



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.  
This publication reflects the views only of the author, and the Commission  
cannot be held responsible for any use which may be made of the  
information contained therein.



ВИСОКА ШКОЛА  
ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ И РАЧУНАРСТВА  
СТРУКОВНИХ СТУДИЈА

## ПРИРУЧНИК

# Производња биодизела

Александра Грујић  
Вера Петровић  
Милан Ивезић  
Далибор Вукић  
Милан Јовић  
Ђорђе Павловић



WAMP  
561821-ERP-1-2015  
ERPKA2-CBHE-JP

Aleksandra Grujić  
Vera Petrović  
Milan Ivezić  
Dalibor Vukić  
Đorđe Pavlović  
Milan Jović

PROIZVODNJA BIODIZELA

PRIRUČNIK

Beograd, 2018.

PROIZVODNJA BIODIZELA  
PRIRUČNIK

- Autori: Dr. Aleksandra Grujić (1975)  
Dr Vera Petrović (1965)  
Mast. inž. elektr. i računar. Milan Ivezić (1983)  
Spec. Dalibor Vukić (1985)  
Spec. Đorđe Pavlović (1987)  
Mast. inž. elektr. i računar. Milan Jović (1986)
- Recezent: Dr Ivana Vlajić-Naumovska  
Dr Aleksandar Grkić
- Tehnička  
priprema: Milan Ivezić, Milan Jović, Đorđe Pavlović
- Korice: Marina Kecman
- Izdavač: Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija  
Vojvode Stepe 283, Beograd
- Štamparija: Razvojno – istraživački centar grafičkog inženjerstva TMF,  
Beograd
- Prvo izdanje
- Tiraž:

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	3
PREDGOVOR .....	4
EVIDENCIJA VEŽBI.....	5
PROIZVODNJA BIODIZELA .....	6
BIOMASA.....	6
BIOGORIVA.....	7
BIODIZEL.....	7
LABORATORIJSKA OPREMA ZA PROIZVODNJU BIODIZELA DL BIO – 10.....	9
LABORATORIJSKA VEŽBA BROJ 1: .....	15
ZADACI .....	17
Zadatak 1.....	17
Zadatak 2.....	19
LABORATORIJSKA VEŽBA BROJ 2: .....	20
ZADACI .....	27
Zadatak 1.....	27
Zadatak 2.....	29
Zadatak 3.....	31
Zadatak 4.....	32
LITERATURA.....	35



## **PREDGOVOR**

Priručnik za obuku korišćenja opreme za proizvodnju biodizela predstavlja prvo izdanje priručnika namenjenog studentima Visoke škole elektrotehnike i računarstva strukovnih studija u Beogradu, studijskog programa Ekološki inženjering kao i drugim zainteresovanim subjektima koji se edukuju u oblasti zaštite životne sredine i upravljanja otpadom. Nastanak priručnika za obuku na opremi za proizvodnju biodizela je ishod Erasmus + projekta “Waste management curricula development in partnership with public and private sector / WaMPPP 561821-EPP-1-2015-1-RS-EPPKA2-CBHE-JR (2015 - 3206 / OO1 - 001)”.

Unapred se zahvaljujemo na korisnim primedbama i sugestijama čitalaca.

Autori

## EVIDENCIJA VEŽBI

Student	
Ime i prezime:	Broj indeksa:

Vežba	Datum	Potpis
1. vežba		
2. vežba		

# PROIZVODNJA BIODIZELA

## BIOMASA

Termin biomasa odnosi se na sve materijale biološkog porekla koji se mogu upotrebiti kao primarni izvor energije. Tu ne spadaju materijali koji su se promenili raznim geološkim procesima, kao što su na primer nafta i ugalj.

Biomasa se može podeliti na:

Biomasu u izvornom obliku (sirovu biomasu) koju čine:

1. Kopnena (trave, drveća, energetske zasadi, obradivi usevi),
2. Vodena (alge, vodene biljke).

Ostatke (otpadnu biomasu):

1. Komunalni otpad (komunalni čvrsti otpad, mulj i organske materije dobijene tretmanom otpadnog mulja),
2. Poljoprivredni čvrsti otpad (poljoprivredni biljni ostaci, stočni otpad i đubrivo),
3. Šumski ostaci (kora, lišće, ostaci nakon seče stabala),
4. Industrijski otpad (drvni otpad, piljevina, otpadno ulje).

Biomasa se može koristiti za dobijanje električne i toplotne energije ili za dobijanje tečnih i gasovitih goriva (biogoriva) koja se koriste u vozilima, domaćinstvima ili u postrojenjima različitih namena.

## **BIOGORIVA**

Pod pojmom biogorivo podrazumevaju se goriva koja ili sama spadaju u biomasu ili su nastala preradom biomase, te kao takva, za razliku od fosilnih goriva, spadaju u obnovljive izvore energije. U biogoriva se ubrajaju i goriva koja su nusprodukt drugih procesa i koja bi inače bila otpad. Nusproizvodi koji nastaju prilikom proizvodnje biogoriva su takođe veoma značajni za krajnju ekonomičnost biogoriva i značajno utiču na ekonomiju zemlje, jer se smanjuje potreba uvoza proizvoda koji se dobijaju pri proizvodnji biogoriva. Biogoriva, biodizel i bioetanol su tečna goriva, proizvedena iz poljoprivrednih kultura, kao obnovljivih resursa.

