

**Deeltoets A: Thermodynamica**  
**Maandag 11 oktober 2004, 10.00-12.00 uur**

Aanwijzingen:

- Deze toets bestaat uit 3 opgaven met als gewichtsfactoren 3, 4 en 3
- Vermeld op elk blad je naam en studentnummer
- Bij de toets mag het bijgevoegde gegevens- en formuleblad gebruikt worden evenals een calculator

**1. Compressor**

Het koelmiddel R-134a moet stationair worden gecomprimeerd van 0.14 MPa en -10 °C naar 0.8 MPa en 50 °C. De omgevingscondities zijn: 20 °C en 95 kPa. De isobare warmtecapaciteit van R-134a is 0,740 kJ/kg/K en mag temperatuurafhankelijk worden verondersteld. De gasconstante van R-134a is 0,0815 kJ/kg/K

Vragen: bepaal de exergieverandering van het koelmiddel en de minimale arbeid die aan de compressor moet worden toegevoerd per massa-eenheid van het koelmiddel.

**2. Arbeidsproces**

Een luchtstandaard cyclus wordt als volgt uitgevoerd:

- 1-2 Isentrope compressie van 100 kPa en 27 °C naar 1 MPa
- 2-3 Isobare toevoer van 2200 kJ/kg warmte
- 3-4 Isochore expansie naar 100 kPa
- 4-1 Isobare warmteuitwisseling naar de begintoestand

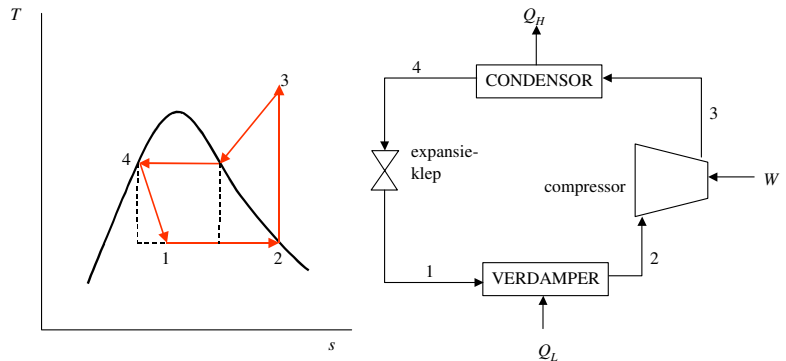
Vragen:

- a. Geef de cyclus weer in een  $p-v$  en een  $T-s$  diagram
- b. Bereken de maximum temperatuur in de cyclus
- c. Bereken het rendement van de cyclus

**3. Diepvriezer**

Een diepvriezer gebruikt R-134a als koudemiddel en werkt volgens de ideale dampcompressie koelcyclus tussen 0.14 en 0,8 MPa (zie onderstaande figuur). Als de massastroom van het koudemiddel gelijk is aan 0,05 kg/s, bepaal dan:

- a. de warmteafvoer uit de diepvriezer  $\dot{Q}_l$
- b. De benodigde arbeid  $\dot{W}$
- c. de warmteafgifte  $\dot{Q}_h$
- d. de Coefficient-of-Performance



Gegevens van R-134a:

Punt	Enthalpie h (kJ/kg)	Entropie s (kJ/kg/K)
1	93,42	
2	236,04	0,9322
3	272,05	
4	93,42	

## 1. Compressor

Exergieverandering:

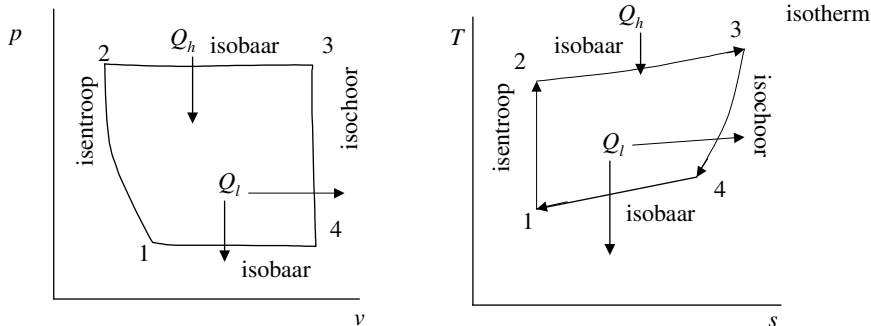
$$\begin{aligned} \Delta b &= (h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1) \\ &= c_p(T_2 - T_1) - T_0 \left[ c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \right] \\ &= 0,74 * (50 - (-10)) - 293 * \left( 0,74 * \ln\left(\frac{323}{263}\right) - 0,0815 * \ln\left(\frac{0,80}{0,14}\right) \right) \\ &= 44,40 - 293 * (0,1521 - 0,1421) \\ &= 41,47 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Deze exergieverandering komt overeen met de minimaal benodigde arbeid om het koelmiddel de aangegeven toestandsverandering te laten ondergaan.

## 2. Arbeidsproces

a: Diagrammen

In principe geven onderstaande diagrammen de weergave van ons arbeidsproces. Later zal blijken dat met de gebruikte gegevens het diagram in dit specifieke geval er eigenlijk anders uit moet zien.



b. Maximum temperatuur

Punt 3 heeft de hoogste temperatuur. We moeten uitgaande van punt 1, waarvan we druk en temperatuur kennen doorrekenen tot punt 3.

