

# Određivanje ogrjevne vrijednosti različitih vrsta biljnih ulja kalorimetriranjem

---

Človek, Leonarda

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:860110>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ODREĐIVANJE OGRJEVNE VRIJEDNOSTI RAZLIČITIH VRSTA  
BILJNIH ULJA KALORIMETRIRANJEM**

Rijeka, rujan 2024.

Leonarda Človek

0069090384

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ODREĐIVANJE OGRJEVNE VRIJEDNOSTI RAZLIČITIH VRSTA  
BILJNIH ULJA KALORIMETRIRANJEM**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

Komentor: izv. prof. dr. sc. Paolo Blecich

Rijeka, rujan 2024.

Leonarda Človek

0069090384

Rijeka, 8. ožujka 2024.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**  
Predmet: **Izvori energije**  
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Leonarda Človek (0069090384)**  
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva**

Zadatak: **Određivanje ogrjevne vrijednosti različitih vrsta biljnih ulja kalorimetriranjem**

### Opis zadatka:

U završnom radu je potrebno eksperimentalno odrediti gornju ogrjevnu vrijednost različitih vrsta jestivih biljnih ulja. Mjerenja je potrebno provesti u Laboratoriju za toplinska mjerenja Tehničkog fakulteta u Rijeci koristeći Parr 1341 kalorimetar. Potrebno je opisati metodologiju pripreme uzorka tekućeg goriva i tijekom mjerenja te na odgovarajući način obraditi i prikazati dobivene vrijednosti. Rad mora obuhvatiti: uvod s opisom proračuna ogrjevne vrijednosti, opis metodologije mjerenja, obradu podataka, analizu dobivenih rezultata i zaključak.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2024.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

Izv. prof. dr. sc. Paolo Blecich (komentor)

## **IZJAVA**

Ovom izjavom potvrđujem da sam rad pisala samostalno koristeći se znanjem stečenom tijekom studija, služeći se stručne literature uz pomoć mentora izv. prof. dr. sc. Igora Bonefačića.

---

Leonarda Človek

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Igoru Bonefačiću na prenesenom znanju te na pomoći i strpljenju oko izrade ovog završnog rada.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. BIOGORIVA.....	2
2.1. ŠTO SU BIOGORIVA? .....	2
2.2. PROIZVODNJA I KORIŠTENJE BIOGORIVA .....	3
3. KALORIMETRIRANJE .....	4
3.1 UVOD U PROCES KALORIMETRIRANJA .....	4
3.2. POVIJEST MJERENJA TOPLINE KALORIMETRIJOM .....	4
3.3. DIJELOVI KALORIMETRA .....	5
3.4. PROCES KALORIMETRIRANJA.....	8
3.4.1. Priprema i vaganje uzorka tvari.....	8
3.4.2. Priprema vode.....	9
3.4.3. Priprema kalorimetrijske bombe .....	9
3.4.4. Zatvaranje izolacijske posude.....	12
3.4.5. Postavljanje termometra .....	12
3.4.6. Paljenje kalorimetrijske bombe .....	12
3.4.7. Mjerenje promjene temperature .....	12
3.4.8. Otvaranje kalorimetrijske bombe i mjerenje ostatka žice .....	13
4. ANALIZA IZMJERENIH UZORKA .....	15
4.1. PRIMJER PRORAČUNA OGRJEVNE MOĆI UZORKA .....	15
4.2. PRORAČUN OGRJEVNE MOĆI SUNCOKRETOVOG ULJA .....	17
4.3. REZULTATI MJERENJA I USPOREDBA BILJNIH UZORKA .....	19
5. ZAKLJUČAK .....	21
LITERATURA.....	22
SAŽETAK.....	24
SUMMARY .....	25
POPIS OZNAKA I KRATICA .....	26
POPIS SLIKA .....	27
POPIS TABLICA.....	28
PRILOZI.....	29





## 1. UVOD

U posljednje vrijeme stavlja se velik naglasak na korištenje obnovljivih izvora energije čime biljna ulja predstavljaju potencijalnu alternativu fosilnim gorivima. U svrhu toga, jedna od glavnih karakteristika koja se ispituje kod biljnih ulja je njihova ogrjevna vrijednost koja je dobra procjena za primjenu biljnih ulja u energetici. Tema ovog završnog rada je eksperimentalno računanje gornje ogrjevnne moći biljnih uzoraka uz poseban naglasak na suncokretovo, maslinovo, kokosovo i bademovo ulje. Analizirat ćemo promjenu temperature u kalorimetru svakog uzorka te izračunati njihove ogrjevne vrijednosti. Sva mjerenja izvršena su u Laboratoriju za toplinska mjerenja na Tehničkom fakultetu u Rijeci. Model kalorimetra u kojem su izvršeni pokusi je *Parr 1341 Plain Oxygen Bomb Calorimeter* uz stručno vodstvo mentora izv. prof. dr. sc. Igora Bonefačića.

Kalorimetar nam omogućava precizno određivanje ogrjevnne moći pomoću koje možemo bolje razumjeti karakteristike raznih biljnih ulja. Ovaj rad bavi se detaljnim mjerenjem, opisivanjem postupka rada i analizom ogrjevnne moći odabranih biljnih ulja pomoću kalorimetra, s ciljem procjenjivanja njihove učinkovitosti i potencijalne primjene kao gorivo.

## 2. BIOGORIVA

### 2.1. ŠTO SU BIOGORIVA?

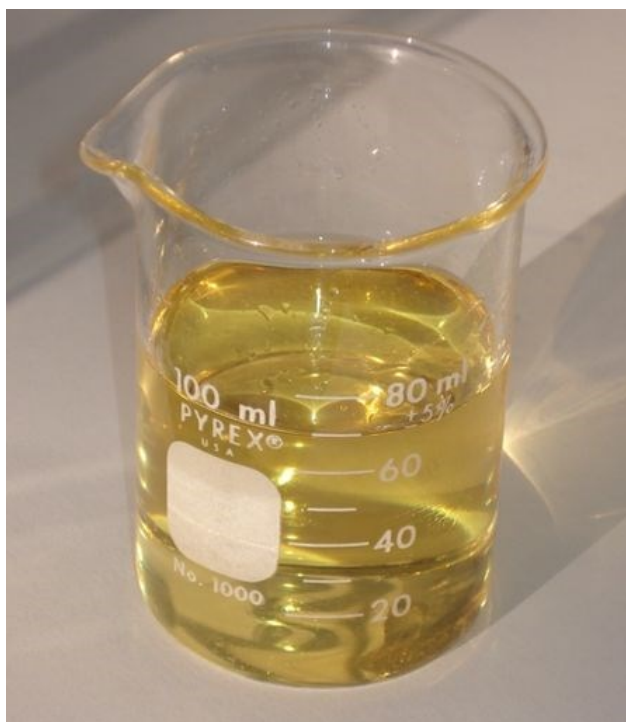
Sve češće se susrećemo s pojmom biomasa kad se govori o najisplativijem načinu grijanja. To je organska tvar koja uključuje sve biorazgradive tvari biljnog i životinjskog podrijetla te se smatra obnovljivim izvorom energije. Biomasa ima širok pojam koji uključuje ogrjevno drvo, koru, piljevinu i ostale ostatke iz drvne industrije. Uz to spadaju ostaci iz stočarstva, životinjski izmet, ostaci vinove loze i maslina i mnoge druge.

Biogoriva su goriva koje dobivamo iz biomase. Dijelimo ih u tri kategorije:

- Biogoriva prve generacije; produkt šećera, masti, biljnog ulja i dr. jestivih sirovina
- Biogoriva druge generacije; produkt poljoprivrednog i životinjskog otpada
- Biogoriva treće generacije; dobivena iz algi

Kao što smo već spomenuli, biomasa je složen pojam iz koje dobivamo energiju koja se može dobiti iz jako puno različitih izvora. Zainteresiranost za korištenje biomase kao goriva sigurno je povezana sa potrebom za smanjenjem emisije stakleničkih plinova, što daje jako dobro rješenje u odnosu na ostale obnovljive izvore energije jer je koristimo u svom izvornom obliku. Najčešće je koristimo u kućanstvu za grijanje, kuhanje i zagrijavanje vode, ali se može primijeniti za proizvodnju električne energije i biogoriva. Biogoriva su ekološki gledajući bolje rješenje od fosilnih goriva, ali tu i dalje postoji problem same proizvodnje koja je još uvijek dosta skupa.

Najpoznatija biogoriva danas su bioetanol, biodizel i bioplin. Bioetanol se dobiva iz krumpira, suncokreta, kukuruza i sl. Predstavlja alternativu za benzin, dok biodizel je prihvatljiva alternativa za običan dizel. Bioplin je mješavina metana i ugljikovog dioksida i u budućnosti bi mogao biti jako važan izvor energije.



