline zbog isparavanja, jer voda nakon isparavanja se kondenzira na poklopcu, te vraća toplinu nazad u sustav.

Da se smanje gubici topline zbog temperaturne razlike, vanjska i unutarnja strana termostata moraju biti čiste i suhe.

#### ***2.4.5. Termostat***

Kada je termostat zagrijavan zbog prolaska struje kroz kalorimetrijsku vodu, koncentracija soli se mora održavati na određenoj razini, da može održati zagrijavanje na istoj razini za sva ispitivanja. Manjak soli, može uzrokovati značajne razlike u toplinskoj izmjeni, zbog čega dovodi do poteškoća u postizanju adijabatskog stanja tijekom izgaranja uzorka.

Nije potrebna kalibracija termometra termostata, ali bi trebao imati vrijeme odaziva sličan termometru kalorimetra.

#### ***2.4.6. Vrijeme trajanja izgaranja***

U ovisnosti o vrsti uzorka, trajanje izgaranja iznosi 10 do 25 s. To vrijeme je potrebno da se oslobodi sva toplina. Pritom dolazi do naglog porasta temperature, kalorimetar pokušava izjednačiti temperature bombe i termostata. Glavna funkcija sustava za miješanje vode je da se što brže moguće ustali temperatura u sustavu.



## 2.5. Metode za ispitivanje udjela vlage i pepela u ispitnom uzorku

### 2.5.1. Udio vlage u uzorku

Kod ispitivanja ogrjevnih vrijednosti goriva je bitno poznavati udio vlage i pepela u uzorku. Vlaga utječe na ogrjevnu vrijednost goriva, dok pepeo ostaje kao nusprodukt izgaranja u obliku neizgorene krute tvari.

U svakom krutom gorivu se nalazi određeni udio vlage. Vlaga se određuje vaganjem uzorka neposredno prije i poslije sušenja. Pri tom se koristi precizna vaga. Prvo se izvaže uzorak, zatim se stavlja u sušionik na sušenje. Potom se isti uzorak ponovno važe. Razlike koja se dobije između dva vaganja označava masu vlage u uzorku. Postotak vlage dobiva se pomoću jednadžbe:

$$x = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100, \% \quad (5)$$

Gdje je:

$x$  – maseni udio vlage

$m_1$  - masa uzorka prije sušenja

$m_2$  – masa uzorka poslije sušenja

Utjecaj vlage u gorivu:

- Smanjuje toplinsku vrijednost goriva
- Povećava potrošnju goriva
- Povećava nastanak i širenje korozije
- Povećava masu i volumen izlaznih dimnih plinova

Postoji više metoda određivanja udjela vlage u uzorku. U daljnjem tekstu se opisane neke od tih metoda, te i aparatura koja se pritom koristi.

#### 2.5.1.1. Metoda testiranja A

Vlaga se određuje sušenjem uzorka na 105 °C. Udio vlage je prikazan kao postotak ili kao primljena masa.

### ***2.5.1.2. Metoda testiranja B***

Ovo je alternativna metoda testiranja udjela vlage, koja uklanja vlagu u potpunosti u dva koraka:

Prvo se vlaga uklanja na sobnoj temperaturi (sobno sušenje), a zatim se suši u sušioniku na 105 °C. Ova metoda osigurava stabilniji uzorak, te sobno-sušeni uzorak, ako je potrebno raditi testiranja na dušik, pH vrijednost, izmjenu kationa.

### ***2.5.2. Udio pepela u uzorku***

#### ***2.5.2.1. Metode testiranja C i D***

Udio pepela u uzorku se određuje paljenjem uzorka osušenog u peći na 440 °C (C metoda) ili na 750 °C (D metoda). Tvari koje ostanu nakon spaljivanja tvore pepeo. Udio pepela se prikazuje kao omjer mase pepela koji je ostao nakon izgaranja, te mase ispitnog uzorka prije spaljivanja.

#### ***2.5.3. Aparatura***

- Sušionik, s ugrađenom ventilacijom koja može održavati temperaturu od  $105 \pm 5$  °C konstantnom.
- Laboratorijska peć, sposobna da održava konstantnu temperaturu na 440 i 750 °C.



