

# Mjerenje viskoznosti mješavine tekućina

---

**Cenger, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:073516>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-09**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH**  
**TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**MJERENJE VISKOZNOSTI MJEŠAVINE TEKUĆINA**

**Završni rad**

**Josip Cenger**

**Osijek, 2019.**

# SADRŽAJ

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadak završnog rada.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Viskoznost fluida .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Opis gibanja realnih fluida.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Gibanje tijela u realnom fluidu .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Opis eksperimenta.....</b>	<b>13</b>
<b>4. Analiza i rasprava rezultata.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Analiza rezultata eksperimenta sa suncokretovim uljem.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2. Analiza rezultata eksperimenta sa etanolom.....</b>	<b>22</b>
<b>5. Primjena viskoznosti.....</b>	<b>31</b>
<b>6. Zaključak.....</b>	<b>33</b>
<b>7. Prilozi.....</b>	<b>34</b>
<b>Sažetak.....</b>	<b>35</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>36</b>
<b>Životopis.....</b>	<b>37</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>38</b>

# 1. UVOD

Viskoznost tj. unutarnje trenje je osobina tekućina i plinova da pružaju otpor pri međusobnom gibanju njihovih slojeva. Jača viskozna tvar djeluje ljepljivo i teško se preljeva. Ulje ima veću viskoznost od vode, ali je manje gustoće i pliva na vodi. Zagrijavanjem ulja znatno se smanjuje njegova viskoznost.

Ako se kroz lijevak pusti litra vode, a kroz drugi litra ulja, može se primjetiti da će prije proteći voda nego ulje. Ta pojava je posljedica unutarnjeg trenja u fluidu koja se naziva viskoznost. Viskoznost fluida se očituje samo pri gibanju fluida. Slično djelovanju sile trenja između čvrstih tijela i podloge po kojoj se gibaju, sile viskoznog trenja između slojeva fluida koji se gibaju uzrokuju pretvorbu kinetičke energije gibanja u toplinsku energiju fluida. Fluidi koji imaju veću viskoznost pokušavaju se zaljepiti za čvrstu površinu s kojom graniče, stoga sloj viskoznog fluida koji se nalazi odmah uz stjenku gotovo miruje, a brzine pojedinih slojeva fluida se povećavaju pri čemu se sloj fluida u središnjem djelu cijevi giba najvećom brzinom. Sile viskoznog trenja opiru se gibanju jednog sloja fluida u odnosu na drugi, stoga kako bi viskozni fluid protjecao kroz cijev potrebno je na ulazu u cijev primjeniti veći tlak od onoga na izlazu iz cijevi.

Utjecaj viskoznosti fluida značajan je pri protjecanju tekućina u cijevima, krvi u krvotoku, motornih ulja u industrijskim postrojenjima i mnogim drugim slučajevima. Fluidi koji lako teku kao što su voda i benzin, imaju manju viskoznost nego gušće tekućine kao što su ulje ili med.

U ekperimentalnom dijelu istražuje se gibanje tijela (kuglice) u viskoznom fluidu kako bi se dredili koeficijenti viskoznosti fluida (dinamički i kinematički).

Biogoriva su jedan od alternativnih goriva koje je postalo poznato javnosti, te je najraširenije biogorivo u Europi. Nastaje od ulja ili masti procesom transesterifikacije (proces zamjene organske grupe estera R s organskom grupom alkohola R') i slično je mineralnom dizelu. Kombiniraju se ulja sa natrijevim hidroksidom i metanolom ili etanolom, a kao rezultat reakcije dobiva se biodizel i glicerol. Biodizel se može koristiti svakom dizel motoru kada se pomješa s mineralnim dizelom. Jedno od ulja pomoću kojega se proizvodi biogoriva su i suncokretovo ulje a isto tako metanol ili etanol se uz pomoć natrijevog hidroksida veže za masne kiseline iz ulja stvarajući biogorivo i kruti glicerol. Fluidi koji su obrađeni u laboratoriju su suncokretovo ulje i etanol. Razlog zbog

kojeg su korištena ta dva fluida je to što su oni jedni od bitnih komponenti za izradu biogoriva. Etanol je topljiv u vodi, i to ga čini jako pogodnim za korištenje u industrijama za proizvodnju boja, parfema ali najviše se koristi u proizvodnji alkoholnih pića. Također se koristi i za dobivanje goriva za vozila i smatra se biogorivom druge generacije. Etanol se upotrebljava kao pogonsko gorivo čist ili u smjesama s benzinom. Prednost primjene bioetanola u odnosu na fosilna goriva značajno je smanjenje emisije stakleničkih plinova i toksičnih aromatskih spojeva. Pomiješan s benzinom etanol daje spoj gasohol koji se koristi kao automobilsko gorivo. Također se može miješati s vodom i mnogim organskim otopinama u svim omjerima.

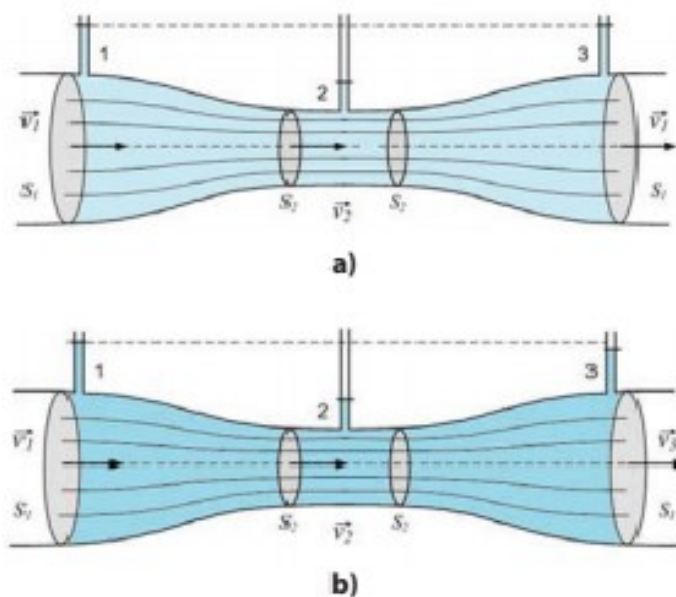
## **1.1. Zadak završnog rada**

Zbog unutrašnjeg trenja između čestica tvari, plinovi i tekućine imaju različitu viskoznost. Viskoznost, kao funkcija strukture tvari i njezine temperature, može se odrediti eksperimentalno na različite načine. U ovom radu potrebno je, mjerenjem parametara gibanja tijela u fluidu, eksperimentalno odrediti viskoznost mješavine dvaju fluida u različitim omjerima i pri različitim temperaturama.

## 2. VISKOZNOST FLUIDA

Tlak, gustoća i volumen su fizikalne veličine koje se koriste u statici fluida za opis mirujućeg fluida. Međutim protjecanje fluida može biti vrlo složeno budući da srednja brzina čestica fluida nije jednaka nuli.

Fluidi se mogu podijeliti na idealne i realne. Idealni fluid je nestlačiv, temperatura mu je stalna, protok idealnog fluida je jednolik, pa brzina i tlak nisu ovisni o vremenu, protok mu je laminaran te nije viskozan što znači da nema trenja između slojeva fluida.



**Slika 2.1** Protjecanje fluida kroz vodoravnu cijev  
a) protok idealnog fluida, b) protok realnog fluida [2]

Gibanje idealnog fluida određeno je jednačbom kontinuiteta

$$q = \frac{dV}{dt} = Sv = \text{konst.} \quad (2-1)$$

prema kojoj je protok  $q$ , odnosno promjena volumena  $dV$  u vremenu  $dt$  kroz bilo koju površinu  $S$  presjeka toka fluida stalan. Pri tome su brzine idealnog fluida na svim mjestima duž poprečnog presjeka cijevi stalne i jednake.

Bernoullijeva jednadžba koja predstavlja zakon očuvanja mehaničke energije fluida koristi se za opis gibanja idealnog fluida. Jednadžba pokazuje da za nestlačivi i neviskozni fluid zbroj triju doprinosa tlaku duž cijevi stalan

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{konst.} \quad (2-2)$$

Ukoliko idealni fluid protječe kroz vodoravnu cijev promjenjivog presjeka, kao što prikazuje slika 2.1a., tada se gibanje fluida može opisati sa Bernoullijevom jednadžbom,

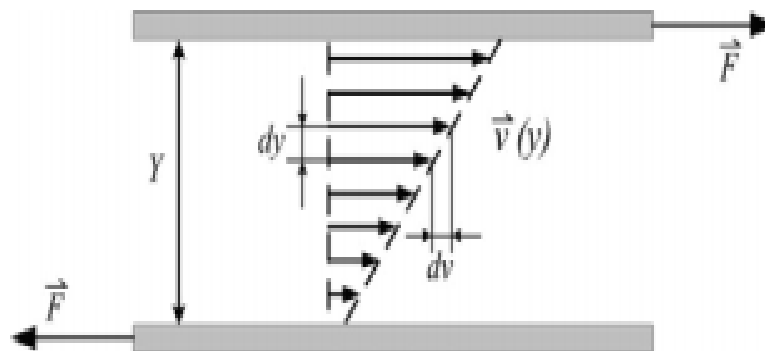
$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gy_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gy_2 = p_3 + \frac{1}{2}\rho v_3^2 + \rho gy_3 \quad (2-3)$$

Pri čemu se otvori cijevi na istoj visini ( $y_1 = y_2 = y_3$ ) i brzine protjecanje fluida su jednake na svakom mjestu duž poprečnog presjeka cijevi.

Fluid se opire vanjskim smičnim silama putem viskoznih napetosti, koja se javljaju kao reakcija na brzinu deformacije (u elastičnim tijelima su te napetosti definirane Hookovim zakonom, kao reakcija na deformaciju). U newtonskim fluidima viskozna napetosti su linearno razmjerne brzini deformacije fluida. Koeficijent razmjernosti se naziva (dinamička) viskoznost fluida  $\eta$ . Viskoznost je fizikalno svojstvo fluida, koje pokazuje njegov otpor ka tečenju, a ovisi o termodinamičkom stanju fluida. Kod plinova s porastom temperature viskoznost raste, a kod kapljevina opada.

## 2.1. Opis gibanja realnih fluida

Gibanje realnog fluida prikazanom na slici 2.1b., pokazuje odstupanje od Bernoullijeve jednačbe (2-3). Naime, visina stupca vode na mjestu 3 je manja od visine stupca vode na mjestu 1. Prema tome, u ovom slučaju ne vrijedi zakon očuvanja mehaničke energije jer, pri protjecanju realnih fluida kroz cijev, djeluju disipativne sile koje dio mehaničke energije pretvaraju u nemehanički oblik. Disipativna sila koja djeluje pri gibanju fluida je sila unutarnjeg trenja između slojeva fluida te između stijenki cijevi i fluida. Upravo zbog pojave sila viskoznog trenja između slojeva fluida i trenja između stijenki cijevi i fluida, realni fluidi razlikuju se od idealnih.



Slika 2.2 Objašnjenje viskoznosti [2]

Na taj način se pomiču samo slojevi tekućine koji su blizu gornjoj stijenci te je njihov pomak veći što su bliži gornjoj stijenci. Nakon nekog vremena stijenska će se gibati stalnom brzinom  $\vec{v}$ .

