

# 1. AUDITORNE VJEŽBE

## PRVI GLAVNI STAVAK TERMODINAMIKE ZA ZATVORENI SUSTAV

- 1.1.1. Na zatvorenom je sustavu za vrijeme procesa obavljen rad od 100 kJ. Energija sustava porasla je za 55 kJ. Izračunajte količinu topline koja se izmjenjuje s okolicom. Dovodi li se sustavu ili odvodi iz sustava za vrijeme procesa?

$$(Q = -45 \text{ kJ})$$

- 1.1.2. Automobil mase 850 kg kreće se brzinom od 80 km/h. Prilikom kočenja kinetička energija vozila pretvara se trenjem u kočnicama u toplinu i predaje okolini. Koliko se topline izmijeni potpunim zaustavljanjem vozila, a koliko ako se brzina smanji na pola? Koliko bi se moglo zasićene (vrole) vode tom toplinom ispariti, ako za isparivanje kilograma vode treba 2340 (? 2257) kJ topline?

$$(Q_0 = -210 \text{ kJ}, m_0 = 89,7 \text{ g}, Q_{1/2} = -157 \text{ kJ}, m_{1/2} = 67,3 \text{ g})$$

- 1.1.3. Na čeličnom užetu (presjeka  $250 \text{ mm}^2$  i duljine 25 m) dizalice obješen je teret mase 5000 kg. Preko noći uže se ohladi s temperature  $20^\circ\text{C}$  na temperaturu  $5^\circ\text{C}$ . Koliko je topline odvedeno od užeta i koliki je rad obavljen dizanjem tereta uslijed stezanja užeta? Poznato je još: koeficijent termičkog širenja čelika  $\alpha = 0,000014 \text{ K}^{-1}$ , specifična toplina čelika  $c_p = 0,460 \text{ kJ/kgK}$  i gustoća čelika  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ .

$$(Q = -336375 \text{ J}, W = 257,4 \text{ J})$$

- 1.1.4. Grupa od 20 osoba boravi u izoliranoj prostoriji veličine  $10 \text{ m} \times 25 \text{ m}$  i visine 3 m. Izračunajte porast temperature zraka za 10 minuta ukoliko svaka osoba u prosjeku zauzima  $0,071 \text{ m}^3$  i u okolicu emitira  $395 \text{ kJ/h}$  topline. Poznato je još: specifična toplina zraka pri konstantnom volumenu  $c_v = 718 \text{ J/kgK}$ , plinska konstanta  $R = 287 \text{ J/kgK}$ , početni tlak  $1,0135 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  i temperatura  $21^\circ\text{C}$ .

$$(\Delta T_{V=\text{konst.}} = 2,04 \text{ K}; \Delta T_{p=\text{konst.}} = 1,45 \text{ K})$$

- 1.1.5. Toplina se dovodi u cilindar volumena  $5 \text{ m}^3$  koji sadrži  $0,05 \text{ m}^3$  vode u zasićenom stanju i  $4,95 \text{ m}^3$  zasićene vodene pare kod tlaka  $0,1 \text{ MPa}$ , sve dok se cijeli cilindar ne ispuni zasićenom parom. Izračunajte količinu topline koja se dovodi za vrijeme procesa. Poznato je još: specifični volumen  $v = 0,001043 \text{ m}^3/\text{kg}$  i latentna toplina  $q_{lv} = 2089 \text{ kJ/kg}$  zasićene vode.

$$(Q = 100144 \text{ kJ})$$

- 1.1.6. Izoliran spremnik u dijelu A sadrži 2 kg vode temperature  $200^\circ\text{C}$  tlaka  $5 \text{ MPa}$ , a u dijelu B je  $0,983 \text{ kg}$  vode temperature  $200^\circ\text{C}$  i tlaka  $0,1 \text{ MPa}$ . Uklanjanjem pregrade voda se izmiješa. Izračunajte izmijenjenu toplinu za vrijeme procesa miješanja ako je konačna temperatura  $200^\circ\text{C}$ . Poznate su još unutrašnje kaloričke energije:  $u_A = 848,1 \text{ kJ/kg}$ ,  $u_B = 2658,1 \text{ kJ/kg}$  i  $u_2 = 2650,0 \text{ kJ/kg}$ .

$$(Q = 3597,9 \text{ kJ})$$

- 1.1.7. Cilindar sa stapom upotrebljava se za kompresiju plina mase  $0,9 \text{ kg}$  od volumena  $0,396 \text{ m}^3$  na volumen  $0,255 \text{ m}^3$  pri konstantnom tlaku od  $95,76 \text{ kPa}$ . Za vrijeme trajanja procesa došlo je do smanjenja unutrašnje kaloričke energije za  $8135 \text{ J}$ . Izračunajte količinu topline koja je dovedena ili odvedena plinu za vrijeme kompresije.

$$(Q = -21637 \text{ J})$$

- 1.1.8. Cilindar sa stapom sadrži  $0,1 \text{ m}^3$  plina Freon-12 pri tlaku 500 kPa i temperaturi  $70^\circ\text{C}$ . Stap je zakločen u početnom položaju sve dok tlak ne dostigne vrijednost 600 kPa. Održavanjem tlaka na toj vrijednosti stap se oslobađa, a plinu izmijeni toliko topline da postigne konačnu temperaturu od  $80^\circ\text{C}$ . Izračunajte ukupno dovedenu toplinu za vrijeme navedenih procesa. Poznati su specifični volumeni i entalpije za sva stanja u procesu: na početku  $0,044184 \text{ m}^3/\text{kg}$  i  $231,161 \text{ kJ/kg}$ , u sredini  $0,044184 \text{ m}^3/\text{kg}$  i  $272,231 \text{ kJ/kg}$  i na kraju  $0,037653 \text{ m}^3/\text{kg}$  i  $237,027 \text{ kJ/kg}$ .

