

RJEŠENJE: Termodinamički rad i određivanje atmosferskog tlaka

1. Geometrija i fizikalna osnova

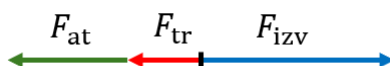
1.1. Površina poprečnog presjeka klipa:

Iz zadanih parametara šprice $V = 2 \text{ ml} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ i duljine $l = 33 \text{ mm} = 0,033 \text{ m}$:

$$S = \frac{V}{l} \approx 6,06 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (2 \text{ boda})$$

1.2. Shematski prikaz sila:

Pri izvlačenju:



Pri uvlačenju:



(2 boda)

Na klip djeluju tri ključne sile: sila atmosfere F_{at} , sila trenja F_{tr} i vanjska sila dinamometra F .

- **Pri izvlačenju:** $F_{izv} = F_{at} + F_{tr}$ (ruka svladava tlak i otpor klipa).
- **Pri uvlačenju:** $F_{uvl} = F_{at} - F_{tr}$ (atmosfera gura klip, ruka ga koči, trenje se protivi gibanju).

1.3. Stalna brzina gibanja:

Pri stalnoj brzini nema akceleracije $a = 0$, što znači da je prema Prvom Newtonovom zakonu rezultantna sila nula. To nam omogućuje da izmjerene vrijednosti sila na dinamometru smatramo jednakima silama u statičkom sustavu.

(2 boda)

2. Određivanje atmosferskog tlaka p_{at} i sile trenja F_{tr}

2.1. Srednje vrijednosti izmjerenih sila:

Iz izmjerenih vrijednosti, srednje sile iznose: $\overline{F_{izv}} = 7 \text{ N}$ i $\overline{F_{uvl}} = 5 \text{ N}$

Očekivana relativna pogreška je od 2 % do 6 %.

(2 boda)

Napomena: Različite šprice mogu dovesti do drugačijih rezultata.

2.2. Izračun sila:

- **Sila atmosferskog tlaka:** $F_{at} = \frac{F_{izv} + F_{uvl}}{2} = \frac{7+5}{2} = 6 \text{ N}$
- **Sila trenja:** $F_{tr} = \frac{F_{izv} - F_{uvl}}{2} = \frac{7-5}{2} = 1 \text{ N}$

(2 boda)

2.3. Izračun lokalnog atmosferskog tlaka:

$$p_{at} = \frac{F_{at}}{S} = \frac{6 \text{ N}}{6,06 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2} \approx 99010 \text{ Pa} \quad (2 \text{ boda})$$

2.4. Komentar na dobiveni rezultat atmosferskog tlaka:

Glavni razlog dobivanja nižeg tlaka od normiranog je **zaostali zrak u kljunu šprice (mrtvi prostor)**. Taj se zrak pri rastezanju šprice širi i stvara unutarnji tlak koji djeluje u smjeru izvlačenja klipa. Zbog toga je potrebna manja sila dinamometra nego u slučaju savršenog vakuuma, što u konačnom izračunu rezultira prividno manjom vrijednošću atmosferskog tlaka.

(2 boda)

3. Analiza izoternog procesa

3.1. i 3.2. Tablica srednjih vrijednosti sila izračuna tlaka plina p :