To znači da je vučna sila  $\vec{F}$  silom trenja  $-\vec{F}$ .

Zbog adhezije sloj tekućine koji su u samu stijenu je prilijepljen uz stijenu i giba se zajedno s njom. Ovaj sloj djeluje manjom silom adhezije na susjedni niži i povlači ga za sobom u smjeru gibanja. Međutim, na susjedni sloj djeluje i sila unutarnjeg trenja (viskoznost) između slojeva tekućine pa se on giba sporije. To se događa i između ostalih slojeva. Uslijed toga brzine pojedinih slojeva tekućine postaju sve manje i opadaju s dubinom tekućine ispod gornje stijene tako da će sloj tekućine uz donju stijenu praktički mirovati (slika 2.2). Ovakvo gibanje fluida se naziva laminarnim ili slojevitim, te se pri takvom gibanju slojevi fluida ne miješaju. Sila  $F$  je proporcionalna dodirnoj površini  $S$  među slojevima te je veća što se brzina  $v$  više mijenja s



udaljenosti  $y$  od ploče. Prema tome, sila viskoznog trenja između dva susjedna sloja fluida, čija je površina  $S$  i koji su međusobno udaljeni za  $dy$  je:

$$F = \eta \cdot S \frac{dv}{dy} \quad (2-4)$$

Relacija (2-4) vrijedi samo za laminarno, odnosno slojevito gibanje fluida (Newtonov kriterij).

Pri tome je  $\eta$  koeficijent dinamičke viskoznosti koji ovisi o vrsti fluida i o temperaturi.

Koeficijent dinamičke viskoznosti se mijenja s temperaturom prema relaciji:

$$\eta = A e^{\frac{E}{RT}} \quad (2-5)$$

gdje su  $A$  i  $E$  konstante koje ovise o vrsti fluida,  $R$  plinska konstanta, a  $T$  temperatura fluida. Mjerna jedinica, prema SI-sustavu, za koeficijent dinamičke viskoznosti je Pas (paskal sekunda). Koeficijent dinamičke viskoznosti ima malu vrijednost za fluide koji lako protječu, npr. vodu i benzin, dok veliku vrijednost ima za fluide koji teško protječu, npr. glicerin i ulje.

**Tablica 2.1.** Tablične vrijednosti dinamičke viskoznosti fluida ovisno o temperaturi [3]

T V A R	Dinamička viskoznost $\eta$ [ Pa · s ]			
	0 °C	20 °C	50 °C	100 °C
Voda	$17.9 \cdot 10^{-4}$	$10.0 \cdot 10^{-4}$	$5.5 \cdot 10^{-4}$	$2.8 \cdot 10^{-4}$
Etanol	$17.8 \cdot 10^{-4}$	$12.0 \cdot 10^{-4}$	$7.0 \cdot 10^{-4}$	$3.3 \cdot 10^{-4}$
Glicerin	12.1	1.48	0.18	-
Zrak	$17.9 \cdot 10^{-6}$	$18.5 \cdot 10^{-6}$	$19.3 \cdot 10^{-6}$	$21.2 \cdot 10^{-6}$

Koeficijent  $\gamma$  kinematičke viskoznosti fluida određen je relacijom:

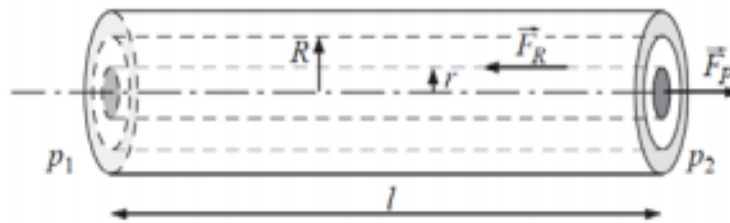
$$\gamma = \frac{\eta}{\rho_{tek}} \quad (2-6)$$

gdje je  $\eta$  koeficijent dinamičke viskoznosti,  $\rho_{tek}$  gustoća fluida. Mjerna jedinica za koeficijent kinematičke viskoznosti je  $m^2/s$ .

**Tablica 2.2.** Tablične vrijednosti kinematičke viskoznosti ovisno o temperaturi [3]

T V A R	Kinematička viskoznost $\nu$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]			
	0 °C	20 °C	50 °C	100 °C
Voda	$17,9 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$0,55 \cdot 10^{-6}$	$0,29 \cdot 10^{-6}$
Etanol	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$0,45 \cdot 10^{-6}$
Glicerin	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$0,15 \cdot 10^{-3}$	-
Zrak	$13,7 \cdot 10^{-6}$	$15,6 \cdot 10^{-6}$	$18,5 \cdot 10^{-6}$	$23,7 \cdot 10^{-6}$

Pomoću Newtonovog zakona za fluide (2-4) može se odrediti protok  $q_v$  pri laminarnom protjecanju viskoznog fluida kroz cijev polumjera  $R$  i duljine  $l$  (slika 2.3.). Slojevi fluida koji se laminarno gibaju, na slici 2.3., su prikazani nizom koncentričnih valjaka.



**Slika 2.3.** Sile i tlakovi koji djeluju na pojedini sloj fluida u cijevi [2]

Fluid se giba u cijevi zbog djelovanja sile  $F_p$  koja je posljedica razlika tlakova  $\Delta p = p_1 - p_2$  između baza valjka polumjera  $r$ ,

$$F_p = r^2 \pi \cdot \Delta p \quad (2-7)$$

Isto tako, na sloj fluida koji se nalazi na udaljenosti  $r$  od osi cijevi djeluje sila viskoznog trenja

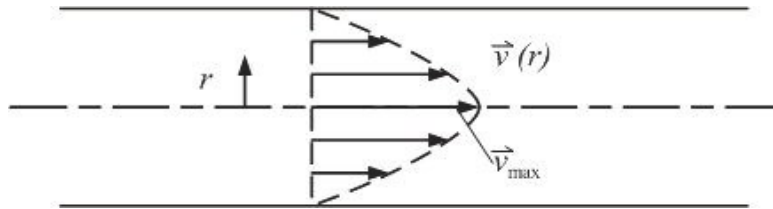
$$F_R = \eta \cdot (2r\pi \cdot l) \frac{dv}{dr} \quad (2-8)$$

Ove dvije sile su u ravnoteži,  $F_p = F_R$  i fluid se giba stalnom brzinom, pa vrijedi

$$\eta \cdot (2r\pi \cdot l) \frac{dv}{dr} = r^2 \pi \cdot \Delta p \quad (2-9)$$

Bez detaljnijeg matematičkog izvoda, iz jednadžbe (2-8) može se odrediti brzina pojedinog sloja fluida. Ovisnost  $v(r)$  brzine  $v$  o polumjeru  $r$  pojedinog sloja fluida je parabolična i dana je relacijom

$$v(r) = \frac{\Delta p}{4\eta \cdot l} \cdot (R^2 - r^2) \quad (2-10)$$

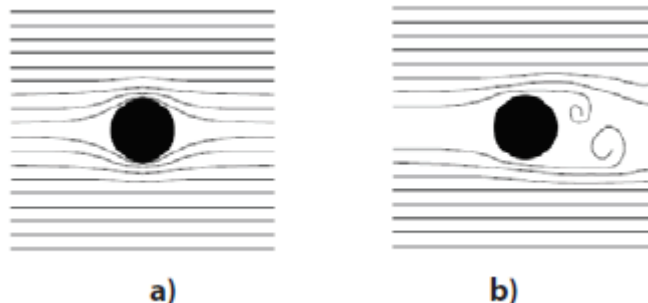


**Slika 2.4.** Parabolična raspodjela brzina slojeva fluida koj se giba laminarno. [2]

Najvećom brzinom se giba sloj fluida u osi cijevi ( $r = 0$ ). Brzina slojeva fluida se smanjuje s povećanjem udaljenosti od osi cijevi tako da je brzina sloja fluida uz samu stijenku cijevi ( $r = R$ ) jednaka nuli (sl.2.4.). Protok  $q_v$  realnog fluida tj. količina fluida koji u vremenu proteče kroz cijev polumjera  $R$  i duljine  $l$  određen je relacijom

$$q_v = \frac{\pi \Delta p}{8\eta \cdot l} \cdot R^4 \quad (2-11)$$

Relacija (2-10) predstavlja Poiseuilleov zakon laminarnog protjecanja viskoznog fluida kroz cijev polumjera  $R$  i duljine  $l$  na čijim krajevima postoji razlika tlakova  $\Delta p$ , a  $\eta$  je koeficijent dinamičke viskoznosti fluida. Relacija (2-10) često se koristi pri eksperimentalnom određivanju koeficijenta viskoznosti nekog fluida.



**Slika 2.5.** Ilustracija a) laminarnog i b) turbulentnog toka fluida oko kugle. [2]

Međutim, ukoliko se brzina protoka fluida postupno povećava, u određenom trenutku laminarno strujanje fluida će prijeći u turbulentno, tj. strujanje pri kojem se slojevi miješaju i nastaju vrtlozi. Slika 2.5. prikazuje ilustraciju laminarnog i turbulentnog gibanja fluida oko kugle.

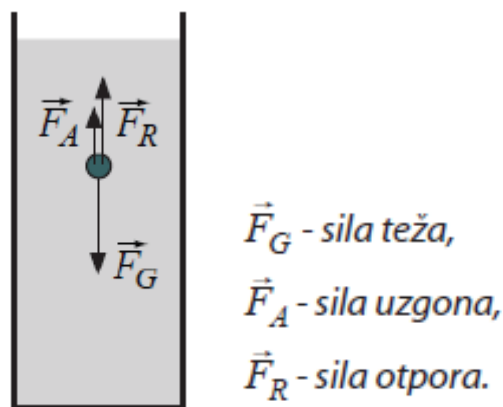
1883. godine O.Reynolds je ustanovio da se gibanje fluida kroz neku cijev može opisati pomoću bezdimenzionalne veličine, tj. broja koj se naziva Reynoldsov broj

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta} \quad (2-12)$$

gdje je  $\rho$  gustoća fluida,  $\eta$  dinamička viskoznost,  $v$  brzina strujanja, a  $l$  karakteristična dimenzija koja je određena površinom prjesjeka cijevi ili dimenzijom tijela koje se giba kroz fluid.

## 2.2. Gibanje tijela u realnom fluidu

Na tijelo koje se giba u fluidu djeluje sila teže, sila uzgona i sila otpora sredstva. Pritom, kada se tijelo giba kroz idealni fluid, laminarno strujanje fluida ne daje nikakvu silu otpora gibanju tijela. Međutim, pri gibanju tijela u viskoznom fluidu, viskoznost i turbulentan protok fluida uzrokuju silu otpora koja ovisi o brzini i geometriji tijela, te o viskoznosti i brzini fluida. Na slici 2.6. prikazane su sile koje djeluju na kuglicu koja pada u viskoznom fluidu.



