

NORGES TEKNISKE NATUR-  
VITENSKAPELIGE UNIVERSITET  
INSTITUTT FOR INDUSTRIELL KJEMI

Faglig kontakt under eksamen:

~~Professor Edd A. Blekkan, tlf.: 73594157~~

~~Professor Bjørn Hafskjold, tlf.: 73594487~~

~~Professor Sigurd Skogestad, tlf.: 73594154~~

?????????? den som er tilstede

### **Eksamen i fag SIK 2501 - Prosessteknikk.**

**Xxxdag yy. august 1998**

**Tid 9.00 - 15.00**

Hjelpemidler: B2 - Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til liste utarbeidet av NTH tillatt. Tillatt formelsamling: Aylward & Findley: SI Chemical Data

For alle oppgavene gjelder: Nødvendige data: Angi klart alle antagelser du gjør. Begrunn alle svar. På oppgavens siste side står en del data og formler som kan komme til nytte under eksamen.

#### **Oppgave 1 (Vekt: 15%)**

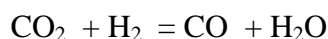
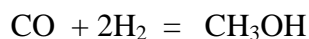
I en luftfukter skal tørr luft ( $N_2+O_2$ ) ved 25 °C mettes med vanndamp. Strømmen av tørr luft er 100 m<sup>3</sup>/time. Ved denne temperaturen har vann et damptrykk på 3168 Pa.

- Sett opp massebalansen for luftfukteren.
- Hva er volumstrømmen av luft mettet med vanndamp hvis trykket fortsatt er 1 bar?
- Hvor mye vann (kg/time) forbrukes i luftfukteren?
- Hvis lufttrykket økes til 2 bar og volumstrømmen av tørr luft er den samme, vil det
  - øke opptaket av vann?
  - redusere opptaket av vann?
  - ikke ha noen effekt?

Begrunn svaret.

#### **Oppgave 2. (Vekt: 40%)**

I en kontinuerlig metanolreaktor som opererer ved 100 bar skjer følgende reaksjoner



(den siste er "skift-reaksjonen").

- Innfør reaksjonsomfanget  $\Theta_j$  for reaksjonene og formuler de uavhengige massebalansene ( du kan betegne føden med  $N^0$  og produktet med N).

- Føden er 5000 mol/s og har følgende sammensetning ( i mol%):

CO : 7.0 %                      CO<sub>2</sub> : 2.0 %

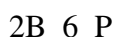
H<sub>2</sub> : 75.0 %                      CH<sub>4</sub> : 16.0 %

Beregn produktsammensetningen når 2/3 av tilført CO og CO<sub>2</sub> omsettes til metanol og det dannes 40 mol/s vann.

- c) Sett opp ligningen som beskriver energibalansen. Føden er ved 150 °C og produktet ved 270 °C. Hvor mye varme må fjernes fra reaktoren ved kjøling?
- d) Hva blir produktsammensetningen dersom det dannes 300 mol/s metanol og skiftreaksjonen er i likevekt ved 270 °C (anta at likevektskonstanten for skiftreaksjonen  $K = 0.016$ )?
- e) Beregn likevektskonstanten for den første reaksjonen ved 270 °C og kontroller produktsammensetningen i oppgave d) mot likevekten.

### **Oppgave 3. (Vekt: 15%)**

Komponent B dimeriserer ved den irreversible væskefasereaksjonen:



Hastighetsligningen er bestemt til å være av formen  $r_P = k \cdot C_B^2$ .

Reaksjonen skal gjennomføres i en kontinuerlig blandetankreaktor (CSTR).

Volumetrisk fødehastighet: 0.1 m<sup>3</sup>/s.

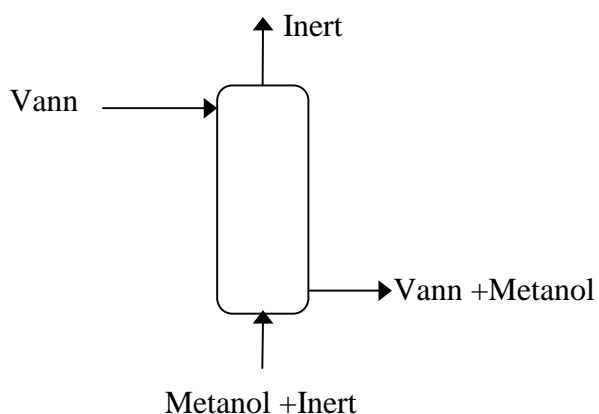
$C_{0B} = 2$  mol/l

Hastighetskonstanten ved 363 K er bestemt til å være  $k = 0.0003$  [L, mol<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>]. Reaksjonens aktiveringsenergi er  $E = 96$  kJ/mol.

