



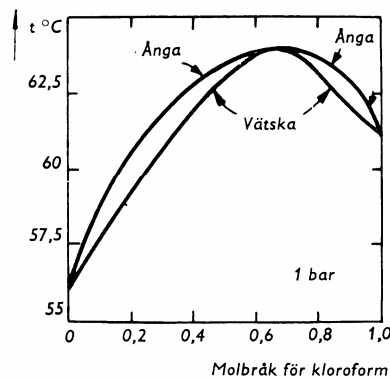
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Institutionen för kemi- och bioteknik

KURSNAMN	Bisoseparationsteknik, KAA150
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram bioteknik årskurs 3 läsperiod 3 ,
EXAMINATOR	Krister Ström
TID FÖR TENTAMEN	Onsdag 8 mars 2006, kl 14.00-18.00
LOKAL	V
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa av standardtyp. "Data och Diagram" av Sven-Erik Mörtstedt/Gunnar Hellsten "Tabeller och Diagram" av Gunnar Hellsten "Physics Handbook" av Carl Nordling/Jonny Österman "BETA β " av Lennart Råde/Bertil Westergren Formelblad (vilket bifogats tentamenstesen)
ANSV LÄRARE: namn telnr besöker tentamen	Krister Ström 772 5708 ca. kl. 15.00 och 17.00
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås tisdag 8 mars på kurshemsidan studieportalen. Resultat på tentamen anslås senast fredag 24 mars efter kl 12.00. Granskning tisdag 27 mars samt torsdag 29 mars kl. 12.30-13.00 i biblioteket på Kemisk apparatteknik, forskarhus I plan 2.
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av teoriproblem, del A, och en beräkningsdel, del B. Omfattningen av del av är 20% av totalpoängen på tentamen Poäng på respektive uppgift finns noterat i tentamenstesen. För godkänd tentamen fordras 50% av tentamens totalpoäng. Samtliga diagram och bilagor skall bifogas lösningen av tentamensuppgiften. Diagram och bilagor kan ej kompletteras med vid senare tillfälle. Det är Ditt ansvar att Du besitter nödvändiga kunskaper och färdigheter. Det material som Du lämnar in för rättning skall vara väl läsligt och förståeligt. Material som inte uppfyller detta kommer att utelämnas vid bedömningen.

Del A: Teori

- A1.** Redogör med hjälp av figuren nedan för vad som händer, då en blandning av aceton och kloroform, där kloroform har molbråket 0,2, upphettas från 55°C till 65°C vid ett konstant tryck av 1 bar! Antag att blandningen upphettas i en behållare, som är så konstruerad att trycket kan hållas vid 1 bar men att något material inte kan lämna den samma.



- (4p)
- A2.** Vad har återflödet för funktion vid separationsmetoden destillation? Beakta masstransport- och energiaspekter!
- (4p)
- A3.** Vad är den principiella skillnaden mellan fysikalisk absorption, absorption med kemisk reaktion och adsorption?
- (3p)
- A4.** Hur kommer verkningsgraden att förändras i en bottenkolonn under en absorptionsprocess om vi separera ett system som utvecklar ett blandningsvärme vilket resulterar i en temperaturökning? Hur kan detta praktiskt lösas så att en god verkningsgrad på processen erhålls?
- (4p)
- A5.** Redogör för hur lakgodsets och lakmedlets egenskaper påverkar lakningsförloppet! Hur kan man ordna för en så effektiv lakning som möjligt?
- (4p)
- A6.** Förklara hur en tallrikscentrifug fungerar! Gör en enkel skiss och bifoga några rader med förklarande text!
- (2p)
- A7.** Rita ett diagram som visar hur tryckfallet över en partikelbädd varierar med gashastigheten genom bädden! Diagrammet ska täcka området från vilande bädd till pulserande! Markera följande i diagrammet;
- Området för bubblande bädd
 - Området för fast bädd
 - Lägsta gashastigheten för fluidisation

(3p)