Punt 1:  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 0,1 \text{ MPa}$  (gegeven)

Punt 2:  $p_2 = 1 \text{ MPa}$  (gegeven)

Proces 1-2: isentrop, we mogen de poissonrelaties gebruiken:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1/\gamma} = \left(\frac{1}{0,1}\right)^{0,4/1,4} \rightarrow T_2 = 579,2 \text{ K}$$

Punt 3: isobaar proces  $\rightarrow p_3 = p_2 = 1 \text{ MPa}$

Isobare warmtetoevoer van  $2200 \text{ kJ/kg}$   $q_h = c_p(T_3 - T_2) = 2200 \rightarrow T_3 = 2771,5 \text{ K}$

c. Rendement

In een cyclisch proces geldt  $\Delta U = Q - W = 0 \rightarrow W = Q$ , waarbij W voor de netto geleverde arbeid staat en Q voor de netto toegevoerde warmte. Het rendement wordt dan gegeven door  $W/Q_h$ , waarbij  $Q_h$  de in stap 2-3 toegevoerde warmte is, dus  $Q_h = 2200 \text{ kJ/kg}$ . Hiervoor moeten we de overige warmtestromen in kaart brengen om de netto toegevoerde warmte en dus W te kunnen berekenen. Stap 1-2 is isentrop, dus adiabaat en er vindt daarbij dus geen warmtewisseling plaats. Stap 2-3 was de al genoemde isobare warmtetoevoer van  $2200 \text{ kJ/kg}$ . Stap 3-4 is isochore expansie, de warmtetoevoer in deze stap kan daarom worden berekend als:

$$q_{3-4} = c_v(T_4 - T_3)$$

$T_4$  is nog niet bekend,  $T_3$  is wel bekend

$T_4$  kan met de ideale gaswet worden berekend  $p v = RT, v = \text{constant} \rightarrow \frac{T_4}{T_3} = \frac{p_4}{p_3} \rightarrow T_4 = \frac{p_4}{p_3} T_3$

Omdat proces 4-1 isobaar is geldt ook:  $p_4 = p_1 = 0,1 \text{ MPa}$

$$\rightarrow T_4 = \frac{0,1}{1} 2771,5 = 277,15 \text{ K}$$

$$\rightarrow q_{3-4} = c_v (T_4 - T_3) = 0,7165 * (277,15 - 2771,5) = -1787 \text{ kJ / kg}$$

Merk op dat  $T_4$  lager is dan de begintemperatuur  $T_1$ . Dit betekent dat in stap 4-1 er geen warmte wordt afgevoerd maar toegevoerd.

De warmtetoevoer bij stap 4-1 kan berekend worden met

$$q_{4-1} = c_p (T_1 - T_4) = 1,0035 * (300 - 277,15) = 22,9 \text{ kJ/kg}$$

De geleverde arbeid kan nu berekend worden als:

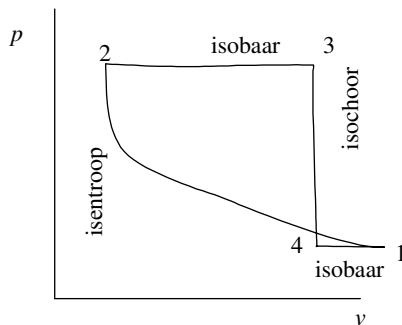
$$w = q_{1-2} + q_{2-3} + q_{3-4} + q_{4-1} = 0 + 2200 + (-1787) + 22,9 = 435,9 \text{ kJ/kg}$$

Het rendement is dan:

$$\eta = \frac{w}{q_{3-4}} = \frac{435,9}{2200} = 0,198$$

Bij deze berekening van het rendement is m.b.t.  $q_{4-1}$  verondersteld dat de warmte die hier aan de cyclus wordt toegevoerd 'gratis' uit de omgeving komt.

Doordat in proces 4-1 er in dit geval warmte wordt toegevoerd, moet het p-v diagram er eigenlijk als volgt uitzien (bij de beoordeling wordt het eerder vermelde diagram ook als goed gerekend):



### 3. Diepvriezer

#### a. warmteafvoer

De warmteafvoer vindt plaats in de verdamper (proces 1-2). Hiervoor geldt (eerste hoofdwet stationair systeem toepassend op verdamper, met gebruikelijke aannames):

$$\dot{Q}_l = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0,05 * (236,04 - 93,42) = 7,13 \text{ kW}$$

#### b. Benodigde arbeid

De benodigde arbeid wordt toegevoerd aan de compressor (proces 2-3). Hiervoor geldt (eerste hoofdwet stationair systeem toepassend, met gebruikelijke aannames, waaronder  $\dot{Q}_{turbine} = 0$ , want adiabatisch vanwege aanname ideale dampcompressie cyclus):

$$\dot{W} = -\dot{m}(h_3 - h_2) = 0,05(272,05 - 236,04) = -1,80 \text{ kW}$$

#### c. warmteafgifte

De warmte wordt afgegeven in de condensor (proces 3-4). De afgegeven warmte is (weer eerste hoofdwet stationair systeem toepassend op de condensor, met gebruikelijke aannames):

$$\dot{Q}_h = \dot{m}(h_4 - h_3) = 0,05(93,42 - 272,05) = -8,93 \text{ kW}$$

*a. Coefficient of Performance*

De CoP voor koude machines is gedefinieerd als de afgevoerde warmte gedeeld door de benodigde arbeid:

$$CoP_r = \frac{|\dot{Q}_l|}{|\dot{W}|} = \frac{7,13}{1,80} = 3,96$$