$$(Q = 3,276 \text{ kJ})$$

- 1.1.9. Promotrimo cilindar ispunjen idealnim plinom (tlaka 689476 Pa i temperature 294,3 K) sa stapom u ravnoteži. Dovođenjem topline u iznosu 105500 J volumen plina poveća se pomicanjem stapa sa  $0,01416 \text{ m}^3$  na  $0,0566 \text{ m}^3$ . Izračunajte promjenu unutrašnje kaloričke energije i konačnu temperaturu plina.

$$(\text{konst. tlak, } Q \text{ (?) } U) = 76,239 \text{ kJ, } T = 1176,4 \text{ K})$$

- 1.1.10. Zrak početnog volumena  $1 \text{ m}^3$  komprimira se na volumen  $0,01 \text{ m}^3$ . Početni tlak iznosio je 500 kPa a temperatura konstantno  $20^\circ\text{C}$ . Koliko iznosi obavljeni rad?

$$(W = -2,3 \text{ MJ})$$

- 1.1.11. Veći automobil, mase 2200 kg, pri brzini od 90 km/h udari u manji zaustavljeni automobil, mase 1000 kg. Poslije sudara veliki automobil uspori na 50 km/h, a manji ubrza na 88 km/h. Koliki je ukupni porast unutrašnje kaloričke energije?

$$(\Delta E \text{ (?) } U) = 176000 \text{ J}$$

- 1.1.12. Akceleracija je sile teže zadana:  $g = 9,81 - 3,32 \cdot 10^{-6} \cdot h \text{ [m/s}^2\text{]}$ , gdje je  $h$  visina iznad mora. Avion, težine 40 kN na morskoj razini, leti 10 km iznad mora brzinom od 900 km/h. Koliko iznosi kinetička energija aviona, koliko je avion težak na visini na kojoj leti i kolika je gravitacijska potencijalna energija aviona prema razini mora.

$$(E_k = 127,4 \text{ MJ; } M = 39,9 \text{ kN; } \Delta E_p = 399,3 \text{ MJ})$$

- 1.1.13. Kolika je snaga potrebna da automobil pri brzini od 90 km/h svlada otpor vjetra? Otpor vjetra određen je silom  $F_v = \rho \cdot c^2 \cdot A \cdot C_D / 2$ . Koeficijent otpora automobila  $C_D$  iznosi 0,2. Projicirana je površina automobila  $A = 2,3 \text{ m}^2$ , gustoća zraka  $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$ .

$$(P = 4425 \text{ W} = 5,93 \text{ konjskih snaga})$$

- 1.1.14. Energija pada s visine od 3 m utega mase 100 kg miješanjem prelazi u izolirani cilindar i rezultira porastom volumena plina od  $0,002 \text{ m}^3$ . Težina pomičnog poklopca održava konstantnu razliku tlaka između cilindra i okolice od 100 kPa. Koliko iznosi razlika između primljene energije miješanjem i rada koji plin obavlja prema okolici?

$$(W_{\text{net}} = -2540 \text{ J})$$

- 1.1.15. Miješanjem se predaje rad padanja, s visine od 2 m utega mase 50 kg, mediju unutar izoliranoga spremnika. Koliko bi topline trebalo prenijeti u spremnik da se postigne isti učinak?

$$(Q = 980 \text{ J})$$

- 1.1.16. Na vrhu cilindra promjera 15 cm, ispunjenog zrakom, nalazi se pomični poklopac mase 500 kg. Moment od 30 Nm miješa zrak brzinom vrtnje od 100 okretaja u minuti. Koliki rad obavi zrak nakon 30 sekundi miješanja ukoliko podigne poklopac za 50 cm?

$$(W_{\text{net}} = -6090 \text{ J (?)})$$

- 1.1.17. Dva kilograma zasićene pare na 400 kPa nalazi se u cilindru s pomičnim poklopcem. Para se zagrijava pri konstantnom tlaku do 300 °C. Koliki je rad obavila para? Poznati su specifični volumeni: zasićene pare 0,4625 m<sup>3</sup>/kg na početku i pregrijane pare 0,7726 m<sup>3</sup>/kg na kraju procesa.

$$(W = 248,1 \text{ kJ})$$

- 1.1.18. Zrak u spremniku (200 kPa i 0,2 m<sup>3</sup>) komprimiran je tako da se volumen smanjio deset puta. Koliko je obavljeni rad i kako izgleda proces u p-v dijagramu: a) pri konstantnom tlaku i b) pri konstantnoj temperaturi od 50 °C?

$$(a) W = -36 \text{ kJ}; b) W = -92,1 \text{ kJ})$$

- 1.1.19. Zrak u kružnom cilindru, promjera 30 cm, zagrijava se sve dok se pomični stap mase 100 kg ne podigne za 40 cm. Koliko iznosi rad zraka uz pretpostavku vanjskog tlaka od 80 kPa?