Del B: Beräkningsuppgifter

B1. En blandning av bensen och toluen separeras i en kontinuerligt arbetande destillationskolonn, utrustad med återkokare och totalkondensor. Separationen genomförs vid totaltrycket 100 kPa. Det kokvarma tillflödet till kolonnen, 100 kmol/h, håller 45 mol-% bensen och resten toluen. Man önskar en topprodukt som håller 10 mol-% toluen och att 8% (baserad på molbas) av till kolonnen påförd bensen, i tillflödet, förs ut i bottenprodukten. Destillationskolonnen arbetar vid ett yttre återflödesförhållande av 2.0.

- Hur stora produktflöden erhålls från kolonnen?
- Hur många ideala bottenar fordras för att genomföra separationen?
- Vilken temperatur håller det kokvarma tillflödet?

Jämviktsdiagram för systemet bensen-toluen bifogas.

Givna data:

Systemet bensen-toluen antages uppträda idealt!

Antoines ekvation:
$$\log P^0 \text{ (mmHg)} = A - \frac{B}{C + t(^{\circ}\text{C})}$$

Antoinekonstanter:

Komponent	A	B	C
Bensen	6.90565	1211.033	220.790
Toluen	6.95464	1344.800	219.482

(10p)

B2. I en en-effektsindunstare ska 2.0 kg sockerlösning/s indunstas. Tillflödet har en sockerhalt av 20 vikt-% och är kokvarm. Indunstaren drivs med mättad ånga, 0.75 kg/s, av 5 bars mättnadstryck. Det skenbara värmegenomgångstalet har bestämts till 0.950 kW/m²K och trycket i indunstaren är 1 bar.

- Beräkna erforderlig värmeöverföringsarea samt avdunstningsfaktorn!

Givna data

Entalpi för sockerlösningen beräknas genom

$$H_{\text{sockerlösning}}(x, T) = 0.214x^2 - 8.76x + 4.36T \quad [\text{kJ/kg}]$$

där x är lösningens sockerhalt [vikt-%] och T är lösningens temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Kokpunktsförhöjningen för sockerlösningen beräknas genom

$$\beta(x) = 0.0047x^2 - 0.053x + 4.18 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

där x är lösningens sockerhalt [vikt-%]

(9p)

B3. Vid en provfiltrering av en uppslamning med 20 vikt-% fasta, inkompressibla partiklar i en filtreringsapparat med 10 m^2 filtreringsyta och konstant tryckfall, erhöles följande samhörande värden mellan filtratvolym och filtreringstid:

t (s)	220	700	1410	2390	3600
V (m^3)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0

- Beräkna hur lång tid det tar att fylla filtret.

Filterkakans tjocklek är 30 mm då filtret är fyllt och dess porositet är 0.50. Filtratets densitet är 1000 kg/m^3 och partiklarnas densitet är 3000 kg/m^3 .

(10p)

B4. Krossade oljefrön, innehållande 20 vikt-% olja, lakas i motström. Extraktströmmen innehåller 50 vikt-% olja vilket motsvarar en utvinningsgrad av 90%. Ingående lösningsmedel (hexan) är fritt från olja. Från varje idealt lakningssteg medföljer 1 kg lösning per kg olösligt material i underströmmen.

- Hur många ideala lakningssteg fordras för separationen?
- Hur många kg lösningsmedel fordras per 100 kg ingående krossade frön?

(7p)

Göteborg 2006-03-01
Krister Ström

Bioseparationsteknik

Formelsamling

TORKNING

$$\dot{M}_G \cdot \Delta x = \dot{M}_S \cdot \Delta X = \dot{M}_D$$

ABSORPTION

Vätningshastigheten:
$$L_W = \frac{L'}{\rho_L \cdot S_B}$$

$L_W > 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ för ringar med diameter mellan 25 mm och 75 mm, och för galler med delning mindre än 50 mm.

$L_W > 3.3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ för större packningsmaterial.