**Slika 2.5. Korištena laboratorijska peć**

- Vaga
- Posude za isparavanje napravljene od silicij-dioksida ili porculana, koje imaju ne manji volumen od 100 mL.
- Porculanska tava, žlice i oprema
- Eksikator, posuda za sušenje

#### ***2.5.4. Priprema ispitnog uzorka***

- Potrebno je postaviti uzorak na kvadratnu gumenu podlogu ili na slični materijal te temeljito promiješati primjerak.
- Podijeliti uzorak na količine potrebne za ispitivanje.
- Postaviti testni uzorak u vodonepropusne posudice.

### 2.5.5. Postupak određivanja udjela vlage

#### 2.5.5.1. Metoda ispitivanja A

Izvagati masu posude od silicijevog-dioksida ili porculana, prekrivenom sa aluminijskom folijom. Volumen posude ne smije biti manji od 100 mL.

Postaviti uzorak mase 50 g u posudu.

Samljeti uzorak sa žlicom ili špahtlom.

Odmah nakon toga, prekriti uzorak sa aluminijskom folijom te je potrebno izvagati.

Potrebno je sušiti primjerak na temperaturi od 105 °C dok se više ne bude primjetila promjena mase uzorka u odnosu na masu prije sat vremena. Zatim uzorak treba izvaditi iz peći, čvrsto prekriti i ohladiti u eksikatoru, te izvagati do druge decimalne.

Udio vlage se računa prema slijedećoj formuli:

$$\text{Udio vlage} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100, \% \quad (5)$$

gdje je:

$m_1$  – masa uzorka prije sušenja

$m_2$  – masa uzorka poslije sušenja

### **2.5.6. Postupak određivanja udjela pepela**

#### **2.5.6.1. Metoda ispitivanja C**

Izvagati posudu od silicijevog-dioksida ili porculana.

Uzorke dobivene nakon sušenja treba postaviti u posude, te ih izvagati skupa sa posudom.

Zatim je potrebno ukloniti foliju i postaviti posudu sa uzorkom u peć i polako povišiti temperaturu do 440 °C, te držati na toj temperaturi dok se uzorak ne pretvori u pepeo (nema promjene mase).

Potom je potrebno prekriti uzorak i staviti ga u eksikator i izvagati.

#### **2.5.6.2. Metoda ispitivanja D**

Izvagati posudu od silicijevog-dioksida ili porculana.

Sve uzorke dobivene nakon sušenja staviti u posude, te ih izvagati skupa sa posudom. Zatim je potrebno ukloniti foliju i postaviti posudu sa uzorkom u peć i polako povišiti temperaturu do 750 °C, te držati na toj temperaturi dok se uzorak ne pretvori u pepeo (nema promjene mase).

Potom je potrebno prekriti uzorak i staviti ga u eksikator i izvagati da do druge decimale. Ova metoda se koristi kada se uzorak koristi kao gorivo.

#### **2.5.6.3. Računanje u testnim metodama C i D**

Računanje udjela pepela se provodi prema formuli:

$$\text{Udio pepela} = \frac{m_3}{m_4} \times 100, \% \quad (6)$$

gdje je:

$m_3$  – masa pepela nakon hlađenja

$m_4$  – masa uzorka nakon sušenja

## 2.6. Rezultati ispitivanja

Ispitivanje svakog parametra radi se prvo sa standardnim uzorkom poznatih vrijednosti, odnosno s referencijskim materijalom, što je potvrda ispravnosti metode. Ako se dobivene vrijednosti poklapaju s poznatim vrijednostima ili odstupaju unutar dozvoljenih granica, tada je moguće pristupiti i određivanju parametra na nepoznatom uzorku. Svako ispitivanje parametra uzorka radi se najmanje u triplikatu. Krajnji rezultat se iskazuje kao srednja vrijednost tri rezultata.

Svaka normirana metoda ispitivanja točno propisuje ponovljivost mjernih rezultata (repeatibilnost), koja se definira kao: “Bliskost međusobnog slaganja rezultata uzastopnih mjerenja iste veličine obavljenih pod istim mjernim uvjetima”.

Uvjeti ponovljivosti uključuju:

- isti mjerni postupak,
- isti mjeritelj,
- isto mjerilo koje se rabi u istim uvjetima,
- isto mjesto,
- ponavljanje u kratkom vremenskom razmaku.

