

Faglig kontakt under eksamen/fagleg kontakt under eksamen:
Professor Edd A. Blekkan, tlf.73594157

EKSAMEN I FAG SIK 2501 - Prosessteknikk
Fredag 6. august 1999/Fredag 6. august 1999
Tid: 0900 - 1500

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

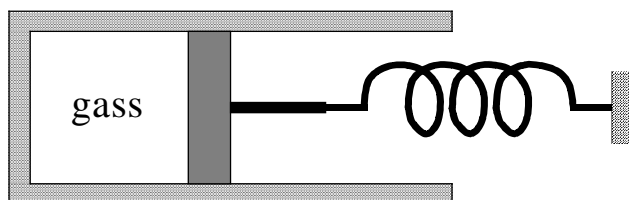
Hjelpemiddel B2: Typegodkjend kalkulator, med tomt minne, i henhold til utarbeid liste av NTH tillate. Tillete formelsamling: Aylward & Findlay: SI Chemical Data.

Oppgave 1/oppgåve 1.

En sylinder lukket med stempel som vist i fig. 1 inneholder ett mol ideell gass. Stempelet glir friksjonsfritt og er forbundet med ei fjær til et fast punkt (markert med skravering i figuren). Arealet av stempelet er 0.1 m^2 . Lengden på fjæra er l . Når trykket i gassen er 100 kPa og temperaturen er 298 K, utøver fjæra ikke noe kraft på stempelet. Fjæra har da lengde l_0 . Ellers er kraften gitt av $F = k(l_0 - l)$, der $k = 2 \times 10^4 \text{ N m}^{-1}$.

Det faste punktet flyttes 0.2 m til høyre, slik at gassen ekspanderer. Beregn gassens trykk, temperatur og volum når ny likevekt er innstilt etter følgende prosesser:

- Kjøling ved konstant volum
- Oppvarming ved konstant trykk
- Isoterm prosess

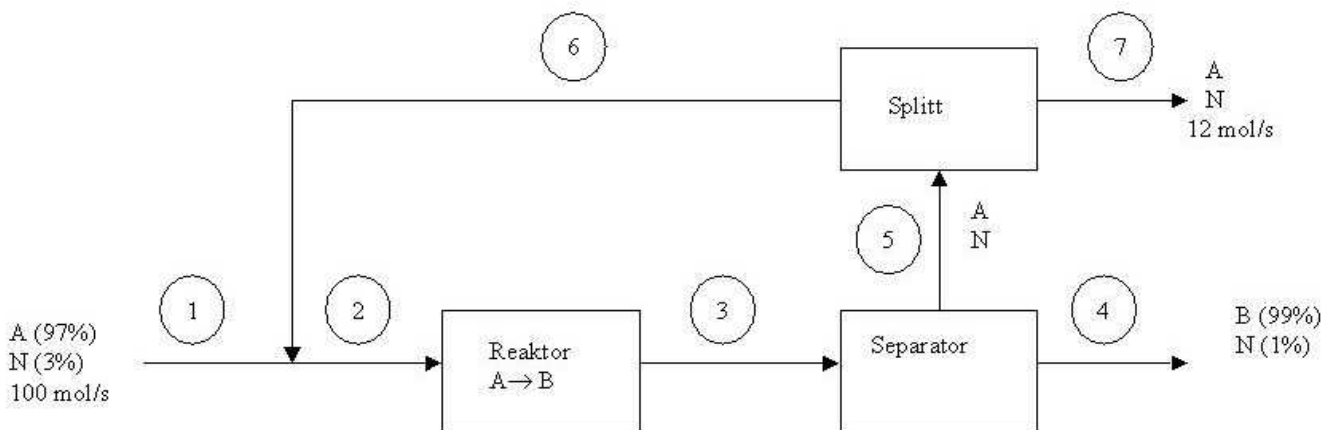


Figur 1.

Oppgave 2/oppgåve 2.

Stoffet A reagerer og danner B. Ureagert A separeres fra B og resirkuleres til reaktoren. Føden inneholder en urenhet N, som er en inert og fjernes ved at 4% av strøm 5 tappes av (i strøm 7).

Øvrige data er gitt i figur 2. Alle data er på molbasis.



Figur 2.

