

Prvi glavni stavak termodinamike za zatvorene termodinamičke sustave
Prvi glavni stavak termodinamike za otvorene termodinamičke sustave
Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama
Idealni plin i procesi s idealnim plinom

1. Nad zatvorenim nepomičnim termodinamičkim sustavom za vrijeme procesa obavljen je 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?
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 (vrele) vode tom toplinom ispariti, ako za isparivanje kilograma vode treba 2260 kJ topline?
3. Na čeličnom užetu (presjeka 250 mm^2 i duljine 25 m) dizalice obješen je teret mase 5000 kg . Preko noći uže se ohladi s temperature $20 \text{ }^\circ\text{C}$ na temperaturu $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Kolika je promjena unutrašnje kaloričke energije užeta i koliki je rad obavljen dizanjem tereta uslijed stezanja užeta? Zanimaruje se rad elastične sile užeta. Poznati su: koeficijent termičkog širenja čelika $0,000014 \text{ K}^{-1}$, specifični toplinski kapacitet čelika $0,460 \text{ kJ/kgK}$ i gustoća čelika 7800 kg/m^3 .
4. Skupina od 20 osoba boravi u toplinski izoliranoj prostoriji ploštine $10 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ i visine 3 m . Izračunajte porast temperature zraka za 10 minuta i tlak zraka u tom trenutku ukoliko svaka osoba u prosjeku zauzima $0,071 \text{ m}^3$ i u okolicu zrači toplinskom snagom 395 kJ/h . Poznati su još: specifična toplinski kapacitet 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 $21 \text{ }^\circ\text{C}$.
5. Cilindar sa stapom upotrebljava se za smanjivanje volumena 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 procesa došlo je do smanjenja unutrašnje kaloričke energije za 8135 J . Izračunajte količinu topline koja je dovedena ili odvedena plinu za vrijeme kompresije.
6. Cilindar sa stapom sadrži $0,1 \text{ m}^3$ plina Freon-12 pri tlaku 500 kPa i temperaturi $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Stap je zakočen 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 temperatura od $80 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 $237,027 \text{ kJ/kg}$.
7. Promotrimo cilindar ispunjen idealnim plinom (tlaka 689476 Pa i temperature $294,3 \text{ K}$) sa stapom u ravnoteži tj. pri konstantnom tlaku. 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.
8. Zrak volumena $0,3 \text{ m}^3$ hladi se kod konstantnog tlaka $551,58 \text{ kPa}$. Početna temperatura zraka je $82 \text{ }^\circ\text{C}$, a konačna temperatura nakon hlađenja $38 \text{ }^\circ\text{C}$. Izračunajte: utrošeni rad za hlađenje plina, promjenu unutrašnje kaloričke energije i odvedenu toplinu. Poznati su još sljedeći podaci: $c_p = 1004,8 \text{ J/kgK}$, $c_v = 717,8 \text{ J/kgK}$ i $R = 287 \text{ J/kgK}$.
9. Elektromotor miješa medij u adijabatskom 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 . Tlak

oko cilindra iznosi 95 kPa . Koliki rad obavi sustav? Koliki je rad potiskivanja okolice? Koliko iznosi promjena unutrašnje kaloričke energije?

10. 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?
11. Benzinski motor razvija snagu od 50 kW . Maseni je protok benzina pri tome 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 toplinske snage iznosi 42 kJ/s . Odredite promjenu specifične entalpije smjese zraka i goriva za vrijeme strujanja i izgaranja u motoru, ako prijelaz toplinske snage na okolicu iznosi 15 kJ/s te ako se promjena kinetičke i potencijalne energije zanemaruje.
12. 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 toplota dovodi u turbinu ili odvodi iz turbine?
13. Para tlaka $1,4 \text{ MPa}$ i temperature 300°C ulazi u izmjenjivač topline gdje se kondenzira. 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 struji 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 $167,57 \text{ kJ/kg}$.
14. 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 $192,83 \text{ kJ/kg}$. Jedinичni rad pumpanja pojne vode iznosi 6978 J/kg . Izračunajte sljedeće vrijednosti po jedinici mase: a) toplotu dovedenu u kotlu, b) rad turbine, c) toplotu odvedenu u kondenzatoru, d) gubitak topline između kotla i turbine.
15. Izlazni otvor crpke promjera 5 cm nalazi se $1,5 \text{ m}$ iznad ulaznog otvora. Voda temperature 10°C i tlaka $96,5 \text{ kPa}$ ulazi u crpku kroz otvor promjera $7,5 \text{ cm}$ i napušta je pod tlakom $0,31 \text{ MPa}$. Kolika je potrebna snaga motora crpke za protok od $0,0126 \text{ m}^3/\text{s}$ zanemarujući gubitke. Gustoću vode pretpostavite konstantnom $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.
16. 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°C , a najviše dozvoljene izlazna temperatura 50°C ? Stupanj djelovanja elektromotora definiran je kao omjer izlazne (mehaničke) snage i snage utrošene električnom strujom. Specifični je toplinski kapacitet zraka $c_p = 1005 \text{ J/kgK}$.

Prvi glavni stavak termodinamike za zatvorene termodinamičke sustave
Prvi glavni stavak termodinamike za otvorene termodinamičke sustave
Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama
Idealni plin i procesi s idealnim plinom

1. Nad zatvorenim nepomičnim termodinamičkim sustavom za vrijeme procesa obavljen je 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?

