

# Implementacija Arduino platforme pri eksperimentalnom određivanju viskoznosti fluida

---

**Vučina, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:200:183366>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-23**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**Implementacija Arduino platforme pri eksperimentalnom  
određivanju viskoznosti fluida**

**Završni rad**

**Ivan Vučina**

**Osijek, 2022.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 18.09.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Ivan Vučina
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4751, 23.07.2019.
<b>OIB Pristupnika:</b>	56419432651
<b>Mentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Ivan Aleksi
<b>Sumentor:</b>	Dr.sc. Željka Mioković
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Implementacija Arduino platforme pri eksperimentalnom određivanju viskoznosti fluida
<b>Znanstvena grana rada:</b>	Procesno računarstvo (zn. polje računarstvo)
<b>Zadatak završnog rad:</b>	U ovom radu potrebno je prilagoditi maketu za mjerenje viskoznosti fluida tako da se izmjereni podaci prikazuju na pametnom telefonu.
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	18.09.2022.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	21.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 22.09.2022.

**Ime i prezime studenta:**

Ivan Vučina

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4751, 23.07.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Implementacija Arduino platforme pri eksperimentalnom određivanju viskoznosti fluida**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Ivan Aleksi

i sumentora Dr.sc. Željka Mioković

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. ARDUINO SUSTAV.....	2
2.1. Arduino pločice.....	2
2.1.1. Arduino UNO pločica.....	3
2.2. Software.....	4
2.3. KOMPONENTE PROJEKTA.....	5
2.3.1. LCD pokaznik.....	5
2.3.2. LED diode.....	6
2.3.3. Matrix keypad.....	7
3. TEORIJSKA POZADINA EKSPERIMENTA I POSTUPAK IZVOĐENJA.....	8
3.1. Teorijska pozadina eksperimenta.....	8
3.2. Postupak izvođenja eksperimenta i alternativni eksperimenti mjerenja koeficijenta dinamičke viskoznosti.....	10
4. EKSPERIMENT PROVEDEN MAKETOM ZA DIGITALNO MJERENJE VREMENA PADA KUGLICE U FLUIDU.....	13
4.1. Rezultati mjerenja parametara starom maketom.....	13
4.2. Opis rada nove makete.....	16
4.3. Provedba eksperimenta novom maketom za digitalno mjerenje vremena pada kuglice u fluidu.....	18
4.4. Usporedba teorijskih i eksperimentalnih vrijednosti.....	35
5. ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA.....	37
SAŽETAK.....	38
ABSTRACT.....	38
ŽIVOTOPIS.....	39

## **1. UVOD**

U ovom završnom radu pomoću implementacije softverske platforme Arduino izvodi se pokus mjerenja viskoznosti tekućine u menzuri. Viskoznost tekućine ili unutarnje trenje jest trenje koje nastaje prilikom strujanja fluida zbog raznih brzina gibanja njegovih slojeva. Pomoću programiranja Arduino platforme te njegovih priključaka, provodi se pokus mjerenja viskoznosti. Uz Arduino platformu u pokusu se koriste svjetleće ili LED diode integrirane na tiskanu pločicu, daljinskog upravljača za prebacivanja rezultata te LCD pokaznik za prikazivanje rezultata. Uz navedenu opremu također su potrebni i menzura, loptica poznatog materijala i težine i stalak koji sve zajedno objedinjuje.

### **1.1. Zadatak završnog rada**

U radu je potrebno izraditi maketu za digitalno mjerenje viskoznosti tekućine primjenom Arduino mikroupravljačkog okruženja. Za različite viskozne tekućine, provesti mjerenja na eksperimentalnom postavu, statistički i grafički interpretirati dobivene rezultate te ih usporediti eksperimentalnim rezultatima dobivenim na drugim eksperimentalnim postavima.

## 2. ARDUINO SUSTAV

Arduino je platforma namijenjena pravljenju elektroničkih projekata. Sastoji se od mikrokontrolera kojeg se može programirati i softverskog dijela IDE (Integrated Development Environment) koji se koristi kako bi se učitao i prenio kod s računala na pločicu. Arduino je postao vrlo dostupna platforma široj masi zbog njegove lake i jednostavne upotrebe. Koristi se u proizvodnji interaktivnih objekata ili okoliša. Platforma ima mogućnost povezivanja s keypadom, LED diodama, motorima, zvučnicima, kamerama, raznim senzorima (npr. senzor svjetlosti - fototranzistor), LCD pokaznicima, pa čak i s uređajima poput pametnog telefona ili računalom. Zbog velikog spektra mogućnosti i izrade projekta, Arduino je danas među najpopularnijim platformama takve vrste.

### 2.1. Arduino pločice

Postoje razne izvedbe pločica Arduino platforme, no ona najrasprostranjenija jest Arduino UNO. Većina tih pločica ima slične priključke, komponente i pinove na sebi. Na sljedećoj slici mogu se vidjeti razlike u izgledu dviju takvih pločica, no njihov princip rada je sličan.

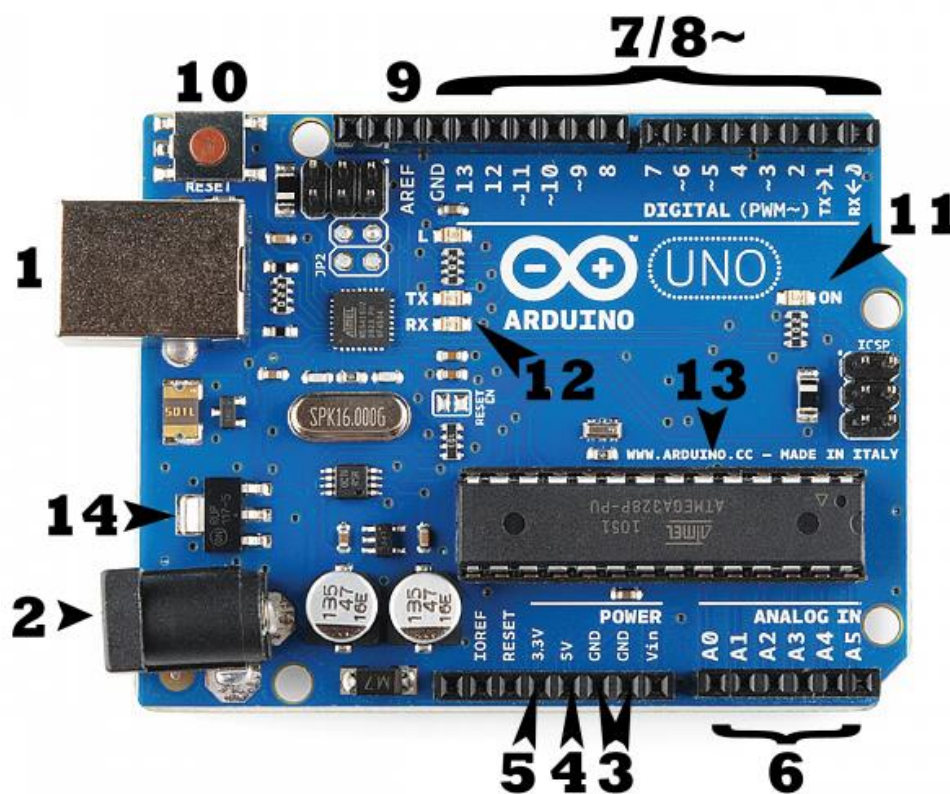


*Slika 2.1. Arduino UNO pločica (lijevo) i Arduino Nano pločica (desno)*

Uz dva najpopularnija Arduina – UNO i Nano, također postoje PRO Mini, Leonardo, Micro, Mega2560 Rev3, MKR Zero itd.

### 2.1.1. Arduino UNO pločica

U ovom poglavlju, putem oznaka na slici 2.2., detaljnije je opisan Arduino UNO.



Slika 2.2. Komponente Arduino UNO pločice

Napajanje UNO-a može se ostvariti spajanjem putem USB kabla na računalo ili putem adaptera snage 5V(DC) i 2A. Na slici su označeni brojevima 1 (USB port) i 2 (port za napajanjem adapterom). Pinovi na pločici služe kako bi Arduino povezali s ostalim dijelovima kruga, tj. s konstrukcijom kojom se radi (npr. matična ploča). Pin GND označen brojem 3 predstavlja uzemljenje kruga. Pinovi označeni brojevima 4 i 5 predstavljaju napajanje 5V i 3,3V koje Arduino pruža komponentama koje su spojene u krug. Većina tih komponenti radi na tako malom naponu, a za samu Arduino UNO platformu optimalan napon je od 6 do 12 V, uz napomenu da se ne koristi napon veći od 20V, jer može lako uništiti pločicu. Brojem 6 označeni su analogni pinovi, a na njima se spajaju analogni senzori pomoću kojih se dobivaju određene vrijednosti koje se poslije obrađuju. Digitalni pinovi označeni su brojem 7 i 8. Digitalni pinovi služe za digitalni unos i iznos podataka s pločice na računalo i obrnuto. Razlika je što pinovi označeni brojem 8 mogu biti i analogni izlazi. Za ovaj rad posebno su važni pinovi 0 i 1 koji



spadaju pod digitalne pinove. Nulti pin prikazuje RX skraćeno za primanje (eng. receive) i prvi pin TX namjenjen prijenosu (eng. transmit). Ta 2 pina služe za serijsku komunikaciju računala i platforme koja je detaljnije objašnjena u nastavku. Brojem 12 također su označeni LED indikatori koji signaliziraju prijenos ili primanje podataka. Tipka označena brojem 10 predstavlja reset koja ponovno pokreće rad platforme, a koristi se najviše za učitavanje novog koda s računala. Brojem 11 označen je LED indikator koji se pali napajanjem pločice. Integrirani krug ili sklop, tj. mikrokontroler, označen je brojem 13. Njega smatramo glavnim dijelom platforme jer povezuje rad svih dijelova zajedno. Najčešći integrirani sklopovi na platformama Arduino UNO su ATmega. Brojem 14 označen je regulator napona koji štiti platformu od oštećenja.

## 2.2. Software

Arduino IDE je aplikacija napravljena u Javi pomoću koje se programira rad Arduino platforme. Program za razvoj sastoji se od dijela gdje se upisuje kod te dijela koji taj isti kod kompilira, tj. sastavlja i provodi.

```
28 #include <SoftwareSerial.h>
29 |
30 SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX
31
32 void setup()
33 {
34     // Open serial communications and wait for port to open:
35     Serial.begin(115200);
36     while (!Serial) {
37         ; // wait for serial port to connect. Needed for Native USB only
38     }
39
40
41     Serial.println("Goodnight moon!");
42
43     // set the data rate for the SoftwareSerial port
44     mySerial.begin(38400);
45     mySerial.println("Hello, world?");
46 }
47
48 void loop() // run over and over
49 {
50     if (mySerial.available())
51         Serial.write(mySerial.read());
52     if (Serial.available())
53         mySerial.write(Serial.read());
54 }
```

*Slika 2.3. Prikaz Arduino IDE sučelja*

U ovoj aplikaciji, kao i u primjeru na slici 2.3., može se primjetiti da se razvojni sustav sastoji od dvije funkcije setup i loop. Setup je dio programa koji se samo jednom izvodi na pojavu reseta ili paljenjem mikroupravljača. Loop je dio programa koji se neprestano izvodi što ujedno znači da je to beskonačna petlja. Rezultati, koji se vide na platformi i komponentama, spojeni na istu, programiraju se u loop dijelu programa, dok u setupu definiramo ulaze, izlaze te baud rate na kojem sustav radi.

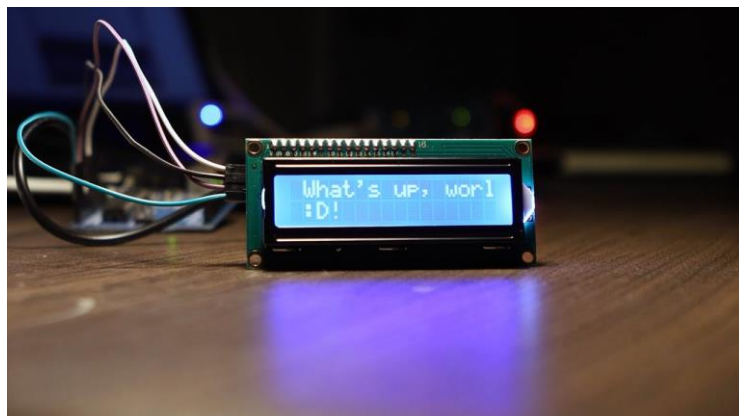
## 2.3. KOMPONENTE PROJEKTA

Spomenuto je već da Arduino platforme rade s komponentama koje se na njega spajaju putem vodiča. U ovom završnom radu korištene su:

1. Qapass LCD pokaznik
2. LED diode
3. Keypad gore/dolje

### 2.3.1. LCD pokaznik

LCD pokaznici rade na temelju tekućeg kristala koji struji kao tekućina, a molekule mu se usmeravaju kao kristali. Primjenom električnog polja molekule se izravnavaju te pokazivač upija svjetlost i prikazuje se crnim. Kada nema djelovanja električnog polja, svjetlost se odbija i pokazivač izgleda kao srebrno staklo. LCD pokaznici pokazuju ASCII znakove. Mogu imati različiti broj redaka i stupaca (pokaznik korišten u ovom radu ima 2 retka i 16 stupaca).