Ponovljivost (repeatibilnost) rezultata točno određuje dopuštene granice unutar kojih mogu odstupati dva ili više rezultata. Rezultati, čija se odstupanja nalaze unutar dopuštenih odstupanja su prihvatljivi i mogu se uzeti u izračun za krajnji rezultat.

U slučaju da su odstupanja veća od dopuštenih, rezultati se odbacuju i potrebno je ponoviti analizu, a uzroke odstupanja potražiti u radu ispitivanja, kvaru na instrumentu, pogrešci u metodi i sl.

Kada je ponovljivost rezultata ispitivanja zadovoljavajuća, iskazuje se krajnji rezultat kao srednja vrijednost rezultata dobivenih uzajamnom analizom istog parametra na istom uzorku, a ako odstupanja premašuju propisanu vrijednost, ponavlja se čitavi postupak.

### 3. Eksperimentalni dio

Kako se u tekstu zadatka tražilo da se ispita minimalno četiri vrste goriva, od čega su dva tekuća i dva kruta, ispitivali su se: ugljen koji se koristi za termoelektranu Plomin, peleti od kineskog šaša, alkohol etanol i gorivo Eurodizel proizvođača INA. Prije samoga ispitivanja goriva, provedena je kalibracija kalorimetra, tj. namještanje i ispitivanje točnosti, te određivanje toplinskog kapaciteta kalorimetra. Nakon kalibracije, ispitala su se sva četiri uzorka u tri navrata, da se dobije srednja vrijednost. Osim određivanja ogrjevnih vrijednosti goriva, na uzorcima u krutom agregatnom stanju se ispitivao udio vlage i pepela.

Sva ispitivanja su se provodila u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

### 3.1. Vodena vrijednost kalorimetra

Da bi se utvrdila ispravnost i točnost kalorimetra, potrebno je prije nekog ispitivanja provesti kalibraciju. Rezultat kalibracije je brojčana vrijednost koja pokazuje toplinski kapacitet ispitivanog kalorimetra. Kalorimetar koji se koristio za ispitivanje se dvaput kalibrirao, da se dobije točnija vrijednost kalorimetra. Vodena vrijednost kalorimetra dobivena je iz jednadžbe:

$$C_i = \frac{H_{bk} \cdot m_{bk} + Q}{\Delta T}$$

Gdje je:

$C_i$  – toplinski kapacitet kalorimetra, J/K

$H_{bk}$  – ogrjevna vrijednost benzojeve kiseline, J/g

$m_{bk}$  – masa benzojeve kiseline, g

$Q$  – parazitna toplina =  $Q_k + Q_z = 50 + 30 = 80$  J

$Q_k$  - toplina oslobođena izgaranjem konca, J

$Q_z$  - toplina oslobođena izgaranjem žice, J

$\Delta T = T_k - T_s$  – razlika temperatura na početku i kraju procesa, K

Rezultati kalibracije mogu se vidjeti u tablici:

**Tabela 1. Vodena vrijednost kalorimetra**

Vodena vrijednost kalorimetra	Kalibracija	Kalibracija
$m_v$	1800	1800
$H_{bk}$	26456	26456
$m_{bk}$	0,51434	0,51756
$Q$	80	80
$T_s$	0,585	1,087
$T_k$	2,033	2,535
$\Delta T$	1,448	1,448
$C_i$	9452,61	9511,44
$C$	9482,03	

Iz tablice možemo vidjeti vodenu vrijednost kalorimetra, koja je srednja vrijednost dva rezultata  $C_i$ .



### 3.2.Ugljen

Ispitivanje ugljena se provodilo šest puta, od čega su tri uzorka bila ispitivana u dostavnom stanju, a ostala tri u sušenom stanju. Razlog zašto se to odvojeno ispitivalo je drugačija ogrjevna vrijednost uzorka sa i bez vlage u uzorku.

#### 3.2.1.Ugljen u dostavnom stanju

Prvo su ispitivana tri uzorka ugljena u dostavnom stanju. Postupak ispitivanja je opisan u poglavlju 2.4.3.

Ogrjevna vrijednost ugljena se računala prema jednadžbi (2).

