

Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama

Energija vjetra

Energija sunca

Zadatci prije ZI
Energijske tehnologije
FER 2007.



5.1 Predložena je izgradnja solarne elektrane u Splitu (solarni toranj). Korištenjem pomičnih ogledala povećava se iskoristivost direktnog zračenja za 35% u odnosu na horizontalnu plohu koja prima 85% direktne komponente od ukupnog ozračenja. Ukupna godišnja ozračenost iznosi 1600 kWh/m². Koeficijent pretvorbe sunčeve energije u toplinsku je 40%, a korisnost Rankineovog procesa je 42%. Koriste se zrcala površine 1 m², a elektrana zauzima 3 puta veću površinu od površine zrcala.

Izračunati:

- kolika je potrebna površina elektrane vršne snage 100 MWe uz pretpostavku da je maksimalna snaga 1000 W/m².
- godišnje proizvedenu energiju elektrane pod a)
- kolika je potrebna površina elektrane da bi elektrana proizvela jednako energije kao bazna elektrana snage 100 MWe (pretpostavlja se da ima faktor opterećenja 0,91)

a) $P_{Smax} = 1 \text{ KW/m}^2$
– najveća trenutna snaga sunčevog zračenja

$$P_e = P_{Smax} \cdot \eta_s \cdot \eta_t \quad \text{– najveća proizvedena el. snaga po m}^2$$

$$= 1 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,42 = 168 \text{ W/m}^2$$

$$A_z = P_n / P_e \quad \text{– površina zrcala}$$

$$= 100 \cdot 10^6 / 168 = 595238 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{elektrane}} = A_z \cdot 3 \quad \text{– površina elektrane}$$

$$= 1785714 \text{ m}^2 = \mathbf{1,786 \text{ km}^2}$$

b) $W_{god} = 1600 \cdot 3,6 = 5760 \text{ MJ/m}^2$
– godišnja dozračena energija na horizontalnu plohu

$$W_{god.usmjerenog} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot W_{god}$$

$$= 1,35 \cdot 0,85 \cdot 5760 = 6610 \text{ MJ/m}^2$$

$$W_e = W_{god.usmjerenog} \cdot \eta_s \cdot \eta_t$$

$$= 6610 \cdot 0,4 \cdot 0,42$$

$$= 1110 \text{ MJ/m}^2 \quad \text{– proizvedena el. E. po m}^2$$

$$W_{e.ukupno} = W_e \cdot A_z \quad \text{– proizvedena godišnja el. en.}$$

$$= 1110 \cdot 595238 = \mathbf{661e6 \text{ MJ}}$$

c) $A_{\text{elektrane.c}} = A_{\text{elektrane.a}} \cdot W_c / W_b$

$$= 1,786 \cdot 100 \cdot 0,91 \cdot 8760 \cdot 3600 / 661e6$$

$$= 1,786 \cdot 2,87e9 / 661e6 = 1,786 \cdot 4,34$$

$$= \mathbf{7,75 \text{ km}^2}$$

5.2 Snaga VA i promjer turbine

Vjetroagregat napaja potrošača nazivne snage 100 kW. Prosječna brzina vjetra na lokaciji iznosi 5 m/s.

Koliki je minimalan promjer vjetroturbine potreban?

Pretpostaviti da gustoća zraka iznosi 1,225 kg/m³ i $c_{pe}=c_B=0,59$.

$$P = E/t = mv^2/2t = \rho A v t v^2/2t = \rho A v^3/2 = \rho A c_{pe} v^3/2$$

$$A = 2P / \rho c_{pe} v^3 = 100\,000 / 1,225 \cdot 0,59 \cdot 5^3 = 1107 \text{ m}^2$$

$$A = D^2 \pi / 4$$

$$D = (4 A / \pi)^{1/2} = 37,55 \text{ m}$$

5.3 Energija iz VA

Promjer vjetroturbine iznosi 100 m. Vjetroatregat (VA) postiže nazivnu snagu od 2,88 MW uz brzinu vjetra 11 m/s, a ne radi kad je brzina vjetra manja od 5 m/s ili viša od 25 m/s. Koliko bi energije godišnje proizveo VA uz sljedeće podatke i pretpostavke:

- 40% vremena brzina vjetra je manja od minimalne,
- 15% vremena brzina vjetra je veća od maksimalne,
- 25% vremena brzina vjetra iznosi 8 m/s i $c_{pe} = 0,45$,
- 15% vremena brzina vjetra je između 11 m/s i 25 m/s, kada VA radi na nazivno snazi
- gustoća zraka je $1,225 \text{ kg/m}^3$.

