

Tentamen Thermodynamica

4B420

29 oktober 2009, 14.00–17.00 uur

- Dit tentamen bestaat uit 4 opeenvolgend genummerde opgaven.
- Tabellen zullen, indien benodigd, uitgereikt worden. **Deze dienen samen met het tentamen weer ingeleverd te worden.**
- De opgaven dienen duidelijk leesbaar beantwoord te worden.
- **LET OP EENHEDEN!**
- **NOTE: English version attached**

Opgave 1 Een goed geïsoleerde diffusor (lengte 5 m; inlaatoppervlak 0.5 m^2 ; verhouding inlaat- tot uitlaatoppervlak 1:2) is horizontaal ingebouwd in een reversibel werkende proces-technische installatie met een ideaal gas ($R=300 \text{ J/kgK}$, $c_p=1000 \text{ J/kgK}$) als werkmedium. De ingangscondities van de diffusor bedragen $T_1=77^\circ\text{C}$ en $p_1=2 \text{ bar}$. De uitgaande druk is $p_2=4 \text{ bar}$.

- Bepaal de temperatuur aan de uitgang.
- Bepaal de verhouding tussen de dichtheden aan de in- en uitgang.
- Bepaal de snelheden aan in- en uitgang.
- Bepaal de massastroom door de diffusor.
- Toon aan dat bij gelijkblijvende ingangscondities en uitgaande temperatuur elke vorm van interne verliezen tot een lagere druk aan de uitgang moet leiden.

Opgave 2 Beschouw een cilinder, afgesloten door een wrijvingsloze zuiger met verwaarloosbare massa, in een omgeving van 1 bar. In de begintoestand rust de zuiger op een stop en bevat de cilinder 0.2 kg van een water-damp mengsel (dampkwaliteit $x = 0.5$) bij 75°C . De cilinder wordt vervolgens verwarmd, totdat het volume in de cilinder zich heeft verdubbeld.

- Schets het totale proces in een p-v diagram.
- Bepaal het beginvolume.
- Bepaal de arbeid die het systeem levert.
- Bepaal de hoeveelheid warmte die aan het systeem moet worden toegevoerd.
- Bepaal de entropieproductie bij gebruik van een warmtebron van 1000°C .

Opgave 3 Een warmtemotor werkt op een ideaal gas ($M = 29 \text{ kg/kmol}$, $k = 1.4$, $\bar{R} = 8.314 \text{ kJ/kmol K}$) volgens onderstaande cyclus:

- isentrope compressie van $T_1 = 300 \text{ K}$, $V_1 = 10^{-3} \text{ m}^3$ tot $T_2 = 1200 \text{ K}$;
- isotherme expansie tot een druk van $p_3 = 2 \text{ bar}$;
- isochore drukverlaging tot de begintoestand.

Warmtetoevoer en koeling vinden plaats via twee warmtereservoirs (300 K en 1200 K) en de arbeidsuitwisseling tijdens de processtappen is reversibel.

- Schets de cyclus in een p-V en T-s diagram.
- Bepaal de compressieverhouding $r = V_{max}/V_{min}$ van de motor.
- Bepaal de minimale en maximale druk in de motor tijdens in werking zijn.
- Bepaal het theoretisch maximale alsmede het daadwerkelijk thermisch rendement.
- Bepaal de entropieproductie van het systeem en geef aan wat hiervan de oorzaak is.

Opgave 4 Een krachtcentrale werkt volgens een standaard Rankine stoomcyclus. Warmtetoevoer vindt plaats bij een constante druk van 50 bar; warmteafvoer middels condensatie van volledig verzadigde stoom tot volledig verzadigd water bij een constante temperatuur van 20 °C. Daarnaast mogen pomp en turbine als adiabatisch en verliesvrij verondersteld worden.

- a) Schets het gehele proces in een T-s diagram en geef daarbij aan welke stap met welke component overeenkomt. Neem daarbij de ingang van de pomp als toestand 1.
- b) Bepaal het thermisch rendement van de centrale (verwaarloos hierbij de pomparbeid).

