

PT-1 toets 3, 17-05-2013, 8:45-10:30

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
- 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!
- Je kunt in totaal 90 punten halen. De punten zijn per vraag en per subvraag aangegeven, verdeel je tijd goed
- Het is toegestaan om 1 handgeschreven A4 met formules bij de toets te gebruiken, andere bronnen zijn niet toegestaan

Vraag 1 (20 pt)

In de polders van Noord Holland kan methaan (CH_4) worden gewonnen door water uit de bodem op te pompen. Dit water bevat het zogenaamde 'moerasgas', wat voor het grootste deel uit methaan bestaat. Het water wordt opgepompt van een diepte van 30 meter. Door het water te versproeien onder een kap komt het methaangas vrij en kan het worden opgevangen. Een boer overweegt om op deze manier zelf aardgas te winnen en vraagt zich af hoeveel liter water hij per minuut moet oppompen om te voldoen aan zijn dagelijkse behoefte om zijn huis te verwarmen, te koken en te douchen. Gegeven: gemiddeld aardgasverbruik van een Nederlands gezin: 1800 Nm^3 (1 atm en 20°C) per jaar (=365 dagen).

- a) Geef de algemene vorm van de mechanische energiebalans. Ga ervan uit dat je de verandering van kinetische energie mag verwaarlozen en bepaal de druk van water op 30 meter diepte. **(6 pt)**
- b) Ga ervan uit dat het water op 30 meter diepte verzadigd is met puur methaangas. Gebruik de wet van Henry om de fractie methaan te bepalen van dit water. Gegeven: de Henry coëfficiënt is $H_a=37600 \text{ atm}$. **(6 pt)**
- c) Onder de aanname dat al het methaan dat opgelost is in water kan worden opgevangen onder de kap, bereken het benodigde waterdebiet (in liter/minuut). **(8 pt)**

-- zie vervolg volgende pagina --

Vraag 2 (45 pt)

In een chemische fabriek ontstaat een reststroom van toluen en benzeen. Dit vloeistofmengsel moet worden gescheiden om het verder te kunnen gebruiken. Een ingenieur stelt het volgende continue éénstaps scheidingsproces voor: het vloeistofmengsel met een temperatuur van 20°C wordt door een vat heen gepompt. In het vat heerst een druk van $P = 0.65$ atm. Een onbekende hoeveelheid warmte wordt toegevoegd aan het vat, zodat het vat een constante temperatuur heeft van 80°C. De gasfase en de vloeistoffase in het vat zijn met elkaar in evenwicht. De gasfase verlaat het vat aan de bovenkant en de vloeistoffase verlaat het vat aan de onderkant. Beide uitgangstromen bevatten zowel benzeen als toluen. Ga ervan uit dat de temperatuur en druk van deze uitgaande stromen hetzelfde is als de temperatuur en druk in het vat.

- Het ingaande vloeistofmengsel bestaat voor 40 mol % uit toluen en voor 60 mol % uit benzeen. Neem als basis 1 mol/s van dit ingaande vloeistofmengsel. Teken en label het stromingsdiagram. (10 pt)
- Voer een vrijheidsgradenanalyse uit. Leg uit of alle onbekenden van dit systeem kunnen worden bepaald, zonder de berekening zelf te doen. (N.B. vergeet de warmte niet) (10 pt)
- Ga ervan uit dat Raoult's wet opgaat voor dit systeem. Laat zien dat de molfractie van benzeen in de uitgaande vloeistofstroom afhangt van de dampdrukken van benzeen en toluen en van de absolute druk volgens onderstaande relatie. (N.B. gebruik Raoult voor beide componenten) (10 pt)

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

- Ga ervan uit dat de dampdruk van toluen en benzeen kan worden uitgerekend met de vergelijking van Antoine: $\log_{10} p^* = A - \frac{B}{T + C}$ waarbij de druk en temperatuur respectievelijk zijn uitgedrukt in mm Hg en °C. Gebruik onderstaande gegevens om beide dampdrukken te berekenen. (3 pt).

