

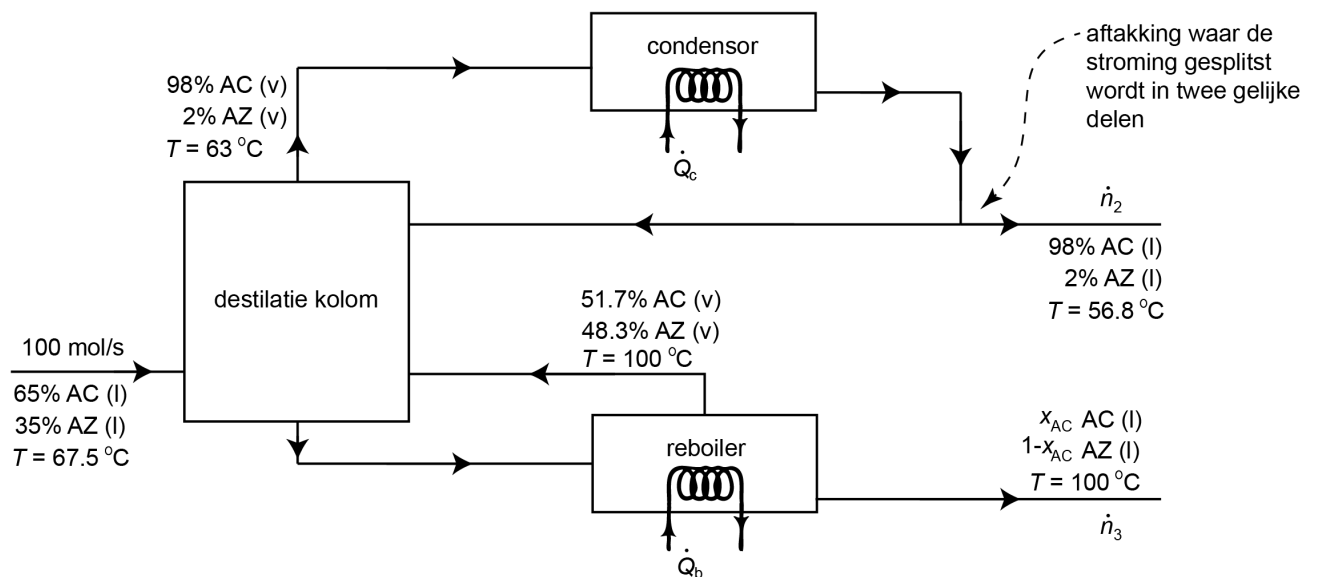
## PT-1 tentamen, 26-06-2013, 9:00-12:00

Cursus: 4051PRTE1Y Procestechnologie 1  
Docenten: F. Kapteijn & V. van Steijn

- Lees elke vraag goed door voordat je begint
- Schrijf op elk blad in ieder geval je naam en studentnummer en nummer alle bladen
- Gebruik een pen, geen potlood
- Schrijf op welke berekeningen je uitvoert, de weg naar het antwoord is minstens zo belangrijk als het antwoord zelf
- Geef bij getallen ook de bijbehorende eenheden en vermeld referentiecondities!
- Je kunt in totaal **100** punten halen. De punten zijn per vraag en per subvraag aangegeven, verdeel je tijd goed
- Het is toegestaan om een rekenmachine en het boek te gebruiken, andere zaken zoals een handgeschreven A4-tje zijn niet toegestaan

### Vraag 1 (33 pt)

Tijdens de excursie hebben we gezien dat destillatie een belangrijk proces is in de (petro)chemische industrie. Onderstaand stromingsdiagram geeft een proces weer waarin aceton (AC) en azijnzuur (AZ) van elkaar gescheiden worden. ***Alle fracties in het stromingsdiagram zijn gegeven als molfracties!***



-- zie vervolg volgende pagina --

Beschouw *de reboiler*.

