

Tentamen Thermodynamica

4B420

26 januari 2010, 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 ideaal gas ($M = 29 \text{ kg/kmol}$, $k = 1.4$, $\bar{R} = 8.314 \text{ kJ/kmol K}$) ondergaat in een gesloten warmtemotor de volgende cyclus:

- isotherme expansie bij 1200 K tot een druk $p_2 = 2 \text{ bar}$;
- isochore drukverlaging tot een druk p_3 ;
- isotherme compressie tot een druk $p_4 = 1.5 \text{ bar}$;
- isochore drukverhoging tot de begintoestand.

Maximaal en minimaal volume tijdens de cyclus verhouden zich als $v_{max} : v_{min} = 3 : 1$. Warmtetoe- en afvoer vinden uitsluitend plaats via twee warmtereservoirs (290 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 maximale en minimale temperatuur tijdens de cyclus.
- Bepaal de warmte- en arbeidsuitwisseling tijdens iedere processtap.
- Bepaal het daadwerkelijke en theoretisch maximaal haalbare thermische rendement.
- Bepaal de totale entropieproductie. Is, met gegeven processtappen, door aanpassing van werkcondities het maximale rendement haalbaar? Waarom (niet)?

Opgave 2 In een perfect geïsoleerd systeem bevinden zich twee, door een membraan gescheiden, compartimenten. In het linker compartiment (met een volume van 8 liter) bevindt zich oververhitte stoom bij een druk van 10 bar en een temperatuur van 300°C . In het andere compartiment (met een volume van 4 liter) bevindt zich een water/stoom mengsel met een dampkwaliteit van 0.91 bij een druk van 5 bar.

- Bereken de massa van het medium in ieder compartiment.
- Bepaal de inwendige energie en entropie in ieder compartiment.

Het membraan wordt nu verwijderd, waarna zich een nieuw evenwicht instelt.

- Bepaal de totale specifieke inwendige energie in het systeem.
- Laat met behulp van een u-v diagram zien dat de druk en temperatuur nu ongeveer 8 bar en 230°C moeten zijn.
- Bepaal de geproduceerde entropie.

Opgave 3 Een perfect geïsoleerde reversibele compressor (100 kW vermogen) zuigt 0.5 kg/s lucht ($c_p = 1020 \text{ J/kgK}$ en $k = 1.4$) aan uit een omgeving van 1 bar en 20°C . De gecomprimeerde lucht stroomt via een vat van 2m^3 (thermisch geïsoleerd; geen interne drukverliezen) in een warmtewisselaar, welke de lucht isobaar opwarmt. Vervolgens expandeert de lucht over een turbine adiabatisch en reversibel naar omgevingsdruk, daarbij 150kW vermogen leverend.

- Schets dit proces in een p-v en een T-s diagram.
- Stel voor iedere component van dit systeem de eerste hoofdwet op.
- Bereken de druk, temperatuur en massa van de lucht in het vat.
- Bereken de temperatuur van de lucht aan de ingang van de turbine.
- Bereken het thermisch rendement van het gehele proces.

Opgave 4 Een cilinder, afgesloten door een wrijvingsloze zuiger, bevat 20 kg van een water/stoom mengsel bij een druk van $p_1 = 200$ kPa en een dampkwaliteit $x_1 = 0.1$. Door een ventiel in de cilinder ontsnapt 1 kg damp naar de omgeving (druk 100 kPa, temperatuur 20 °C), waardoor de druk zakt tot $p_2 = 175$ kPa. De zuiger verplaatst zich hierbij niet.

- a) Bepaal het volume van het systeem.
- b) Bepaal de dampkwaliteit in toestand 2.
- c) Bepaal de energieafname in het systeem als gevolg van het ontsnappen van de damp.

De cilinder wordt vervolgens van isolatie voorzien, waarna oorspronkelijke druk en dampkwaliteit worden hersteld door compressie van het medium via de zuiger.

- d) Bepaal eindvolume alsmede de arbeid benodigd voor de compressie.
- e) Bepaal de totale entropieverandering als gevolg van de drukverlaging en de compressie en verklaar de uitkomst.

ENGLISH VERSION

Problem 1 An ideal gas ($M = 29$ kg/kmol, $k = 1.4$, $\bar{R} = 8.314$ kJ/kmol K) undergoes the following cycle inside a closed heat engine:

- isothermal expansion at 1200 K to a pressure $p_2 = 2$ bar;
- isochoric decompression to a pressure p_3 ;
- isothermal compression to a pressure $p_4 = 1.5$ bar;
- isochoric compression to the initial state.

Maximum and minimum volume during the cycle relate as $v_{max} : v_{min} = 3 : 1$. Heat supply and heat rejection occur entirely via two heat reservoirs (290 K and 1200 K) and work interactions during the process steps are reversible.

- a) Sketch the cycle in a p-V and T-s diagram.
- b) Determine the maximum and minimum temperature during the cycle.
- c) Determine the heat and work interaction during each process step.
- d) Determine the actual and theoretically maximum thermal efficiency.
- e) Determine the total entropy production. Is, with given process steps, through modification of process steps the maximum thermal efficiency achievable? Why (not)?

Problem 2 A perfectly-insulated system consists of two compartments that are separated by a membrane. The left compartment (with a volume of 8 liter) holds superheated steam at a pressure of 10 bar and a temperature of 300°C. The other compartment (with a volume of 4 liter) holds a water/steam mixture with a vapour quality of 0.91 at a pressure of 5 bar.

- a) Calculate the mass of the medium in each compartment.

- b) Determine the internal energy and entropy in each compartment.

The membrane is removed, after which the system settles for a new equilibrium.

- c) Determine the total specific internal energy in the system.
- d) Show by means of a u-v diagram that pressure and temperature must approximately coincide with 8 bar and 230°C.
- e) Determine the entropy produced by the change of state.

Problem 3 A perfectly-insulated compressor (100 kW power) takes up 0.5 kg/s air ($c_p = 1020$ J/kgK and $k = 1.4$) from an environment at 1 bar and 20°C. The compressed air flows through a container of 2m³ (thermally insulated; no internal pressure losses) in a heat exchanger, which heats the air isobarically. The air subsequently expands over a turbine adiabatically and reversibly to ambient pressure, thereby delivering 150kW of power.

- a) Sketch this process in a p-v and a T-s diagram.
- b) Formulate the First Law for each component of this system.
- c) Calculate pressure, temperature and mass of the air in the container.
- d) Calculate temperature of the air at the turbine inlet.
- e) Calculate the thermal efficiency of the entire process.

Problem 4 A cylinder, closed by a frictionless piston, contains 20 kg of a water/steam mixture at a pressure of $p_1 = 200$ kPa and a vapour quality of $x_1 = 0.1$. A valve allows 1 kg of vapour to escape from the cylinder to the environment (pressure 100 kPa, temperature 20 °C), causing the pressure to drop to $p_2 = 175$ kPa. The piston remains fixed in position during this process.

- a) Determine the volume of the system.
- b) Determine the vapour quality in state 2.
- c) Determine the decrease in energy of the system as a result of the vapour outflow.

The cylinder is subsequently outfitted with thermal insulation, after which initial pressure and vapour quality are restored via compression of the medium by the piston.

- d) Determine final volume as well as work required for the compression.
- e) Determine the total entropy change as a result of decompression by the vapour outflow and subsequent compression. Explain the outcome.