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

Eksamen i fag SIK 2501 - Prosessteknikk.
Onsdag 20. mai 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%)
Ei stålflaske med 1 kg metan står lagret i et hus som begynner å brenne. Flasken har et volum på 25 L og er dimensjonert for et trykk på 100 bar.

a) Ved hvilken temperatur vil flasken eksplodere?

b) Hvor stort arbeid utfører gassen på omgivelsene (lufta omkring) når flasken eksploderer? Omgivelsene har temperatur gitt av a). Hvis du ikke har funnet et tallsvar i a), kan du sette temperaturen til 200 °C. Omgivelsenes trykk er 1 bar.

Gitt: Konstanter for metan i Van der Waals tilstandsligning er:

$a = 2.283\ \mathrm{L^2\ bar\ mol^{-2}}$, $b = 0.04278\ \mathrm{L\ mol^{-1}}$.

Oppgave 2. (Vekt: 40%)
Formaldehyd (HCHO) dannes ved oksidasjon av metanol (CH_3OH) over sølvkatalysator i en kontinuerlig gassfasereaktor:

$$CH_3OH + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow HCHO + H_2O;\ \Delta_r H^{\Theta}\ (973\,\mathrm{K}) = -143\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}},\ \Delta_r G^{\Theta}\ (973\,\mathrm{K}) = -218\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}}$$

a) Innfør reaksjonsomfanget ξ for reaksjonen og sett opp ligningene som beskriver materialbalansen (du kan betegne føden med N^0 og produktet med N).

b) Beregn produktsammensetningen når føden består av 27 mol% metanol, 36 % vann, 7 % oksygen og 30 % nitrogen og det antas fullstendig omsetning av den begrensende reaktanten.

c) Sett opp ligningen som beskriver energibalansen. Hva er fødetemperaturen dersom reaktoren opererer adiabatisk og temperaturen på produktet er 700 °C?

d) Sjekk antagelsen om fullstendig omsetning ved å anta at likevekt og beregne fraksjonen oksygen i produktet (Betingelser: 700 °C og 1.5 bar).

Oppgave 3. (Vekt: 15%)

Den homogene væskefasereaksjonen:

$$B \rightarrow P$$

utføres i en ideell, isoterm blandetankreaktor (CSTR).
Reaksjonshastigheten er gitt ved

$$-r_B = k \cdot C_B \quad \text{(1. ordens reaksjon)}$$

Hastighetskonstanten er bestemt ved 2 temperaturer:

50 °C: $k_{50} = 0.015$ [s^{-1}]
65 °C: $k_{65} = 0.024$ [s^{-1}]

Reaksjonen skjer i overskudd løsningsmiddel slik at tettheten er konstant, volumetrisk fødehastighet er 72 m^3/time, med konsentrasjon C_{B0}=10 mol/m^3.

a) Formuler massebalansen for komponent B over systemet.
b) Reaksjonen skal utføres ved 65 °C. Hvilket reaktorvolum er nødvendig for å oppnå en omsetningsgrad på 94%?
c) Ved en feil stenges varmetilførselen til systemet og temperaturen synker til 35 °C. Hva blir omsetningsgraden nå? (Betingelser forøvrig som i b).

Oppgave 4 (15%)

Det skal lages 3 kg/s av en vannløsning med 20 vekt% etanol og temperatur 50 °C. Du har tilgjengelig ren etanol ved 20 °C, rent vann ved 20 °C og rent vann (væskefase) ved 100 °C.

a) Formuler masse- og energibalansene.
b) Hvor mye trenges av hver av de tre strømmene?

Data: Varmekapasitet for vann er c_P = 4.2 kJ/kg,K og for etanol c_P = 2.6 kJ/kg,K. Blandingsvarme kan neglisjeres.

Oppgave 5 (15%)

En gass-strøm på 30800 kmol/h med temperatur 76 °C skal komprimeres fra 99 til 104 bar. Varmekapasiteten antas konstant og lik c_P = 31 J/mol,K.

a) Hva er arbeidet og temperaturen etter en tapsfri adiabatisk kompresjon?
b) Hva er det virkelige arbeidet og temperaturen med en adiabatisk virkningsgrad på 0.74?

Data og formler til bruk under eksamen:

- Komponentdata:

	M [g/mol]	c_P^Θ [J/K,mol]	$\Delta_f H^\Theta$ (298) [kJ/mol]	$\Delta_f G^\Theta$ (298) [kJ/mol]
CH_4	16.04	35.31	-74.81	-50.72
CH_3OH	32.04	43.89	-200.66	-161.96
HCHO	30.03	35.40	-108.57	-102.53
H_2O	18.015	33.58	-241.82	-228.57
N_2	28.01	29.13	0	0
O_2	32.00	29.36	0	0

- 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:

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

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 $W_S = \int_{p_1}^{p_2} VdP$. For isoterm reversibel kompresjon/eksansjon av en ideell gass er da

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

- 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 $F/m = \frac{\Delta p_f}{\rho}$ 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

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