

# IZRADA INTERAKTIVNIH SIMULACIJA IZ OSNOVA FIZIKE- ODREĐIVANJE OMJERA Cp/Cv

---

**Marić, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:774706>

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

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



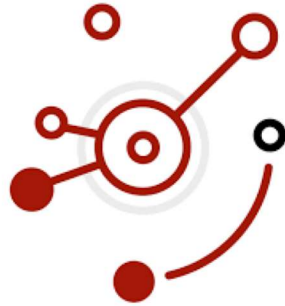
*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**MARKO MARIĆ**

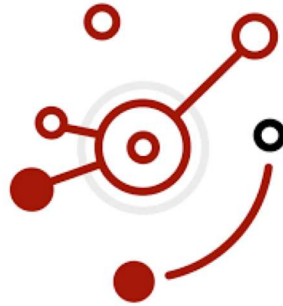
**IZRADA INTERAKTIVNIH SIMULACIJA IZ  
OSNOVA FIZIKE - ODREĐIVANJE OMJERA  $C_p/C_v$**

**Završni rad**

**Osijek, 2024**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**MARKO MARIĆ**

**IZRADA INTERAKTIVNIH SIMULACIJA IZ  
OSNOVA FIZIKE - ODREĐIVANJE OMJERA  $C_p/C_v$**

**Završni rad**

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
radi stjecanja zvanja prvostupnika fizike

**Osijek, 2024**

“Ovaj završni rad, izrađen u Osijeku pod mentorstvom izv.prof. Branka Vukovića i docenta Ivana Vazlera, predan je Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na ocjenu, u svrhu stjecanja titule bacc. fizike i informatike.”

**IZRADA INTERAKTIVNIH SIMULACIJA IZ  
OSNOVA FIZIKE - ODREĐIVANJE OMJERA  $C_p/C_v$**

**Marko Marić**

**Sažetak**

Glavni cilj ovog završnog rada je napraviti simulaciju laboratorijske vježbe određivanja adijabatske konstante. Aplikacija omogućava jednostavno izvođenje pokusa, automatski izračun ključnih vrijednosti kao što su srednja vrijednost, pogreška mjerenja i omjer specifičnih toplinskih kapaciteta. Time se učenicima olakšava razumijevanje složenih fizikalnih principa, potiče njihova motivacija i povećava sigurnost u radu s eksperimentalnom aparaturom.

**Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku.**

**Ključne riječi:** termodinamika / adijabatski koeficijent / edukacijska aplikacija

**Mentor:** Izv. prof. dr. sc. Branko Vuković

**Komentor:** Doc. dr. sc. Ivan Vazler

**Ocjenjivač:**

**Rad prihvaćen:**

**DEVELOPMENT OF INTERACTIVE SIMULATIONS IN BASIC PHYSICS -  
DETERMINATION OF THE RATIO  $C_p/C_v$**

**Marko Marić**

**Abstract**

The main goal of this thesis is to create a simulation of the laboratory exercise for determining the adiabatic constant. The application simplifies the execution of experiments and automatically calculates key values such as the mean value, measurement error, and the ratio of specific heat capacities. By doing so, it facilitates students' understanding of complex physical principles, enhances their motivation, and increases their confidence in working with experimental equipment.

**The thesis is archived in the library of the Department of Physics.**

**Keywords:** thermodynamics / adiabatic coefficient / educational application

**Advisor:** Associate Professor Dr. Branko Vuković

**Co-advisor:** Assistant Professor Dr. Ivan Vazler

**Evaluator:**

**Thesis accepted:**

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	7
<b>2. TEORIJA</b> .....	8
<b>2.1. Jednadžba stanja idealnog plina</b> .....	8
<b>2.2. Univerzalna Plinska Konstanta</b> .....	9
<b>2.3. Primjena i Ograničenja</b> .....	9
<b>2.4. Promjena stanja idealnog plina (izotermna, izobarna, izohorna, adijabatska)</b> .....	10
<b>2.4.1. Izotermni Proces</b> .....	10
<b>2.4.2. Izobarni Proces</b> .....	10
<b>2.4.3. Izohorni Proces</b> .....	11
<b>2.4.4. Adijabatski Proces</b> .....	12
<b>2.5. Metoda mjerenja i eksperimentalni postav</b> .....	13
<b>2.5.1. Kako jednostavno odrediti adijabatski koeficijent</b> .....	14
<b>2.5.2. Stvarni pokus</b> .....	16
<b>2.5.3. Opisivanje mjerenja</b> .....	17
<b>2.5.4. Primjer gotove vježbe (izvještaj)</b> .....	18
<b>2.5.5. Simulacija pokusa</b> .....	19
<b>2.5.5. Kako koristiti interaktivni alat</b> .....	21
<b>3. ZAKLJUČAK</b> .....	23
<b>4. LITERATURA</b> .....	24

## 1. UVOD

Eksperiment ili vježba ključan je dio fizike jer jedino tako možemo biti sigurni da su teorije kojima opisujemo svijet točne. Također, vježbe nam mogu ukazati na nove pojave kojima možemo podebljati svoje znanje svijeta oko sebe. Za korektno provođenje jedne vježbe potrebno je imati znanja i sigurnosti u svoje postupke, a to se stječe ponavljanjem vježbe i učenju na prijašnjim pogreškama.

