



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

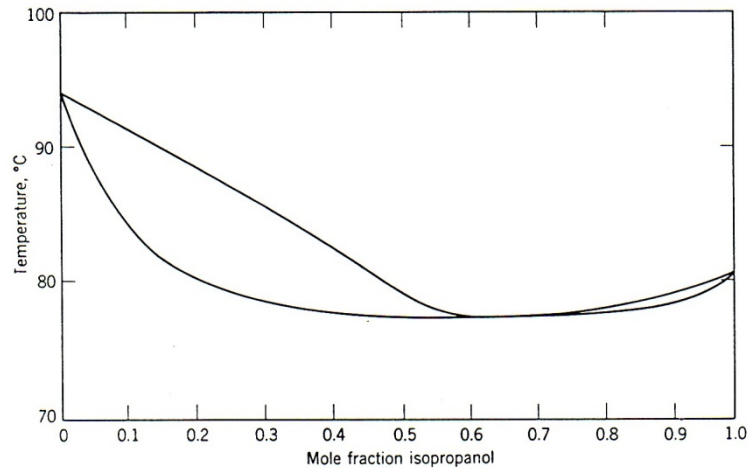
Institutionen för kemi- och bioteknik

Avdelningen för kemiteknik

KURSNAMN	Bisoseparationsteknik, KAA150	<i>Med förslag till lösningar av beräkningsuppgifter</i>
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram bioteknik årskurs 3 läsperiod 3	
EXAMINATOR	Krister Ström	
TID FÖR TENTAMEN LOKAL	Måndag 23 augusti, kl 08.30-12.30 M-huset	
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med tömt minne. Egna anteckningar och kursmaterial är ej godkänt hjälpmedel. "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 tentamensesen)	
ANSV LÄRARE: namn telnr besöker tentamen	Krister Ström 772 5708 ca. kl. 09.30 och 11.00.	
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Lösningar till tentamens räknedel anslås på kurshemsidan 24 augusti. Resultat på tentamen anslås 13 september. Granskning 14 respektive 16 september kl. 12.30-13.00 i seminarierummet, forskarhus II plan 2.	
ÖVRIG INFORM.	<p>Tentamen består av en teoridel med åtta teorifrågor samt en räknedel med fyra räkneuppgifter. Poäng på respektive uppgift finns noterat i tentamentesen. För godkänd tentamen fordras 50% av tentamens totalpoäng. Samtliga diagram och bilagor skall bifogas lösningen av tentamensuppgiften. Diagram och bilagor kan <u>ej</u> kompletteras med vid senare tillfälle.</p> <p>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.</p> <p>Betyg 3 motsvarar 30-39p, betyg 4 motsvarar 40-49p och betyg 5 50-60p.</p>	

Del A: Teori

- A1.** Redogör, med hjälp av figuren nedan för vad som händer då en blandning av isopropanol och propylenklorid, som håller molbråket 0.3 med avseende på isopropanol, kyls från 90°C till 80°C vid ett konstant tryck av 101.3 kPa.



Dag- och bubbelpunktsdiagram för systemet isopropanol/propylenklorid vid 101.3 kPa.

I bilaga 1 finns diagrammet med utrymme för svar som du ska bifoga dina tentamenslösningar för bedömning!

(4p)

- A2.** a) Hur definierar man ett idealt steg i stegprocesser av typ destillation respektive extraktion?
b) För det fall det verkliga steget inte är idealt har man infört begreppet stegverkningsgrad, hur definieras det?

(4p)

- A3.** Tillflödets tillstånd vid destillation brukar karakteriseras av dess q-värde.

- a) Hur definieras q-värdet?
b) Vad representerar q-linjen?
c) Är det möjligt att ha en negativ lutning hos q-linjen och vad innebär detta?

(4p)

- A4.** Hur påverkar val av tryck och temperatur ett absorptionsförlopp?

(2p)

- A5.** Kokpunktsförhöjning för med sig att den avdunstade ångan är överhettad. Innan denna ånga används som värmande medium i nästa effekt mättas ångan. Varför görs detta?

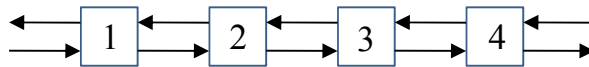
(3p)

A6. För att kunna bestämma antalet ideala steg vid vätska-vätskaextraktion kan man utnyttja McCabe-Thieles metod under vissa förutsättningar. Vilka?

(2p)

A7. När man tecknar materialbalanser över t.ex. en extraktionsanläggning erhålls en nettoström, vilken vi här antar går åt vänster i figuren nedan.

