



EKSAMENSOPPGAVE I FAG TKP 4105

Faglig kontakt under eksamen: Sigurd Skogestad
(May-Britt Hägg

Tlf: 913 71669
Tlf: 930 80834)

Eksamensdato: 08.12.11

Eksamenstid: 09:00 – 13:00

7,5 studiepoeng

Tillatte hjelpemidler: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler tillatt.

Bestemt enkel kalkulator tillatt (kode D)

Språkform:

Antall sider bokmål/nynorsk/engelsk: 9

Antall sider vedlegg: 1

Millimeterpapir eller rutepapir nødvendig for oppgave 2

Sensurdato:

Merk! Studentene må primært gjøre seg kjent med sensur ved å oppsøke sensuroppslagene. Evt. telefoner om sensur må rettes til instituttet eller sensurtelefonene. Eksamenskontoret vil ikke kunne svare på slike telefoner.

Oppgave 2/ Oppgave 2. Destillasjon av luft (20%)

En føde med to komponenter (79 mol% N₂ og 21% O₂) skal separeres ved kontinuerlig destillasjon.

(a) Beregn likevektsdata (y,x) ved 1 atm for separasjonen N₂-O₂ for x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 og 1 gitt at relativ flyktighet $\alpha = 3.5$.

(b) Hva er minimum antall teoretiske trinn som trengs for å få produkter med 99.99% N₂ (destillat, topp) og 99.5% O₂ (bunn)? (Kan bestemmes grafisk, men det er enklere å bruke Fenske-formelen $N = \ln S / \ln \alpha$)

(c) Hva er minimum reflux (L_{\min}/F) og tilhørende minimum oppkok (V_{\min}/F) når føden F er henholdsvis mettet væske og mettet damp? (Kan gjerne bestemmes grafisk)

Gitt: Relativ flyktighet, $\alpha = (y_L/x_L) / (y_H/x_H) = y(1-x) / x(1-y)$, hvor y og x er molfraksjoner av lett komponent. Normalt kokepunkt er 77.4 K for N₂ og 90.2 K for O₂.

Problem 2 – English text. Distillation of air (20%)

A feed with two components (79 mole% N₂ and 21% O₂) is to be separated by continuous distillation.

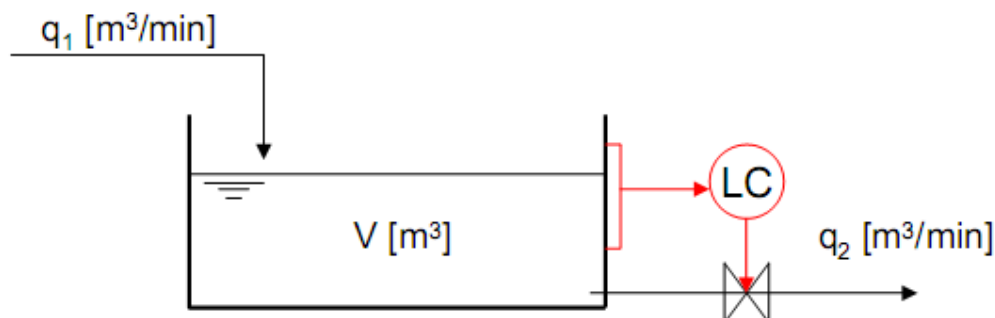
(a) Compute equilibrium data (y,x) at 1 atm for N₂-O₂ at x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1, given the relative volatility $\alpha = 3.5$.

(b) Find the minimum number of theoretical stages to get products with 99.99% N₂ (distillate, top) and 99.5% O₂ (bottom)? (You may find this graphically, but it is simpler to use the Fenske formula $N = \ln S / \ln \alpha$)

(c) What is the minimum reflux (L_{\min}/F) and corresponding minimum boilup (V_{\min}/F) when the feed F is saturated liquid and saturated vapor, respectively? (You may find this graphically)

Given: Relative volatility, $\alpha = (y_L/x_L) / (y_H/x_H) = y(1-x) / x(1-y)$, where y and x are the mole fractions of light component. The normal boiling point is 77.4 K for N₂ and 90.2 K for O₂.

Oppgave 3/ Oppgave 3. Prosessregulering (15%)



En tank med volum V benyttes for å midle ut variasjoner i strømmen q_1 , se figur. Det er foreslått en proporsjonalregulator (P-regulator) med algoritmen

$$q_2 = q_{20} + K_c (V - V_0)$$

- (a) Alternativt vurderes brukt en PI-regulator.
Hva blir algoritmen med en PI-regulator?
Hva er fordelene og evt. ulempene med en PI-regulator?

(b) I resten oppgaven skal vi bruke P-regulatoren gitt over med følgende verdier

$$V_0 = 1 \text{ m}^3, q_{20} = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}, K_c = 0.5 \text{ min}^{-1}$$

(i) Se på en stasjonær periode der $q_1 = q_2 = 0.2 \text{ m}^3/\text{min}$; hva er V i denne perioden? I en annen stasjonær periode er $q_1 = q_2 = 0.3 \text{ m}^3/\text{min}$; hva er V nå?

