



EKSAMENSOPPGAVE I FAG TKP 4105

Faglig kontakt under eksamen: May-Britt Hägg

Tlf: 930 80834

Sigurd Skogestad

Tlf: 913 71669

Eksamensdato: 01.12.09

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: 6

Antall sider vedlegg: 3 (2vedlegg)

Millimeter papir eller rutepapir nødvendig for oppgave 3

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 / oppgave 1 Tørkeprosess (vekt 30%)

En "batch" på 100 kg ullgarn (tørr vekt) tørkes ved atmosfærisk trykk fra et vanninnhold på $X = 0,53$ til $X = 0,11$ kg vann / kg tørt materiale.

Tørkelufta er ved konstant temperatur 62°C og med konstant fuktighetsinnhold på $0,0134$ kg damp / kg tørr luft. Partialtrykket for dampen er ved denne temp. ca. 1 kPa

Tørkeraten er konstant lik 15 kg H_2O / time m^2 , til vanninnholdet er $X = 0,23$ kg H_2O / kg tørt materiale. Vi betrakter et tørkeareal på 1 m^2 .

Likevekt nås ved $X^* = 0,05$ kg H_2O / kg tørt garn. Med vanninnhold mellom $X = 0,23$ og $X^* = 0,05$ antas tørkeraten å være proporsjonal med det frie vanninnholdet i garnet. Tørkeprosessen antas her å være kapillærkontrollert.

- Bestem den innkomne lufts prosentvise relative fuktighetsinnhold (H_R)
- Skisser tørkekurven utfra gitte opplysninger; indiker på figuren verdier som er kjent
- Bestem temperaturen på garnet i perioden for konstant tørkerate. Presiser eventuelle antagelser. Trekk linjene i det gitte fuktighetsdiagrammet som viser hvordan du finner svaret ditt, og lever dette med oppgaven.
- Bestem tørketiden for hver "batch". Anta at tørkeprosessen er kapillærkontrollert i hele perioden med avtagende tørkerate.
- Med referanse til figur 1 i vedlegg, bestem ullgarnets likevekts vanninnhold (X^*) når omgivende lufts prosentvise relative fuktighet (H_R) er 20% (ved temperatur 25°C) Kommenter svaret i forhold til oppgitt informasjon i oppgaven og ditt svar i a).
- For å korte ned på tørketiden endres hastigheten på tørkelufta, og tørkeprosessen i perioden med den avtagende tørkeraten går over fra å være kapillærkontrollert til diffusjonskontrollert. Den konstante tørkehastigheten øker nå til 20 kg H_2O / time m^2 . Hvordan ser tørkekurven nå ut? Skisser.

Ellers gitt: Den fundamentale likning for tørking /fundamental equation for drying:

$$R = (-L/A)(dX/dt)$$

hvor $R =$ tørkerate (kg H_2O /time m^2); (drying rate; kg $\text{H}_2\text{O}/\text{h m}^2$)

$L/A =$ produksjon (kg tørt materiale/ m^2); production
(kg dry materia l/ m^2)

$X =$ kg H_2O / kg tørt material; (kg H_2O / kg dry material)

$t =$ tid (timer); (hours)

Se dessuten Vedlegg 1

English text Problem 1 Drying process (weight 30%)

A batch of 100 kg yarn (dry weight wool) is going to be dried at atmospheric pressure from a water content of $X = 0,53$ to $0,11$ kg water / kg dry yarn. The air used for drying is coming in at a temperature of 62°C and with a humidity of $0,0134$ kg water vapour / kg dry air. Partial pressure for the vapour at this temperature is 1 kPa. The drying rate is constant and equal to 15 kg H_2O / $\text{h}\cdot\text{m}^2$, until the water content has reached $X = 0,23$ kg H_2O / kg dry yarn. We consider a drying area of 1 m^2 . Equilibrium is reached at $X^* = 0,05$ kg H_2O / kg dry yarn. At the water content between $X = 0,23$ and $X^* = 0,05$, the drying rate is assumed to be proportional to the free water content in the yarn. The drying process here is assumed to be controlled by capillary forces.