- Hur hamnar då polen i triangeldiagrammet, över eller under geometriska orten för extraktströmmarna?
- Kan denna nettoström vara negativ?
- Vad skulle detta i så fall innebära?



(3p)

A8. Nämn **och** diskutera två faktorer, som man särskilt ska beakta, när det gäller att åstadkomma effektiv vätska-vätskaextraktion!

(2p)

Del B: Problemdel.

B1. En kokvarm blandning av 30 mol-% etanol och 70 mol-% propanol ska destilleras i en bottenkolonn. Bottenuttaget ska hålla endast 10 mol-% etanol. Kolonnen är försedd med återkokare och totalcondensor och separationen ska ske vid 101.3 kPa. Till återkokaren tillföres så mycket effekt att mängden uppkokad ånga är 1.46 gånger mängden tillflöde till kolonnen. Det yttre återflödesförhållandet ska sättas till 3.16.

Beräkna;

- hur många ideala steg som fordras för separationen!
- hur många ideala steg som fordras för separationen om tillflödet i stället utgörs av mättad ånga och återkokareffekten minskas i motsvarande mån, dvs att mängden uppkokad ånga är 0.46 gånger mängden tillflöde till kolonnen! Övriga givna data förutsätts oförändrade.

Jämviktsdiagram för systemet etanol-propanol bifogas.

(13p)

B2. Ur en gasström, 44.62 kmol/h, hållande 1 mol-% butan ska huvuddelen, 99%, av butan avlägsnas. Trycket i kolonnen är 1000 kPa och temperaturen 20°C. Lösningsmedlet är ett svårflyktigt kolväte med en molmassa av 226.5 kg/kmol.

- Vilken packningshöjd skulle erfordras om 5000 kg rent Lösningsmedel per timma tillföres och H_{OG} är 0.9 m?
- Hur mycket skulle höjden av packningen ändras om flödet av absorptionsmedel skulle sänkas till 2000 kg/h

Henrys konstant kan antagas vara 1.7 bar.

(8p)

B3. I en enkeleffektindunstare ska 3500 kg/h av en utspädd fruktjuice koncentreras från 1.2 till 5.6 vikt-%. Tillflödets temperatur är 35°C. Indunstningen ska ske vid 0.3 bar och värmande ånga har trycket 1.2 bar. Indunstarens skenbara värmegenomgångstal för denna tillämpning är 0.88 kW/m²K.

- Beräkna ångförbrukningen och indunstarens värmeöverföringsyta!

Kokpunktsförhöjningen kan beräknas med sambandet $\beta = 35.7 \cdot x$ där x är viktbråket med avseende på fruktjuice.

(8p)

B4. Oljevaxter innehållande 20 vikt-% olja ska lakas i motström med ett Lösningsmedel. 80% av oljan ska överföras till Lösningsmedelströmmen, som när den lämnar anläggningen ska innehålla 40 vikt-% olja.

-
- Bestäm det antal ideala lakningssteg som fordras för separationen, om det inerta materialet kvarhåller 0.5 kg lösning per kg och om det rena lösningsmedlet tillförs sista steget.

Man kan anta att oljan löses upp momentant, när det tillförs första steget!

(7p)

Göteborg 2010-08-12
Krister Ström

Bioseparationsteknik

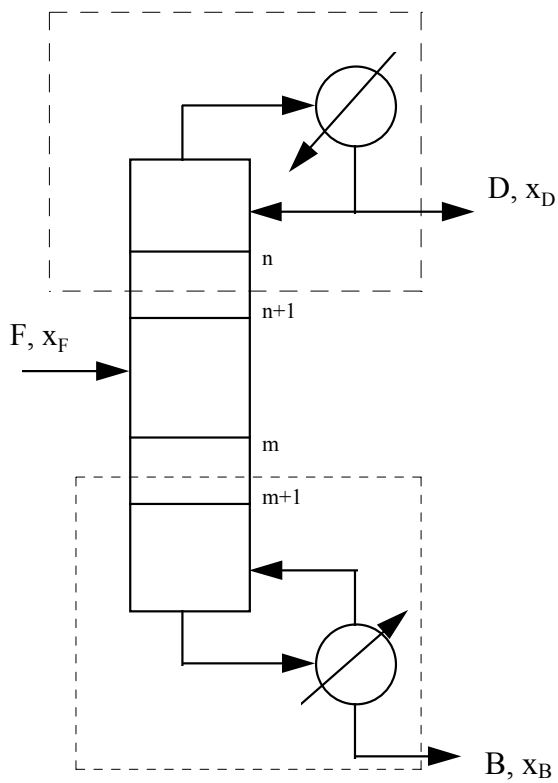
Formelsamling

DESTILLATION

Relativ flyktighet:
$$\alpha_{1,2} = \frac{\frac{y_1}{x_1}}{\frac{y_2}{x_2}}$$

där x anger vätskefassammansättning
 y anger ångfassammansättning
 1 anger lättflyktig komponent
 2 anger tung komponent

