



Voorbeeld-tentamen Chemische Procestechniek

Module: Chemische Procestechniek	Datum: wo 00-00-2001	Omvang: 5 opgaven op 2 bladzijden
Code: Md40	Tijd: 10.45 - 12.25	Bijlagen: -
Groepen: RC (3 ^e jr), MC, VC	Plaats: lok. 6	Hulpmiddelen: formulelijst (op bladzijde 2)
Docent: H. ten Horn		

Succes!

1 (18 punten)

Een stoichiometrisch mengsel van twee stoffen A en B wordt in een reactor gevoerd, nadat de stroom met een recirculatiestroom is gemengd. In de reactor vindt de volgende reactie plaats:
 $1,0 \text{ kg A} + 2,0 \text{ kg B} \rightarrow 3,0 \text{ kg A}_2\text{B}$

De omzettingsgraad van de enkelvoudige reactie bedraagt 0,80.

In een destillatiekolom wordt de stof A_2B volledig afgescheiden als residu. Het destillaat dat alleen uit de stoffen A en B bestaat vormt de recirculatiestroom die met de verse voeding wordt gemengd.

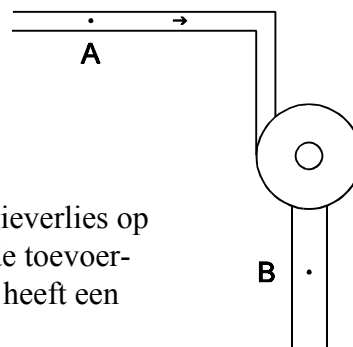
- Teken een blokschema waarin alle 'units' en stromen duidelijk zijn weergegeven.
- Bereken de massa van stof A in de recirculatiestroom per 100 kg gevormd product A_2B .

2 (20p)

Een turbine verwerkt een volumestroom water van 400 liter per minuut. De figuur geeft de opstelling schematisch weer. Het punt A in de toevoerleiding bevindt zich 2,0 m hoger dan het punt B in de buis onder de turbine. De druk bij A is 6,0 bar; de druk bij B is 1,6 bar.

Er treedt als gevolg van vloeistofwrijving naar schatting een energieverlies op van 25 joule per kg verplaatst water. De inwendige diameter van de toevoerleiding bedraagt 50 mm; die van de buis bij B is 15 cm. Het water heeft een dichtheid van 998 kg/m^3 .

- Toon met een berekening aan dat de stroomsnelheid van het water in de toevoerleiding $3,4 \text{ m/s}$ bedraagt.
- Bereken hoeveel vermogen de turbine levert als het mechanisch rendement van de turbine 85 % is.



3 (20p)

In een chemisch bedrijf destilleert men 2400 kg van een mengsel van azijnzuur en water, dat 10 massa-% azijnzuur bevat. De enkelvoudige destillatie wordt bij atmosferische druk uitgevoerd. De gemiddelde relatieve vluchtigheid bedraagt 1,83.

Na beëindiging van de destillatie bevat het residu nog 15 massa-% azijnzuur.

- Bereken de massa van het residu.
- Bereken de gemiddelde samenstelling van het destillaat (massa-% azijnzuur).

4 (20p)

Een mengsel van benzeen en toluen wordt discontinu geredificeerd.

Gegeven een bodemsamenstelling van 60 mol-% benzeen wenst men een destillaat met een samenstelling van ten minste 96 mol-% te verkrijgen.

De relatieve vluchtigheid is 2,55.

- Bereken hoeveel schotels vereist zijn als de ingestelde refluxverhouding 4,0 is.
- Bereken de samenstelling van de damp die opstijgt uit de kookkolf.

5 (22p)

Voor het verwarmen van een ketelinstallatie wordt een steenkoolsoort gebruikt die de volgende samenstelling heeft:

- 3,0 massa-% water,
- 24 massa-% vluchtige bestanddelen (koolwaterstoffen),
- 66 massa-% vaste koolstof (ongebonden),
- 7,0 massa-% as en
- 86 massa-% koolstof, gebonden en ongebonden.

De steenkool wordt verbrand, de verbrandingsresten worden met water getransporteerd en na analyse blijkt dit materiaal te bevatten:

30 massa-% H₂O, 15 massa-% koolstof en de rest is as.

De rookgas-analyse van droog rookgas levert:

14 volume-% CO₂, 5 volume-% O₂ en geen CO, rest N₂.

- Bereken hoeveel massa-procent van de koolstof wordt verbrand.
- Hoeveel steenkool is nodig per 100 kmol droog rookgas?
- Bereken de luchtvermaat in %.

