

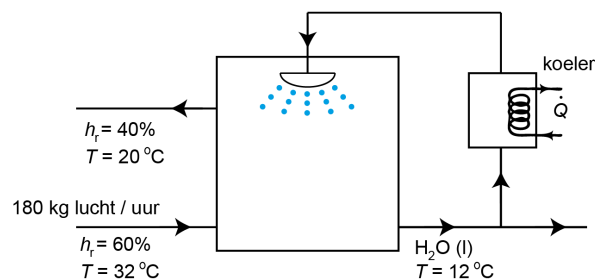
## PT-1 hertentamen, 13-08-2013, 9:00-12:00

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 (Leiden en Delft) 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 110 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 (20 pt)

Op een warme zomerdag heeft de lucht een temperatuur van 32 °C en een relatieve luchtvochtigheid van 60%. Veel mensen ervaren dit als onprettig en gebruiken een airconditioner om zowel de temperatuur als de relatieve luchtvochtigheid naar beneden te brengen naar 20 °C en 40%. Een collega overweegt om een airconditioner te kopen voor zijn kantoor; de airconditioner behandelt 180 kg lucht/uur. De airconditioner is van het type 'spray cooling', waarbij koud water bovenin de airconditioner wordt versproeid; vloeibaar water verlaat de airconditioner aan de onderkant met een temperatuur van 12 °C. Een deel van dit water wordt afgevoerd; de rest wordt gerecirculeerd en stroomt door een koeler voordat het weer versproeid wordt. Het proces is samengevat in onderstaand stromingsdiagram.



- a) Bepaal de massafractie van water in de inkomende luchtstroom en in de uitgaande luchtstroom; gebruik hiervoor het psychrometrisch diagram op pagina 385. (4 pt)

-- zie vervolg volgende pagina --

- b) Bereken het massadebiet van de uitgaande luchtstroom (in kg/uur) en van de waterstroom die het systeem verlaat. **(5 pt)**
- c) Stel een energiebalans op voor het totale systeem en bepaal  $\dot{Q}$ . Geef hierbij duidelijk aan welke referenties je gebruikt en leg uit hoe je aan de benodigde gegevens komt. **(11 pt)**

### Vraag 2 (20 pt)

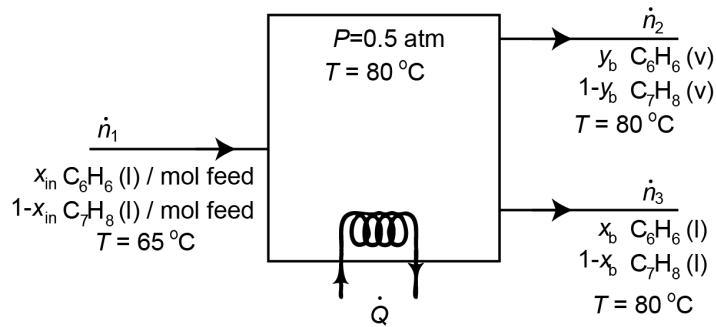
Ammoniakgas ( $\text{NH}_3(g)$ ) wordt een reactor ingepompt door een pijplijn. Deze pijp is aangesloten op een pomp, die in de kelder staat (12 meter onder de reactor). Aan de ingang van de pijp heeft de pijp een binnendiameter van 20 cm en het gas heeft een snelheid van 8 m/s en een temperatuur van 25 °C. Een warmtemantel rond de pijp zorgt ervoor dat het gas opwarmt, zodat het gas de reactor instroomt met een temperatuur van 80 °C. Vlak voor de ingang van de reactor heeft de pijp een binnendiameter van 10 cm en heeft het gas een onbekende snelheid. Voor de berekening mag je ervan uitgaan van een constante druk van 2 bar in de hele pijp.

- a) Bereken het massadebiet (in kg/s) onder de aanname dat de ideale gaswet gebruikt mag worden. **(5 pt)**
- b) Bereken de snelheid bij de ingang van de reactor en laat zien dat deze gelijk is aan 37.9 m/s. **(5 pt)**
- c) Bereken de benodigde warmtestroom (in kW). Start met een algemene energiebalans. **(4 pt)**
- d) In (a) heb je aangenomen dat  $\text{NH}_3(g)$  zich gedraagt als ideaal gas. Leg uit aan de hand van een berekening dat deze aanname gerechtvaardigd is. Geef hierbij duidelijk aan welke data je hebt opgezocht en waar. **(6 pt)**

### Vraag 3 (30 pt)

Een van de reststromen van een fabriek bevat een vloeistofmengsel van benzeen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) en toluen ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ) dat gescheiden moet worden. Dit wordt gedaan door de vloeistofstroom van 500 L/min die 45 wt% benzeen bevat toe te voeren aan een reactor. In de reactor wordt het mengsel opgewarmd en de druk wordt verlaagd, zodat een deel van de vloeistoffase verdampt. In de reactor zijn de damp en de vloeistoffase op evenwicht bij een temperatuur  $T = 80$  °C en een druk van  $P = 0.5$  atm. Het proces is samengevat in het stromingsdiagram op de volgende pagina.

