

Upute za bodovanje: Ovdje je prikazan jedan način rješavanja zadataka. Ako učenici riješe zadatak na drugačiji, a fizikalno pravilan način, treba im dati puni broj bodova predviđen za taj zadatak. Ako učenici ne napišu posebno svaki ovdje predviđeni korak, a vidljivo je da su ga napravili, treba im dati bodove kao da su ga napisali. Najmanja jedinica bodova koja se dodjeljuje jest 1 bod.

Zadatak 1. (ukupno bodova: 7)

Primijećeno je da ako cilindrično tijelo napravljeno od jednog materijala postavimo da pluta u tekućini tako da mu je os simetrije vertikalno orijentirana, $1/3$ njegove visine bude ispod površine tekućine.

Ako zamijenimo polovicu prvotnog materijala cilindra s drugim te tako modificirani cilindar uronimo na isti način u istu tekućinu, on pak pluta s $2/3$ visine ispod površine tekućine. Odredite omjer gustoća prvog i drugog materijala.

Rješenje:

U prvom slučaju težina istisnute tekućine mora odgovarati težini cijelog cilindra, odnosno **(1 bod za poznavanje Arhimedova zakona. 1 bod za točno postavljenu relaciju za uvjet plutanja originalnog cilindra.)**

$$m_{\text{cilindar, 1}} g = V_{\text{cilindar}} \rho_1 g = \frac{1}{3} V_{\text{cilindar}} \rho_{\text{tekućina}} g,$$

iz čega slijedi da je gustoća prvog materijala jednaka **(1 bod točan rezultat za prvu gustoću.)**

$$\rho_1 = \frac{1}{3} \rho_{\text{tekućina}}.$$

U drugom slučaju vrijedi isti zaključak, pri čemu nije bitno koji smo dio materijala cilindra zamijenili jer nas zanima isključivo ukupna težina i istisnina **(1 bod za ispravan zaključak o zamjeni materijala. 1 bod za točno postavljenu relaciju za uvjet plutanja modificiranog cilindra.)**

$$m_{\text{cilindar, 2}} g = V_{\text{cilindar}} \left(\frac{1}{2} \rho_1 + \frac{1}{2} \rho_2 \right) g = \frac{2}{3} V_{\text{cilindar}} \rho_{\text{tekućina}} g.$$

Uvrstimo li rezultat za gustoću prvog materijala imamo **(1 bod za točan rezultat za drugu gustoću.)**

$$\rho_1 + \rho_2 = \frac{1}{3} \rho_{\text{tekućina}} + \rho_2 = \frac{4}{3} \rho_{\text{tekućina}} \rightarrow \rho_2 = \rho_{\text{tekućina}}.$$

Stoga je traženi omjer **(1 bod za točan omjer gustoća.)**

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\frac{1}{3} \rho_{\text{tekućina}}}{\rho_{\text{tekućina}}} = \frac{1}{3}.$$

Zadatak 2. (ukupno bodova: 7)

Pri trenutačnom kvaru ventila vakuumskog sustava u laboratoriju u postav ukupnog volumena 10 litara u kratkom vremenu ulazio je zrak. Ako je odmah poslije kvara utvrđeno da je tlak u postavu 1 miliatmosfera, odredite koliko je mola plina ušlo u sustav.

Pretpostavite da je u početnom trenutku postav ispunjen s 0.1 milimola zraka temperature 10 kelvina, da se zrak može opisati kao idealni plin i da se ulazak zraka u postav odvija kao slobodna ekspanzija plina (pri slobodnoj ekspanziji plin ne izmjenjuje toplinu s okolinom niti vrši rad). Pretpostavite i da je ambijentalna temperatura zraka 25 stupnjeva Celzijeva te da je tlak od 1 miliatmosfere očitao tek nakon što se novopridošli zrak termalizirao s onim koji u postavu bio i prije, no ne i sa stijenkama postava.