Rezultati dobiveni ispitivanjem mogu se vidjeti u tablici:

**Tabela 2. Ogrjevna vrijednost ugljena - dostavno stanje**

Ugljen–dostavno stanje	Ugljen 1	Ugljen 2	Ugljen 3
$m_v$	1800	1800	1800
<b>C</b>	9482,03	9482,03	9482,03
<b>m</b>	0,88386	0,94643	0,8939
<b>Q</b>	80	80	80
<b>T<sub>s</sub></b>	-0,333	1,058	1,426
<b>T<sub>k</sub></b>	2,454	4,045	4,2
<b>Δ T</b>	2,787	2,987	2,774
<b>H<sub>gi</sub></b>	29808,35	29841,42	29335,65
<b>H<sub>g</sub></b>	29661,8		
<b>Standardna devijacija</b>	282,94		

Rezultat prikazuje gornju ogrjevnu vrijednost goriva  $H_g$ , koja je srednja vrijednost tri rezultata.

Prema podacima iz literature (27000 J/g), rezultati u tablici su veći za 9%. [4]

Donja ogrjevna vrijednost  $H_d$  se određuje nakon provedene elementne analize uzorka i utvrđene vrijednosti %  $V_v$  i %  $H$  prema jednadžbi (3). Udio vodika se preuzeo iz literature. [5]

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H)$$

$$H_d = 29661,8 - 25,1 (9,37 + 9 \cdot 5,6) = 28161,57 \text{ J/g}$$

### 3.2.2. *Osušeni ugljen*

Ugljen u ovom ispitivanju se prvo morao osušiti. Osušen je u sušioniku na temperaturi od 105 °C. Korišteni sušionik se nalazi na slici:



**Slika 3.1. Sušionik u laboratoriju**

Uzorak je prije sušenja bio smrvljen u prah u tarioniku, da se bolje osuši. Zbog toga što je smrvljen, uzorak je stavljen u kapsulu, da se prah ne rasprši u kalorimetrijskoj bombi prilikom punjenja kisikom.



Slika 3.2. Tarionik sa usitnjenim ugljenom

Za razliku od ugljena u dostavnom stanju, ugljen u sušenom stanju je bio stavljen u želatinoznu kapsulu. Zbog toga se u jednadžbi za računanje ogrjevne vrijednosti mora uzeti u obzir i ogrjevna vrijednost kapsule:

$$H_g = \frac{C \cdot \Delta T - Q - H_{kapsule} \cdot m_{kapsule}}{m} \quad (7)$$

Rezultati dobiveni nakon sušenja i spaljivanja u kalorimetru:

Tabela 3. Ogrjevna vrijednost ugljena - sušeno stanje

Ugljen-sušeno stanje	Ugljen 1	Ugljen 2	Ugljen 3
$m_v$	1800	1800	1800
$m_{pk}$	0,11344	0,11891	0,12062
$H_{gk}$	19000	19000	19000
$C$	9482,03	9482,03	9482,03
$m_g$	0,51513	0,40336	0,52642
$Q$	80	80	80
$T_s$	-0,413	0,42	1,001
$T_k$	1,553	1,986	2,998
$\Delta T$	1,966	1,566	1,997
$H_{gi}$	31848,86	31013,39	31465,04
$H_g$	31442,43		
<b>Standardna devijacija</b>	418,19		

Dobiveni rezultat prikazuje gornju ogrjevnu vrijednost goriva  $H_g$ , koja je srednja vrijednost tri rezultata.

Donja ogrjevna vrijednost  $H_d$  se određuje nakon provedene elementne analize uzorka i utvrđene vrijednosti %H prema jednadžbi (4).

$$H_d = H_g - 225,9 \cdot H$$

$$H_d = 31442,43 - 225,9 \cdot 5,6 = 30177,39\text{J/g}$$

### 3.3. Peleti (Kineski šaš)

Drugo gorivo koje se ispitivalo su bili peleti od kineskog šaša. Peleti se dobivaju od različitih biljnih vrsta, drvenaste građe. Nakon što se osušena biljka usitni, potrebno je zagrijavati usitnjeni materijal, da bih došlo do izlučivanja prirodnog vezivnog sredstva iz same biljke. Različite biljke imaju različite temperature pri kojima puštaju ta vezivna sredstva. Pri zagrijavanju se ujedno i materijal provodi kroz ekstruder, koji provlači materijal kroz uski, kružni, poprečni presjek iz kojeg izlazi oblikovan pelet. Peleti su najčešće promjera 5-10 mm i dužine 10-40mm. Odlično su ogrjevno sredstvo, zbog svoje čvrstoće i jednostavnog doziranja u ložište. Udio vlage je vrlo nizak, te se kreće do maksimalno 10%. Zbog dobrih svojstava kao gorivo, kompaktnost i prirodni materijal, sve više se koristi.