**Slika 2.6.** Sile koje djeluju na kuglicu koja pada u viskoznom fluidu. [2]

Sila teže  $F_G$  i sila uzgona  $F_A$  koje djeluju na padajuću kuglicu u viskoznom fluidu su

$$F_G = m \cdot g = \frac{4}{3} \cdot r_k^3 \cdot \pi \cdot \rho_k \cdot g$$

$$F_A = \rho_f \cdot V_k \cdot g = \frac{4}{3} \cdot r_k^3 \cdot \pi \cdot \rho_f \cdot g \quad (2-13)$$

gdje su  $m_k$ ,  $V_k$ ,  $\rho_k$ ,  $r_k$  masa, volumen, gustoća i polumjer kuglice, a  $\rho_f$  gustoća fluida. U slučaju vrlo sporog gibanja kuglice u viskoznom fluidu, sila otpora  $F_R$ , određena je Stokesovim zakonom

$$F_R = 6\pi \cdot \eta \cdot r_k \cdot v \quad (2-14)$$

gdje je  $r_k$  polumjer kuglice,  $\eta$  koeficijent dinamičke viskoznosti fluida, a  $v$  stalna brzina kuglice koja pada u fluidu. Prema tome, sila otpora pri gibanju kuglice u viskoznom fluidu je proporcionalna brzini gibanja kuglice, pa se relacija (2-13) može kraće napisati u obliku

$$F_R = \beta \cdot v \quad (2-15)$$

gdje je  $\beta = 6\pi \cdot \eta \cdot r_k$ . Jednadžba gibanja kuglice u fluidu je

$$ma = F_G - F_A - F_R$$

$$ma = mg - \rho_f \cdot V_k \cdot g - 6\pi\eta \cdot r_k \cdot v \quad (2-16)$$

Budući da je  $a = \frac{dv}{dt}$  i uzimajući u obzir relacije (2-12) – (2-14), jednadžba gibanja padajuće kuglice poprima oblik

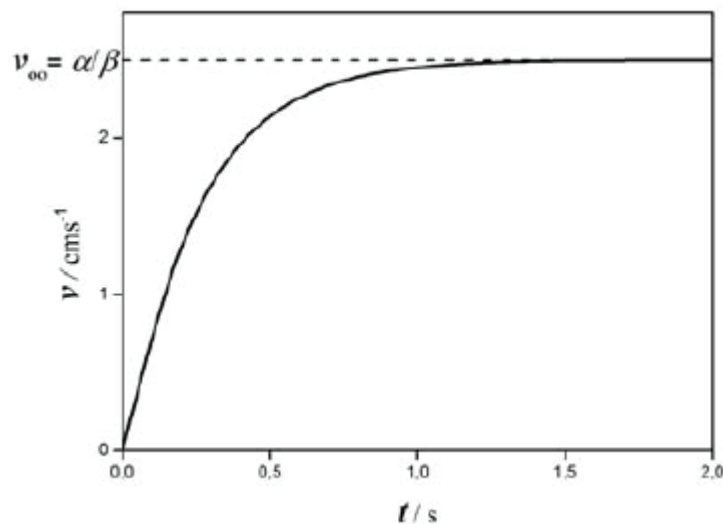
$$m \cdot \frac{dv}{dt} = \alpha - \beta \cdot v \quad (2-17)$$

gdje je  $\alpha = F_G - F_A = (\rho_k - \rho_f) V \cdot g$ . Rješavanjem jednadžbe (2-16) može se odrediti brzina u ovisnosti o vremenu padanja,  $v(t)$ . Pod pretpostavkom da je kuglica na početku ( $t = 0$ ) mirovala, brzina padanja kuglice u viskoznom fluidu se u vremenu mijenja prema zakonu:

$$v(t) = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\beta t}{m}}\right) \quad (2-18)$$

gdje je  $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{2r^2(\rho_k - \rho_f)}{9\eta} g$ , a  $m$  masa kuglice. U graničnom slučaju ( $t \rightarrow \infty$ ) je  $\frac{dv}{dt} = 0$  i  $v_\infty = \frac{\alpha}{\beta}$  pa kuglica pada konačnom stalnom brzinom.

Slika 2.7. prikazuje ovisnost  $v(t)$ , brzine padanja kuglice u viskoznom fluidu o vremenu.



**Slika 2.7.** Vremenska ovisnost brzine padanja kuglice u viskoznom fluidu.  $v_{\infty} = \frac{\alpha}{\beta}$  konačna stalna brzina padanja kuglice. [2]

Iz relacije (2-14) i (2-17) uočava se da kuglica koja pada u fluidu veće viskoznosti brže postiže konačnu stalnu brzinu padanja. Prema Stokesovom zakonu, danom relacijom (2-14), sila otpora proporcionalna je brzini padanja kuglice. Stoga, pri nekoj brzini padanja, tj. konačnoj brzini, sile koje djeluju na padajuću kuglicu u ravnoteži su i kuglica pada konačnom stalnom brzinom.

$$F_G - F_A - F_R = 0 \Rightarrow v = konst. \quad (2-19)$$

Preuređivanjem relacije (2-18) može se odrediti  $\eta$  koeficijent dinamičke viskoznosti fluida

$$\eta = \frac{2r_k^2(\rho_k - \rho_f) \cdot g}{9 \cdot v} \quad (2-20)$$

$$\eta = \frac{2 \cdot r_k^2(\rho_k - \rho_f)}{9 \cdot v} \cdot g \quad (2-21)$$

gdje su  $\rho_k$ ,  $r_k$  gustoća i polumjer kuglice,  $\rho_f$  gustoća fluida,  $v$  stalna brzina padanja kuglice, a  $g$  ubrzanje sile teže. Općenito, relacija (2-21) vrijedi pod pretpostavkom da kuglica pada u fluidu beskonačnog volumena, što je praktički neizvedivo, jer se fluid uvijek nalazi u nekakvoj posudi. Stoga, ako kuglica pada duž osi neke cijevi polumjera  $R$ , njezina brzina manja je nego što bi bila u tekućini bezkonačnog volumena i to za faktor  $\xi$

$$\xi = 1 + 2.1 \cdot \frac{r_k}{R} \quad (2-22)$$

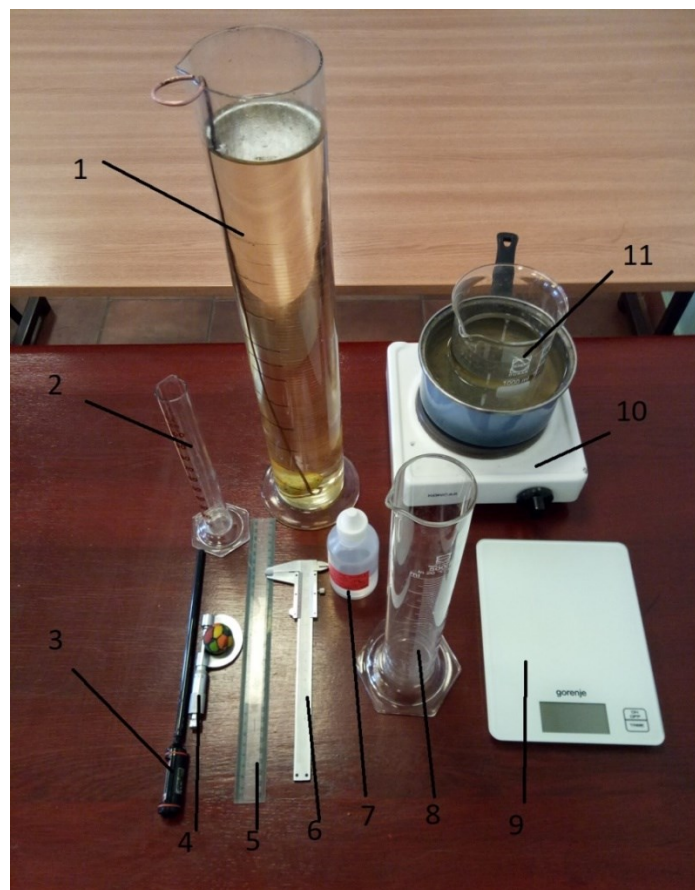
Stoga, u ovom slučaju relacija (2-19) prelazi u

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r_k^2 (\rho_k - \rho_f) \cdot g}{v \left(1 + 2.1 \cdot \frac{r_k}{R}\right)} \quad (2-23)$$

gdje je  $r_k$  polumjer kuglice gustoće  $\rho_k$ ,  $g$  ubrzanje sile teže,  $v$  brzina padanja kuglice,  $\rho_f$  gustoća fluida, a  $R$  polumjer cijevi.

### 3. OPIS EKSPERIMENTA

U ovom poglavlju će biti prikazano što je korišteno od opreme da bi se mjerenje moglo izvesti, te na koji način je rađeno mjerenje u laboratoriju. U sljedećem poglavlju, dobivene rezultate će se i grafički prikazati. Cilj eksperimenta bio je odrediti gustoću fluida i dinamičku viskoznost ovisno o temperaturi, te odrediti koeficijent dinamičke viskoznosti mješavine vode i etanola. U ovom eksperimentu smo koristili tri fluida, suncokretovo ulje, etanol i vodu.



Slika 2.8. Eksperimentalni postav za istraživanje viskoznosti fluida

1- Menzura za izvođenje eksperimenta, 2- menzura za određivanje gustoće ulja, 3- termometar, 4- mikrometerski vijak, 5- ravnalo, 6- pomična mjerka, 7- etilni alkohol, 8- menzura za izvođenje eksperimenta sa etilnim alkoholom, 9- digitalna vaga, 10- grijajući podloga, 11- posuda za zagrijavanje fluida.

Na početku je potrebno odrediti gustoću suncokretovog ulja. Mjerenje je izvedeno tako da se izmjerila masa prazne menzure (pomoću digitalne vage) u koju se nakon toga ulilo suncokretovo



ulje. Kada je suncokretovo ulje uliveno do određene vrijednosti, ponovo se očitala masa menzure zajedno sa uljem. Nakon toga od očitane mase menzure sa ulivenim uljem oduzela se masa prazne menzure da bi se dobila masa samog ulja. Ovaj postupak je odrađen pri sobnoj temperaturi tj. ulje nije bilo zagrijavano. Nakon toga se primjenjivao isti postupak samo što se ovaj put ulje zagrijavalo tako što se posuda napunjena vodom stavila na grijač i u tu posudu se stavila staklena menzura napunjena uljem i pomoću termometra se mjerila temperatura ulja. U prosjeku za svako povećanje temperature ulja od 4°C se ponavljao postupak određivanja gustoće ulja, pa se po formuli (3-1) odredila gustoća suncokretovog ulja:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3-1)$$

Nakon što se ulje zagrijalo na određenu temperaturu, i nakon što se odredila gustoća ulja, ulje se pretočilo u menzuru u kojoj se određivala viskoznost ulja.

Cilj samog eksperimenta je odrediti viskoznost različitih fluida u ovisnosti o njihovoj temperaturi. U ovom slučaju se radi o suncokretovom ulju, etanolu i mješavini vode i etanola.

Ulje se zagrijavalo od 24,6 °C do 52 °C. Za svako povećanje temperature u prosjeku od 4 °C, se izvršavalo mjerenje. Mjerenje se radi na način da se u menzuru u kojoj se nalazi zagrijano ulje, ubaci kuglica koja će određenom brzinom propadati u fluidu i prijeći određeni put. Potrebno je izmjeriti za koje vrijeme će kuglica prijeći zadani put, kako bi se mogla izračunati brzina kojom se kuglica giba. Brzina gibanja kuglice u viskoznom fluidu potrebna je za određivanje viskoznosti tog fluida. Isti postupak se ponavljao za različite fluide različitih temperatura.