## **BIODIZEL**

Alternativno gorivo biodizel predstavlja savremeno gorivo današnjice, a može nastati kao sekundarna sirovina otpadnih ulja ili produkt namenski gajenih uljarica. Republika Srbija ima značajne potencijale da ovim alternativnim gorivom koje je tehnički podesno, ekonomski konkurentno, bazirano na obnovljivim sirovinama, ekološki povoljno i lako dostupno, zadovolji oko 15% potreba za dizelom.

U Visokoj školi elektrotehnike i računarstva strukovnih studija u Beogradu, studenti imaju mogućnost pohađanja laboratorijskih vežbi dobijanja biodizela iz predmeta Nove energetske tehnologije i Dobijanje energije iz otpada. Na taj način stiču dragoceno praktično iskustvo u pomenutoj oblasti. U nastavku će biti opisana laboratorijska postavka za proizvodnju biodizela.



Biodizel predstavlja alternativno gorivo koje se dobija iz neotpadnih ili otpadnih ulja. Biodizel je standardno tečno nemineralno gorivo, potpuno je biorazgradiv i nezapaljiv na sobnoj temperaturi i normalnom atmosferskom pritisku [1], potpunije sagoreva zbog prisustva kiseonika u strukturi (10–11%) i ima manju emisiju štetnih gasova u poređenju sa gorivima mineralnog porekla [2] čime redukuje koncentraciju štetnih gasova koji stvaraju efekat staklene bašte. Izbor osnovne sirovine za dobijanje biodizela zavisi od specifičnih uslova i prilika u konkretnim zemljama (klima, zastupljenost pojedinih poljoprivrednih kultura, ekonomski razvoj zemlje). Dominantne sirovine za dobijanje biodizela u različitim regionima sveta su prikazane u Tabeli 1 [3]. U Evropi se za proizvodnju biodizela najviše koristi ulje uljane repice (82,8%) [4] i ulje suncokreta (12,5%) [4].

Biodizel je prvo, i za sada jedino, alternativno gorivo koje je prošlo kompletnu evaluaciju izduvne emisije i potencijalnih zdravstvenih rizika po programu propisanom od strane Agencije za zaštitu životne sredine SAD (EPA – Environmental Protection Agency) [4]. Ova ispitivanja su pokazala da dizel motori sa pogonom na biodizel imaju značajno manju emisiju dima i čestica. Smanjenje emisije u proseku iznosi oko 40%. Niža emisija dima i čestica postiže se i pri primeni mešavine konvencionalnog dizel goriva i biodizela. Slični rezultati se dobijaju i u pogledu redukcije emisije ugljenmonoksida (smanjenje oko 40%) i ugljovodonika (smanjenje oko 65 %) [4]. Emisija oksida azota pri pogonu dizel motora na biodizel veća je u proseku oko 10% [4].

U okviru Erasmus+ projekta WamPPP, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija u Beogradu je nabavila opremu za proizvodnju biodizela iz otpadnih ili neotpadnih ulja koja će biti detaljno predstavljena u nastavku.

Tabela 1: Sirovine za dobijanje biodizela

Sirovina za dobijanje biodizela	Zemlja
Sojino ulje	SAD, Brazil
Uljana repica (80%) i suncokretovo ulje (20%)	Evropa
Palmino ulje	Indonezija, Malezija
Laneno i maslinovo ulje	Španija
Biljna ulja/životinjske masti	Kanada
Životinjske masti, salo junadi i uljana repica	Australija

## LABORATORIJSKA OPREMA ZA PROIZVODNJU BIODIZELA DL BIO – 10

Dva osnovna postupka za dobijanje biodizela, koji se mogu izvoditi na sobnoj ili višim temperaturama, na atmosferskom ili povišenom pritisku i uz prisustvo ili bez prisustva odgovarajućih katalizatora su:

- Šaržni postupak
- Kontinualni postupak
- 

Šaržni postupak podrazumeva da se celokupan sadržaj sirovina i katalizatora, odjednom ili u više navrata objedini u reaktoru u kome ostaju do kraja procesa. Nakon što se reakcija završi, vrši se razdvajanje komponenti, pražnjenje postrojenja i priprema za sledeće punjenje (šaržu). Šaržni

postupak je pogodan za mala postrojenja, kao i za česte promene sirovina, jer je fleksibilniji, a svaka se šarža može prilagoditi karakteristikama sirovina [5].

Kontinualni postupak podrazumeva kontinualno uvođenje sirovina i katalizaora u proizvodni proces i za njega je karakteristično korišćenje protočnih reaktora sa mešanjem ili cevnih reaktora. Kontinualni postupak omogućava nižu cenu i uniformniji kvalitet biodizela nego šaržni [6, 7], pa on u poslednje vreme preovladava, naročito za industrijsko dobijanje većih količina biodizela.

Kao najvažnija sirovina i primarni izvor energije pri dobijanju biodizela je otpadno ili neotpadno ulje. Jedan od načina prikupljanja značajnije količine otpadnih jestivih ulja jesu kuhinje u okviru restorana, vrtića, škola sa kuhinjom, studentskih domova, narodnih kuhinja itd. Hemijskim procesima esterifikacije se dobija čist biodizel ili mešavina biodizela i dizela u oznaci Bx (npr, B5 znači da ima 5% biodizela i 95% dizela). Načini korišćenja biodizela moraju biti regulisani zakonodavnom regulativom.

