

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

EKSAMEN I FAG SIK 2501 - Prosessteknikk**Lørdag 22. mai 1999/Laurdag 22. mai 1999****Tid: 0900 - 1500**

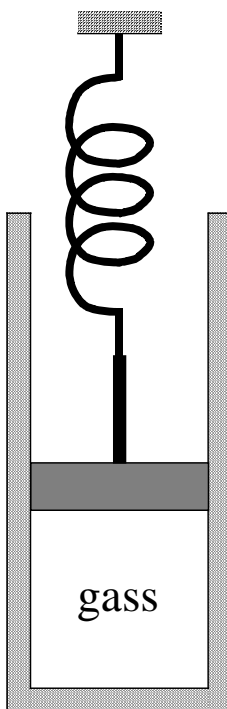
Hjelpemidler B2: Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til liste utarbeidet av NTH tillatt. Tillatt formelsamling: Aylward & Findlay: SI Chemical Data.

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). Stempelets masse er 100 kg, arealet mot gassen er 0.1 m^2 og lengden på fjæra er l . Når temperaturen i gassen er 298 K og det ytre trykket er 100 kPa, utøver fjæra ikke noe kraft på stempelet. Fjæra har da lengde l_0 . Ellers er kraften gitt av $F = k(l_0 - l)$, der $k = 2 \times 10^4 \text{ N m}^{-1}$. Gitt: Tyngdens aksellerasjon er $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$.

- Hva er trykket i gassen ved 298 K og $l = l_0$?
- Gassen varmes inntil stempelet har steget til et nivå 0.05 m over starttilstanden. Hva er trykket i gassen da?
- Hvor mye arbeid har gassen utført på omgivelsene under oppvarmingen?

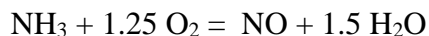


Figur 1.

Oppgave 2/oppgåve 2.

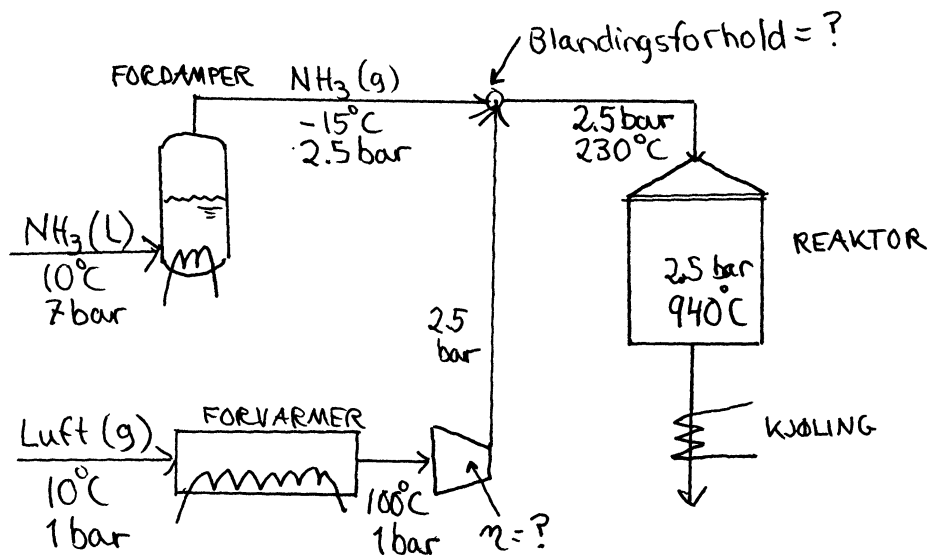
Forbrenning av ammoniakk til NO.

Salpetersyre fremstilles vanligvis i en prosess der man forbrenner ammoniakk med luft (med platina som katalysator) og danner nitrose gasser som deretter avkjøles og absorberes i vann. Vi skal betrakte første del av prosessen (se fig. 2) der vi antar at ammoniakk forbrennes fullstendig etter følgende gassfasereaksjon:



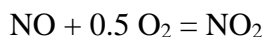
$$?_{\text{r}}H^\circ (298 \text{ K}) = -227 \text{ kJ/mol}$$

$$?_{\text{r}}H^\circ (1213 \text{ K}) = -223 \text{ kJ/mol}$$



Figur 2.

- Reaktorføden er en gassblanding av luft og ammoniakk. Innfør reaksjonsomfanget for reaksjonen og sett opp massebalansene for reaktoren (du kan betegne reaktorføden med N^0 og reaktorproduktet med N).
- Reaktorføden er ved 230 °C og produktet ved 940 °C (1213 K). Beregn sammensetningen av føden og produktet når det antas adiabatisk reaktor.
- Beregn virkningsgraden for luftkompressoren ut fra dataene som er gitt i figuren. (Hvis du ikke fikk til delspørsmål (a) kan du sette at reaktorføden er 10% ammoniakk og 90% luft.)
- Vi har neglisjert dannelsen av NO_2 . For å se om dette er en rimelig antagelse skal du beregne forholdet mellom NO_2 og NO som man teoretisk kunne ha fått dersom reaksjonen



var i likevekt ved 940 °C (bruk SI Chemical data til å bestemme likevektskonstanten; hvis du ikke får til dette kan du sette $K = 0.03$).