Formules

$$Yield = \frac{\text{gevormde hoeveelheid gewenst product (mol)}}{\text{hoeveelheid begrenzende stof in de voeding (mol)}}$$

$$Selectiviteit = \frac{\text{gevormde hhd. gewenst product (mol)}}{\text{gereageerde hhd. begrenzende stof (mol)}}$$

$$Luchtfactor = \frac{\text{toegevoerde hhd. lucht (O}_2\text{) (mol)}}{\text{theoretische hhd. lucht (O}_2\text{) (mol)}}$$

$$\phi_m = C \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p}{1 - (A_0 / A_1)^2}} \quad \phi_m = C_R \cdot (A_1 - A_v) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot V_v \cdot (\rho_v - \rho) \cdot g}{A_v}} \quad \phi_v = 0,59 \cdot b \cdot \sqrt{g \cdot h^3}$$

$$\phi_v = 0,32 \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h^5} \quad {}^{10} \log p = A - \frac{B}{T+C} \quad \frac{Y}{1-Y} = \alpha \cdot \frac{X}{1-X} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{X} - 1 = \alpha \cdot \left(\frac{1}{Y} - 1 \right)$$

$$\ln \frac{p_{d,B}}{p_{d,A}} = \frac{90 \cdot (T_A + T_B) \cdot (T_A - T_B)}{2 \cdot 8,314 \cdot T_A \cdot T_B} \quad \ln \frac{M_1}{M_0} = \frac{1}{\alpha - 1} \cdot \left(\ln \frac{X_1}{X_0} - \alpha \cdot \ln \frac{1 - X_1}{1 - X_0} \right) \quad Y = \frac{R}{R+1} \cdot X + \frac{1}{R+1} \cdot X_D$$

Uitwerkhulp bij het voorbeeld-tentamen Chemische Procestechiek

1

- a. Zie figuur 4.5.1 in het boek. Vervang "Afscheider" door "Destillatiekolom".
 b. Stel, uitgaand van 100 kg product, enige massabalansen op.

Totale massabalans over de reactor:

$$m_2 = m_3 \text{ of } m_2 = 0,20 \cdot m_2 + 100 \Rightarrow m_2 = 125 \text{ kg}, m_3 = 125 \text{ kg} \quad (\text{omzetting: } 0,80 m_2 = 100)$$

Totale massabalans over de destillatiekolom:

$$m_3 = m_4 + m_5 \quad 125 = 100 + m_5 \Rightarrow m_5 = 25 \text{ kg}$$

In de stromen 1, 2, 3 en 5 is $m_A/m_B = 0,50$, zodat $m_{5,A} = 25/3 = 8,3 \text{ kg}$ per 100 kg gevormd product.

2

a. $v_A = \phi_A/A_A = (400 \cdot 10^{-3} / 60) / [\pi \cdot (1/2 \cdot 50 \cdot 10^{-3})^2] = 3,395 = 3,4 \text{ m/s}$

b. $\phi_A = \phi_B \Rightarrow v_A \cdot A_A = v_B \cdot A_B$ Invullen levert $v_B = 0,377 \text{ m/s}$

Overgedragen mechanische energie per volume-eenheid:

$$|\Delta E_{\text{mech}} / V| = p_A - p_B + 1/2 \cdot \rho \cdot (v_A^2 - v_B^2) + \rho \cdot g \cdot (h_A - h_B)$$

$$= (6,0 - 1,6) \cdot 10^5 + 1/2 \cdot 998 \cdot (3,395^2 - 0,377^2) + 998 \cdot 9,8 \cdot 2,0 = 4,652 \cdot 10^5 \text{ J/m}^3$$

Omgezet in warmte: $25 \text{ J/kg} \hat{=} 25 \cdot 998 = 24950 \text{ J/m}^3$. Beschikbaar: $4,652 \cdot 10^5 - 24950 = 4,403 \cdot 10^5 \text{ J/m}^3$

$$P_{\text{turbine, in}} = 4,403 \cdot 10^5 \cdot \phi_v = 4,403 \cdot 10^5 \cdot 0,400 / 60 = 2935 \text{ W}$$

$$P_{\text{turbine, uit}} = \eta \cdot P_{\text{in}} = 0,85 \cdot 2935 = 2495 = 2,5 \cdot 10^3 \text{ W}$$

3

- a. in:

Mengsel: 2400 kg
 water: 2160 kg $\hat{=} 120 \text{ kmol}$
 azijnz.: 240 kg $\hat{=} 4,00 \text{ kmol}$
 mengsel: 124 kmol

$$\alpha = 1,83$$

uit:

Destillaat
 Residu
 water: 85 % (m/m)
 azijnz.: 15 % (m/m)

