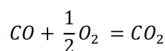


Øving 10

1

Gassen fra en motor inneholder 3,4 volum% karbonmonoksid (CO) som vil bli oksidert i et forbrenningskammer. Reaksjonen er:

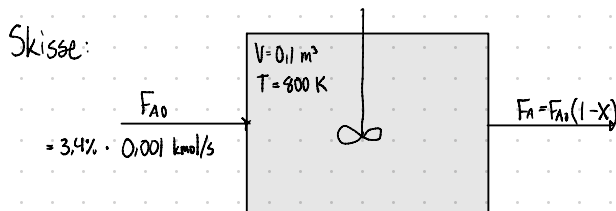


Med et stort overskudd av oksygen kan reaksjonen betraktes som en pseudo 1. grad reaksjon. Reaksjonshastigheten kan uttrykkes ved ligningen:

$$-r_{CO} = 5,56 \cdot 10^{13} e^{(-25000/T)} C_{CO} \text{ [kmol/m}^3\text{s]}$$

Forbrenningskammeret, som har et volum på 0,1 m³, kan betraktes som en ideell omrørt tankreaktor (CSTR). Reaksjonen er eksoterm med en maksimal adiabatisk temperaturøkning på $\Delta T_{\max} = 300 \text{ K}$. Molar gass-strømningshastighet i føden er 0,001 kmol/s. Spesifikk varme for gassblandingen kan betraktes som konstant. Forandringen i volumetrisk gass-strømningshastighet som følge av endringen i antall mol i reaksjonen er ubetydelig. Reaksjonsentalpien er $\Delta H_{rx} = -10000 \text{ kJ/mol}$ og kan antas å være uavhengig av temperatur. Anta en konstant varmekapasitet for gassblandingen.

1. Beregn omsetningsgraden i forbrenningskammeret når temperaturen holdes konstant ved 800K. Tips: Bruk molarvolumet (22,42 liter) ved STP (0°C og P = 1 atm) for å finne volumstrømmen ut av reaktoren.



Fra designlikningen til CSTR:

$$-r_A = \frac{F_{A0} X}{V} \Rightarrow X = \frac{-r_A \cdot V}{F_{A0}}$$

$$-r_A = 5,56 \cdot 10^{13} \cdot e^{(-25000/800)} \cdot C_A = 1,49 \cdot C_A$$

$$\Rightarrow X = \frac{1,49 C_A V}{F_{A0}}$$

$$(v_v = \text{volumstrøm}) \quad C_A = \frac{F_A}{v_v} = \frac{F_{A0}(1-X)}{v_v}$$

Antar ideell gasslov, ved lik molstrøm og trykk, er $\frac{nR}{p}$ konstant

$$\text{da er også } \frac{V}{T} = \frac{V^0}{T^0} \Rightarrow V = T \cdot \frac{V^0}{T^0}$$

$$\text{Hvis } \dot{n} = 0,001 \text{ kmol/s} = 1 \text{ mol/s} \Rightarrow V^0 = 22,42 \text{ L/s} = 0,02242 \text{ m}^3/\text{s}$$

↑
gitt i oppgaven

$$V = 800 \text{ K} \cdot \frac{0,02242 \text{ m}^3/\text{s}}{273 \text{ K}} = 0,0657 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Rightarrow X = \frac{1,49 \cdot F_{A0} (1-X) \cdot V}{F_{A0} \cdot V} \Rightarrow X \left(1 + \frac{1,49 \cdot V}{V} \right) = \frac{1,49 \cdot V}{V}$$

↑
 $C_A = \frac{F_{A0}(1-X)}{V}$

$$X = \frac{1,49 \cdot V}{V \left(1 + \frac{1,49 \cdot V}{V} \right)} = \frac{1,49 \cdot \frac{1}{\text{s}} \cdot 0,1 \text{ m}^3}{0,0657 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(1 + \frac{1,49 \cdot 0,1}{0,0657} \right)} = 0,693$$

2

Hva blir omsetningen når fødetemperaturen er 710 K?

Trenger varmekapasiteten.