Koliki je faktor opterećenja vjetroelektrane?

5.3 Rješenje

$$\text{Za } v < v_{\min}, P = 0$$

$$\text{Za } v > v_{\max}, P = 0$$

$$\text{Za } v = 8 \text{ m/s}, \quad P = 0,45 \cdot 0,5 \cdot 1,225 \cdot (100/2)^2 \cdot 3,14 \cdot 8^3 = 1,11 \text{ MW}$$

$$E = P t = 1,11 \cdot 0,25 \cdot 365 \cdot 24 = 2431 \text{ MWh}$$

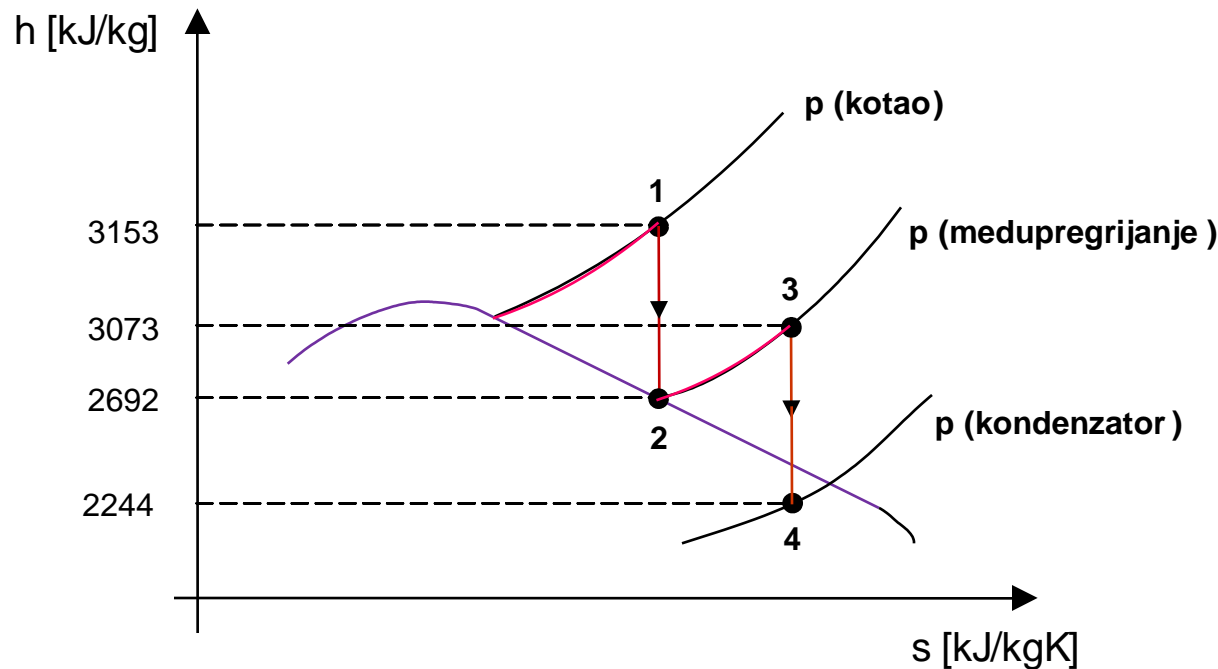
$$\text{Za } 11 < v < 25, \quad P = P_n = 2,88 \text{ MW}$$

$$E = P t = 2,88 \cdot 0,15 \cdot 365 \cdot 24 = 3784 \text{ MWh}$$

Ukupna godišnja proizvodnja je $E = 6215 \text{ MWh}$.

$$\text{Faktor opterećenja je } f = E / (P_n \cdot 365 \cdot 24) = 0,25$$

5.4 Proces u termoelektrani s međupregrijanjem pare zadan je slikom. Koliki je termički stupanj djelovanja postrojenja? Entalpija kondenzata (vode) na ulazu u parni kotao je 172 kJ/kg.