- (a) Ga ervan uit dat de damp en de vloeistoffase op evenwicht zijn in de reboiler. Ga er ook vanuit dat de molaire samenstelling van de fasen hetzelfde is als de gegeven samenstelling van de uitgaande stromen. Gebruik de faseregels van Gibbs om uit te leggen dat het systeem geen vrijheidsgraden heeft wanneer de molfractie en de temperatuur van de dampfase bekend zijn. **(3 pt)**
- (b) Gebruik de wet van Antoine om de dampdruk van azijnzuur (acetic acid) uit te rekenen. Bereken ook de dampdruk van aceton en leg uit welke aanname je hierbij maakt wanneer je de waarden in tabel B4 gebruikt. **(7 pt)**
- (c) Gebruik de wet van Raoult voor azijnzuur en voor aceton om aan te tonen dat de druk in de reboiler gelijk is aan  $P = 1$  atm. **(9 pt)**
- (d) Bereken de molfractie  $x_{AC}$  van aceton in de vloeistoffase. **(3 pt)**

Beschouw nu het *hele proces*. Indien je de molfractie  $x_{AC}$  niet kon berekenen in (d) of twijfelt aan het antwoord, gebruik dan  $x_{AC} = 0.15$  voor het vervolg. Maak tevens gebruik van onderstaande data:

$T$ (°C)	Aceton		Azijnzuur	
	$\hat{H}_l$ (cal/mol)	$\hat{H}_v$ (cal/mol)	$\hat{H}_l$ (cal/mol)	$\hat{H}_v$ (cal/mol)
56.8	0	7205	0	5723
63.0	205	7322	194	6807
67.5	354	7403	335	6884
100.0	1385	7946	1312	7420

- (e) Gegeven dat de voeding 100 mol/s bedraagt, bereken  $n_2$  en  $n_3$ . **(6 pt)**
- (f) Bereken de netto hoeveelheid warmte (in cal/s) die voor dit distillatie proces nodig is. Start hierbij vanuit de algemene energievergelijking, versimpel deze en leg uit welke termen verwaarloosd mogen worden. Wordt er netto warmte aan het systeem toegevoegd of onttrokken? **(5 pt)**

## Vraag 2 (35 pt)

In een airconditioner wordt een inkomende luchtstroom met een temperatuur van 25 °C en een relatieve luchtvochtigheid (RH) van 80% gekoeld bij een constante druk van 1 atm. Het massadebiet van deze inkomende stroom is  $\dot{m}_1 = 100$  kg/s. Twee stromen verlaten de airconditioner met een temperatuur van 10 °C: (1) een vochtige luchtstroom met een massadebiet  $\dot{m}_2$  en een massafractie van water  $y_2$  en (2) een waterstroom met een massadebiet  $\dot{m}_3$ . De ingenieur die de airconditioner ontwerpt vraagt zich af hoe groot de warmtestroom  $\dot{Q}$  moet zijn voor dit proces.

-- zie vervolg volgende pagina --

- (a) Teken en label het stromingsdiagram. (**6 pt**)
- (b) Voer een vrijheidsgradenanalyse uit. Geef duidelijk aan welke parameters onbekend zijn en leg uit welke gegevens en relaties je gebruikt. (**6 pt**)
- (c) Leg uit dat de luchtstroom die de airconditioner verlaat verzadigd is. Doe dit door de relevante details van het psychrometrische diagram over te nemen op het examenpapier en daarin het koelingsproces (beginpunt, eindpunt, pad) te schetsen. (**3 pt**)

Beschouw de *inkomende luchtstroom*.

- (d) Gebruik het psychrometrisch diagram in het boek (p. 385) om te bepalen wat de absolute luchtvochtigheid is (in kg H<sub>2</sub>O(v)/kg DA) . Bepaal daarna de massafractie  $y_1$  van water in de voedingsstroom (in kg H<sub>2</sub>O(v)/kg feed). (**4 pt**)
- (e) Bepaal de specifieke enthalpie van de inkomende luchtstroom. (**2 pt**)

Beschouw nu de *gehele airconditioner*.

- (f) Laat zien met een berekening dat de massafractie van water in de uitgaande luchtstroom gelijk is aan  $y_2 = 0.0077$  kg H<sub>2</sub>O(v)/kg. (**2 pt**)
- (g) Bereken de massadebiten van de uitgaande stromen ( $\dot{m}_2$  en  $\dot{m}_3$ ). (**4 pt**)
- (h) Bepaal de specifieke enthalpieën van de uitgaande stromen; geef hierbij duidelijk aan welke referenties je gebruikt. Bereken daarmee  $\dot{Q}$ . (**10 pt**)

### Vraag 3 (7 pt)

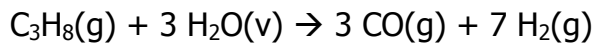
Een mengsel van 42.5 wt% MIBK, 20.0 wt% H<sub>2</sub>O en 37.5 wt% aceton vormt twee fasen wanneer het op evenwicht is bij 25°C. Op de laatste pagina van dit tentamen staat het fasendiagram voor dit systeem. Maak deze pagina los van het tentamen en schrijf je naam en studienummer erop.