$$(W = 2654 \text{ J})$$

- 1.1.20. Elektromotor miješa medij u cilindru promjera 300 mm. Motor radi na bateriji 12 V i troši 3 A. Nakon 50 s miješanja pomični se poklopac cilindra, mase 30 kg, podigne za 100 mm. Koliki neto (?) rad obavi zrak prema okolini? Tlak oko cilindra iznosi 95 kPa. Efikasnost miješanja iznosi 90%.

$$(W_{\text{net}} = -919 \text{ J } / ? /)$$

- 1.1.21. Za cirkuliranje zraka u izoliranoj prostoriji koristi se ventilator snage 3,73 kW i efikasnosti 90%. Koliko se promijeni unutrašnja kalorička energija u prostoriji nakon jednog sata? Motor ventilatora je smješten u prostoriji.

$$(\Delta U = 13,43 \cdot 10^6 \text{ J})$$

- 1.1.22. Cilindar sadrži zrak volumena 0,02 m<sup>3</sup>, temperature 323 K i tlaka 400 kPa. Zraku je u cilindru dodano 50 kJ topline. Koliko još treba rada u vidu miješanja zraka da bi se, uz konstantan tlak, temperatura zraka podigla na 700 °C? Za zrak uzeti specifični toplinski kapacitet kod konstantnog tlaka  $c_p = 1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  i plinsku konstantu  $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ .

$$(W = -6094 \text{ J})$$

**PRVI GLAVNI STAVAK TERMODINAMIKE ZA OTVORENI SUSTAV**

- 1.2.1. Kompresor usisava zrak tlaka 103 kPa i tlači ga do tlaka 680 kPa, specifični volumeni zraka pritom su  $v_1 = 0,124 \text{ m}^3/\text{kg}$  i  $v_2 = 0,0312 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Porast unutrašnje energije je  $93,25 \text{ kJ/kg}$ , a izvršeni tehnički rad  $164 \text{ kJ/kg}$ . Promjena potencijalne i kinetičke energije je zanemariva. Koliki je iznos izmijenjene topline?

$$(q_{12} = -62,3 \text{ kJ})$$

- 1.2.2. Benzinski motor razvija snagu od  $50 \text{ kW}$ . Maseni protok benzina pri tome je  $15 \text{ kg/h}$ , a zraka  $215 \text{ kg/h}$ . Temperatura smjese goriva i zraka na ulazu u stroj je  $15^\circ\text{C}$ , temperatura plinova izgaranja na izlazu iz stroja je  $900^\circ\text{C}$ . Motor je hlađen vodom i prijelaz topline iznosi  $42 \text{ kJ/s}$ . Odredite promjenu specifične entalpije smjese zraka i goriva za vrijeme strujanja i izgaranja u motoru, ako prijelaz topline na okolinu iznosi  $15 \text{ kJ/s}$ , te ako se promjena kinetičke i potencijalne energije zanemaruje.

$$(\Delta h = -1674,8 \text{ kJ/kg})$$

- 1.2.3. Maseni je protok vodene pare kroz turbinu  $5 \text{ t/h}$ , a snaga turbine na osovini  $500 \text{ kW}$ . Odredite iznos izmijenjene topline u jednom satu ako su ulaz i izlaz turbine na istoj visini. Promjena specifične entalpije pare iznosi  $-490 \text{ kJ/kg}$ , brzina na ulazu  $60 \text{ m/s}$ , a na izlazu  $360 \text{ m/s}$ . Da li se toplina dovodi u turbinu ili odvodi iz turbine?

$$(\dot{Q}_{12} = -335 \text{ MJ/h, toplina se odvodi iz turbine})$$

- 1.2.4. Para ulazi u izmjenjivač topline kod tlaka  $1,4 \text{ MPa}$  i temperature  $300^\circ\text{C}$ , gdje se kondenzira na izlazu iz izmjenjivača. Kondenzirana para napušta izmjenjivač topline kao tekućina tlaka  $1,4 \text{ MPa}$  i temperature  $150^\circ\text{C}$  s prosječnim masenim protokom od  $5000 \text{ kg/h}$ . Para se kondenzira uz pomoć vode koja prolazi kroz cijevi izmjenjivača topline. Voda za hlađenje ulazi u izmjenjivač topline temperature  $20^\circ\text{C}$  i prolaskom se zagrije na  $40^\circ\text{C}$ . Pretpostavljajući da je izmjenjivač topline adijabatski sustav odredite maseni protok vode za hlađenje kroz izmjenjivač. Entalpija pare na ulazu u izmjenjivač je  $3040,4 \text{ kJ/kg}$ , kondenzata na izlazu iz izmjenjivača  $632,2 \text{ kJ/kg}$ , rashladne vode na ulazu  $83,96 \text{ kJ/kg}$  i rashladne vode na izlazu  $167,57 \text{ kJ/kg}$ .