- a) Find the percent relative humidity of the air coming in (H_R)
- b) Make a drawing of the drying curve from the given information – indicate on the figure the values which are given
- c) Determine the temperature of the yarn in the constant drying period. Write down any assumptions you are making. Draw the lines in the given humidity diagram showing how you find the temperature, and turn in the sheet with your papers.
- d) Calculate the drying time for a batch. Assume that capillary forces control the drying process in the process with decreasing drying rate.
- e) With reference to figure 1, attachment 1, determine the equilibrium water content (X^*) of the yarn when the relative humidity of air (H_R) is 20% (at air temperature 25°C). Comment on your answer by comparing with given information and your answer in a).
- f) In order to reduce the drying time, the velocity of the air is changed, and the drying process goes from being capillary controlled to be diffusion controlled in the reduced drying rate period. The constant drying rate is now increased to 20 kg H_2O / $\text{h}\cdot\text{m}^2$. Make a sketch of how the drying curve now looks.

Oppgave 2 / Oppgåve 2 Osmose – Revers osmose (vekt 20%)

- a) Forklar med skisse hvordan et osmotisk trykk (π) bygges opp. Vis med piler strømningsretning på vannfluks (N_w) og saltfluks (N_s)
Foklar hva som forstås med revers osmose
Gi eksempler på utnyttelse av en osmotisk prosess og en revers osmotisk prosess

For oppgave b) og c) er følgende informasjon er gitt for en revers osmotisk prosess:

Vannets permeabilitetskoeffisient, $A_w = 2.04 \cdot 10^{-4} \text{ kg H}_2\text{O} / (\text{s m}^2 \text{ bar})$

Tilgjengelig trykk for prosessen, $\Delta p = 50 \text{ bar}$

Likning for beregning av det osmotiske trykk, $\Delta\pi = (n/V_m) \cdot RT$

Hvor n = antall mol av løst stoff

V_m = volum av rent løsningsmiddel

R = gass konstanten, $82.06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{bar} / \text{kmol} \cdot \text{K}$

T = temperatur, 298 K

- b) Beregn det osmotiske trykk når vannløsningen inneholder 0.5 mol NaCl per kg H_2O . Presiser eventuelle antagelser du gjør.
- c) Beregn vannfluksen, N_w [$\text{kg H}_2\text{O} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$], for den membranen som benyttes
- d) Beregn nødvendig membranareal for å produsere 2000 liter ferskvann i døgnet

English text Problem 2 Osmosis – Revers Osmosis (weight 20%)

- a) Explain with illustrations how an osmotic pressure is being built up. Illustrate with arrows the directions of the water flux (N_w) and the salt flux (N_s)
Explain what is understood with revers osmosis
Give examples on where we have the advantage of an osmotic process and a revers osmotic process

For problem b) and c) the following information is given for a revers osmotic process:

Water permeability coefficient, $A_w = 2.04 \cdot 10^{-4} \text{ kg H}_2\text{O} / (\text{s m}^2 \text{ bar})$

Available pressure for the process, $\Delta p = 50 \text{ bar}$

Equation for calculation of the osmotic pressure, $\Delta\pi = (n/V_m) \cdot RT$

Where n = number of moles solute

V_m = volume of pure solvent (water)

R = gas constant, $82.06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{bar} / \text{kmol} \cdot \text{K}$

T = temperature, 298 K

- b) Calculate the osmotic pressure when the water solution contains 0.5 mole NaCl per kg H_2O . Comment on any assumptions you make.
- c) Calculate the water flux, N_w [$\text{kg H}_2\text{O} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$], for the membrane in use
- d) Calculate the necessary membrane area to produce 2000 litre of fresh water per 24 hours

Oppgave 3 / Oppgave destillasjon (vekt 35%)

Føden til en destillasjonskolonne er 100 kmol/h med 20 mol-% metanol (A) og resten vann. Destillat-produktet skal inneholde 98 mol-% A og tapet av A i bunnproduktet skal være 0.1 % av A i føden.

- Føden er på mettete væske på kokepunktet
- Total kondensator med reflux på kokepunktet
- Oppvarming skjer ved direkte innblåsning av vanndamp (V), dvs. det er ingen koker.
- Trykket i kolonnen er 1 atm
- Refluksforhold $R=L/D=2$
- Angi ytterligere antagelser du gjør for å løse oppgaven

Damp/væske likevektsdata (molfraksjon A)

x	0.02	0.04	0.10	0.20	0.40	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95
y	0.134	0.23	0.418	0.579	0.729	0.825	0.870	0.915	0.958	0.979

(a) Beregn mengde og sammensetninger av strømmene V (dampføde), D (topp-produkt) og B (bunnprodukt).

(b) Hvilken sammenheng er det driftslinjen uttrykker?

Utlede ligningene for driftslinjene i kolonnen (med symboler).

Vis at driftslinjen i topp går gjennom punktet (x_D, x_D) og i bunn gjennom punktet $(x_B, 0)$

(c) Bestem antall teoretiske trinn og fødetrinn når føden er optimalt plassert.