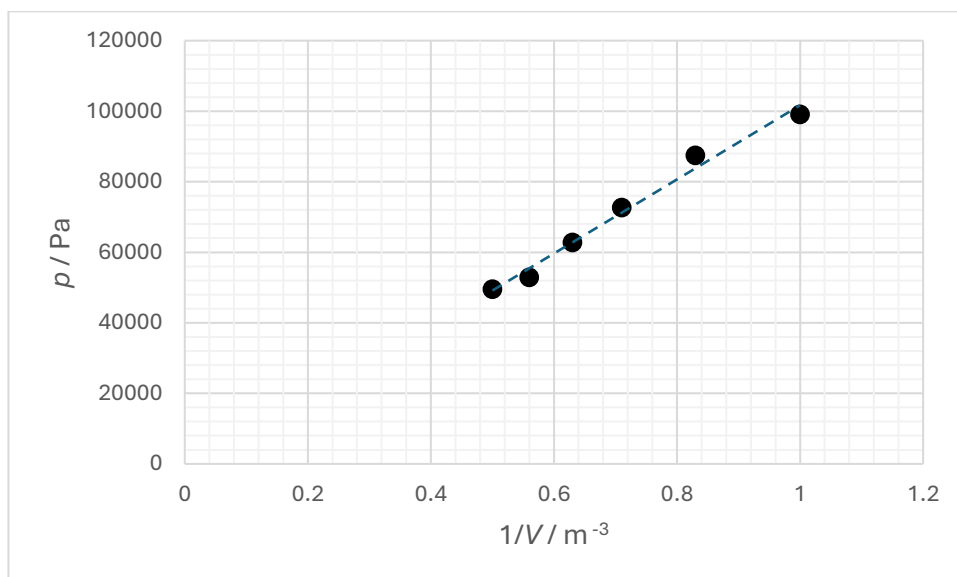
Tlak plina unutar šprice pri rastezanju računamo kao razliku: $p = p_{\text{at}} - \frac{F - F_{\text{tr}}}{S}$.

V / ml	F / N	p / Pa	$\frac{1}{V} / \text{ml}^{-1}$
1,0	0	99010	1
1,2	1,7	87 459	0,83
1,4	2,6	72 607	0,71
1,6	3,2	62 706	0,63
1,8	3,8	52 805	0,56
2,0	4,0	49 505	0,50

(3 boda)

(2 boda)

3.3. Graf ovisnosti tlaka p o recipročnoj vrijednosti volumena ($1/V$)

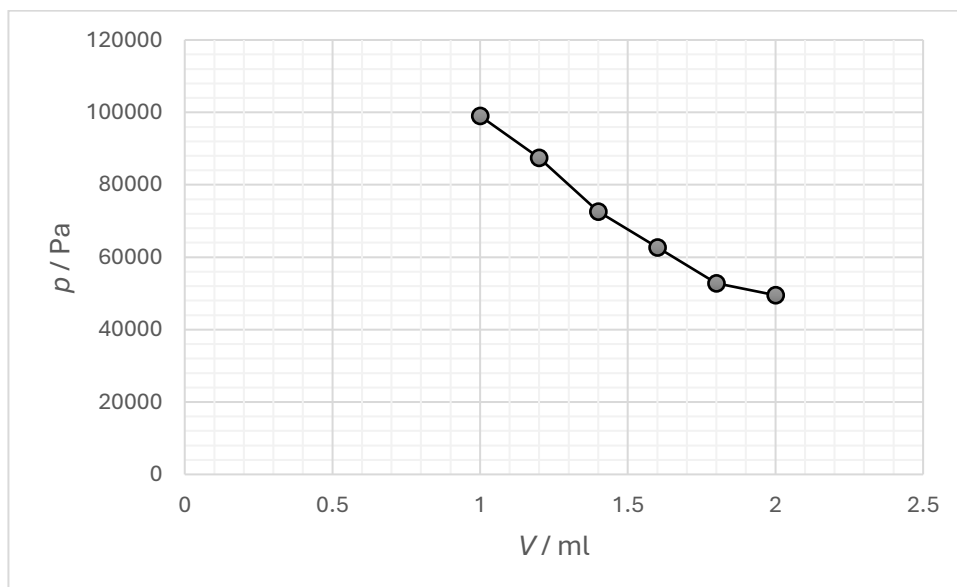


3.4. Boyle-Mariotteov zakon:

Graf ovisnosti p o $1/V$ pokazuje linearnu ovisnost, što potvrđuje izoternost procesa. Umnožak $p \cdot V$ blago varira zbog "mrtvog prostora" u kljunu šprice koji nismo uključili u nazivni volumen. **(3 boda)**