Data: Anta at luften inneholder 21% oksygen
Bruk følgende konstante midlere varmekapasiteter

$$C_P(\text{NH}_3)(\text{g}) = 37 \text{ J/K mol (opp til } 230 \text{ }^\circ\text{C}); = 54 \text{ J/K mol (} 230 \text{ }^\circ\text{C til } 940 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$C_P(\text{luft})(\text{g}) = 29 \text{ J/K mol (opp til } 230 \text{ }^\circ\text{C}); = 32 \text{ J/K mol (} 230 \text{ }^\circ\text{C til } 940 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Oppgave 3/oppgåve 3.

Varmeveksler.

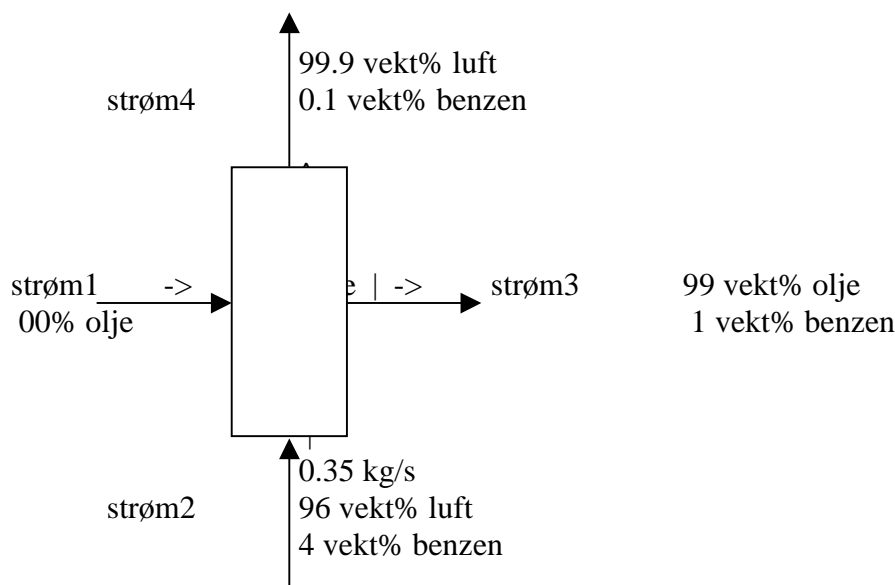
- (a) Hva er en varmeveksler? Forklar forskjellen på medstrøms og motstrøms varmeveksling og skisser typiske temperaturprofiler for de to tilfellene.
- (b) Formuler energibalansen for varm og kald side av en varmeveksler. Gi også et uttrykk for varmemengden som overføres fra varm til kald side. Hvilke antagelser er gjort?
- (c) En kald strøm (5 kg/s , $c_p = 1.5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$) skal varmeveksles med en varm strøm (3 kg/s , $c_p = 1.2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, $70 \text{ }^\circ\text{C}$) i en motstrøms varmeveksler. Utløpstemperaturen på varm side er $24 \text{ }^\circ\text{C}$ og $U=150 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Bestem varmevekslerens areal.
- (d) I en annen medstrøms varmeveksler har vi innløpstemperaturer $90 \text{ }^\circ\text{C}$ (varm side) og $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (kald side). Ved utløpet er temperaturene $55 \text{ }^\circ\text{C}$ (varm side) og $53.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (kald side). Hva hadde utløpstemperaturene blitt om man "koblet om" og istedet benyttet motstrøm (med den samme varmeveksleren)? Hvor mye mer varme overføres (i %)? (Tips: Det kan her lønne seg å velge en basis, f.eks. $Q=100$, for tilfellet med medstrøm, og bruke dette til å beregne UA og varmekapasiteter (c_p) på varm og kald side. Finn så Q for motstrøm ved "prøve og feile").

Oppgave 4/oppgåve 4

Massebalanse absorpsjonskolonne

I en absorpsjonsprosess brukes olje til å fjerne benzen fra forurenset luft (fig. 3). Hvor mange uavhengige massebalanser kan settes opp?

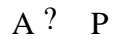
Beregn mengde olje (strøm 1).



Figur 3. Absorpsjonskolonne

Oppgave 5/oppgåve 5.

- a) Den irreversible væskefasereaksjonen:



med hastighetsligningen $-r_A = k \cdot C_A$ (1. ordens reaksjon) skjer i en isoterm, perfekt blandetanksreaktor (CSTR). Væskens tetthet kan regnes som konstant. Volumetrisk fødehastighet er $0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{A0} = 10 \text{ mol/m}^3$ og reaktorvolumet er 1 m^3 . Temperaturen er $50 \text{ }^\circ\text{C}$, og hastighetskonstanten ved denne temperaturen er bestemt til å være 0.003 s^{-1} .

Hva blir omsetningsgraden ut av reaktoren?

- b) Reaksjonen utføres i stedet i en isoterm stempelstrømsreaktor (PFR) med volum
- 1 m^3
- , 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 $R = 8.314 \text{ J/mol, K}$
- 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 stempelstrømsreaktor (PFR)	$F_{A0} \frac{dX}{dV} = -r_A$		$V = F_{A0} \int_0^X \frac{dX}{-r_A}$