⚡ ZAPAMTIMO

Pri rješavanju problemskih zadataka preporuča se na početku zabilježiti sve zadane ulazne veličine (oznaka, predznak, iznos i mjerna jedinica) i zapisati što treba izračunati i zaključiti. Provjerite pripadaju li mjerene jedinice sustavu međunarodnih jedinica *SI*, i ukoliko ne pripadaju pretvorite ih.

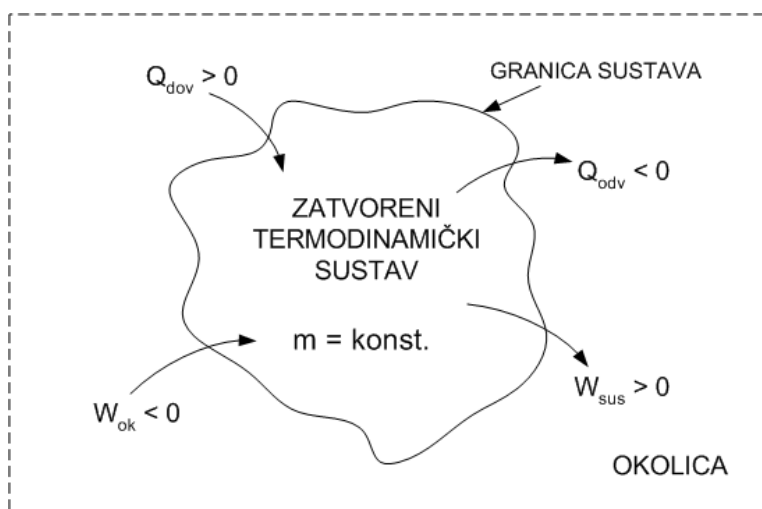
$$W = -100 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = 55 \text{ kJ}$$

$$Q = ?$$

$$Q = \Delta U + W = 55 - 100 = -45 \text{ kJ}$$

Toplina se odvodi iz sustava!



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 (vrele) vode tom toplinom ispariti, ako za isparivanje kilograma vode treba 2260 kJ topline?

⚡ ZAPAMTIMO

Dogovorno su u tehničkoj termodinamici, pa i energetici, inženjeri uveli sustav označavanja koji se ponešto razlikuje od sustava koji se rabi u fizici. Također, često se, iz praktičnih razloga, u izračunima radije računa s fizikalnim veličinama izraženim po jedinici mase (tzv. specifične odnosno jedinične veličine). Obilježavamo ih malim pisanim slovima. Dodatno, fizikalne veličine izražene u jedinici vremena označavamo točkom iznad oznake. Pogledajmo neke primjere:

Brzinu [m/s] označavamo s c , a ne s v jer je v oznaka specifičnog volumena: $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$ [m^3/kg].

Vertikalnu dimenziju [m] (visina) označavamo sa z , a ne s h jer je h oznaka specifične entalpije: $h = \frac{H}{m}$ [J/kg].

Specifična toplina označava se $q = \frac{Q}{m}$ i izražava se u [J/kg].

Jedinični rad označava se $w = \frac{W}{m}$ i izražava se u [J/kg].

Maseni protok označava se s $\dot{m} = \frac{m}{t}$ i mjeri se u [kg/s].

Toplinska snaga označava se s $\dot{Q} = \frac{Q}{t}$ i mjeri se u [$\text{J/s} = \text{W}$].

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

$$c_1 = 80 \text{ km/h} = 80 \cdot \frac{1000 \text{ m} / \text{km}}{3600 \text{ s} / \text{h}} = 22,22 \text{ m/s}$$

$$q_{Li} = 2260 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{12}, m_v = ?$$

1. glavni stavak termodinamike za zatvoreni sustav:

$$Q_{12} + U_1 + E_{p1} + E_{k1} = W_{12} + U_2 + E_{p2} + E_{k2}$$

$$\Delta E_p = 0; \Delta U = 0; W_{12} = 0 \rightarrow Q_{12} = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$$

$$Q_{12} = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{m_a}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2)$$

$$E_{ki} = \frac{m_a \cdot c_i^2}{2} \rightarrow m_v = \frac{|Q_k|}{q_{Li}}$$

$$\text{a) } c_{2,a} = 0 \text{ m/s} \rightarrow E_{k2,a} = 0 \rightarrow Q_{12,a} = \frac{850 \cdot (-22,22^2)}{2} = -209,9 \text{ kJ}$$

$$m_{v,a} = \frac{|-209,9|}{2260} = 0,093 \text{ kg}$$

$$\text{b) } c_{2,b} = 0,5 \cdot c_1 = 11,11 \text{ m/s} \rightarrow Q_{12,b} = \frac{850 \cdot (11,11^2 - 22,22^2)}{2} = -157,4 \text{ kJ}$$

$$m_{v,b} = \frac{|-157,4|}{2260} = 0,070 \text{ kg}$$

3. Na čeličnom užetu (presjeka 250 mm^2 i duljine 25 m) dizalice obješen je teret mase 5000 kg . Preko noći uže se ohladi s temperature 20°C na temperaturu 5°C . Kolika je promjena unutrašnje kaloričke energije užeta i koliki je rad obavljen dizanjem tereta uslijed stezanja užeta? Zanimaruje se rad elastične sile užeta. Poznati su: koeficijent termičkog širenja čelika $0,000014 \text{ K}^{-1}$, specifični toplinski kapacitet čelika $0,460 \text{ kJ/kgK}$ i gustoća čelika 7800 kg/m^3 .

$$A = 250 \text{ mm}^2 = 250 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$l_0 = 25 \text{ m}$$

$$m_t = 5000 \text{ kg}$$

$$\vartheta_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$\vartheta_2 = 5^\circ \text{C}$$

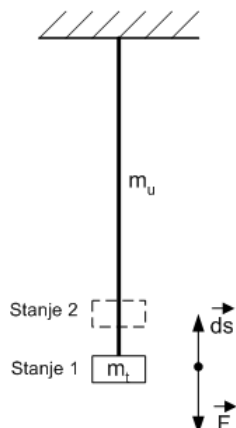
$$\alpha = 14 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$c = 0,460 \text{ kJ/kgK}$$

$$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$$

$$Q, W = ?$$

Termodinamički sustav je uže.