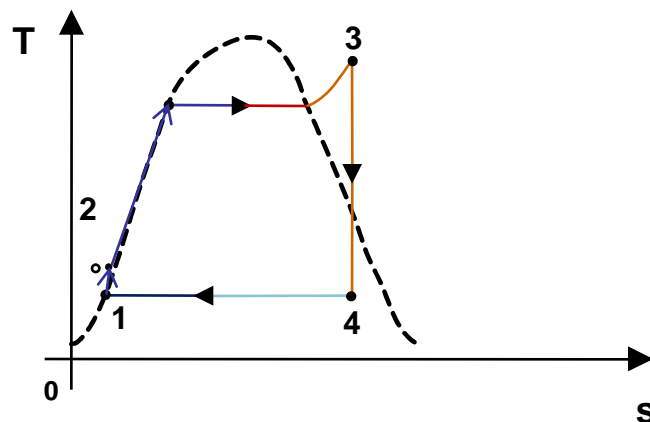
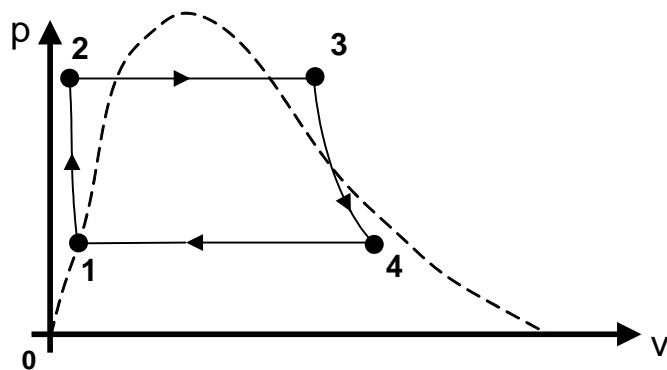
$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_1 - 172) + (h_3 - h_2)} = \frac{(3153 - 2692) + (3073 - 2244)}{(3153 - 172) + (3073 - 2692)} =$$

$$= \frac{461 + 829}{2981 + 381} = \frac{1290}{3362} = 0.3837$$

5.5 Rankineov kružni proces određen je stanjima navedenim u tablici.

| Stanje | Tlak [bar] | Temperatura [K] | Sadržaj pare | Entalpija [kJ/kg] |
|--------|------------|-----------------|--------------|-------------------|
| 1 | 0.0353 | 300 | 0.00 | 113 |
| 2 | 20 | - | - | 115 |
| 3 | 20 | 600 | - | 3087 |
| 4 | 0.0353 | 300 | 0.80 | 2057 |

Odrediti: a) rad turbine [kJ/kg], b) rad pojne pumpe [kJ/kg], c) dovedenu toplinu [kJ/kg], d) odvedenu toplinu [kJ/kg], e) termički stupanj djelovanja procesa.
Zanemariti promjenu kinetičke i potencijalne energije.



$$\text{a) } w_t = h_3 - h_4 = 3087 - 2057 = 1030 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{b) } w_p = h_1 - h_2 = 113 - 115 = -2 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{c) } q_{dov} = h_3 - h_2 = 3087 - 115 = 2972 \text{ kJ/kg}$$

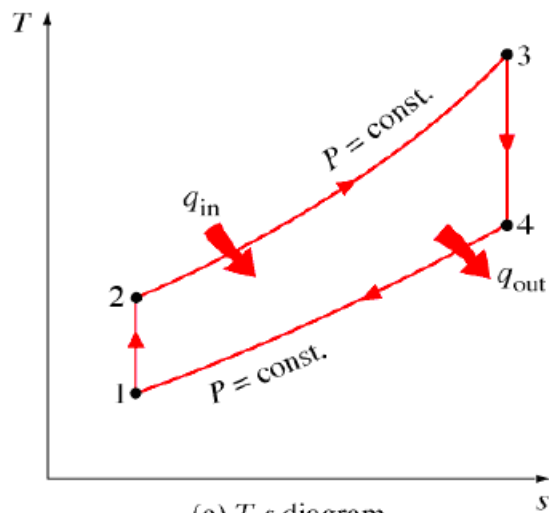
$$\text{d) } q_{odv} = h_1 - h_4 = 113 - 2057 = -1944 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{e) } \eta_t = \frac{w}{q_{dov}} = \frac{w_t + w_p}{q_{dov}} = \frac{1030 - 2}{2972} = 0.346 \Rightarrow 34.6 \%$$