Slika 3.3. Kineski šaš

Kao i kod ugljena, ispitivanje se provelo na dostavnom i sušenom stanju. Svako stanje je tri puta ispitivano, da bih se dobile srednje vrijednosti.

### 3.3.1. Dostavno stanje – Peleti



Slika 3.4. Peleti

Ogrjevna vrijednost peleta u dostavnom stanju računala se iz iste jednadžbe kao i za računanje ogrjevne vrijednosti ugljena u dostavnom stanju.

Nakon tri ispitivanja, dobiveni su slijedeći rezultati:

Tabela 4. Ogrjevna vrijednost kineskog šaša - dostavno stanje

Šaš - dostavno stanje	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
$m_v$	1800	1800	1800
$C$	9482,03	9482,03	9482,03
$m$	0,93036	0,83698	0,80601
$Q$	80	80	80
$T_s$	0,264	0,8275	0,865
$T_k$	2,118	2,436	2,403
$\Delta T$	1,854	1,6085	1,538
$H_{gi}$	18809,57	18126,88	17994,01
$H_g$	18310,16		
<b>Standardna devijacija</b>	437,58		

Dobiveni rezultat prikazuje gornju ogrjevnu vrijednost goriva  $H_g$ , koja je srednja vrijednost tri rezultata.

Uspoređujući dobivene rezultate sa onima iz literature (19 020 J/g), može se uočiti razlika od 4% manjom ogrjevnom vrijednosti nego u literaturi. [6]

Donja ogrjevna vrijednost se računa iz jednadžbe (3). Udio vodika u kineskom šašu se uzima iz literature. [6]

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H)$$

$$H_d = 18310,16 - 25,1 (8,92 + 9 \cdot 5,2) = 16911,59 \text{ J/g}$$

Ispitivanja su dali rezultat za srednju vrijednost do 18310,16 J/g, što pokazuje da peleti imaju isplative ogrjevne vrijednosti, ako se uzme u obzir da drvo ima prosječnu ogrjevnju vrijednost oko 15000 - 19000, J/g. [7]

### 3.3.2. Sušeno stanje - Peleti

Dostavni peleti su nakon usitnjavanja, stavljeni u sušionik, gdje su se sušili na 105 °C. Potom se svaki uzorak izvagao na preciznoj vagi, te brzo stavljen u kalorimetrijsku bombu.

Ogrjevna vrijednost peleta u sušenom stanju računala se iz iste jednadžbe kao i za računanje ogrjevne vrijednosti ugljena u sušenom stanju.

Dobiveni su slijedeći rezultati:

**Tabela 5. Ogrjevna vrijednost kineskog šaša - sušeno stanje**

<b>Sušeno stanje</b>	<b>Uzorak 1</b>	<b>Uzorak 2</b>	<b>Uzorak 3</b>
<b><math>m_v</math></b>	1800	1800	1800
<b><math>m_{pk}</math></b>	0,11834	0,11623	0,11703
<b><math>H_{gk}</math></b>	19000	19000	19000
<b>C</b>	9482,03	9482,03	9482,03
<b>m</b>	0,22387	0,29122	0,2719
<b>Q</b>	80	80	80
<b><math>T_s</math></b>	1,071	-0,028	0,684
<b><math>T_k</math></b>	1,785	0,813	1,493
<b><math>\Delta T</math></b>	0,714	0,841	0,809
<b><math>H_{gi}</math></b>	19840,56	19524,8	19740,3
<b><math>H_g</math></b>	19701,89		
<b>Standardna devijacija</b>	161,35		

Rezultat u tablici prikazuje gornju ogrjevnju vrijednost, koja je srednja vrijednost tri rezultata.