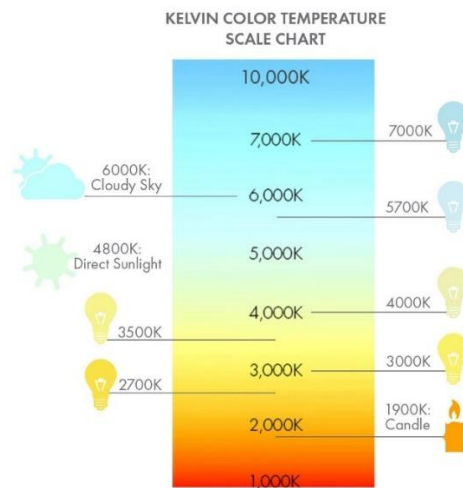
*Slika 2.4. Qapass LCD pokaznik 2x16*

*Tablica 2.1. Povezivanje LCD pokaznika i Arduina*

LCD pokaznik	Arduino
SDA	A4
SCL	A5
VCC	5V
GND	GND

### 2.3.2. LED diode

LED diode ili svjetiljke (skraćeno od eng. light emitting diode) jesu poluvodičke komponente koje pretvaraju električnu u svjetlosnu energiju. Izrađuju se od galija, arsena i fosfora, a o njihovom udjelu ovisi boja emitirane svjetlosti, tj. frekvencija. Za klasifikaciju emitirane svjetlosti koristi se mjerna jedinica Kelvin, kojom se mjeri temperatura boje. Uz LED diode često se spajaju i otpornici kako bi osigurali diode od previsokih napona.



*Slika 2.5. Raspon boja LED svjetiljke prikazan u Kelvinima*

*Tablica 2.2. Povezivanje LED dioda i Arduina*

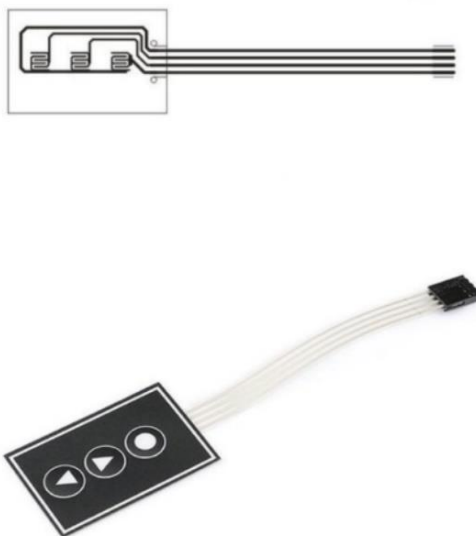
LED	Arduino
GND	GND
1 - 11	D1 – D11

### 2.3.3. Matrix keypad

Keypad je Arduino komponenta koja ima razne namjene i izvedbe. Koristi se kao tipkovnica pomoću koje upravljamo određenim funkcijama Arduino platforme. U ovom završnom radu koristi se 1x3 matrix keypad koji ima funkciju gore/dolje prikaza. Pomoću njega, na LCD pokazniku mogu se listati rezultati, što omogućuje lakšu evidenciju i zapis rezultata pokusa. Keypad se na Arduino pinove spaja putem stupaca i redaka (col=stupac, row=redak).

*Tablica 2.3. Povezivanje 3x1 matrix keypad i Arduino*

3x1 Matrix keypad	Arduino
COL1	A0
ROW1	A1
ROW2	A2
ROW3	A3



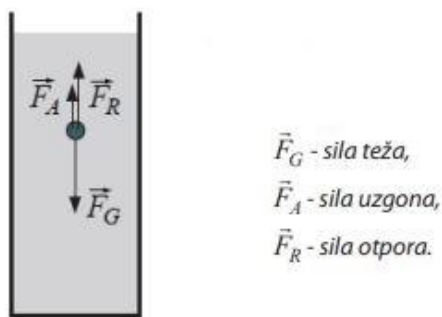
*Slika 2.8. 3x1 Matrix Keypad*

### 3. TEORIJSKA POZADINA EKSPERIMENTA I POSTUPAK IZVOĐENJA

U ovom poglavlju opisan je način provedbe eksperimenta uz teorijsko objašnjenje sila koje djeluju u eksperimentu, kao i izračun i izvedba određenih mjernih veličina.

#### 3.1. Teorijska pozadina eksperimenta

Viskoznost tekućine opisuje se kao trenje koje nastaje prilikom strujanja slojeva fluida zbog različite brzine njihovog gibanja. Dinamička viskoznost, koja će se računati u ovom eksperimentu, predstavljena je kao mjera pomičnog naprezanja po jedinici površine, potrebna prije nego što se uzorak, odnosno, fluid počne deformirati. Ova se karakteristika obično izražava u paskal sekundama. Postupak izvođenja eksperimenta jest da se kuglicu poznatog materijala, gustoće i polumjera uroni u menzuru u kojoj se nalazi fluid za koji određujemo viskoznost. Gibanje kuglice kroz fluid ovisi o sili teži, sili uzgona i sili otpora sredstva. Na slici 3.1. vidi se utjecaj navedenih sila na kuglicu nakon što se ona ubaci u fluid. Da bi kuglica padala u fluidu, potrebno je da svlada silu otpora i silu uzgona.



Slika 3.1. Sile koje djeluju na kuglicu

U eksperimentu se mjere vremenski odsječci potrebni da kuglica padne na dno menzure. Pomoću izmjerenih parametara se izvodi koeficijent dinamičke viskoznosti fluida.

Relacija koeficijenta dinamičke viskoznosti fluida:

$$\eta = \frac{2 \cdot r_k^2 \cdot (\rho_k - \rho_f) \cdot g}{9 \cdot v \cdot (1 + 2,1 \cdot \frac{r_k}{R})} \quad (3-1)$$

gdje je  $r_k$  polumjer kuglice,  $\rho_k$  gustoća kuglice,  $\rho_f$  gustoća fluida,  $g$  ubrzanje sile teže,  $v$  brzina padanja kuglice,  $R$  polumjer cijevi, tj. menzure. Mjerna jedinica, prema SI-sustavu, za koeficijent dinamičke viskoznosti je Pas (paskal sekunda,  $Pa \cdot s = N \cdot s \cdot m^{-2}$ ). Uz koeficijent

dinamičke viskoznosti fluida, postoji i koeficijent kinematičke viskoznosti fluida. Odnosi se na otporno strujanje tekućine pod utjecajem gravitacije. Ovo svojstvo, koje ovisi o gustoći fluida, mjeri se u kvadratnim metrima u sekundi.

Relacija koeficijenta kinematičke viskoznosti fluida:

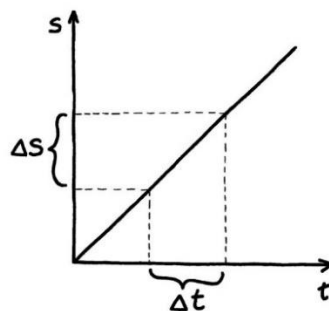
$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad (3-2)$$

gdje  $\eta$  predstavlja koeficijent dinamičke viskoznosti fluida, a  $\rho$  predstavlja gustoću fluida. Stokesov zakon hidrodinamike opisuje kojom silom sferno tijelo (npr. kuglica), koje se giba u viskoznoj tekućini, svladava silu otpora gibanja i silu uzgona:

$$F_d = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (3-3)$$

Gdje je  $\eta$  koeficijent dinamičke viskoznosti fluida,  $r$  polumjer tijela i  $v$  brzina tijela.

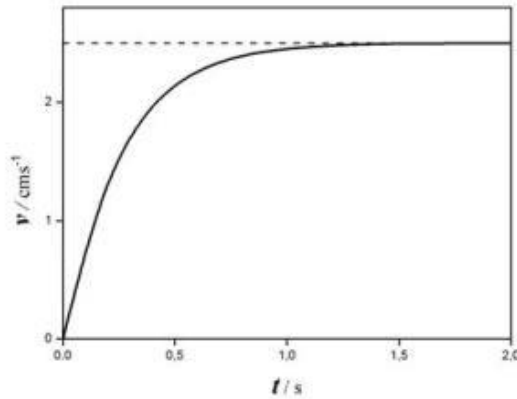
Rezultati mjerenja prikazuju se preko 2 grafa gdje prvi prikazuje ovisnost prijeđenog puta, tj. visine o vremenu, a drugi prikazuje ovisnost brzine kuglice u vremenu pada kroz menzuru. Mjerena visina određena je pokusom i ona iznosi 2,5 cm te je za prvi graf potrebno samo izmjeriti vremena u kojima kuglica prolazi kroz označene visine udaljenosti 2,5 cm.



*Slika 3.2. Teoretski očekivani h-t graf*

Slika 3.2. predstavlja pretpostavljeni rezultat, odnosno očekivani izgled grafa koji bi se trebao dobiti kao rješenje, jer kuglica koja ima stalnu brzinu konstantno mijenja svoj prijeđeni put. Pošto su visine, tj. put između dva mjerenja kojeg prođe kuglica mali, pad kuglice se gleda kao ovisnost puta o vremenu, gdje se podjednako povećavaju i prijeđeni put i vrijeme kada se postigne konstantna brzina kuglice u fluid, odnosno, kad se svladaju sile uzgona i otpora

težinom kuglice. Iz grafa se vidi da je ovisnost puta o vremenu linearna, tj. da graf prikazuje brzinu čijom se formulom potvrđuje navedena ovisnost  $v=h/t$ .



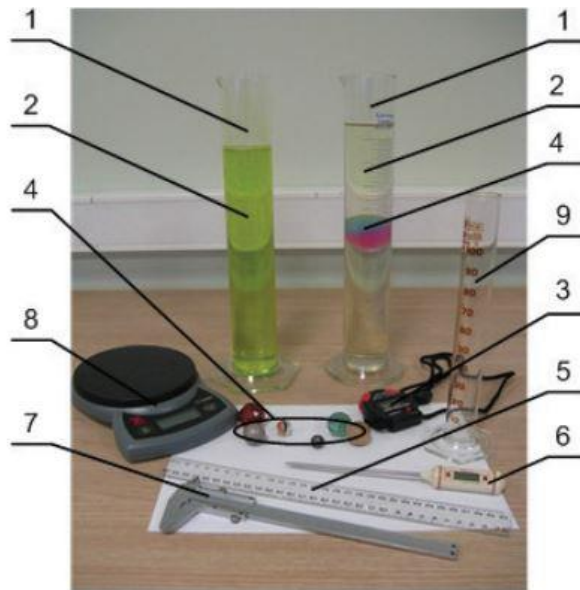
*Slika 3.3. Teoretski očekivani v-t graf*

Slika 3.3. predstavlja vremensku ovisnost brzine padanja kuglice u fluidu te očekivane rezultate u prikazu grafa prilikom mjerenja ubrzanja. Iz grafa se može zaključiti da je ubrzanje u početku pada kuglice veće te se polako stabilizira, odnosno, ubrzanje se približava nuli, a brzina se stabilizira, odnosno, postaje konstanta. To vrijedi jer se ubrzanje definira kao ovisnost brzine  $v$  o vremenu  $t$ .

### **3.2. Postupak izvođenja eksperimenta i alternativni eksperimenti mjerenja koeficijenta dinamičke viskoznosti**

U eksperimentu pomoću kuglice i menzure mjere se parametri pomoću kojih se računa koeficijent dinamičke viskoznosti tekućine.

Za izvršavanje eksperimenta potrebni su: staklena menzura (1,2,9), zaporne ure (3), kuglice različitih veličina i različitih materijala (4), ravnala ili mjerne vrpce (5), termometar (6), pomične mjerke (7) i digitalna vaga (8).