*Slika 1 Čisti biodizel dobiven od soje*

## **2.2. PROIZVODNJA I KORIŠTENJE BIOGORIVA**

Kruta biogoriva, na primjer drvo, koriste se već od pronalaska vatre dok tekuća su se počela koristiti krajem 19. stoljeća gdje su se primjenjivala za pokretanje prvih automobilskih motora. Na posljetku, nafta je zamijenila biogorivo kao pogonsko sredstvo zbog velike dostupnosti u to vrijeme. Cijena je bila niža i davala je više energije po litri. U SAD-u su bila otkrivena nalazišta sirove nafte kojom su se dobivali pogonska goriva, dok u Europi se korištenje biogoriva nastavilo sve do Drugog svjetskog rata. Početkom druge polovice 20. stoljeća nafta je počela zadovoljavati potrebe svjetskog tržišta, a s time se smanjuje korištenje biogoriva. Ponovni interes za upotrebom biogoriva se javlja 1973. godine kada su cijene nafte naglo porasle u svijetu. Danas najveći proizvođači biogoriva u svijetu su SAD i Brazil koji pokrivaju 72% svjetske proizvodnje biogoriva.

Iskorištavanje goriva ima svoje prednosti i mane . Nakon povećane proizvodnje u posljednjih godina istraživanja su pokazala kako biogoriva prve generacije ipak šteno utječu na okoliš, ali znatno manje od fosilnih goriva. Također, utječu na dostupnost i cijenu proizvoda gdje imućnije države mogu iskorištavati nedovoljno razvijene zemlje. Isto tako cijena hrane se može povisiti jer se poljoprivredne površine koriste za biogoriva umjesto za hranu kao na primjer kukuruz za proizvodnju bioetanola. S druge strane, biogoriva su manje štetna za životnu sredinu jer su biološki razgradiva. Industrija biogoriva može koristiti otpadne materijale što zapravo smanjuje ukupni otpad.

Iako biogoriva nisu savršena, njihov utjecaj na poljoprivredu, obnovljivost, mogućnost smanjenja zagađenja okoline te približavanje energetske nezavisnosti čini dobar razlog za prelazak korištenje zelene energije.

### **3. KALORIMETRIRANJE**

#### **3.1 UVOD U PROCES KALORIMETRIRANJA**

Kalorimetrija je mjerna metoda kojom određujemo količinu oslobođene topline prilikom fizikalnih i kemijskih promjena u procesu izgaranja tvari. Mjerni instrument je kalorimetar koji je ključan za mjerenje količine toplinske energije koja se oslobađa tijekom kemijskih reakcija ili fizikalnih procesa. U osnovnoj funkciji, kalorimetar mjeri promjenu temperature unutar izoliranog sustava i to se koristi za izračunavanje količine oslobođene energije. Postoje razne vrste kalorimetra od kojih su najčešće korištene vrste vodeni, ledeni, Nernstov te kalorimetar s bombom.

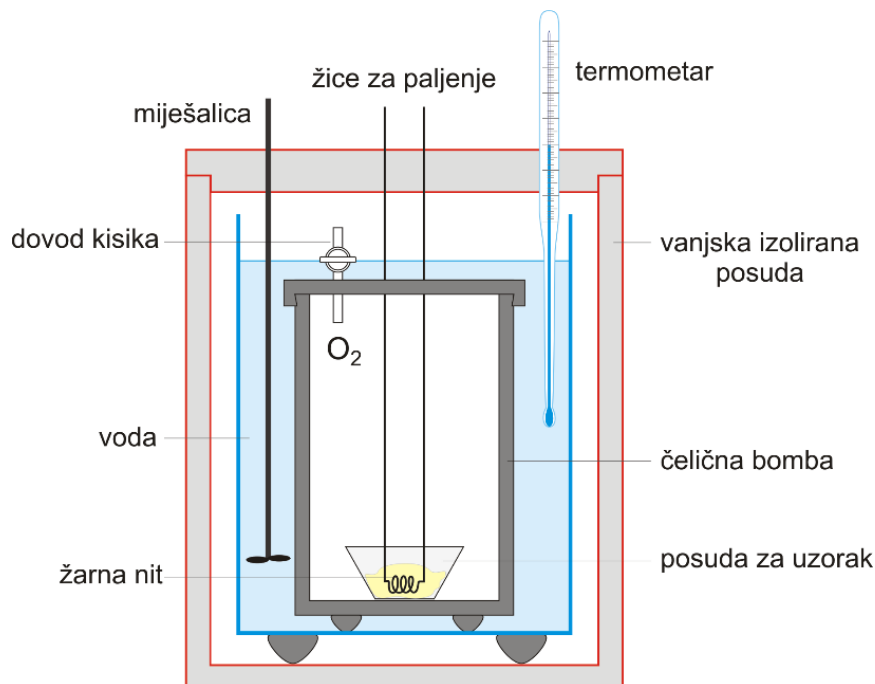
#### **3.2. POVIJEST MJERENJA TOPLINE KALORIMETRIJOM**

Prve teorije o toplini osnovane su na pretpostavci da je toplina tvar, materija koja je pohranjena u svakom tijelu, te da dodiranjem prelazi iz toplijeg tijela u hladnije. Prvi doprinos je imao Joseph Black, škotski liječnik i kemičar, koji je začeo ideju o kalorimetru 1761. godine te uveo pojam latentne topline, potrebna toplina nekoj tvari da bi joj se promijenilo agregatno stanje. Njegova otkrića i doprinosi označili su početak termodinamike jer je Black bio prvi znanstvenik koji je ustanovio da postoji razlika između topline i temperature. Ta otkrića su dovela do većeg proučavanja termodinamike i izvođenja više eksperimenata sa toplinom.

Sljedeća prekretnica je bila 1789. godine gdje su znanstvenici Antoine Lavoisier i Pierre Simon Laplace konstruirali prvi ledeni kalorimetar. Ta prijelomna točka u razvoju termodinamike nas dovodi do koncepta topline kao oblika energije, a ne više kao temperature. Za precizno mjerenje topline zaslužan je engleski fizičar James Prescott Joule koji je 1841. godine dao numeričku vrijednost toplini. Njegov eksperiment govori da nam je potrebno 4,184 J po kaloriji rada za podizanje temperature vode za jedan Celzijev stupanj. Njegov rad nam dokazuje da je toplina mjerljiv oblik energije, može se precizno izmjeriti te ukazuje na važnost izoliranog sustava za eksperimente. Ti koncepti se i danas koriste.

### 3.3. DIJELOVI KALORIMETRA

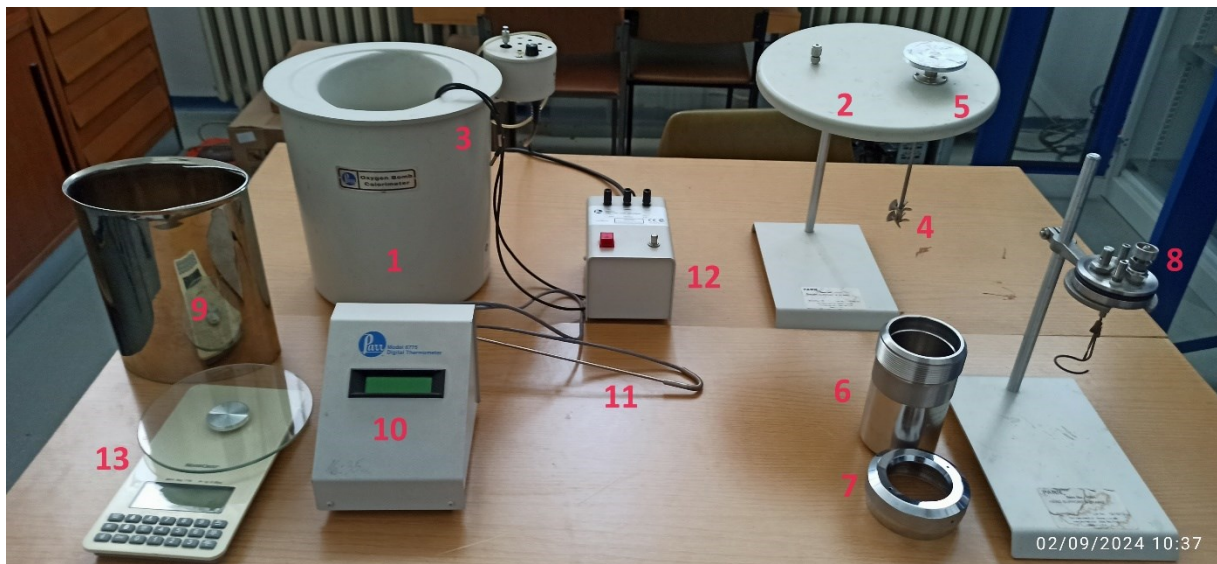
Na sljedećoj slici prikazana je shema kalorimetra sa bombom kisika sa istaknutim osnovnim dijelovima.



