

1. AUDITORNE VJEŽBE

PRVI GLAVNI STAVAK TERMODINAMIKE ZA ZATVORENI SUSTAV

- 1.1.1. Nad zatvorenim sustavom za vrijeme procesa izvršen je rad od 100 kJ, a ukupna energija sustava porasla je za 55 kJ. Izračunajte koja količina topline se dovede ili odvede iz sustava.

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

- 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 izmjeni potpunim zaustavljanjem vozila, a koliko ako se brzina smanji na pola? Koliko bi se moglo zasićene vode tom toplinom ispariti, ako za kilogram vode treba 2340 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 mm^2 i duljine 25 m) dizalice zavješena je teret mase 5000 kg. Preko noći uže se ohladi s temperature 20°C na temperaturu 5°C . Koliko topline je odvedeno od užeta i koliki rad je izvršen dizanjem tereta uslijed stezanja? Poznato je još: koeficijent termičkog širenja čelika $\alpha = 0,00014 \text{ K}^{-1}$, 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 $10 \times 25 \text{ m}$ i visine 3 m. Izračunajte porast temperature zraka za 10 minuta ukoliko svaka osoba u prosjeku zauzima $0,071 \text{ m}^3$ i u okolinu emitira 395 kJ/h topline. Poznato je još: specifična toplina zraka pri konstantnom volumenu $c_v = 718 \text{ J/kgK}$, opća plinska konstanta $R = 287 \text{ J/kgK}$, početni tlak $1,0135 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ i temperatura 21°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 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°C tlaka 5 MPa , a u dijelu B je $0,983 \text{ kg}$ vode temperature 200°C i tlaka $0,1 \text{ MPa}$. Uklanjanjem pregrade voda se izmješa. Izračunajte izmijenjenu toplinu za vrijeme procesa miješanja ako je konačna temperatura 200°C . Poznate su još unutrašnje 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 s klipom 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 energije za 8135 J . Izračunajte količinu topline koja je dovedena ili odvedena plinu za vrijeme kompresije.

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

- 1.1.8. Cilindar s klipom sadrži $0,1 \text{ m}^3$ plina Freon-12 pri tlaku 500 kPa i temperaturi 70°C . Klip je zakločen u početnom položaju sve dok tlak ne dostigne vrijednost 600 kPa. Održavanjem tlaka na toj vrijednosti klip se oslobađa, a plinu izmjeni toliko topline da postigne konačnu temperaturu od 80°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 $294,3 \text{ K}$) s klipom u ravnoteži. Dovođenjem topline u iznosu 105500 J volumen plina poveća se pomicanjem klipa sa $0,01416 \text{ m}^3$ na $0,0566 \text{ m}^3$. Izračunajte promjenu unutrašnje energije i konačnu temperaturu plina.

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

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

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

- 1.1.12. Akceleracija gravitacije je zadana kao $g = 9,81 - 3,32 \cdot 10^{-6} \cdot h \text{ [m/s}^2\text{]}$, 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 gravitaciona 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 snaga je potrebna da automobil pri brzini od 90 km/h svlada otpor vjetra? Otpor vjetra određen je kao $F_D = \rho \cdot c^2 \cdot A \cdot C_D / 2$, a 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 sa zrakom nalazi se pomični poklopac težine 500 kg. Moment od 30 Nm miješa zrak brzinom vrtnje od 100 okretaja u minuti. Koliki rad izvrši zrak nakon 30 sekundi miješanja ukoliko poklopac podigne 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 rad je para izvršila? Poznati su specifični volumeni: zasićene pare 0,4625 m³/kg na početku i pregrijane pare 0,7726 m³/kg na kraju procesa.

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

- 1.1.18. Zrak u spremniku (200 kPa i 0,2 m³) komprimiran je tako da smanji volumen deset puta. Koliko iznosi izvršeni rad i kako izgleda proces u p-v dijagramu: a) pri konstantnom tlaku i b) pri konstantnoj temperaturi od 50 °C?

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

- 1.1.19. Zrak u kružnom cilindru, promjera 30 cm, zagrijava se sve dok pomični cilindar 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 izvrši 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 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 m³, temperature 323 K i tlaka 400 kPa. Zraku u cilindru je 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 je poznat specifični toplinski kapacitet kod konstantnog tlaka $c_p = 1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ i plinska konstanta $R = 287 \text{ J/kg}$.

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

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 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 kW. Maseni protok benzina pri tome je 15 kg/h, a zraka 215 kg/h. Temperatura smjese goriva i zraka na ulazu u stroj je 15°C , temperatura plinova izgaranja na izlazu iz stroja je 900°C . Motor je hlađen vodom i prijelaz topline iznosi 42 kJ/s . Odredite promjenu specifične entalpije smjese zraka i goriva za vrijeme strujanja i izgaranja u motoru, ako prijelaz topline na okolinu iznosi 15 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 t/h, a snaga turbine na osovini 500 kW. Odredite iznos izmijenjene topline u jednom satu ako su ulaz i izlaz turbine na istoj visini. Promjena specifične entalpije pare iznosi -490 kJ/kg , brzina na ulazu 60 m/s , a na izlazu 360 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°C , gdje se kondenzira na izlazu iz izmjenjivača. Kondenzirana para napušta izmjenjivač topline kao tekućina tlaka $1,4 \text{ MPa}$ i temperature 150°C s prosječnim masenim protokom od 5000 kg/h . Para se kondenzira uz pomoć vode koja prolazi kroz cijevi izmjenjivača topline. Voda za hlađenje ulazi u izmjenjivač topline temperature 20°C i prolaskom se zagrije na 40°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 mm. Voda na ulaznom otvoru od 20 mm ima brzinu od 40 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 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 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 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 heliuma 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?