Bindelinjens lutning:
$$\frac{y - y_i}{x - x_i} = - \frac{k_L \cdot a \cdot C_T}{k_G \cdot a \cdot P}$$

Packningshöjd: Vid låga halter:
$$Z = \frac{G}{k_G \cdot a \cdot P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y - y_i)} = \frac{G}{K_G \cdot a \cdot P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y - y_e)}$$

$$Z = \frac{L}{k_L \cdot a \cdot C_T} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{(x_i - x)} = \frac{L}{K_L \cdot a \cdot C_T} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{(x_e - x)}$$

$$Z = \frac{G_m}{k_G \cdot a \cdot P} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{(Y - Y_i)} = \frac{G_m}{K_G \cdot a \cdot P} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{(Y - Y_e)}$$

$$Z = \frac{L_m}{k_L \cdot a \cdot C_T} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{(X_i - X)} = \frac{L_m}{K_L \cdot a \cdot C_T} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{(X_e - X)}$$

Vid rät driftlinje
och rät jämvikts-
kurva:

$$Z = \frac{G}{K_G \cdot a \cdot P} \cdot \frac{1}{1 - \frac{m \cdot G}{L}} \cdot \ln \frac{y_1 - m \cdot x_1}{y_2 - m \cdot x_2}$$

$$Z = \frac{L}{K_L \cdot a \cdot C_T} \cdot \frac{1}{\frac{L}{m \cdot G} - 1} \cdot \ln \frac{y_1 - m \cdot x_1}{y_2 - m \cdot x_2}$$

Vid rät driftlinje och rät jämviktskurva gäller:

$$H_{OG} = H_G + \frac{m \cdot G}{L} \cdot H_L$$

$$H_{OL} = H_L + \frac{L}{m \cdot G} \cdot H_G$$

FILTRERING

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu(c \alpha_{av} V + AR_m)} \quad c = \frac{\rho J}{(1-J) - \frac{\varepsilon_{av}}{1 - \varepsilon_{av}} J \frac{\rho}{\rho_s}}$$

SEDIMENTERING

Fri sedimentering:

$$v = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho) g}{18 \mu}$$

Klarnare:

$$A = \frac{F}{v}$$

SYMBOLFÖRTECKNING:

TORKNING

\dot{M}_D	flöde av avdunstat vatten, kg vatten/s
\dot{M}_G	torrt luftflöde, kg torr luft/s
\dot{M}_S	torrt godsflöde, kg torrt gods/s
x	luftfuktkvot, kg vatten/kg torr luft
X	fuktkvot, kg vatten/kg torrt gods

ABSORPTION

a	massöverförande yta per tornvolym, m^2/m^3
$C_{sb, flood}$	kapacitetsparameter, ft/s
C_T	vätskans totalkoncentration, $kmol/m^3$
e	packningens porositet, -
F	packningsfaktor, m^{-1}
F_{lv}	flödesparameter, -
g	tyngdaccelerationen, m/s^2
G	gasflöde, $kmol/(m^2 \cdot s)$
G'	gasflöde, $kg/(m^2 \cdot s)$
G_m	inert gasflöde, $kmol/(m^2 \cdot s)$
H_G	höjd svarande mot en massöverföringsenhet, gasfilm, m
H_L	höjd svarande mot en massöverföringsenhet, vätskefilm, m
H_{OG}	höjd svarande mot en massgenomgångsenhet, gasfasstorheter, m
H_{OL}	höjd svarande mot en massgenomgångsenhet, vätskefasstorheter, m
k_G	massöverföringstal, gasfilm, $kmol/(m^2 \cdot s \cdot atm)$
k_L	massöverföringstal, vätskefilm, m/s
K_G	massgenomgångstal baserat på gasfasstorheter, $kmol/(m^2 \cdot s \cdot atm)$
K_L	massgenomgångstal baserat på vätskefasstorheter, m/s
L	vätskeflöde, $kmol/(m^2 \cdot s)$
L'	vätskeflöde, $kg/(m^2 \cdot s)$
L_m	inert vätskeflöde, $kmol/s$
L_W	vätningshastighet, m^2/s
m	jämviktskurvans lutning, -
P	totaltryck, atm
S_B	specifik yta hos packningsmaterialet, m^2/m^3
u_G	gashastighet, m/s
u_{nf}	gashastighet vid flödning (baserad på aktiv area), ft/s
x	molbråk i vätskefas, -
X	molbråksförhållande i vätskefas, mol absorberbart/mol inert vätska