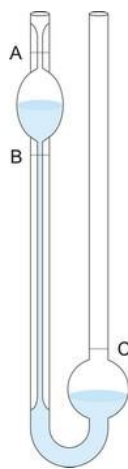
*Slika 3.4. Pribor za izvođenje eksperimenta*

Pomoću zaporne ure, zabilježavaju se vremena u kojima kuglica prolazi kroz određene točke u menzuri. Mjeri se vrijeme gibanja kuglice i prijeđeni put od onog trenutka kad gibanje kuglice postane jednoliko. Brzina kuglice prikazuje se formulom  $v = \Delta h / \Delta t$  (odnosom puta u vremenu), gdje je  $h$  prijeđeni put kuglice kroz menzuru, a  $t$  vrijeme za koje kuglica prijeđe taj put. Visina  $h$  podijeli se na nekoliko manjih puteva kako bi se dobio što precizniji rezultat mjerenja. Također, prije izvođenja pokusa termometrom se izmjeri temperatura tekućine u menzuri, jer njena viskoznost uvelike ovisi o temperaturu. Pri većoj temperaturu tekućine imaju manje trenje među svojim slojevima i samim time viskoznost je manja. Kuglicu je prije ubacivanja u fluid potrebno izmjeriti, odrediti njen promjer i njenu gustoću. Potom se kuglica što mirnije ubacuje u menzuru te se mjeri njena brzina pada do dna na različitim točkama menzure koje predstavljaju određeni prijeđeni put. Pomoću izmjerenih parametara potrebno je odrediti koeficijent dinamičke viskoznosti fluida  $\eta$ .

Nedostaci ovakvog načina mjerenja, tj. ručnog izvođenja pokusa su veliki. Postoje mnoge greške koje ljudsko oko ne može ni zapaziti prilikom mjerenja. Mjerenje je razdijeljeno na visine od 2,5 cm kako bi se dobili što točniji rezultati i kako bi se potvrdio teoretski navod da je brzina gibanja tijela u početku veća, a nakon maksimalnog djelovanja sila uzgona i sile otpora brzina postaje konstantna. Greške koje se tu mogu pojaviti su nepreciznost izvršitelja eksperimenta, jer je teško štopericu pritisnuti u točnom vremenu prolaska kuglice kroz određenu visinu i tako više puta.



Ovo je najčešće upotrebljavani eksperiment za mjerenje viskoznosti tekućine, jer je praktičan i ne treba mnogo materijala i pribora za njegovu izvedbu. Uz ovaj postoje drugi načini i pribor za mjerenje viskoznosti fluida. Primjer takvih uređaja je kapilarni viskozimetar s U-cijevi. Za njegovu izvedbu potreban je fluid poznatog viskoziteta, a uspoređivanjem koeficijenta dinamičke viskoznosti mjeri koeficijent željenog fluida. Fluid poznatog viskoziteta je potreban da bi se instrument baždario, tek onda uspoređujemo njegov koeficijent viskoznosti s onim mjerene tekućine. Eksperiment se provodi tako da se kroz usku kapilaru mjeri istjecanje fluida i bilježi se vrijeme kad razina fluida stigne od točke A do točke B, kao što je prikazano na slici 3.5.

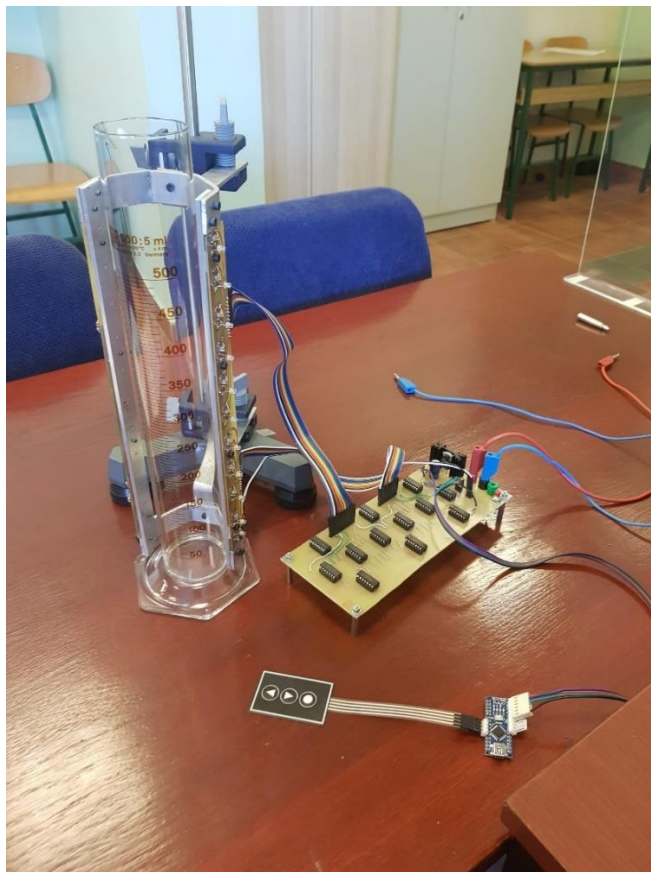


*Slika 3.5. Kapilarni viskozimetar ili viskozimetar s U-cijevi*

Uz navedeni eksperiment i viskozimetar, za određivanje koeficijenta viskoznosti fluida također se koriste i rotacijski reometar. Kod njega se primjenjuju slabe razine okretnog momenta instrumenta na fluid kako bi došlo do mehaničke deformacije, odnosno, smicanja unutar slojeva fluida. Količina zakretnog momenta, potrebna da izazove rotaciju preko vodoravne ravnine u fluidu, mjeri se i odnosi se na viskoznost uzorka. Uz to, za mjerenje koeficijenta viskoznosti fluida postoje i mikrofluidni reometar, beskontaktna reologija i vibracijski viskozimetar.

## 4. EKSPERIMENT PROVEDEN MAKETOM ZA DIGITALNO MJERENJE VREMENA PADA KUGLICE U FLUIDU

Za ovu maketu već postoji mikroupravljački sustav koji je napravljen od više-manje istih komponenti. No, nije ovoliko kompatibilan i njegova primjena je puno teža, jer je prilikom nove izvedbe eksperimenta potrebno ponovno spajati maketu na mikroupravljački sustav. Također, i LCD pokaznik i keypad nisu fiksno spojeni na maketu. Glavni problem ove izvedbe jest taj što sustav nije fiksno povezan sa stalkom, tj. maketom na stalku.



*Slika 4.1. Stara maketa s mikroupravljačkim sustavom*

### 4.1. Rezultati mjerenja parametara starom maketom

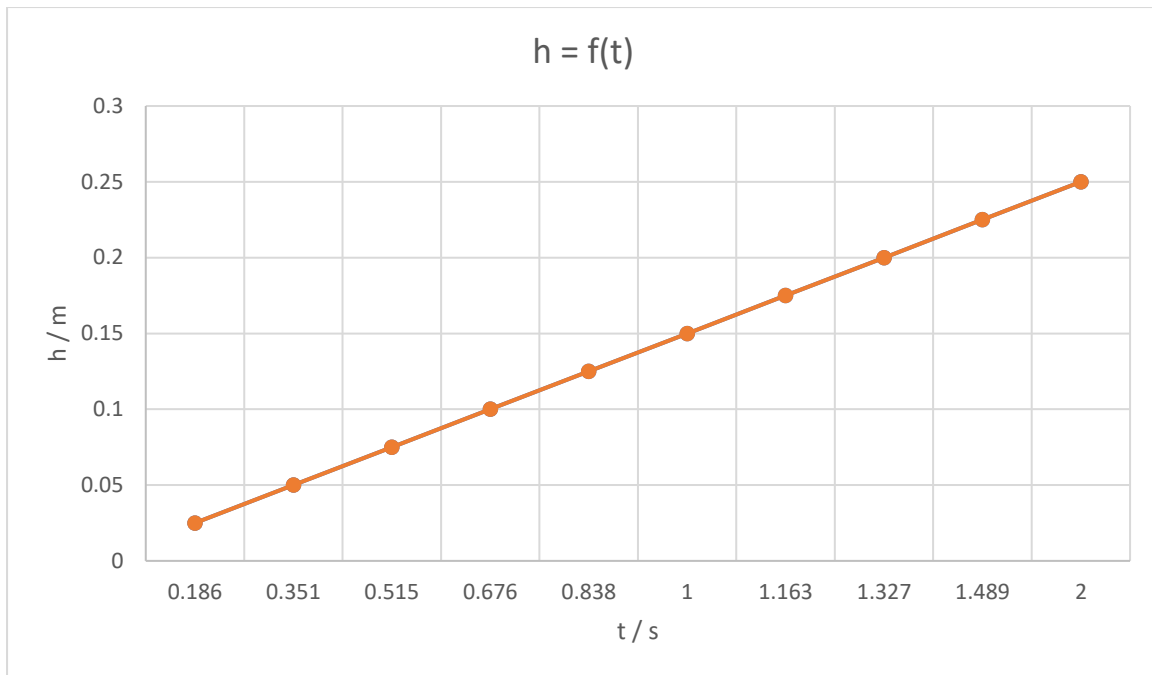
U ovom poglavlju, prikazani su rezultati mjerenja odrađeni maketom prikazanom na slici 4.1. Korišteni fluid u eksperimentu je suncokretovo ulje, a materijal kuglice je acetal, pri temperaturi od 23°C.

**Tablica 4.1.** Prikaz mjernih podataka suncokretovog ulja i kuglice od acetala

Promjer menzure / mm	48
Temperatura ulja / °C	23
Gustoća suncokretovog ulja $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	921
Materijal kuglice	Acetal
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	1380
Promjer kuglice / mm	9,5
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

**Tablica 4.2.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara izvođeni maketom prikazanom na slici 4.1.

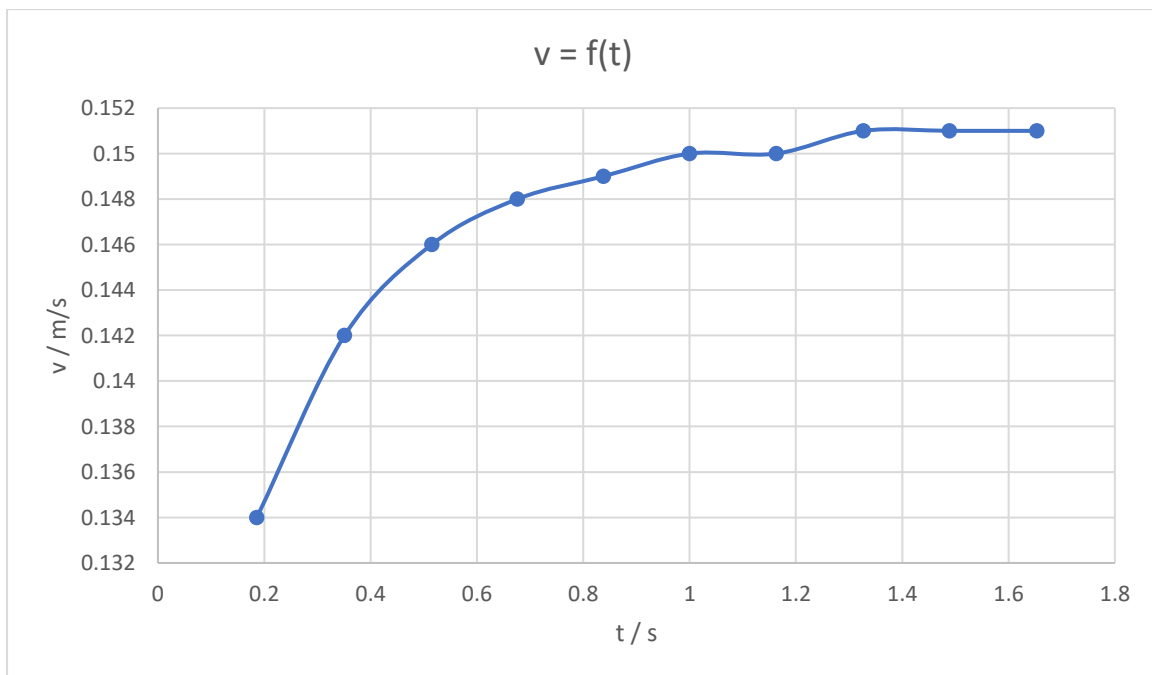
Vremena padanja t / s	
t1	0,186
t2	0,165
t3	0,164
t4	0,161
t5	0,162
t6	0,162
t7	0,163
t8	0,164
t9	0,162
t10	0,164
Ukupno vrijeme padanja t / s	1,653
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta / \text{Pas}$	0,4393



*Slika 4.2. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta suncokretovog ulja i kuglice od acetala*

Brzina  $v$  definira se kao prijeđeni put u proteklom vremenu, a dobiva se pomoću formule:

$$v = \Delta h / \Delta t \quad (4-1)$$



*Slika 4.3. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa na slici 4.2.*

## 4.2. Opis rada nove makete

U ovom završnom radu, rješava se problem veličine cjelokupnog sustava, jer su Arduino pločica, tipkalo, LCD pokaznik i sve ostale komponente fiksno povezane na maketu koju samo postavljamo na stalak, a unutar kojeg je potrebno postaviti samo menzuru.