Ovaj rad osmišljen je kao pomoć učenicima za stjecanje samopouzdanja u izvođenju vježbi. Stoga je, kao dio završnoga rada izrađena aplikacija jedne vježbe iz praktikuma kako bi učenici savladali osnove te bili sigurniji u sebe. Odabrana vježba je „Određivanje adijabatskog koeficijenta“



## 2. TEORIJA

U ovome odjeljku izložimo ključnu teoriju potrebnu za točno i pouzdano izvođenje vježbe te za bolje interpretiranje rezultata u znanstvenome jeziku.

### 2.1. Jednadžba stanja idealnog plina

Jednadžba stanja idealnog plina jedan je od temeljnih zakona u termodinamici i koristi se za opisivanje ponašanja idealnih plinova pod različitim uvjetima. [1] Idealni plinovi su hipotetski plinovi koji se pridržavaju određenih pretpostavki koje pojednostavljaju njihovo proučavanje. Te pretpostavke uključuju zanemarivanje međumolekulskih sila plina i pretpostavku da molekule plina zauzimaju zanemariv volumen u usporedbi s ukupnim volumenom plina. Ova jednadžba povezuje makroskopske varijable plina – tlak, volumen, broj molova i apsolutnu temperaturu – kroz univerzalnu plinsku konstantu, te se matematički izražava kao[2]:

$$pV = nRT ,$$

gdje su:

- **P** - tlak plina (izražen u paskalima, Pa)
- **V** - volumen plina (izražen u kubnim metrima, m<sup>3</sup>)
- **n** - broj molova plina
- **R** - univerzalna plinska konstanta (vrijednost  $R = 8,314 J mol^{-1}K^{-1}$ )
- **T** - apsolutna temperatura plina (izražena u kelvinima, K)

Jednadžba stanja idealnog plina proizlazi iz kinetičke teorije plinova, koja opisuje plinove kao skup čestica koje se nasumično kreću u svim smjerovima [3]. Kinetička teorija također pretpostavlja da su sudari između molekula plina savršeno elastični, što znači da se ukupna kinetička energija zadržava prije i poslije sudara. Tlak plina nastaje kao rezultat sudara molekula sa stijenkama posude, a prema idealnoj plinskoj jednadžbi, taj tlak ovisi o broju molekula, njihovoj brzini (koja je povezana s temperaturom), i volumenu posude [4].

S obzirom na to da idealni plinovi zanemaruju međumolekulske sile, jednadžba stanja idealnog plina može se primijeniti na sustave gdje su te sile neznatne, odnosno u uvjetima niskog tlaka i visokih temperatura. U takvim uvjetima, ponašanje stvarnih plinova približava se idealnom modelu, što čini ovu jednadžbu korisnom za širok spektar praktičnih primjena [5].

## 2.2. Univerzalna plinska konstanta

Univerzalna plinska konstanta  $R$  ključan je parametar u jednadžbi stanja idealnog plina [1]. Njezina vrijednost može se odrediti eksperimentalno, i povezana je s Boltzmannovom konstantom  $k_B$  i Avogadrovim brojem  $N_A$  prema relaciji:

$$R = k_B * N_A,$$

gdje je:

- $k_B$  - predstavlja Boltzmannovu konstantu ( $k_B = 1,38 * 10^{-23} JK^{-1}$ )
- $N_A$  - predstavlja Avogadrov broj ( $N_A = 6,022 * 10^{23} mol^{-1}$ ) [3]

Ova relacija osigurava vezu između mikroskopskih svojstava plina (poput energije pojedinačne molekule) i makroskopskih varijabli koje se mjere u laboratorijskim uvjetima [4].

## 2.3. Primjena i ograničenja

Jednadžba stanja idealnog plina koristi se za modeliranje i razumijevanje širokog raspona fizikalnih sustava, ali ima svoja ograničenja [2]. Kada plinovi nisu pod ekstremnim uvjetima, poput vrlo visokih tlakova ili vrlo niskih temperatura, jednadžba dobro opisuje njihovo ponašanje. Međutim, u uvjetima gdje međumolekulske sile postaju značajne, poput blizine kondenzacije, jednadžba stanja idealnog plina može dati netočne rezultate [5].

Za točniji opis stvarnih plinova u takvim uvjetima koriste se modifikacije idealne plinske jednadžbe, kao što je Van der Waalsova jednadžba, koja uvodi korekcije za volumen molekula i međumolekulske sile. Ipak, idealna plinska jednadžba ostaje temeljni alat u termodinamici i kemiji, služeći kao polazište za dublje razumijevanje ponašanja plinova [3].

## 2.4. Promjena stanja idealnog plina (izotermna, izobarna, izohorna, adijabatska)

Proučavanje promjena stanja idealnog plina uključuje četiri osnovne vrste procesa: izotermni, izobarni, izohorni i adijabatski. Svaki od ovih procesa ima specifične karakteristike i zakonitosti.