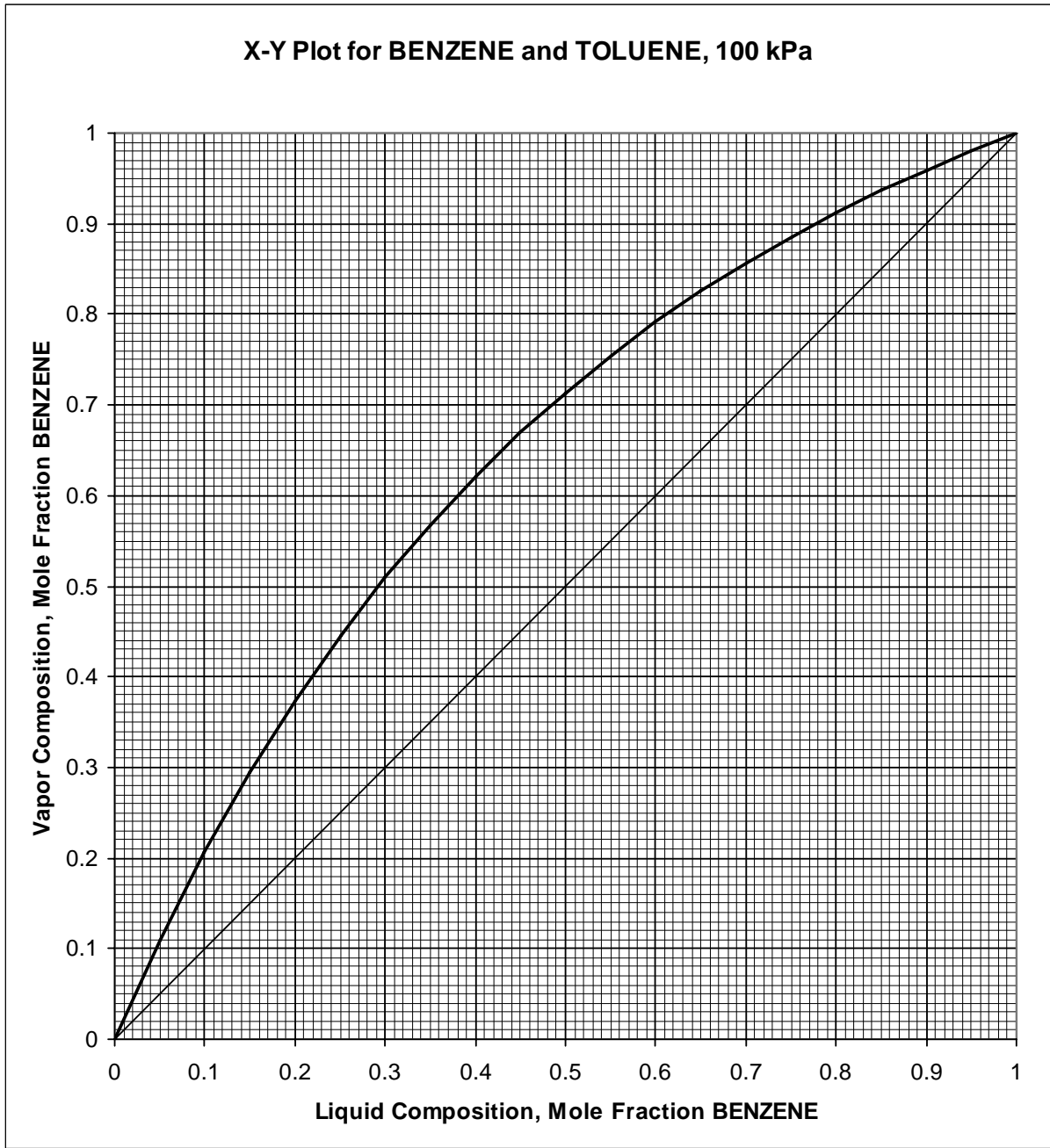
y	molbråk i gasfas, -
Y	molbråksförhållande i gasfas, mol absorberbart/mol inert gas
Z	packningshöjd, m
μ_L	vätskans dynamiska viskositet, Pa·s
μ_W	dynamiska viskositeten för vatten vid 20°C, Pa·s
ρ_G	gasens densitet, kg/m ³
ρ_L	vätskans densitet, kg/m ³
ρ_W	densiteten för vatten vid 20°C, kg/m ³
σ	ytpänning, dyn/cm (=mN/m)