- a) Reaksjonen skal utføres ved 386 K. Hva blir hastighetskonstanten ved denne temperaturen?
- b) Formuler massebalansen for en kontinuerlig blandetankreaktor (CSTR).
- c) Gitt at omsetningsgraden av B skal være 66%, hva blir reaktorvolumet  $V_{CSTR}$ ?
- d) Dersom du erstattet CSTR-reaktoren med en stempelstrømsreaktor (PFR) med samme reaktorvolum, ville du da forvente
- høyere omsetningsgrad?
  - lavere omsetningsgrad?
  - samme omsetningsgrad?
- som i CSTR-reaktoren. Begrunn svaret kort.

### **Oppgave 4 (15%)**

Metanol (M) fjernes fra en gass-strøm der den er blandet med en annen inert gass (I). Dette gjøres ved å oppløse metanolen i vann (V) i en absorpsjonskolonne:



100 mol/s av en gass-strøm med 7 mol% metanol (resten inert) behandles med en strøm med 500 mol/s rent vann slik at den rensede gass-strømmen er fri for metanol. Inertgassen løses ikke i vann.

- Sett opp 3 uavhengige massebalanser for systemet.
- Beregn mengde og sammensetning av de to produktstrømmene.

### **Oppgave 5 (15%)**

Energibalanser og kompresjon.

En gass med temperatur  $T_1 = 400$  K og trykk  $p_1 = 2$  bar strømmer i et rør med hastighet  $u_1 = 10$  m/s. Gassen går gjennom en innsnevring (2) som vist på figuren. Det kan antas at strømmingen er tapsfri og adiabatisk. Gassen antas ideell med konstant varmekapasitet  $c_p = 35$  J/K,mol. Det skjer ingen akkumulering.

skisse Sigurd!

- Forklar hvorfor entropien er konstant.
- Sett opp energibalansen fra 1 til 2 med kinetisk energi inkludert.
- Det er gitt at gassens hastighet i innsnevringen er  $u_2 = 50$  m/s. Bruk energibalansen til å beregne temperaturen  $T_2$ .
- Hva er trykket i innsnevringen? (Husk at entropien er konstant.)
- Sett opp massebalansen fra 1 til 2, og uttrykk denne med tetthet og hastighet. Bestem arealet i innsnevringen relativt til arealet før innsnevringen,  $A_2/A_1$ .

Data og formler:

- Komponentdata:

	$M$ [g/mol]	$c_p^\theta$ [J/K,mol]	$\Delta_f H^\theta(298)$ [kJ/mol]	$\Delta_f G^\theta(298)$ [kJ/mol]
CH <sub>4</sub> (g)	16.04	35.31	-74.81	-50.72
CH <sub>3</sub> OH (g)	32.04	43.89	-200.66	-161.96
H <sub>2</sub> O (g)	18.015	33.58	-241.82	-228.57
CO	28.01	29.14	-110.53	-137.17
CO <sub>2</sub>	44.01	37.11	-393.51	-394.36

- Gasskonstanten  $R = 8.314 \text{ J/mol,K}$
- Van der Waals tilstandsligning:

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - a\left(\frac{n}{V}\right)^2$$

- For en adiabatisk (isentropisk) prosess gjelder for en ideell gass med konstant  $\gamma = c_p/c_v$ :

$$pV^\gamma = \text{konst.}$$

som er ekvivalent med:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

- Akselarbeidet ved reversible trykkendringer er generelt gitt ved  $W_S = \int_{p_1}^{p_2} V dp$ . For isoterm reversibel

kompresjon/ekspansjon av en ideell gass er da

$$W_S = RT \ln \frac{p_2}{p_1} \quad [\text{J/mol}]$$

- På massebasis er den mekaniske energibalansen for en stasjonær prosess (indeks 1 er her "inn" mens 2 er "ut"):

$$\alpha_2 \frac{u_2^2}{2} + gz_2 + \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\rho} + \frac{\Delta p_f}{\rho} = \alpha_1 \frac{u_1^2}{2} + gz_1 + w_S \quad [\text{J/kg}]$$

der  $\frac{\Delta p_f}{\rho}$  representerer friksjonstapet.

- Logaritmisk midlere temperaturdifferens er:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

- Følgende uttrykk kan brukes for å bestemme  $\Delta_r G^\theta(T)$  og  $K(T)$  fra data ved 298 K når varmekapasiteten antas konstant:

$$\Delta_r H^\theta(T) = \Delta_r H^\theta(298) + \Delta_r c_p^\theta \cdot (T - 298)$$

$$\Delta_r S^\theta(T) = \Delta_r S^\theta(298) + \Delta_r c_p^\theta \cdot \ln \frac{T}{298}$$

$$\Delta_r G^\theta(T) = \Delta_r H^\theta(T) - T \Delta_r S^\theta(T)$$

$$K(T) = e^{-\frac{\Delta_r G^\theta(T)}{RT}}$$

- Carnot-faktoren er  $1 - T_C/T_H$

- Arrheniusligningen er:  $k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$