Rješenje:

U slobodnoj ekspanziji plin ne vrši rad niti izmjenjuje toplinu s okolinom, stoga, po prvom zakonu termodinamike, njegova unutarnja energija ostaje nepromijenjena (**1 bod za točnu interpretaciju slobodne ekspanzije.**). Kako za dani broj čestica idealnog plina njihova unutarnja energija ovisi isključivo o temperaturi, zaključujemo kako konačna temperatura tog plina, prije termalizacije, mora biti ista kao i početna (**1 bod za točan zaključak o konačnoj temperaturi.**).

Nakon što dodatni (novi) zrak uđe u postavu i nakon što se on termalizira sa zrakom koji je u postavu bio i prije (stari) vrijedi (**1 bod za točnu jednadžbu stanja za konačno stanje.**)

$$pV = (n_{\text{stari}} + n_{\text{novi}})RT_{\text{poslije termalizacije}},$$

pri čemu će tlak u toj relaciji odgovarati tlaku koji je izmjeren nakon kvara. Naznačili smo da je i temperatura drugačija, jer se novi zrak termalizirao sa starim.

Ukupna energija u sustavu, po napatku zadatka, morat će dolaziti isključivo od unutarnje energije plinova, odnosno (**1 bod za ispravan zaključak o ukupnoj energiji. 1 bod za točnu jednadžbu za energiju.**)

$$U_{\text{novo}} = \gamma(n_{\text{stari}} + n_{\text{novi}})RT_{\text{poslije termalizacije}} = \gamma n_{\text{stari}}RT_{\text{prije kvara}} + \gamma n_{\text{novi}}RT_{\text{atmosfera}}.$$

Kombinacijom prethodnih relacija imamo

$$pV = n_{\text{stari}}RT_{\text{prije kvara}} + n_{\text{novi}}RT_{\text{atmosfera}},$$

iz čega slijedi količina tvari zraka koji je ušao u sustav (**1 bod za točan rezultat za količinu tvari. 1 bod za ispravno baratanje mjernim jedinicama u ovom zadatku, odnosno, za uspješne pretvorbe svih mjernih jedinica.**)

$$n_{\text{novi}} = \frac{pV}{RT_{\text{atmosfera}}} - n_{\text{stari}} \frac{T_{\text{prije kvara}}}{T_{\text{atmosfera}}} = 0.4053 \text{ mmol}.$$

Zadatak 3. (ukupno bodova: 13)

Složeni pneumatički amortizer sastavljen je od cilindrične komore ispunjene jednoatomnim idealnim plinom, koja na jednom svom kraju ima bezmaseni klip. Klip u komori može kliziti bez trenja te je s drugim krajem komore spojen preko idealne opruge konstante 12 kN/m.

U procesu testiranja amortizer se fiksira za horizontalnu podlogu te se prema njegovom klipu lansira blok mase 10 kg brzinom 72 km/h. Nakon što je blok dotaknuo klip, u trenutku kada se on trenutačno prestao gibati, primijećeno je da se klip pomaknuo za točno polovicu početne duljine komore. Odredite duljinu komore u početnom trenutku.

U početnom trenutku opruga je opuštena te je volumen plina (koji odgovara volumenu komore) jednak 5 litara, a klip miruje. Zanimarite toplinski kapacitet opruge te pretpostavite da se sudar odvije tako brzo da plin ne stigne izmijeniti toplinu s okolinom. Dodatno, pretpostavite da je atmosferski tlak jednak jednoj atmosferi. Blok je takvih dimenzija da prilikom sudara s klipom ne dira stijenke komore amortizera te on po podlozi klizi bez trenja.

Rješenje:

Kako je opruga opuštena u početnom trenutku, tlak plina mora biti jednak atmosferskom, odnosno **(1 bod za točan zaključak o tlaku.)**

$$p_0 = p_{\text{atm}} = 101300 \text{ Pa}.$$

Jednoatomni idealni plin ima 3 stupnja slobode, što znači da je njegov adijabatski koeficijent γ jednak 5/3 **(1 bod za poznavanje adijabatskog koeficijenta jednoatomnog plina.)**, stoga vrijedi

$$U(T) = \frac{3}{2}nRT.$$

Prva varijanta rješenja: zanemaruje se atmosferski tlak

Slijedi rješenje ostatka zadatka pri kojem se zanemaruje utjecaj atmosferskog tlaka na dinamiku. Ako su učenici riješili zadatak na ovaj način treba im dodijeliti bodove u skladu s danim predloškom. Druga varijanta je uzimanje u obzir atmosferskog tlaka što je dano u nastavku.