Slika 2 Shematski prikaz kalorimetra [21], gdje je 21 broj literature iz popisa na kraju

Popis aparature i materijala:

1. Izolacijska posuda (kućište kalorimetra); vanjska posuda koja sprječava gubitak topline
2. Poklopac izolacijske posude
3. Elektrode; za prijenos naboja do bombe (početak sagorijevanja)
4. Miješalica; mješe vodu unutar kalorimetra kako bi osigurali ravnomjernu raspodjelu topline
5. Kotur na kojeg postavljamo remen za pokretanje miješalice
6. Kućište kalorimetrijske bombe; čelična zatvorena komora u kojoj sagorijevamo uzorak
7. Sigurnosni čep kalorimetrijske bombe; čep za zatvaranje komore
8. Glava kalorimetrijske bombe; u nju stavljamo uzorak
9. Posuda za vodu; bombu uranjamo u vodu koja apsorbira toplinu oslobođenu tokom sagorijevanja uzorka
10. Digitalni termometar; mjeri promjenu temperature vode tijekom procesa sagorijevanja uzorka
11. Osjetnik digitalnog termometra
12. Detonator
13. Digitalna vaga
14. Posuda za uzorak; u nju stavljamo uzorak tvari koji se sagorijeva



Slika 3 Aparatura Parr 1341 kalorimetra na Tehničkom fakultetu u Rijeci



Slika 4 Dijelovi kalorimetrijske bombe sa postavljenom posudicom za uzorak

### 3.4. PROCES KALORIMETRIRANJA

U nastavku ćemo opisati postupak pripreme te tijekom mjerenja temperature u vrijeme pogona kalorimetra. U svrhu ovog rada korišten je kalorimetar s bombom kisika koji se nalazi na Tehničkom fakultetu u Rijeci modela Parr 1341 Plain Oxygen Bomb Calorimeter.

#### 3.4.1. Priprema i vaganje uzorka tvari

U sklopu teme ovog rada uzimamo samo uzorke biljnih ulja; odabrali smo suncokretovo, kokosovo, bademovo te maslinovo ulje. Nakon što smo odabrali uzorak tvari koje ćemo mjeriti, stavljamo ga u praznu posudu za uzorak. Prije samog početka moramo provjeriti posudu za uzorak i uvjeriti se da je dovoljno čista te da nema ostatka čađe od prijašnjeg mjerenja. Ovo je važan korak u procesu jer ostaci tvari u posudi od prijašnjih mjerenja mogu utjecati na preciznost i točnost novih rezultata. Na preciznoj digitalnoj vagi važno je prvo masu prazne posude bez uzorka, zatim dodajemo uzorak i važno je masu uzorka tvari. Nakon toga posuda sa uzorkom je spremna za mjerenje.





Slika 5 Digitalna vaga za mjerenje uzorka

### 3.4.2. Priprema vode

Za proces nam je potrebna voda približne izmjerene mase od 2000g (+/- 0,5) koju stavljamo u posudu za vodu mase 780g. Poželjna je destilirana voda, ali i obična voda iz slavine zadovoljava uvjete ako sadržava manje od 250 ppm otopljene krutine. Temperatura vode bi trebala biti približno 1,5°C ispod sobne temperature. Posudu napunjenu s vodom postavljamo u kalorimetar.

### 3.4.3. Priprema kalorimetrijske bombe

Prvi korak u pripremi kalorimetrijske bombe je provjera čistoće komponenata bombe (kućišta, čepa i glave) te po potrebi odstraniti ostatke čađe i prljavštine. U glavu bombe postavljamo već pripremljenu posudu sa uzorkom. Iznad posude sa uzorkom vezujemo tanku

žicu od nikroma koja nam služi za paljenje. Za kasniji proračun treba nam bit poznata duljina žice prije i poslije procesa; za početnu duljinu usvojeno je 100mm. Žica je postavljena iznad posude tako da povezuje elektrode, također smo se potpomogli koncem koji je za jedan kraj zavezan za žicu, a s druge strane uronjen u uzorak. Postavljamo sigurnosni čep s navojem. Nakon zatvaranja bombe potrebno ju je polagano i oprezno postaviti u kućište kalorimetra kako bi smanjili rizik od prelijevanja uzorka i odvajanja konca.



*Slika 6 Posudica uzorka sa postavljenom nikromskom žicom i koncem*

Otvaramo ventil na vrhu bombe kojeg smo spojili na priključak spremnika stlačenog kisika i propuhujemo bombu kako bi višak zraka izašao vani kroz ventil. Nakon par sekundi ventil se zatvara i punimo bombu kisikom na otprilike 25 bara. Sada imamo spremnu bombu za uporabu.



Slika 7 Manometar spremnika stlačenog kisika



Slika 8 Prikaz punjenja kalorimetrijske bombe kisikom

#### 3.4.4. Zatvaranje izolacijske posude

U kućištu kalorimetra postavili smo posudu sa 2000 ml vode. Hvatalkama smo uhvatili i prenijeli spremljenu kalorimetrijsku bombu i položili ju unutar posude s vodom, pazeći da nam elektrode uspiju doseći utore na bombi. Spajamo bombu sa elektrodama i zatvaramo poklopac kućišta pazeći da miješalica ne dira posudu s vodom kako ne bi došlo do oštećenja. Sada postavljamo remen za pokretanje miješalice; s jedne strane spojen u utor na kotur miješalice, a s druge na kotur elektromotora.

#### 3.4.5. Postavljanje termometra

Osjetnik digitalnog termometra postavljamo u otvor na poklopcu izolacijske posude kalorimetra. Važno je da osjetnik ne dodiruje dno posude kako ne bi došlo do pogrešnih rezultata pri mjerenju stoga težimo da osjetnik bude stegnut malo iznad tla. Elektromotor, koji je spojen na miješalicu, ukopčavamo u struju što rezultira konstantnim miješanjem vode. Time postizemo jednaku temperaturu vode u svakom dijelu posude. Uključujemo digitalni termometar i čekamo da se temperatura stabilizira. U ovom radu mjerena je promjena temperature pomoću digitalnog termometra Parr™ 6775 Digital Thermometer iz laboratorija za toplinska mjerenja na Tehničkom fakultetu u Rijeci.

#### 3.4.6. Paljenje kalorimetrijske bombe

Tek kad smo sigurni da se temperatura ustalila, možemo upaliti kalorimetrijsku bombu. Pri paljenju držimo pritisnutu tipku za paljenje dok se lampica indikatora ne ugasi. Elektrode prenose naboj do žice nikroma koja zbog svog visokog koeficijenta električnog zagrijavanja pali uzorak ulja. Temperatura posude počet će rasti unutar 20 sekundi nakon paljenja. Kada temperatura postane previsoka, dolazi do taljenja većeg dijela žice i prekida se strujni krug.

#### 3.4.7. Mjerenje promjene temperature

Prije početka mjerenja treba pustiti miješalicu da radi 5 minuta da se postigne ravnoteža. U trenutku kada stisnemo prekidač započinje odmjeravanje; upisujemo početnu temperaturu i vrijeme kada smo krenuli odmjeravati koje možemo vidjeti na digitalnom termometru. Na

početku paljenja bombe primijetiti ćemo nagli porast temperature u prvih nekoliko minuta nakon čega će postati sporiji kako se temperatura bude približavala maksimalnoj vrijednosti (ustaliti će se). U tom trenutku ćemo zapisati posljednju temperaturu (najveću postignutu) i završiti mjerenje. U nastavku slijedi primjer tablice mjernja porasta temperature.

TOPLINSKA MJERENJA  
Određivanje gornje ogrjevne vrijednosti goriva kalorimetranjem

- Datum i vrijeme mjerenja: 2.9.2024  
- Ispitivano gorivo: BADEMOVO ULJE

**Priprema:**

- Masa prazne posude: 783 g  
- Masa posude s vodom: ~~2783~~ g  
- Masa vode: 2000 g  
- Masa prazne posudice za izgaranje: 137 g  
- Masa posudice s uzrokom goriva: 145063 g  
- Masa uzorka goriva: 0,8063 g  
- Duljina žice od nikroma: 100 mm

**Obrada:**

- Promjena temperature: 3,125 °C  
- Duljina ostatka žice od nikroma: 30 mm

Vrijeme, m:s	ts, °C
0	25,852
1	25,860
2	25,866
2:15	25,866
2:30	25,879
2:45	26,124
3:00	26,505
3:15	27,108
3:30	27,538
3:45	27,826
4:00	28,161
4:15	28,302
4:30	28,413
4:45	28,503
5:00	28,615
5:15	28,718
5:30	28,757
5:45	28,812
6:00	28,849
6:30	28,902
7:00	28,932
7:30	28,952
8:00	28,922
8:30	28,980
9:00	28,982
9:30	28,997
10:00	28,994
10:30	28,994
11:00	28,994
12:00	28,992
13:00	28,989
14:00	28,986
15:00	28,982
16:00	28,977

Slika 9 Primjer mjerenja temperature uzorka bademovog ulja

Očitane temperature su zabilježene u intervalima od jedne minute tijekom prvih tri minuta, zatim u intervalima od petnaest sekundi do šeste minute te intervali od 30 sekundi do kraja. Dobiveni podaci će nam služiti za izračunavanje ogrjevne moći biljnog ulja te za crtanje krivulje rasta temperature.