Za izračunavanje koeficijenta viskoznosti fluida prema relaciji (2-23) potrebni su određeni podaci kao što su: polumjer kuglice koja se giba u fluidu, gustoća kuglice, gustoća fluida, duljina puta padanja kuglice u fluidu, vrijeme koje je potrebno kuglici da prevali zadani put te brzina padanja kuglice kroz fluid. Za izračunavanje gustoće kuglice, također, se koristi relacija (3-1).

U tablici 3.1. prikazane su vrijednosti koje su se dobile mjerenjem u laboratoriju da bi se mogao odrediti koeficijent dinamičke viskoznosti  $\eta$  za različite temperature ulja.

U tablici su prikazane sljedeće vrijednosti : temperatura  $t$ (°C), gustoća  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) fluida, vrijeme  $t$  (s) potrebno da kuglica prevali zadani put, brzina  $v$  (m/s) kretanja kuglice kroz fluid.

**Tablica 3.1.** *Promjenjive vrijednosti za određivanje koeficijenta dinamičke viskoznosti*

t(°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	t (s)	v (m/s)
24,6	915,3	2,153	0,0696
28	914,9	1,964	0,0763
32	914,1	1,830	0,0819
34	912,7	1,664	0,0901
38	911,2	1,572	0,0954
42	906,5	1,505	0,09967
45	903,3	1,384	0,1083
49,5	902,2	1,401	0,10707
52	899,8	1,367	0,10973

**Tablica 3.2.** *Nepromjenjive vrijednosti za određivanje koeficijenta dinamičke viskoznosti*

r menzure(m)	r kuglice(m)	V kuglice (m <sup>3</sup> )	$\rho$ kuglice (kg/m <sup>3</sup> )	h(m)
0,0415	0,022176	$4,568 \cdot 10^{-5}$	919,4	0,15

Nakon suncokretovog ulja, koristio se fluid etanol. Spomenuto je da se etanol koristi za dobivanje biogoriva u kombinaciji sa benzinom. Prvo mjerenje koje je obrađeno je određivanje gustoće etanola na različitim temperaturama, postupak je bio isti kao i kod određivanja gustoće suncokretovog ulja. Nakon što se odredila gustoća etanola na različitim temperaturama, pomoću relacije (2-23) se izračunao koeficijent dinamičke viskoznosti etanola.

Sljedeća mjerenja koja su obrađena bila su sa mješavinom vode i etanola.

Prvo se radilo mjerenje sa jednom litrom vode i izračunala dinamička viskoznost. Nakon toga se u menzuru ulio 9dl vode i 1dl etilnog alkohola, te ponovilo isto mjerenje. Zatim 8dl vode i 2dl etilnog alkohola te postupak ponavljao sve do 1l etilnog alkohola.

Ovaj postupak je rađen po uzoru iz članka [6], gdje se umjesto etanola koristio fluid metanol.

Prilikom izvođenja eksperimenta u laboratoriju, prvo se u menzuru ulila voda bez etanola. Odredio se put  $s$  te kada se kuglica stavila u fluid pomoću štoperice se mjerilo vrijeme potrebno kuglici da prijeđe zadani put. Kada se odredilo vrijeme mogla se izračunati brzina po formuli

$$v = \frac{s}{t} \text{ [m/s]} \quad (3-2)$$

Kada se izračunala brzina, imali smo sve potrebne parametre da bi se izračunao koeficijent dinamičke viskoznosti za vodu po relaciji (2-23). Nakon izvršenog mjerenja za fluid koji je bio čista voda, isti postupak se primjenjuje za fluid koji se sastoji od 90% vode i 10% etanola, i tako sve dok se ne izvrši mjerenje sa 100% etanola.

## 4. ANALIZA I RASPRAVA REZULTATA

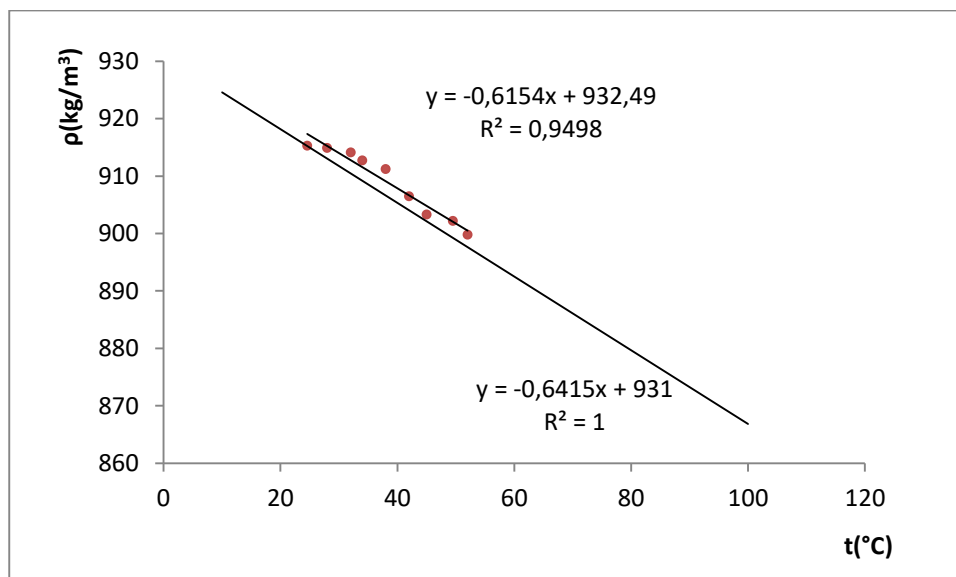
U ovom poglavlju će se grafički prikazati i analizirati pojedine ovisnosti istraživanih fizikalnih veličina i usporediti dobivene eksperimentalne rezultate s rezultatima eksperimenta opisanog u dostupnoj literaturi.

Za svaki od istraživanih fluida, ovisnosti koje se analiziraju su:

- ovisnost gustoće fluida o temperaturi
- ovisnost dinamičkog koeficijenta viskoznosti o temperaturi
- ovisnost gustoće fluida o kinematičkom koeficijentu viskoznosti
- ovisnost dinamičkog koeficijenta viskoznosti mješavine etanola i vode o njihovoj koncentraciji

### 4.1. Analiza rezultata eksperimenta sa suncokretovim uljem

Slika 4.1. predstavlja grafički prikaz ovisnosti gustoće suncokretovog ulja ovisno o temperaturi. Dokazano je da kada se ulje zagrijava, smanjuje se njegova gustoća. Razlog tomu je što se obujam povećava te se samim time gustoća smanjuje.



Slika 4.1. Ovisnost gustoće suncokretovog ulja o temperaturi

Sa grafa se može vidjeti, da vrijednost gustoće linearno opada. Vrijednosti uvrštene u grafu se nalaze u prilogu u tablici 7.1.

Linearna ovisnost gustoće suncokretovog ulja o temperaturi može se prikazati jednadžbom pravca:

$$\rho = ax + b \quad (4-1)$$

gdje je, nagib pravca  $a$  te odsječak  $b$  koji pravac odsjeca osi ordinata.

Parametri pravca dobiveni u ovom eksperimentu i prema tabličnim podacima iz [1] dani su u tablici.

**Tablica 4.1. Parametri pravca**

$a_{exp}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$b_{exp}$ (kg/m <sup>2</sup> °C)	$a_{exp[1]}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$b_{exp[1]}$ (kg/m <sup>2</sup> °C)
932,49	-0,6454	931	-0,6415

Iz dobivenih rezultata se može izračunati relativna pogreška.

Relativna pogreška između eksperimentalnih rezultata i rezultata iz članka je 0,16%.

Relativna pogreška je dobivena po formuli:

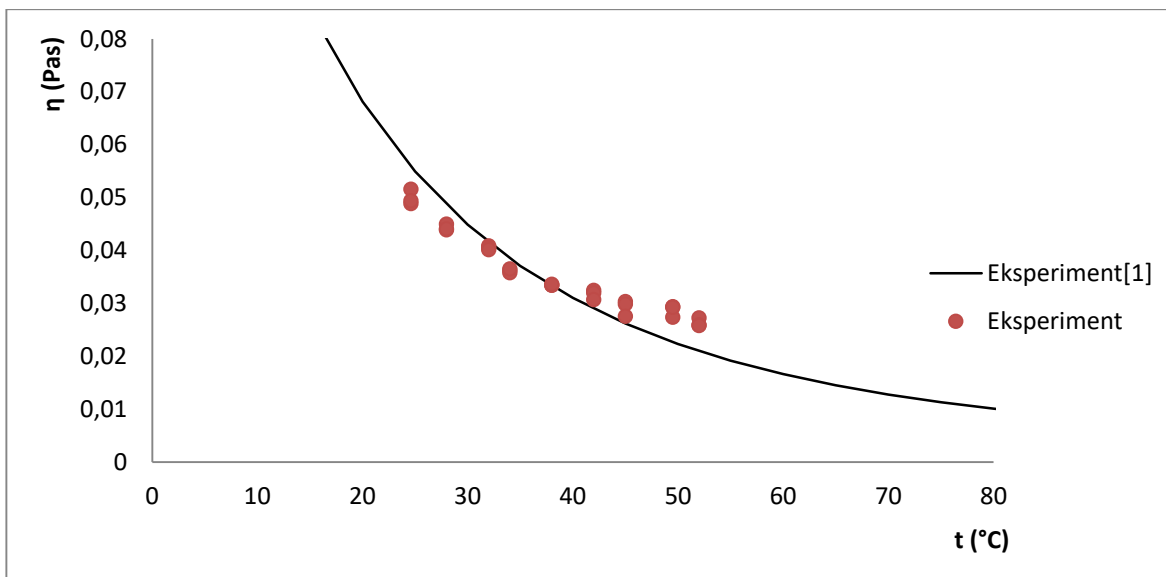
$$R.P. = \frac{a_{exp} - a_{exp[1]}}{a_{exp[1]}} \cdot 100\% \quad (4-2)$$

gdje je  $a_{exp} = 932,49$  i  $a_{exp[1]} = 931$ .

Spomenuto je da se suncokretovo ulje koristi za izradu biogoriva te da ima odgovarajuća svojstva za isto. U eksperimentalnom radu [1] su navedeni parametri za ovisnost gustoće i temperature biogoriva koja iznose:  $a = 893,8 \text{ kg/m}^3$  i  $b = -7,2073 \text{ kg/m}^2\text{°C}$ .

Uzimajući u obzir dobivene parametre iz mjerenja u laboratoriju, ako ih usporedimo sa parametrima biogoriva, po relaciji (4-2) dobije se pogreška od 4,32%. Iz dobivenog rezultata se da zaključiti da suncokretovo ulje je prikladan fluid pomoću kojeg se može proizvoditi biogorivo.

Slika 4.2. je grafički prikaz ovisnosti dinamičkog koeficijenta viskoznosti suncokretovog ulja o temperaturi  $\eta = f(t\text{°C})$ .