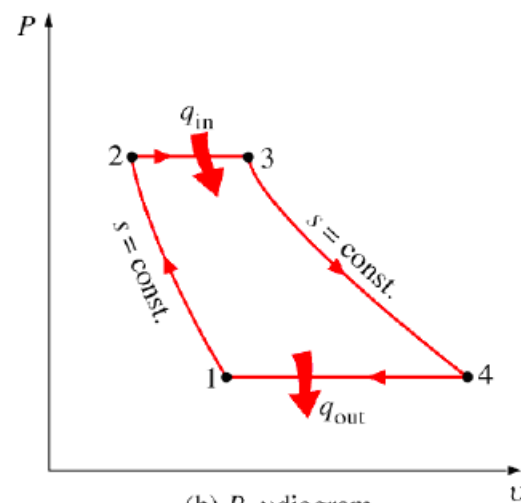
Zadatak 5.6:

Izračunati efikasnost i specifični rad (neto rad sustava po jedinici mase) za jednostavnu plinsku turbinu u Brayton-ovom (Jule-ovom) ciklusu (izentropska kompresija, izobarno grijanje, izentropska ekspanzija, izobarno hlađenje) s zrakom kao radnim medijem ($\gamma=1.4$). Maksimalna temperatura u ciklusu je 1000 K a minimalna 288 K. Omjer tlakova je 6, a izentropske efikasnosti kompresora i plinske turbine su 85 i 90%.

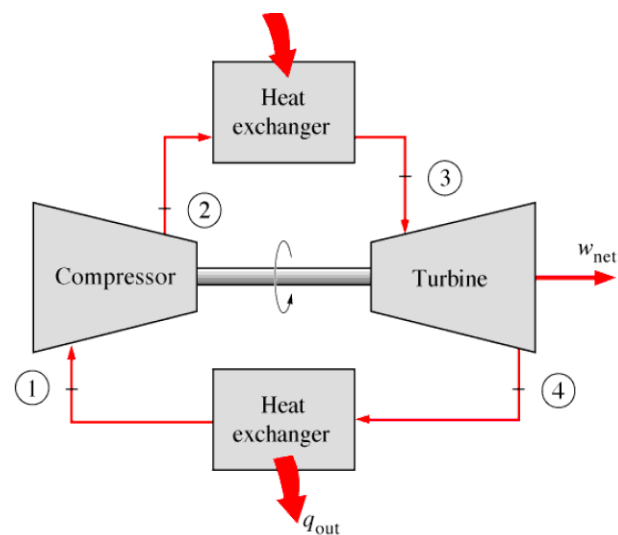
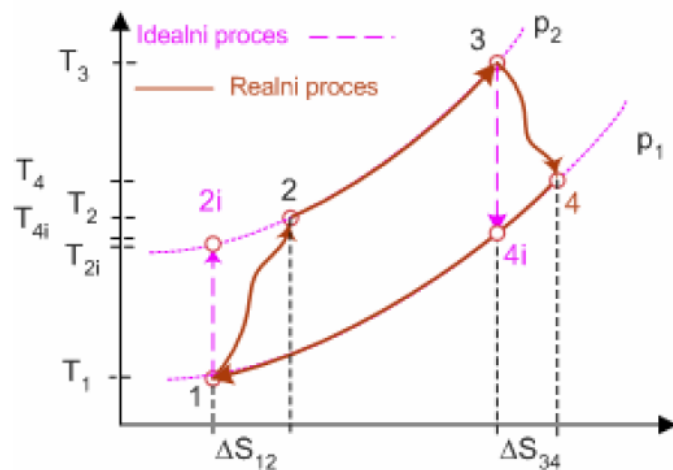
Zadatak 5.6: rješenje