• masa užeta:

$$m_u = \rho \cdot S \cdot l_0 = 7800 \cdot 250 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 48,75 \text{ kg}$$

• promjena temperature:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \equiv \Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = -15 \text{ K}$$

• zakon linearnog rastezanja: $\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \cdot \Delta T$

$$\rightarrow \Delta z = \Delta l = 25 \cdot 14 \cdot 10^{-6} \cdot (-15) = -5,25 \text{ mm}$$

• promjena unutrašnje kaloričke energije užeta:

$$\Delta U = m_u \cdot c \cdot \Delta T = 48,75 \cdot 460 \cdot (-15) = -3,364 \cdot 10^5 \text{ J} < 0$$

$$\begin{aligned} \text{• rad koji izvrši uže podižući teret: } W &= -\int \vec{F} \cdot d\vec{s} = -|\vec{F}| \cdot |d\vec{s}| \cdot \cos \varphi = -m \cdot g \cdot \Delta z \cdot \cos \varphi = \\ &= -5000 \cdot 9,81 \cdot 5,25 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 180^\circ = 257,51 \text{ J} > 0 \end{aligned}$$

4. Skupina od 20 osoba boravi u toplinski izoliranoj prostoriji ploštine $10 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ i visine 3 m . Izračunajte porast temperature zraka za 10 minuta i tlak zraka u tom trenutku ukoliko svaka osoba u prosjeku zauzima $0,071 \text{ m}^3$ i u okolicu zrači toplinskom snagom 395 kJ/h . Poznati su još: specifična toplinski kapacitet 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°C .

$$n = 20 \text{ osoba}$$

$$V_p = 10 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$V_{os} = 0,071 \text{ m}^3$$

$$\dot{Q}_{os} = 395 \text{ kJ/h}$$

$$c_{v,z} = 718 \text{ J/kgK}$$

$$t = 10 \text{ min} = 0,166 \text{ h}$$

$$\vartheta_1 = 21^\circ \text{C} \rightarrow T_1 = 294,15 \text{ K}$$

$$p_1 = 1,0135 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$R = 287 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta T, p_2 = ?$$

DIGRESIJA (Izvod iznosa plinske konstante R točno određenog plina)

Na predavanjima ste se upoznali s općom plinskom konstantom R_μ iznosa $8314 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}$. To je rad što ga obavi 1 kmol bilo kojeg plina, pri čemu mu se temperatura promjeni za 1 K . Postavlja se pitanje kako dovesti u relacijsku vezu opću plinsku konstantu R_μ s iznosom rada što ga obavi 1 kg točno određenog plina, pri istoj promjeni temperature. Taj rad zove se plinska konstanta R točno određenog plina. Ovisnost R i R_μ je dana izrazom:

$$R = \frac{R_\mu [8314 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}]}{M [\text{kg/kmol}]} [\text{J/kg}\cdot\text{K}]$$

pri čemu je M molarna masa plina. S druge strane, molarna je masa plina po iznosu jednaka relativnoj molekulskoj masi plina, a za mjernu jedinicu se dopiše kg/kmol odnosno g/mol . Pri tome, ako se radi o smjesi plinova treba uzeti u obzir volumne udjele pojedinih kemijskih elemenata u smjesi. Konkretno, izračunajmo plinsku konstantu zraka. Zrak je smjesa sljedećih plinova: 78% dušika, 21% kisika, 1% argona (ostale elemente s udjelom manjim od 1% možemo zanemariti za ovaj izračun). Relativna molekulska masa zraka je:

$$M_{r,z} \approx 0,78 \cdot M_r(N_2) + 0,21 \cdot M_r(O_2) + 0,01 \cdot M_r(Ar) = 0,78 \cdot 2 \cdot A_r(N) + 0,21 \cdot 2 \cdot A_r(O) + 0,01 \cdot A_r(Ar) =$$

$$= 0,78 \cdot 2 \cdot 14 + 0,21 \cdot 2 \cdot 16 + 0,01 \cdot 40 = 29$$

Molarna je masa zraka onda: $M_z = 29 \text{ kg/kmol}$, a plinska konstanta zraka R_z iznosi:

$$R_z = \frac{R_\mu [8314 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}]}{M_z [\text{kg/kmol}]} = \frac{8314 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}}{29 \text{ kg/kmol}} = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

Primjenjujući ovaj postupak moguće je izračunati plinsku konstantu bilo kojeg drugog plina. //

Termodinamički sustav čini zrak u prostoriji. Pretpostavka: volumen zraka V je konstantan.

$$V = V_p - 20 \cdot V_{os} = 10 \cdot 25 \cdot 3 - 20 \cdot 0,071 = 748,53 \text{ m}^3$$

$$p \cdot V = n \cdot R_\mu T = m \cdot R \cdot T \quad \Rightarrow \quad m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1,0135 \cdot 10^5 \cdot 748,58}{287 \cdot 294,15} = 900,12 \text{ kg}$$

$$\Delta Q = \Delta U \quad (W = 0)$$

$$Q = n \cdot \dot{Q}_{os} \cdot t = m \cdot c_{v,z} \cdot \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{n \cdot \dot{Q}_{os} \cdot t}{m \cdot c_{v,z}} = \frac{20 \cdot 395 \cdot 10^3 \cdot 0,166}{900,12 \cdot 718} = 2,04 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 + \Delta T = 294,15 + 2,04 = 296,19 \text{ K}$$

$$\text{Izohorna promjena stanja plina: } \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \Rightarrow \quad p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 1,0135 \cdot 10^5 \cdot \frac{296,19}{294,15} = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