**Slika 4.2.** Ovisnost dinamičkog koeficijenta viskoznosti suncokretovog ulja o temperaturi

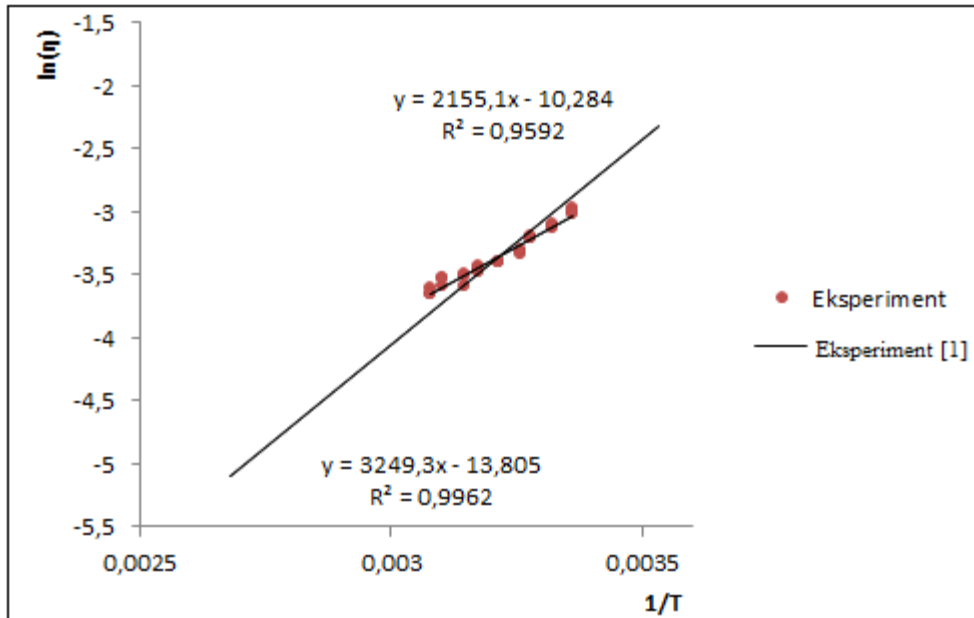
Na slici su „točkasto“ prikazane vrijednosti dinamičkog koeficijenta viskoznosti dobivene u ovom eksperimentu, koje su dane u tablici 7.1. prema relaciji (2-23) .

Sa grafa se da uočiti da povećanjem temperature dinamički koeficijent viskoznosti eksponencijalno opada. Tu se vidi razlika u ponašanju gustoće i dinamičke viskoznosti na promjenu temperature. Gustoća povećanjem temperature linearno opada dok dinamička viskoznost eksponencijalno. Vrijednosti koeficijenta dinamičke viskoznosti eksperimenta su se dobile po relaciji (2-23). Pomoću relacije (2-5) je dobiven pravac iz grafa za eksperiment [1].

Kako je temperaturna ovisnost dinamičkog koeficijenta viskoznosti suncokretovog ulja nelinearna funkcija, linearnu ovisnost može se dobiti logaritmiranjem relacije (2-5). Iz toga slijedi linearna ovisnost  $\ln \eta = f\left(\frac{1}{T}\right)$  dana jednadžbom pravca oblika,

$$\ln \eta = \frac{E}{R} \cdot \left(\frac{1}{T}\right) + \ln A , \quad (4-3)$$

gdje je  $T$  temperatura u kelvinima a  $\frac{E}{R}$  je specifična vrijednost koju treba prilagoditi za svako specifično ulje. Ovisnost je prikazana na sljedećoj slici.



**Slika 4.3.** Ovisnost logaritma koeficijenta dinamičke viskoznosti o  $1/T$

Kada se vrijednosti parametara pravca uvrste u relaciju (4-3), slijedi da je  $a = \frac{E}{R}$ , iz čega slijedi,

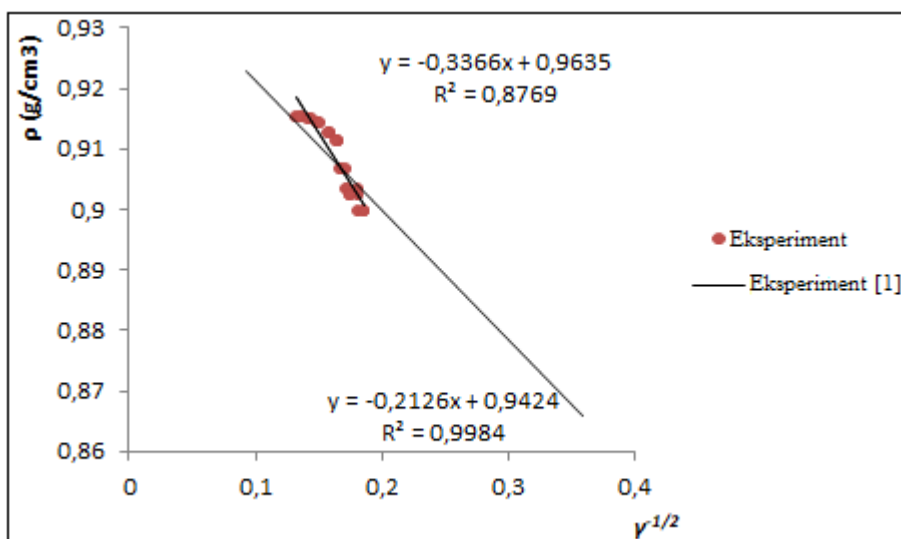
$$2155,1 = \frac{E}{R} \Rightarrow E = 2155,1 \cdot R \Rightarrow E = 2155,1 \cdot 8,314 = 17,92 \text{ k} \frac{\text{J}}{\text{mol}}.$$

Vrijednost za eksperiment [1] po istom postupku iznosi  $27 \text{ k} \frac{\text{J}}{\text{mol}}$ .

Vrijednosti za  $\ln \eta$  i  $1/T$  su u prilogu u tablici 7.2. i 7.3.

Iz dobivenih rezultata se također može odrediti relativna pogreška po relaciji (4-2) koja iznosi 33,7%. Razlika u dobivenim rezultatima je nastala zbog pogreške pri mjerenju, iz razloga što se u eksperimentu [1] koristio viskozimetar, dok za ovaj eksperiment koristila znatno jednostavnija postava prikazana u trećem poglavlju.

Na slici 4.4. dan je grafički prikaz ovisnosti gustoće suncokretovog ulja o njegovom kinematičkom koeficijentu viskoznosti. Kinematička viskoznost se odnosi na lakoću kojom se gibaju pojedini slojevi fluida pod djelovanjem sile teže.



**Slika 4.4.** Ovisnost gustoće i  $\gamma^{1/2}$

Vrijednosti koje su uvrštene u graf se nalaze u tablici 7.4. i 7.5. Koeficijent kinematičke ovisnosti dobijemo dijeljenjem dinamičke viskoznosti i gustoće. Iz grafa se da zaključiti da smanjenjem gustoće, koeficijent kinematičke viskoznosti se povećava.

Relacija koja se koristila da bi se dobila prikazana ovisnost je:

$$\rho = D + E/\gamma^{1/2} \quad (4-5)$$

**Tablica 4.2.** Parametri pravca

$a_{\text{exp}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$b_{\text{exp}} \text{ (g/cm}^2\text{s}^{-\frac{1}{2}}\text{)}$	$a_{\text{exp}[1]} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$b_{\text{exp}[1]} \text{ (g/cm}^2\text{s}^{-\frac{1}{2}}\text{)}$
0,9635	-0,3366	0,9424	-0,2126

Prema relaciji (4-2) relativna pogreška za ovu ovisnost iznosi 2,23%.

Ako se usporede vrijednosti koeficijenta dinamičke viskoznosti suncokretovog ulja i vrijednosti koeficijenta dinamičke viskoznosti biogoriva pod različitim temperaturama, primjetit će se da je viskoznost dizela znatno lošija od viskoznosti suncokretovog ulja. Sljedeća tablica prikazuje spomenute vrijednosti.

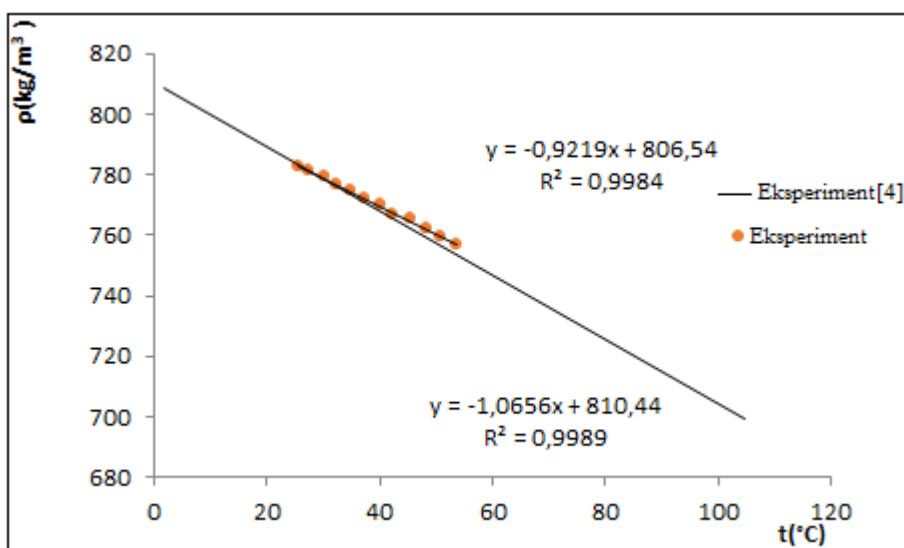


**Tablica 4.3.** Usporedba vrijednosti koeficijenta kinematičke viskoznosti ovisno o temperaturi

	Dizel <sub>[1]</sub>	Suncokretovo ulje <sub>[1]</sub>
t(°C)	$\gamma$ (mm <sup>2</sup> /s)	$\gamma$ (mm <sup>2</sup> /s)
10	5,39	118,72
20	4,15	73,45
30	3,30	48,88
40	2,70	34,06
50	2,26	24,68
60	1,92	18,62

## 4.2. Analiza rezultata eksperimenta sa etanolom

Kao i kod suncokretovog ulja, tako i kod etanola kada se povećava temperatura gustoća etanola se linearno smanjuje. Na slici 4.5. dana je ovisnost gustoće etanola o temperaturi dobivena u ovom eksperimentu te ista ovisnost dobivena iz dostupnih literaturnih eksperimentalnih podataka [4].



**Slika 4.5.** Ovisnost gustoće etanola o temperaturi

Vrijednosti koje su prikazane na grafu se nalaze u tablici 7.6. i 7.7.