(ii) Dynamiske prosessmodeller tar generelt utgangspunkt i en dynamisk balanseligning. Formuler balansen for masse i tanken og finn under hvilke betingelser den kan forenkles til

$$dV/dt = q_1 - q_2$$

(iii) Anta at q_1 ved $t=0$ plutselig øker fra $0.2 \text{ m}^3/\text{min}$ til $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$. Vis at uttrykket for $q_2(t)$ kan skrives

$$q_2(t) = 0.2 + 0.1 (1 - e^{-t/\tau}) \text{ [m}^3/\text{min]}$$

Hva er verdien av tidskonstanten τ ? Hva er q_2 ved $t=0$, $t=1$, $t=2$, $t=5$ og $t=\infty$ [min]? Tegn en figur som viser både $q_1(t)$ og $q_2(t)$.

Problem 3 – English text. Prosess control (15%)

A tank with volume V is used to average out variations in the flow q_1 , see the figure. It is proposed to use a proportional controller (P-controller) with the algorithm

$$q_2 = q_{20} + K_c (V - V_0)$$

(a) Alternatively, a PI controller may be used.

What is the algorithm with a PI-controller?

What is the advantage and possible disadvantage with a PI-controller?

(b) In the rest of this problem, we use the P-controller described above with the following data:

$$V_0 = 1 \text{ m}^3, q_{20} = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}, K_c = 0.5 \text{ min}^{-1}$$

(i) Consider a steady-state period where $q_1=q_2=0.2 \text{ m}^3/\text{min}$; what is V during this period? In another steady-state period $q_1=q_2=0.3 \text{ m}^3/\text{min}$; what is V now?

(ii) Dynamic process models are generally based on dynamic balance equations. Formulate the mass balance for the tank and show under which conditions it may be simplified to

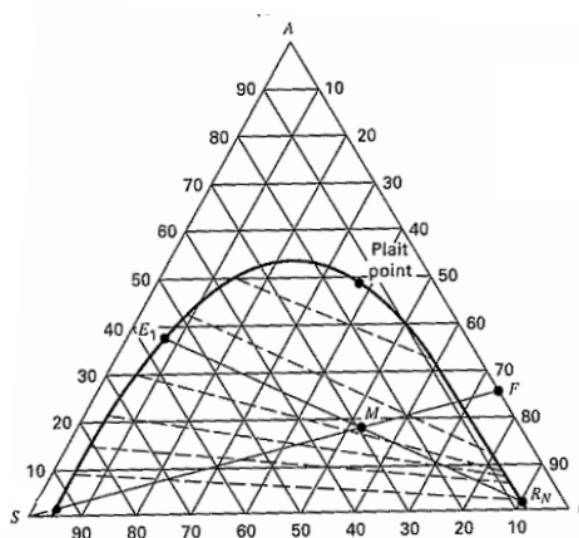
$$dV/dt = q_1 - q_2$$

(iii) Assume that q_1 at $t=0$ suddenly increases from $0.2 \text{ m}^3/\text{min}$ to $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$. Show that the expression for $q_2(t)$ becomes

$$q_2(t) = 0.2 + 0.1 (1 - e^{-t/\tau}) \quad [\text{m}^3/\text{min}]$$

What is the value of the time constant τ ? What is q_2 at $t=0, t=1, t=2, t=5$ and $t=\infty$ [min]? Make a plot of $q_1(t)$ and $q_2(t)$.

Oppgave 4/ Oppg ve 4. Ekstraksjon (15%)



Liquid-liquid equilibrium for the system A-C-S (wt%) (see larger diagram in Appendix)

Vi har gitt en føde F (250 kg/min) med komponentene A og C der vi ønsker å redusere mengden av A ved bruk av motstrøms ekstraksjon med ren komponent S. De ønskede produkter er R_N (hovedprodukt) og E_1 (biprodukt), se figuren.

(a) Tegn flytskjema for prosessen for tilfellet med tre trinn ($N=3$).

(b) Bruk massebalanser til å fylle inn følgende tabell

Komponent/Strøm	F (føde)	F_S (føde)	R_N (produkt)	E_1 (produkt)
Totalt (kg/min)	250			
Vektfraksjon A		0	0.025	
Vektfraksjon C		0		
Vektfraksjon S		1		

(c) Bestem grafisk antall trinn (N) som trenges for å få de ønskede produkter R_N og E_1 (bruk diagrammet i vedlegget).

(d) Tegn flytskjema for ett-trinn ekstraksjon ($N=1$) og bestem mengde og sammensetning av produktene (R og E).

Problem 4 – English text. Extraction (15%)

We have a given feed F (250 kg/min) with components A and C, and we want to reduce the amount of A using countercurrent extraction with pure component S. The desired products are R_N (main product) og E_1 (side product), see the figure.

(a) Make a flowsheet of the process for the case with three stages ($N=3$).

(b) Use mass balances to complete the following table

Component/Stream	F (feed)	F_S (feed)	R_N (product)	E_1 (product)
Total (kg/min)	250			
Weight fraction A		0	0.025	
Weight fraction C		0		
Weight fraction S		1		

(c) Determine graphically the number of stages (N) required to get the desired products R_N og E_1 (use the diagram given in the Appendix).

(d) Make a flowsheet for one-stage extraction ($N=1$) og find the amount and composition of the products (R and E).

Vedlegg (Appendix)