### 3.4.8. Otvaranje kalorimetrijske bombe i mjerenje ostatka žice

Nakon posljednjeg očitavanja temperature treba se zaustaviti motor i ukloniti remen. Podiže se poklopac izolacijske posude i postavlja na potporni stalak. Zatim se iskopčavaju elektrode sa kalorimetrijske bombe te se bomba vadi van iz vode kliještama. Prije otvaranja

bombu je potrebno prebrisati i otvoriti ventil na vrhu bombe kako bi se izjednačio tlak u bombi (cca 25 bar) sa tlakom okoline (1 bar). Ručno skidamo sigurnosni čep, polako pokušavamo odvojiti glavu od kućišta bombe i postavljamo ju na stalak za glavu kalorimetrijske bombe. S elektroda glave skidamo ostatke žice od nikroma i pomoću ravnala im mjerimo duljinu. Sve duljine ostatka žice zbrajamo da dobijemo ukupnu duljinu neizgorenog ostatka žice koja će nam služiti u kasnijem proračunu za izračunavanje ogrjevne vrijednosti. Na kraju mjerenja važno je svu aparaturu dobro očistiti i osušiti za sljedeće mjerenje. Što temeljitije uklonimo ostatke vode i nečistoće od izgaranja sa kalorimetrijske bombe, imat ćemo preciznije rezultate.

## 4. ANALIZA IZMJERENIH UZORKA

### 4.1. PRIMJER PRORAČUNA OGRJEVNE MOĆI UZORKA

U svrhu ovog rada koristit ćemo četiri različita biljna ulja; suncokretovo, maslinovo, kokosovo i bademovo. Za svaki uzorak obavljeno je po jedno mjerenje u kalorimetru. Nakon što smo izmjerili sve potrebne podatke; možemo započeti sa proračunom ogrjevnosti svakog pojedinog uzorka. Za primjer ovog proračuna koristit ćemo rezultate mjerenja dobivene ispitivanjem suncokretovog ulja. Pri izračunima koristit ćemo se programom Microsoft Excel kako bi lakše računali ogrjevnost te nacrtali krivulju porasta temperature.

Iz bilance topline kalorimetrijske bombe možemo izvući izraz za određivanje ogrjevnosti:

$$m_g H_g + Q_{\dot{z}} + Q_K = (W_W + W_B) \Delta T$$

Dijelimo cijeli izraz sa masom goriva stoga slijedi:

$$H_g = \frac{(W_W + W_B) \Delta T - Q_{\dot{z}} - Q_K}{m_g}$$

$H_g$  - gornja ogrjevnost goriva, [kJ/kg]

$m_g$  - masa uzorka, [kg]

$W_W = m_W c_W$  - toplinski kapacitet vode u posudi, [kJ/K]

$c_W = 4,184$  kJ/(kgK) - spec. toplinski kapacitet vode pri 20°C

$W_B = 1,8683$  kJ/K - toplinski kapacitet kalorimetrijske bombe, [kJ/K]

$\Delta T = T_{krajnja} - T_{početna}$  - porast temperature, [K]

$Q_{\dot{z}} = 50 \cdot 10^{-3}$  kJ - toplina oslobođena izgaranjem pamučnog konca

$Q_K = q_{spec, \dot{z}} l_{izg}$  - toplina oslobođena izgaranjem žice od nikroma, [kJ]

$q_{spec, \dot{z}} = 9,6 \cdot 10^{-3}$  kJ/cm - spec. toplina žice od nikroma

$l_{izg}$  - duljina izgorenog dijela žice od nikroma, [cm]

$l_{izg} = l_0 - l_{ost}$

$l_0 = 11 \text{ cm}$  - početna duljina žice od nikroma

$l_{ost}$  - izmjerena duljina ostatka žice, [cm]

Proračun započinjemo vaganjem prazne posude za uzorak na digitalnoj vagi te očitavamo masu od 13,7 g. Nakon toga kapaljkom stavljamo uzorak suncokretovog ulja i očitavamo masu od 14,51 g; masa posudice zajedno sa uzorkom.

Sljedeće izračunavamo masu uzorka :

$$m_g = m_{puna} - m_{prazna} = 14,51 - 13,7 = 0,81 \text{ g}$$

Ponovno istim postupkom, na digitalnoj vagi mjerimo masu prazne posude za vodu koja iznosi 783 g. U nju ulijevamo otprilike 2000 ml vode pri sobnoj temperaturi. Na vagi očitavamo masu pune posude vodom od 2783 g. Masa vode iznosi:

$$m_w = m_{w,puna} - m_{w,prazna} = 2783 - 783 = 2000 \text{ g}$$

Početna duljina žice nikroma koju smo odrezali prije mjerenja iznosi 100 mm. Nju postavljamo u glavu bombe kao što je opisano u poglavlju 2.4.3. Nakon završenog mjerenja zbrajamo duljine ostatke žice koja iznosi 37 mm.

Kada smo uključili miješalicu, pričekali smo cca 5 minuta da se temperatura ustali. Kada smo bili sigurni da možemo započeti mjerenje pritisnuli smo prekidač na detonatoru i s time upalili kalorimetrijsku bombu. U prve dvije minute temperature su očitane u intervalima od jedne minute zbog jakog slabog rasta nakon čega smo nastavili sa intervalima od 15 i 30 sekundi. U zadnjih 5 minuta mjerenja ponovno smo očitavali u intervalima od 1 minute iz razloga što smo dosegli maksimalnu moguću temperaturu koja se nije naglo spuštala; nakon čega smo zaustavili mjerenje. U nastavku slijedi tablični prikaz tog mjerenja:



Vrijeme, m:s	T, °C	Vrijeme, m:s	T, °C
0:00	26,319	5:30	29,169
1:00	26,348	6:00	29,246
2:00	26,357	6:30	29,289
2:15	26,359	7:00	29,319
2:30	26,523	7:30	29,342
2:45	26,948	8:00	29,356
3:00	27,315	8:30	29,366
3:15	27,814	9:00	29,37
3:30	28,13	9:30	29,375
3:45	28,405	10:00	29,375
4:00	28,618	11:00	29,376
4:15	28,75	12:00	29,373
4:30	28,898	13:00	29,369
4:45	28,98	14:00	29,363
5:00	29,069	15:00	29,357

Tablica 1 - Prikaz mjerenja promjene temperature

Posljednje izračunavamo ukupnu promjenu temperature cijelog procesa:

$$\Delta T = T_{kraj} - T_{početak} = 29,376 - 26,319 = 3,057 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.2. PRORAČUN OGRJEVNE MOĆI SUNCOKRETOVOG ULJA

Nakon izvršenog mjerenja, otvaramo kalorimetrijsku bombu te mjerimo duljinu neizgorenog ostatka žice od nikroma  $l_{ost} = 37 \text{ mm}$ . Sljedeće određujemo toplinski kapacitet vode u posudi;

$$W_W = m_W c_W = 2 \cdot 4,184 = 8,368 \text{ kJ/K}$$

Usvojena je vrijednost toplinskog kapaciteta kalorimetrijske bombe  $W_B$  od 1,8683 kJ/K iz *Operating Instruction Manual No.204M*. Također, usvajamo vrijednost topline oslobođene

izgaranjem pamučnog konca  $Q_{\dot{z}}$  od  $50 \cdot 10^{-3}$  kJ. Ovi parametri će nam biti potrebni za kasnije računanje ogrjevne vrijednosti.