### 2.4.1. Izotermni proces

Izotermni proces je proces u kojem temperatura plina ostaje konstantna. Prema idealnom plinskom zakonu,  $pV = nRT$ , gdje su  $p$  tlak,  $V$  zapremina,  $n$  količina tvari,  $R$  univerzalna plinska konstanta, i  $T$  temperatura [2]. U izotermnom procesu, budući da je  $T$  konstantan, produkt  $pV$  također ostaje konstantan.

Matematički, izotermni proces opisujemo izrazom:

$$p_1V_1 = p_2V_2,$$

gdje  $(p_1, V_1)$  i  $(p_2, V_2)$  predstavljaju početne i krajnje uvjete.

Prema prvom zakonu termodinamike, u izotermnom procesu, promjena unutarnje energije plina je nula ( $\Delta U=0$ ), što znači da je sva toplinska energija koja se dodaje plinu korištena za obavljanje rada:  $Q=W$ .

Izotermni procesi su važni u razumijevanju ponašanja plinova u situacijama kao što su kemijske reakcije pri konstantnoj temperaturi [2].

### 2.4.2. Izobarni proces

Izobarni proces je proces u kojem tlak plina ostaje konstantan. Prema idealnom plinskom zakonu, ako je tlak konstantan, tada je odnos između promjene zapremine i temperature opisan s:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

ili jednostavno:

$$\frac{V}{T} = konst.$$

Za izobarni proces, rad izvršen od strane plina (ili na plin) izražava se kao:

$$W = p\Delta V ,$$

gdje  $\Delta V$  predstavlja promjenu zapremine. Prema prvom zakonu termodinamike, toplina dodana plinu jednaka je promjeni unutarnje energije plus rad obavljen od strane plina:

$$Q = \Delta U + W .$$

Za idealni plin, promjena unutarnje energije u izobarnom procesu može se izračunati kao:

$$\Delta U = nC_p\Delta T ,$$

gdje  $C_p$  predstavlja specifičan kapacitet pri konstantnom tlaku [3].

### **2.4.3. Izohorni proces**

Izohorni proces je proces u kojem zapremina plina ostaje konstantna. Prema idealnom plinskom zakonu, ako je zapremina konstantna, tada je odnos između tlaka i temperature opisan s:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

ili jednostavno:

$$\frac{p}{T} = konst.$$

Za izohorni proces, rad koji obavlja plin je nula ( $W=0$ ), jer ne dolazi do promjene zapremine. Svi dodaci topline idu na promjenu unutarnje energije:

$$Q = \Delta U .$$

Promjena unutarnje energije u izohornom procesu može se izračunati kao:

$$\Delta U = nC_v\Delta T ,$$

gdje  $C_v$  predstavlja specifičan kapacitet pri konstantnom volumenu.

#### 2.4.4. Adijabatski proces

Adijabatski proces je proces u kojem ne dolazi do prijenosa topline između plina i njegovog okruženja. U ovom procesu, odnos između tlaka i zapremine opisan je s:

$$pV^\gamma = konst. ,$$

gdje je  $\gamma$  adijabatski indeks, definiran kao omjer specifičnih kapaciteta pri konstantnom tlaku ( $C_p$ ) i konstantnom volumenu ( $C_v$ ) :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} .$$

Za adijabatski proces, rad obavljen od strane plina može se izračunati pomoću promjene energije:

$$W = \Delta U ,$$

gdje je promjena interne energije:

$$\Delta U = nC_v\Delta T .$$

Adijabatski procesi su važni za razumijevanje ponašanja plinova u motorima i kompresorima, gdje se promjena stanja odvija bez prijenosa topline [5].

## 2.5. Metoda mjerenja i eksperimentalni postav

Toplina je procesna veličina, a ne funkcija stanja sustava. Može se dogoditi da, pri različitim procesima, poput izohornog i izobarnog, dođe do jednake promjene temperature sustava. Međutim, s obzirom na to da procesi koji sustav prevode iz početnog u konačno stanje nisu isti, prenesena količina topline također nije jednaka. S obzirom na to da za prenesenu količinu topline vrijedi:

$$Q = m \int_{T_1}^{T_2} c dT ,$$

zaključuje se da specifični toplinski kapacitet nije jednoznačno definiran te da se pri njegovoj definiciji mora specificirati proces kojim se tijelo prevodi iz početnog u konačno stanje.

Obično se specifični toplinski kapaciteti definiraju za dva karakteristična procesa: pri stalnom tlaku  $C_p$  (izobarni) i pri stalnom volumenu  $C_V$  (izohorni). Oni su definirani kao:

$$C_p = \frac{1}{m} \left( \frac{Q}{\Delta T} \right)_{p=\text{konst.}}$$

$$C_V = \frac{1}{m} \left( \frac{Q}{\Delta T} \right)_{V=\text{konst.}}$$

„Omjer specifičnih toplinskih kapaciteta nekog plina pri stalnom tlaku  $C_p$  i stalnom volumenu  $C_V$  naziva se adijabatski koeficijent plina  $\gamma$  (Adijabatski proces je proces u kojem nema izmjene topline između sustava i njegove okoline. Zbog toga što prijenos topline zahtijeva određeno vrijeme, brzi procesi također se mogu smatrati adijabatskim)“ [6]