5. Cilindar sa stapom upotrebljava se za smanjivanje volumena 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 procesa došlo je do smanjenja unutrašnje kaloričke energije za 8135 J . Izračunajte količinu topline koja je dovedena ili odvedena plinu za vrijeme kompresije.

$$m = 0,9 \text{ kg}$$

$$V_1 = 0,396 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,255 \text{ m}^3$$

$$p = 95760 \text{ Pa}$$

$$\Delta U = -8135 \text{ J}$$

Prvi glavni stavak termodinamike za zatvoreni sustav:

$$Q_{12} = \Delta U + W_{12} = U_2 - U_1 + \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

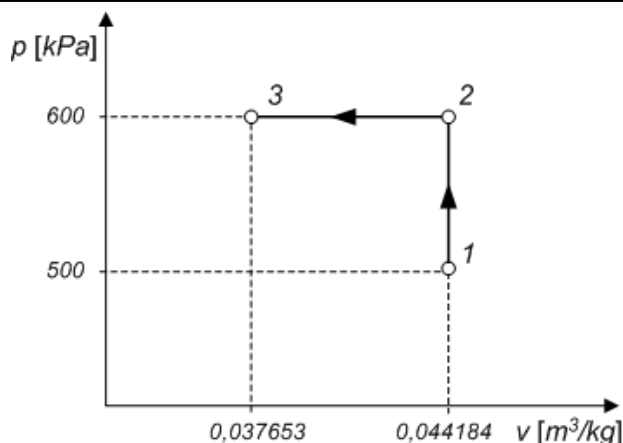
Za proces s konstantnim tlakom: $Q_{12} = \Delta U + W_{12} = U_2 - U_1 + p \cdot (V_2 - V_1)$

$$Q_{12} = ?$$

$$Q_{12} = -8135 + 95760 \cdot (0,255 - 0,396) = -21,64 \text{ kJ} < 0 \quad \Rightarrow \quad \text{Toplina se odvodi.}$$

6. Cilindar sa stapom sadrži $0,1 \text{ m}^3$ plina Freon-12 pri tlaku 500 kPa i temperaturi 70°C . Stap je zakočen 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 temperatura 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 $237,027 \text{ kJ/kg}$.

$V_1 = 0,1 \text{ m}^3$	iz parnih tablica očitani su:
$p_1 = 500 \text{ kPa}$	$v_1 = 0,044184 \text{ m}^3/\text{kg}$
$\vartheta_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_1 = 231,161 \text{ kJ/kg}$
$p_2 = 600 \text{ kPa}$	$v_2 = 0,044184 \text{ m}^3/\text{kg}$
$\vartheta_3 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_2 = 272,231 \text{ kJ/kg}$
-----	$v_3 = 0,037653 \text{ m}^3/\text{kg}$
$Q_{dov} = ?$	$h_3 = 237,027 \text{ kJ/kg}$



$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0,1}{0,044184} = 2,263 \text{ kg}$$

Proces 1-2: izohorni termodinamički proces (Charlesov zakon); $v_2 = v_1$

$$Q_{12} = \Delta U + W_{12} = U_2 - U_1 + 0 = m(u_2 - u_1) = m[(h_2 - p_2 \cdot v_2) - (h_1 - p_1 \cdot v_1)] = \\ = 2,263 \cdot [(272,231 - 600 \cdot 0,044184) - (231,161 - 500 \cdot 0,044184)] = 82,95 \text{ kJ}$$

Proces 2-3: izobarni termodinamički proces (Gay-Lussacov zakon)

$$Q_{23} = \Delta U + W_{23} = U_3 - U_2 + W_{23} = m(u_3 - u_2) + m \cdot p \cdot (v_3 - v_2) = \\ = m[(h_3 - p_3 \cdot v_3) - (h_2 - p_2 \cdot v_2)] + m \cdot p \cdot (v_3 - v_2) = \\ = 2,263 \cdot [(237,027 - 600 \cdot 0,037653) - (272,231 - 600 \cdot 0,044184)] + \\ + 2,263 \cdot 600 \cdot (0,037653 - 0,044184) = -70,81 - 8,87 = -79,68 \text{ kJ}$$

$$Q_{dov} = Q_{12} + Q_{23} = 82,95 - 79,68 = 3,27 \text{ kJ} > 0$$

7. Promotrimo cilindar ispunjen idealnim plinom (tlaka 689476 Pa i temperature $294,3 \text{ K}$) sa stapom u ravnoteži tj. pri konstantnom tlaku. 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.

$$p_1 = 689,476 \text{ kPa} = \text{konst.}$$

$$T_1 = 294,3 \text{ K}$$

$$Q_{12} = 105500 \text{ J}$$

$$V_1 = 0,01416 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,0566 \text{ m}^3$$

$$\text{-----}$$

$$\Delta U, T_2 = ?$$

$$Q_{12} = \Delta U + W_{12} = U_2 - U_1 + \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$\Rightarrow \Delta U = Q_{12} - W_{12} = Q_{12} - p \cdot (V_2 - V_1) = \\ = 105500 - 689,476 \cdot 10^3 \cdot (0,0566 - 0,01416) = 76238,6 \text{ J}$$

$$T_2 = T_1 \frac{V_2}{V_1} = 294,3 \frac{0,0566}{0,01416} = 1176,4 \text{ K} = 903^\circ\text{C}$$