- (a) Geef op het fasendiagram met een punt A de samenstelling aan van het homogene mengsel direct na stevig mengen. (**1 pt**)
- (b) Markeer de samenstelling (met B en C) van de fasen nadat het mengsel op evenwicht is gekomen. (**3 pt**)
- (c) Wat is de samenstelling van elk van de verschillende vloeistoffasen? (**3 pt**)

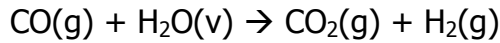
-- zie vervolg volgende pagina --

### Vraag 4 (25 pt)

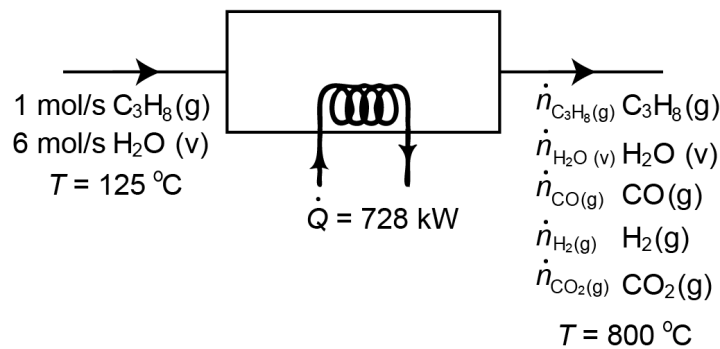
In een reactor wordt waterstof geproduceerd uit propaan en stoom volgens



Hierbij vindt ook de "water-gas shift" reactie plaats



Propaan stroomt de reactor binnen met een debiet van 1 mol/s. Propaan en stoom worden aan de reactor toegevoerd in een molaire verhouding van 1:6 en hebben een temperatuur van 125 °C. De reactor wordt opgewarmd met een warmtestroom  $\dot{Q} = 728 \text{ kW}$ . De uitgaande stroom verlaat de reactor met een temperatuur van 800 °C. Deze informatie is samengevat in onderstaand stromingsdiagram.



- (a) Hoeveel onafhankelijke materiaalbalansen kun je opstellen voor dit systeem? Geef de materiaalbalansen. Let op: oplossen van de materiaalbalansen is niet nodig. **(4 pt)**
- (b) De energiebalans kan worden opgesteld met de "heat of reaction"-methode of met de "heat of formation"-methode. Leg uit welke methode het meest geschikt is voor het opstellen van de energiebalans voor dit proces. **(2 pt)**
- (c) Bereken de specifieke enthalpieën van alle stromen. Geef hierbij duidelijk aan welke referenties je gebruikt! Je mag de  $c_p$ 's constant veronderstellen: **(8 pt)**

	$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{v})$	$\text{CO}(\text{g})$	$\text{H}_2(\text{g})$	$\text{CO}_2(\text{g})$
$c_p / \text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	80.0	39.5	33.2	30.0	50.8