(a) $T-s$ diagram



(b) $P-v$ diagram



Zadatak 5.6: rješenje

$$T_2' = T_1 * r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288 * 6^{\frac{0.4}{1.4}} = 288 * 1.6685 = 480.5K$$

$$T_4' = \frac{T_3}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = \frac{1000}{6^{\frac{0.4}{1.4}}} = \frac{1000}{1.6685} = 599.34K$$

Odgovarajuće stvarne temperature su:

$$T_2 - T_1 = \frac{T_2' - T_1}{\eta_c} = \frac{481 - 288}{0.85} \rightarrow T_2 = 515K$$

$$T_3 - T_4 = \eta_t * (T_3 - T_4') = 0.90 * (1000 - 599) = 361K \rightarrow T_4 = 639K$$

Zadatak 5.6: rješenje

Specifični radovi kompresora i turbine su:

$$w_{12} = -c_p * (T_2 - T_1) = 1.005 * (515 - 288) = -288 \text{ kJ / kg}$$

Rad je uložen u proces pa je po konvenciji negativan.

$$w_{34} = c_p * (T_3 - T_4) = 1.005 * (1000 - 639) = 363 \text{ kJ / kg}$$

Rad plinske turbine je dobiven u procesu pa je po konvenciji pozitivan.

Dodana toplina je:

$$q_{23} = c_p * (T_3 - T_2) = 1.005 * (1000 - 515) = 487 \text{ kJ / kg}$$

Efikasnost ciklusa i specifični rad su:

$$\eta = \frac{|(W_{12} + W_{34})|}{Q_{23}} = \frac{135}{487} = 0.277 \quad |W| = |(W_{12} + W_{34})| = 135 \text{ kJ / kg}$$

Zadatak 5.7:

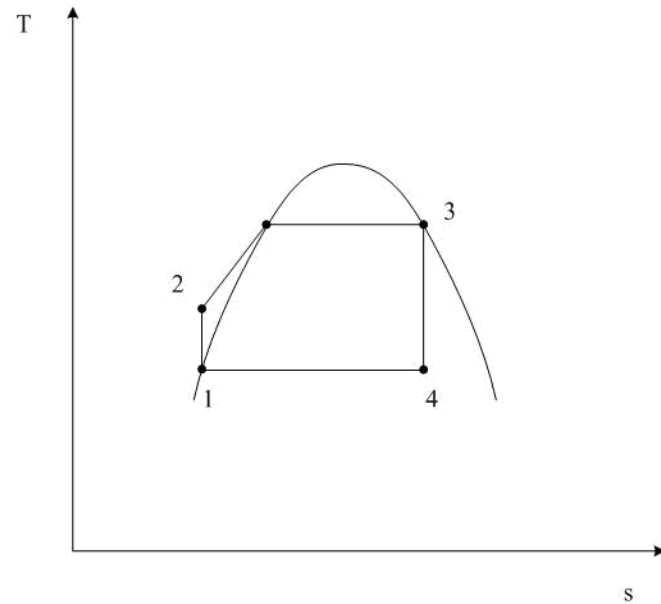
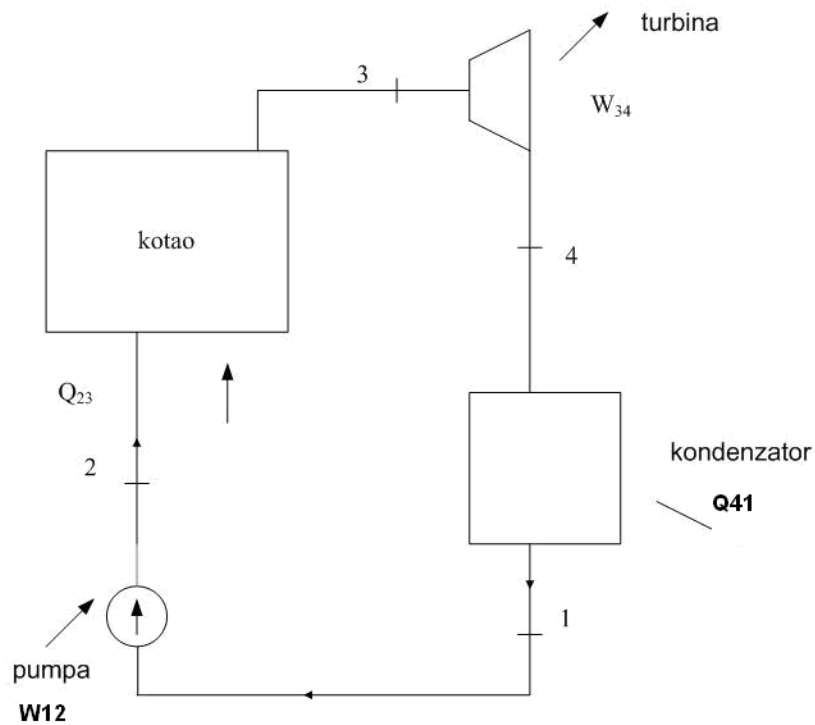
Termoelektrana koristi idealni Rankine-ov ciklus s vodenom parom. Tlak u parnom kotlu je 40 bar a tlak u kondenzatoru je 0.075 bar. Toplinska snaga kotla je 100 MW. Izračunajte potrebni protok radnog medija, efikasnost toplinskog ciklusa, snagu turbine i specifičnu potrošnju pare. Specifična potrošnja pare (s.p.p.) definirana je kao broj kg pare potrebnih za proizvodnju 1 kWh neto mehaničkog rada u procesu.