*Slika 4.4. Nova izvedba makete s mikroupravljačkim sustavom*

Maketa na slici 4.4., prikazuje potpunu izvedbu, na kojoj su spojeni svi dijelovi opisani u prethodnim poglavljima. Eksperiment se, kao i na izvedbi makete prikazane na slici 4.1., izvodi postavljanjem menzure s određenom tekućinom unutar makete te se pomoću izmjerenih veličina određuje koeficijent viskoznosti. Na novoj maketi je praktičniji sklop, gdje je za razliku od stare izvedbe, pričvršćen Arduino mikroupravljač, LCD pokaznik te keypad. Mikroupravljač je kodiran tako da se na početku paljenja makete upale sve LED-ice čime se provjerava njihova ispravnost. Zatim se na LCD pokazniku ispiše „FERIT Osijek Viskoznost“, te je maketa spremna za rad. Bacanjem loptice određenog materijala kroz tekućinu LED-ice, koje su na istoj visini kao i senzori koji detektiraju prolaz loptice, pale se te signaliziraju da je kuglica prošla tu visinu. Nakon pada kuglice se, kroz cijelu menzuru na LCD pokazniku,

ispisuje „Mjerenje gotovo!“, te se potom ispišu vremena, izražena u milisekundama, koja predstavljaju vrijeme koje je bilo potrebno da kuglica prijeđe put od početka do senzora na određenoj visini. Za razliku od izvedbe makete prikazane slikom 4.1., rezultati koji su prikazani na LCD-u ne prikazuju razliku između dva senzora, već prikazuje vrijeme u milisekundama koje je potrebno kuglici da prijeđe put od prvog senzora do senzora koji je na tom rednom broju. Vrijeme prikazano na 10. senzoru, odnosno, 10. izmjereno vrijeme ujedno prikazuje i ukupno vrijeme pada kuglice.



*Slika 4.5. Prikaz rada makete prilikom izvođenja eksperimenta*

### 4.3. Provedba eksperimenta novom maketom za digitalno mjerenje vremena pada kuglice u fluidu

U izvođenju eksperimenta novom maketom, koristili su se drukčiji materijali kuglica i tekućine, što je i navedeno u narednim tablicama i slikama.



*Slika 4.6. Menzure s raznim tekućinama u kojima je izveden eksperiment*

Iz priložene slike vide se menzure ispunjene raznim tekućinama u kojima se izvodio eksperiment mjerenja viskoznosti tekućine. U svim pokusima koristile su se kuglice od stakla (kliker) i kuglice od željeza. Da se ne bi morale miješati kuglice i tekućine, za svaku menzuru su korištene drukčije kuglice, a samim time im se razlikuje i promjer što je navedeno u tablicama prije rezultata svakog eksperimenta. S lijeva na desno, redom su u menzurama: parafinsko ulje, glicerina, suncokretovo ulje te voda. Za mjerenje brzine u narednim pokusima koristi se formula (4-1), a dinamički koeficijent viskoznosti fluida prema formuli (3-1). U narednim stranicama prikazani su rezultati provedenih eksperimenata raznim kuglicama i fluidima, a grafovi se dobiju putem izmjerenih parametara i primjenom navedenih formula.

a) Rezultati mjerenja parametara eksperimenta sa suncokretovim uljem i grafički prikaz

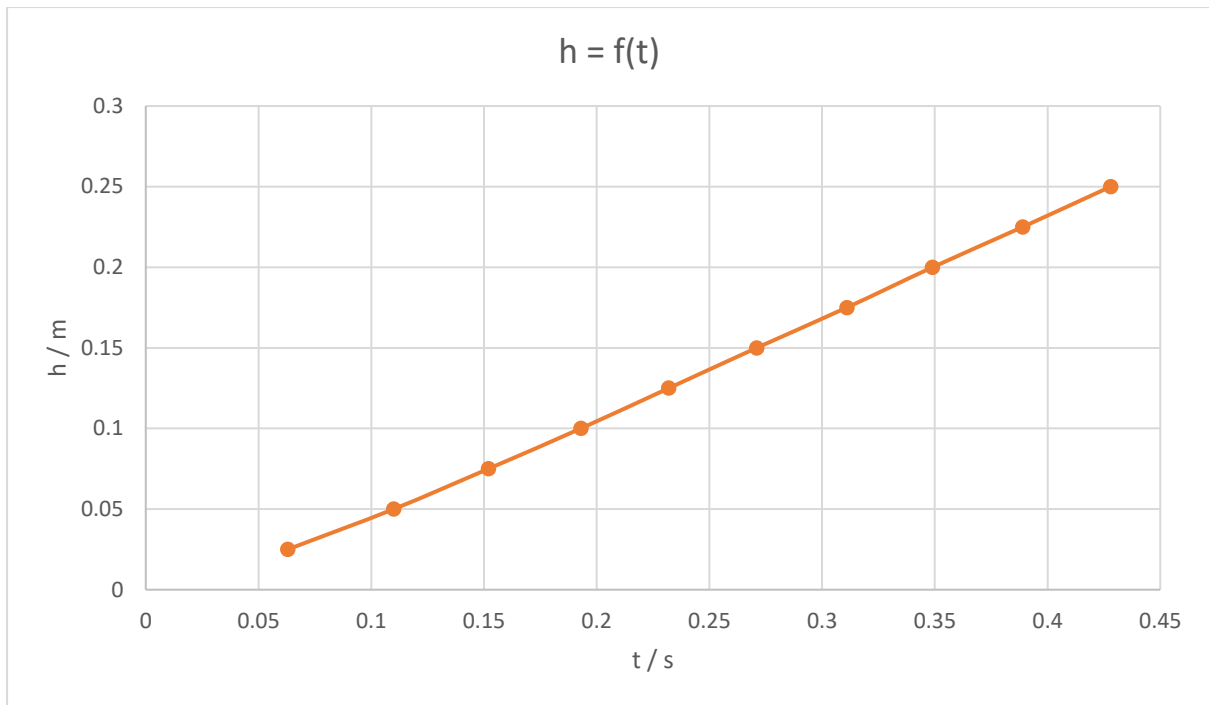
**Tablica 4.2.** Prikaz mjernih podataka suncokretovog ulja i klikera

Promjer menzure / mm	48
Temperatura suncokretovog ulja / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	921
Materijal kuglice	Kliker (staklo)
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	2200
Promjer kuglice / mm	26
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

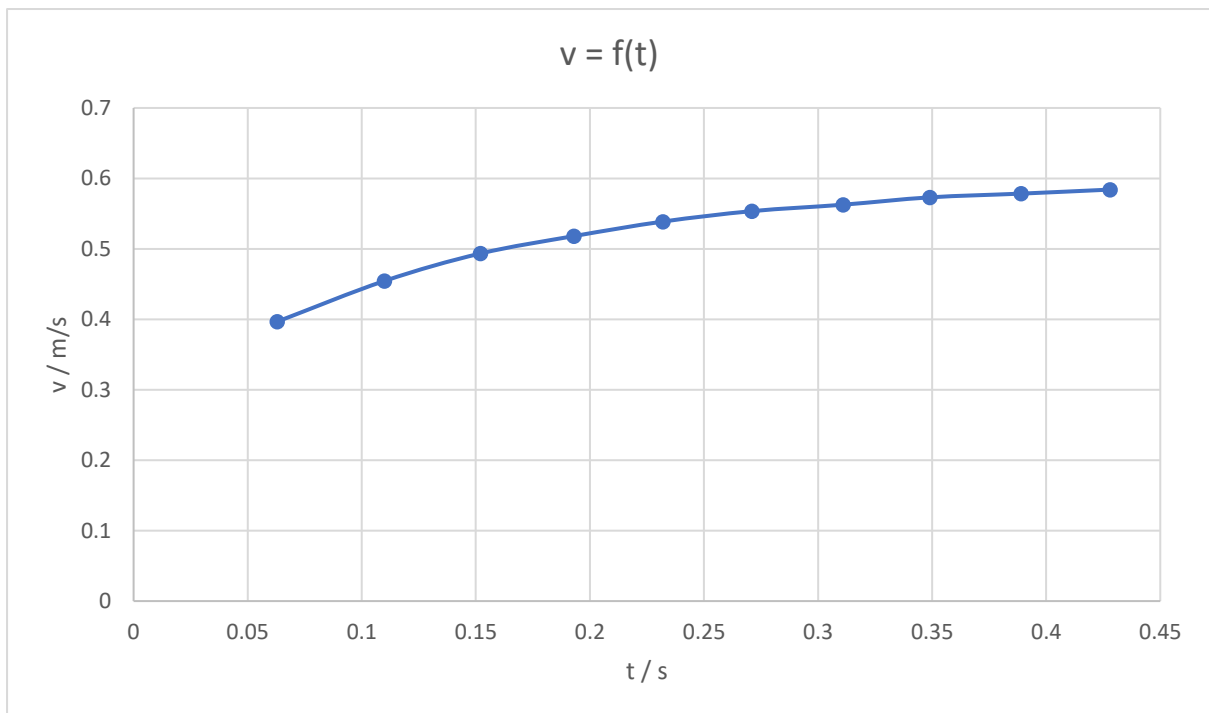
**Tablica 4.3.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja t / s	
t1	0,063
t2	0,110
t3	0,152
t4	0,193
t5	0,232
t6	0,271
t7	0,311
t8	0,349
t9	0,389
t10	0,428
Ukupno vrijeme padanja t / s	0,428
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta$ / Pas	0,38





*Slika 4.7. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta sa suncokretovim uljem i klikerom*



*Slika 4.8. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.7.*

Kao što se može vidjeti iz grafikona rezultati se podudaraju s onim teoretski pretpostavljenima. Razlika u nagibu se može primijetiti kod v-t grafikona, jer se prilikom odrade ovog

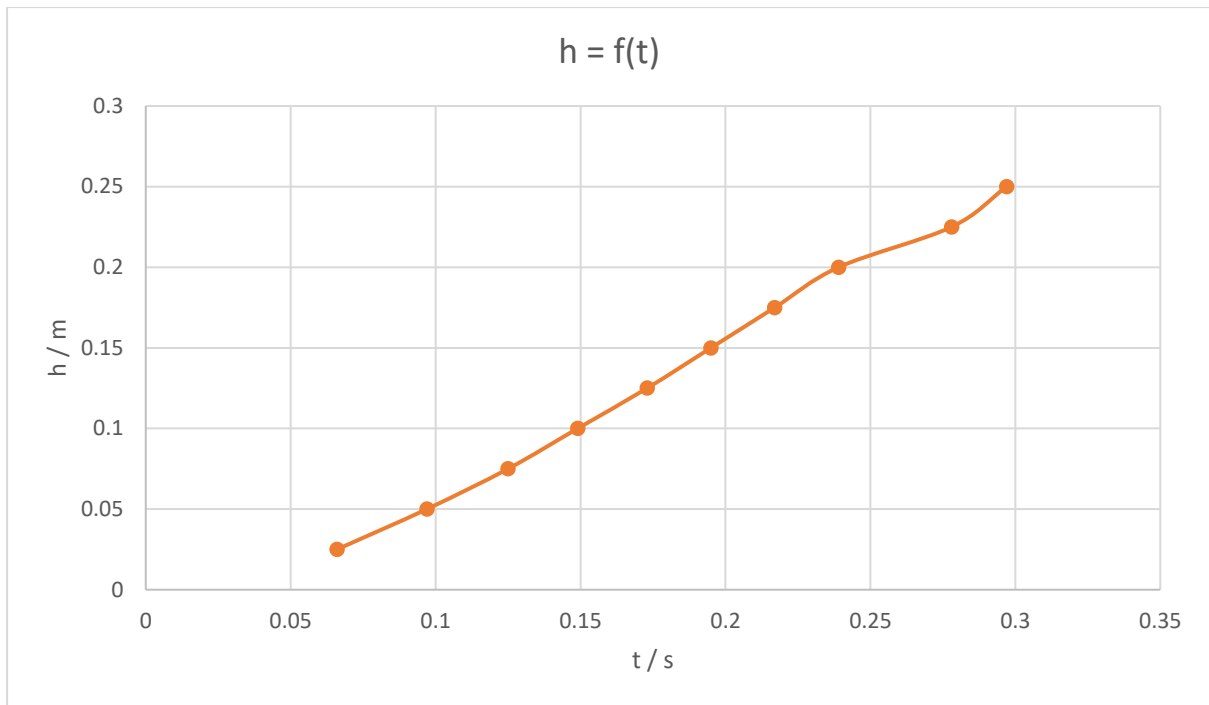
eksperimenta koristila kuglica dosta većeg polumjera, stoga se njena brzina ne mijenja toliko kao i ona izmjerena u eksperimentu s maketom prikazanom na slici 5.1.. No i dalje se poklapa s teoretskom pozadinom, a to je da je brzina  $v$  u početku raste većom brzinom, a zatim se približava konstantnoj vrijednosti.