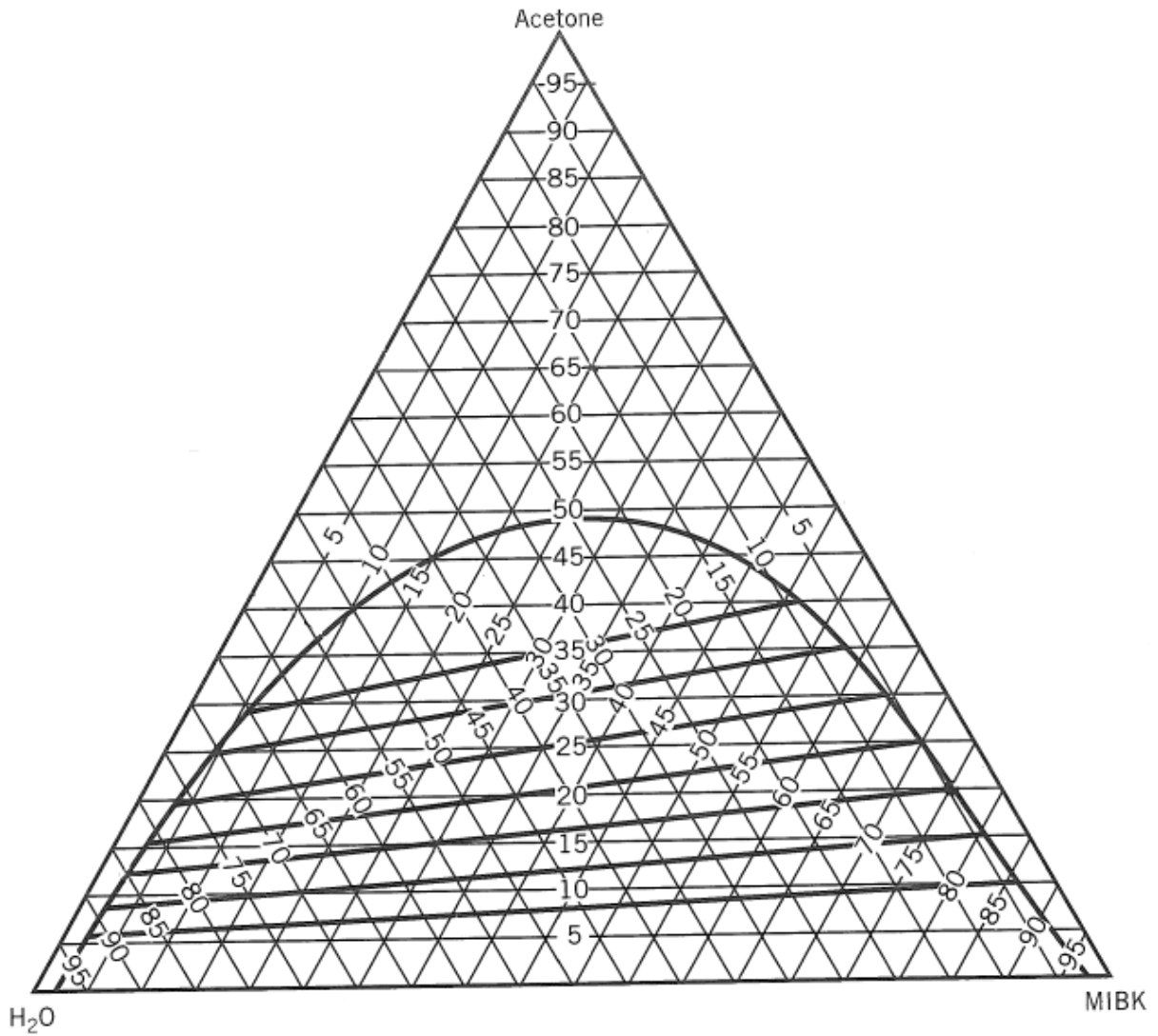
- (d) Maak een enthalpietabel voor het systeem. **(3 pt)**
- (e) Laat zien dat de moldebieten van de uitgaande stromen gelijk zijn aan:  $\dot{n}_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ mol/s}$ ,  $\dot{n}_{\text{CO}} = 1 \text{ mol/s}$ ,  $\dot{n}_{\text{H}_2} = 9 \text{ mol/s}$ ,  $\dot{n}_{\text{CO}_2} = 2 \text{ mol/s}$ . **(8 pt)**

-- einde toets --

Bijlage bij opgave 3 (inleveren!)

Naam:

Studentnummer:



Lever het ingevulde fasendiagram samen met je andere uitwerkingen in!