$$(\dot{m} = 145 \text{ t/h})$$

- 1.2.5. Voda protječe kroz cijev koja mijenja promjer otvora od  $20$  na  $40 \text{ mm}$ . Voda na ulaznom otvoru od  $20 \text{ mm}$  ima brzinu od  $40 \text{ m/s}$ . Koliko iznosi maseni protok i brzina vode na izlaznom otvoru? Gustoću vode pretpostavite konstantnom  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

$$(\dot{m} = 12,57 \text{ kg/s, } c_2 = 10 \text{ m/s})$$

- 1.2.6. Za termoelektranu poznati su tlakovi i specifične entalpije u karakterističnim točkama postrojenja: izlaz iz kotla  $2,76 \text{ MPa}$  i  $3039,85 \text{ kJ/kg}$ ; ulaz turbine  $2,62 \text{ MPa}$  i  $2989,37 \text{ kJ/kg}$ ; ulaz kondenzatora  $13,8 \text{ kPa}$  i  $2430,00 \text{ kJ/kg}$ , ulaz pumpe  $13,1 \text{ kPa}$  i  $192,83 \text{ kJ/kg}$ . Specifični rad pumpanja iznosi  $6978 \text{ J/kg}$ . Izračunati slijedeće vrijednosti po jedinici mase: a) toplinu dovedenu u kotlu, b) rad turbine, c) toplinu odvedenu u kondenzatoru, d) gubitak topline između kotla i turbine.

$$(q_k = 2840 \text{ kJ/kg, } q_{12} = -50,48 \text{ kJ/kg, } w_t = 559,4 \text{ kJ/kg, } q_{34} = -2237 \text{ kJ/kg})$$

- 1.2.7. Izlazni otvor pumpe promjera 5 cm nalazi se 1,5 m iznad ulaznog otvora. Voda temperature  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlaka 96,5 kPa ulazi u pumpu kroz otvor promjera 7,5 cm i napušta je pod tlakom 0,31 MPa. Kolika je potrebna snaga motora pumpe za protok od  $0,0126\text{ m}^3/\text{s}$  zanemarujući gubitke. Gustoću vode pretpostaviti konstantnom  $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$ .

$$(P = 3,1\text{ kW})$$

- 1.2.8. Elektromotor izlazne snage 400 kW (mehanička snaga na osovini) i stupnja djelovanja  $\eta = 0,96$ , hladi se zrakom, koji ventilator tjera kroz kućište. Koliki je maseni protok zraka potreban ako je ulazna temperatura zraka  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a najviše dozvoljene izlazna temperatura  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Stupanj djelovanja elektromotora definiran je kao omjer izlazne snage i snage dobavljene električnom strujom.) Specifična je toplota zraka  $c_p = 1005\text{ J/kgK}$ .

$$(\dot{m} = 2388,54\text{ kg/h})$$

- 1.2.9. Kompresor snage 1492 W pogoni hladnjak smješten u izoliranoj sobi. Tijekom 30 minuta hladnjak ohladi unutrašnjost za 5,3 MJ i preda u sobu 8,0 MJ topline. Koliko poraste unutrašnja energija sobe? Napomena: promatrati sobu kao sistem kome pripada i hladnjak.

$$(\Delta U = 2,7\text{ MJ})$$

- 1.2.10. Izoliranoj posudi sa jednom litrom vode na  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  dodano je šesnaest kockica leda temperature  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  i volumena 10 ml svaka kockica. Koliko iznosi stacionarna temperatura? Poznato je još: latentna toplota leda iznosi  $320\text{ kJ/kg}$ ,  $v_{\text{leda}} = 1,09 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $c_{p\text{ leda}} = 2,1\text{ kJ/kgK}$  i  $c_{p\text{ vode}} = 4,18\text{ kJ/kgK}$ .

$$(T_2 = 7\text{ }^{\circ}\text{C})$$

- 1.2.11. Kruti izolirani spremnik sadrži  $2\text{ m}^3$  helija na  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  i 200 kPa. Koliko topline je potrebno dovesti heliju da bi se tlak povećao na 800 kPa? Poznata je još specifična toplota helijuma pri konstantnom volumenu  $c_{v\text{He}} = 3116\text{ J/kgK}$  i plinska konstanta  $R = 2077\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ .

$$(Q = 1800\text{ kJ})$$

- 1.2.12. Dušik ekspandira na  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  i 600 kPa na način koji se može aproksimirati politropskim procesom sa  $n = 1,2$ . Koliko iznosi obavljeni rad i prenesena toplota ukoliko je konačni tlak 100 kPa? Poznata je još:  $R = 297\text{ J/kgK}$  i  $c_{v\text{N}} = 745\text{ J/kgK}$ .

$$(w = 143\text{ kJ/kg}, q = 71,3\text{ kJ/kg})$$

- 1.2.13. Maseni protok od  $0,02\text{ kg/s}$  vode ulazi u radiator kroz otvor promjera 4 cm. Unutar radijatora visine 60 cm voda putuje kroz 800 pravokutnih otvora promjera  $10 \times 1\text{ mm}$ . Koliko dugo treba vodi da prođe kroz radiator?