**Tablica 4.4.** Prikaz mjernih podataka suncokretovog ulja i željezne kuglice

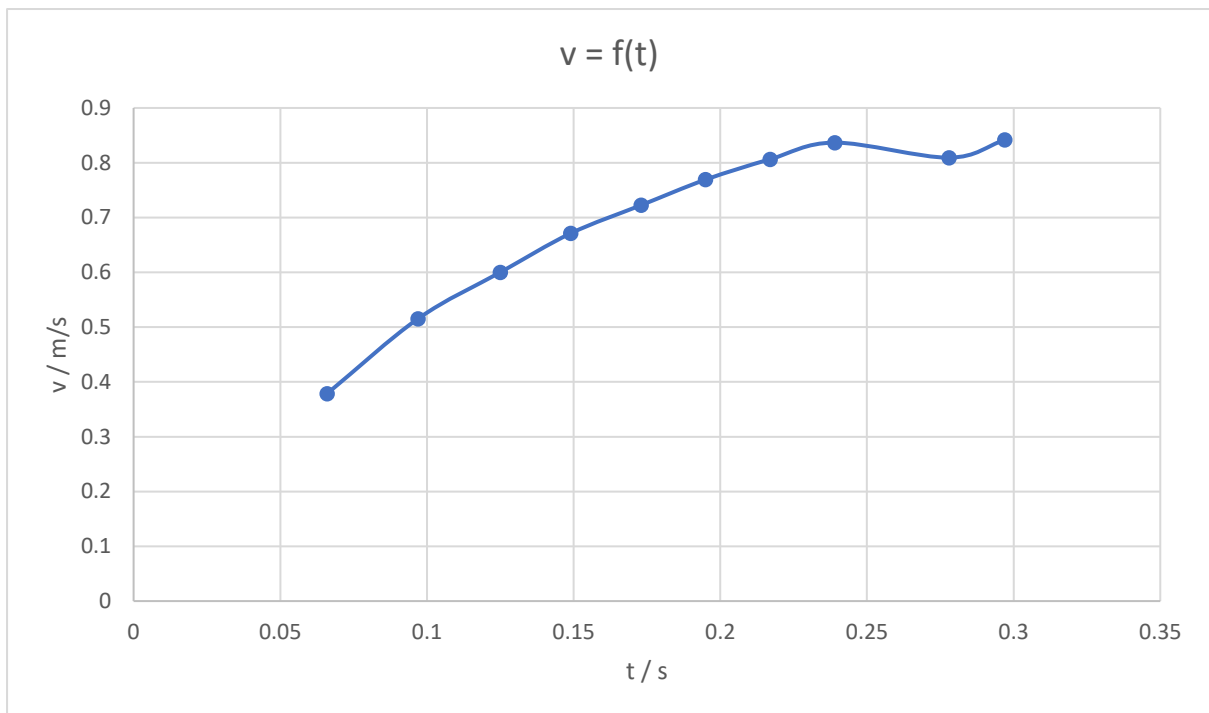
Promjer menzure / mm	48
Temperatura suncokretovog ulja / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / kgm^{-3}$	921
Materijal kuglice	Željezo
Gustoća kuglice $\rho_k / kgm^{-3}$	7870
Promjer kuglice / mm	22
Visina na kojoj su podijele $h / m$	0,025

**Tablica 4.5.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja $t / s$	
t1	0,066
t2	0,097
t3	0,125
t4	0,149
t5	0,173
t6	0,195
t7	0,217
t8	0,239
t9	0,278
t10	0,297
Ukupno vrijeme padanja $t / s$	0,297
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta / Pas$	1,1741



*Slika 4.9. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta sa suncokretovim uljem i željeznom kuglicom*



*Slika 4.10. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.9.*

U predzadnjem mjerenju na slici 4.9. odnosno 4.10. vidi se manje odstupanje, to je moguće ako kuglici malo skrene putanja tokom pada ili kašnjenje očitavanja senzora.

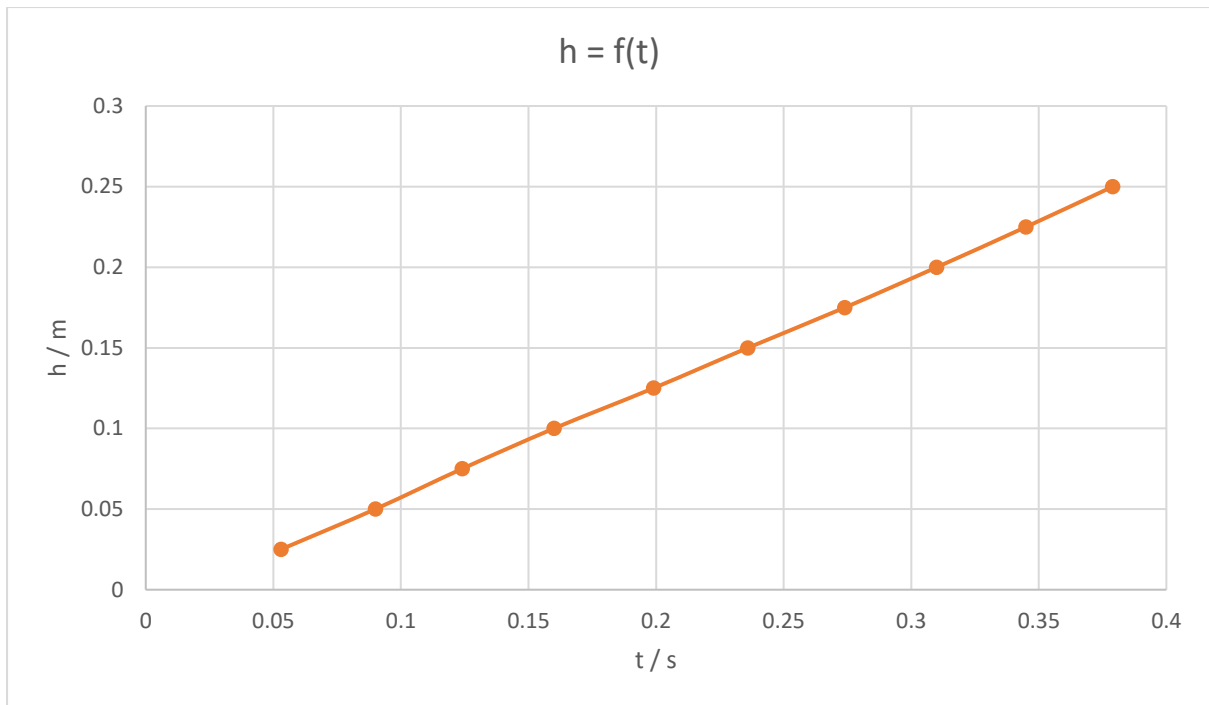
b) Rezultati mjerenja parametara eksperimenta s vodom i grafički prikaz

**Tablica 4.6.** Prikaz mjernih podataka vode i klikera

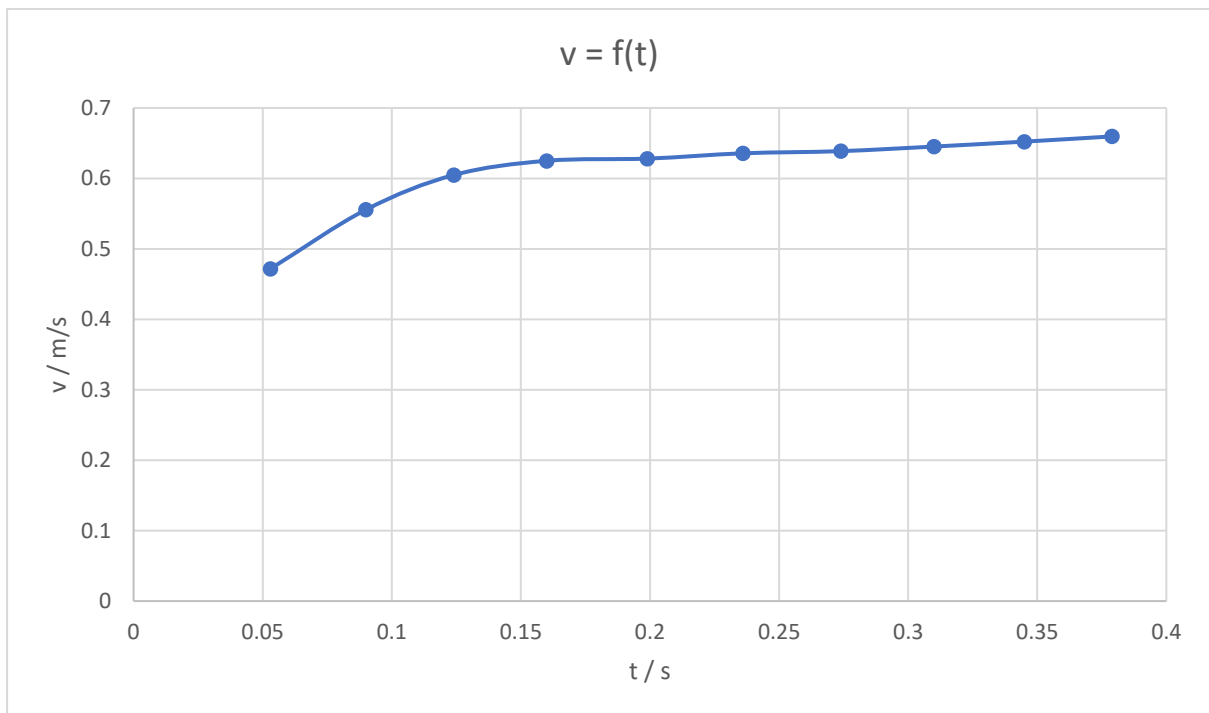
Promjer menzure / mm	48
Temperatura vode / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	1000
Materijal kuglice	Kliker (staklo)
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	2200
Promjer kuglice / mm	26
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

**Tablica 4.7.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja t / s	
t1	0,053
t2	0,090
t3	0,124
t4	0,160
t5	0,199
t6	0,236
t7	0,274
t8	0,310
t9	0,345
t10	0,379
Ukupno vrijeme padanja t / s	0,379
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta$ / Pas	0,3231



*Slika 4.11. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta s vodom i klikerom*



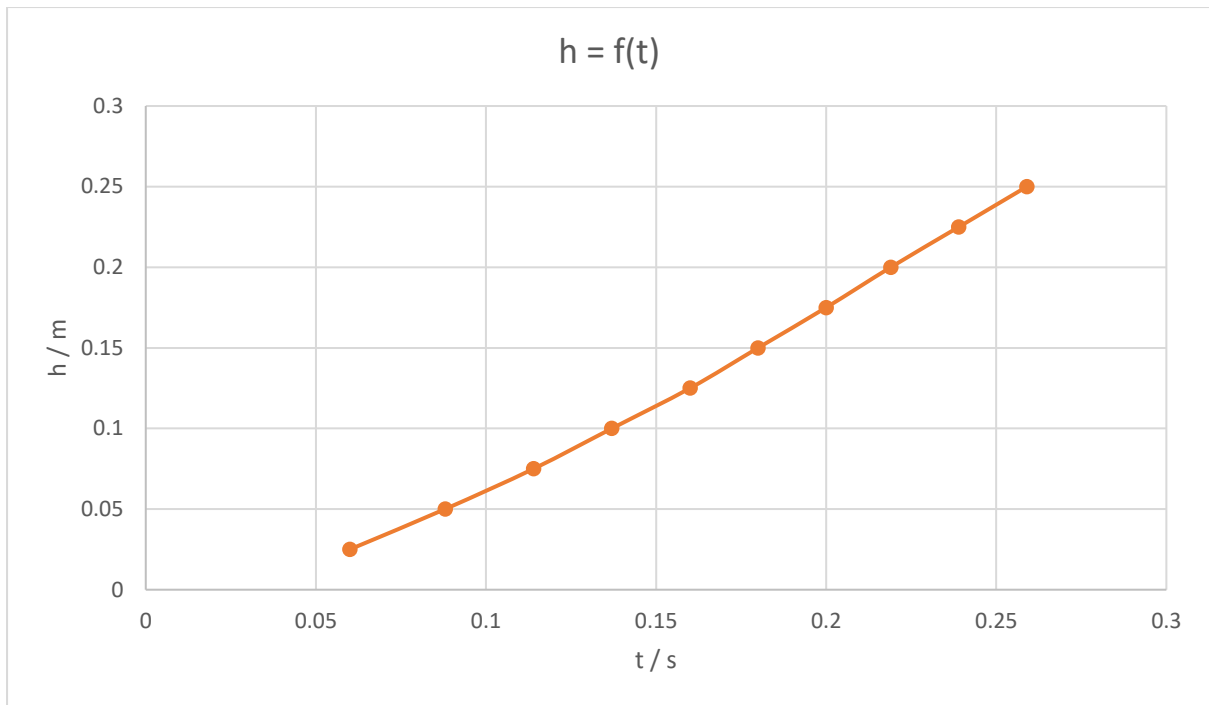
*Slika 4.12. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.11.*