## PT-1 tentamen, 26-06-2013, 9:00-12:00

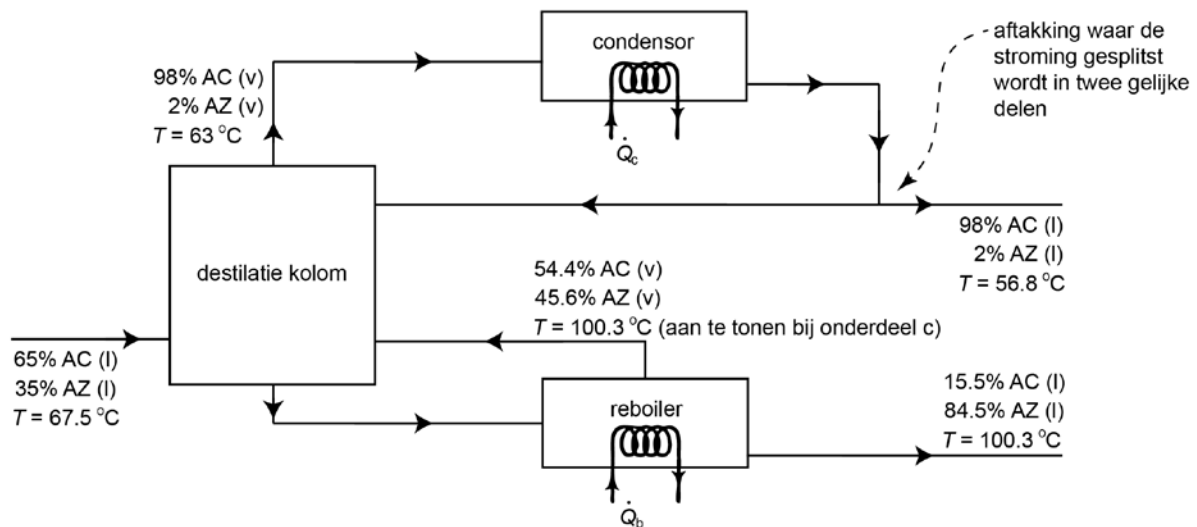
Cursus: 4051PRTE1Y Procestechologie 1

Docenten: F. Kapteijn & V. van Steijn

- Lees elke vraag goed door voordat je begint
- Schrijf op elk blad in ieder geval je naam en studentnummer en nummer alle bladen
- Gebruik een pen, geen potlood
- Schrijf op welke berekeningen je uitvoert, de weg naar het antwoord is minstens zo belangrijk als het antwoord zelf
- Geef bij je getallen ook de bijbehorende eenheden en vermeld referentiecondities!
- Je kunt in totaal **xx** punten halen. De punten zijn per vraag en per subvraag aangegeven, verdeel je tijd goed
- Het is toegestaan om een rekenmachine en het boek te gebruiken, andere zaken zoals een handgeschreven A4-tje zijn niet toegestaan

### Vraag 1 (xx pt)

Tijdens de excursie hebben we gezien dat destillatie een belangrijk proces is in de (petro)chemische industrie. Onderstaand procesdiagram geeft een proces weer waarin aceton (AC) en azijnzuur (AZ) van elkaar gescheiden worden. ***Alle fracties zijn gegeven als molfracties!***



-- zie vervolg volgende pagina --

Beschouw *de reboiler*.

(a) [totaal: ]

Gibbs faseregels:  $DF = 2 + C - P$

$C=2$  (twee componenten: AC en AZ)

$P=2$  (twee fasen: vloeistof, gas)

$DF=2+2-2 = 2$

Conclusie: wanneer de temperatuur en één fractie is gegeven ligt het systeem vast en zijn er geen vrijheidsgraden meer.

(b) [totaal: ]

Azijnzuur

Tabel B4: azijnzuur ( $A_{AZ} = 7.38782$ ,  $B_{AZ} = 1533.313$ ,  $C_{AZ} = 222.309$ ).

$$\log_{10}(p_{AZ}^*) = A_{AZ} - \frac{B_{AZ}}{T + C_{AZ}} = 7.38782 - \frac{1533.313}{100 + 222.309} = 2.631$$

$$p_{AZ}^* = 10^{2.631} = 427.11 \text{ mm Hg}$$

Aceton

$$\log_{10}(p_{AC}^*) = A_{AC} - \frac{B_{AC}}{T + C_{AC}} = 7.11714 - \frac{1210.595}{100 + 229.664} = 3.445$$

$$p_{AC}^* = 10^{3.445} = 2785.68 \text{ mm Hg}$$

De tabelwaarden voor acetone ( $A_{AC} = 7.11714$ ,  $B_{AC} = 1210.595$ ,  $C_{AC} = 229.664$ . (tabel B4)) gelden voor het temperatuurbereik van -12.9 tot 55.3 °C.

Aanname: de waarden kunnen ook gebruikt worden voor de hogere temperatuur.

