

IPT hertentamen - 03-07-2015, 9:00-12:00

Cursus: 4051IPTECY Inleiding ProcesTechnologie
Docenten: F. Kapteijn & V. van Steijn

- Lees elke vraag *volledig* door voordat je aan (a) begint.
 - Schrijf op elk blad 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.
 - Je kunt in totaal **59** punten halen. De punten zijn per vraag en per deelvraag aangegeven, verdeel je tijd goed.
 - Het is alleen toegestaan om een rekenmachine en een handgeschreven A4-tje te gebruiken, andere zaken zoals het boek zijn niet toegestaan.
 - Smartphones dienen uitgezet te zijn.
-

Let op: Op de laatste pagina staan tabellen die je nodig hebt voor het oplossen van de vragen.

Vraag 1 (4 pt) Definities

Leg uit wat de volgende algemene begrippen betekenen:

- (a) "Triangular phase diagram"; teken er ook een. (**1pt**)
- (b) "Compressibility factor" ; geef ook een formule. (**1 pt**)
- (c) "Pseudocritical pressure"; en leg uit waarvoor je deze kunt gebruiken. (**1 pt**)
- (d) "Subcooled liquid" (**1 pt**)

Vraag 2 (12 pt) Synthese van methylchloride

Methylchloride (CH_3Cl) wordt verkregen door methaan (CH_4) en chloor (Cl_2) te laten reageren. Hierbij ontstaat ook HCl . Gevormd methylchloride kan vervolgens verder reageren met chloor waarbij methyleenchloride (CH_2Cl_2) vormt, samen met chloroform en tetrachloormethaan. Laat in deze opgave de chloroform en tetrachloormethaan buiten beschouwing.

Voor het productieproces worden 3 units gebruikt: een reactor, een condensor en een absorptiekolom. Het proces ziet er als volgt uit:

Een gasstroom (stroom ① \dot{n}_1) met methaan en chloor wordt toegevoerd aan het proces. Maar voordat stroom ① de reactor binnenstroomt wordt deze gecombineerd met een recycle stroom (stroom ②) met daarin HCl (g) en CH_4 (g).

-- vervolg op volgende pagina --

De gecombineerde stroom (stroom ②) bevat 80 mol% CH₄ en stroomt de reactor binnen. In de reactor is de "single pass conversion" voor chloor 100%. De gasstroom (stroom ③) die de reactor verlaat bevat verwaarloosbare hoeveelheden chloroform en tetrachloormethaan. De mol verhouding CH₃Cl en CH₂Cl₂ in deze stroom is 5 op 1.

Stroom ③ wordt naar een condensor geleid. De vloeistofstroom die de condensor verlaat (stroom ④) bevat al het binnengekomen CH₃Cl en CH₂Cl₂, maar geen andere componenten. De gasstroom die de condensor verlaat (stroom ⑤) bevat 15 mol% HCl en de rest CH₄. Deze gasstroom wordt naar een absorptiekolom geleid. In deze kolom wordt de gasstroom in contact gebracht met een inkomende vloeistof (stroom ⑥ $\dot{n}_6 = 20$ kmol/h). Deze vloeistof ("vloeistof A") en het gas komen op evenwicht in de absorber bij een temperatuur van 60°C en een druk van 1 atm, waardoor een deel van de HCl de absorber verlaat via de uitgaande vloeistofstroom (stroom ⑧) en de fractie HCl in deze stroom 1 mol% is. De vloeistof in de absorber verdampt niet, zodat de rest van ingekomen HCl de reactor verlaat via de gasuitgang van de absorber samen met de CH₄. Deze uitgaande stroom wordt teruggeleid naar de reactor als de eerder genoemde recyclestroom (stroom ⑦).

- (a) Teken een simpel procesdiagram en zet daarin alle gegevens die bekend zijn uit bovenstaande beschrijving. (5 pt)
- (b) Voer een complete vrijheidsgradenanalyse uit voor het hele proces én over de reactor, de condensor en de absorber elk apart; benoem daarbij expliciet: welke parameters onbekend zijn, welke balansen je gebruikt, welke extra relaties je gebruikt en hoe je deze extra relaties kunt gebruiken om een onbekende te bepalen. Leg op basis van deze analyse uit welke subsystemen achtereenvolgens te analyseren om alle onbekenden op te lossen. (7 pt)

Vraag 3 (11 pt) Een verfrissend drankje

Het is erg warm en je hebt zin in een verfrissende Campari. De fles die je hebt is echter op kamertemperatuur (28 °C), terwijl de ideale drinktemperatuur 4 °C is. Je beschikt gelukkig over ijsblokjes met een enthalpie van -348 kJ/kg (ten opzichte van vloeibaar water bij het tripelpunt). Om je drankje niet te veel te verdunnen wil je precies de hoeveelheid ijs (m_1) toevoegen aan 8 oz Campari (m_2) die nodig is om na smelten het drankje op 4 °C te krijgen (m_3). Bepaal de minimale hoeveelheid ijs die nodig is aan de hand van onderstaande vragen.