Prednosti korišćenja biodizela su da je to obnovljiv izvor energije, da poseduje nizak nivo toksičnosti, da se posle upotrebe mnogo brže razgrađuje od dizela nezagađujući okolinu, da ima nisku emisiju štetnih gasova ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , policiklični aromatični hidrokarbonati,...), da se odlično meša sa dizelom u bilo kom procentu. Biodizel je jedino alternativno gorivo koje se može koristiti za kretanje dizel automobila bez modifikacije. Mane iskorišćenja biodizela su: veća potrošnja zbog manje energetske vrednosti, niža tačka smrzavanja od konvencijalnog dizela fosilnog porekla, manje stabilan pri dužem skladištenju (ne može se čuvati duže od 6 meseci), emituje više azotnih oksida pri korišćenju od dizela.

Na slici 1 je predstavljena laboratorijska oprema za proizvodnju biodizela koja je integrisana u laboratoriju za zaštitu životne sredine i čije

formiranje predstavlja jedan od ciljeva Erasmus+ projekta WamPPP: “Waste management curricula development in partnership with public and private sector / WaMPPP 561821-EPP-1-2015-1-RS-EPPKA2-CBHE-JR (2015 - 3206 / OO1 - 001)”.

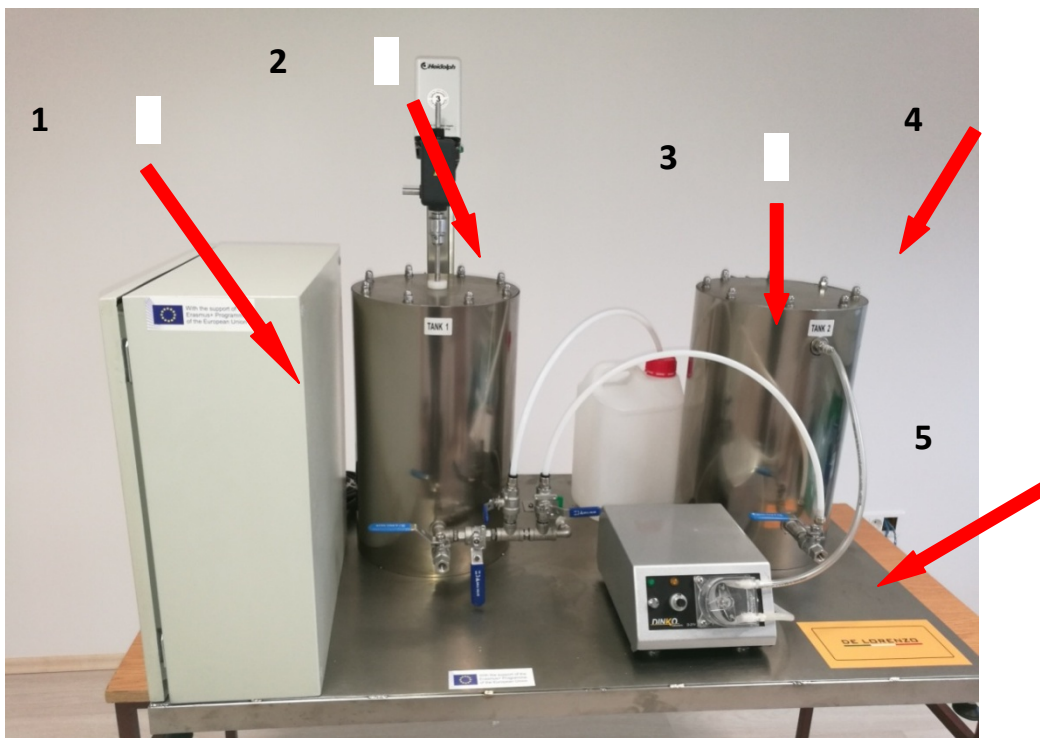
Oprema za proizvodnju biodizela DL BIO – 10 učvršćena je na podlogu dimenzija 40x40x2 cm [8]. Oprema se sastoji iz: komandne table (1), predtretmanskog rezervoara (tanka) (2), plastičnog rezervoara za alkohol (3), reaktora (4) i pumpe (5). Ulje koje treba da se tretira, odnosno koristi za proizvodnju biodizela se doprema u „tank 1“(predtretmanski tank) čije su dimenzije 270 mm prečnika i 440 mm visine, oblika valjka, izrađeno od nerđajućeg čelika. Kapacitet tanka je nešto veći, ali je predviđen za 10 l. Plastična posuda za dopremu metanola je kapaciteta 5 l [8].

Dobijanje biodizela sprovodi se transesterifikacijom (alkoholizom) svežih i otpadnih biljnih jestivih ulja metanolom. Step en iskorišćenja pri proizvodnji biodizela iz otpadnih i svežih ulja iznad je 80% i zavisi od vrste ulja. Gustina, viskoznost i tačka smrzavanja svih uzoraka biodizela zavise od vrste ulja od kojih se dobija biodizel.