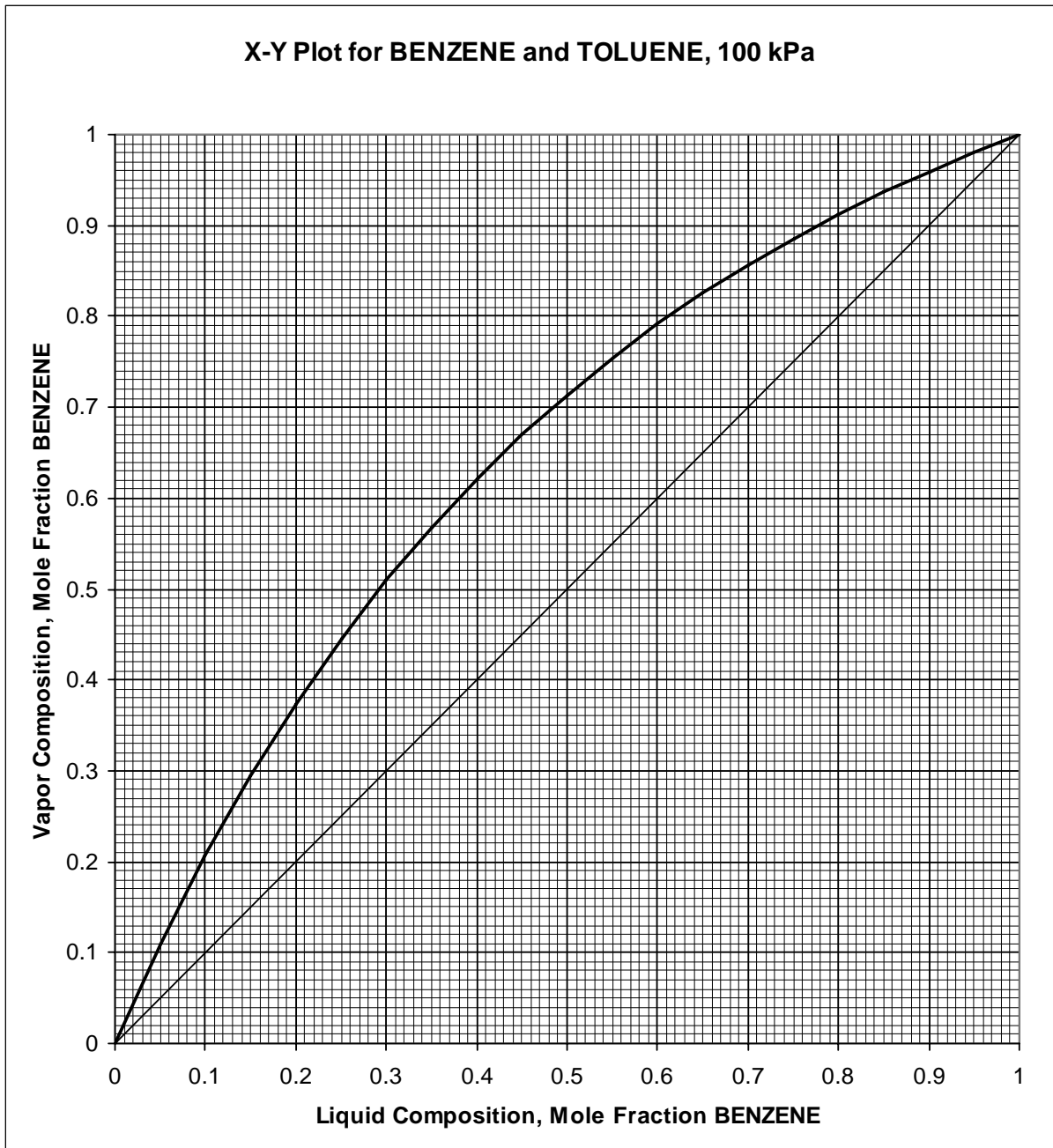
FILTRERING

A	filtreringsarea, m ²
c	förhållandet mellan vikten av det fasta materialet i filterkakan och filtratvolymen, kg/m ³
J	massbråk av fast material i suspensionen, -
ΔP	tryckfall över filterkakan, Pa
R_m	filtermediets motstånd, m ⁻¹
t	filtreringstid, s
V	erhållen filtratvolym under tiden t , m ³
α_{av}	specifikt filtreringsmotstånd, m/kg
ε_{av}	filterkakans porositet, -
μ	fluidens viskositet, Pa·s
ρ	fluidens densitet, kg/m ³
ρ_s	fasta fasens densitet, kg/m ³

SEDIMENTERING

A	Klarnarens sedimentationsyta, m ²
D_p	partikelstorlek, m
F	suspensionsflöde, m ³ /s
g	tyngdaccelerationen, m/s ²
v	partikelns sedimentationshastighet, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s
ρ	fluidens densitet, kg/m ³