4. Energetska bilanca

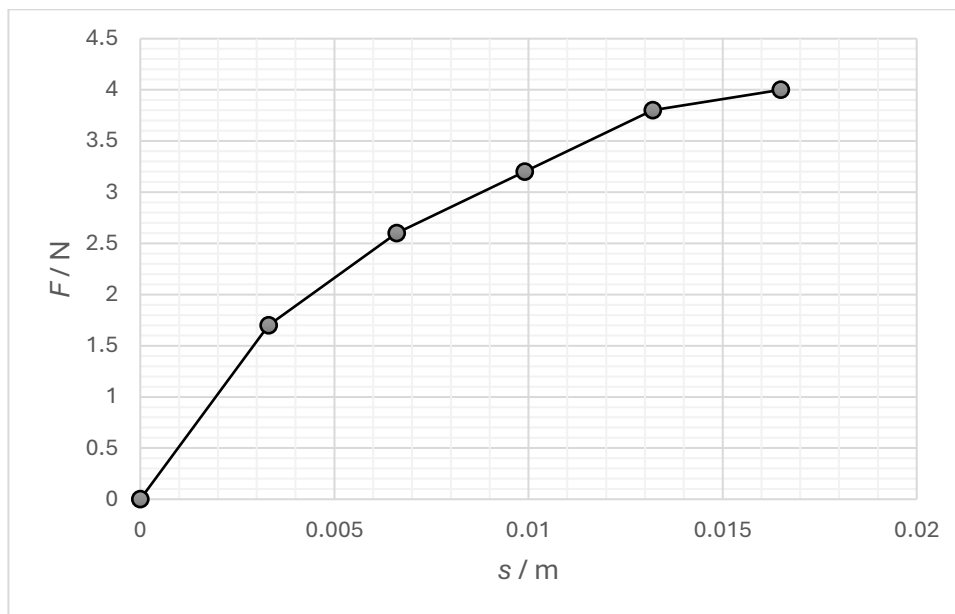
4.1. Rad plina W_{pl} :



Zbrajanjem površina trapeza ispod p, V krivulje za sve intervale od 1,0 do 2,0 ml:

$$W_{\text{pl}} = \sum p_{\text{sr}} \cdot \Delta V \approx 0,070 \text{ J} \quad \textbf{(3 boda)}$$

4.2. Rad vanjske sile W_v :



Zbrajanjem rada sile na prijeđenom putu klipa:

$$W_v = \sum F_{sr} \cdot \Delta s \approx 0,044 \text{ J} \quad (3 \text{ boda})$$

4.3. Energetska bilanca

Rad koji obavlja atmosfera pri pomaku klipa od 1 ml do 2 ml računa se preko stalne sile atmosfere (F_{at}) koju smo odredili u točki 2.1. i ukupnog puta klipa.

- Sila atmosfere: $F_{at} = 6 \text{ N}$
- Ukupni pomak: $s_{ukupno} = 0,0165 \text{ m}$

$$W_{at} = F_{at} \cdot s_{ukupno} = 6 \text{ N} \cdot 0,0165 \text{ m} = 0,099 \text{ J}$$

Zbrojimo rad koji je izvršio plin iznutra (W_{pl} , izračunat u 4.1.) i rad koji je izvršila vanjska sila (dinamometar) povlačenjem izvana (W_v , izračunat u 4.2. preko površine ispod grafa):

- Rad plina: $W_{pl} \approx 0,070 \text{ J}$
- Rad vanjske sile: $W_v \approx 0,044 \text{ J}$

$$W_{uloženo} = W_{pl} + W_v = 0,070 \text{ J} + 0,044 \text{ J} = 0,114 \text{ J}$$

Usporedbom vidimo da je ukupni uloženi rad (0,114 J) veći od rada potrebnog za svladavanje atmosferskog tlaka (0,099 J). Razlika iznosi:

$$\Delta W = W_{uloženo} - W_{at} = 0,114 \text{ J} - 0,099 \text{ J} = 0,015 \text{ J}$$

Objašnjenje: Ukupni uloženi rad ruke i plina (0,114 J) veći je od rada potrebnog za svladavanje vanjske atmosfere (0,099 J). Ta razlika od **0,015 J** predstavlja rad koji je utrošen na svladavanje **sile trenja** između klipa i šprice. Ta se energija pretvorila u toplinu, što je u skladu sa zakonom očuvanja energije. (2 boda)