Dobivena gornja ogrjevna vrijednost u tablici je veća za 1 %, u odnosu na gornju ogrjevnju vrijednost u literaturi. [6]

### 3.4. Eurodizel

Kao prvi primjer kapljevito g goriva, ispitivalo se gorivo Eurodiesel proizvođača INA. Uzorci su se stavljali u kapsulu, radi lakšeg rukavanja i vaganja uzorka da ne bi došlo do hlapljenja uzorka tijekom vaganja.

Ogrjevna vrijednost Eurodizela se računala prema jednadžbi (7).

Dobiveni su idući rezultati:

**Tabela 6. Ogrjevna vrijednost dizela**

<b>Dizel</b>	<b>Uzorak 1</b>	<b>Uzorak 2</b>	<b>Uzorak 3</b>
<b><math>m_v</math></b>	1800	1800	1800
<b><math>m_{pk}</math></b>	0,11544	0,11721	0,11622
<b><math>H_g</math></b>	19000	19000	19000
<b>C</b>	9482,03	9482,03	9482,03
<b>m</b>	0,48168	0,55225	0,54023
<b>Q</b>	80	80	80
<b><math>T_s</math></b>	0,304	0,411	-0,14
<b><math>T_k</math></b>	3,015	3,516	2,874
<b><math>\Delta T</math></b>	2,711	3,105	3,014
<b><math>H_{gi}</math></b>	48647,26	49134,81	48665,65
<b><math>H_g</math></b>	48815,91		
<b>Standardna devijacija</b>	276,33		

Vrijednosti dobivene u ovom ispitivanju, znatno su veće od onih koje se mogu naći u tablicama sa predavanja kolegija „Goriva i maziva“. Vrijednosti iz tablice su 41000 – 42700 J/g. U postotku ta razlika iznosi 15%, što je znatna razlika. [7]



### 3.5. Etanol 96%

-

Posljednje ispitivano gorivo je 96%-tni etanol. Radi brzog hlapljenja etanola, uzorak je stavljen u kapsulu.. Kapsula je izvagana i poznata je njena ogrjevna vrijednost, koja je u ovom slučaju parazitna toplina. Zbog toga se toplina dobivena od kapsule oduzima od ukupne topline. Nakon vaganja uzorka i postavljanja u kapsulu, uzorak je stavljen u kalorimetrijsku bombu. Zatim je provedeno spaljivanje u kalorimetru.

Ogrjevna vrijednost etanola računala se kao i kod eurodizela.

Dobiveni se idući rezultati:

Tabela 7. Ogrjevna vrijednost etanola

Etanol	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
$m_v$	1800	1800	1800
$m_{pk}$	0,1172	0,11887	0,11674
$H_g$	19000	19000	19000
$C$	9482,03	9482,03	9482,03
$m$	0,52593	0,52407	0,5757
$Q$	80	80	80
$T_s$	-0,505	-0,557	-0,613
$T_k$	1,342	1,299	1,432
$\Delta T$	1,847	1,856	2,045
$H_{gi}$	28913,55	29118,46	29690,26
$H_g$	29240,75		
<b>Standardna devijacija</b>	402,54		

Uspoređujući rezultate dobivene u tablici i podatke iz literature, rezultati su približno jednaki.

U literaturi ogrjevna vrijednost etanola iznosi 27 900 J/g. [7]

### 3.6. Ispitivanje pepela i vlage kod kamenog ugljena i peleta

#### 3.6.1 Ispitivanja pepela kod ugljena

Pepeo ugljena se ispitivao u peći na 750° C. Vrijeme trajanja ispitivanja u peći je bilo 2 do 3 sata. Prije samog izgaranja u peći, uzorak se izvagao i stavio u posebne keramičke posudice otporne na visoke temperature i vatru. Nakon što je uzorak izgorio, ostatak se izvagao. Sav taj ostatak se smatrao pepelom, koji je najčešće sive, bijele i crne boje. Na slici se može vidjeti šest uzorka pepela nakon izgaranja u peći:



Slika 3.5. Uzorci pepela nakon izgaranja. 3 u dostavnom i 3 u sušenom stanju

Gdje su tri gornja uzorka bila u dostavnom, a donja tri u sušenom stanju. Jedan uzorak ugljena u dostavnom stanju je sadržavao velik komad nepoznatog minerala.

Računanje udjela pepela u uzorku se provodilo prema jednadžbi (6).

U sljedećim tablicama mogu se vidjeti rezultati dobiveni za ugljen u dostavnom i sušenom stanju.

