

Institutt for kjemisk prosess teknologi

## **Eksamensoppgave i TKP4105 Separasjonsteknologi**

**Faglig kontakt under eksamen: May-Britt Hägg Tlf: 930 80834**

**Sigurd Skogestad Tlf: 913 71669**

**Eksamensdato: 16.12.13**

**Eksamenstid (fra-til): 09:00 – 13:00**

**Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler  
tillatt. Bestemt enkel kalkulator tillatt (kode D)**

**Annen informasjon:**

**Målform/språk: Bokmål / Nynorsk**

**Antall sider: 5 (inkludert forside)**

**Antall sider vedlegg: 2**

**Millimeter pair utleveres!**

**Kontrollert av:**

---

Dato

Sign

## Oppgave 1 / Oppgave 1– Gass separasjon med membraner 25%

En fødestrøm med blanda gass inneholder 50% av gass A og 50% av gass B. Disse gassene skal skilles i en membran separator. Gass A er den gass som permeerer hurtigst, mens gass B er den verdifulle gassen vi vil ha så ren som mulig. (Dette kan for eksempel være biogass, med andre ord, A = CO<sub>2</sub> og B = CH<sub>4</sub>)

Benytt ideell blandemodell for å gjøre beregningene. Der er ellers gitt opplysninger om systemet under oppgaven, samt aktuelle likninger i vedlegg 1

- Beregn minimum konsentrasjon vi kan oppnå av komponent A i retentat strømmen – hvor ren er i dette tilfelle gass B?
- Anta at vi for systemet klarer å oppnå en konsentrasjon av A i retentatet som er 25% høyere enn den du har beregnet i oppgave a). Hva blir da sammensetningen av permeat strømmen? Hvor mye av komponent B (gi svaret i %) mister vi med permeat strømmen?
- Hvor stort membranareal er nødvendig for å utføre denne separasjonen?
- Har du forslag til hvordan vi kan minske tapet av B ved å endre litt på prosessen?

### Gitt for systemet:

Feed stream,  $q_f = 2 \text{ m}^3(\text{STP}) / \text{min}$

Feed pressure: 10 bar

Permeate pressure: 1 bar (1 bar = 76 cm Hg)

Membrane thickness:  $t = 10^{-6} \text{ m}$

Permeability of A:  $P'_A = 400 \text{ Barrer}$  (1 Barrer =  $10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP})\text{cm}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm Hg})$ )