Dersom $\Delta T = 300 \text{ K}$ er maks temperaturstigning, må dette tilsvare $X = 1$

Energiløse

$$E_{\text{in}} - E_{\text{ut}} = \frac{dE_{\text{sys}}}{dt}$$

$$\text{Konstant } C_p \Rightarrow \frac{dE_{\text{sys}}}{dt} = F_0 C_p (T - T_0)$$

$$F_{A0} \cdot X \cdot (-\Delta H_{rx}) = F_0 C_p (T - T_0)$$

$$\Rightarrow C_p = \frac{-\Delta H_{rx} \cdot X \cdot F_{A0}}{F_0 \Delta T} = \frac{10\,000 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot 1 \cdot 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/s}}{1 \text{ mol/s} \cdot 300 \text{ K}} = 1,133 \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Fra energiløsen, er:

$$-\Delta H_{rx} \cdot F_{A0} \cdot X = F_0 C_p (T - T_0)$$

$$\text{Anta } -r_A = k C_A \Rightarrow k = 5,56 \cdot 10^3 e^{(25000/T)}$$

Setter inn i massebalansen

$$X = \frac{F_{A1} \cdot V}{F_{A0}} = \frac{k C_A V}{F_{A0}} = \frac{F_{A0}(1-X)}{q_V} \cdot \frac{k V}{F_{A0}} = \frac{k V}{q_V} (1-X)$$

$$X \left(1 + \frac{k V}{q_V}\right) = \frac{k V}{q_V}$$

$$\Rightarrow X = \frac{k V}{q_V (1 + k V / q_V)} = \frac{k V}{q_V + k V}$$

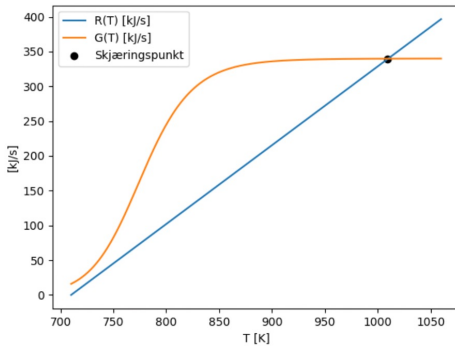
Setter inn i energibalansen:

$$\underbrace{-\Delta H_{rx} \cdot F_{A0} \cdot \frac{k V}{q_V + k V}}_{= G(T)} = \underbrace{F_0 C_p (T - T_0)}_{= R(T)}$$

Varmegenererings uttrykket

Varmeoverførings uttrykket

Løser grafisk/numerisk i python med $k = 5,56 \cdot 10^{13} e^{(-25000/T)}$ og $q_V = \frac{22,24 \cdot T_0}{1000 \cdot 273}$

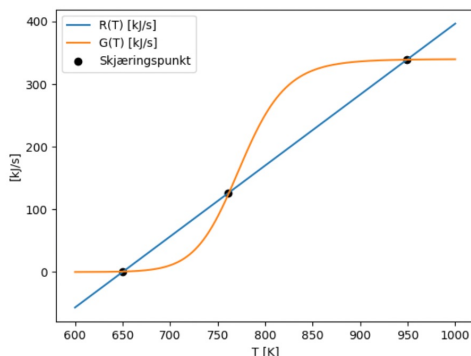


Skjæring ved $T = 1009 \text{ K}$

$$\Rightarrow \underline{X = 0,997}$$

3

Etter at reaktoren i spørsmål 2 har nådd stabil drift, viser det seg at temperaturen i føden gradvis reduseres til 650 K. Hvilke konsekvenser vil dette ha for omsetningen?



Dette tilsvarer punktet til høyre
(hadde denne "situasjonen" før
tempen ble senket)

$$T = 949 \text{ K},$$

$$\underline{X = 0,997}$$

4

Hvilken omsetningsgrad kan oppnås ved at gassen allerede fra starten hadde 650 K som konstant fødetemperatur?

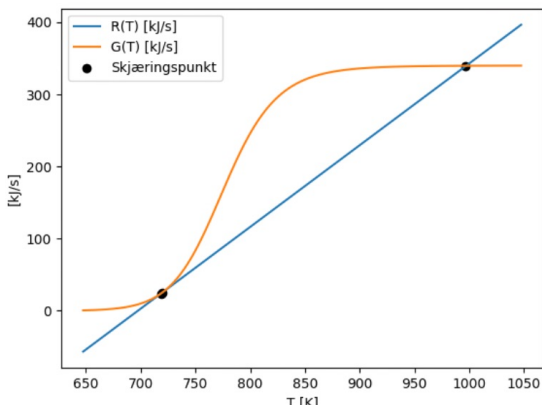
Her er vi i det venstre skjæringspunktet, da er

$$T = 650 \text{ K og } \underline{X = 0,002}$$

5

Ved hvilken temperatur vil du se et sprang fra lav til høy omsetning ved gradvis å øke fødetemperaturen?

Det er når det kun er en tangens mellom R og G, og ett skjæringspunkt med $\Delta T \approx 300 \text{ K}$. Løser dette numerisk:



$$\text{Får at det er ved } \underline{T_0 = 697,4 \text{ K}}$$

$$\text{da er } T = 719 \text{ K}$$