

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.

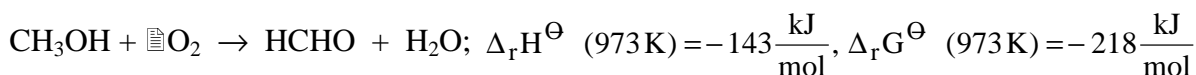
- Ved hvilken temperatur vil flasken eksplodere?
- Hvor stort arbeid utfører gassen på omgivelsene (lufta omkring) når flasken eksploderer? Omgivelsene har temperatur gitt av a). Hvis du ikke har funnet et tallsvaret i a), kan du sette temperaturen til 200 °C. Omgivelsenes trykk er 1 bar.

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

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

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

Formaldehyd (HCHO) dannes ved oksidasjon av metanol (CH<sub>3</sub>OH) over sølvkatalysator i en kontinuerlig gassfasereaktor:



- Innfør reaksjonsomfanget  $\xi$  for reaksjonen og sett opp ligningene som beskriver materialbalansen (du kan betegne føden med  $N^0$  og produktet med N).
- Beregn produktsammensetningen når føden består av 27 mol% metanol, 36 % vann, 7 % oksygen og 30 % nitrogen og det antas fullstendig omsetning av den begrensede reaktanten.
- Sett opp ligningen som beskriver energibalansen. Hva er fødetemperaturen dersom reaktoren opererer adiabatisk og temperaturen på produktet er 700 °C?
- 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:



utføres i en ideell, isoterm blandetankreaktor (CSTR).

Reaksjonshastigheten er gitt ved

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

Hastighetskonstanten er bestemt ved 2 temperaturer:

$$50 \text{ }^\circ\text{C}: k_{50} = 0.015 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

$$65 \text{ }^\circ\text{C}: k_{65} = 0.024 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

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

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

**Oppgave 4 (15%)**

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

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

Data: Varmekapasitet for vann er  $c_p = 4.2 \text{ kJ/kg,K}$  og for etanol  $c_p = 2.6 \text{ kJ/kg,K}$ . Blandingsvarme kan neglisjeres.

**Oppgave 5 (15%)**

En gass-strøm på  $30800 \text{ kmol/h}$  med temperatur  $76 \text{ }^\circ\text{C}$  skal komprimeres fra 99 til 104 bar. Varmekapasiteten antas konstant og lik  $c_p = 31 \text{ J/mol,K}$ .

- Hva er arbeidet og temperaturen etter en tapsfri adiabatisk kompresjon?
- 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]	$c_p^\ominus$ [J/K,mol]	$\Delta_f H^\ominus$ (298) [kJ/mol]	$\Delta_f G^\ominus$ (298) [kJ/mol]
CH <sub>4</sub>	16.04	35.31	-74.81	-50.72
CH <sub>3</sub> OH	32.04	43.89	-200.66	-161.96
HCHO	30.03	35.40	-108.57	-102.53
H <sub>2</sub> O	18.015	33.58	-241.82	-228.57
N <sub>2</sub>	28.01	29.13	0	0
O <sub>2</sub>	32.00	29.36	0	0

- Gasskonstanten  $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$
- 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  $\kappa = c_p/c_v$ :

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

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/eksansjon 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  $F/m = \frac{\Delta p_f}{\rho}$  representerer friksjonstapet.

- Logaritmisk midlere temperaturredifferens 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

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