De vluchtigste component is water. Gebruik van $\ln(M_1/M_0) = (\alpha - 1)^{-1} \cdot [\ln(X_1/X_0) - \alpha \cdot \ln((1-X_1)/(1-X_0))]$ met $X_0 = 120/124 = 0,9677$ en $X_1 = (85/18) / (85/18 + 15/60) = 0,9497$ levert $M_1 = 45,56 \text{ kmol}$ residu, waarin $0,9497 \cdot 45,56 = 43,27 \text{ kmol}$ water $\hat{=} 779,7 \text{ kg}$ en $45,56 - 43,27 = 2,29 \text{ kmol}$ azijnzuur $\hat{=} 137,6 \text{ kg}$.

$$\Rightarrow m_{\text{residu}} = 917,3 = 9,2 \cdot 10^2 \text{ kg}$$

- b. Destillaat: $m_{\text{totaal}} = 2400 - 917,3 = 1482,7 \text{ kg}$; $m_{\text{azijnzuur}} = 240 - 137,6 = 102,4 \text{ kg} \hat{=} 6,91 = 6,9 \% (m/m)$

4

a. Evenwichtslijn: $Y = \alpha X / (1 + (\alpha - 1) \cdot X) \Rightarrow X = 1 / (2,55/Y - 1,55)$

Werklijn: $Y = (R/(R+1)) \cdot X + (1/(R+1)) \cdot X_D = 0,80 \cdot X + 0,192$

De damp die opstijgt van schotel 1, heeft dezelfde samenstelling als het destillaat en is in evenwicht met de vloeistof op schotel 1 met samenstelling X_1 . X_1 is dus met behulp van de vergelijking voor de evenwichtslijn uit Y_1 te berekenen. Zie de tabel. De vloeistof met samenstelling X_1 passeert in neerwaartse richting de opstijgende damp met samenstelling Y_2 . De (vergelijking van de) werklijn legt verband tussen de samenstellingen van deze stromen, zodat Y_2 te berekenen is. Enzovoort.

$X_3 = 0,67 > 0,60$ en $X_4 = 0,51 < 0,60$ betekent dat er vier schotels inclusief het kookvat vereist zijn.

- b. $X_4 = 0,60 \quad Y_4 = \alpha X_4 / (1 + (\alpha - 1) \cdot X_4) = 2,55 \cdot 0,60 / (1 + (2,55 - 1) \cdot 0,60) = 0,7927 = 0,79$

Schotel	Y_i	X_i
1	0,96	0,9040
2	0,9152	0,8088
3	0,8390	0,6715
4	0,7292	0,5136

5

- a. Neem een basismassa: 100 kg steenkool. 100 kg steenkool bevat onder andere 86 kg koolstof en 7,0 kg as. De as vind je terug in de verbrandingsresten. De massa verbrandingsresten bedraagt: $7,0 / 0,55 = 12,73 \text{ kg}$, waarin $0,15 \cdot 12,73 = 1,909 \text{ kg C}$. Niet verbrand wordt: $(1,909 / 86) \cdot 100 \% = 2,22 \%$ van 86 kg C. Er wordt dus $97,78 = 97,8 \% (m/m)$ koolstof verbrand.

- b. Verbrande koolstof: $86 - 1,909 = 84,09 \text{ kg} \hat{=} 7,008 \text{ kmol}$. Deze hoeveelheid koolstof zit in $7,008 / 0,14 = 50,05 \text{ kmol}$ droog rookgas. Voor 100 kmol droog rookgas is $(100 / 50,05) \cdot 100 = 199,8 = 2,0 \cdot 10^2 \text{ kg}$ steenkool nodig.

- c. De toegevoerde hoeveelheid zuurstof O_2 (Z in kmol) volgt uit een stikstofbalans (N_2):

$$(79 / 21) \cdot Z = (1,00 - 0,14 - 0,05) \cdot 50,05 \Rightarrow Z = 10,78 \text{ kmol } O_2$$

100 kg steenkool bevat $100 - 3,0 - 7,0 - 86 = 4 \text{ kg H}$ in de koolwaterstoffen en 86 kg C. Voor 86 kg C $\hat{=} 7,17 \text{ kmol C}$ is 7,17 kmol O_2 nodig, voor 4 kg H $\hat{=} 4 \text{ kmol H}$ nog 1,0 kmol. $\Rightarrow Z_{\text{theoretisch}} = 8,17 \text{ kmol } O_2$

Luchtfactor = $Z / Z_{\text{theoretisch}} = 10,78 / 8,17 = 1,32$ De luchtvermaat bedraagt $0,32 = 32 \%.$