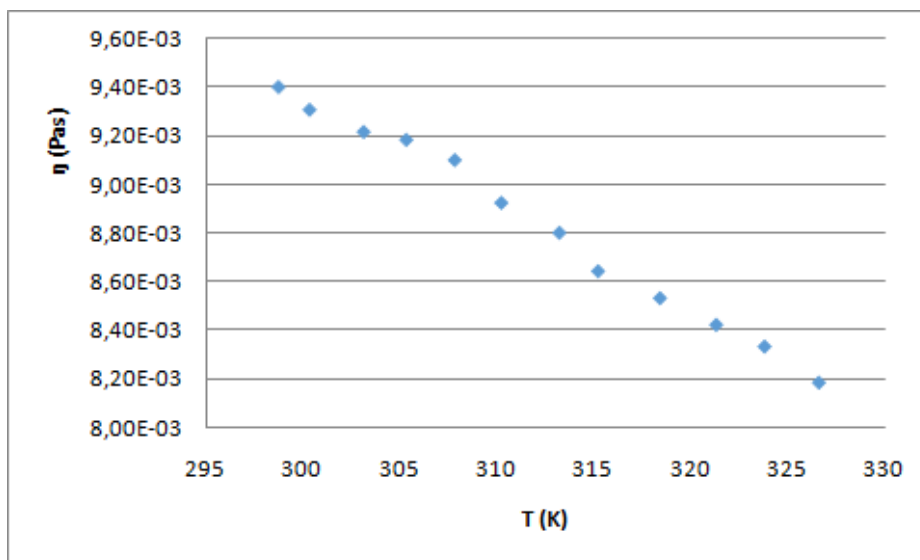
**Tablica 4.3. Parametri pravca**

$a_{\text{exp}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$b_{\text{exp}}$ (°C)	$a_{\text{exp}[4]}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$b_{\text{exp}[4]}$ (°C)
806,54	-0,9219	810,44	-1,06565

Relativna pogreška između eksperimentalnih vrijednosti dobivenih u ovom eksperimentu i eksperimentu [4] iznosi 0,48%.

Gustoća dizela na temperaturi od 30°C iznosi 824 kg/m<sup>3</sup> [1] dok gustoća etanola za eksperiment iznosi 779,1 kg/m<sup>3</sup>. Iz prikazanih rezultata se može primjetiti da gustoća ovih fluida su približne i kompatibilne za miješanje.

Na slici 4.6. dana je temperaturna ovisnost dinamičkog koeficijenta viskoznosti etanola određenih u ovom eksperimentu.  $\eta = f(TK)$ .



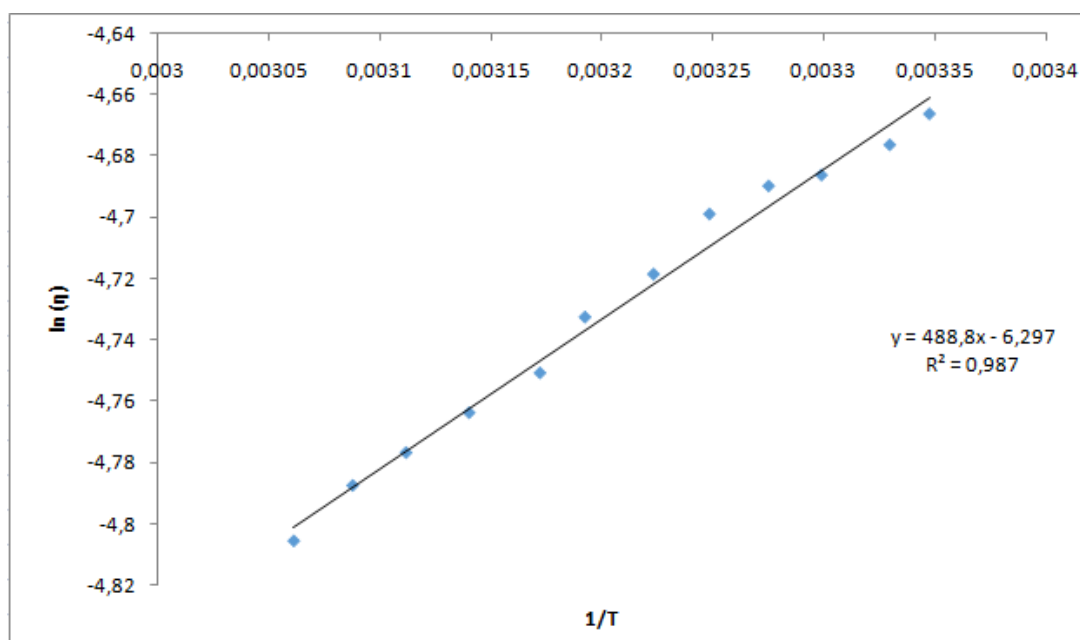
**Slika 4.6. Ovisnost dinamičkog koeficijenta viskoznost etanola o temperaturi**

Iz grafa se može primjetiti da kao i kod suncokretovog ulja, i kod etanola povećanjem temperature koeficijent dinamičke viskoznosti se smanjuje. Tablična vrijednost koeficijenta dinamičke viskoznosti etanola za temperaturu pri 50°C iznosi  $7,0 \cdot 10^{-4}$  Pas, dok za ekperiment iznosi  $8,33 \cdot 10^{-3}$  Pas. Razlika u rezultatima je zbog pogreške pri mjerenjima u laboratoriju.

Vrijednost koeficijenta dinamičke viskoznosti za benzin pri temperaturi od 50°C iznosi  $4,3 \cdot 10^{-4}$  Pas [7].

Sljedeća slika prikazuje logaritamsku ovisnost  $\ln \eta = f\left(\frac{1}{T}\right)$ .

Uzimajući u obzir relaciju (2-5) potrebno je obaviti njeno logaritmiranje kako bi se dobila linearna ovisnost  $\ln \eta = f\left(\frac{1}{T}\right)$  između koeficijenta dinamičke viskoznosti i temperature. Ova ovisnost je prikazana na slici 4.7



**Slika 4.7.** Ovisnost  $\ln \eta = f\left(\frac{1}{T}\right)$  za etanol

Kada se vrijednosti parametara pravca uvrste u relaciju (4-1), slijedi da je  $a = \frac{E}{R}$ , iz čega slijedi

$$E = 488,8 \cdot R \Rightarrow E = 488,8 \cdot 8,314 = 4 \text{ k}\frac{\text{J}}{\text{mol}} .$$

Vrijednost  $E$  (molarna energija koja je potrebna za prevladavanje unutarnjeg trenja) za metanol [4] iznosi  $9,4 \text{ k}\frac{\text{J}}{\text{mol}}$ . Može se primjetiti da metanol ima više nego duplo veću molarnu energiju koja je potrebna za prevladavanje unutarnjeg trenja, ali samim time metanol je otrovan za udisanje i treba biti jako oprezan prilikom rukovanja sa njime.

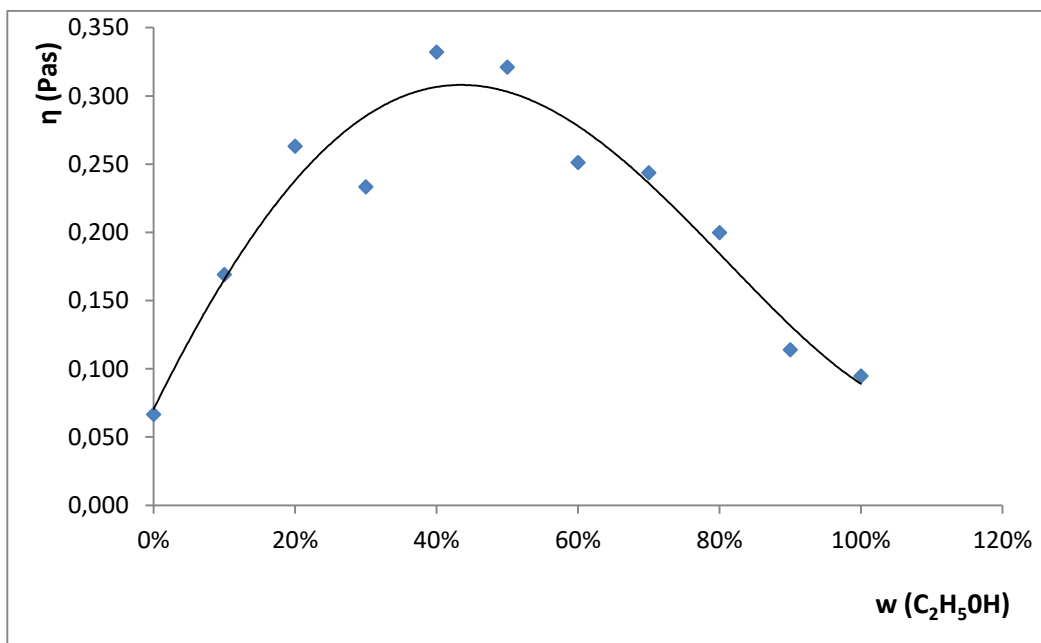
Vrijednosti sa grafa se nalaze u prilogu u tablici 7.8.

U sljedećoj talici biti će prikazane vrijednosti koje su dobivene mjerenjem za koncentraciju vode i etanola, te nakon toga i grafički prikaz.

Nepromjenjive vrijednosti su put kojim se kuglica kretala  $s(\text{cm})$  je 17, promjer menzure  $R(\text{cm})$  je  $4,15^{-2}$ , polumjer kuglice  $r(\text{cm})$  je  $2,45^{-2}$  te gustoća kuglice  $\rho(\text{kg/m}^3)$  1008,4.

**Tablica 4.1.** Ovisnost koeficijenta dinamičke viskoznosti o koncentraciji fluida

t(s)	v(m/s)	$\eta$ (Pas)	Udio etanola	$\rho$ .fluida(kg/m <sup>3</sup> )
0,123	1,378	0,095	100%	785
0,164	1,037	0,114	90%	806
0,319	0,532	0,200	80%	826,4
0,444	0,383	0,244	70%	848,6
0,527	0,323	0,251	60%	869,8
0,796	0,214	0,321	50%	891
1,002	0,170	0,332	40%	912
0,814	0,209	0,233	30%	925
1,058	0,161	0,263	20%	936,1
0,831	0,205	0,169	10%	949,2
0,997	0,170	0,067	0%	989



**Graf 4.8.** Ovisnost koeficijenta dinamičke viskoznosti o koncentraciji fluida

Na grafu je prikazano kako se mijenja dinamička viskoznost ovisno o koncentraciji vode i etanola. Prva točka prikazuje vrijednost dinamičke viskoznosti u trenutku kada imamo čistu vodu tj. 100%. Druga točka prikazuje vrijednost dinamičke viskoznosti od 9dl vode i 1dl etanola, tj. 90% vode i 10% etanola. Postupak se ponavljao sve dok nije odrađeno završno mjerenje sa 100% etilnog alkohola. Iz grafa se može isčitati da je gustoća vode  $989 \text{ kg/m}^3$ , dok je gustoća etilnog alkohola  $785 \text{ kg/m}^3$ . Iz grafa se da uočiti, da dinamička viskoznost u trenutku kada se koristi čista voda, iznosi  $0,067 \text{ Pas}$ , dok u zadnjoj točki kada imamo čisti etanol, dinamička viskoznost iznosi  $0,095 \text{ Pas}$ . Iz toga se da zaključiti, što je i bio slučaj u eksperimentu, da kada pustimo kuglicu kroz čisti etilni alkohol kuglica se kreće većom brzinom nego što je to slučaj kod vode. Prilikom izvedbe eksperimenta se može primjetiti da se voda i etanol odlično miješaju. Prilikom mješavine fluida u tekućem stanju jako je bitno da ta dva fluida nemaju veliku razliku u gustoći, jer u tom slučaju nebi se dovoljno dobro pomješala, što znači da mjerenje sa takvom mješavinom fluida nebi bilo dobro. Voda i etanol su kompatibilni, stoga su se i koristila upravo ta dva fluida.