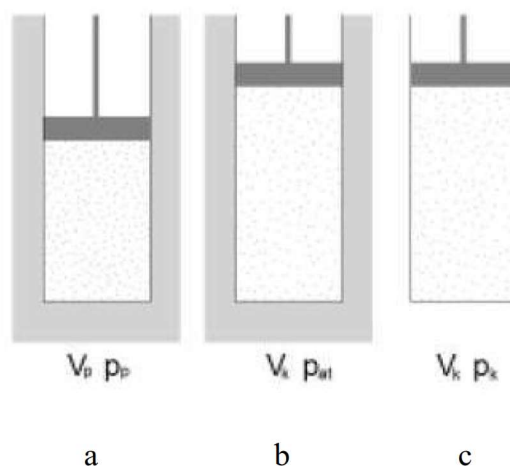
$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} .$$

### 2.5.1. Kako jednostavno odrediti adijabatski koeficijent

Jedan od najjednostavnijih načina određivanja adijabatskog koeficijenta plina je korištenje Clement-Desormesove metode. Ova metoda koristi cilindar s klipom, koji je termički izoliran adijabatskim okloпом, unutar kojeg se nalazi određena količina idealnog plina čiji adijabatski koeficijent želimo odrediti.

Pretpostavimo da plin u početnom stanju ima volumen  $V_p$  i tlak  $p_p$ , koji je nešto veći od vanjskog atmosferskog tlaka  $p_{at}$  (Slika 1.a). Nakon adijabatske ekspanzije, pri kojoj se tlak plina izjednačava s atmosferskim tlakom  $p_{at}$ , volumen plina postaje  $V_k$  (Slika 1.b). Prema Poissonovoj jednadžbi, za ovaj proces vrijedi:

$$p_p V_p^\gamma = p_{at} V_k^\gamma .$$



**Slika 1.** Clement-Desormesova metoda [6]

Zbog adijabatske ekspanzije, temperatura sustava sada je niža nego što je bila u početku. Nakon uklanjanja adijabatskog oklopa s cilindra i izjednačavanja temperature sustava s temperaturom okoline (Slika 1.c), tlak plina dostiže vrijednost  $p_k$ , koja je viša od atmosferskog tlaka  $p_{at}$ .

Za izotermni prijelaz plina iz stanja  $p_p, V_p$  u stanje  $p_k, V_k$  primjenjuje se Boyle-Mariotteov zakon:

$$p_p V_p = p_k V_k.$$

Iz prethodnih jednadžbi proizlazi:

$$\frac{p_p}{p_{at}} = \left(\frac{V_k}{V_p}\right)^\gamma = \left(\frac{p_p}{p_k}\right)^\gamma$$

ili

$$\gamma = \frac{\ln \frac{p_p}{p_{at}}}{\ln \frac{p_p}{p_k}} = \frac{\ln p_p - \ln p_{at}}{\ln p_p - \ln p_k}.$$

Za određivanje vrijednosti adijabatskog koeficijenta  $\gamma$  nije potrebno poznavati sve tlakove navedene u gornjoj jednadžbi. Dovoljno je utvrditi koliko se početni tlak  $p_p$  i konačni tlak  $p_k$  razlikuju od atmosferskog tlaka  $p_{at}$ . Početni i konačni tlak sustava mjeri se pomoću otvorenog manometra ispunjenog tekućinom niske gustoće. Tlakovi se mogu izražavati putem visine stupca tekućine:

$$p_p = \rho g(h_{at} + h_p) = \rho g h_{at} \left(1 + \frac{h_p}{h_{at}}\right),$$

$$p_k = \rho g(h_{at} + h_k) = \rho g h_{at} \left(1 + \frac{h_k}{h_{at}}\right).$$

Visina stupca tekućine pri atmosferskom tlaku označena je kao  $h_{at}$ , dok su  $h_p$  i  $h_k$  razlike u visini stupca tekućine u manometru pri početnom i konačnom tlaku. Kada se izrazi iz posljednje 3 jednadžbe uvrste zajedno, te uzimajući u obzir da se  $\ln(1+a)$  za male vrijednosti  $a$  ( $a \ll 1$ ) može aproksimirati kao  $\ln(a)$ , dolazimo do pojednostavljenog izraza za adijabatski koeficijent:

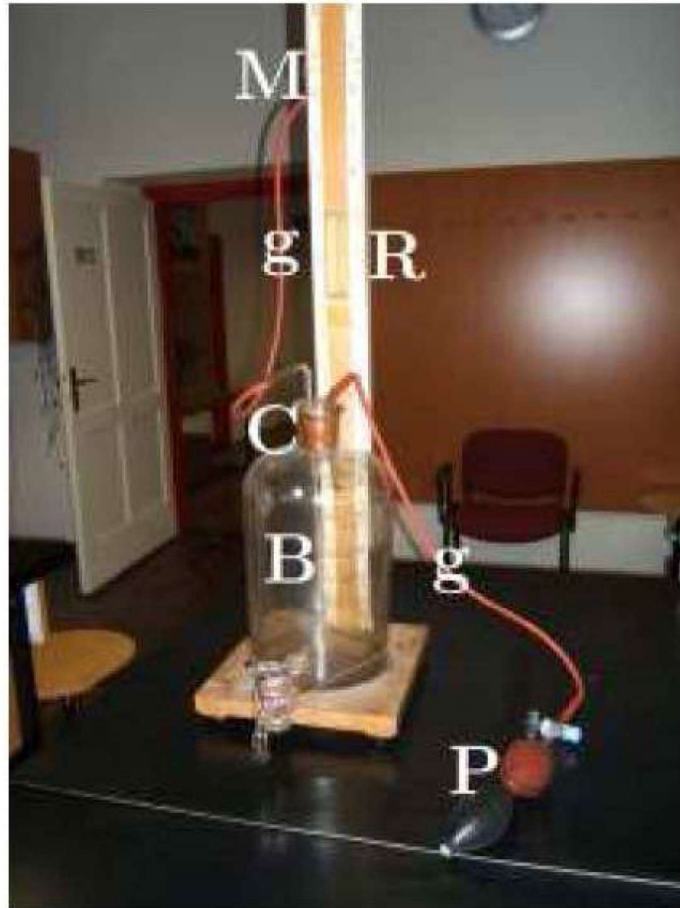
$$\gamma = \frac{h_p}{h_p - h_k}.$$

Isti izraz vrijedi i ako je početni tlak manji od atmosferskog.[6]



### 2.5.2. Stvarni pokus

Ovdje ćemo prikazati kako se pokus izvodi uživo te osnovne elemente potrebne za mjerenja



**Slika 2.** Uređaj za mjerenje [6]

Pribor za uređaj po oznakama sa Slike 2.:

- **M** - Manometar ispunjen živom
- **B** – Boca što drži tlak
- **P** – Pumpa
- **C** – Staklena cijev
- **g** – gumena crijeva
- **R** – ravnalo

### 2.5.3. Opisivanje mjerenja

Umjesto cilindra s klipom, za mjerenje se koristi specijalizirani uređaj koji se sastoji od velike tlačne boce s ventilom i cjevčicom, otvorenog manometra ispunjenog živom, te pumpice s malim ventilom.

Na početku mjerenja, tlak unutar boce izjednačen je s atmosferskim tlakom. Potrebno je zatvoriti ventil na boci i pokriti cjevčicu prstom, nakon čega se pomoću pumpice lagano poveća tlak u boci, što uzrokuje porast stupca žive za otprilike 10 do 15 cm. Nakon što se mali ventil zatvori, treba pričekati da se nivo žive u manometru stabilizira, a zatim se mjeri razlika u visini stupca, označena kao  $h_p$ .

Uklonite prst s cjevčice i odmah je zatvorite. Kada se cjevčica otvori, tlak unutar boce se trenutno izjednačava s atmosferskim tlakom. Zbog ovog naglog smanjenja tlaka, temperatura zraka unutar boce se smanjuje. Kako je proces vrlo brz i adijabatski, pad temperature se javlja tek nakon što se cjevčica zatvori, što uzrokuje dodatno smanjenje tlaka unutar boce zbog stalnog volumena.

Nakon što se cjevčica zatvori, treba pričekati nekoliko trenutaka dok se nivo žive u manometru stabilizira. Kada se visina žive ustali, zabilježite razliku visina stupca, označenu kao  $h_k$ . Pomoću formule:

$$\gamma = \frac{h_p}{h_p - h_k},$$

izračunava se adijabatski koeficijent zraka, odnosno omjer specifičnih toplinskih kapaciteta pri stalnom tlaku i stalnom volumenu.

Preporučuje se izvršiti deset mjerenja kako bi se dobila što preciznija vrijednost. [6]

#### 2.5.4. Primjer gotove vježbe (izvještaj)

S obzirom na to da je ova vježba dio predmeta kojeg smo slušali pod imenom 'Praktikum B', imam priliku prikazati kako izgledaju konačni rezultati mjerenja i proračuna nakon što je fizički dio eksperimenta završen.

Određivanje adijabatskog koeficijenta:

R.br. mjerenja	$h_p$ [cm]	$h_z$ [cm]	$\gamma$
1.	0,5	0,2	1,67
2.	1,2	0,3	1,33
3.	0,7	0,1	1,17
4.	0,7	0,3	1,75
5.	1,5	0,4	1,36
6.	4,0	2,0	2,00
7.	10,	5,0	2,00
8.	9,0	3,0	1,50
9.	7,0	2,0	1,40
10.	9,0	4,0	1,80

$$\bar{\gamma} = 1,60 \text{ (prosjeck)}$$

$$\sigma_{\gamma} = 9,27 \cdot 10^{-2} \text{ (standardna devijacija)}$$

$$\gamma_{10} = (1,60 \pm 9,27 \cdot 10^{-2}).$$

Usporedba s poznatom vrijednošću:

$$\gamma_p = 1,44$$

$$\frac{|\gamma_p - \bar{\gamma}|}{\gamma_p} \cdot 100\% = 11,1 \%$$

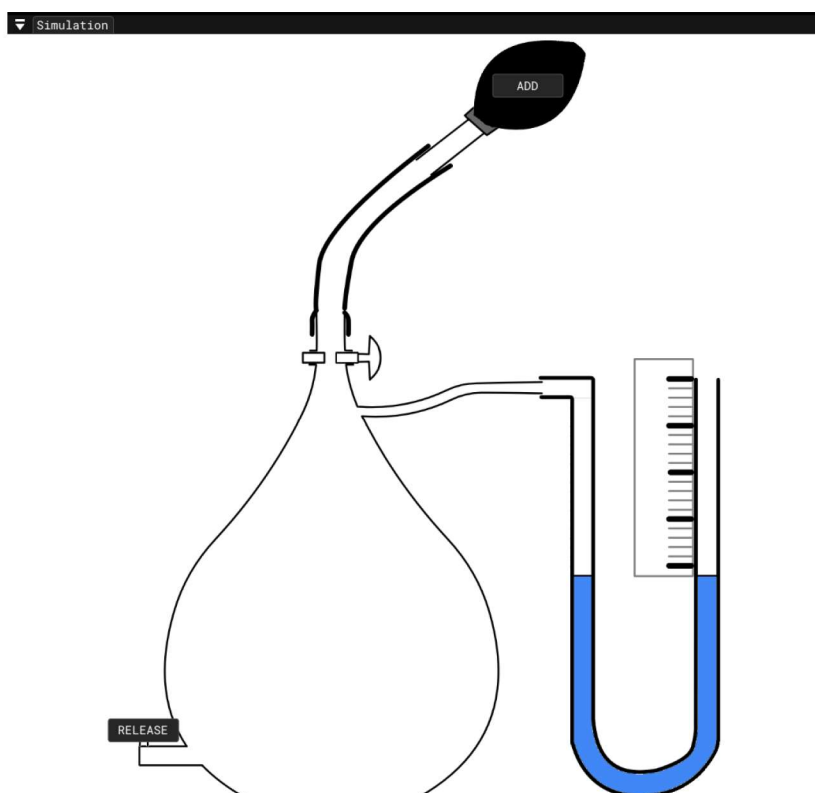
Zaključak:

Adijabatski koeficijent zraka smo odredili pomoću visina u samim stupcima. Naša izmjerena vrijednost odstupa za 11,1% od poznate vrijednosti. Možemo zaključiti da ga ne možemo točno odrediti zbog pogreški u mjerenju. Pogreške u mjerenju nastaju zbog nejednakosti u otpuštanju ventila.

### 2.5.5. Simulacija pokusa

U kontekstu stvarnog eksperimentalnog rada, učenici se često suočavaju s izazovima koji mogu biti zastrašujući, osobito kada se radi o složenom postavljanju aparature. Ovi početni koraci ponekad su toliko zahtjevni da učenici gube motivaciju za izvedbu i lakših vježbi poput ove. Kako bi se prevladale te poteškoće, izrađena aplikacija ima za cilj približiti učenicima ključne aspekte ove vježbe. Kroz jednostavan i intuitivan prikaz te lakoću korištenja, aplikacija nastoji povećati sigurnost i entuzijizam učenika, potičući ih da s većom željom i samopouzdanjem pristupe izvedbi pokusa u stvarnim uvjetima. Pomoću ovog alata učenici mogu bolje razumjeti eksperimentalne postavke, što im omogućava da se usredotoče na bitne aspekte eksperimenta, a ne na tehničke poteškoće, čime se u konačnici poboljšava kvaliteta njihovog učenja i izvedbe.

Aplikacija je izrađena korištenjem programskog jezika C++ u razvojnom okruženju Microsoft Visual Studio Code. Ovo okruženje je odabrano zbog svoje fleksibilnosti za širok spektar programskih jezika, te naprednih alata za otklanjanje pogrešaka i optimizaciju koda. Sučelje se trenutno može skinuti sa: <https://visualstudio.microsoft.com/downloads/>



**Slika 3.** Interaktivni uređaj za mjerenje

▼ Data

h1	h2	cp/cv
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>
<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="-nan(ind)"/>