Duljina izgorenog dijela žice nikroma:

$$l_{izg} = l_0 - l_{ost} = 100 - 37 = 63 \text{ mm}$$

Toplina oslobođena izgaranjem žice od nikroma računa se kao produkt spec. toplina žice od nikroma i duljina izgorenog dijela žice od nikroma, prema izrazu:

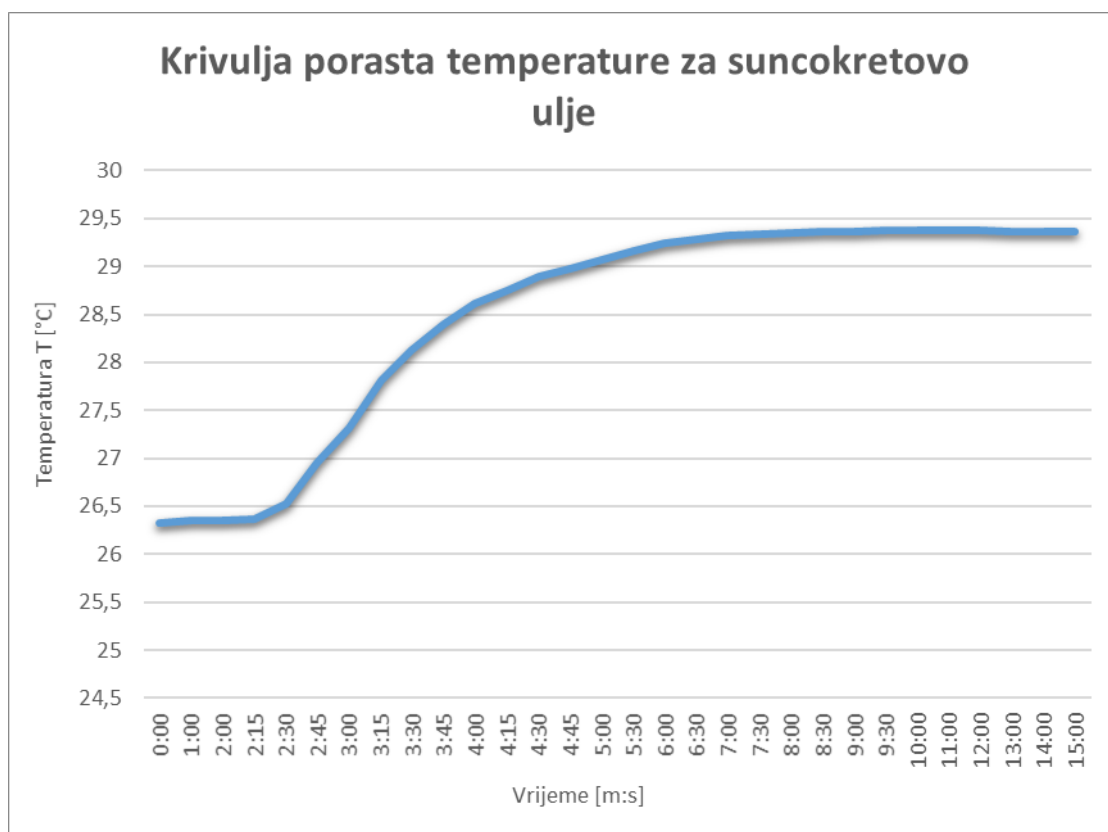
$$Q_K = q_{spec,\dot{z}} \cdot l_{izg} = 9,6 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} \cdot 0,063 = 6,048 \cdot 10^{-6} \text{ kJ}$$

Posljednje, računamo ogrjevnu vrijednost uzorka suncokretovog ulja:

$$\begin{aligned} H_{g,suncokret} &= \frac{(W_W + W_B)\Delta T - Q_{\dot{z}} - Q_K}{m_g} \\ &= \frac{(8,368 + 1,8683) \cdot 3,057 - 50 \cdot 10^{-3} - 6,048 \cdot 10^{-6}}{8,1 \cdot 10^{-4}} \end{aligned}$$

$$H_{g,suncokret} = 38570,82 \text{ kJ/kg}$$

Nakon što smo izračunali ogrjevnu vrijednost suncokretovog ulja, za kraj nam preostaje nacrtati krivulju porasta temperature u programu *Microsoft Excel*.



Slika 10 Krivulja porasta temperature

Isti postupak izračunavanja primijeniti će sve ostale uzorke biljnih ulja. Radi jednostavnije preglednosti, u sljedećem poglavlju bit će izloženi samo dobiveni rezultati, a detaljniji proračuni pojedinih ulja bit će postavljeni u priloge.

### 4.3. REZULTATI MJERENJA I USPOREDBA BILJNIH UZORKA

U ovom radu promatrali smo mjerenja jestivih biljnih ulja. U sljedećoj tablici bit će prikazani krajnji rezultati svakog pojedinog uzorka. Za svako biljno ulje izvršeno je po jedno mjerenje, bez ponavljanja.

GORNJA OGRJEVNA MOĆ [KJ/KG]			
Suncokretovo ulje	Maslinovo ulje	Kokosovo ulje	Bademovo ulje
38571	39124,28	38640,11	39826,92

Tablica 2- Rezultati mjerenja

Mast je molekula glicerola vezana na kombinaciju masnih kiselina ili lanaca ugljikovodika. Obično se glicerol veže za tri masne kiseline, tvoreći triglicerida. Masnoća koja nema dvostruke veze između ugljikovih atoma u lancima masnih kiselina smatra se zasićenom. Stupanj zasićenosti masnih kiselina upravlja količinom energije sadržanoj u njemu, stoga prisutnost dvostruke veze u nezasićenim mastima smanjuje energiju molekule u odnosu na zasićene masti koje imaju samo jednostruke veze. Energija jednostruke veze je približna 3,5 eV, dok kod dvostrukih je 6,4 eV. Slom dviju jednostrukih veza (7eV) će osloboditi više energije nego jedna dvostruka veza (6,4eV) što potvrđuje da zasićene masti imaju više energije od nezasićenih. Među nezasićenim mastima mogući su različiti stupnjevi zasićenosti, što ovisi o jačini koncentracije svake od masnih kiselina. Najčešće masne kiseline u biljnim uljima su oleinska i linolna kiselina, od kojih oleinska ima veći stupanj zasićenja.

U *tablici 2.* su prikazani krajnji rezultati našeg pokusa i vidimo da nema jako velike razlike u veličini ogrjevne vrijednosti. Od četiri eksperimentalno korištenih ulja maslinovo ulje je najzasićenije oleinskom kiselinom. Bademovo ulje sadrži 60-70% oleinske kiseline i do 20% linolne kiseline što čini visok udio nezasićenih kiselina u njegovom sadržaju. Suncokretovo ulje ima također visok udio nezasićenih masti, može sadržavati do 40% oleinske kiseline i do 74% linolne kiseline. Kokosovo ima otprilike 87% zasićenih masti, dok maslinovo ulje sadrži 14% zasićenih masti.

## 5. ZAKLJUČAK

Zaključno, eksperimentalno mjerenje ogrjevnih vrijednosti biljnih ulja u kalorimetru predstavlja ključan korak u njihovoj primjeni kao biogoriva. Dobiveni su rezultati koji nam daju precizne podatke o energetske vrijednosti zadanih ulja, pomoću kojih možemo odrediti njihove potencijale u energetske industriji. Najveća pozornost u radu je bila na opisivanju procesa kalorimetriranja i računanje ogrjevnih vrijednosti zadanih uzoraka ulja. Osim visokih energetske vrijednosti treba uzeti u obzir ekološke i ekonomske aspekte proizvodnje biogoriva, kao na primjer utjecaj na poljoprivredne resurse i njihova održivost. U budućnosti očekujemo smanjenje proizvodnje fosilnih goriva kada se biogoriva budu dovoljno razvila sa pristupačnijom cijenom.

## LITERATURA

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/toplina>
- [2] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0364591619302755>
- [3] <https://hr.thpanorama.com/articles/qumica/calormetro-historia-partes-tipos-y-sus-caractersticas.html>
- [4] <https://regulator.hr/zanimljivosti/sto-je-biomasa-i-kako-se-koristi/>
- [5] <https://hrcak.srce.hr/file/455353>
- [6] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ogrjevna\\_vrijednost](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ogrjevna_vrijednost)
- [7] [https://www.biofueljournal.com/article\\_197174.html](https://www.biofueljournal.com/article_197174.html)
- [8] <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Calorimeter>
- [9] <https://www.parrinst.com/products/oxygen-bomb-calorimeters/1341-plain-jacket-bomb-calorimeter/>
- [10] <https://photos.labwrench.com/equipmentManuals/5027-1719.pdf>
- [11] <https://eko.zagreb.hr/biogoriva/92>
- [12] <https://hrcak.srce.hr/file/455353>
- [13] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Biodizel>
- [14] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/kalorimetar>
- [15] [http://ametme.mnsu.edu/UserFilesShared/Equipment\\_Manuals/TE\\_106/1341%20Oxygen%20Bomb%20Calorimeter/1341%20Oxygen%20Bomb%20Calorimeter%20Manual.pdf](http://ametme.mnsu.edu/UserFilesShared/Equipment_Manuals/TE_106/1341%20Oxygen%20Bomb%20Calorimeter/1341%20Oxygen%20Bomb%20Calorimeter%20Manual.pdf)
- [16] <https://dokumen.tips/documents/ogrjevna-vrijednost-krutih-tekucih-i-plinovitih-goriva-569c05fc9fcfb.html>
- [17] <https://www.seas.upenn.edu/~belab/LabProjects/1998/BE210S98R4R01.htm>
- [18] <https://www.studypool.com/documents/6819817/heat-of-combustion-of-oils-april-30-1998>
- [19] <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/119060>