Selectivity of  $P'_A/P'_B$ :  $\alpha = 30$

Fraction of the feed gas permeating:  $\theta = 0,53$

Se også Vedlegg 1 for likninger

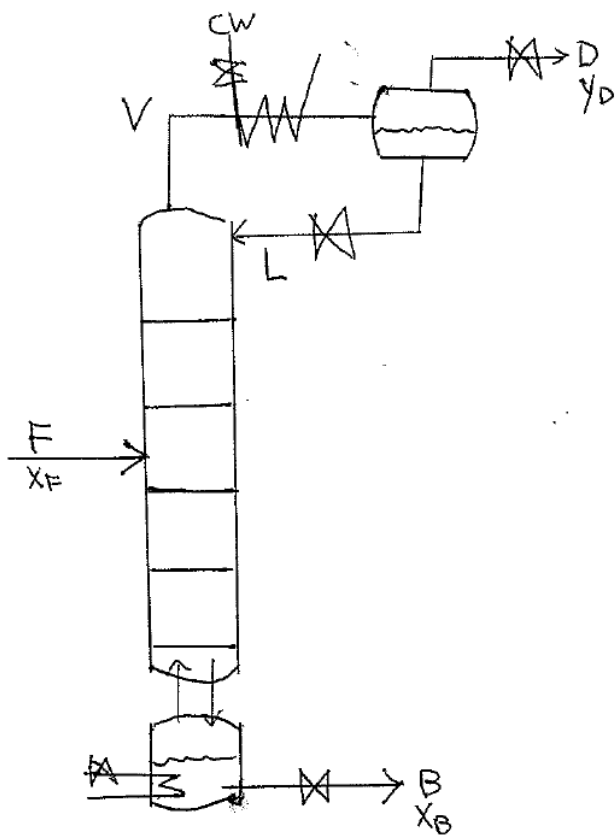
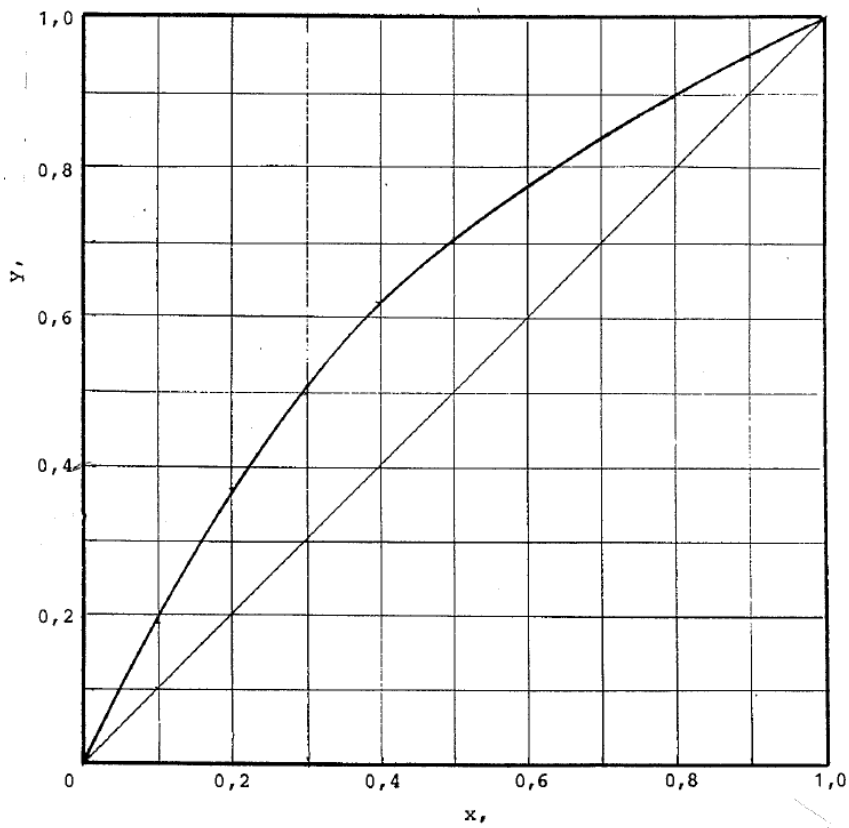
## Oppgave 2 / Oppgave 2 Destillasjon 25%

En destillasjonskolonne har 7 teoretiske trinn (koker + 3 ideelle plater under føden + 2 ideelle plater over føden + partiell kondensator). Føden på 10 kmol/h er en binær mettet væske med  $x_F=0.5$  (molfraksjon A). Kolonnen opererer ved 2 atm, og xy-likevektsdata ved 2 atm er gitt på figuren.

Driftspesifikasjoner: Det er gitt av topp-produktet (D) skal ha  $y_D=0.90$  (molfraksjon A) og at det molare forholdet mellom væske og gass i øvre del av kolonnen skal være  $L/V=0.86$ .

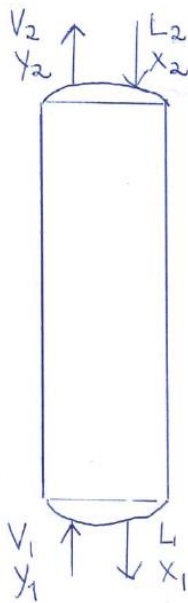
- (i) Bestem molfraksjonen  $x_B$  av komponent A i bunnproduktet og finn mengden destillat D og bunnprodukt B [kmol(h)].  
(ii) Hvordan endres svaret om føden flyttes ett trinn ned (slik at det er 3 ideelle plater over føden)?
- Regulering (kan gjøres uavhengig): Foreslå en reguleringsstruktur som er i tråd med driftsspesifikasjonene (Hva er MV'er, CV'er og foreslåtte parringer?)