Komponente laboratorijske postavke za proizvodnju biodizela [8] su:

1. Komandna tabla
2. Predtretmanski rezervoar
3. Rezervoar alkohola
4. Reaktor
5. Pumpa





Slika 1: Laboratorijska oprema za proizvodnju biodizela

Komandna tabla koja je prikazana na slici 2 sadrži sve komponente neophodne za aktiviranje i funkcionisanje postavke za proizvodnju biodizela, kao i zaštitne elemente za bezbedno rukovanje istim. Komandna tabla sadrži glavni prekidač koji stavlja ili isključuje celo postrojenje biodizela pod napon. Kada se biodizel postrojenje ne koristi glavni prekidač mora biti u poziciji „Off“. U slučaju vanrednog (havarijskog) stanja koristi se crveno dugme „Emergencia“. Prekidači „Resistance 1“, „Stirrer“, „Resistance 2“ i „Pump“ se koriste za aktivaciju sledećih elemenata respektivno: grejač u predtretmanskome rezervoaru, mešalica u predtretmanskome rezervoaru, grejač u reaktoru i pumpa. Na komandnoj tabli se nalaze i dva temperaturna kontrolera koji preko PID kontrolera omogućavaju/onemogućavaju rad grejača na određenoj kontrolisanoj temperaturi [8].



Slika 2: Komandna tabla laboratorijske opreme za proizvodnju biodizela

Predtretmanski rezervoar, kapaciteta oko 10 l izrađen od nerđajućeg čelika, sadrži mešalicu, grejač snage 1500 W i temperaturni senzor sa digitalnim kontrolerom. Rezervoar alkohola je izrađen od plastike i kapaciteta je 5 l. Reaktor, kapaciteta oko 10 l izrađen od nerđajućeg čelika, sadrži grejač snage 1500 W i temperaturni senzor sa digitalnim kontrolerom. Peristaltička pumpa sa podesivim protokom koji pomoću sistema ventila efikasno prenosi otpadno ulje iz predtretmanskog rezervoara u reaktor dozirajući pri tome količinu alkohola i obezbeđujući recirkulaciju (cirkulacija u oba smera).

Peristaltičke pumpe, poznate i kao crevne pumpe, odlične su za transport širokog spektra fluida kada se zahteva efikasnost i velika preciznost doziranja. Podjednako su efikasne sa viskoznim i abrazivnim medijima, kao i sa fluidima koji su osetljivi na deformacije. U suštini, peristaltička pumpa je vrsta pozitivno potisne zapreminske pumpe. Jednostavna konstrukcija pruža joj brojne prednosti u odnosu na druge tipove pumpi. Pre priključenja na jednofaznu utičnicu sa uzemljenjem treba proveriti da li su svi prekidači i ventili na poziciji „Off“. Pre puštanja u rad treba proveriti da li postoji curenje u cevima.

# **LABORATORIJSKA VEŽBA BROJ 1:**

## **Tehnologija proizvodnje biodizela iz prehrambenog ulja**

- Proizvodnja biodizela korišćenjem metanola i natrijum-hidroksida kao katalizatora
- Proizvodnja biodizela korišćenjem metanola i kalijum-hidroksida kao katalizatora

Datum: \_\_\_\_\_ Pregledao: \_\_\_\_\_



## **Predmet vežbe**

Cilj prve laboratorijske vežbe je da se studenti upoznaju sa tehnologijom i postupkom proizvodnje biodizela iz nekorišćenog i korišćenog prehrambenog ulja.

## **Proizvodnja biodizela**

Proces proizvodnje biodizela je hemijski proces. Hemijski proces se ogleda u reakciji ulja (biljnog ili životinjskog porekla) sa alkoholom (metanol ili etanol) i dobija se biodizel i kao sekundarna sirovina izdvaja se glicerol. Ovakav vid hemijske reakcije naziva se transesterifikacija. Biodizel se može dobijati od sledećih ulja: sojino ulje, ulje uljane repice, goveđi loj, svinjska mast, orahovo ulje i ulje avokada. Otpadna ulja se prethodno moraju prečistiti (filtrirati) od ostataka hrane. Katalizatori koji se koriste pri proizvodnji biodizela su: natrijum hidroksid, odnosno kalijum hidroksid i metanol.

Metanol je korišćen jer u poslednjem stupnju reakcije transesterifikacije u reakciji između monoglicerida i alkohola nastaje još jedan mol estra masnih kiselina, odnosno glicerol kao nusproizvod. Zbog formiranja stabilnih emulzija, separacija i prečišćavanja finalnih proizvoda ove složene reakcije (metil estri masnih kiselina i glicerol, odnosno izdvajanje alkohola koji je uzet u višku) teže su u slučaju etil nego metil estara [9]. U slučaju metanolize, obrazovana emulzija se brzo i lako rasloji, formirajući dve organske faze. Prva sadrži glicerol sa određenom količinom metanola, a u drugoj fazi su uglavnom prisutni metil estri masnih kiselina [10].

## ZADACI

### Zadatak 1

Proizvodnja biodizela iz nekorišćenog i korišćenog suncokretovog ulja koristeći metanol i natrijum hidroksid.