Belangrijk: Voor Campari kun je de eigenschappen van water gebruiken, het effect van roeren en warmteuitwisseling met de omgeving mag verwaarloosd worden. Gebruik verder de volgende gegevens:

$$\Delta\hat{H}_m(0\text{ °C}) = 6.0095\text{ kJ/mol} \qquad C_p(\text{ice}) = 2.06\text{ J g}^{-1}\text{K}^{-1}$$

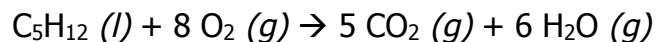
-- vervolg op volgende pagina --

- (a) Teken een simpel procesdiagram en zet daarin alle gegevens die bekend zijn uit bovenstaande beschrijving. **(2 pt)**
- (b) Maak een tabel met massa's en enthalpieën en geef de massa- en energiebalans in formulevorm. **(4 pt)**
- (c) Bereken hoeveel gram ijsblokjes je nodig hebt voor een optimaal drankje. **(2 pt)**
- (d) Hoe koud was het ijs? Heb je een aanname gemaakt? **(3 pt)**

Vraag 4 (32 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} , gegevens pentaan uit tabel B1 staan op de pagina met extra informatie). De vloeibare pentaan wordt op een temperatuur van $25\text{ }^\circ\text{C}$ aan de motor toegevoerd en daar gemengd met 20% (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 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 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.

- a) Teken en label het stromingsdiagram voor de motor en warmtewisselaar. **(4 pt)**
- b) 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)

- c) Bereken de ingaande moldebieten (in mol/uur) van pentaan en van lucht. **(3 pt)**
- d) Stel de materiaalbalansen op. Bepaal vervolgens zowel de samenstelling als het moldebiet van het uitlaatgas. **(7 pt)**

-- vervolg op volgende pagina --

Indien je de samenstelling niet kon berekenen in d), gebruik dan de volgende molfracties in het vervolg van de opgave: $x_{\text{CO}_2} = 0.10$, $x_{\text{N}_2} = 0.75$, $x_{\text{O}_2} = 0.03$, $x_{\text{H}_2\text{O}} = 0.12$.

- e) Stel de energiebalans op voor de motor. Indien je termen verwaarloost leg uit waarom dat gerechtvaardigd is. Leg vervolgens uit welke referentie conditie(s) 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. **(5 pt)**
- f) Bepaal $\Delta\dot{H}$. **(6 pt)**
- g) Toon aan dat de uitgaande temperatuur gelijk is aan $T_{\text{uit}} = 606$ °C. **(3 pt)**

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

C₅H₁₂ (l)	O₂ (g)	N₂ (g)	CO₂ (g)	H₂O (g)
kJ/mol °C	kJ/mol °C	kJ/mol °C	kJ/mol °C	kJ/mol °C
$0.155 + 43.7 \cdot 10^{-5} T$	$0.029 + 1.16 \cdot 10^{-5} T$	$0.029 + 0.22 \cdot 10^{-5} T$	$0.036 + 4.23 \cdot 10^{-5} T$	$0.033 + 0.69 \cdot 10^{-5} T$

--- einde hertentamen, tabellen op volgende pagina ---

FACTORS FOR UNIT CONVERSIONS

Quantity	Equivalent Values
Mass	1 kg = 1000 g = 0.001 metric ton = 2.20462 lb _m = 35.27392 oz 1 lb _m = 16 oz = 5 × 10 ⁻⁴ ton = 453.593 g = 0.453593 kg
Length	1 m = 100 cm = 1000 mm = 10 ⁶ microns (μm) = 10 ¹⁰ angstroms (Å) = 39.37 in. = 3.2808 ft = 1.0936 yd = 0.0006214 mile 1 ft = 12 in. = 1/3 yd = 0.3048 m = 30.48 cm
Volume	1 m ³ = 1000 L = 10 ⁶ cm ³ = 10 ⁶ mL = 35.3145 ft ³ = 219.97 imperial gallons = 264.17 gal = 1056.68 qt 1 ft ³ = 1728 in. ³ = 7.4805 gal = 0.028317 m ³ = 28.317 L = 28,317 cm ³
Force	1 N = 1 kg·m/s ² = 10 ⁵ dynes = 10 ⁵ g·cm/s ² = 0.22481 lb _f 1 lb _f = 32.174 lb _m ·ft/s ² = 4.4482 N = 4.4482 × 10 ⁵ dynes
Pressure	1 atm = 1.01325 × 10 ⁵ N/m ² (Pa) = 101.325 kPa = 1.01325 bar = 1.01325 × 10 ⁶ dynes/cm ² = 760 mm Hg at 0°C (torr) = 10.333 m H ₂ O at 4°C = 14.696 lb _f /in. ² (psi) = 33.9 ft H ₂ O at 4°C = 29.921 in. Hg at 0°C
Energy	1 J = 1 N·m = 10 ⁷ ergs = 10 ⁷ dyne·cm = 2.778 × 10 ⁻⁷ kW·h = 0.23901 cal = 0.7376 ft·lb _f = 9.486 × 10 ⁻⁴ Btu
Power	1 W = 1 J/s = 0.23901 cal/s = 0.7376 ft·lb _f /s = 9.486 × 10 ⁻⁴ Btu/s = 1.341 × 10 ⁻³ hp

Example: The factor to convert grams to lb_m is $\left(\frac{2.20462 \text{ lb}_m}{1000 \text{ g}}\right)$.

Eigenschappen pentaan en water

Table B.1 Selected Physical Property Data^a

Compound	Formula	Mol. Wt.	SG (20°/4°)	T _m (°C) ^b	ΔĤ _m (T _m) ^{c,j} kJ/mol	T _b (°C) ^d	ΔĤ _v (T _b) ^{c,j} kJ/mol	T _c (K) ^f	P _c (atm) ^g	(ΔĤ _v) ^{h,j} kJ/mol	(ΔĤ _c) ^{i,j} kJ/mol
n-Pentane	C ₅ H ₁₂	72.15	0.6318 ^e	-129.6	8.393	36.07	25.77	469.80	33.3	-173.0(l) -146.4(g)	-3509.5(l) -3536.1(g)
Water	H ₂ O	18.016	1.00 ^e	0.00	6.0095	100.00	40.656	647.4	218.3	-285.84(l) -241.83(g)	— —