(to figurer – se neste side)



Figurer for oppgave 2

### Oppgave 3 / Oppgåve 3 - Absorpsjon 25%



$$\frac{y_1 - y_1^*}{y_2 - y_2^*} = A^N \quad (1)$$

$$A = \frac{L/V}{m} \quad (2)$$

$$A = \frac{y_1 - y_2}{y_1^* - y_2^*} \quad (3)$$

Figur for oppgave 3

Forbrenningsgassen ( $V_1$ ) fra et kullfyrt kraftverk er på 3000 mol/s (84 kg/s) ved 1 bar og inneholder 0.2 mol% SO<sub>2</sub> ( $y_1=0.002$ ). Vi ønsker å fjerne minst 95% av SO<sub>2</sub>'en ( $y_2 < 0.0001$ ) ved absorpsjon med 90000 mol/s (1600 kg/s) sjøvann ( $x_2=0$ ) ved 25°C; se figur.

Likevektsdata (Henry's konstant for SO<sub>2</sub> i vann;  $p_{SO_2} = Hx$  der  $x$  er molfraksjon SO<sub>2</sub>):  $H=115$  bar (50°C),  $H=46$  bar (25°C),  $H=22$  bar (5°C).

- Selv med en stor kolonne (med et stort antall teoretiske trinn,  $N$ ) oppnås ikke ønsket spesifisering på SO<sub>2</sub>. Kan du forklare hvorfor? Hva er fraksjonen SO<sub>2</sub> ( $y_2$ ) i utgassen dersom du antar en meget stor kolonne ( $N \rightarrow \infty$ )?
- For å fjerne mer SO<sub>2</sub> foreslå det å bygge en kolonne til, dvs. utgassen ( $y_2$ ) sendes til en annen identisk absorpsjonskolonne (som også har 90000 mol/s med sjøvann og mange trinn). Lag et flytskjema av den foreslåtte prosessen med to kolonner. Hjelper dette? Hva er fraksjonen SO<sub>2</sub> ( $y_2'$ ) etter den andre absorpsjonskolonnen når du antar en meget stor kolonne ( $N \rightarrow \infty$ )?
- I stedet for å bygge en kolonne til, er følgende modifikasjoner av den opprinnelige designen med en kolonne foreslått:
  - Øke sjøvannsmengden med en faktor 2.
  - Redusere temperaturen fra 25°C til 5°C.
  - Øke trykket fra 1 bar til 2 bar.

Vil noen av disse endringene gi akseptabel SO<sub>2</sub>-fjerning? Hvilken av endringene vil du anbefale?

- For beregningene i delspørsmål (c) kan du om ønskelig bruke Kremser-ligningen (1) gitt i figuren med  $N=10$ .
  - Hvilke antagelser ligger bak ligning (1)?
  - Hvordan er  $y_1^*$  og  $y_2^*$  definert?
  - $A$  is definert i (2), men er også gitt av (3). Bruk et  $y$ -diagram med inntegnet driftslinje og likevektskurve (McCabe-Thiele) til å bevise at (3) er riktig.

#### Oppgave 4 / Oppgåve 4 Adsorpsjon 25%

Ved å bruke en molekylsikt, skal vanndamp fjernes fra  $N_2$  gass i en pakket kolonne ved  $28^\circ C$ . Kolonnas høyde er 0.3 m, og bulk tettheten av partiklene er  $712.8 \text{ kg/m}^3$ . Den opprinnelige konsentrasjonen av vann i partiklene i kolonna er  $0.01 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg partikler}$ , og massehastigheten av  $N_2$ -gassen er  $4052 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . Vann konsentrasjonen i gassen er ved innløp  $c_0 = 926 \times 10^{-6} \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg N}_2$

«The break through» data for masseoverføringsonen er gitt under. En verdi for  $c/c_0 = 0.02$  er antatt for «the break point»

$t$ (h)	0	9	9.2	9.6	10	10.4
$c$ (kg $H_2O$ /kg $N_2 \times 10^6$ )	<0.6	0.6	2.6	21	91	235
$t$ (h)	10.8	11.25	11.5	12.0	12.5	12.8
$c$ (kg $H_2O$ /kg $N_2 \times 10^6$ )	418	630	717	855	906	926

- Tegn kurven  $c/c_0$  som funksjon av tid
- Bestem tiden frem til «break point», og høyden på ubrukt kolonne.
- Bestem fraksjonen av total kapasitet som er brukt opp til dette punktet.
- Bestem kapasiteten kolonna har for opptak av vann opp til «break point»