#### *Postupak:*

1. Sipati 5l suncokretovog ulja (korišćenog/nekorišćenog) u predtretmanski rezervoar.
2. Podesiti temperaturu predtretmanskog rezervoara na 70 - 90°C i pokrenuti proces mešanja kako bi se izvršila dehidracija. Održavati istu temperaturu dok mehurići ne nestanu. Temperatura ne sme prelaziti 90°C da se ne dobije biodizel slabijeg kvaliteta zbog kidanja lanaca polimera u ulju. Ukoliko se koristi nekorišćeno ulje, ovaj korak se može preskočiti, jer ulje ne sadrži nečistoće.
3. Pripremiti 160 ml metanola (99,8%) po litri ulja i 3,5 g NaOH (98%) po litri ulja. Ovi reagensi su vrlo toksični i sa njima treba postupati oprezno uz korišćenje ličnih zaštitnih sredstava (rukavice, mantil, naočare)
4. Upotrebiti peristaltičku pumpu, premeštajući vrelo ulje iz predtretmanskog rezervoara u reaktor i održavajući temperaturu na 50 - 55°C.
5. Dodati 75% smeše metanola i NaOH kroz peristaltičku pumpu.

6. Pokrenuti recirkulaciju u reaktoru u trajanju od 1.5h.
7. Ostaviti da odstoji dok se ne istaloži glicerol i ekstrahuje.
8. Dodati još 25 % smese metanola i NaOH kroz peristaltičku pumpu.
9. Nastaviti recirkulaciju u reaktoru još 1.5h.
10. Ostaviti da odstoji dok se ne istaloži glicerol i ekstrahuje.
11. Nakon ovih procesa biodizel može biti ispran destilovanom vodom, pažljivo mešajući i ostaviti da odstoji 12-24h. Ukloniti vodu.
12. Ponoviti proces 2 – 3 puta dok voda kojom se ispira biodizel ne bude pH neutralna.

Napomena: ovaj zadatak je potrebno uraditi i sa nekorisćenim i sa korišćenim suncokretovim uljem.

## **Zadatak 2**

Proizvodnja biodizela iz nekorišćenog i korišćenog suncokretovog ulja koristeći metanol i kalijum hidroksid.

### ***Postupak:***

Prati korake iz zadatka 1, s tim što se NaOH zamenjuje sa KOH (kalijum hidroksid). Po litri ulja koristi se 4,9 g kalijum hidroksida.

## **LABORATORIJSKA VEŽBA BROJ 2:**

Ispitivanje tehničkih karakteristika biodizela  
dobijenog u postrojenju za proizvodnju

- Ispitivanje viskoznosti
- Ispitivanje kalorijske moći
- Ispitivanje emisije čađi

Datum: \_\_\_\_\_ Pregledao: \_\_\_\_\_

## **Predmet vežbe**

Cilj druge laboratorijske vežbe je da se studenti upoznaju sa karakteristikama biodizela, da ispituju pojedine karakteristike i ispitane karakteristike da uporede sa standarnim vrednostima.

## **Kvalitet biodizela**

Glavni kriterijum kvaliteta biodizela je uključivanje njegovih fizičkih i hemijskih osobina u zahteve odgovarajućeg standarda. Standardi kvaliteta biodizela se kontinualno ažuriraju, prateći razvoj dizel motora, sve strožije standarde za emisiju gasova, ponovnu procenu podobnosti sirovina koje se koriste za proizvodnju biodizela, itd.

Trenutni standardi koji regulišu kvalitet biodizela na tržištu su zasnovani na različitim faktorima, koji variraju od regiona do regiona, uključujući karakteristike postojećih standarda za dizel gorivo, preovlađujućeg tipa dizel motora u regionu, emisione regulative tih motora, stepena razvoja i motiva za korišćenje biodizela.

**Kalorijska ili toplotna vrednost** je količina toplotne energije oslobođene sagorevanjem jedinične vrednosti goriva. Jedna od najznačajnijih odlika toplotne vrednosti je sadržaj vlage. Vazdušno sušena biomasa tipično ima oko 15-20% vlage, dok je sadržaj vlage za biomasu sušenu u peći zanemarljiv. Sadržaj vlage u uglju varira u opsegu od 2% do 30%. Svakako je specifična gustina većine sirovina za biomasu niska, čak i nakon zgušnjavanja ima se između 10% i 40% specifične gustine fosilnih goriva, dok tečna biogoriva imaju specifičnu gustinu uporedivu sa fosilnim gorivima.

**Tačka topljenja** se odnosi na temperaturu pri kojoj ulje u čvrstom stanju počinje da prelazi u tečno stanje. U slučajevima gde su temperature ispod tačke topljenja ceo gorivni sistem mora da se zagreje.

**Tačka mržnjenja** predstavlja temperaturu pri kojoj ulje počinje da prelazi u čvrsto stanje. Stoga je prilikom rada motora, ukoliko su temperature niže od tačke mržnjenja ulja, potrebno vršiti zagrevanje.

**Tačka paljenja** ili temperatura paljenja goriva je najniža temperatura do koje treba zagrejati gorivo, u propisanim uslovima ispitivanja, da se iz njega izdvoji toliko gorivih i isparljivih sastojaka da se mogu upaliti stranim izvorom paljenja i da trenutno sagore.

**Jodni broj** je količina joda, merena u gramima, koja je apsorbovana sa 100 grama datog ulja. Jodni broj se često koristi kao mera hemijske stabilnosti biodizela prema takvoj oksidaciji, koja je prethodno navedena. Jodni broj je određen merenjem broja dvostrukih veza u mešavini lanaca masnih kiselina u gorivu, uvođenjem joda u 100 grama uzorka koji se testira i merenjem koliko grama tog joda se apsorbuje. Apsorpcija joda se dešava na dvostrukim vezama, prema tome veći jodni broj ukazuje na veću količinu dvostrukih veza u uzorku, veći potencijal za polimerizaciju i stoga manju stabilnost.