$$(\Delta t = 4\text{ min})$$

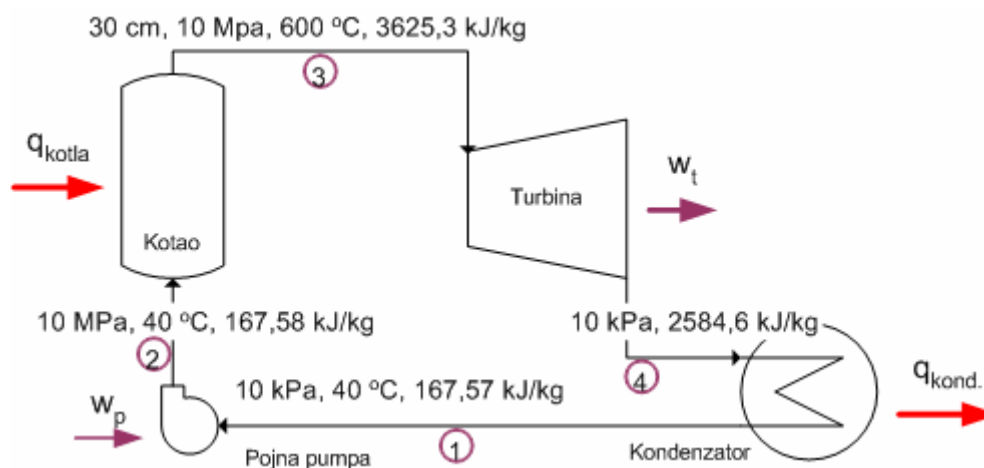
- 1.2.14. Pumpanjem se vodi povećava tlak za 4 MPa. Protok vode od  $200\text{ kg/s}$  ulazi kroz otvor promjera 20 cm i izlazi kroz otvor promjera 12 cm. Koliki minimalni rad je potreban za pogon pumpe?

$$(P_{\min} = -827,2\text{ kW})$$

- 1.2.15. Zrak ulazi u kompresor pri atmosferskim uvjetima (293 K i 80 kPa) i izlazi na 473 K i 800 kPa. Kolika se toplinska snaga izmjenjuje u procesu ukoliko je uložena mehanička snaga 400 kW. Zrak izlazi brzinom od 20 m/s kroz izlaz promjera 10 cm. Poznata je još plinska konstanta  $R = 287 \text{ J/kgK}$  i specifična toplina zraka pri konstantnom tlaku  $c_p = 1 \text{ kJ/kgK}$ .

$$(\dot{Q} = -233,4 \text{ kJ/s, toplina se odvodi iz kompresora})$$

- 1.2.16. Na slici ispod prikazan je pojednostavljen proces u termoelektrani s protokom pare/vode od 20 kg/s. Koliko iznosi, uz zanemarene gubitke: a) toplinska snaga kotla; b) mehanička snaga dobivena na turbini; c) toplinska snaga kondenzatora; d) snaga pumpanja; i e) brzina pare na izlazu iz kotla. Poznat je još specifični volumen pare na izlazu iz kotla  $v = 0,03837 \text{ m}^3/\text{kg}$  i gustoća vode u kondenzatoru  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .



$$(\dot{Q}_{kotla} = 69,15 \text{ MW}, P_t = 20,81 \text{ MW}, \dot{Q}_{kond.} = -48,34 \text{ MW}, P_p = 0,2 \text{ MW}, c_3 = 10,9 \text{ m/s})$$

**Postupak rješavanja za odabrane zadatke**

1.1.1

$$W = -100 \text{ kJ} = -10^5 \text{ J}$$

$$\Delta E = 55000 \text{ J}$$

---

$$Q = ?$$

$$\Delta E = Q - W$$

$$Q = \Delta E + W = 55000 + (-10^5) = -45000 \text{ J} = -45 \text{ kJ}$$

---

1.1.2

$$m_a = 850 \text{ kg}$$

$$c_1 = 80 \text{ km/h} = 80 \times \frac{1000 \frac{m}{km}}{3600 \frac{s}{h}} = 22.22 \text{ m/s}$$

$$q_{lv} = 2,34 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

---

---

$$Q_{k0}, m_{v0}, Q_{k1/2}, m_{v1/2}$$

$$Q_k = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{m_2}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2)$$

$$E_{ki} = \frac{m_a \times c_i^2}{2}$$

$$m_v = \frac{|Q_k|}{q_{lv}}$$

$$c_{20} = 0 \text{ m/s}$$

$$E_{k2} = 0 \rightarrow Q_{k0} = -E_{k1} = \frac{850 \times 22,22^2}{2} = -210 \text{ kJ}$$

$$m_{v0} = \frac{|-209900|}{2,34 \times 10^6} = 0,0897 \text{ kg}$$

$$c_{2 \frac{1}{2}} = 0,5 \cdot c_1 = 11,11 \text{ m/s}$$

$$Q_{k1/2} = E_{k2 \frac{1}{2}} - E_{k1} = -\frac{3}{8} \times m_a \cdot c_1^2 = -157 \text{ kJ}$$

$$m_{v0} = \frac{|-157000|}{2,34 \times 10^6} = 0,067 \text{ kg}$$

---

$$1.1.3 \quad A = 250 \text{ mm}^2 = 250 \text{ mm}^2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{mm}^2} = 0,0025 \text{ m}^2$$

$$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3 \quad \alpha = 14 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \quad c_p = 460 \text{ J/kgK}$$

$$l_u = 25 \text{ m} \quad m_t = 5000 \text{ kg}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C} \quad t_2 = 5^\circ\text{C}$$

---

$$Q = ?, W = ?$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$\Delta U = m_u \cdot c_p \cdot \Delta T = A \cdot l_u \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = -336 \cdot 375 \text{ J}$$

$$m_u = A \cdot l_u \cdot \rho = 48,75 \text{ kg}$$

$$W = \Delta E_p = m_t \cdot g \cdot \Delta z = m_t \cdot g \cdot l_u \cdot \alpha \cdot \Delta T = m_t \cdot g \cdot l_u \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) = 257,4 \text{ J}$$

$$Q = -336118 \text{ J}$$

---

$$1.1.4 \quad a = 10 \text{ m}; \quad b = 25 \text{ m}; \quad h = 3 \text{ m}$$

$$V_o = 0,071 \text{ m}^3; \quad n = 20 \quad q_o = 395 \text{ kJ/h}$$

$$T_1 = 21 + 273,15 \text{ K} = 294,15 \text{ K} \quad p_1 = 1,0135 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$t = 10 \text{ min} \quad c_v = 718 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \quad R = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