8. Zrak volumena $0,3 \text{ m}^3$ hladi se kod konstantnog tlaka $551,58 \text{ kPa}$. Početna temperatura zraka je 82°C , a konačna temperatura nakon hlađenja 38°C . Izračunajte: utrošeni rad za hlađenje plina, promjenu unutrašnje kaloričke energije i odvedenu toplinu. Poznati su još sljedeći podaci: $c_p = 1004,8 \text{ J/kgK}$, $c_v = 717,8 \text{ J/kgK}$ i $R = 287 \text{ J/kgK}$.

$$V_1 = 0,3 \text{ m}^3$$

$$p_1 = 551,58 \text{ kPa} = \text{konst.}$$

$$T_1 = 355,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 311,15 \text{ K}$$

$$c_p = 1004,8 \text{ J/kgK}$$

$$c_v = 717,8 \text{ J/kgK}$$

$$R = 287 \text{ J/kgK}$$

$$\text{-----}$$

$$W, \Delta U, Q = ?$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 0,3 \cdot \frac{311,15}{355,15} = 0,2628 \text{ m}^3$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \Rightarrow m = \frac{p \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{551,58 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{287 \cdot 355,15} = 1,6234 \text{ kg}$$

$$W = p \cdot (V_2 - V_1) = 551580 \cdot (0,2628 - 0,3) = -20519 \text{ J}$$

$$\Delta U = m \cdot c_v \cdot \Delta T = 1,6234 \cdot 717,8 \cdot (-44) = -51272 \text{ J}$$

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 1,6234 \cdot 1004,8 \cdot (-44) = -71774 \text{ J}$$

9. Elektromotor miješa medij u adijabatskom 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. Tlak oko cilindra iznosi 95 kPa. Koliki rad obavi sustav? Koliki je rad potiskivanja okoliše? Koliko iznosi promjena unutrašnje kaloričke energije?

$$D = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$$

$$U_{el} = 12 \text{ V}$$

$$I_{el} = 3 \text{ A}$$

$$t = 50 \text{ s}$$

$$m = 30 \text{ kg}$$

$$\Delta z = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$p_{ok} = 95 \text{ kPa} = 95000 \text{ Pa}$$

$$Q_{12} = \Delta U + W_{12} \rightarrow |W_{RT12}| = \Delta U + \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Promjena je volumena:

$$\Delta V = A \cdot \Delta z = \frac{D^2 \pi}{4} \Delta z = \frac{0,3^2 \cdot \pi \cdot 0,1}{4} = 0,007065 \text{ m}^3$$

Rad trenja je:

$$|W_{RT12}| = U_{el} I_{el} t = 12 \cdot 3 \cdot 50 = 1800 \text{ J}$$

$$W_{sus}, W_{sus}, \Delta U = ?$$

Rad sustava je:

$$W_{sus} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = (p_{stapa} + p_{ok}) \cdot \Delta V = \left(\frac{m \cdot g}{\frac{D^2 \pi}{4}} + p_{ok} \right) \cdot \Delta V = \left(\frac{30 \cdot g}{\frac{0,3^2 \pi}{4}} + 95000 \right) \cdot 0,007065 = 700,6 \text{ J}$$

Rad potiskivanja okoliše:

$$W_{potiskivanja okoliše} = p_{ok} \cdot \Delta V = 95000 \cdot 0,007065 = 671,2 \text{ J}$$

Promjena unutrašnje kaloričke energije:

$$\Delta U = |W_{RT12}| - W_{sus} = 1800,0 - 700,6 = 1099,4 \text{ J}$$

10. 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 kJ/kg, a izvršeni tehnički rad 164 kJ/kg. Promjena potencijalne i kinetičke energije je zanemariva. Koliki je iznos izmijenjene topline?

$$p_1 = 103 \text{ kPa}$$

$$p_2 = 680 \text{ kPa}$$

$$v_1 = 0,124 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = 0,0312 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\Delta u = 93,25 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{t12} = -164 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta e_p \approx 0$$

$$\Delta e_k \approx 0$$

$$q_{12} = ?$$

Primjenjuje se oblik I glavnog stavka termodinamike (1.GST) za otvoreni sustav:

$$Q_{12} + U_1 + p_1 V_1 + 1/2 m c_1^2 + m g z_1 = W_{t12} + U_2 + p_2 V_2 + 1/2 m c_2^2 + m g z_2$$

odnosno iskazan po jedinici mase:

$$q_{12} + u_1 + p_1 v_1 + 1/2 c_1^2 + g z_1 = w_{t12} + u_2 + p_2 v_2 + 1/2 c_2^2 + g z_2$$

gdje su:

q_{12} izmijenjena specifična toplinska energija

u specifična unutrašnja kalorička energija

$p v$ rad protjecanja djelatne tvari (rad strujanja)

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

Rad utiskivanja djelatne tvari u uređaj iznosi: $p_1 v_1 = 103 \cdot 0,124 = 12,77 \text{ kJ/kg}$

Rad istiskivanja djelatne tvari iz uređaja iznosi: $p_2 v_2 = 680 \cdot 0,0312 = 21,22 \text{ kJ/kg}$

Zanemari li se promjena potencijalne i kinetičke energije jednadžba 1.GST prelazi u oblik:

$$q_{12} + u_1 + p_1 v_1 = w_{t12} + u_2 + p_2 v_2 \quad \text{odnosno:}$$

$$q_{12} = u_2 - u_1 + p_2 v_2 - p_1 v_1 + w_{t12} = 93,25 + 21,22 - 12,77 - 164 = -62,3 \text{ kJ/kg}$$

Prema konvenciji o predznacima u termodinamici (zadatak 1.) negativan predznak izmijenjene topline ukazuje na odvođenje topline iz sustava.