**Viskoznost** se odnosi na “debljinu” ulja i određena je merenjem količine vremena potrebnog da određena količina ulja prođe kroz otvor određene veličine. Viskoznost utiče na podmazivanje injektora i atomizaciju goriva. Ulje većeg viskoziteta, nego što motor zahteva, daje veće otpore pri

kretanju, teže prodire u radne zazore, otežava pokretanje hladnog motora itd. Ulje manjeg viskoziteta ima znatno manju otpornost uljnog sloja, koji se lakše može razoriti pod dejstvom pritiska koji vlada između kliznih površina, tako da može doći do dodira metala po metalu i na taj način povećati (ubrzati) habanje auto delova u kontaktu.

**Cetanski broj** je relativna mera intervala između početka ubrizgavanja i automatskog paljenja goriva. Ako je cetanski broj veći, kraći je interval kašnjenja i veća je zapaljivost. Goriva sa niskim cetanskim brojem doprinose otežanom startovanju, buci i izduvnim gasovima. Uopšteno, dizel motori će raditi bolje sa gorivima sa cetanskim brojevima iznad 50. Cetanski testovi daju informaciju o kvalitetu zapaljivosti dizel goriva. Istraživanje pomoću cetanskih testova obezbediće informacije o potencijalnom prilagođavanju jedinjenja i aditiva dobijenih od biljnog ulja, kako bi se poboljšala njihova gorivna svojstva.

**Gustina** nam pokazuje koliko mase određene supstancije staje u jedinicu zapremine ( $1\text{m}^3$ ). Gušća ulja sadrže više energije. Na primer, benzin i dizel goriva imaju uporedivu energiju po težini, ali dizel gorivo je gušće i stoga daje više energije po litru.

Svi ovi prethodno navedeni aspekti predstavljaju ključne aspekte koji određuju efikasnost goriva za dizel motore. Ali postoje i drugi aspekti/karakteristike koji nemaju direktnu vezu sa performansama, ali su značajni iz razloga kao što je ekološki uticaj. Ti aspekti su:

**Procenat pepela** predstavlja meru količine metala sadržanog u gorivu. Veće koncentracije ovakvih materijala mogu uticati na postavljanje



vrhova injektora, odlaganje sagorevanja i habanje sistema. Sadržaj pepela je bitan za toplotnu vrednost, jer toplotna vrednost opada sa povećanjem sadržaja pepela. Sadržaj pepela u biogorivima je uobičajeno niži u odnosu na većinu ugljeva i sadržaj sumpora je mnogo manji u odnosu na većinu fosilnih goriva.

**Procenat sumpora** predstavlja količinu sumpora u gorivu i zakonski je ograničen na veoma mali procenat za dizel goriva koja služe za pokretanje motora u drumskom saobraćaju.

U Tabeli 2 su prikazane vrednosti za svojstva biodizela po evropskom standardu EN14214.

Tabela 2: Zahtevi i metode ispitivanja za biodizel po evropskom standardu (EN14214)

Svojstvo	Metod ispitivanja	Minimalna granica	Maksimalna granica	Jedinica
Sadržaj estra	EN 14103	96.5	-	% (m/m)
Gustina na 15°C	EN ISO 3675, EN ISO 12185	860	900	kg/m <sup>3</sup>
Viskoznost na 15°C	EN ISO 3104, ISO 3105	3.5	5.0	mm <sup>2</sup> /s
Tačka paljenja	EN ISO 3679	120	-	°C
Sadržaj sumpora	EN ISO 20846, EN ISO 20884	-	10.0	mg/kg
Ostaci ugljenika (u 10% raspodele ostatka)	EN ISO 10370	-	0.30	% (m/m)
Cetanski broj	EN ISO 5165	51	-	-
Sadržaj sulfatnog pepela	ISO 3987	-	0.02	% (m/m)
Sadržaj vode	EN ISO 12937	-	500	mg/kg
Ukupna kontaminacija	EN 12662	-	24	mg/kg
Korizija bakarne trake (3 sata, 50°C)	EN ISO 2160	-	1	class
Oksidativna stabilnost, 110°C	EN 14112	6.0	-	sati
Kiselost	EN 14104	-	0.50	mg KOH/g
Jodni broj	EN 14111	-	120	g I/100 g
Metil estar linolenske kiseline	EN 14103	-	12	% (m/m)
Polinezasićeni (≥ 4 dvostruke veze) metil estri		-	1	% (m/m)
Sadržaj metanola	EN 14110	-	0.20	% (m/m)

Svojstvo	Metod ispitivanja	Minimalna granica	Maksimalna granica	Jedinica
Sadržaj monoglicerida	EN 14105	-	0.80	% (m/m)
Sadržaj diglicerida	EN 14105	-	0.20	% (m/m)
Sadržaj triglicerida	EN 14105	-	0.20	% (m/m)
Slobodni glicerol	EN 14105; EN 14106	-	0.02	% (m/m)
Ukupni glicerol	EN 14105	-	0.25	% (m/m)
Alkalni metali (Na + K)	EN 14108; EN 14109	-	5.0	mg/kg
Zemnoalkalni metali (Ca + Mg)	EN 14538	-	5.0	mg/kg
Sadržaj fosfora	EN 14107	-	10.0	mg/kg

## ZADACI

### Zadatak 1

#### *Ispitati toplotu moć dobijenog biodizela.*

Toplotna moć je određena prenosom toplote koja se oslobađa sagorevanjem na izabranu količinu vode u epruveti. Porediti toplotnu moć različitih vrsta biodizela dobijenih različitim katalizatorima (natrijum-hidroksid i kalijum-hidroksid) i konvencijalnog dizel goriva.