---

$$\Delta T = ?$$

Pretpostavka  $V = \text{konst.}$

$$\Delta U = m_z \cdot c_v \cdot \Delta T \quad \rightarrow \quad \Delta T = \frac{\Delta U}{m_z \cdot c_v}$$

$$W = 0 \rightarrow Q = \Delta U$$

$$Q = q_o \cdot n \cdot t$$

$$\Delta T = \frac{q_o \cdot n \cdot t}{m_z \cdot c_v}$$

$$m_z = \frac{p_1 \cdot V_z}{R \cdot T_1} \quad V_z = V_p - V_{no} = a \cdot b \cdot h - n \cdot V_o$$

$$\Delta T = \frac{q_o \cdot n \cdot t \cdot R \cdot T_1}{p_1 \cdot (a \cdot b \cdot h - n \cdot V_o) \cdot c_v} = 2,04 \text{ K}$$

$$\underline{\text{Uz pretpostavku } p = \text{konst.} \rightarrow \Delta T = 1,45 \text{ K.}}$$



$$1.1.13 \quad C_D = 0,2; \quad F_D = \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D / 2; \quad \rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 2,3 \text{ m}^2 \quad c = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$$

$$P = ? \quad (1 \text{ konjska snaga} = 746 \text{ W})$$

$$P = F_D \cdot V = \rho \cdot c^3 \cdot A \cdot C_D / 2 = 4425 \text{ W} = 4425 / 746 = 5,93 \text{ ks}$$

$$1.1.14 \quad m_u = 100 \text{ kg} \quad \Delta z = 3 \text{ m}$$

$$\Delta V = 0,002 \text{ m}^3 \quad \Delta p = 100 \text{ kPa} \quad p_o = 100 \text{ kPa} - \text{pretpostavljen tlak okolice}$$

$$W_{\text{net}} = ?$$

Neto rad predstavlja razliku energije predane plinu od pada utega i rada koji je plin obavio prema okolici:

$$W_{\text{net}} = W_u + W_o$$

$$W_u = -\Delta E_p = -m \cdot g \cdot \Delta z = -2940 \text{ J}$$

$$W_o = p \cdot \Delta V = (\Delta p + p_o) \cdot \Delta V = 400 \text{ J} \quad (p - \text{tlak plina u spremniku})$$

$$W_{\text{net}} = -2540 \text{ J}$$

$$1.1.16 \quad m_t = 500 \text{ kg}; \quad \Delta z = 50 \text{ cm}; \quad \Delta t = 30 \text{ s}$$

$$T = 30 \text{ Nm} \quad n = 100 \text{ min}^{-1} \quad d = 15 \text{ cm}$$

$$W_{\text{net}} = ?$$

Neto rad predstavlja razliku energije predane plinu miješanjem i rada koji je plin obavio prema okolici:

$$W_{\text{net}} = W_m + W_{ot}$$

$$W_u = -T \cdot \omega \cdot \Delta t = -T \cdot n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \Delta t = -9425 \text{ J} \quad (n - \text{okretaji u sekundi!})$$

$$W_{ot} = p \cdot \Delta V = p \cdot A \cdot \Delta z$$

( $p$  – tlak plina u spremniku;  $A$  – površina poklopca)

-tlak u cilindru nalazimo preko izjednačavanja sila na poklopac u početnom stanju:

$$p \cdot A = p_o \cdot A + m_t \cdot g$$

$$p = p_o + m_t \cdot g / A \quad A = d^2 \cdot \pi / 4$$

$$p = 377471 \text{ Pa}$$

( $p_o$  – tlak okolice pretpostavljen 100 kPa;  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ )

$$W_{ot} = 3335 \text{ J}$$

$$W_{\text{net}} = -6090 \text{ J}$$

$$\begin{array}{llll}
 1.2.1 & p_1=103 \text{ kPa} & v_1=0,124 \text{ m}^3/\text{kg} & \Delta u=93,25 \text{ kJ/kg} \\
 & p_2=680 \text{ kPa} & v_2=0,0312 \text{ m}^3/\text{kg} & w_{t12}= -164 \text{ kJ/kg} \quad \Delta e_p \approx \Delta e_k \approx 0
 \end{array}$$


---

$$q_{12}=?$$

Za rješavanje ovog problema primjenjujemo oblik prvog glavnog stavka termodinamike (1. GST) za otvoreni sustav:

$$Q_{12} + U_1 + p_1 V_1 + m c_1^2/2 + m g z_1 = W_{t12} + U_2 + p_2 V_2 + m c_2^2/2 + m g z_2$$

odnosno po jedinici mase:

$$q_{12} + u_1 + p_1 \cdot v_1 + c_1^2/2 + g \cdot z_1 = w_{t12} + u_2 + p_2 \cdot v_2 + c_2^2/2 + g \cdot z_2$$

gdje je:

$q_{12}$  izmijenjena specifična toplinska energija

$u$  specifična unutrašnja energija

$p v$  rad protjecanja (strujanja) djelatne tvari

( $p_1 v_1$  -utiskivanja;  $p_2 v_2$  -istiskivanje)