Blok i klip gibaju se zajedno od trenutka sudara te će se oni zaustaviti kada kinetička energija bloka (klip je bezmasen pa je njegova kinetička energija uvijek jednaka nuli) prijeđe u elastičnu potencijalnu energiju opruge te unutarnju energiju plina. To znači da u trenutku njihova zaustavljanja vrijedi **(1 bod za točan zaključak o uvjetu zaustavljanja bloka.)**

$$\Delta E = E_{\text{kin, blok}} = \frac{1}{2}m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2 = \Delta U_{\text{plin}} + \Delta E_{\text{pot, opruga}}.$$

Uvrstimo li poznate relacije za unutarnju energiju i elastičnu potencijalnu energiju slijedi **(1 bod za točnu jednadžbu za zakon očuvanja energije s uvrštenim svim energijama.)**

$$\frac{3}{2}nRT_{\text{kon}} - \frac{3}{2}nRT_0 + \frac{1}{2}k\Delta x^2 = \frac{1}{2}m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2,$$

pri čemu je Δx pomak klipa koji ujedno odgovara i kompresiji opruge. Iskoristimo li jednadžbu stanja idealnog plina $pV = nRT$ **(1 bod za poznavanje jednadžbe stanja.)** te pomnožimo li obje strane s 2, prethodni izraz postaje

$$3p_{\text{kon}}V_{\text{kon}} - 3p_0V_0 + k\Delta x^2 = m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2.$$

Iz uvjeta zadatka imamo da plin ne izmjenjuje toplinu s okolinom, što po definiciji znači da da plin prolazi kroz adijabatski proces (**1 bod za točan zaključak da je riječ o adijabatskom procesu.**) te vrijedi $p_{\text{kon}} V_{\text{kon}}^\gamma = p_0 V_0^\gamma = \text{konst.}$ (**1 bod za poznavanje jednadžbe adijabatskog procesa.**) Korištenjem tog izraza slijedi (**1 bod za uspješnu manipulaciju izraza za energiju koristeći jednadžbu adijabate.**)

$$3p_{\text{kon}} V_{\text{kon}}^\gamma V_{\text{kon}}^{1-\gamma} - 3p_0 V_0 + k\Delta x^2 = m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2,$$

$$3p_0 V_0^\gamma V_{\text{kon}}^{1-\gamma} - 3p_0 V_0 + k\Delta x^2 = m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2.$$

No, kako je poznato da se opruga skрати za pola svoje duljine, nužno je da se i volumen plina smanjio za polovinu $V_{\text{kon}} = V_0/2$, tada je (**1 bod za zaključak za konačni volumen plina. 1 bod za uspješno korištenje tog zaključka u pojednostavljivanju izraza za energiju.**)

$$3p_0 V_0^\gamma (0.5V_0)^{1-\gamma} - 3p_0 V_0 + k\Delta x^2 = m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2,$$

$$3p_0 V_0 (0.5)^{1-\gamma} - 3p_0 V_0 + k\Delta x^2 = m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2,$$

$$3p_0 V_0 ((0.5)^{1-\gamma} - 1) + k \left(\frac{l_0}{2} \right)^2 = m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2,$$

pri čemu smo u zadnjem izrazu ponovo iskoristili informaciju da se duljina prepolovila te označili početnu duljinu opruge, odnosno komore, s l_0 . Konačno sređivanjem izraza i uvrštavanjem adijabatske konstante dobivamo (**1 bod za točan sređeni izraz. Bod dodijeliti ako je ovaj korak napravljen i implicitno traženjem numeričkog rješenja za duljinu**)

$$l_0 = 2 \sqrt{\frac{m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2 - 1.7622 p_0 V_0}{k}}.$$