	A	B	C
Benzene	6.893	1203.53	219.89
Toluene	6.959	1346.77	219.69

- Bereken de mol debieten en de samenstelling van de uitgaande stromen. (7 pt)

-- zie vervolg volgende pagina --

- f) Een collega van de ingenieur vraagt zich af of dit scheidingsproces werkt voor iedere willekeurige druk.
Schets een druk-molfractie diagram met de damp- en vloeistoflijnen voor het benzeen-tolueen mengsel.
Laat aan de hand hiervan zien dat als de druk boven een maximum druk p_{\max} er alleen nog maar een uitgaande vloeistofstroom is, en beneden een minimumdruk alleen nog maar een dampstroom. Geef deze drukken aan in de schets. **(5 pt)**

Vraag 3 (25 pt)

Een technicus ontwerpt het koelingsstelsel van een laser. De laser produceert 2500 kW aan warmte die afgevoerd moet worden via dit koelstelsel. Door de leidingen van het koelstelsel stroomt cyclohexaan. Deze koelvloeistof stroomt het koelstelsel binnen met een debiet van N mol/s en heeft dan een temperatuur van 20°C. De druk aan de ingang van het koelstelsel is 10 bar. De koelvloeistof warmt op terwijl het door de buizen van het koelstelsel stroomt om het koelstelsel te verlaten met een temperatuur van 60°C. De druk aan de uitgang is 1 bar. Alle benodigde data om deze som op te lossen is gegeven aan het eind van deze som op de volgende pagina.

- a) Schrijf een hypothetisch pad op voor dit koelproces. Leg hierbij uit waarom je voor dit pad kiest. Geef ook aan welke referentie(s) je gebruikt. **(6 pt)**
- b) Bepaal de specifieke enthalpieverandering $\Delta\hat{H}$ (in kJ/mol) voor dit koelproces. **(8 pt)**
- c) Schrijf de algemene energiebalans voor dit stelsel op. Versimpel vervolgens deze energiebalans. Leg hierbij uit welke termen verwaarloosd kunnen worden en waarom. **(5 pt)**
- d) Gebruik de antwoorden in b) en c) om het benodigde moldebiet N uit te rekenen. **(3 pt)**

Het bovenstaande koelproces is gebaseerd op het verhogen van de temperatuur van cyclohexaan. Een collega van de technicus stelt dat de druk van 10 bar aan de ingang nadelig is en dat de koeling beter op lagere druk kan werken. Stel nu dat de druk aan de ingang 1 bar is en dat het moldebiet hetzelfde is als in (d), dan zal de temperatuur van cyclohexaan aan de uitgang lager zijn dan 60°C.

- e) Zonder een volledige berekening te doen: schat af hoeveel graden de temperatuur van cyclohexaan aan de uitgang onder de 60°C is. Motiveer je antwoord. **(3 pt)**

-- zie vervolg volgende pagina --

Table B.1 Selected Physical Property Data^a

Compound	Formula	Mol. Wt.	SG (20°/4°)	$T_m(^{\circ}\text{C})^b$	$\Delta\hat{H}_m(T_m)^{c,j}$ kJ/mol	$T_b(^{\circ}\text{C})^d$	$\Delta\hat{H}_v(T_b)^{c,j}$ kJ/mol	$T_c(\text{K})^f$	$P_c(\text{atm})^g$	$(\Delta\hat{H}_f^{\circ})^{h,j}$ kJ/mol	$(\Delta\hat{H}_c^{\circ})^{i,j}$ kJ/mol
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.16	0.779	6.7	2.677	80.7	30.1	553.7	40.4	-156.2(l) -123.1(g)	-3919.9(l) -3953.0(g)

Table B.2 Heat Capacities^a

Compound	Formula	Mol. Wt.	State	Form	Temp. Unit	$a \times 10^3$	$b \times 10^5$	$c \times 10^8$	$d \times 10^{12}$	Range (Units of T)
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.16	g	1	°C	94.140	49.62	-31.90	80.63	0-1200

Form 1: $C_p[\text{kJ}/(\text{mol}\cdot^{\circ}\text{C})]$ or $[\text{kJ}/(\text{mol}\cdot\text{K})] = a + bT + cT^2 + dT^3$
 Form 2: $C_p[\text{kJ}/(\text{mol}\cdot^{\circ}\text{C})]$ or $[\text{kJ}/(\text{mol}\cdot\text{K})] = a + bT + cT^{-2}$
Example: $(C_p)_{\text{acetone(g)}} = 0.07196 + (20.10 \times 10^{-5})T - (12.78 \times 10^{-8})T^2 + (34.76 \times 10^{-12})T^3$, where T is in °C.
Note: The formulas for gases are strictly applicable at pressures low enough for the ideal gas equation of state to apply.

-- einde toets --