ρ_s	fasta fasens densitet, kg/m ³





Lösningar till tentamen i *Bioseparationsteknik*

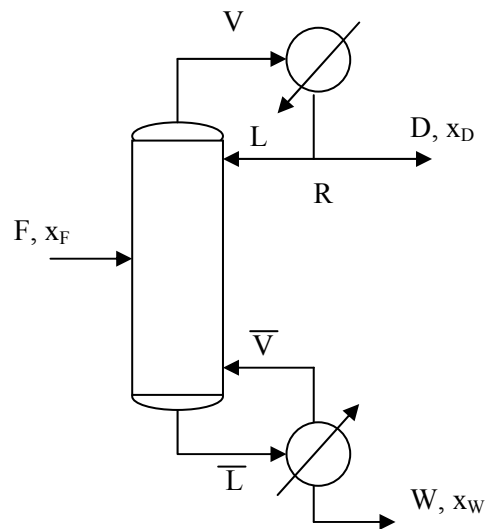
Tentamensdatum: 2006-03-08

B1. Data: $F = 100 \text{ kmol/h}$
 $x_F = 0.45$
 $x_D = 0.90$
 $Wx_W = 0.08Fx_F$
 $R = 2.0$

Sökt:

- Produktflödena D och W
- Antal steg
- Tillflödets temperatur

Lösning:



Totalbalans: $F = D + W$

Komponentbalans: $Fx_F = Dx_D + Wx_W$

$$Fx_F = Dx_D + 0.08Fx_F \quad \Rightarrow \quad D = \frac{0.92Fx_F}{x_D}$$

$$\underline{D = 46 \text{ kmol/h}} \quad \underline{W = 54 \text{ kmol/h}}$$

Övre driftlinjen kan tecknas $y_n = \frac{R}{R+1}x_{n+1} + \frac{x_D}{R+1}$

$\Theta = \{\text{Avskärning med y-axel}\} = 0.30$

Kokvarmt tillflöde vilket betyder lodrät q-linje vid $x_F = 0.45$.