(c) [totaal xx pt]

$$\text{Raoult voor acetone: } y_{AC}P = x_{AC}p_{AC}^* \quad (1)$$

$$\text{Raoult voor azijnzuur: } y_{AZ}P = x_{AZ}p_{AZ}^* \Rightarrow (1 - y_{AC})P = (1 - x_{AC})p_{AZ}^* \quad (2)$$

Dit zijn twee vergelijkingen met twee onbekenden ( $x_{AC}$  en  $P$ ). Elimineren van  $x_{AC}$

door (1) om te schrijven:  $x_{AC} = y_{AC} \frac{P}{p_{AC}^*}$ .

Invullen in (2) geeft

$$\begin{aligned}(1-y_{AC})P &= \left(1-y_{AC}\frac{P}{p_{AC}^*}\right)p_{AZ}^* \\ \Rightarrow (1-y_{AC})P &= p_{AZ}^* - y_{AC}\frac{p_{AZ}^*}{p_{AC}^*}P \\ \Rightarrow \left[(1-y_{AC}) + y_{AC}\frac{p_{AZ}^*}{p_{AC}^*}\right]P &= p_{AZ}^* \\ \Rightarrow P &= \frac{p_{AZ}^*}{\left[(1-y_{AC}) + y_{AC}\frac{p_{AZ}^*}{p_{AC}^*}\right]} = \frac{427.11}{\left[0.483 + 0.517\frac{427.11}{2785.68}\right]} = 759.6 \text{ mm Hg} \approx 1 \text{ atm}\end{aligned}$$

(d) [totaal xx pt]

$$x_{AC} = y_{AC}\frac{P}{p_{AC}^*} = 0.517\frac{759.62}{2785.68} = 0.141$$

(e) [totaal xx pt]

Materialbalansen

$$\text{Totaal: } \dot{n}_1 = \dot{n}_2 + \dot{n}_3$$

$$\text{AC: } 65 = 0.98\dot{n}_2 + 0.141\dot{n}_3$$

$$\begin{aligned}\text{Oplossen: } \dot{n}_2 &= 60.7 \text{ mol/s} \\ \dot{n}_3 &= 39.3 \text{ mol/s}\end{aligned}$$

(f) [totaal xx pt]

$$\begin{aligned}\dot{Q} - \dot{W} &= \Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_k + \Delta\dot{E}_p \\ \text{waarbij } \dot{W} &= 0, \Delta\dot{E}_k = 0, \Delta\dot{E}_p = 0 \\ \Rightarrow \dot{Q} &= \Delta\dot{H}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\dot{Q} = \Delta\dot{H} &= 0.98\dot{n}_2\Delta\hat{H}_{I,AC}(T = 56.8^\circ\text{C}) + 0.02\dot{n}_2\Delta\hat{H}_{I,AZ}(T = 56.8^\circ\text{C}) + \\ &+ 0.141\dot{n}_3\Delta\hat{H}_{I,AC}(T = 100^\circ\text{C}) + 0.859\dot{n}_3\Delta\hat{H}_{I,AZ}(T = 100^\circ\text{C}) + \\ &- 0.65\dot{n}_1\Delta\hat{H}_{I,AC}(T = 67.5^\circ\text{C}) - 0.35\dot{n}_2\Delta\hat{H}_{I,AZ}(T = 67.5^\circ\text{C}) \\ &= 17.273 \text{ kcal/s}\end{aligned}$$

In geval  $x_{AC} = 0.15$  is gebruikt, dan

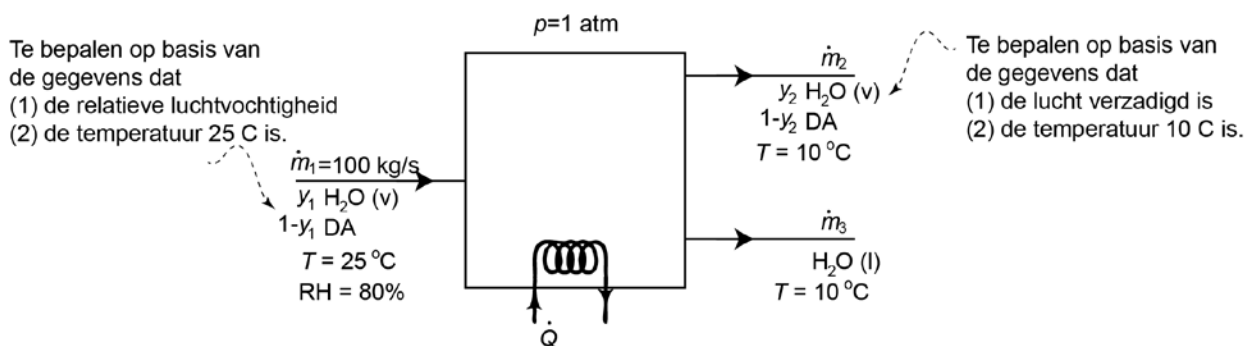
$$\dot{Q} = \Delta\dot{H} = 17.864 \text{ kcal/s}$$