11. Benzinski motor razvija snagu od 50 kW . Maseni je protok benzina pri tome 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 toplinske snage iznosi 42 kJ/s . Odredite promjenu specifične entalpije smjese zraka i goriva za vrijeme strujanja i izgaranja u motoru, ako prijelaz toplinske snage na okolicu iznosi 15 kJ/s te ako se promjena kinetičke i potencijalne energije zanemaruje.

$$P = 50 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_b = 15 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_z = 215 \text{ kg/h}$$

$$T_1 = 288,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 1173,15 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_v = -42 \text{ kJ/s}$$

$$\dot{Q}_z = -15 \text{ kJ/s}$$

$$\Delta e_p \approx 0$$

$$\Delta e_k \approx 0$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = ?$$

1. GST za otvoreni sustav uz uvođenje entalpije kao veličine stanja ima oblik:

$$q_{12} + h_1 + 1/2 c_1^2 + gz_1 = w_{12} + h_2 + 1/2 c_2^2 + gz_2$$

Promjene potencijalne i kinetičke energije mogu se zanemariti te slijedi:

$$q_{12} + h_1 = w_{12} + h_2, \text{ odnosno:}$$

$$q_{12} - w_{12} = h_2 - h_1$$

Ako se relacija pomnoži s masenim protokom ($\dot{m} = \text{m/t}$) tehnički rad prelazi u snagu stroja, a specifična toplina u izmijenjenu toplinsku snagu:

$$\dot{Q}_{12} - P_{12} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

Maseni protok smjese goriva i zraka jednak je:

$$\dot{m} = \dot{m}_b + \dot{m}_z = 15 + 215 = 230 \text{ kg/h} = 0,0639 \text{ kg/s}$$

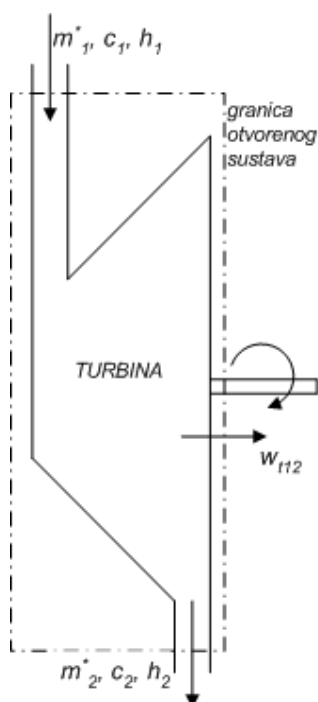
Toplinska snaga odvedena iz motora iznosi: $\dot{Q}_{12} = \dot{Q}_v + \dot{Q}_z = -57 \text{ kJ/s}$

Konačno, promjena specifične entalpije u procesu iznosi:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{\dot{Q}_{12} - P_{12}}{\dot{m}} = \frac{-57 - 50}{0,0639} = -1674,8 \text{ kJ/kg}$$

čiji negativni predznak ukazuje na odvođenje energije iz sustava, odnosno sustav je izvršio rad.

12. 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?



$$\dot{m} = 5 \text{ t/h} = 1,38 \text{ kg/s}$$

$$P_{12} = 500 \text{ kW}$$

$$z_2 = z_1$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = -490 \text{ kJ/kg}$$

$$c_1 = 60 \text{ m/s}$$

$$c_2 = 360 \text{ m/s}$$

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

Prema 1. GST opća relacija za otvoreni sustav je:

$$q_{12} + h_1 + 1/2 c_1^2 + gz_1 = w_{12} + h_2 + 1/2 c_2^2 + gz_2$$

Nema razlike u visini između ulaza i izlaza: promjena potencijalne energije pare može se zanemariti pa se izmijenjena toplina može izračunati prema:

$$q_{12} = w_{12} + (h_2 - h_1) + 1/2 (c_2^2 - c_1^2)$$

Izmijenjena topl. snaga dobije se množenjem s masenim protokom pare:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{12} &= \dot{m} \cdot q_{12} = P_{12} + \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) + 1/2 \cdot \dot{m} \cdot (c_2^2 - c_1^2) = \\ &= 500 + 1,38 \cdot (-490) + 0,5 \cdot 1,38 \cdot (360^2 - 60^2) \cdot 10^{-3} = \\ &= -93,10 \text{ kJ/s} = -3,35 \cdot 10^5 \text{ kJ/h} = -335 \text{ MJ/h} \end{aligned}$$

Predznak topline ukazuje na odvođenje topline iz turbine.

otvoreni termodinamički sustav:

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \text{konst.}$$

13. Para tlaka 1,4 MPa i temperature 300 °C ulazi u izmjenjivač topline gdje se kondenzira. Kondenzirana para napušta izmjenjivač topline kao tekućina tlaka 1,4 MPa i temperature 150 °C s prosječnim masenim protokom od 5000 kg/h. Para se kondenzira uz pomoć vode koja struji 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 kJ/kg, kondenzata na izlazu iz izmjenjivača 632,2 kJ/kg, rashladne vode na ulazu 83,96 kJ/kg i rashladne vode na izlazu 167,57 kJ/kg.