**Tabela 8. Udio pepela u ugljenu - dostavno stanje**

<b>Ugljen - dostavno</b>	<b>Uzorak 1</b>	<b>Uzorak 2</b>	<b>Uzorak 3</b>
<b>m<sub>posude</sub></b>	14,25883	18,98231	16,18184
<b>m<sub>posude i uzorka</sub></b>	16,43195	21,607639	19,24969
<b>m<sub>uzorka prije spaljivanja</sub></b>	2,17312	2,62526	3,06785
<b>m<sub>uzorka nakon spaljivanja</sub></b>	14,2738	20,54208	16,72188
<b>m<sub>pepela</sub></b>	0,01497	1,55995	0,54004
<b>Δm</b>	2,15815	1,06531	2,52781
<b>%pepela</b>	0,69	59,42	2,52781
<b>Udio pepela%</b>	25,9		
<b>Stand. devijacija</b>	30,23		

Iz tablice se vidi da uzorak 2, daje mnogo veći udio pepela nego ostala dva uzorka. Razlog tome je mineral, koji se našao u uzorku, te ne može izgorjeti.

**Tabela 9. Udio pepela u ugljenu - sušeno stanje**

<b>Ugljen – sušeno</b>	<b>Uzorak 1</b>	<b>Uzorak 2</b>	<b>Uzorak 3</b>
<b>m<sub>posude</sub></b>	9,90294	10,0342	10,59915
<b>m<sub>posude i uzorka</sub></b>	10,3881	10,9591	11,3621
<b>m<sub>uzorka prije spaljivanja</sub></b>	0,48516	0,9249	0,76295
<b>m<sub>uzorka nakon spaljivanja</sub></b>	9,91081	10,05436	10,61385
<b>m<sub>pepela</sub></b>	0,00787	0,02016	0,0147
<b>Δm</b>	0,47729	0,90474	0,74825
<b>%pepela</b>	1,62	2,18	0,74825
<b>Udio pepela%</b>	1,91		
<b>Stand. devijacija</b>	0,28		

### 3.6.2. Ispitivanje pepela kod peleta

Ispitivanje pepela se provodilo kako je opisano u odjeljku 2.5.6.2. Nakon ispitivanja i potrebnog računanja, dobiveni su slijedeći rezultati za pelete u dostavnom stanju:

Tabela 10. Udio pepela u peletima - dostavno stanje

Peleti - dostavno	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
$m_{\text{posude}}$	16,10823	18,98213	14,1904
$m_{\text{posude i uzorka}}$	21,13209	22,91195	19,26758
$m_{\text{uzorka prije spaljivanja}}$	5,02386	3,92982	5,07718
$m_{\text{uzorka nakon spaljivanja}}$	16,18572	19,04747	14,28567
$m_{\text{pepela}}$	0,07749	0,06534	0,09527
$\Delta m$	4,94637	3,86448	4,98191
% pepela	1,54	1,66	1,88
Udio pepela%	1,69		
Stand. devijacija	0,17		

Rezultati pepela za pelete u sušenom stanju:

Tabela 11. Udio pepela u peletima - sušeno stanje

Ugljen – sušeno	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
$m_{\text{posude}}$	10,60065	10,03245	9,90253
$m_{\text{posude i uzorka}}$	11,00671	10,54835	10,33032
$m_{\text{uzorka prije spaljivanja}}$	0,40606	0,5159	0,42779
$m_{\text{uzorka nakon spaljivanja}}$	10,60801	10,04218	9,91121
$m_{\text{pepela}}$	0,00736	0,00973	0,00868
$\Delta m$	0,3987	0,50617	0,41911
% pepela	1,81	1,89	2,03
Udio pepela%	1,91		
Stand. devijacija	0,11		

### 3.7. Ispitivanje vlage u gorivima

Vlaga u uzorku se određivala metodom A, koja je opisana u odjeljku 2.5.5.1.