Pretvorimo li sve mjerne jedinice u standardne SI jedinice (km/h u m/s, što daje početnu brzinu od 20 m/s te L u m³, što daje početni volumen od 0.005 m³) (**1 bod ako je točna pretvorba svih mjernih jedinica.**) i uvrstimo poznate veličine dobivamo rješenje (**1 bod za točno rješenje za duljinu.**)

$$l_0 = 1.0178 \text{ m}.$$

Druga varijanta rješenja: ne zanemaruje se atmosferski tlak

Slijedi rješenje ostatka zadatka, nastavljajući se na točku kada smo definirali unutarnju energiju, pri kojem se ne zanemaruje utjecaj atmosferskog tlaka na dinamiku. Za bodovanje pratiti predložak bodovanja kao da je riječ o slučaju u kojem se zanemaruje tlak, s jedinom razlikom da su jednadžbe promijenjene zbog pojave dodatnog člana te su one dane u nastavku:

$$\Delta E = E_{\text{kin, blok}} + \Delta W_{p_{\text{atm}}} = \frac{1}{2} m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2 + p_{\text{atm}} S_{\text{klip}} \Delta x = \Delta U_{\text{plin}} + \Delta E_{\text{pot, opruga}},$$

pri čemu je S_{klip} površina poprečnog presjeka klipa. Prepoznamo li da je $\Delta x = 0.5l_0$, imamo $S_{\text{klip}} \Delta x = 0.5 S_{\text{klip}} l_0 = 0.5 V_0$ te slijedi

$$\frac{3}{2} nRT_{\text{kon}} - \frac{3}{2} nRT_0 + \frac{1}{2} k\Delta x^2 = \frac{1}{2} m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2 + \frac{1}{2} p_0 V_0.$$

$$3p_{\text{kon}} V_{\text{kon}} - 3p_0 V_0 + k\Delta x^2 = m_{\text{blok}} v_{\text{blok}}^2 + p_0 V_0.$$

$$3p_{\text{kon}}V_{\text{kon}}^{\gamma}V_{\text{kon}}^{1-\gamma}-4p_0V_0+k\Delta x^2=m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2,$$

$$3p_0V_0^{\gamma}V_{\text{kon}}^{1-\gamma}-4p_0V_0+k\Delta x^2=m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2.$$

$$3p_0V_0^{\gamma}(0.5V_0)^{1-\gamma}-4p_0V_0+k\Delta x^2=m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2,$$

$$3p_0V_0(0.5)^{1-\gamma}-4p_0V_0+k\Delta x^2=m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2,$$

$$p_0V_0\left(3(0.5)^{1-\gamma}-4\right)+k\left(\frac{l_0}{2}\right)^2=m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2,$$

$$l_0=2\sqrt{\frac{m_{\text{blok}}v_{\text{blok}}^2-0.7622p_0V_0}{k}}.$$

$$l_0=1.0976\text{ m}.$$

Zadatak 4. (ukupno bodova: 10)

Grof Rumford je krajem 18. stoljeća izveo pokus kojim je pokazao da je teorija kalorika u termodinamici pogrešna. Proučite postav inspiriran njegovim pokusom koji se sastoji od cilindričnog bloka mjedi mase 4 tone posve uronjenog u cilindričnu bačvu ispunjenu vodom. Blok je uronjen tako da se njegov vrh nalazi 15 cm ispod površine vode. U bloku se u jednom trenutku počne bušiti rupa kako bi se proizvela topovska cijev. Nakon 10 sati bušenja primijećeno je da voda ključa te da se razina vode spustila za 2 cm.

a) Odredite koliko je topline oslobođeno procesom bušenja. Bačva je promjera 65 cm te je početni stupac vode u njoj visok 2 m. Uzmite da je početna temperatura i mjedi i vode jednaka 35 stupnjeva Celzijeva te da su temperature vode i sve mjedi uvijek jednake. Zanimarite toplinski kapacitet svrdla i bačve te svo toplisko širenje. Pretpostavite da nema nikakvih gubitaka energije, da se sva toplina stvorena bušenjem prenosi isključivo na mjedeni blok i vodu te da sve strugotine mjedi koje nastaju bušenjem ostaju unutar bačve, potopljene u vodi.

b) Odredite prosječnu snagu bušilice te zaključite koliki je najmanji broj konja koji su morali biti upregnuti kako bi se pogonilo bušilicu. Pretpostavite da jedan konj u prosjeku proizvodi jednu konjsku snagu koja odgovara 745 W. Specifični toplinski kapacitet mjedi je 400 J/kgK, dok je specifični toplinski kapacitet vode 4190 J/kgK. Gustoća vode je 1000 kg/m³, a mjedi 8500 kg/m³. Latentna toplina isparavanja vode je 2.26 MJ/kg.