$$p_1 = p_2 = 1,4 \text{ MPa}$$

$$t_1 = 300 \text{ °C}$$

$$t_2 = 150 \text{ °C}$$

$$\dot{m}_1 = 5000 \text{ kg/h}$$

$$t_3 = 20 \text{ °C}$$

$$t_4 = 40 \text{ °C}$$

$$Q_{KV} = 0$$

iz parnih tablica:

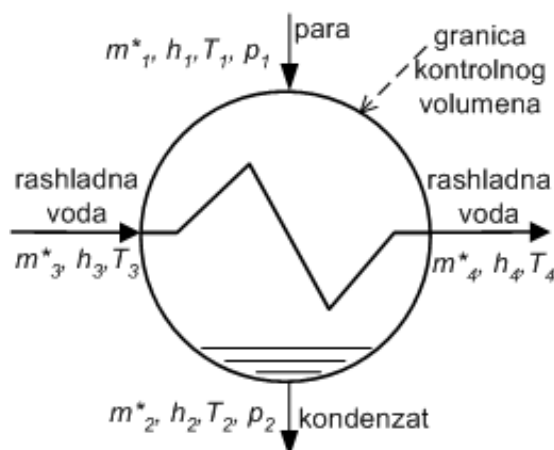
$$h_1 = 3040,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 632,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 83,96 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 167,57 \text{ kJ/kg}$$

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



Promatrani proces je proces stacionarnog strujanja. 1.GST za kontrolni volumen KV (otvoreni sustav):

$$Q_{KV} + \sum m_u h_u = \sum m_i h_i + W_{KV}$$

gdje su

u ulazne veličine,

i izlazne veličine.

Uz pretpostavku da je izmjenjivač topline adijabatski sustav toplina koja se odvodi/dovodi kontrolnom volumenu jednaka je nuli ($Q_{KV} = 0$), a kako rad nije izvršen od ili na sustavu ($W_{KV} = 0$), jednadžba se reducira na:

$$\sum m_u h_u = \sum m_i h_i$$

S obzirom na sliku sustava jednadžba prelazi u oblik:

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_4 \cdot h_4$$

Kako je $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$, i $\dot{m}_3 = \dot{m}_4$, jednadžba se reducira na: $\dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_2) = \dot{m}_3 \cdot (h_4 - h_3)$.

Iz parnih tablica očitane su vrijednosti entalpija za zadane temperature i tlakove.

Konačno se za protok rashladne vode dobiva:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 \frac{h_1 - h_2}{h_4 - h_3} = 1,44 \cdot 10^5 \text{ kg/h} = 40 \text{ kg/s}$$

14. Za termoelekttranu poznati su tlakovi i specifične entalpije u karakterističnim točkama postrojenja: izlaz iz kotla 2,76 MPa i 3039,85 kJ/kg; ulaz turbine 2,62 MPa i 2989,37 kJ/kg; ulaz kondenzatora 13,8 kPa i 2430,00 kJ/kg, ulaz pumpe 13,1 kPa i 192,83 kJ/kg. Jedinичni rad pumpanja pojne vode iznosi 6978 J/kg. Izračunajte sljedeće vrijednosti po jedinici mase: a) toplinu dovedenu u kotlu, b) rad turbine, c) toplinu odvedenu u kondenzatoru, d) gubitak topline između kotla i turbine.

$$p_1 = 2,76 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 3039,85 \text{ kJ/kg}$$

$$p_2 = 2,62 \text{ MPa}$$

$$h_2 = 2989,37 \text{ kJ/kg}$$

$$p_3 = 13,8 \text{ kPa}$$

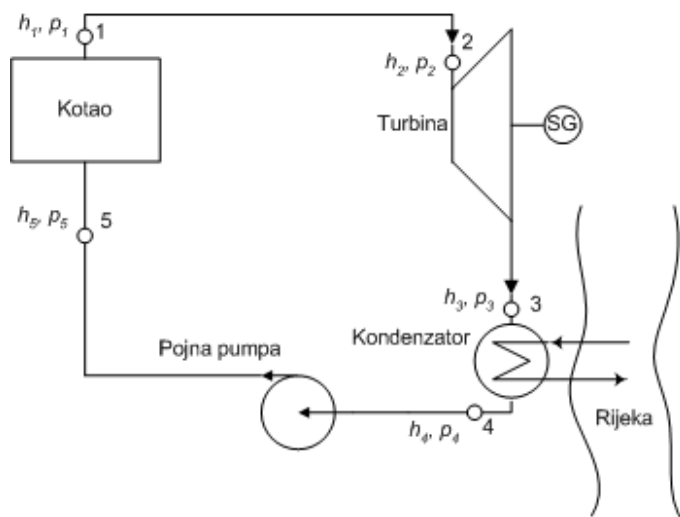
$$h_3 = 2430,00 \text{ kJ/kg}$$

$$p_4 = 13,1 \text{ kPa}$$

$$h_4 = 192,83 \text{ kJ/kg}$$

$$w_p = -6978 \text{ J/kg}$$

$$q_{12}, w_b, q_{odv}, q_{dov} = ?$$



Termoelektrana (TE), gledana kao cjelina, zatvoreni je termodinamički sustav, ali njeni segmenti (kotao, turbina, kondenzator, pumpa, cjevovodi i parovodi) promatrani odvojeno su otvoreni termodinamički podsustavi jer izmjenjuju i masu i energiju sa svojim susjednim segmentima!

Oznake od 1 do 5 na slici odabrane su proizvoljnim redoslijedom. Ipak, nužna je dosljednost pri označavanju (indeksiranju) fizikalnih veličina i primjene 1.GST za otvoreni sustav.