$w_{t12}$  tehnički rad (zbog otvorenosti sustava mehanički rad zove se tehnički; obično na osovini stroja)

Zanemarivanjem promjene potencijalne i kinetičke energije izmijenjena toplina iznosi:

$$q_{12} = u_2 - u_1 + p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1 + w_{t12} = 93,25 + 21,22 - 12,77 + (-164)$$

$$\underline{q_{12} = -62,3 \text{ kJ/kg}}$$

$$\begin{array}{llll}
 1.2.2 & P = 50 \text{ kW} & \dot{m}_z = 215 \text{ kg/h} & T_1 = 288,15 \text{ K} \quad \dot{Q}_v = -42 \text{ kJ/s} \\
 & \Delta e_p \approx \Delta e_k \approx 0 & \dot{m}_g = 15 \text{ kg/h} & T_2 = 1173,15 \text{ K} \quad \dot{Q}_{ok} = -15 \text{ kJ/s}
 \end{array}$$


---

$$\Delta h = ?$$

Uvođenjem veličine stanja entalpije ( $h=u+p \cdot v$ ) 1. GST glasi:

$$q_{12} + h_1 + c_1^2/2 + g \cdot z_1 = w_{t12} + h_2 + c_2^2/2 + g \cdot z_2$$

Zanemarivanjem promjena potencijalne i kinetičke energije te množenjem s masenim protokom  $\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \text{konst.}$  1. GST poprima oblik:

$$\Delta h \cdot \dot{m} = \dot{Q}_{12} - P_{12}$$

Sada u izrazu imamo toplinsku i mehaničku snagu.

$$\dot{Q}_{12} = \dot{Q}_v + \dot{Q}_{ok} \quad \dot{m} = \dot{m}_z + \dot{m}_g$$

$$\Delta h = \frac{\dot{Q}_{12} - P_{12}}{\dot{m}} = \frac{-57 - 50}{0,0639}$$

$$\underline{\Delta h = -1674,6 \text{ kJ/kg}}$$

$$1.2.3 \quad \begin{array}{lll} P_{t12} = 500 \text{ kW} & \dot{m} = 5 \text{ t/h} & c_1 = 60 \text{ m/s} \\ \Delta z \approx 0 & \Delta h = -490 \text{ kJ/kg} & c_2 = 360 \text{ m/s} \end{array}$$

$$\dot{Q}_{12} = ?$$

Zanemarimo li promjenu potencijalne energije 1. GST glasi:

$$\dot{Q}_{12} = P_{t12} + \dot{m} \left( \Delta h + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right)$$

Toplinska i mehanička snaga povezane su s topline i mehaničkim radom preko masenog protoka i vremena:

$$\dot{Q}_{12} = \frac{Q_{12}}{t} = \frac{q_{12} \cdot m}{t} = q_{12} \cdot \dot{m}; \quad P_{t12} = w_{t12} \cdot \dot{m}$$

Izmijenjena toplota u zadanom vremenu dobije se množenjem toplinske snage i vremena:

$$\Delta Q_{12} = \left[ P_{t12} + \dot{m} \left( \Delta h + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right) \right] \cdot \Delta t$$

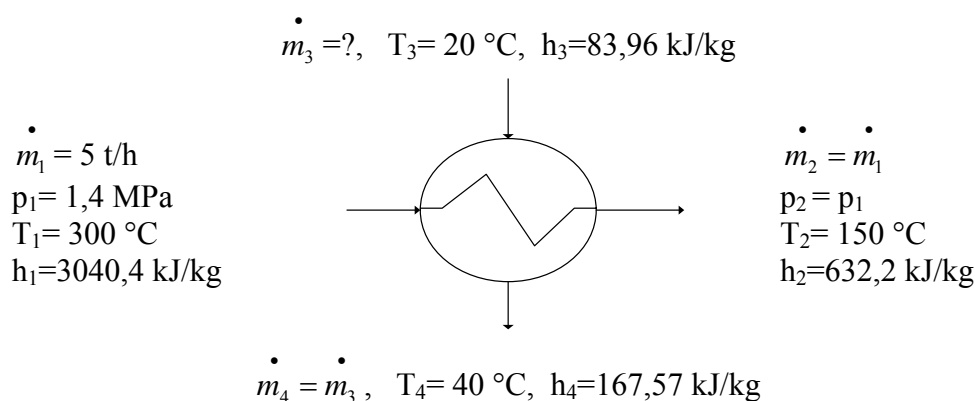
Za dodatnu vježbu ispitati relativni udio promjene kinetičke energije.

$$\underline{\Delta Q_{12} = -335 \cdot 10^6 \text{ J}}$$

1.2.4 Sve zadane veličine prikazuje slika ispod.

$$Q_{KV} \approx 0$$

$$\dot{m}_3 = ?$$



Uz zanemarenje promjena potencijalne i kinetičke energije 1. GST za kontrolni volumen (KV, otvoreni sustav) glasi:

$$\dot{Q}_{KV} + \sum_u \dot{m}_u \cdot h_u = P_{12} + \sum_i \dot{m}_i \cdot h_i \quad \text{u – ulazne veličine, i – izlazne veličine}$$

Za izmjenjivač topline imamo da je  $P_{12} = 0$  i u ovome slučaju  $Q_{KV} \approx 0$ :

$$\sum_1^u \dot{m}_u \cdot h_u = \sum_1^i \dot{m}_i \cdot h_i \quad \rightarrow \quad \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_4 \cdot h_4$$