Rješenje:

a) Ukupni volumen vode odgovarati će volumenu koji preostaje u bačvi nakon što uzmemo u obzir prostor koji mjed zauzima. **(1 bod za uzimanje u obzir razlike u volumenu zbog istisnine mjedi. 1 bod za točan rezultat za volumen vode.)**

$$V_{\text{mjed}} = m_{\text{mjed}} / \rho_{\text{mjed}},$$

$$V_{\text{voda}} = \pi r_{\text{bačva}}^2 h_{\text{voda}} - V_{\text{mjed}} = \pi r_{\text{bačva}}^2 h_{\text{voda}} - m_{\text{mjed}} / \rho_{\text{mjed}} = 0,19307 \text{ m}^3,$$

pri čemu su r radijus baze bačve te h visina stupca vode u bačvi. S obzirom da je vrh bloka mjedi ispod razine vode koja isparava, volumen vode koji je ispario odgovara jednostavnom umnošku baze cilindra i promjene visine stupca vode **(1 bod za točan rezultat za volumen vode koji ispari.)**

$$V_{\text{voda, isparavanje}} = \pi r_{\text{bačva}}^2 \Delta h_{\text{voda}} = 0,006637 \text{ m}^3.$$

Kako bi voda počela ključati, odnosno isparavati, potrebno ju je zagrijati do 100° C. Zajedno s vodom zagrijava se i mjed, a po napatku zadatka možemo računati zagrijavanje ukupne mase mjedi, jer strugotine ostaju unutar bačve. Ukupna energija potrebna za to je **(1 bod za točan zaključak koliko je energije potrebno za zagrijavanje. 1 bod za ispravno korištenje specifičnih toplinskih kapaciteta u zadatku.)**

$$\Delta Q_{\text{zagrijavanje}} = (C_{\text{mjed}} + C_{\text{voda}}) \Delta T = (c_{\text{voda}} \rho_{\text{voda}} V_{\text{voda}} + c_{\text{mjed}} m_{\text{mjed}}) \Delta T,$$

pri čemu su c specifični toplinski kapaciteti. U nastavku bušenja sve toplina odlazi u isparavanje vode, a toplina potrebna za to je **(1 bod za točan izraz za toplinu potrebnu za isparavanje.)**

$$\Delta Q_{\text{isparavanje}} = V_{\text{voda, isparavanje}} \rho_{\text{voda}} L_{\text{voda}}.$$

Sve skupa, ukupna toplina koja je oslobođena je **(1 bod za točan rezultat za ukupnu toplinu.)**

$$\Delta Q_{\text{uk}} = \Delta Q_{\text{zagrijavanje}} + \Delta Q_{\text{isparavanje}} = 171582 \text{ kJ}.$$

b) Prosječna snaga za vrijeme bušenja jednostavno odgovara oslobođenoj toplini podijeljenoj s ukupnim vremenom bušenja (**1 bod za točan rezultat za prosječnu snagu.**)

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta Q_{\text{uk}}}{\Delta t_{\text{uk}}} = 4766 \text{ W}.$$

Minimalni broj konja koji je morao pogoniti postav dobijemo tako da prethodno izračunatu snagu podijelimo sa snagom koju jedan konj može razviti te zaokružimo na najbliži veći cijeli broj. Pri ovome pretpostavljamo da nema nikakvih energetske gubitaka, što je u skladu s pretpostavkama zadatka i osigurava da je potrebna snaga najmanja, pa tako i broj konja. (**1 bod za ispravan zaključak kako dobiti minimalni broj konja. 1 bod za ispravan rezultat za minimalni broj konja.**)