[20] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544212005415>

[21] <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=kalorimetrijska+bomba>

## SAŽETAK

Završni rad smo započeli sa objašnjavanjem definicije i klasifikacije biogoriva te njegova primjena. Spomenuta je njegova ekonomska i ekološka potreba te kakav je utjecaj imao kroz povijest. U drugom poglavlju pod nazivom Kalorimetriranje detaljno smo opisati postupak i aparaturu mjerenja promjene temperature vode u kalorimetru pomoću koje smo odredili ogrjevnu vrijednost pojedinog uzorka. Koristili smo se kalorimetrom modela *Parr model 1341 Oxygen Bomb Calorimeter* koji se nalazi na Tehničkom fakultetu u Rijeci. Odradili smo po jedno mjerenje za svaki zadani uzorak i na kraju usporedili rezultate. Za eksperiment smo uzeli uzorke od suncokretovog, maslinovog, kokosovog i bademovog ulja. Na kraju smo spomenuli energetske ovisnosti o strukturi masti i usporedili bolju energetske vrijednosti zasićenih kiselina od nezasićenih .

Ključne riječi: biljna ulja, biogorivo, kalorimetar, temperatura, ogrjevna vrijednost



## SUMMARY

We began the thesis by explaining the definition and classification of biofuels and their applications. We mentioned their economic and environmental necessity, as well as their historical impact. In the second chapter, titled *Calorimetry*, we described in detail the procedure and equipment used to measure the temperature change of water in a calorimeter, which allowed us to determine the heating value of individual samples. We used the Parr model 1341 Oxygen Bomb Calorimeter, located at the Faculty of Engineering in Rijeka. We conducted one measurement for each given sample and compared the results at the end. For the experiment, we used samples of sunflower, olive, coconut, and almond oil. Finally, we discussed the energy dependence on fat structure and compared the better energy value of saturated acids to unsaturated ones.

Keywords: vegetable oils, biofuel, calorimeter, temperature, specific combustion heat value

## POPIS OZNAKA I KRATICA

$H_g$  - gornja ogrjevna moć goriva, [kJ/kg]

$m_g$  - masa uzorka, [kg]

$W_W$  - toplinski kapacitet vode u posudi, [kJ/K]

$c_W$  - spec. toplinski kapacitet vode pri 20°C, [kJ/(kgK)]

$W_B$  - toplinski kapacitet kalorimetrijske bombe, [kJ/K]

$\Delta T$  - porast temperature, [K]

$Q_{\check{z}}$  - toplina oslobođena izgaranjem pamučnog konca, [kJ]

$Q_K$  - toplina oslobođena izgaranjem žice od nikroma, [kJ]

$q_{spec,\check{z}}$  - spec. toplina žice od nikroma, [kJ/cm]

$l_{izg}$  - duljina izgorenog dijela žice od nikroma, [cm]

$l_0$  - početna duljina žice od nikroma, [cm]

$l_{ost}$  - izmjerena duljina ostatka žice, [cm]

## POPIS SLIKA

Slika 1 Čisti biodizel dobiven od soje .....	3
Slika 2 Shematski prikaz kalorimetra [21], gdje je 21 broj literature iz popisa na kraju .....	5
Slika 3 Aparatura Parr 1341 kalorimetra na Tehničkom fakultetu u Rijeci .....	7
Slika 4 Dijelovi kalorimetrijske bombe sa postavljenom posudicom za uzorak .....	7
Slika 5 Digitalna vaga za mjerenje uzorka .....	9
Slika 6 Posudica uzorka sa postavljenom nikromskom žicom i koncem .....	10
Slika 7 Manometar spremnika stlačenog kisika .....	11
Slika 8 Prikaz punjenja kalorimetrijske bombe kisikom .....	11
Slika 9 Primjer mjerenja temperature uzorka bademovog ulja .....	13
Slika 10 Krivulja porasta temperature .....	19
Slika 11 Krivulja porasta temperature za suncokretovo ulje .....	30
Slika 12 Krivulja porasta temperature za maslinovo ulje .....	32
Slika 13 Krivulja porasta temperature za kokosovo ulje .....	34
Slika 14 Krivulja porasta temperature za bademovo ulje .....	36

## POPIS TABLICA

Tablica 1 - Prikaz mjerenja promjene temperature .....	17
Tablica 2- Rezultati mjerenja .....	19
Tablica 3- Mjerenje promjene temperature suncokretovog ulja .....	29
Tablica 4- Mjerenje promjene temperature maslinovog ulja .....	31
Tablica 5- Mjerenje promjene temperature kokosovog ulja .....	33
Tablica 6- Mjerenje promjene temperature bademovog ulja .....	35

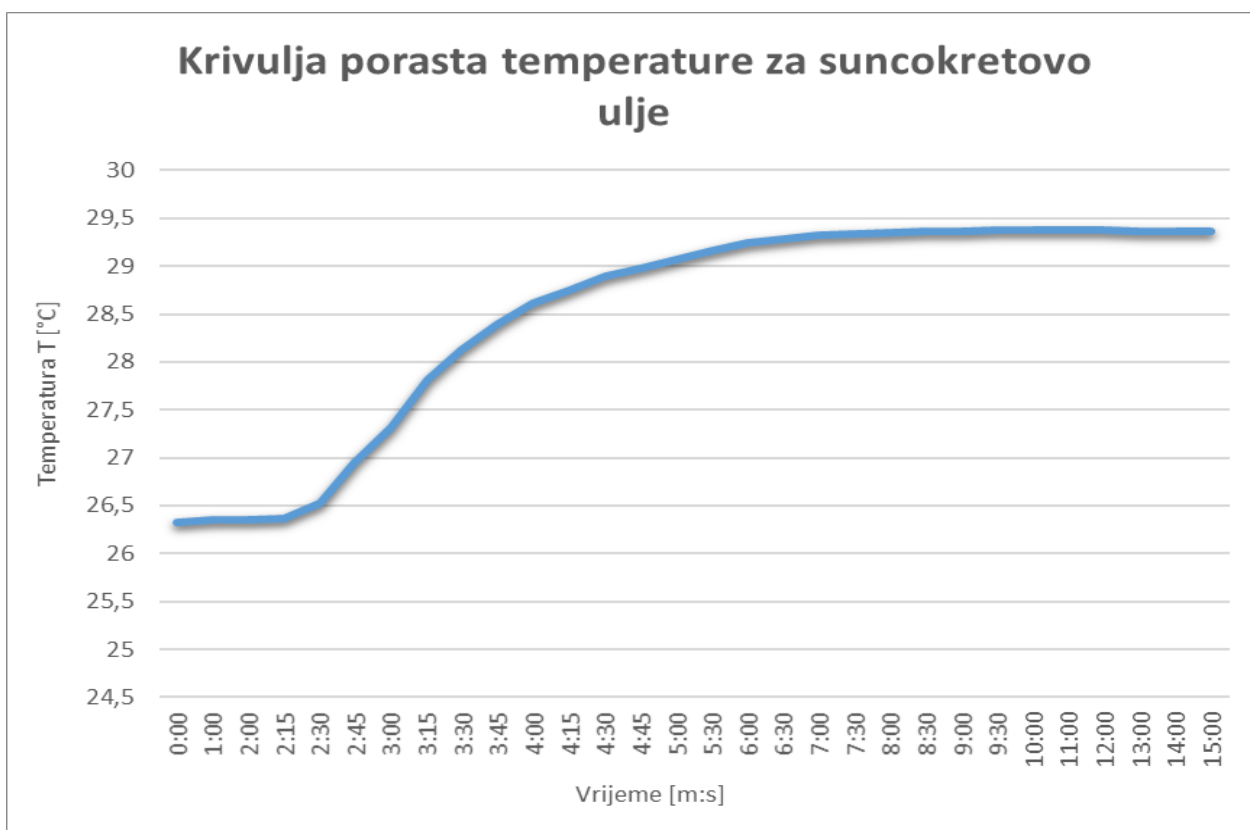
## PRILOZI

### 1. MJERENJE SUNCOKRETOVOG ULJA

Vrijeme, m:s	Temperatura T, °C
0:00	26,319
1:00	26,348
2:00	26,357
2:15	26,359
2:30	26,523
2:45	26,948
3:00	27,315
3:15	27,814
3:30	28,13
3:45	28,405
4:00	28,618
4:15	28,75
4:30	28,898
4:45	28,98
5:00	29,069
5:30	29,169
6:00	29,246
6:30	29,289
7:00	29,319
7:30	29,342
8:00	29,356
8:30	29,366
9:00	29,37
9:30	29,375
10:00	29,375
11:00	29,376
12:00	29,373
13:00	29,369
14:00	29,363
15:00	29,357