**Tablica 4.8.** Prikaz mjernih podataka vode i željezne kuglice

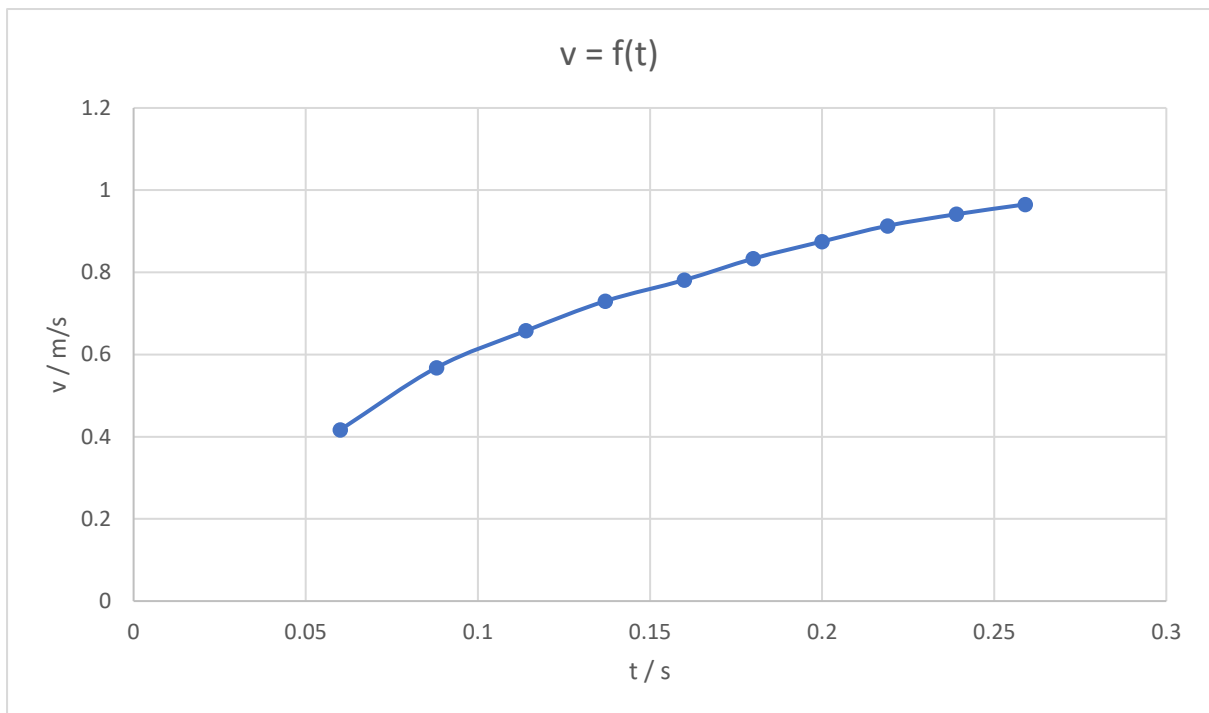
Promjer menzure / mm	48
Temperatura vode / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	1000
Materijal kuglice	Željezo
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	7870
Promjer kuglice / mm	21
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

**Tablica 4.9.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja t / s	
t1	0,06
t2	0,088
t3	0,114
t4	0,137
t5	0,160
t6	0,180
t7	0,200
t8	0,219
t9	0,239
t10	0,259
Ukupno vrijeme padanja t / s	0,259
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta$ / Pas	0,9561



*Slika 4.13. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta s vodom i željeznom kuglicom*



*Slika 4.14. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.13.*

Iz slika 4.11.-4.14. vidi se da je kuglicama potrebno kratko vrijeme prolaska kroz fluid u menzuri, što nije dobro za kvalitetno mjerenje parametara i izvršavanje eksperimenta.

c) Rezultati mjerenja parametara eksperimenta s glicerinom i grafički prikaz

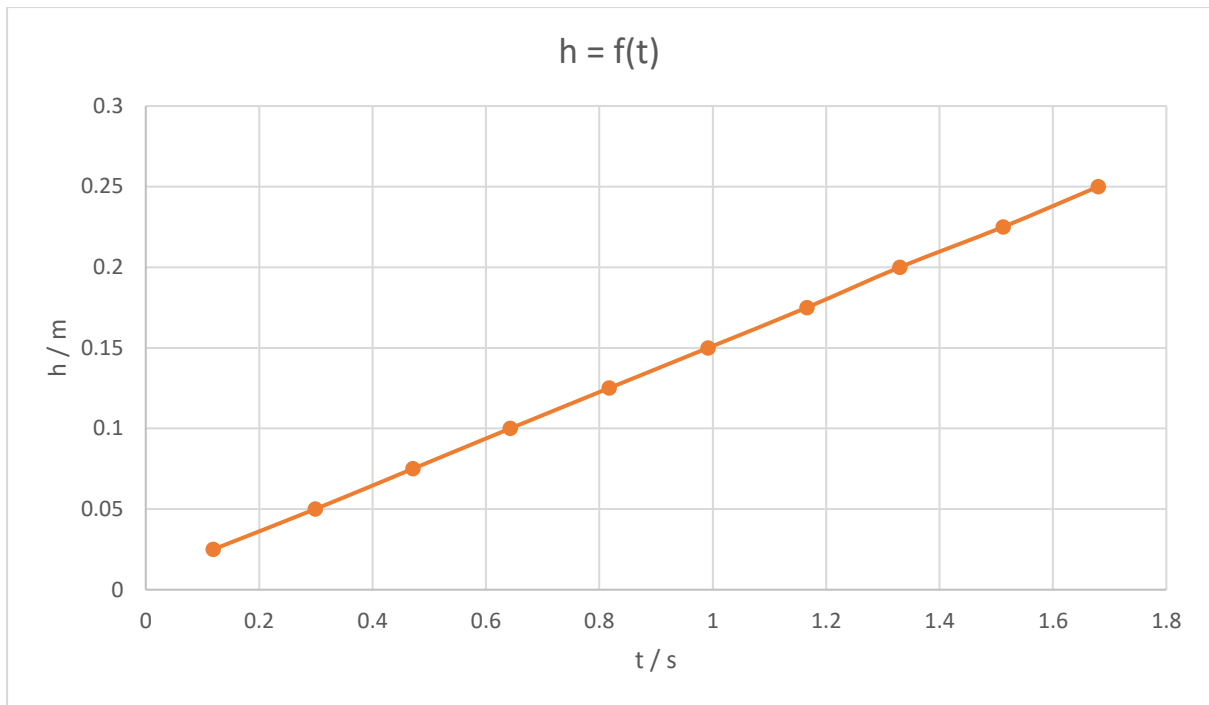
**Tablica 4.10.** Prikaz mjernih podataka glicerina i klikera

Promjer menzure / mm	48
Temperatura glicerina / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	1259
Materijal kuglice	Kliker (staklo)
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	2200
Promjer kuglice / mm	31
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

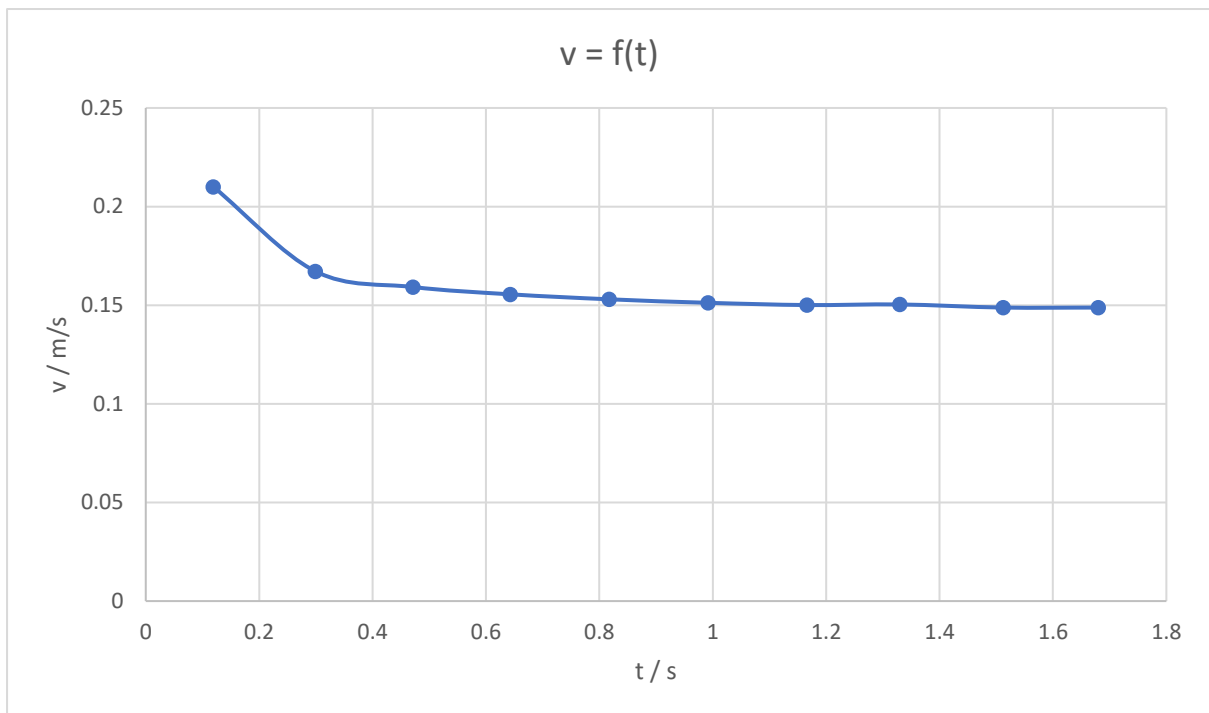
**Tablica 4.11.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja t / s	
t1	0,119
t2	0,299
t3	0,471
t4	0,643
t5	0,817
t6	0,992
t7	1,166
t8	1,33
t9	1,512
t10	1,68
Ukupno vrijeme padanja t / s	1,68
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta / \text{Pas}$	1,493





*Slika 4.15. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta s glicerinom i klikerom*



*Slika 4.16. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.15.*

U ovom grafikonu vidi se devijacija, odnosno odstupanje od ostalih zbog početne brzine veće od konačne. To je rezultat ubacivanja kuglice s neke visine umjesto s početnog položaja

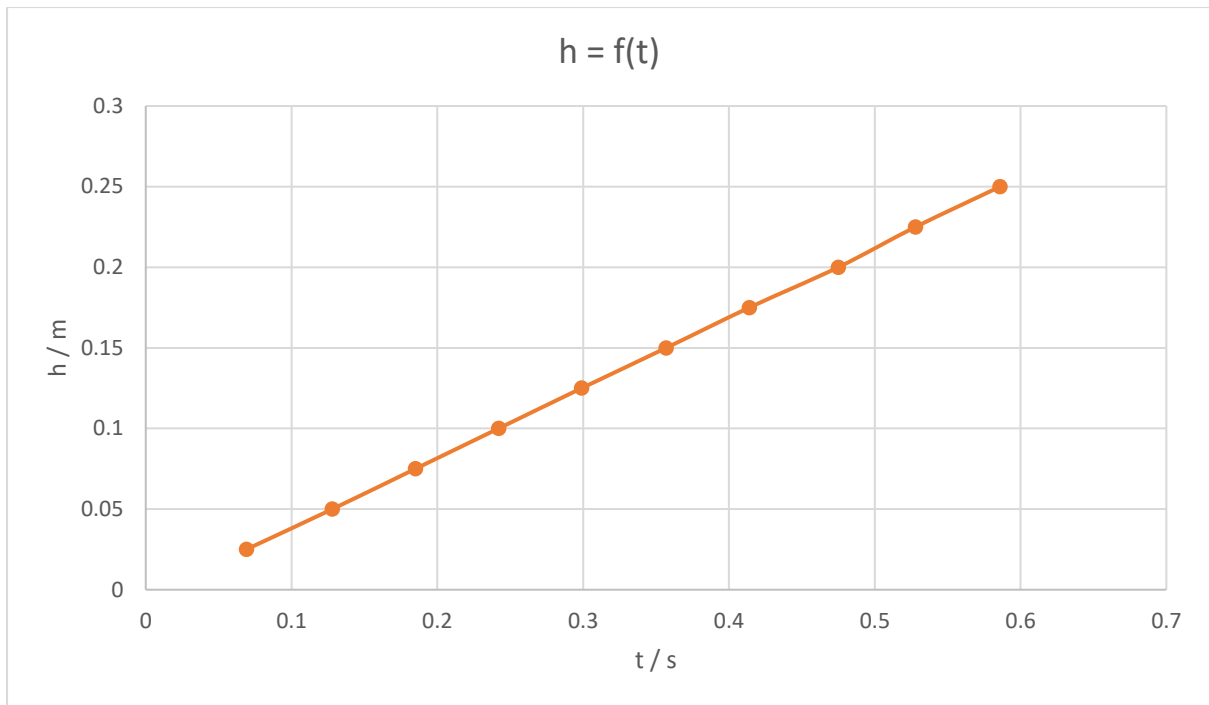
odnosno mirno puštanje s vrha tekućine. Do ovog dolazi zbog preuskog promjera menzure da se kuglica mirno postavi točno iznad tekućine, zbog veće težine kuglice i nespretnosti izvođača.