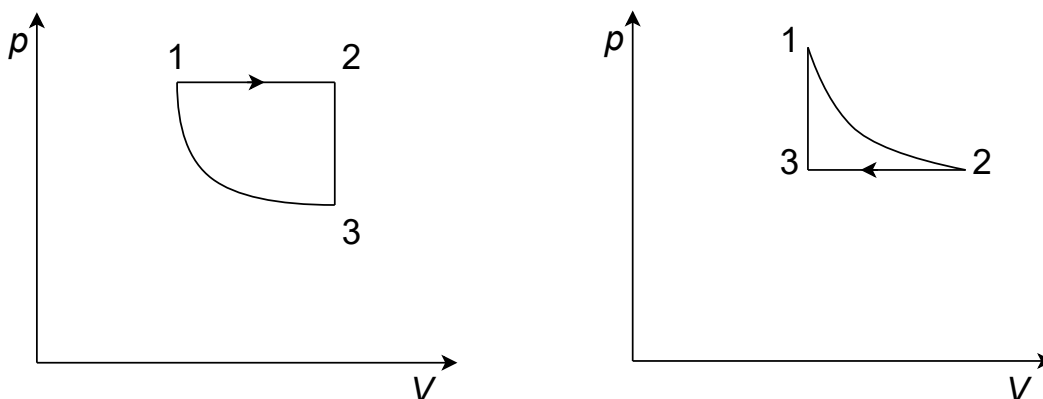
$$N_{\text{konja, min}} = \left\lceil \frac{\langle P \rangle}{P_{\text{konj}}} \right\rceil = 7.$$

Zadatak 5. (ukupno bodova: 13)

Radni ciklus toplinskog stroja, čija je radna tvar jednoatomni idealni plin, može se sastojati od jedne adijabatske, jedne izohorne i jedne izobarne promjene. Skicirajte sve moguće kružne procese koji mogu pogoniti ovaj stroj u $p - V$ dijagramima. Naznačite koje promjene stanja odgovaraju kojemu dijelu dijagrama te u kojemu se smjeru odvijaju procesi. Odredite omjer korisnosti procesa s najvećom i najmanjom korisnosti ako je poznato da se u svim procesima u izobarnoj promjeni volumen plina promjeni za faktor 2.

Rješenje:

(Po 1 bod za svaki ispravno nacrtani dijagram, 2 boda ukupno. Obratiti pozornost na to da su izohorna i izobarna promjena prikazane ravnim crtama, dok je adijabatska promjena zakrivljena. Dodatno, u oba dijagrama treba biti jasno u kojem se smjeru odvija proces. Smjer procesa može biti opisan i riječima u ostatku rješenja.)



Nazovimo proces na lijevoj strani skice prvim procesom, a proces na desnoj strani skice drugim. Oni su jedini kružni procesi koje je moguće sastaviti od navedenih promjena. Točke u kojima se promjene spajaju označili smo brojevima te ćemo se u nastavku rješenja na njih tako i referirati.

Za izohornu promjenu vrijedi da plin ne obavlja rad, a promjena unutarnje energije plina jednaka je izmijenjenoj toplini (**1 bod za ispravan rezultat za izmijenjenu toplinu na izohori.**)

$$\Delta Q = \Delta U = \frac{3}{2} N k_B \Delta T = \frac{3}{2} V \Delta p,$$

Za izobarnu promjenu vrijedi da se plinu mijenja i unutarnja energija te on vrši rad (ili se na njemu vrši rad). Vrijedi (**1 bod za ispravan rezultat za izmijenjenu toplinu na izobari.**)

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W = \frac{3}{2} N k_B \Delta T + p \Delta V = \frac{5}{2} N k_B \Delta T = \frac{5}{2} p \Delta V.$$

Za prvi proces vrijedi (**1 bod za točan rezultat za primljenu toplinu u prvom procesu.**)

$$\Delta Q_{1-2}^{(1)} = \frac{5}{2} p_{1,2} (V_{2,3} - V_1) = \frac{5}{2} p_{1,2} (V_{2,3} - \frac{1}{2} V_{2,3}) = \frac{5}{4} p_{1,2} V_{2,3} > 0.$$

