

PRØVE - EKSAMEN I FAG SIK2501 – PROSESSTEKNIKK

Ca. Fredag 8. mai 1998

Tid: kl. 0900 - 1500

Tillatte hjelpemidler : Godkjent lommekalkulator. (Ingen andre trykte eller håndskrevne hjelpemidler tillatt.)

For alle oppgavene gjelder: Angi klart ytterligere antagelser du gjør. Begrunn alle svar.

Oppgave 1

500 g CO_2 (s) (tørris) glemmes i en tett beholder på 2 L ved 35 °C .

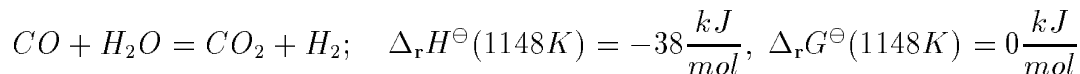
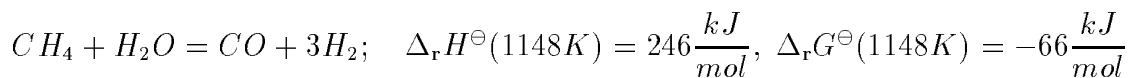
(a) Hva blir trykket i beholderen hvis den ikke eksploderer?

(b) Anta at beholderen eksploderer ved et trykk på 70 bar. Hvor stort arbeid utfører gassen på omgivelsene (lufta omkring) når beholderen eksploderer? Omgivelsene har samme temperatur som beholderen, dvs. det kan regnes isotermt. Omgivelsenes trykk er 1 bar.

Gitt: Konstanter for CO_2 i van der Waals tilstandsligning: $a = 3.640 \text{ L}^2 \text{ bar mol}^{-2}$, $b = 0.04267 \text{ L mol}^{-1}$. Molvekten for CO_2 er 44 g mol^{-1} .

Oppgave 2

I en dampreformer lages syntesegass (en blanding av CO , CO_2 og H_2) ved at metan omsettes etter følgende reaksjoner



(det siste er shift-reaksjonen). Dette kan tenkes å være første trinn i Hydro's nye prosess for CO_2 -fritt gasskraftverk.

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

(b) Føden inn på dampreformerer er 10000 mol/s og består av 30 mol% metan og 70 mol% vanddamp. Beregn sammensetningen av produktet når det antas at 80% av metanet omsettes og det dannes 770 mol/s CO_2 .

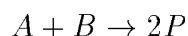
(c) Sett opp ligningen som beskriver energibalansen. Føden er ved 300°C og produktet ved 875°C . Hvor mye varme må tilføres reaktoren?

(d) Hva er trykket i reaktoren hvis det antas at den første reaksjonen er i likevekt? Hvor langt er shiftreaksjonen fra likevekt?

(e) Hvordan endres omsetningsgraden av metan hvis trykket senkes?

Oppgave 3

Komponentene A og B reagerer i væskefase ved reaksjonen



Reaksjonen følger hastighetsligningen

$$r_A = -k \cdot c_A \cdot c_B \quad [\text{kmol}/\text{m}^3, \text{s}]$$

der hastighetskonstanten k følger Arrhenius ligning. Aktiveringsenergien er $E = 16.67 \text{ kJ/mol}$. Ved 50°C er $k = 0.166 [\text{m}^3/\text{kmol}, \text{s}]$.

Reaksjonen utføres i en kontinuerlig blandetanksreaktor (CSTR) med konstant volum $V = 0.3 \text{ m}^3$.

Total volummetrisk fødehastighet er $3.6 \text{ m}^3/\text{h}$ og reaktantene A og B fødes i støkiometrisk forhold, $c_{A0} = c_{B0} = 0.5 \text{ kmol}/\text{m}^3$. Tettheten av væsken antas konstant.

(a) Hva blir hastighetskonstanten for reaksjonen ved 60°C ?

(b) Formuler massebalansene for systemet (utled designligningen for reaktoren).

(c) Hva blir omsetningsgraden dersom reaktoren opererer isotermt ved 60°C ?

Oppgave 4

Det skal lages 2 kg/s av et produkt med 2 vekt% kalium (K) og 3 vekt% forfor (P). I trinn 1 blandes strøm 1 (som inneholder 2 vekt% K) og strøm 2 (som inneholder 2 vekt% P) sammen og i trinn 2 fjernes rent vann (strøm 3) ved avdampning.

Beregn mengden av de tre strømmene.

Oppgave 5

Du har tilgjengelig vann ved 100°C og 1 bar som skal brukes til å lage 1 kg/s vanndamp ved 5 bar og 300°C i en kontinuerlig prosess. Følgende to alternativer vurderes

1. (i) Fordampning ved 1 bar, (ii) Adiabatisk tapsfri kompresjon fra 1 bar til 5 bar, (iii) Oppvarming av dampen til 300°C .
2. (i) Pumping fra 1 bar til 5 bar (ii) Oppvarming av væsken til kokepunktet (152°C) og fordampning ved 5 bar, (iii) Oppvarming av dampen til 300°C .

(a) Tegn et enkelt flytskjema for de to alternativene.

(b) Beregn for de to alternativene tilført varme og arbeide i hvert trinn.

(c) Hvorfor vil man i praksis velge alternativet med pumping? Hvorfor er summen av tilført arbeide og varme likt for de to alternativene?

Data. Du kan regne ideell gass og bruke følgende data. Varmekapasiten for vann er $c_{PL} = 4.18$ [J/kg,K] (væske) og $c_{PV} = 1.87$ [J/kg,K] (damp). Fordampningsvarmen er 2260 kJ/kg ved 100°C /1bar og 2140 kJ/kg ved 152°C /5bar. For dampen er $\gamma = c_P/c_V = 1.33$. Tettheten av vann er $\rho = 1000$ [kg/m³].

Kommentarer

Merk at oppgavene ikke har samme vekt. For eksempel er oppgave 2 mer omfattende enn de andre. På eksamen vil det ikke være tillatt å ta med skriftlige hjelpemidler. Isteden vil data og en del formler bli vedlagt eksamenssettet. Det vil bli omtrent som gitt på neste side.

Data som vedlegg på 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]
$CH_4(g)$	16.04	35.31	-74.81	-50.72
$C_2H_4(g)$	28.05	43.56	+52.26	+68.15
$C_2H_6(g)$	30.07	52.63	-84.68	-32.82
$CO(g)$	28.01	29.14	-110.53	-137.17
$CO_2(g)$	44.01	37.11	-393.51	-394.36
$CH_3OH(g)$	32.04	43.89	-200.66	-161.96
$HCHO(g)$	30.03	35.40	-108.57	-102.53
$C_2H_5OH(g)$	46.07	65.44	-277.69	-174.78
$O_2(g)$	32.00	29.36	0	0
$H_2O(g)$	18.015	33.58	-241.82	-228.57
$H_2(g)$	2.016	28.82	0	0
$N_2(g)$	28.01	29.13	0	0
$NO_2(g)$	46.01	37.20	+33.18	+51.31
$NH_3(g)$	17.03	35.06	-46.11	-16.41

- Gasskonstanten er $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.
- Van der Waals tilstandsligning

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

- For en adiabatisk reversibel (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 isotherm reversibel kompresjon/ekspansjon av en ideell gass er da

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

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

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

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

- Logaritmisk midlere temperaturdifferens er

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

- Følgende uttrykk kan brukes for å bestemme $\Delta_r G^\ominus(T)$ og $K(T)$ fra data ved 298K 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 $k = Ae^{-\frac{E}{RT}}$.