Iz parnih tablica su poznati sljedeći podaci: temperatura zasićenja na višem tlaku $T_1=523.728$ K, entalpija zasićene vode $h_{f1}=1087.42$ kJ/kg, entalpija zasićene pare $h_{g1}=2800.913$ kJ/kg, temperatura zasićenja na nižem tlaku $T_2=313.465$ K, entalpija zasićene vode $h_{f2}=168.74$ kJ/kg, entalpija zasićene pare $h_{g2}=2575$ kJ/kg, gustoća zasićene vode $\rho_{f2}=992.1$ kg/m³, gustoća zasićene vodene pare $\rho_{g2}=0.052$ kg/m³.

Entalpija pare na kraju ekspanzije je 1890.2 kJ/kg.

Skicirati ciklus u T-s dijagramu.

Zadatak 5.7: Rješenje



Zadatak 5.7: Rješenje

$$h_1 = 168,74 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{12} = h_1 - h_2 = v_1 (p_1 - p_2) = 1,008 \cdot 10^{-3} (7,5 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^6) = -4,024 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + 4,024 = 172,76 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{\text{turb}} = w_{34} = h_3 - h_4 = 2800,9 - 1890,2 = 910,7 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{23} = h_3 - h_2 = 2800,9 - 172,76 = 2628,2 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{41} = h_1 - h_4 = 168,74 - 1890,2 = -1721,5 \text{ kJ/kg}$$

$$m = Q_{\text{kotla}} / q_{23} = 100 \cdot 10^6 / 2628,2 \cdot 10^3 = 38,05 \text{ kg/s}$$

$$\eta = m (w_{12} + w_{34}) / Q_{\text{kotla}} = 0,345$$

$$W_{\text{turb}} = m w_{\text{turb}} = 34,652 \text{ MW}$$

$$\text{s.p.p.} = 3600 / (w_{12} + w_{34}) = 3,97 \text{ kg/kWh}$$

Zadatak 5.7: Rješenje - dopuna

Ako je na višem tlaku poznata entropija zasićene pare $s_g = 6.07$ kJ/kgK i entropija zasićene vode $s_f = 0.576$ kJ/kgK i entropija zasićene pare $s_g = 8.25$ kJ/kgK na nižem tlaku možemo odrediti sadržaj pare i entalpiju na kraju ekspanzije.

$$s_4 = s_3 = s_g = 6.07 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_4 = s_f + x_4 \times s_{fg}$$

$$x_4 = (6.07 - 0.576) / (8.25 - 0.576) = 0.716$$

$$h_4 = h_f + x_4 \times h_{fg} = 168.74 + 0.716 \times (2575 - 168.74) = 1891.6 \text{ kJ/kg}$$