Kako je promjena 3-1 adijabata možemo povezati tlakove u procesu na sljedeći način (**1 bod za ispravno povezivanje veličina u prvom procesu kako bi se obje topline svele na to da ovise**

o zajedničkim parametrima.)

$$p_{1,2}V_1^{5/3} = p_3V_{2,3}^{5/3} \rightarrow p_3 = p_{1,2} \left(\frac{V_1}{V_{2,3}} \right)^{5/3} = p_{1,2} \frac{1}{2^{5/3}} = p_{1,2} \frac{1}{2\sqrt[3]{4}}.$$

Koristeći ovu relaciju dobivamo rezultat za izmijenjenu toplinu u procesu 2-3 (**1 bod za točan rezultat za predanu toplinu u prvom procesu.**)

$$\Delta Q_{2-3}^{(1)} = \frac{3}{2}V_{2,3}(p_3 - p_{1,2}) = -\frac{3}{2}p_{1,2}V_{2,3} \left(1 - \frac{1}{2\sqrt[3]{4}} \right) < 0.$$

Sveukupno, ako označimo s $\Delta Q_{<}$ ukupnu toplinu koju je plin predao u jednom ciklusu, a s $\Delta Q_{>}$ ukupnu toplinu koju je primio, efikasnost ovog ciklusa je (**1 bod za točan rezultat za efikasnost prvog procesa.**)

$$\eta^{(1)} = 1 - \frac{|\Delta Q_{<}|}{\Delta Q_{>}} = 1 - \frac{\frac{3}{2} \left(1 - \frac{1}{2\sqrt[3]{4}} \right)}{\frac{5}{4}} = 1 - \frac{6}{5} \left(1 - \frac{1}{2\sqrt[3]{4}} \right) = 0.1780.$$

Za drugi proces vrijedi (**1 bod za točan rezultat za predanu toplinu u drugom procesu.**)

$$\Delta Q_{2-3}^{(2)} = \frac{5}{2}p_{2,3}(V_{1,3} - V_2) = \frac{5}{2}p_{2,3}(V_{1,3} - 2V_{1,3}) = -\frac{5}{2}p_{2,3}V_{1,3} < 0.$$

Slično kao i u prvom procesu, koristeći jednadžbu adijabate možemo povezati tlakove (**1 bod za ispravno povezivanje veličina u drugom procesu.**)

$$p_1V_{1,3}^{5/3} = p_{2,3}V_2^{5/3} \rightarrow p_1 = p_{2,3} \left(\frac{V_2}{V_{1,3}} \right)^{5/3} = p_{2,3}2^{5/3} = 2\sqrt[3]{4}p_{2,3}.$$

Tada je izmjenjena toplina u promjeni 3-1 jednaka (**1 bod za točan rezultat za primljenu toplinu u drugom procesu.**)

$$\Delta Q_{3-1}^{(2)} = \frac{3}{2}V_{1,3}(p_1 - p_{2,3}) = \frac{3}{2}V_{1,3}p_{2,3}(2\sqrt[3]{4} - 1) > 0.$$

Konačno, efikasnost drugog procesa je (**1 bod za točan rezultat za efikasnost drugog procesa.**)

$$\eta^{(2)} = 1 - \frac{\frac{5}{2}p_{2,3}V_{1,3}}{\frac{3}{2}V_{1,3}p_{2,3}(2\sqrt[3]{4} - 1)} = 1 - \frac{5}{3} \frac{1}{2\sqrt[3]{4} - 1} = 0.2336$$

Traženi omjer je tada (**1 bod za točan rezultat za traženi omjer.**)

$$\frac{\eta_{\max}}{\eta_{\min}} = \frac{\eta^{(2)}}{\eta^{(1)}} = 1.3127$$

Fizikalne konstante:

ubrzanje sile teže blizu površine Zemlje:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

atmosferski tlak, odnosno tlak koji odgovara jednoj atmosferi:

$$p_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 101300 \text{ Pa}$$

temperatura apsolutne nule:

$$T_0 = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$$

plinska konstanta:

$$R = 8.314 \text{ J/Kmol}$$