Napomena: Krajnja temperatura vode ne sme da bude veća od 80°C da ne bi dolazilo do značajnijeg isparavanja tj. faznog prelaza iz tečnog u gasovito stanje.

#### *Uputstvo:*

1. Izmeriti masu 30 cm<sup>3</sup> destilovane vode ( $m$ )
2. Izmeriti početnu temperaturu vode  $T_1$  pomoću termometra
3. Postaviti epruvetu sa destilovanom vodom u stalak
4. Odvojiti 0,5 cm<sup>3</sup> goriva i izmeriti mu masu ( $M$ )
5. Dodati 0,2 cm<sup>3</sup> etanola i zapaliti ispod epruvete sa destilovanom vodom
6. Neposredno pošto izgori sva smeša, izmeriti krajnju temperaturu vode  $T_2$
7. Izračunati razliku priraštaj temperature  $\Delta T$ :

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (1)$$

8. Izračunati toplotu koju je destilovana voda apsorbivala:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

gde je  $c = 4,1813 \frac{\text{J}}{\text{g} \times \text{K}}$  specifični toplotni kapacitet vode.

9. Izračunati toplotnu moć goriva:

$$H = \frac{Q}{M} \quad (3)$$

Konkretno rezultate za različite vrste goriva upisati u Tabelu 3.

Tabela 3: Kalorijska vrednost analiziranih goriva

Tip goriva	T <sub>1</sub> [K]	T <sub>2</sub> [K]	ΔT [K]	m [g]	Q [J]	M [g]	H [kJ/kg]

Gde su:

T<sub>1</sub> - Početna temperatura vode [K]

T<sub>2</sub> - Krajnja temperatura vode [K]

ΔT - Temperaturna razlika [K]

m - Masa vode [g]

Q - Količina toplote [kJ]

M - Masa goriva [g]

H - Toplotna moć [kJ/g]

## Zadatak 2

### *Ispitati viskoznost dobijenog goriva.*

Viskozitet predstavlja karakteristiku unutrašnjeg trenja tečnih materija: to je izraz otpora kojim se materija suprotstavlja delovanju spoljnih sila, koje teže da izvrše pomeranje čestica te materije. Izražava se na više načina: dinamički, kinematski, relativni. Određuje se eksperimentalno i zavisi od vrste materije i temperature.

Viskozitet po Engleru  $E$  se određuje kao odnos vremena isticanja iste zapremine ispitivanog goriva na određenoj temperaturi i destilovane vode na temperaturi 20°C:

$$E_t = \frac{\text{Vreme isticanja tečnosti na temperaturi } t}{\text{Vreme isticanja destilovane na 20°C}} \quad (4)$$

### *Uputstvo:*

1. Postaviti od 2 ml pipetu na stalak sa postoljem
2. Postaviti epruvetu ispod pipete u stalak za epruvete
3. Napuniti pipetu uzorkom goriva.
4. Izmeriti vreme za koje se pipeta isprazni.

Viskozitet tečnosti  $\eta$  na temperaturi  $t$  po Engleru se određuje prema relaciji:

$$\eta = \frac{\tau_g^t}{\tau_v^t} \quad (5)$$

gde su:

$\eta$  - viskozitet tečnosti na temperaturi  $t$  po Engleru [°E]

$\tau_g^t$  - vreme isticanja goriva na temperaturi  $t$  [s]

$\tau_v^t$  - vreme isticanja vode na temperaturi 20°C [s]

5. Ponoviti merenja 3 puta i izračunati srednju vrednost.

6. Izmeriti viskoznost svih dobijenih tipova biodizela i uporediti.

Rezultate merenja upisati u Tabelu 4.

Tabela 4: Određivanje relativnog viskoziteta goriva

	Biodizel (NaOH)		Biodizel (KOH)		Dizel	
Broj merenja	$\tau_g^t$	$\eta$	$\tau_g^t$	$\eta$	$\tau_g^t$	$\eta$
1.						
2.						
3.						
Srednja vrednost						

### Zadatak 3

*Izmeriti zagađenje preko čađi koja se dobija prilikom sagorevanja.*

#### *Uputstvo:*

1. Zapaliti 0.3 cm<sup>3</sup> biodizela.
2. Ukloniti svu čađ dobijenu nakon sagorevanja uz pomoć prethodno izmerene papirne salvete.
3. Ponovo izmeriti salvetu sa čađi i izračunati težinu čađi.
4. Uporediti ovaj sadržaj svih dobijenih goriva.

Rezultate merenja upisati u Tabelu 5.

Tabela 5: Određivanje količine čađi nastale sagorevanjem

	Biodizel (NaOH)	Biodizel (KOH)	Dizel
Masa čađi [g]			



#### **Zadatak 4**

##### ***Odrediti tempereaturu paljenja biodizela.***

*Temperatura paljenja ( $t_p$ ) goriva* je najniža temperatura do koje treba zagrijati gorivo, u propisanim uslovima ispitivanja, da se iz njega izdvoji toliko gorivih i isparljivih sastojaka da se mogu upaliti stranim izvorom paljenja i da trenutno sagore.