Tablica 3- Mjerenje promjene temperature suncokretovog ulja

<b>SUNCOKRETOVO ULJE</b>			
Toplinski kapacitet vode u posudi	W_w	8,368	kJ/K
Toplinski kapacitet kalorimetrijske bombe	W_b	1,8683	kJ/K
Porast temperature	delta_T	3,057	°C
Početna temperatura	T_početak	26,319	°C
Krajnja temperatura	T_kraj	29,376	°C
Toplina oslobođena izgaranjem pamučnog konca	Q_ž	0,05	kJ
Toplina oslobođena izgaranjem žice nikroma	Q_k	0,000006048	kJ
Spec. Toplina žice nikroma	q_spec	0,000096	kJ/m
Masa uzorka	mg	0,00081	kg
Masa posude s uzorkom	m_puna	0,01451	kg
Masa posude bez uzorka	m_prazna	0,0137	kg
Spec. toplinski kapacitet vode pri 20°C	c_w	4,184	kJ/kgK
Duljina izgorenog dijela žice nikroma	l_izg	63	mm
Početna duljina žice nikroma	l_0	100	mm
Duljina ostatka žice	l_ost	37	mm
Masa vode	mw	2	kg
Masa posude s vodom	mw_puna	2,784	kg
Masa posude bez vode	mw_prazna	0,784	kg
Gornja ogrjevna moć goriva	H_q	38570,82	kJ/kg



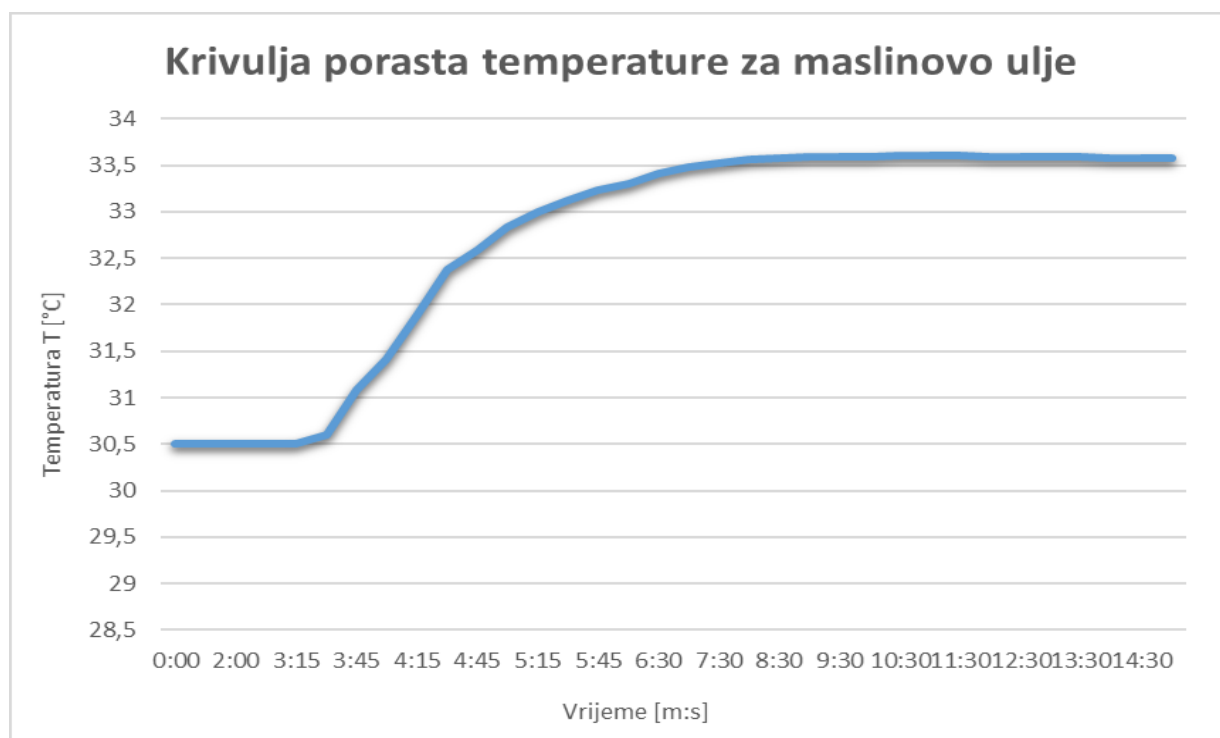
Slika 11 Krivulja porasta temperature za suncokretovo ulje

## 2. MJERENJE MASLINOVOG ULJA

Vrijeme, m:s	Temperatura T, °C
0:00	30,504
1:00	30,505
2:00	30,506
3:00	30,506
3:15	30,506
3:30	30,6
3:45	31,086
4:00	31,419
4:15	31,894
4:30	32,383
4:45	32,581
5:00	32,839
5:15	33,003
5:30	33,119
5:45	33,23
6:00	33,306
6:30	33,412
7:00	33,483
7:30	33,524
8:00	33,558
8:30	33,576
9:00	33,588
9:30	33,593
10:00	33,598
10:30	33,599
11:00	33,601
11:30	33,599
12:00	33,596
12:30	33,593
13:00	33,591
13:30	33,589
14:00	33,584
14:30	33,579
15:00	33,577

Tablica 4- Mjerenje promjene temperature maslinovog ulja

<b>MASLINOVO ULJE</b>			
Toplinski kapacitet vode u posudi	W_w	8,372	kJ/K
Toplinski kapacitet kalorimetrijske bombe	W_b	1,868	kJ/K
Porast temperature	delta_T	3,097	°C
Početna temperatura	T_početak	30,504	°C
Krajnja temperatura	T_kraj	33,601	°C
Toplina oslobođena izgaranjem pamučnog konca	Q_ž	0,05	kJ
Toplina oslobođena izgaranjem žice nikroma	Q_k	0,0000024	kJ
Spec. Toplina žice nikroma	q_spec	0,000096	kJ/m
Masa uzorka	mg	0,0008093	kg
Masa posude s uzorkom	m_puna	0,0145093	kg
Masa posude bez uzorka	m_prazna	0,0137	kg
Spec. toplinski kapacitet vode pri 20°C	c_w	4,184	kJ/kgK
Duljina izgorenog dijela žice nikroma	l_izg	25	mm
Početna duljina žice nikroma	l_0	100	mm
Duljina ostatka žice	l_ost	75	mm
Masa vode	mw	2,001	kg
Masa posude s vodom	mw_puna	2,784	kg
Masa posude bez vode	mw_prazna	0,783	kg
Gornja ogrjevna moć goriva	H_q	39124,28	kJ/kg