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

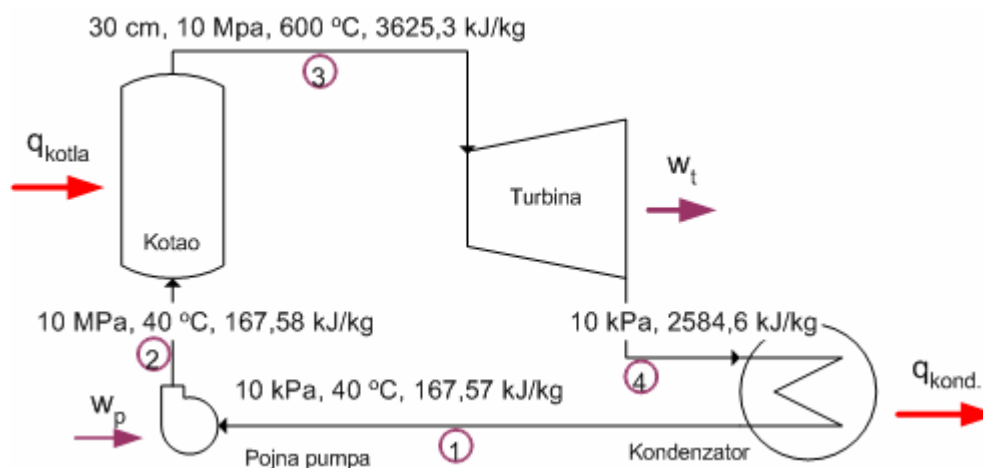
- 1.2.14. Pumpanjem se vodi povećava tlak za 4 MPa. Protok vode od 200 kg/s ulazi kroz otvor promjera 20 cm i izlazi kroz otvor promjera 12 cm. Koliki minimalni rad je potreban za pogon pumpe?

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

- 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 $V = \text{konst.}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 toplotom 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:

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

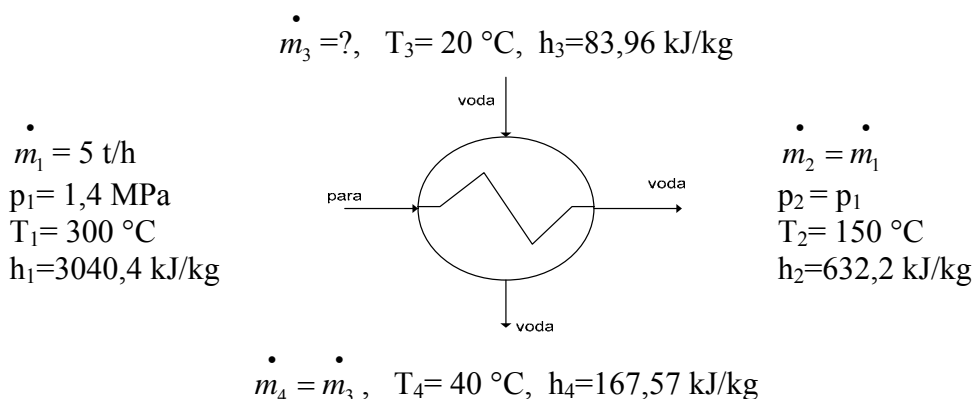
Za dodatnu vježbu ispitati relativni udio promjene kinetičke energije.

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

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:

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

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 $\dot{m}_2 = \dot{m}_1$

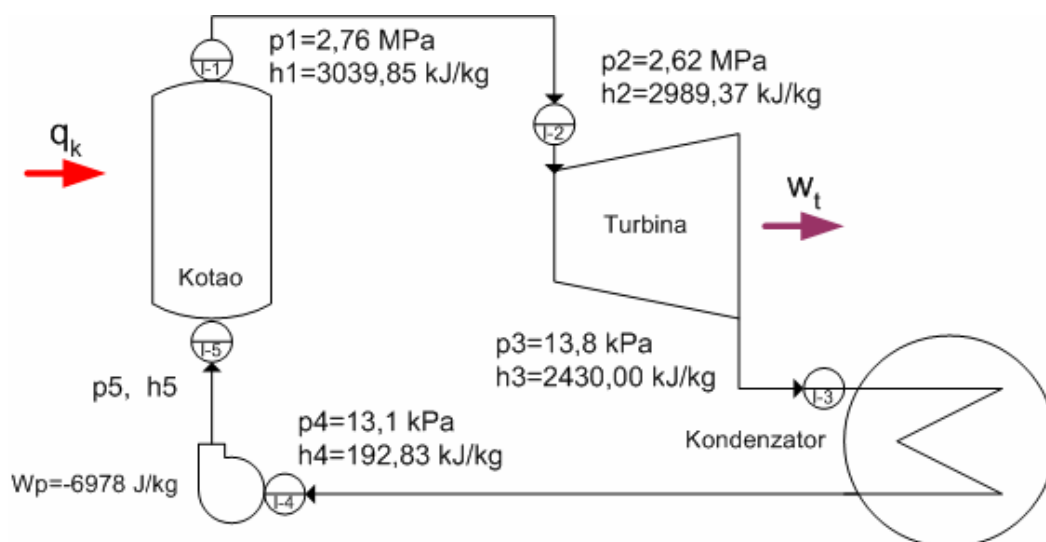
$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 \cdot \frac{h_1 - h_2}{h_4 - h_3}$$

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

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 $h_5 = h_4 - w_p = 199,81 \text{ kJ/kg}$

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

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

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	∞	0	κ

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: $q - w = \Delta u = c_v \cdot \Delta T$

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

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