Temperatura paljenja se može odrediti u:

- (1) zatvorenom sudu, po metodi Penski-Martens,  $t_p < 65\text{ }^{\circ}\text{C}$  i
- (2) otvorenom sudu, po Markusonu,  $t_p > 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

gde je:

$t_p$  -temperatura paljenja uzorka.

##### ***Uputstvo:***

1. Uzorak za ispitivanje polako zagrevati na magnetnoj mešalici, uz stalno mešanje, pri čemu se poklopac nalazi na posudi.
2. Probni plamen usmerava se u posudu sa uzorkom za ispitivanje, uz kratko otvaranje poklopca, u određenim vremenskim razmacima, uz istovremeni prestanak mešanja.
3. Ukoliko se paljenje uzorka postigne pri temperaturi nižoj od  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperaturu pri kojoj je došlo do paljenja upisati u Tabelu 6.

4. Postupak ponoviti tri puta sa novim uzorkom i korespondentne temperature upisati u Tabelu 6.
5. Ako se paljenje uzorka ne postigne pri temperaturi nižoj od  $65^{\circ}\text{C}$ , pristupiti određivanju temperature paljenja prema [11] na sledeći način opisan u narednim tačkama.
6. Isključiti grejanje magnetne mešalice, skinuti poklopac sa posude i sačekati dok temperatura ne opadne na  $30^{\circ}\text{C}$ .
7. Uključiti zagrevanje na magnetnoj mešalici i nastojati da temperatura uzorka u početku raste  $6\pm 1^{\circ}\text{C}$ , a kada se približi očekivanoj temperaturi paljenja može važiti odstupanje  $3\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .
8. Čim se postigne temperatura cca  $30^{\circ}\text{C}$  ispod očekivane tačke paljenja, pokrenuti plamičak levo-desno iznad površine uzorka ravnomernom brzinom. Pomenuti postupak se vrši posle svakog stepena povišenja temperature. Kretanje plamička iznad uzorka treba da traje 1 sekundu. Temperatura pri kojoj se prvi put zapale sakupljeni gasovi na površini uzorka očita se u celim stepenima i označi kao tačka zapaljivosti.
9. Postupak ponoviti 3 puta i podatke upisati u Tabelu 6.
10. Izračunati srednje vrednosti i upisati u Tabelu 6.

Tabela 6: Određivanje temperature paljenja biodizela

	Biodizel (NaOH)	Biodizel (KOH)	Dizel
Broj merenja	Temperatura paljenja	Temperatura paljenja	Temperatura paljenja
1.			
2.			
3.			
Srednja vrednost			

## LITERATURA

- [1] Skala, D., Glišić, S. (2004) Biodizel I. - istorijat, proizvodnja i standardi. Hemijska industrija, vol. 58, br. 2, str. 73-78
- [2] A. Srivastava, R. Prasad, Renew. Sustain. Energy Rev. 4 (2000) 111-132.
- [3] I. S. Stamenković i saradnici: Kontinualni postupci dobijanja biodizela, Hem. ind. 63 (1) 1–10 (2009)
- [4] Z.Mustapić, T.Krička, Z.Stanić, Biodizel kao alternativno motorno gorivo, Energija, god. 55, br. 6., str. 634 – 657, (2006)
- [5] D. Sinčić, Biodizel: Svojstva i tehnologija proizvodnje. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, (2008)
- [6] H. Nouredini, D. Harkey, V. Medikonduru, J. Am. Oil Chem. Soc. 75 (12) (1998) 1775-1783
- [7] D. Darnoko, M. Cheryan, J. Am. Oil Chem. Soc. 77 (12) (2000) 1269-1272.
- [8] Grujić A., Petrović V.,: Proizvodnja biodizela iz ulja, Druga naučno-stručna konferencija ARA, Visoka škola strukovnih studija Arandjelovac, maj 2017
- [9] W. Zhou, S.K. Konar, D.G.V. Boocock, J. Am. Oil Chem. Soc. 80 (4) (2003) 367-371
- [10] L.C. Meher, V.D. Sagar, S.N. Naik, Renew. Sustain. Energy Rev. 10 (3) (2006) 248-268.
- [11] N.Đurišić-Mladenović, Z.Predojević, B.Škrbić Konvencionalna i napredna tečna biogoriva, Hem. Ind. 70 (3), str. 225–241 (2016)

- [12] M. Tešić, F. Kiš, R. Marinković, Mogućnost proizvodnje sirovina za biodizel u poljoprivredi Vojvodine/Srbije, Biblid: 1450-5029 13; 1; str. 31-34, (2009)
- [13] Dominik Rutz, Rainer Janssen, Overview and Recommendations on Biofuel Standards for Transport in the EU, München, Germany, May 2006.
- [14] István Barabás and Ioan-Adrian Todoruț (2011). Biodiesel Quality, Standards and Properties, BiodieselQuality, Emissions and By-Products, Dr. Gisela Montero (Ed.), ISBN: 978-953-307-784-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/biodiesel-quality-emissions-and-by-products/biodiesel-qualitystandards-and-properties>.