Za izračun traženih veličina primjenjuje se 1.GST za odgovarajuće segmente TE kako je niže navedeno.

1.GST za turbinu: $q_{turb} + h_2 + 1/2 c_2^2 + gz_2 = w_{turb} + h_3 + 1/2 c_3^2 + gz_3$ ($q_{23} = 0$, $w_{23} = w_{turb}$)

1.GST za kotao: $q_{kot} + h_5 + 1/2 c_5^2 + gz_5 = w_{kot} + h_1 + 1/2 c_1^2 + gz_1$ ($q_{51} = q_{kot}$, $w_{kot} = 0$)

Pretpostavlja se da su promjena kinetičke i promjena potencijalne energije zanemarive, a iz parnih tablica očitane su vrijednosti entalpije za paru odnosno vodu (zadano gore).

Gubitak topline u parovodu između kotla i turbine: $q_{12} = h_2 - h_1 = -50,48 \text{ kJ/kg}$

Rad turbine (uz pretpostavku da je turbina adijabatski sustav): $w_{23} = h_2 - h_3 = 559,37 \text{ kJ/kg}$

Kondenzator je uređaj u TE koji ima ulogu ponora topline odnosno kondenzacije pare ekspanzirane u turbini. Pretpostavlja se da se pri procesu kondenzacije ne izvršava rad.

Toplina odvedena iz kondenzatora: $q_{34} = h_4 - h_3 = -2237,17 \text{ kJ/kg}$

Toplina dovedena u kotao: $q_{51} = h_1 - h_5$; ($h_5 = h_4 - w_p = 199,81 \text{ kJ/kg}$) $\rightarrow q_{51} = 2840,04 \text{ kJ/kg}$

15. Izlazni otvor crpke promjera 5 cm nalazi se 1,5 m iznad ulaznog otvora. Voda temperature 10 °C i tlaka 96,5 kPa ulazi u crpku kroz otvor promjera 7,5 cm i napušta je pod tlakom 0,31 MPa. Kolika je potrebna snaga motora crpke za protok od 0,0126 m³/s zanemarujući gubitke. Gustoću vode pretpostavite konstantnom $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

$$D_2 = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$z_2 - z_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$T_1 = 10 \text{ °C} = 283,15 \text{ K}$$

$$p_1 = 96,5 \text{ kPa} = 96,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$D_1 = 7,5 \text{ cm} = 0,075 \text{ m}$$

$$p_2 = 0,31 \text{ MPa} = 0,31 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 / v = \text{konst.}$$

$$Q = 0,0126 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{t,pumpe} = ?$$

Ako se pretpostavi stacionarni protok vode kroz crpku ovo je primjer 1.GST za otvoreni sustav čije granice prelazi maseni protok djelatne tvari uz mogućnost prijenosa topline odnosno vršenja rada.

Rad koji je potrebno uložiti za pogon pumpe jednak je:

$$-w_{t12} = \int_1^2 v dp + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1) + |w_{tr12}|$$

Maseni je protok vode kroz crpku:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q = 1000 \cdot 0,0126 = 12,6 \text{ kg/s} = \text{konst.}$$

Brzine strujanja pronalaze se iz jednadžbe kontinuiteta: $\dot{m} = \rho \cdot \vec{A} \cdot \vec{c} = \text{konst.}$

$$\rightarrow c_1 = \frac{\dot{m}}{A_1 \rho} = \frac{\dot{m}}{\frac{D_1 \pi}{4} \rho} = 2,85 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{te} \quad c_2 = \frac{\dot{m}}{A_2 \rho} = \frac{\dot{m}}{\frac{D_2 \pi}{4} \rho} = 6,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Za vrijeme procesa nema dovođenja odnosno odvođenja topline, i uz pretpostavku da je voda nestlačiva tekućina, rad koji izvrši pumpa jednak je:

$$w_{t12} = -10^{-3} \cdot (0,31 \cdot 10^6 - 96,5 \cdot 10^3) - 0,5 \cdot (6,42^2 - 2,85^2) - 9,81 \cdot 1,5 - 0 = -244,75 \text{ J/kg}$$

Rad je negativan jer je okolica (pumpa) izvršila rad nad sustavom (fluidom). Snaga potrebna da bi se izvršio rad:

$$P_{t,pumpe} = |w_{t12}| \cdot \dot{m} = 244,76 \cdot 12,6 = 3,1 \text{ kW}$$

16. 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 °C, a najviše dozvoljene izlazna temperatura 50 °C? Stupanj djelovanja elektromotora definiran je kao omjer izlazne (mehaničke) snage i snage utrošene električnom strujom. Specifični je toplinski kapacitet zraka $c_p = 1005 \text{ J/kgK}$.

$$P_{meh} = 400 \text{ kW}$$

$$\eta = 0,96$$

$$T_1 = 25 \text{ °C}$$

$$T_2 = 50 \text{ °C}$$

$$c_p = 1005 \text{ J/kgK}$$

$$\dot{m} = ?$$

$$\eta_{motora} = \frac{P_{meh}}{P_{el}} = \frac{P_{meh}}{P_{meh} + P_g} \rightarrow P_g = P_m \left(\frac{1}{\frac{1}{\eta} - 1} \right) = 400 \times 10^3 \left(\frac{1}{\frac{1}{0,96} - 1} \right) = 16666,67 \text{ W}$$

Pretpostavka: Svi gubici u motoru pretvaraju se u toplinsku energiju.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta h = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\dot{Q} = P_g \rightarrow \dot{m} = \frac{P_g}{c_p \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{16666,67}{1005 \cdot (50 - 25)} = 0,663 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2388 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$