srednja vrijednost: -nan(ind)  
pogreska mjerenja: -0  
ukupno: -nan(ind) +- -0

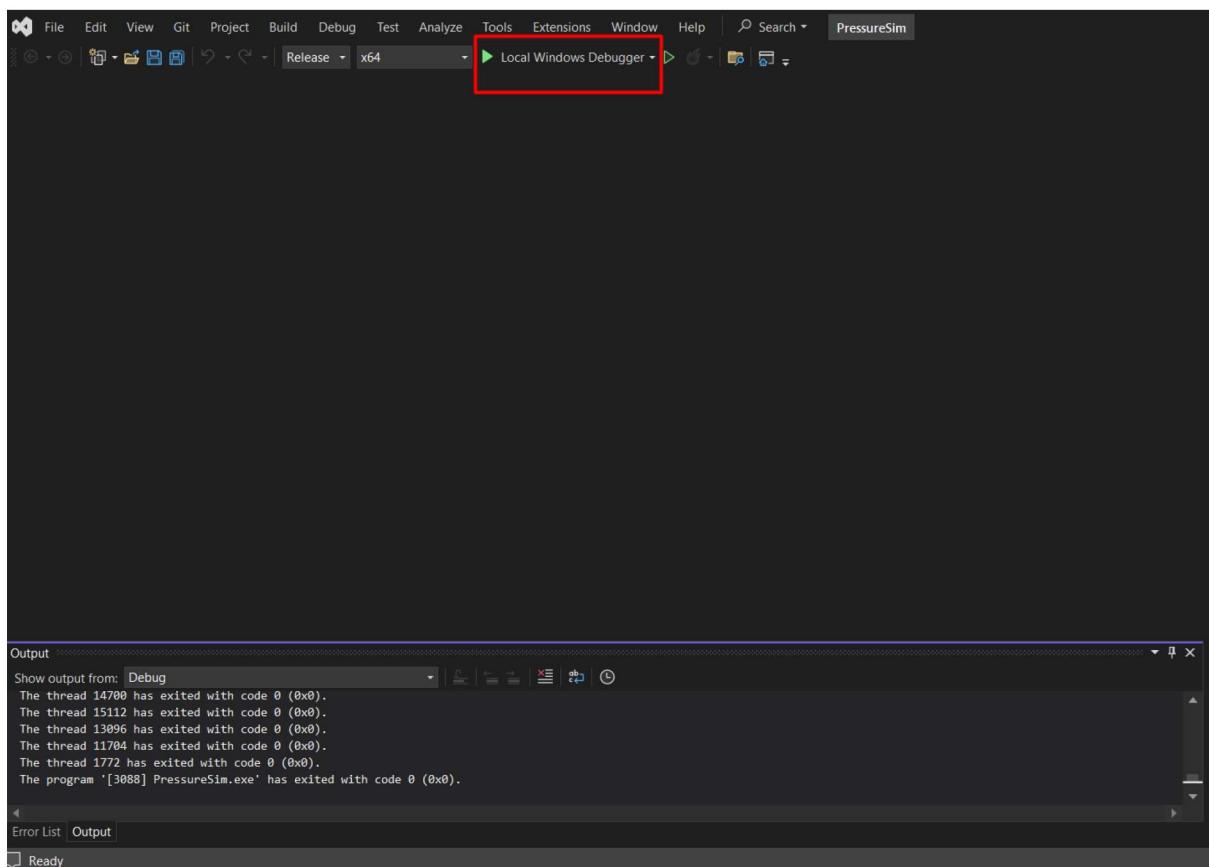
Slika 4. Tablica za unos podataka

## 2.5.5. Kako koristiti interaktivni alat

Prije svega, potrebno je instalirati Microsoft Visual Studio Code, s obzirom na to da je aplikacija izrađena u njemu. Prvo pokrenemo program iz mape u kojoj se nalazi aplikacija a zatim pokrećemo i samu simulaciju:

Name	Date modified	Type	Size
.vs	16/07/2024 2:33 PM	File folder	
_bin	16/07/2024 2:33 PM	File folder	
_inter	16/07/2024 2:33 PM	File folder	
imgui	09/07/2024 4:15 PM	File folder	
klibrary	09/07/2024 4:11 PM	File folder	
resource	09/07/2024 7:51 PM	File folder	
source	27/08/2024 5:58 PM	File folder	
imgui	26/08/2024 8:17 PM	Configuration setti...	1 KB
PressureSim.sln	09/07/2024 4:13 PM	Visual Studio Solut...	2 KB
PressureSim.vcxproj	09/07/2024 6:19 PM	VC++ Project	24 KB
PressureSim.vcxproj.filters	09/07/2024 5:01 PM	VC++ Project Filte...	35 KB
PressureSim.vcxproj.user	27/08/2024 5:49 PM	Per-User Project O...	1 KB