De turbine blijkt bij nader inzien toch niet verliesvrij te werken (isentrop rendement: 80%).

- c) Schets het T-s diagram voor de nieuwe situatie en geef duidelijk het verschil aan met het diagram van onderdeel a). Neem hierbij aan dat het condensatieproces gelijk blijft.
- d) Bepaal het thermisch rendement voor de nieuwe situatie.
- e) Bepaal de specifieke entropieproductie van de krachtcentrale voor zowel oude als nieuwe situatie indien warmtetoevoer bij 1250°C en warmteafvoer bij 20°C plaats vindt.

ENGLISH VERSION

Problem 1 A well-insulated diffuser (length 5 m; inlet-area 0.5 m²; ratio inlet to outlet-area 1:2) is mounted horizontally in a reversibly-operating processing plant using an ideal gas ($R=300$ J/kgK, $c_p=1000$ J/kgK) as working medium. The inlet conditions of the diffuser are $T_1=77^\circ\text{C}$ and $p_1=2$ bar. The outlet pressure is $p_2=4$ bar.

- a) Determine the outlet temperature.
- b) Determine the ratio between the densities at the inlet and outlet.
- c) Determine the inlet and outlet velocities.
- d) Determine the mass flux through the diffuser.
- e) Show that for identical inlet conditions and outlet temperature each form of internal losses must result in a lower outlet pressure.

Problem 2 Consider a cylinder, closed by a frictionless piston with negligible mass, placed in an environment of 1 bar. Initially, the cylinder rests on a stop and the cylinder contains 0.2 kg of a water-vapour mixture (vapour quality $x = 0.5$) at 75 °C. The cylinder is subsequently heated until the volume inside the cylinder has doubled.

- a) Sketch the total process in a pv -diagram.

- b) Determine the initial volume.
- c) Determine the work produced by the system.
- d) Determine the amount of heat that must be supplied to the system.
- e) Determine the entropy production when utilising a heat source of 1000 °C.

Problem 3 A heat engine operates on an ideal gas ($M = 29$ kg/kmol, $k = 1.4$, $\bar{R} = 8.314$ kJ/kmol K) according to the following cycle:

- isentropic compression from $T_1 = 300$ K, $V_1 = 10^{-3}$ m³ to $T_2 = 1200$ K;
- isothermal expansion to a pressure of $p_3 = 2$ bar;
- isochoric pressure reduction to the initial state.

Heat supply and cooling take place via two heat reservoirs (300 K and 1200 K) and the work exchange during the process-steps is reversible.

- a) Sketch the cycle in a p-V and T-s diagram.
- b) Determine the compression ratio $r = V_{max}/V_{min}$ of the engine.
- c) Determine the minimum and maximum pressure in the engine during operation.
- d) Determine the theoretically maximum as well as the actual thermal efficiencies.
- e) Determine the entropy production of the system and indicate its cause.

Opgave 4 A powerplant operates on a standard Rankine steamcycle. Heat supply occurs at a constant pressure of 50 bar; heat rejection via condensation of fully-saturated steam to fully-saturated water at a constant temperature of 20 °C. Furthermore, assume that pump and turbine run adiabatically and without losses.

- a) Sketch the entire process in a T-s diagram and indicate which step corresponds with which component. Take the inlet of the pump as state 1.
- b) Determine the thermal efficiency of the plant (neglect work required by the pump).

The turbine, upon closer inspection, does have internal losses (isentropic efficiency: 80%).

- c) Sketch the T-s diagram for the new situation and clearly indicate the differences with the diagram of problem 4a). Assume that the condensation process remains the same.
- d) Determine the thermal efficiency of the new situation.
- e) Determine the specific entropy production of the powerplant for both the old and new situations in case heat supply occurs at 1250°C and heat rejection at 20°C.