Nedre driftlinjen skapas från punkten på diagonalen som har x-koordinaten

$$x_W = \frac{0.08Fx_F}{W} = 0.07 \text{ till skärningspunkten mellan övredriftlinjen och q-}$$

linjen.

Stegning ger nio steg dvs åtta ideala bottnar samt återkokare.

Jämviktssambandet för ett idealt system kan tecknas, lättflyktig komponent bensen:

$$y_{Bensen} P = x_{Bensen} P_{Bensen}^o$$

$$y_{Bensen} = 0.67 \text{ från diagram}$$

$$x_{Bensen} = 0.45$$

$$P = 760 \text{ mmHg}$$

$$P_{Bensen}^o = \frac{y_{Bensen} P}{x_{Bensen}}$$

$$\log P_{Bensen}^o = A_{Bensen} - \frac{B_{Bensen}}{t + C_{Bensen}}$$

Temperaturen erhålls till 93.6°C

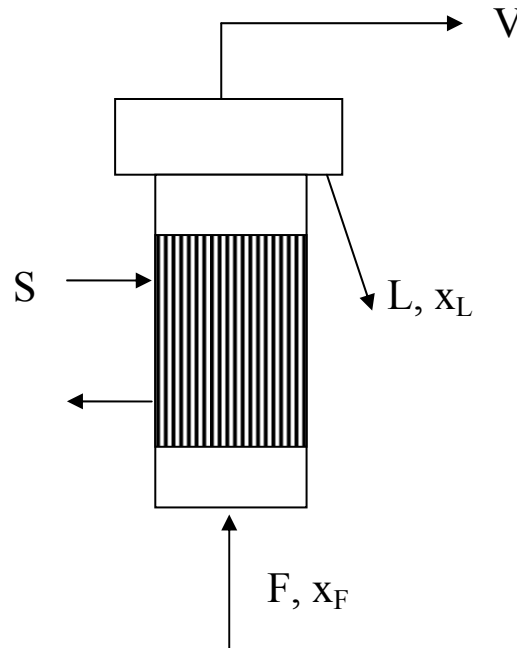
Svar: $D = 46 \text{ kmol/h}$, $W = 54 \text{ kmol/h}$. Stegning ger nio steg dvs åtta ideala bottnar samt återkokare. Temperaturen erhålls till 93.6°C

B2. Data: $F = 2.0 \text{ kg/s}$
 $x_F = 0.20$
 $S = 0.75 \text{ kg/s}$
 $P_S = 5 \text{ bar}$
 $U_{SKB} = 0.950 \text{ kW/m}^2\text{K}$
 $P = 1 \text{ bar}$

Sökt:

- A
- V/S

Lösning:



Totalbalans: $F = L + V$

Komponentbalans: $Fx_F = Lx_L$

Värmebalans: $S\lambda_S = U_{SKB}A\Delta t$

Avdunstningsfaktor: $\frac{V}{S}$

Skenbar temperaturskillnad: $\Delta t = T_S - T$

Tillflödet F

Kokpunktsförhöjningen beräknas med givet samband till:

$$\beta(20) = 5^\circ\text{C}$$

Ångtabellen ger lösningsmedlets temperatur till 99.63°C vid angivet tryck.

Tillflödets temperatur blir 104.63°C då hänsyn tas till

kokpunktsförhöjningen. Tillflödets entalpi beräknas från angivet samband till

$$H_F = 366.6 \text{ kJ/kg}$$

Strategi

$T = T + \beta(x)$; β beror av x , L och $V \Rightarrow$ Gissa V och iterera.