## 5. PRIMJENA VISKOZNOSTI

Viskoznost fluida ima jako bitnu ulogu u našem svakodnevnom životu. Naime svatko tko vozi bilo kakvo motorno vozilo zna da vozilo bez motornog ulja ne može funkcionirati. Osim goriva i motorno ulje je primarno kako bi vozilo moglo raditi. Poznato je da pri vožnji npr. automobila, se on postepeno zagrijava, te iz tog razloga je potrebno da motorna ulja imaju veliku viskoznost. Viskoznost ulja predstavlja veličinu unutrašnjeg trenja između molekula maziva, ili slikovitiije rečeno, predstavlja tečljivost ulja pri određenoj temperaturi. Nastaje kao rezultat djelovanja međumolekularnih sila u fluidu. Što su te sile više izražene to je i viskoznost veća.

Ako motorno ulje ima veću viskoznost nego što određeni motor zahtjeva, tada daje veći otpor pri kretanju motornog vozila i otežava kretanje hladnog motora. Ulje manje viskoznosti ima znatno manju otpornost uljnog sloja, koji se lakše može razoriti pod djelovanjem pritiska koji djeluje između kliznih površina. Posljedica toga je da dolazi do dodira između metala i na taj način se povećava trošenje auto dijelova. Od motornih ulja se zahtjeva da se prilikom promjene temperature viskoznost ne mijenja previše. To je razlog zašto postoje ulja za jednu sezonu „monogradna” ili ulja za više sezona „multigradna”. Monogradna ulja se koriste u automobilima koji prijeđu godišnje više kilometara nego što je to uobičajno, stoga i češće mijenjaju ulje. Baš zbog toga što se češće mijenja ulje, mogu prilagoditi viskoznost godišnjem dobu tj. nekom minimalnom rasponu temperature . Kod takvih ulja promjena viskoznosti je najmanja. Kod multigradnih ulja je situacija drugačija. Ova ulja se koriste kod vozila koja godišnje prijeđu prosječan broj kilometara pa je i raspon promjene ulja duži. S obzirom da je raspon zamjene ulja duži i raspon temperature je veći kroz godinu, samim time bi i viskoznost motornog ulja trebao imati veće oscilacije. Kako bi se ta promjena viskoznosti svela na što manju mjeru koristi se multigradno ulje koje bi trebalo da, osim minimalne promjene svoje viskoznosti, ispuni i uvjet , da i u ljetnjim i u zimskim mjesecima osigura adekvatno podmazivanje sa jedne i odgovarajuću zaštitu dijelova u kontaktu sa druge strane. Monogradna ulja imaju jednobrojnu oznaku na pakiranju, npr. SAE 30, SAE 40 itd., dok multigradna ulja imaju dvije oznake SAE 10W-40, SAE 20W-50 itd..

**Tablica 5.1.** Vrste motornih ulja i njihov raspon temperature [8]

Kod benzinskih motora		Kod dizel motora	
Oznaka viskoziteta	°C	Oznaka viskoziteta	°C
SAE 40	17 ÷ 42	SAE 40	17 ÷ 42
SAE 30	(-2) ÷ 32	SAE 30	(-3) ÷ 33
SAE 20W-10	(-13) ÷ 13	SAE 20W-20	(-12) ÷ 13
SAE 10W	(-22) ÷ (-2)	SAE 10W	(-33) ÷ (-2)
SAE 20W-50	(-12) ÷ 32	SAE 20W-50	(-12) ÷ 33
SAE 20W-40	-II-	SAE 20W-40	-II-
SAE 15W-50	(-18) ÷ 32	SAE 15W-50	(-17) ÷ 32
SAE 15W-40	-II-	SAE 15W-40	-II-
SAE 10W-40	(-22) ÷ 18	SAE 10W-40	(-22) ÷ 18
SAE 10W-30	-II-	SAE 10W-30	-II-
SAE 5W-30	(-33) ÷ (-8)		(-23) ÷ (18)
SAE 5W-20	-II-		-II-

## 6. ZAKLJUČAK

Svaki fluid ima različitu gustoću i viskoznost. Voda ima veću gustoću od ulja, to jest ulje kad se pomiješa sa vodom, on pluta na površini vode, dok ulje ima znatno veću viskoznost od vode. Tijelo se u ulju kreće puno sporije, dok je u vodi brzina tijela veća. Temperatura ima značajan utjecaj na viskoznost fluida. Prilikom zagrijavanja fluida u tekućem stanju, fluidu se smanjuje viskoznost, to je uzrok jer toplinsko gibanje smanjuje privlačne međumolekulske sile.

U radu su korišteni fluidi suncokretovo ulje i etanol i odradila mjerenja da se prikažu njihova fizikalna svojstva kao što su gustoća i koeficijent dinamičke viskoznosti koje su ključne da se dokaže da se pomoću njih mogu proizvoditi biogoriva. Svojim svojstvima su kompatibilni za proizvodnju iste, što se danas već i koristi. Biogoriva su goriva nove generacije, fluidna su i proizvedena od biljnih ulja od kojih je i suncokretovo, te pomoću etanola. Biogoriva su obnovljivi izvor energije, jer se troši brzinom kojom se i obnavlja. Imaju niži energetska sadržaj, ali zato sadrži veći postotak kisika što je razlog boljeg sagorjevanja. Osiguravaju bolje paljenje i mazivost motora što predstavlja i veću efikasnost i dugotrajnost. Biogoriva također imaju značajan utjecaj na globalnu klimu, jer imaju smanjenu emisiju CO<sub>2</sub>.

Viskoznost je također jako značajna i u proizvodnji motornih ulja, gdje je cilj proizvesti ulja koja prilikom povećanja temperature ne gube znatno na viskoznosti.



## 7. PRILOZI

**Tablica 7.1** Ovisnost gustoće suncokretovog ulja o temperaturi. Usporedba mjerenih rezultata i rezultata iz literature [1]

$t_{\text{exp}[1]}(^{\circ}\text{C})$	$\rho_{\text{exp}[1]}$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\eta_{\text{exp}[1]}$ (Pas)	$t_{\text{exp}}(^{\circ}\text{C})$	$\rho_{\text{exp}}(\text{kg}/\text{m}^3)$	$\eta_{\text{exp}}$ (Pas)
10	924,59	0,109102	24,6	915,3	0,0494072
15	921,38	0,085588	28	914,9	0,0440779
20	918,17	0,068124	32	914,1	0,0401460
25	914,96	0,054961	34	912,7	0,0362242
30	911,76	0,0449	38	911,2	0,0334272
35	908,55	0,037111	42	906,5	0,0307354
40	905,34	0,031007	45	903,3	0,0275651
45	902,13	0,026171	49,5	902,2	0,0274319
50	898,93	0,022298	52	899,8	0,0258454

**Tablica 7.2.** Vrijednosti koeficijenta dinamičke viskoznosti dobivene mjerenjem za suncokretovo ulje

$t (^{\circ}\text{C})$	$T$ (K)	$1/T$	$\eta$ (Pas)	$\ln(\eta)$
24,6	297,6	0,00336	0,051599	-2,96425
24,6	297,6	0,00336	0,048891	-3,01815
24,6	297,6	0,00336	0,049407	-3,00766
28	301	0,003322	0,045013	-3,10081
28	301	0,003322	0,043934	-3,12507
28	301	0,003322	0,044078	-3,1218
32	305	0,003279	0,040896	-3,19672
32	305	0,003279	0,040521	-3,20595
32	305	0,003279	0,040146	-3,21523
34	307	0,003257	0,036224	-3,31803
34	307	0,003257	0,035836	-3,3288
34	307	0,003257	0,036521	-3,30987

38	311	0,003215	0,033427	-3,39838
38	311	0,003215	0,033479	-3,39684
38	311	0,003215	0,033609	-3,39295
42	315	0,003175	0,032488	-3,42689
42	315	0,003175	0,032018	-3,44145
42	315	0,003175	0,030735	-3,48234
45	318	0,003145	0,030381	-3,49395
45	318	0,003145	0,029907	-3,50966
45	318	0,003145	0,027565	-3,5912
49,5	322,5	0,003101	0,029386	-3,52724
49,5	322,5	0,003101	0,027432	-3,59605
49,5	322,5	0,003101	0,029273	-3,53109
52	325	0,003077	0,027287	-3,60134
52	325	0,003077	0,025942	-3,65189
52	325	0,003077	0,025845	-3,65562

**Tablica 7.3.** *Vrijednosti koeficijenta dinamičke viskoznosti za suncokretovo ulje iz literature[1]*

t(°C)	T (K)	1/T	$\eta$ (Pas)	ln( $\eta$ )
10	283	0,003534	0,109102	-2,21547
15	288	0,003472	0,085588	-2,45821
20	293	0,003413	0,068124	-2,68642
25	298	0,003356	0,054961	-2,90114
30	303	0,0033	0,0449	-3,10332
35	308	0,003247	0,037111	-3,29385
40	313	0,003195	0,031007	-3,47354
45	318	0,003145	0,026171	-3,64312
50	323	0,003096	0,022298	-3,80327
55	328	0,003049	0,019166	-3,95461
60	333	0,003003	0,01661	-4,09773
65	338	0,002959	0,014507	-4,23315
70	343	0,002915	0,012761	-4,36137

75	348	0,002874	0,011301	-4,48284
80	353	0,002833	0,010072	-4,59799
85	358	0,002793	0,00903	-4,70719
90	363	0,002755	0,008141	-4,81082
95	368	0,002717	0,007378	-4,90921
100	373	0,002681	0,00672	-5,00267

**Tablica 7.4.** Vrijednosti gustoće i koeficijenta kinematičke viskoznosti dobivene mjerenjem za suncokretovo ulje

t (°C)	$\eta$ (Pas)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (m <sup>2</sup> /s)	$\gamma$ (mm <sup>2</sup> /s)	$\gamma - \frac{1}{2}(\gamma \text{ mm}^2/\text{s})$	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	ln $\gamma$ (mm <sup>2</sup> /s)	1/T
24,6	0,051599	915,3	$5,637 \cdot 10^{-5}$	56,37	0,133186	0,9153	4,032011	0,003359
24,6	0,048891	915,3	$5,342 \cdot 10^{-5}$	53,42	0,136825	0,9153	3,978104	0,003359
24,6	0,049407	915,3	$5,398 \cdot 10^{-5}$	53,98	0,136109	0,9153	3,9886	0,003359
28	0,045013	914,9	$4,920 \cdot 10^{-5}$	49,20	0,142567	0,9149	3,895884	0,003321
28	0,043934	914,9	$4,802 \cdot 10^{-5}$	48,02	0,144307	0,9149	3,871623	0,003321
28	0,044078	914,9	$4,818 \cdot 10^{-5}$	48,18	0,144071	0,9149	3,874898	0,003321
32	0,040896	914,1	$4,474 \cdot 10^{-5}$	44,74	0,149505	0,9141	3,800848	0,003277
32	0,040521	914,1	$4,433 \cdot 10^{-5}$	44,33	0,150196	0,9141	3,791624	0,003277
32	0,040146	914,1	$4,392 \cdot 10^{-5}$	43,92	0,150895	0,9141	3,782339	0,003277
34	0,036224	912,7	$3,969 \cdot 10^{-5}$	39,69	0,158732	0,9127	3,681075	0,003256
34	0,035836	912,7	$3,926 \cdot 10^{-5}$	39,26	0,15959	0,9127	3,6703	0,003256
34	0,036521	912,7	$4,001 \cdot 10^{-5}$	40,01	0,158086	0,9127	3,689237	0,003256
38	0,033427	911,2	$3,668 \cdot 10^{-5}$	36,68	0,165104	0,9112	3,602364	0,003214
38	0,033479	911,2	$3,674 \cdot 10^{-5}$	36,74	0,164976	0,9112	3,60391	0,003214
38	0,033609	911,2	$3,688 \cdot 10^{-5}$	36,88	0,164656	0,9112	3,607797	0,003214
42	0,032488	906,5	$3,584 \cdot 10^{-5}$	35,84	0,167014	0,9065	3,579029	0,003173
42	0,032018	906,5	$3,532 \cdot 10^{-5}$	35,32	0,168261	0,9065	3,564474	0,003173
42	0,030735	906,5	$3,391 \cdot 10^{-5}$	33,91	0,171737	0,9065	3,523579	0,003173
45	0,030381	903,3	$3,363 \cdot 10^{-5}$	33,63	0,172432	0,9033	3,515508	0,003143
45	0,029907	903,3	$3,311 \cdot 10^{-5}$	33,11	0,173791	0,9033	3,499799	0,003143