Promatramo stacionarno strujanje:  $\dot{m}_4 = \dot{m}_3$  i  $\dot{m}_2 = \dot{m}_1$

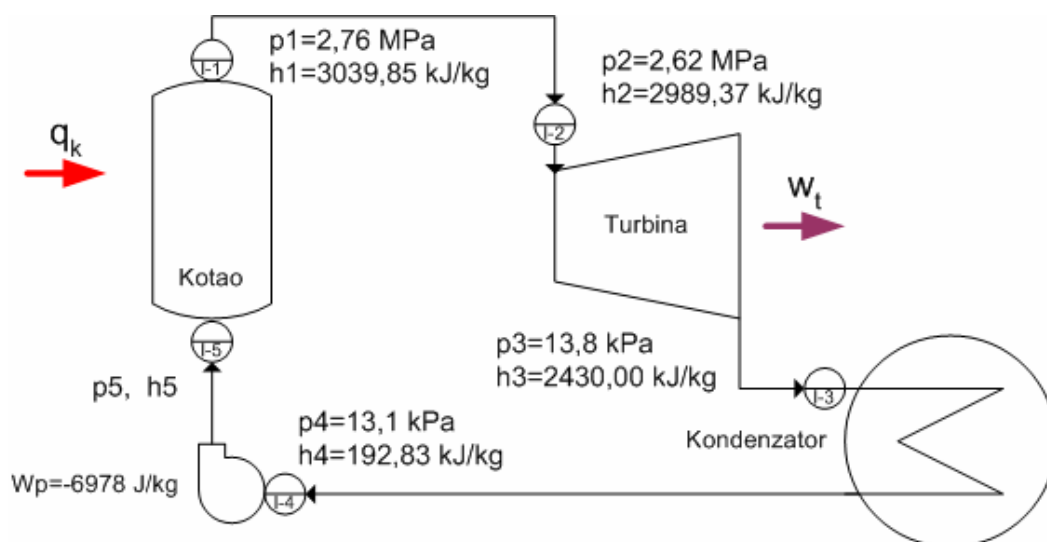
$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 \cdot \frac{h_1 - h_2}{h_4 - h_3}$$

$$\dot{m}_3 = 145 \text{ t/h}$$

### 1.2.6 Sve zadane veličine prikazuje slika ispod.

$$Q_t \approx 0, Q_p \approx 0, w_K \approx 0$$

$$q_k = ?, q_{12} = ?, w_t = ?, q_{34} = ?$$



Premda, termoelektrana u cjelini predstavlja zatvoreni sustav, kroz pojedine dijelove struji radni medij (para i voda) te za njih vrijedi 1. GST za otvorene sustave. Uz zanemarene veličine malog utjecaja (promjene kinetičke i potencijalne energije, toplinske gubitke u turbini i pumpi, te rad u kotlu) sve tražene veličine, za ovaj primjer, nalazimo preko promjene entalpije između izlaza i ulaza u kontrolni volumen:

Toplina dovedena kotlu	Gubitak topline u parovodu:	Rad turbine	Toplina odvedena u kondenzatoru
$q_k = q_{15} = h_1 - h_5^* = h_1 - (h_4 - w_p)$	$q_{21} = h_2 - h_1$	$w_t = w_{32} = h_3 - h_2$	$q_{43} = h_4 - h_3$
2840,04 kJ/kg	-50,48 kJ/kg	559,37 kJ/kg	-2237,17 kJ/kg

\* Entalpiju na ulazu u kotao određuje entalpija vode na ulazu u pumpu i rad pumpanja  $h_5 = h_4 - w_p = 199,81 \text{ kJ/kg}$

$$1.2.12 \quad \begin{array}{lll} T_1 = 373 \text{ K} & p_1 = 600 \text{ kPa} & R = 297 \text{ J/kgK} \\ n = 1,2 & p_2 = 100 \text{ kPa} & c_{vN} = 745 \text{ J/kgK} \end{array}$$

$$w = ?, \quad q = ?$$

Za politropski proces vrijedi:  $p \cdot V^n = \text{konst.} \rightarrow p = p_1 \cdot V_1^n / V^n$

Prema tome rad se može izraziti kao:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV = P_1 \cdot V_1^n \cdot \int_{V_1}^{V_2} V^{-n} \cdot dV = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1 - n}$$

Posebne vrijednosti za  $n$  daju rezultat za poznate procese:

Proces	Izotermni	Izohorni	Izobarni	Adijabatski
$n =$	1	$\infty$	0	$\kappa$

Masa dušika nije poznata pa se rezultati računaju u specifičnim iznosima.

Za računanje specifičnog izvršenog rada potrebno je pronaći specifične volumene:

$$v = \frac{R \cdot T}{p}$$

$$v_1 = 0,1846 \text{ m}^3/\text{kg}$$

za  $v_2$  nedostaje temperatura  $T_2$ , koja za politropski proces iznosi:

$$T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \rightarrow T_2 = 276,7 \text{ K}$$

$$v_2 = 0,822 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$w = 143 \text{ kJ/kg}$$

Za izmijenjenu toplinu prema 1. GST vrijedi:  $q - w = \Delta u = c_v \cdot \Delta T$

$$q = w + c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\underline{q = 71,3 \text{ kJ/kg}}$$