Gissa $V=S$

$$\text{Totalbalans } L = F - V \Rightarrow L = 1.25 \text{ kg/s}$$

$$\text{Komponentbalans } x_L = F \frac{x_F}{x_L} \Rightarrow x_L = 0.32$$

$$\beta(32) = 7.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = 106.93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_L = 405.03 \text{ kJ/kg}$$

$$H_V = 2688.97 \text{ kJ/kg (Interpolerat!)}$$

$$\text{Värmebalansen ger } V = 0.67 \text{ kg/s dvs } V_{\text{Gissad}} \neq V.$$

$$\text{Gissa } V = 0.67 \text{ kg/s}$$

Samma typ av beräkningar görs enligt ovan lösningen ger att

$$\underline{V = 0.67 \text{ kg/s.}}$$

$$\text{Kapacitetsekvationen ger } A = \frac{S\lambda_s}{U_{SKB}\Delta t} = \frac{0.75 \cdot 2108.62}{0.950(151.85 - 106.45)}$$

$$\Rightarrow \underline{A = 36.7 \text{ m}^2}$$

$$\underline{\text{Avdunstningsfaktorn}} \text{ beräknas till } \frac{V}{S} = \frac{0.67}{0.75}$$

$$\Rightarrow \underline{0.89}$$

B3. Data:

$$J = 0.20$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$L = 30 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0.50$$

$$\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_V = 3000 \text{ kg/m}^3$$

t-V-data givna (filtrerförsök)

Sökt: Tiden det tar att fylla filter!

Lösning: 1. Bestäm filtratvolymen
2. Bestäm α_{AV} och R_m ! Kan göras indirekt!

$$V_{Slurry} = V_{Fast\ material} + V_{Vätska}$$

$$V_{Kaka} = AL \quad \Rightarrow \quad V_{Kaka} = 0.30m^3$$

$$V_{Fast\ material} = V_{Kaka}(1 - \varepsilon) \quad V_{Fast\ material} = 0.15m^3$$

$$M_{Fast\ material} = V_{Fast\ material} \cdot \rho_S \quad M_{Fast\ material} = 450kg$$

$$J = \frac{M_{Fast\ material}}{M_{Fast\ material} + M_{Vätska}} \quad M_{Vätska} = 1800kg \Rightarrow 1.8m^3$$

$$V_{Filtrat} = V_{Vätska} - V_{Vätska\ i\ porer} \Rightarrow V_{Filtrat} = 1.8 - 0.15 = 1.65m^3$$

Filtrekvationen $\frac{dV}{dT} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu(\alpha_{AV} cV + R_m A)}$ som integreras till

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu}{A^2 \Delta P} \left(\alpha_{AV} c \frac{V}{2} + AR_m \right) \text{ vilket kan jämföras med } y = kx + l$$

Från givna filterdata bestäms k och l genom linjär regression till;

$$k = 3118.75 \text{ och } l = 486.25 \text{ med en korrelationskoefficient till } 1.00$$

$$t = kV^2 + l$$

$$t = 9293.11s$$

$$V = 1.65$$

t ≈ 2 timmar och 35 minuter

B4. Data:

$$x_A^0 = 0.20$$

$$y_A^1 = 0.50$$

$$y_S^{n+1} = 1.00$$

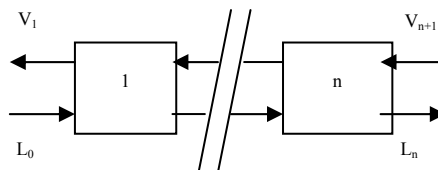
$$\frac{A + S}{B} = 1.00$$

90% av tillförd olja utvinns

Sökt:

- Antal ideala lakningssteg
- Mängd lösningsmedel per 100 kg krossade frön.
-

Lösning:



Geometrisk ort för underströmmarna

$$\frac{A+S}{B} = 1.0 \quad \Rightarrow \quad x_S = \frac{1}{2} - x_A$$

Av tillförd olja, 20 kg, utvinns 90% i överströmmen dvs 10%, 2 kg går ut i underströmmen L_n .

Bilda L_n '

$$A = 2 \text{ kg} \quad x_A^{n'} = 0.024$$

$$B = 80 \text{ kg} \quad x_B^{n'} = 0.976$$

Triangeldiagram skapas varifrån man bestämmer att det fordras 11 ideala lakningssteg. Med hävstångsregeln beräknas att det fordras ca 140 kg lösningsmedel.