-- zie vervolg volgende pagina --



Beschouw de *inkomende vloeistofstroom*

- Reken de gegeven massafractie van 0.45 wt% benzeen in de ingangsstroom om naar een molfractie en laat zien dat  $x_{in} = 0.49$ . Laat ook zien dat de gemiddelde molmassa van de inkomende stroom 85.25 g / mol is. **(5 pt)**
- Bereken het ingaande molaire debiet  $\dot{n}_1$  (in mol/min). Geef hierbij duidelijk aan welke informatie je hebt opgezocht en waar deze informatie vandaan komt. Leg ook uit welke aanname(s) je hebt gemaakt. **(6 pt)**

Beschouw nu de *reactor*

- Gebruik de faseregule van Gibbs om uit te leggen dat het systeem geen vrijheidsgraden heeft, wanneer de temperatuur en de druk van de reactor gegeven zijn. **(3 pt)**
- Gebruik Raoult's wet om af te leiden dat de molfractie van benzeen in de vloeistoffase,  $x_b$ , kan worden berekend op basis van de druk in de reactor en de dampspanning van benzeen en toluen volgens: **(3 pt)**

$$x_b = \frac{P - p_t^*}{p_b^* - p_t^*}$$

- Bepaal de dampspanning van benzeen en toluen. Toon daarna aan  $x_b = 0.19$  en  $y_b = 0.38$ . **(4 pt)**
- Schets het Txy-diagram voor de reactor bij een druk van 0.5 atm. Bereken hiervoor de kooktemperatuur voor de pure componenten en verbind deze punten met twee kromme lijnen (deze kromme lijnen mag je schetsen, dus je hoeft er geen berekening voor te doen). Geef in het diagram ook het punt aan waar de reactor opereert. **(6 pt)**

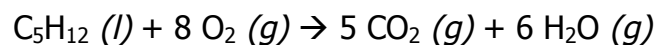
-- zie vervolg volgende pagina --

- g) Leg op basis van het fasediagram uit wat er met de molfracties gebeurt wanneer de temperatuur een klein beetje wordt verlaagd, terwijl de druk gelijk blijft. (3 pt)

#### Vraag 4 (40 pt)

In een Duitse autofabriek worden sportauto's ontworpen die voorzien zijn van een zware V8 motor. Tijdens de verbranding van de brandstof in de motor komt veel warmte vrij. De ontwerpers van de motor hebben een aantal chemisch technologen ingeroepen om de samenstelling en temperatuur van de uitlaatgassen te berekenen.

De motor gebruikt euro 95 als brandstof, maar voor het gemak nemen we aan dat we dit kunnen modelleren als pentaan ( $C_5H_{12}$ ). De vloeibare pentaan wordt op een temperatuur van 25 °C aan de motor toegevoerd en daar gemengd met 25% (stoichiometrische) overmaat lucht. Op topsnelheid verbruikt de motor 20 liter pentaan/uur. De lucht (20 mol%  $O_2$  en de rest  $N_2$ ) wordt uit de omgeving aangezogen en in een warmtewisselaar tot op 25 °C gebracht waarna de lucht de motor in stroomt. In de motor wordt pentaan volledig verbrand tot  $CO_2(g)$  en  $H_2O(g)$  volgens de volgende reactie:



Op topsnelheid levert de motor een vermogen van 150 MJ/uur. De koelinstallatie van de motor is ontworpen om 250 MJ/uur aan warmte af te voeren waardoor de uitstroomtemperatuur van motorgassen op  $T_{uit}$  kan blijven.

- Teken en label het stromingsdiagram voor de motor en de warmtewisselaar. (6 pt)
- Voer een vrijheidsgraden analyse uit voor de motor en laat zien dat het systeem oplosbaar is. Geef hierbij duidelijk aan welke parameters onbekend zijn en leg uit welke gegevens en relaties je gebruikt. (4 pt)

Beschouw nu *de motor* (op topsnelheid):

- Bereken de ingaande moldebieten (in mol/uur) van pentaan en van lucht. (6 pt)
- Stel de materiaalbalansen op. Bepaal vervolgens zowel de samenstelling als het moldebiet van het uitlaatgas. (7 pt)

Indien je de samenstelling niet kon berekenen in d), gebruik dan de volgende molfracties in het vervolg van de opgave:  $x_{CO_2} = 0.1$ ,  $x_{N_2} = 0.76$ ,  $x_{O_2} = 0.04$ ,  $x_{H_2O} = 0.1$ .

-- zie vervolg volgende pagina --

- e) Stel de energiebalans op voor de motor. Indien je termen verwaarloost leg uit waarom dat gerechtvaardigd is. (2 pt)

De ingenieurs willen nu de temperatuur van het uitlaatgas bepalen.

- f) Leg uit welke referenties de ingenieurs het best kunnen gebruiken. Gebruik deze referenties om vervolgens de specifieke enthalpie van de in- en uitstroom te berekenen met behulp van de  $C_p$ 's in onderstaande tabel. Laat hierbij de onbekende  $T_{uit}$  in symbolische vorm staan. (6 pt)
- g) Bepaal vervolgens  $\Delta\dot{H}$ . (6 pt)
- h) Toon aan dat de uitgaande temperatuur gelijk is aan  $T_{uit} = 586$  °C. (3 pt)

Tabel:  $C_p$  relaties voor verschillende componenten.  $T$  in °C

<b>C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> (l)</b>	<b>O<sub>2</sub> (g)</b>	<b>N<sub>2</sub> (g)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (g)</b>	<b>H<sub>2</sub>O (g)</b>
<b>kJ/mol °C</b>	<b>kJ/mol °C</b>	<b>kJ/mol °C</b>	<b>kJ/mol °C</b>	<b>kJ/mol °C</b>
$0.155 + 43.7 \cdot 10^{-5} T$	$0.029 + 1.16 \cdot 10^{-5} T$	$0.029 + 0.22 \cdot 10^{-5} T$	$0.036 + 4.23 \cdot 10^{-5} T$	$0.033 + 0.69 \cdot 10^{-5} T$

-- einde hertentamen --