45	0,027565	903,3	$3,052 \cdot 10^{-5}$	30,52	0,181024	0,9033	3,418253	0,003143
49,5	0,029386	902,2	$3,257 \cdot 10^{-5}$	32,57	0,175219	0,9022	3,483435	0,003099
49,5	0,027432	902,2	$3,041 \cdot 10^{-5}$	30,41	0,181352	0,9022	3,414625	0,003099
49,5	0,029273	902,2	$3,245 \cdot 10^{-5}$	32,45	0,175557	0,9022	3,479586	0,003099
52	0,027287	899,8	$3,033 \cdot 10^{-5}$	30,33	0,181591	0,8998	3,412	0,003076
52	0,025942	899,8	$2,883 \cdot 10^{-5}$	28,83	0,186239	0,8998	3,361448	0,003076
52	0,025845	899,8	$2,872 \cdot 10^{-5}$	28,72	0,186587	0,8998	3,357715	0,003076

**Tablica 7.5** Vrijednosti gustoće i kinematičke viskoznosti suncokretovo ulje iz literature[1]

t (°C)	$\gamma$ (mm <sup>2</sup> /s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma^{-1/2}$
10	118,00129	0,924586	924,5855	0,092057
15	92,891031	0,921378	921,3783	0,103756
20	74,19586	0,918171	918,171	0,116094
25	60,068829	0,914964	914,9638	0,129025
30	49,245431	0,911757	911,7565	0,142501
35	40,845929	0,908549	908,5493	0,156468
40	34,249015	0,905342	905,342	0,170874
45	29,009677	0,902135	902,1348	0,185664
50	24,804936	0,898928	898,9275	0,200785
55	21,397453	0,89572	895,7203	0,216182
60	18,610774	0,892513	892,513	0,231802
65	16,312262	0,889306	889,3058	0,247596
70	14,401177	0,886099	886,0985	0,263512
75	12,80025	0,882891	882,8913	0,279506
80	11,44967	0,879684	879,684	0,295531

85	10,302728	0,876477	876,4768	0,311547
90	9,3226474	0,87327	873,2695	0,327514
95	8,4802413	0,870062	870,0623	0,343397
100	7,7521757	0,866855	866,855	0,35916

**Tablica 7.6.** *Vrjednosti gustoće etanola ovisno o temperaturi iz literature [4]*

T (K)	t (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
274,72	1,57	806,781
281,16	8,01	800,595
287,6	14,45	794,338
294,04	20,89	788,006
300,48	27,33	781,596
306,92	33,77	775,591
313,36	40,21	768,523
319,8	46,65	761,852
326,24	53,09	755,084
332,68	59,53	748,215
339,12	65,97	741,239
345,56	72,41	734,148
352	78,85	726,936
358,44	85,29	719,594
364,88	91,73	712,115
371,32	98,17	704,488
377,76	104,61	696,702

**Tablica 7.7.** *Mjerene vrijednosti gustoće etanola ovisno o temperaturi*

$\rho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	t (°C)
757,1	53,5
759,6	50,7

762,2	48,2
765,3	45,3
766,95	42,1
769,8	40,1
772,4	37,1
774,8	34,7
776,9	32,2
779,1	30
781,5	27,2
782,5	25,6

**Tablica 7.8.** Mjerene vrijednosti dinamičke vizkoznosti etanola ovisno o temperaturi

s (m)	t(s)	v (m/s)	$\rho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	t (°C)	$\eta$ (Pas)	T (K)	ln $\eta$	1/T
$9,20 \cdot 10^{-2}$	0,49	$1,88 \cdot 10^{-1}$	757,1	53,5	$8,18 \cdot 10^{-3}$	326,65	-4,80546	0,003061
$9,00 \cdot 10^{-2}$	0,6	$1,50 \cdot 10^{-1}$	759,6	50,7	$8,33 \cdot 10^{-3}$	323,85	-4,78745	0,003088
$8,70 \cdot 10^{-2}$	0,71	$1,23 \cdot 10^{-1}$	762,2	48,2	$8,42 \cdot 10^{-3}$	321,35	-4,77675	0,003112
$8,60 \cdot 10^{-2}$	0,79	$1,09 \cdot 10^{-1}$	765,3	45,3	$8,53 \cdot 10^{-3}$	318,45	-4,76379	0,00314
$8,50 \cdot 10^{-2}$	0,86	$9,88 \cdot 10^{-1}$	766,95	42,1	$8,64 \cdot 10^{-3}$	315,25	-4,75084	0,003172
$8,45 \cdot 10^{-2}$	0,94	$8,99 \cdot 10^{-2}$	769,8	40,1	$8,80 \cdot 10^{-3}$	313,25	-4,73269	0,003192
$8,40 \cdot 10^{-2}$	1,02	$8,24 \cdot 10^{-2}$	772,4	37,1	$8,93 \cdot 10^{-3}$	310,25	-4,71873	0,003223
$8,30 \cdot 10^{-2}$	1,08	$7,69 \cdot 10^{-2}$	774,8	34,7	$9,10 \cdot 10^{-3}$	307,85	-4,69917	0,003248
$7,90 \cdot 10^{-2}$	1,12	$7,05 \cdot 10^{-2}$	776,9	32,2	$9,19 \cdot 10^{-3}$	305,35	-4,69004	0,003275
$8,00 \cdot 10^{-2}$	1,18	$6,78 \cdot 10^{-2}$	779,1	30	$9,22 \cdot 10^{-3}$	303,15	-4,68648	0,003299
$8,00 \cdot 10^{-2}$	1,32	$6,06 \cdot 10^{-2}$	781,5	27,2	$9,31 \cdot 10^{-3}$	300,35	-4,67667	0,003329
$7,80 \cdot 10^{-2}$	1,56	$5,00 \cdot 10^{-2}$	782,5	25,6	$9,40 \cdot 10^{-3}$	298,75	-4,66662	0,003347

Promjer menzure je 0,0415 m, a polumjer je 0,02075 m. Gustoća kuglice je 1008,4 kg/m<sup>3</sup>

## SAŽETAK

U ovom završnom radu su opisane karakteristike fluida, gibanje realnih fluida te gibanje tijela u fluidu. Fluidi se mogu podijeliti na idealne i realne. Viskoznost je fizikalno svojstvo fluida, koje pokazuje njegov otpor ka tečenju. Na tijelo koje se giba u fluidu djeluje sila teže, sila uzgona i sila otpora sredstva, te sila otpora koja ovisi o brzini i geometriji tijela isto tako i viskoznost fluida. U završnom radu koristili su se fluidi suncokretovo ulje i etanol. U laboratoriju se određivala njihova gustoća, koeficijent dinamičke viskozosti i koeficijent kinematičke viskozosti. Razlog proučavanja upravo ta dva fluida je njihovo korištenje pri dobivanju biogoriva koja su u današnje vrijeme sve popularnija. Promatralo se kako ovisi gustoća fluida o temperaturi, koeficijent dinamičke viskozosti o temperaturi i ovisnost dinamičkog koeficijenta viskozosti mješavine etanola i vode o njihovoj koncentraciji.

## ABSTRACT

In this final work are described fluid characteristics, real fluid motion and motion of the body in fluid. Title of this final work is Measurement viscosity of mixed fluids. Fluids can be divided into ideal and realistic. Viscosity is the physical property of the fluid, which shows its fluidity resistance. The body that is floating in the fluid acts gravitational acceleration, force of buoyancy and force of resistance to resources and force of resistance witch depends about speed and geometry of the body, also viscosity of fluid. In this final work was used fluids sunflower oil and ethanol. Their density was determined in the laboratory, dynamic viscosity coefficient, kinematic viscosity coefficient. Reason of studying exactly those two fluids is their use of making biofuels which are becoming increasingly popular today. In this final work we wached how depends density of temperature, dynamic viscosity coefficient of temperature and depends of dinamic coefficient viscosity on mixtures by ethanol and water of their concentration.



## **ŽIVOTOPIS**

Josip Cenger rođen je 12. studenog 1992. u Virovitici. Završio je osnovnu školu u Daruvaru, te srednju školu Bartol Kašić smjer Tehničar za računalstvo. Upisao je Elektrotehnički fakultet u Osijeku 2011.

Tijekom studija bio je zaposlen u prodajnom centru Studio moderna i telekomunikacijskoj firmi Hrvatski Telekom . Student ima vrlo dobro poznavanje engleskog i odlično poznavanje češkoga jezika.

## LITERATURA

- [1] B.Esteban, J-R.Riba, G.Baqueo, A.Rius, R.Puig, Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils, Biomass and bioenergy, 42 (2012) 164-171
- [2] Ž. Mioković, Fizika 1 - Priručnik za laboratorijske vježbe, 205-209
- [3] Veleučilište u Požegi: Tehnološke operacije (2014) 5-6, dostupno na: [www.vup.hr/\\_Data/Files/140401145843670.pdf](http://www.vup.hr/_Data/Files/140401145843670.pdf)
- [4] DDB, Saturated liquid density, članak s interneta bez autora, dostupno na: <http://ddbonline.ddbst.de>
- [5] The engineering ToolBox, Water - Dynamic and Kinematic Viscosity, članak s interneta bez autora, dostupno na: [www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com)
- [6] PHYWE, Viscosity measurements with the falling ball viscometer, LEP 1.4.04, dostupno na: [www.nikhef.nl/~h73/kn1c/praktikum/phywe/LEP/Experim/1\\_4\\_04.pdf](http://www.nikhef.nl/~h73/kn1c/praktikum/phywe/LEP/Experim/1_4_04.pdf)
- [7] Anton Paar, Viscosity of benzene, dostupno na: <https://wiki.anton-paar.com/en/benzene>
- [8] Viskozitet motornog ulja ,članak s interneta bez autora, dostupno na : <https://www.motorna-vozila.com/viskozitet-motornog-ulja/>