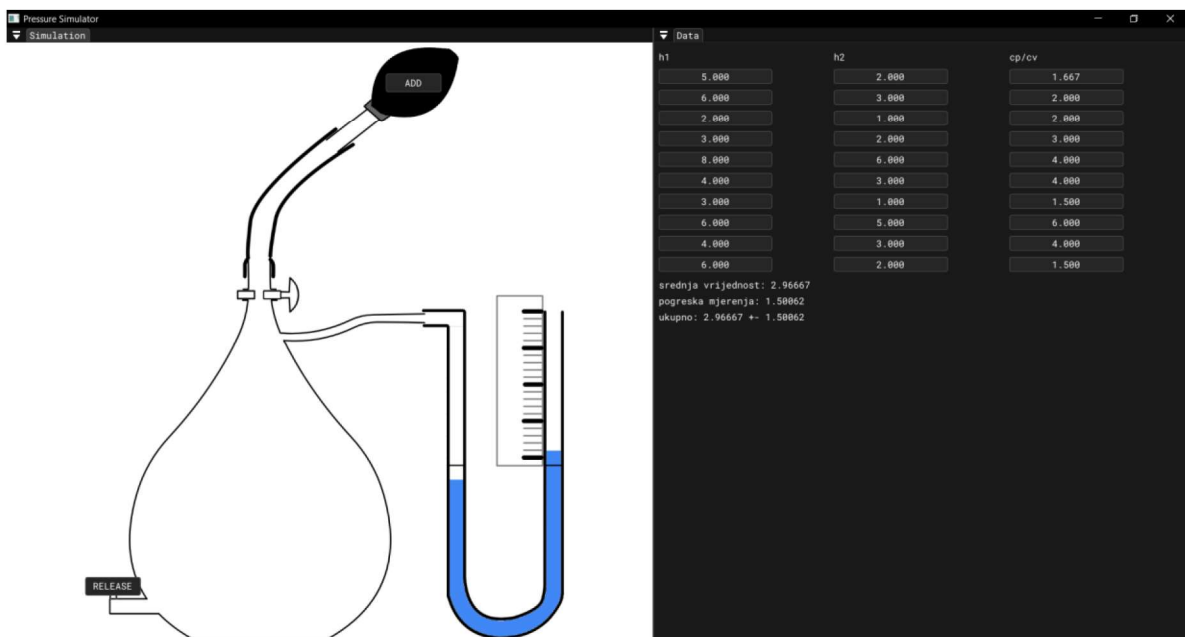
Slika 5. Pokretanje aplikacije



Slika 6. Pokretanje simulacije

Budući da je odabrani programski jezik C++, prvo pokretanje aplikacije može potrajati nekoliko minuta. Razlog tome je što C++ zahtijeva kompilaciju i povezivanje koda, kao i postavljanje okruženja za ispravljanje pogrešaka (debugging). Ovi procesi omogućuju prevođenje izvornog koda u izvršnu datoteku koju računalo može pokrenuti. Iako ovo inicijalno pokretanje može biti nešto sporije, nakon što se jednom uspješno završi, svako naredno pokretanje aplikacije bit će znatno brže, jer se kompilirani kod već nalazi u memoriji i spreman je za izvršavanje. Nakon uspješnog pokretanja pozdravljeni smo sa grafičkim sučeljem i tablicom prikazanim u slikama 3. i 4.

Pritiskom na pumpicu s oznakom "ADD" povećavamo tlak u sustavu, što uzrokuje porast razine vode u cjevčici. Nakon toga, nekoliko puta pritisnemo ispušni ventil s oznakom "RELEASE", što dovodi do smanjenja tlaka. Pored cjevčice primijetimo ravnalo koje nam služi za mjerenje vrijednosti  $h_p$  i  $h_k$ , odnosno visina stupca vode pri različitim tlakovima.



**Slika 7.** Primjer jedne završene vježbe

Aplikacija je osmišljena tako da učenik ne mora brinuti o složenim proračunima. Na dnu tablice za unos podataka, aplikacija automatski izračunava ključne vrijednosti, poput srednje vrijednosti i pogreške mjerenja, kao i omjer specifičnih toplinskih kapaciteta  $C_p/C_v$ , koji se prikazuje u desnom stupcu. Na ovaj način se potiče učenike da se s većim interesom i sigurnošću uključe u vježbu, a jednostavan postupak proračuna dodatno ih motivira. Postepeno, učenici mogu s lakoćom prenijeti svoju novostečenu znatiželju i razumijevanje na samostalno izvođenje proračuna.

Programski kod simulacije možete naći na stranici Odjela za fiziku:

<https://test.fizika.unios.hr/2024/09/05/izrada-interaktivnih-simulacija-iz-osnova-fizike-odredivanje-omjera-cp-cv/>

### **3. ZAKLJUČAK**

Cilj je bio ne samo izraditi aplikaciju koja olakšava izvođenje ovih eksperimenata, već i osigurati da učenici steknu sigurnost i motivaciju za praktičan rad. Aplikacija je razvijena s naglaskom na jednostavnost korištenja, omogućavajući učenicima da se usredotoče na ključne aspekte vježbe, poput mjerenja i izračuna, bez straha od tehničkih poteškoća.

Pravilna upotreba aplikacije vodi učenike kroz cijeli eksperimentalni proces, od početnog povećanja tlaka pomoću pumpice do očitavanja razlika u visini stupca tekućine i konačnog izračuna adijabatskog koeficijenta. Automatski izračuni srednje vrijednosti i pogreške mjerenja dodatno pojednostavljaju proces, pružajući učenicima alate za dublje razumijevanje fizikalnih zakona i njihovu primjenu u stvarnim uvjetima.

Ovaj pristup ne samo da povećava angažiranost učenika, već ih i priprema za složenije zadatke, osiguravajući temelj za daljnje obrazovanje u području fizike. Kroz ovu vježbu postignut je cilj približavanja znanstvenih koncepata učenicima na način koji je istovremeno edukativan i motivirajući, čime se otvara put za njihovo daljnje istraživanje i razvoj.



#### 4. LITERATURA

1. Atkins, P. W., & de Paula, J. (2010). *Physical Chemistry* (9th ed.). Oxford University Press.
2. Callen, H. B. (1985). *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics* (2nd ed.). Wiley.
3. Zemansky, M. W., & Dittman, R. H. (1997). *Heat and Thermodynamics* (7th ed.). McGraw-Hill.
4. McQuarrie, D. A., & Simon, J. D. (1997). *Molecular Thermodynamics*. University Science Books.
5. Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2010). *The Feynman Lectures on Physics, Volume 1*. Addison-Wesley.
6. Branko Vuković, Mirka Lončar, Marina Poje, Ivana Ivković (2014) *Praktikum iz Osnova fizika B - Priručnik za izvođenje eksperimentalnih vježbi*