- Foreta en rask analyse av problemet. Er det løsbart?
- Hvilken strøm har den største strømmengden av A?
- Bruk en totalbalanse over prosessen til å bestemme sammensetning og mengde av strøm 7 (avtapp) og strøm 4 (produkt)
- Hvor mye inert er det i føden til reaktoren (finn mol% N i strøm 2)

Oppgave 3/oppgåve 3

Forbrenningsvarmer

Standard forbrenningsvarmer kan brukes til å beregne standard dannelsesvarme. Du ønsker å finne dannelsesvarmen for etylamin ($C_2H_5NH_2$) væske. I et eldre tabellverk ("Handbook" fra 1977-78) finner du at standard forbrenningsvarme for etylamin (l) ved 25 °C er 409.5 kcal/mol. Omregnet til SI-enheter betyr dette at $\Delta H^\circ = -1713.3$ kJ/mol for reaksjonen



- Bruk dette til å beregne dannelsesvarmen $\Delta_f H^\circ$ [kJ/mol] for etylamin (l) gitt følgende data for dannelsesvarmer ved 298 K:
 $CO_2(g)$: -393.51; $H_2O(l)$: -285.83 [kJ/mol]
 Sammenlign denne verdien med det du finner fra data for etylamin i SI Chemical Data.
- I det samme gamle tabellverket finner du at forbrenningsvarmen for metylformiat (methyl formate), $(HCOOCH_3)$ (l) er 234.1 kcal/mol. Sett opp forbrenningsreaksjonen, og bruk dette til å beregne standard dannelsesvarme [kJ/mol] for metylformiat (l) og sammenlign med verdien fra SI Chemical Data.

Oppgave 4/oppgåve 4.Kompresjon av ammoniakk

Vi har tilgjengelig ammoniakk gass ved 1 bar/303K (strøm 1) som skal brukes til å lage 100 mol/s ammoniakk gass ved 10 bar/303K (strøm 2).

Beregn det reversible kompresjonsarbeidet for ideell gass i følgende fire prosesser

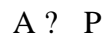
- Adiabatisk kompresjon (med etterfølgende kjøling til 303 K)
- To-trinns adiabatisk kompresjon med trykkstigning $p_{\text{ut}}/p_{\text{inn}} = 10^{1/2}$ i hvert trinn og mellomkjøling til 303K
- 12-trinns adiabatisk kompresjon med trykkstigning $p_{\text{ut}}/p_{\text{inn}} = 10^{1/12}$ i hvert trinn og mellomkjøling til 303K
- Isoterm kompresjon (ved 303 K)

Data: Anta $C_p(\text{g}) = 37.4 \text{ J/mol K}$

- Bruk det vedlagte diagrammet for ammoniakk til å beregne det isoterme, reversible kompresjonsarbeidet for reell gass.
- Foreslå en alternativ prosess der man bruker kjøling, pumping og oppvarming i stedet for kompresjon og kjøling.
Hva er pumpearbeidet når væsketettheten av ammoniakk er ca. 0.8 kg/l?
Hva er ulempen ved denne alternative prosessen?

Oppgave 5/oppgåve 5.

- Den irreversible væskefasereaksjonen:



med hastighetsligningen $-r_A = k \cdot C_A$ (1. ordens reaksjon) skjer i en isoterm, konstant volum batch (sats) reaktor.

Etter 5 minutter er omsetningsgraden av A, $X_A = 30\%$. Hvor lang tid tar det før omsetningsgraden er 50 %?

Data: $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ $C_{A0} = 1 \text{ mol/dm}^3$ $V_{\text{batch}} = 100 \text{ dm}^3$

- Reaksjonen utføres i stedet i en isoterm stempelstrømsreaktor (PFR) med volum 1 m^3 . Volumetrisk fødehastighet er $0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, betingelser forøvrig som i oppgave a).
Hva blir omsetningsgraden nå?

$$\text{Gitt: } \int x^n dx = \frac{1}{n+1} \cdot x^{n+1} \text{ (når } n \neq -1) \quad \int \frac{dx}{x} = \ln|x|$$

$$\int \frac{dx}{1-x} = \ln \frac{1}{1-x} \quad \int \frac{dx}{(1-x)^2} = \frac{x}{1-x}$$

Data og formler til bruk under eksamen:

- 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 $\gamma = c_p/c_v$:

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

som er ekvivalent med:

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

- For kontinuerlige prosesser er akselarbeidet ved reversible trykkendringer generelt gitt ved

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

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

- 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 $k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$
- Massebalanseligninger for ideelle kjemiske reaktorer:

	Differensiell form	Algebraisk form	Integral form
Sats (batch)	$N_{A0} \frac{dX}{dt} = -r_A V$		$t = N_{A0} \int_0^X \frac{dX}{-r_A V}$
Perfekt blandetank-reaktor (CSTR)		$V = \frac{F_{A0} - F_A}{-r_A}$	
Ideell stempel-strømsreaktor (PFR)	$F_{A0} \frac{dX}{dV} = -r_A$		$V = F_{A0} \int_0^X \frac{dX}{-r_A}$