Slika 12 Krivulja porasta temperature za maslinovo ulje

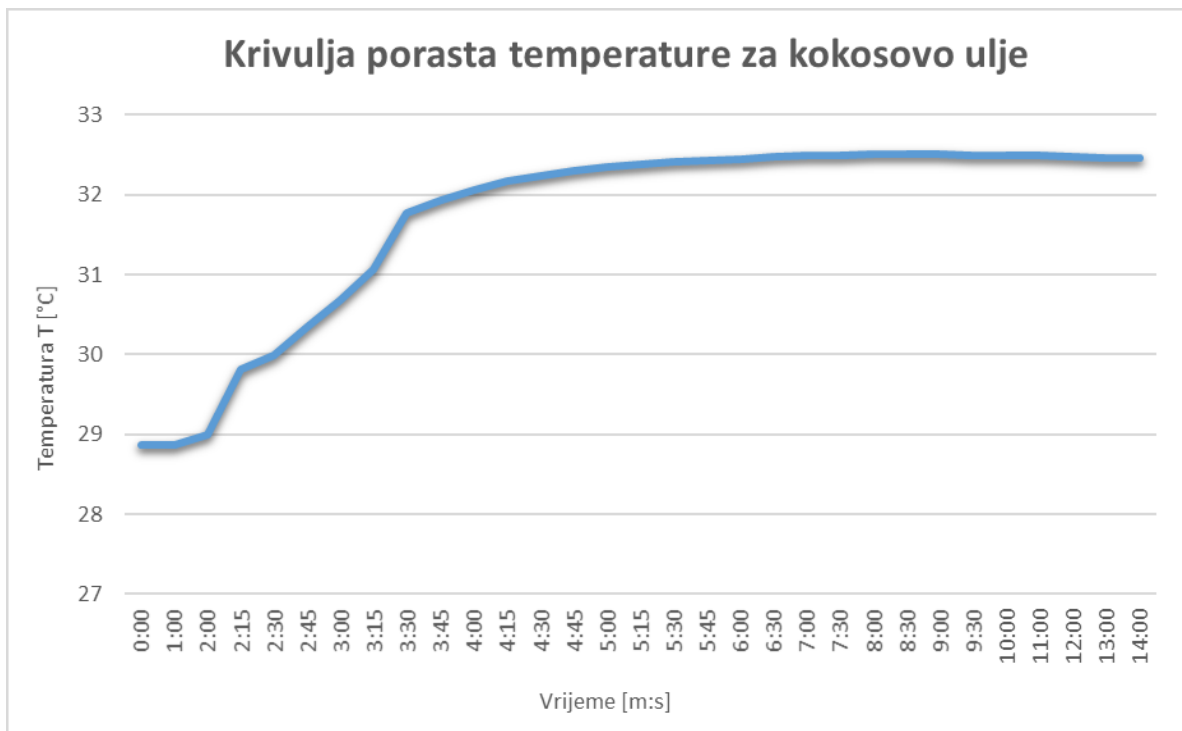


### 3. MJERENJE KOKOSOVOG ULJA

Vrijeme, m:s	Temperatura T, °C
0:00	29,46
1:00	29,86
2:00	29,9
2:15	29,911
2:30	29,994
2:45	30,347
3:00	30,681
3:15	31,067
3:30	31,776
3:45	31,929
4:00	32,054
4:15	32,167
4:30	32,232
4:45	32,303
5:00	32,344
5:15	32,38
5:30	32,414
5:45	32,435
6:00	32,447
6:30	32,474
7:00	32,489
7:30	32,497
8:00	32,503
8:30	32,502
9:00	32,503
9:30	32,499
10:00	32,497
11:00	32,489
12:00	32,478
13:00	32,466
14:00	32,456

Tablica 5- Mjerenje promjene temperature kokosovog ulja

KOKOSOVO ULJE			
Toplinski kapacitet vode u posudi	W_w	8,364	kJ/K
Toplinski kapacitet kalorimetrijske bombe	W_b	1,868	kJ/K
Porast temperature	delta_T	3,043	°C
Početna temperatura	T_početak	29,46	°C
Krajnja temperatura	T_kraj	32,503	°C
Toplina oslobođena izgaranjem pamučnog konca	Q_ž	0,05	kJ
Toplina oslobođena izgaranjem žice nikroma	Q_k	0,000004128	kJ
Spec. Toplina žice nikroma	q_spec	0,000096	kJ/m
Masa uzorka	mg	0,0008045	kg
Masa posude s uzorkom	m_puna	0,0145045	kg
Masa posude bez uzorka	m_prazna	0,0137	kg
Spec. toplinski kapacitet vode pri 20°C	c_w	4,184	kJ/kgK
Duljina izgorenog dijela žice nikroma	l_izg	43	mm
Početna duljina žice nikroma	l_0	100	mm
Duljina ostatka žice	l_ost	57	mm
Masa vode	mw	1,999	kg
Masa posude s vodom	mw_puna	2,782	kg
Masa posude bez vode	mw_prazna	0,783	kg
Gornja ogrjevna moć goriva	H_q	38640,11	kJ/kg



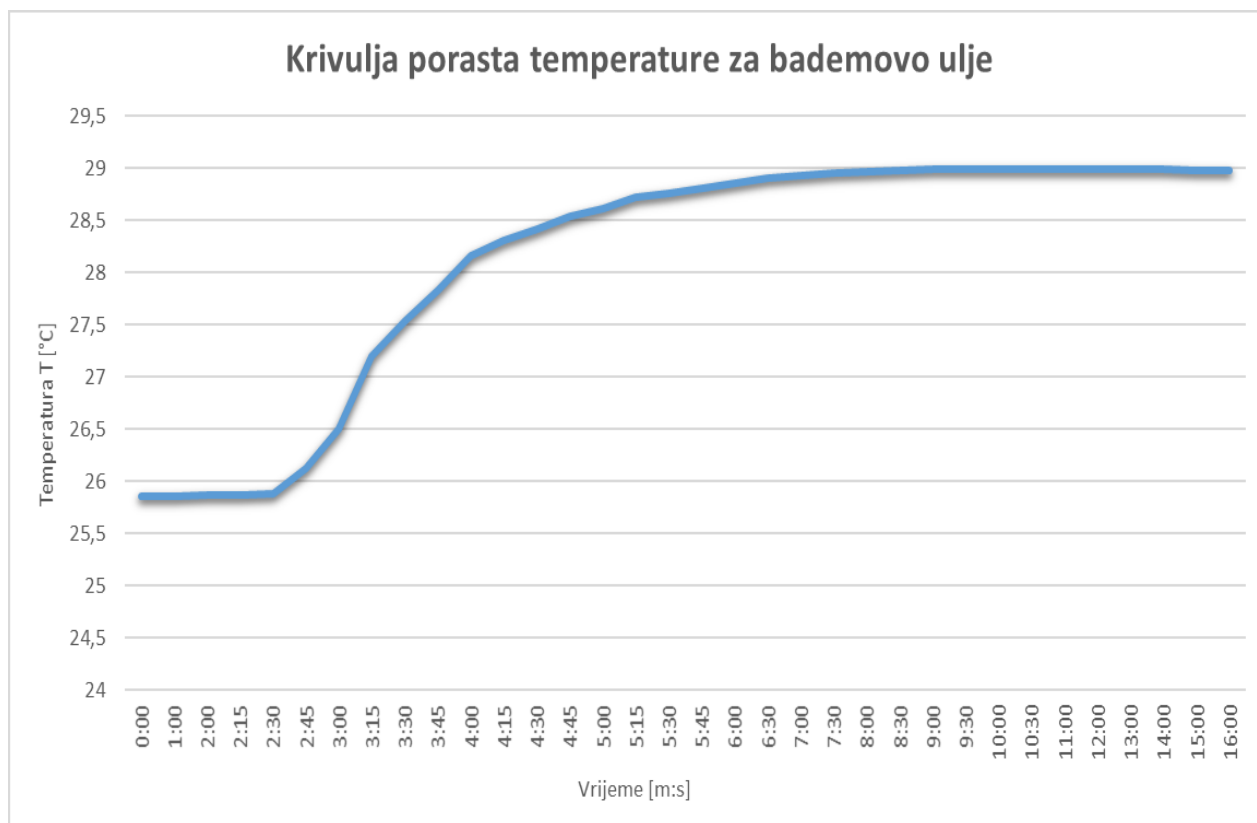
Slika 13 Krivulja porasta temperature za kokosovo ulje

#### 4. MJERENJE BADEMOVOG ULJE

Vrijeme, m:s	T, °C
0:00	25,852
1:00	25,860
2:00	25,866
2:15	25,866
2:30	25,879
2:45	26,124
3:00	26,505
3:15	27,198
3:30	27,538
3:45	27,826
4:00	28,161
4:15	28,302
4:30	28,413
4:45	28,543
5:00	28,615
5:15	28,718
5:30	28,757
5:45	28,812
6:00	28,849
6:30	28,902
7:00	28,93
7:30	28,952
8:00	28,97
8:30	28,98
9:00	28,987
9:30	28,991
10:00	28,994
10:30	28,994
11:00	28,994
12:00	28,992
13:00	28,989
14:00	28,986
15:00	28,982
16:00	28,977

Tablica 6- Mjerenje promjene temperature bademovog ulja

BADEMOVO ULJE			
Toplinski kapacitet vode u posudi	W_w	8,368	kJ/K
Toplinski kapacitet kalorimetrijske bombe	W_b	1,8683	kJ/K
Porast temperature	delta_T	3,142	°C
Početna temperatura	T_početak	25,852	°C
Krajnja temperatura	T_kraj	28,994	°C
Toplina oslobođena izgaranjem pamučnog konca	Q_ž	0,05	kJ
Toplina oslobođena izgaranjem žice nikroma	Q_k	0,00000672	kJ
Spec. Toplina žice nikroma	q_spec	0,000096	kJ/m
Masa uzorka	mg	0,0008063	kg
Masa posude s uzorkom	m_puna	0,0145063	kg
Masa posude bez uzorka	m_prazna	0,0137	kg
Spec. toplinski kapacitet vode pri 20°C	c_w	4,184	kJ/kgK
Duljina izgorenog dijela žice nikroma	l_izg	70	mm
Početna duljina žice nikroma	l_0	100	mm
Duljina ostatka žice	l_ost	30	mm
Masa vode	mw	2	kg
Masa posude s vodom	mw_puna	2,783	kg
Masa posude bez vode	mw_prazna	0,783	kg
Gornja ogrjevna moć goriva	H_q	39826,92	kJ/kg



Slika 14 Krivulja porasta temperature za bademovo ulje