**Tablica 4.12.** Prikaz mjernih podataka glicerina i željezne kuglice

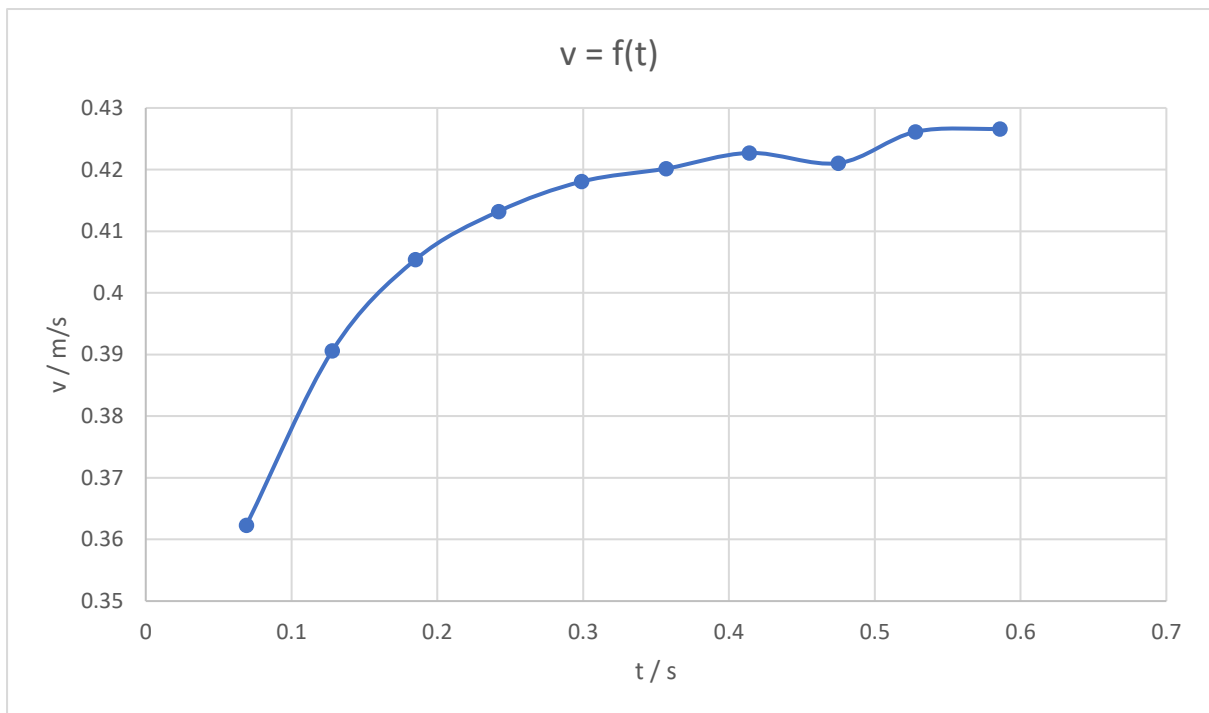
Promjer menzure / mm	48
Temperatura glicerina / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	1259
Materijal kuglice	Željezo
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	7870
Promjer kuglice / mm	26
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

**Tablica 4.13.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja t / s	
t1	0,069
t2	0,128
t3	0,185
t4	0,242
t5	0,299
t6	0,357
t7	0,414
t8	0,472
t9	0,528
t10	0,586
Ukupno vrijeme padanja t / s	0,586
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta / \text{Pas}$	2,7126



*Slika 4.17. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta s glicerinom i željeznom kuglicom*



*Slika 4.18. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.17.*

Rezultati eksperimenata provedenih glicerinom zbog njegove gustoće, te prikazuju najtočniji koeficijent dinamičke viskoznosti odnosno najbliži onom teorijskom iz literature.

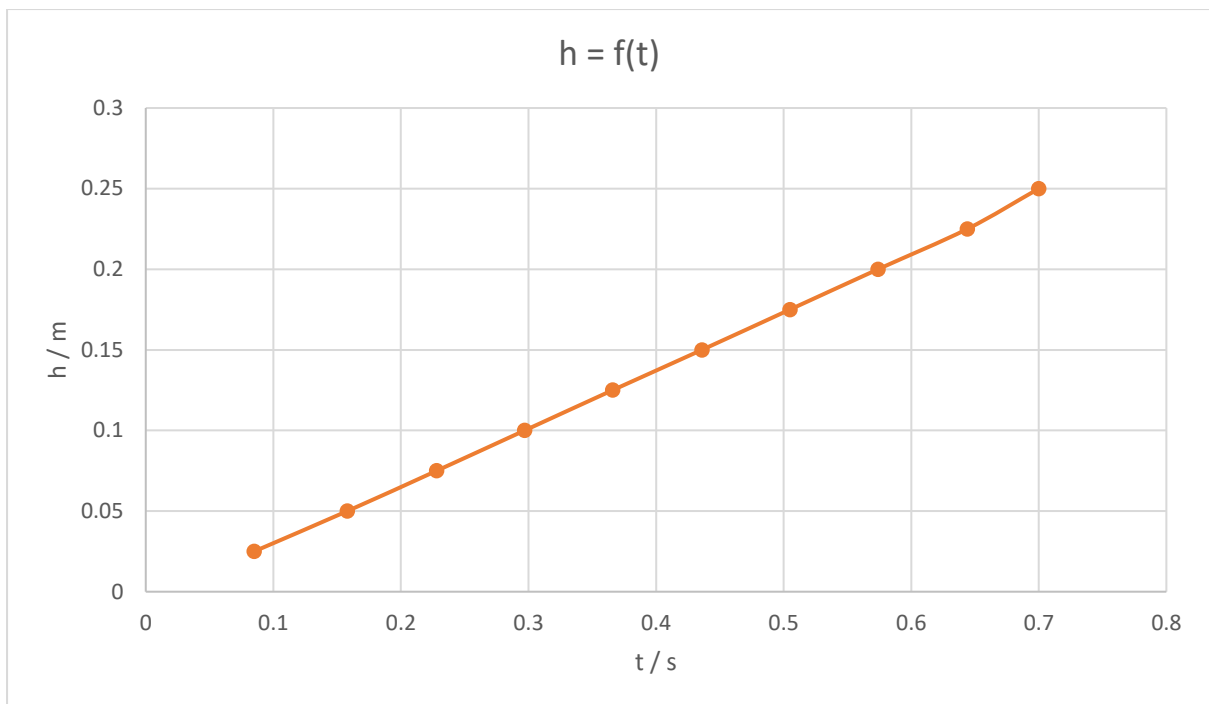
d) Rezultati mjerenja parametara eksperimenta s parafinskim uljem i grafički prikaz

**Tablica 4.14.** Prikaz mjernih podataka parafinskog ulja i klikera

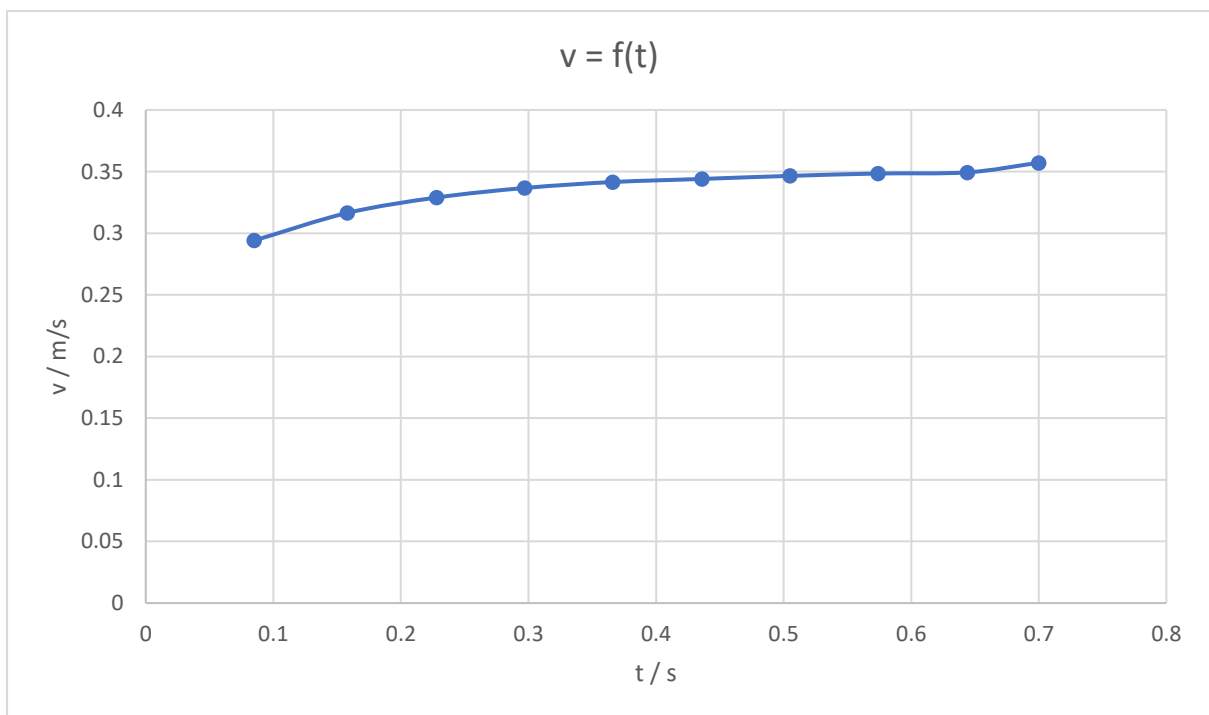
Promjer menzure / mm	48
Temperatura parafinskog ulja / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	870
Materijal kuglice	Kliker (staklo)
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	2200
Promjer kuglice / mm	31
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

**Tablica 4.15.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja t / s	
t1	0,085
t2	0,158
t3	0,228
t4	0,297
t5	0,366
t6	0,436
t7	0,505
t8	0,574
t9	0,644
t10	0,7
Ukupno vrijeme padanja t / s	0,7
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta / \text{Pas}$	0,8446



*Slika 4.19. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta s parafinskim uljem i klikerom*