(d) Hva er kolonnediameteren dersom gasshastigheten er 1 m/s (anta $V=100$ kmol/h hvis du ikke fant den i delspørsmål a)?

(e) Hva er minimum dampmengde V_{\min} (med uendelig antall trinn)? Hvor mye høyere er den virkelige dampmengden V?

English text: Problem 3 (weight 35%)

The feed to a distillation column is 100 kmol/h and contains 20 mol-% methanol (A) and 80% water. The distillate product is 98 mol% A and the loss of A in the bottom product should be 0.1 A of A in the feed.

- The feed is saturated liquid at the boiling point
- We use a total condenser with reflux at its boiling point
- The heat is supplied by direct steam (V) injection, that is, there is no reboiler.
- Column pressure is 1 atm
- Reflux ration $R=L/D=2$
- Please give any additional assumptions you make
- VLE data is given above

(See the Norwegian text for equilibrium data)

(a) Find the amount and composition of the streams V (steam injection), D (top product) and B (bottom product).

(b) What relationship does the operating line express?

Derive the operating lines for the column (with symbols).

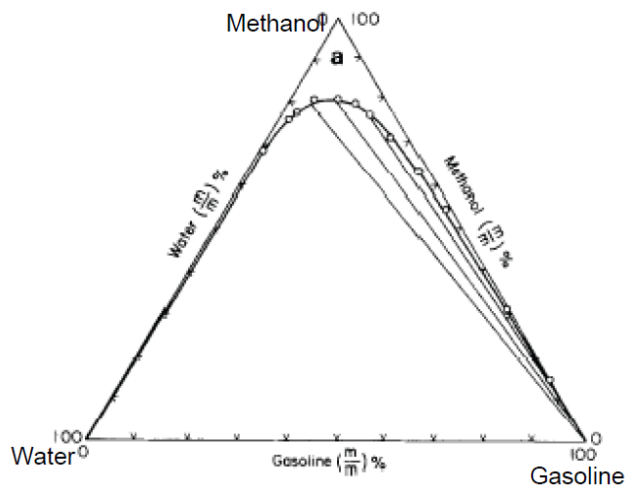
Show that the operating line for the top part goes through the point (x_D, x_D) and for the bottom goes through the point $(x_B, 0)$.

(c) Find the number of theoretical stages and feed stage when the feed is optimally located.

(d) What is the diameter of the column if the gas velocity is 1 m/s (assume $V=100$ kmol/h if you could not solve part a)?

(e) What is the minimum steam required V_{\min} (with infinite number of stages)? How much larger is the actual steam amount V?

Oppgave 4 / Oppgave Ekstraksjon (15%)



(a) Vi har en blanding med 500g vann og 500 g bensin som danner to væskefaser (se trekantdiagram). Hvor mye metanol må tilsettes for at vi skal få kun en væskefase?

(b) Vi har en blanding ($V_0=10$ t/h) av 50 vekt% metanol og 50% bensin som vi ønsker å separere for å få renere bensin. Noen har foreslått å tilsette vann ($L_0=1$ t/h) og bruke en ett-trinns ekstraksjonsprosess (mixer-settler). Tegn inn plasseringen på fødene L_0 og V_0 på trekantdiagrammet og bestem mengden og sammensetningen av produktene (L_1 , V_1). Benytt figuren i vedlegg 2 som leveres med oppgaven

(c) Tegn flytskjema for en multi-trinns ekstraksjonsprosess. Vil du anbefale å vurdere multi-trinns ekstraksjon i dette tilfellet?

English text Problem 4 (weight 15%)

(a) We have a mixture of 500 g water and 500 g gasoline that forms two liquid phases. How much methanol do you need to add to get only one liquid phase (use the diagram)?

(b) We have a mixture ($V_0=10$ t/h) of 50 wt% methanol and 50 wt% gasoline that we want to separate to make purer gasoline. It has been suggested to add water ($L_0=1$ t/h) and use a one-stage extraction process (mixer-settler). Plot in the feeds L_0 and V_0 on the diagram and find the amounts and compositions of the products (L_1 , V_1).

Use the diagram in attachment 2 which is to be turned in with your answer.

(c) Make a flow sheet of a multi-stage extraction process. Would you recommend considering multi-stage extraction in this case?

ATTACHMENT 1

Humidity diagram 1 page, to be turned in
For information Table A2-9 and Figure 9.4-1, 1 page

Diagram for problem 4 – to be turned in