(Referentie:  $T=56.8 \text{ C.}$ )

## Vraag 2 (xx pt)

In een airconditioner wordt een inkomende luchtstroom met een temperatuur van 25 °C en een relatieve luchtvochtigheid (RH) van 80% gekoeld bij een constante druk van 1 atm. Het massadebiet van deze inkomende stroom is  $\dot{m}_1=100 \text{ kg/s}$ . Twee stromen verlaten de airconditioner met een temperatuur van 10 °C: een luchtstroom met een massadebiet  $\dot{m}_2$  en een waterstroom met een massadebiet  $\dot{m}_3$ . De ingenieur die de airconditioner ontwerpt vraagt zich af hoe groot de warmtestroom  $\dot{Q}$  moet zijn voor dit proces.

(a) [totaal xx pt]



Variaties hierop zijn ook mogelijk, bijvoorbeeld de variatie dat de massafracties  $y_1$  en  $y_2$  reeds bepaald zijn.

(b) [totaal xx pt]

- 5 onbekenden ( $\dot{m}_2, \dot{m}_3, y_1, y_2, \dot{Q}$ )
- 2 onafhankelijke materiaalbalansen (droge lucht,  $\text{H}_2\text{O}$ )
- 1 energiebalans

2 extra gegevens voor berekening van  $y_1$  en  $y_2$  (RH, temperatuur voor ingangsstroom,  
0 vrijheidsgraden

---

(c) [totaal xx pt]

(d) [totaal xx pt]

Aflez van het psychrometrische diagram bij  $T=25$  C en HR = 80% geeft

Absolute luchtvochtigheid: kg H<sub>2</sub>O(v)/kg DA

Omrekenen:

1 kg DA bevat x kg H<sub>2</sub>O(v)

Dus  $y_1 = x \text{ kg H}_2\text{O(v)} / (1 + x) \text{ kg feed} = \text{kg H}_2\text{O(v)/kg feed}$

(e) [totaal xx pt]

Aflez van het psychrometisch diagram bij (T=25C, HR=80%) geeft

$\Delta \hat{H} = \text{xx} - \text{xx kJ/mol} = \text{xx kJ/mol}$

(let op de correctie)

(f) [totaal xx pt]

Aflez van het psychrometrisch diagram bij (T=10C, HR=100% (verzadigd))  
geef

Absolute humidity = xx kg H<sub>2</sub>O(v)/kg DA

$y_2 = x \text{ kg H}_2\text{O(v)} / (1 + x) \text{ kg feed} = 0.0077 \text{ kg H}_2\text{O(v)/kg feed}$

(g) [totaal xx pt]

DA:  $y_1 m_1 = \text{xxx} - \text{xx kJ/mol} = \text{xx kJ/mol}$

Beschouw nu de kg H<sub>2</sub>O(v)/kg. (xx pt)

- 5 Bereken de massadebiten van de uitgaande stromen ( $m_2$  en  $m_3$ ). (xx pt)
- 6 Bepaal de specifieke enthalpieën van de uitgaande stromen en bereken  $\dot{Q}$ . (xx pt)

### Vraag 3 (xx pt)

Een mengsel van 42.5 wt% MIBK, 20.0 wt% H<sub>2</sub>O en 37.5 wt% aceton vormt twee fasen wanneer het op evenwicht is bij 25°C.

- (a) Neem het driefasen diagram voor dit systeem over van pagina 274 en geef met een punt A de samenstelling aan van het homogene mengsel direct na stevig mengen. (xx pt)
- (b) Markeer de samenstelling (met B en C) van de fasen nadat het mengsel op evenwicht is gekomen. (xx pt)
- (c) Wat is de samenstelling van elk van de verschillende vloeistoffasen? (xx pt)

---

### Vraag 3 (7 pt)

