NORGES TEKNISKE NATUR-
VITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR INDUSTRIELL KJEMI

Faglig kontakt under eksamen:
~~Professor Edd A. Blekkan, tlf.: 73594157~~
~~Professor Bjørn Hafskjold, tlf.: 73594487~~ ?????????? den som er tilstede
~~Professor Sigurd Skogestad, tlf.: 73594154~~

Eksamen i fag SIK 2501 - Prosessteknikk.
Xxxdag yy. august 1998
Tid 9.<u>00</u> - 15.<u>00</u>

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

<u>For alle oppgavene gjelder:</u> 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.

<u>Oppgave 1 (Vekt: 15%)</u>
I en luftfukter skal tørr luft (N_2+O_2) ved 25 °C mettes med vanndamp. Strømmen av tørr luft er 100 m^3/time. Ved denne temperaturen har vann et damptrykk på 3168 Pa.

a) Sett opp massebalansen for luftfukteren.
b) Hva er volumstrømmen av luft mettet med vanndamp hvis trykket fortsatt er 1 bar?
c) Hvor mye vann (kg/time) forbrukes i luftfukteren?
d) 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.

<u>Oppgave 2. (Vekt: 40%)</u>
I en kontinuerlig metanolreaktor som opererer ved 100 bar skjer følgende reaksjoner

$$CO + 2H_2 = CH_3OH$$

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O$$

(den siste er "skift-reaksjonen").

a) Innfør reaksjonsomfanget ξ_j for reaksjonene og formuler de uavhengige massebalansene (du kan betegne føden med N^0 og produktet med N).

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

CO	: 7.0 %	CO_2	: 2.0 %
H_2	: 75.0 %	CH_4	: 16.0 %

Beregn produktsammensetningen når 2/3 av tilført CO og CO2 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:

2B 6 P

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^3/s.
C_{0B} = 2 mol/l
Hastighetskonstanten ved 363 K er bestemt til å være k= 0.0003 [L,$mol^{-1}s^{-1}$]. 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}?

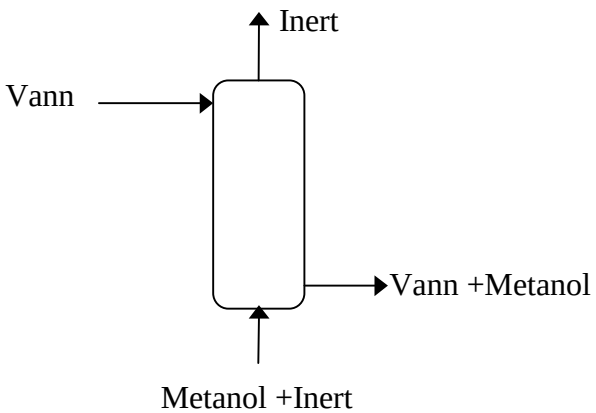
d) Dersom du erstattet CSTR-reaktoren med en en stempelstrømsreaktor (PFR) med samme reaktorvolum , ville du da forvente

- 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.
a) Sett opp 3 uavhengige massebalanser for systemet.
b) 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 strømningen er tapsfri og adiabatisk. Gassen antas ideell med konstant varmekapasitet c_P = 35 J/K,mol. Det skjer ingen akkumulering.

skisse Sigurd!

a) Forklar hvorfor entropien er konstant.

b) Sett opp energibalansen fra 1 til 2 med kinetisk energi inkludert.

c) Det er gitt at gassens hastighet i innsnevringen er u_2 = 50 m/s. Bruk energibalansen til å beregne temperaturen T_2.

d) Hva er trykket i innsnevringen? (Husk at entropien er konstant.)

e) 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]	$c_P^{\ominus}$ [J/K,mol]	$\Delta_f H^{\ominus}(298)$ [kJ/mol]	$\Delta_f G^{\ominus}(298)$ [kJ/mol]
CH_4(g)	16.04	35.31	-74.81	-50.72
CH_3OH (g)	32.04	43.89	-200.66	-161.96
H_2O (g)	18.015	33.58	-241.82	-228.57
CO	28.01	29.14	-110.53	-137.17
CO_2	44.01	37.11	-393.51	-394.36

- Gasskonstanten R = 8.314 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 ☎=c_P/c_V:

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

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 $W_S = \int_{p_1}^{p_2} VdP$. 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"):

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

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 $\Delta_r G^{\ominus}(T)$ og $K(T)$ fra data ved 298 K når varmekapasiteten antas konstant:

$$\Delta_r H^{\ominus}(T) = \Delta_r H^{\ominus}(298) + \Delta_r c_P^{\ominus}\cdot(T - 298)$$

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

$$\Delta_r G^{\ominus}(T) = \Delta_r H^{\ominus}(T) - T\Delta_r S^{\ominus}(T)$$

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

- Carnot-faktoren er $1 - T_C/T_H$
- Arrheniusligningen er: $k = A\cdot e^{-\frac{E}{RT}}$