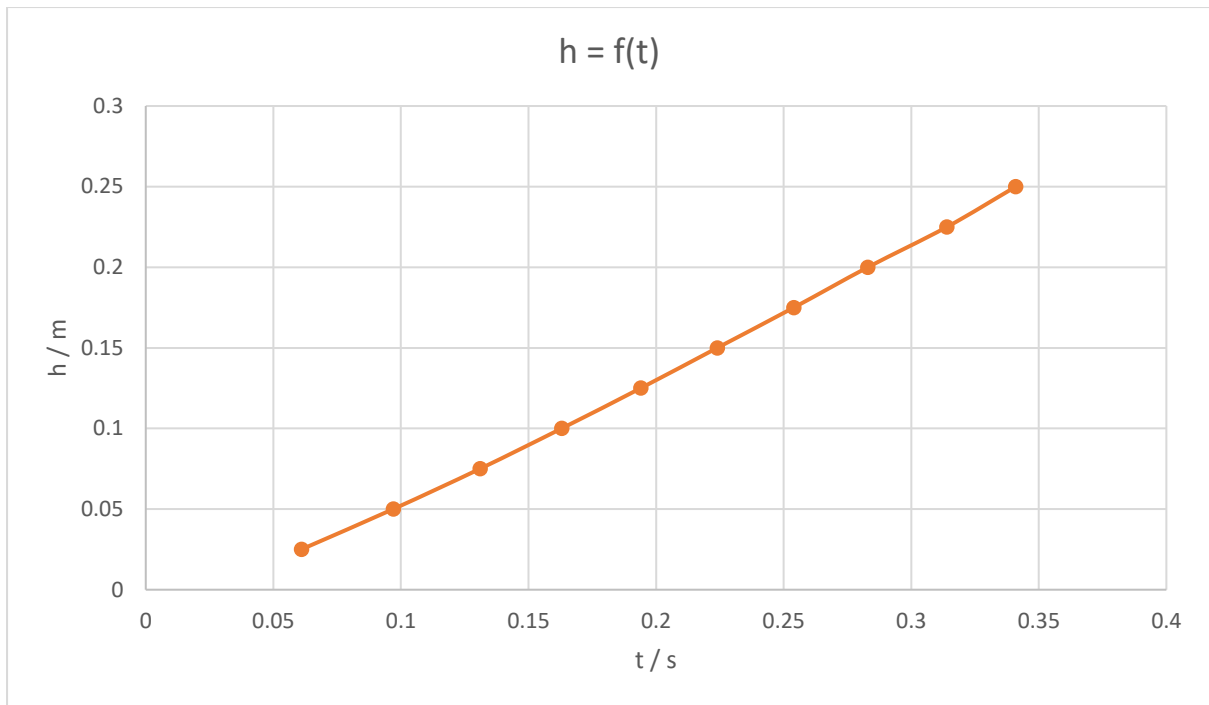
*Slika 4.20. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.19.*

**Tablica 4.16.** Prikaz mjernih podataka parafinskog ulja i željezne kuglice

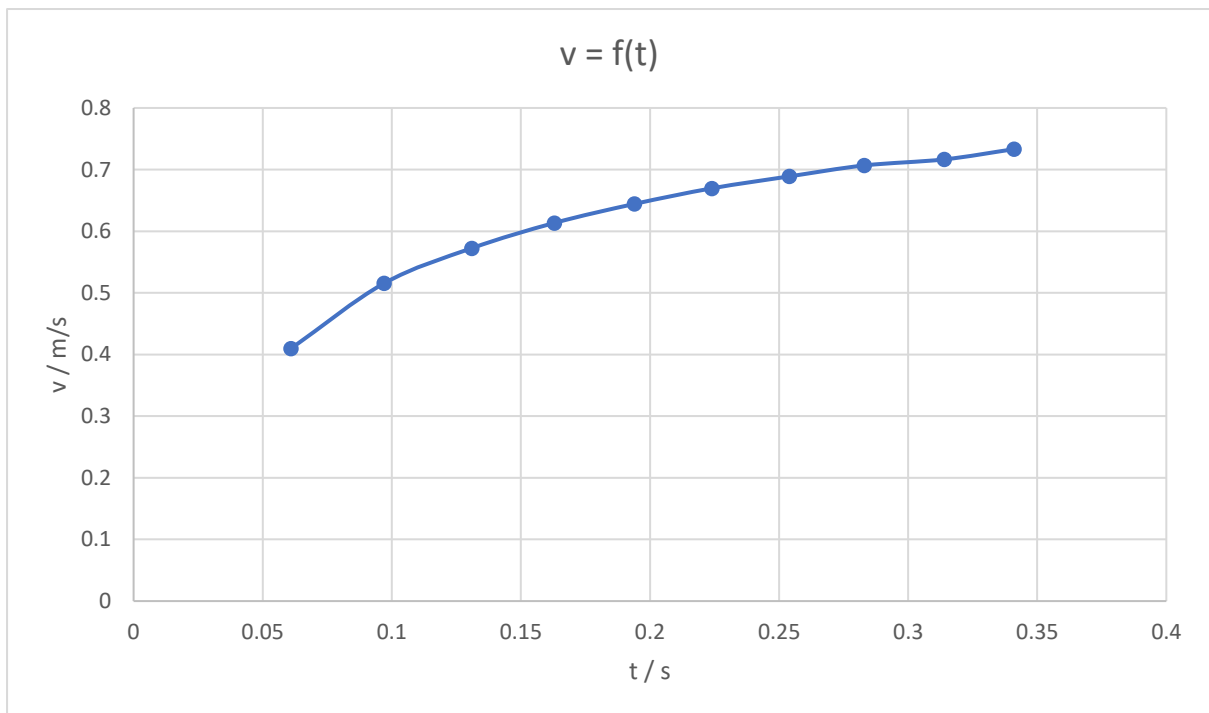
Promjer menzure / mm	48
Temperatura parafinskog ulja / °C	23
Gustoća tekućine $\rho_f / \text{kgm}^{-3}$	870
Materijal kuglice	Željezo
Gustoća kuglice $\rho_k / \text{kgm}^{-3}$	7870
Promjer kuglice / mm	24
Visina na kojoj su podijele h / m	0,025

**Tablica 4.17.** Rezultati eksperimentalnog mjerenja parametara i izračun koeficijenta dinamičke viskoznosti

Vremena padanja t / s	
t1	0,061
t2	0,097
t3	0,131
t4	0,163
t5	0,194
t6	0,224
t7	0,254
t8	0,383
t9	0,312
t10	0,341
Ukupno vrijeme padanja t / s	0,341
Koeficijent dinamičke viskoznosti $\eta / \text{Pas}$	1,51



*Slika 4.21. h-t graf mjerenih vrijednosti eksperimenta s parafinskim uljem i željeznom kuglicom*



*Slika 4.22. v-t graf, izračunat prema vrijednosti h-t grafa prikazanog slikom 4.21.*

Iz prikazanih rezultata vidi se da mjerenja željeznom kuglicom dosta odstupaju od klikera. Njena prevelika gustoća smeta prilikom mjerenja dinamičkog koeficijenta viskoznosti fluida.

#### 4.4. Usporedba teorijskih i eksperimentalnih vrijednosti

U ovom poglavlju, tablično su prikazane i uspoređene eksperimentalne vrijednosti dobivene mjerenjima prikazanim u prethodnim stranicama i teoretske vrijednosti iščitane iz tablice literature.

*Tablica 4.18. Prikaz usporedbe eksperimentalnog određivanja dinamičkog koeficijenta viskoznosti fluida s teorijskim vrijednostima iz literature*

Fluid	$\eta$ Tablično [Pas]	Temperatura fluida [°C]	Materijal kuglice	$\eta$ Eksperimentalno [Pas]	Temperatura fluida u eksperimentu [°C]
Suncokretovo ulje	0,056	20	Staklo	0,38	23
			Željezo	1,1741	23
Voda	0,001	21	Staklo	0,3231	23
			Željezo	0,9561	23
Glicerol	1,4	21	Staklo	1,493	23
			Željezo	2,7126	23
Parafinsko ulje	0,014	40	Staklo	0,8446	23
			Željezo	1,51	23

Iz tablice 4.18., vidi se da su odstupanja mjerenja velika u odnosu na vrijednosti iz literature. Više faktora utječe na takav ishod eksperimenta, a onaj glavni je kuglica. Kuglice korištene u ovim eksperimentima su željezne i staklene (klikeri), te se iz rezultata vidi da se s takvim materijalima dobiju velika odstupanja. Posebno su izražene razlike rezultata kod željezne kuglice. Kod njih je gustoća prevelika u odnosu na gustoće fluida te se one kreću kroz menzuru prevelikim brzinama. Također, uz njihovu gustoću kuglice su prevelikog promjera, što znači da su i njihove težine dosta veće nego one poželjne za provedbu eksperimenta. Uz navedene glavne parametre izvođenja eksperimenta ovisi i o drugim uvjetima, a posebno o temperaturi fluida i okoline u kojoj se on nalazi.



## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu napravljena je maketa za mjerenje viskoznosti fluida putem Arduino platforme. Prije svega, potrebno je bilo programirati mikropravljač, koji se zatim spaja na maketu. Na maketi su već instalirani senzori i LED diode po narudžbi. Maketu se učvršćuje na dio stalka, na koji se povezuje LCD. Keypad se spaja na za to predviđene pinove na Arduino sustavu. Rezultati provedenog eksperimenta čitaju se s LCD pokaznika. Eksperiment se vrši bacanjem kuglice u fluid kojem se mjeri koeficijent dinamičke viskoznosti. Ovo je najzastupljeniji i najjednostavniji eksperiment za izražavanje viskoznosti tekućine. Maketa mjeri vremenske isječke potrebne kuglici da prijeđe određeni put u menzuri, a te rezultate prikazuje na LCD pokazniku. Ova maketa pogodna je za izvedbu takvog eksperimenta jer senzori, za razliku od ljudskog oka i štoperice, mogu puno preciznije izmjeriti potrebne parametre. Provedeni eksperimenti ne pokazuju najtočnije iznose dinamičkog koeficijenta viskoznosti, već je za detaljnija mjerenja potrebno odraditi više eksperimenata s kuglicama drukčijih materijala i promjera.

## LITERATURA

- [1] »What is an Arduino?,« Sparkfun, [Mrežno]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>.
- [2] »LCD pokazivač,« UniZG, [Mrežno]. Available: <https://www.fpz.unizg.hr/hgold/ES/DE/lcd.htm>.
- [3] »Arduino,« Fandom, [Mrežno]. Available: <https://software.fandom.com/wiki/Arduino>.
- [4] »Arduino IDE,« Upwikihr, [Mrežno]. Available: [https://upwikihr.top/wiki/Arduino\\_IDE](https://upwikihr.top/wiki/Arduino_IDE).
- [5] »Software Serial Example,« Arduino, [Mrežno]. Available: <https://docs.arduino.cc/tutorials/communication/SoftwareSerialExample>.
- [6] »Gibanje tijela u realnom fluidu,« Ferit, [Mrežno]. Available: <http://labus.ferit.hr/mf/2830>.
- [7] Ž. Mioković, D. Žagar i A. Kvaček, »Fizika 1,« u *Fizika 1, priručnik za laboratorijske vježbe*, Osijek, 2013.
- [8] »5 WAYS TO MEASURE VISCOSITY,« Formulation, [Mrežno]. Available: <https://formulation.com/5-ways-to-measure-viscosity/>.
- [9] »Ostwaldov viskozimetar,« Kemijski riječnik, [Mrežno]. Available: <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Ostwaldov+viskozimetar>.
- [10] »Viskoznost,« Hrvatska enciklopedija, [Mrežno]. Available: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=64830>.

## SAŽETAK

**Naslov:** Implementacija Arduino platforme pri eksperimentalnom određivanju viskoznosti fluida

U ovom završnom radu izrađena je maketa pomoću koje se preko Arduino platforme mjeri viskoznost tekućine. Model čine Arduino Nano mikroupravljač, LCD pokaznik, keypad, LED žaruljice, senzori. Viskoznost tekućine mjeri se neposredno preko parametara koji se dobiju iz eksperimenta, a to su vrijeme pada, visina i brzina. Maketa se postavlja na stalak te se unutar maketa postavlja menzura s fluidom za mjerenje. Na kraju rezultate iščitamo s LCD pokaznika.

**Ključne riječi:** Arduino mikroupravljač, LCD pokaznik, keypad, fluid, menzura, kuglica

## ABSTRACT

**Title:** Implementation of Arduino platform in the experimental determination of fluid viscosity

In this final work, a model was made, which is used to measure the viscosity of the liquid via the Arduino platform. The model consists of Arduino Nano microcontroller, LCD display, keypad, LED lights, sensors. The viscosity of the liquid is measured directly through the parameters obtained from the experiment, which are the time of fall, height and speed. The model is placed on a stand, and a measuring cup with fluid is placed inside the mock-up. At the end, we read the results from the LCD indicator.

**Keywords:** Arduino microcontroller, LCD display, keypad, fluid, measuring cup, ball

## **ŽIVOTOPIS**

Ivan Vučina rođen je 1. studenog 2000. godine u Vinkovcima, Republika Hrvatska. Živi u Privlaci, nedaleko Vinkovaca, gdje započinje svoje obrazovanje u Osnovnoj školi Stjepana Antolovića. Nakon završetka osnovne škole odličnim uspjehom, 2015. godine upisuje Gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima, smjer opća gimnazija. Sva četiri razreda srednjoškolskog obrazovanja završava vrlo dobrim uspjehom. Poslije uspješno položene državne mature, 2019. godine upisuje sveučilišni studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku. Završetkom prve godine preddiplomskog studija elektrotehnike, na drugoj godini odabire smjer Komunikacije i informatika. Nakon preddiplomskog studija planira upisati diplomski studij na istome fakultetu.