#### 3.7.1. Ispitivanje vlage u ugljenu

Ispitivanje vlage u ugljenu se provodilo tako da se prvo uzme manja količina ispitnog goriva i postavi u keramičku posudicu. Prije toga se izvagala keramička posudica. Zatim se posudica sa uzorkom izvaže, te se dobije masa uzorka prije sušenja. Nakon sušenja ponovno se važe posudica sa uzorkom da bi se dobila masa uzorka nakon sušenja. Razlika masa tih dvaju vaganja označava masu vlage u uzorku. Uzorak se sušio na 105 °C u vremenskom razdoblju od par sati. Provedena su 3 ispitivanja, te su dobiveni idući rezultati u tabeli 12:

Tabela 12. Udio vlage u ugljenu

Vlaga	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
$m_{\text{posude}}$	53,04586	48,54711	44,57357
$m_{\text{posude i uzorka}}$	56,37528	52,37446	50,06831
$m_{\text{uzorka}}$	3,32942	3,82735	5,49474
$m_{\text{pos i uzorka nakon sušenja}}$	56,0633	52,0118	49,53934
$m_{\text{uzorka nakon sušenja}}$	3,01744	3,46469	4,96577
<b>razlika</b>	0,31198	0,36266	0,52897
<b>% vlage</b>	9,37	9,48	9,63
<b>Udio vlage%</b>	9,49		
<b>Stand. devijacija</b>	0,13		

### 3.7.2. Ispitivanje vlage u peletima

Ispitivanje vlage u peletima se provodilo identično kao u ugljena. Peleti su se usitnili radi bržeg i boljeg sušenja uzorka. Nakon provedenog ispitivanja, dobiveni su slijedeći rezultati:

Tabela 13. Udio vlage u peletima

Vlaga	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
$m_{\text{posude}}$	53,0402	67,82294	44,56856
$m_{\text{posude i uzorka}}$	57,1167	71,56406	47,13473
$m_{\text{uzorka}}$	4,0765	3,74112	2,56617
$m_{\text{pos i uzorka nakon sušenja}}$	56,7572	71,21728	46,91203
$m_{\text{uzorka nakon sušenja}}$	3,717	3,39434	2,34347
razlika	0,3595	0,34678	0,2227
% vlage	8,82	9,27	8,68
Udio vlage%	8,92		
Stand. devijacija	0,31		

## 4. Zaključak

Ogrjevna vrijednost goriva ovisi o mnogo čimbenika. Najvažniji čimbenici su: vrsta goriva, udio vlage, pepela, i ostalih tvari u gorivu, temperatura okoliša i goriva. Svaka vrsta goriva ima određenu ogrjevnu vrijednost, koja se određuje ispitivanjem u kalorimetru.. Pomoću tih rezultata, može se izračunati učinkovitost nekog ložišta koje koristi ispitivano gorivo. Također, ti rezultati pokazuju utjecaj drugih tvari na ogrjevnu vrijednost goriva. Zbog vlage u gorivu i vodika u kemijskom sastavu goriva, postoje dvije ogrjevne vrijednosti istog goriva, gornja i donja ogrjevna vrijednost. Za industriju je važnija donja ogrjevna vrijednost, jer se jer je to ona vrijednost koja je stvarno na raspolaganju, budući da vlaga izlazi iz motora, kotlova i peći iznad 100 °C. Osim plinova koji nastaju tijekom izgaranja, kod krutih i kapljevutih goriva nakon izgaranja ostaje i kruti udio, pepeo. Taj pepeo predstavlja sve one krute tvari koje nisu izgorile tijekom procesa izgaranja. Izgaranjem goriva dobivamo toplinu, svjetlost i ostalo, bez kojih ovaj svijet kojeg poznajemo bi teško funkcionirao. Stoga je bitno provoditi ovakva ispitivanja, radi kvalitetnijeg i efikasnijeg poznavanja unesene, potencijalne energije goriva i njegovog iskorištavanja.

## Literatura

- [1] Galović, A. Termodinamika I, Stega tisak, Zagreb 2002.
- [2] Comite Europeen de normalisation, ISO norma 1918, Brussels, 2009.
- [3] ASTM, Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils, D 2974, West Conshohocken (SAD)
- [4] NIST, Chemistry WebBook, SAD, 2011.
- [5] CEN/TS 14961, Kruta biogoriva – Specifikacije i klase goriva – Dodatak C, 2005.
- [6] Porvaz, Toth, Marcin, Cultivation of chinese silvergrass, Košice, Poljska, 2012.
- [7] Ljubas, D. Predavanja iz Goriva i maziva, 2013.