Destillation:



Materialbalanser:

$$Vy_{n+1} = Lx_n + Dx_D$$

$$\bar{V}y_{m+1} = \bar{L}x_m - Bx_B$$

q-linje:

$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

Beräkning av diameter för bottenkolonner

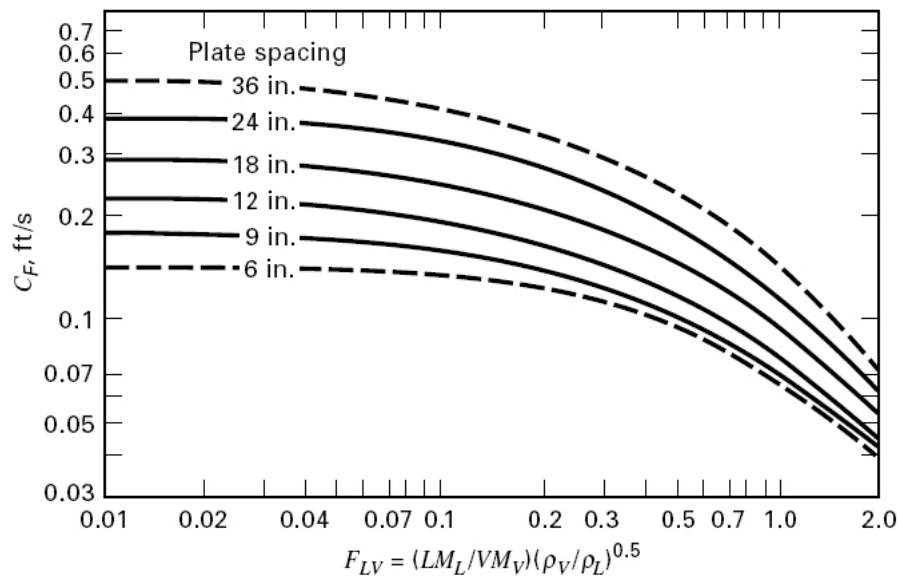


Figure 6.24 Entrainment flooding capacity in a trayed tower.

$$C = F_{ST}F_F F_{HA}C_F \quad \text{where}$$

$$F_{ST} = \{\text{surface tension factor}\} = (\sigma/20)^{0.2} \{\text{liquid surface tension, dyne/cm}\}$$

$$F_F = \{\text{foaming factor}\} = 1.0 \text{ for many absorbers}$$

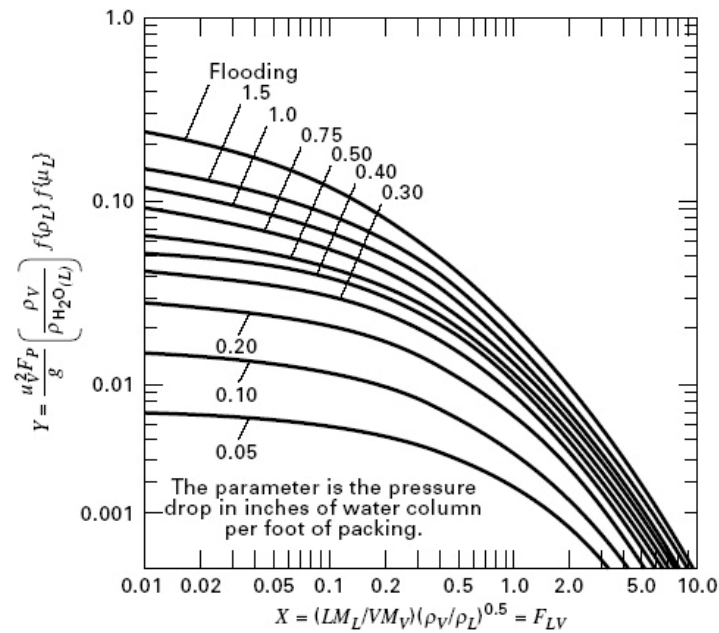
$$F_{HA} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } A_h/A_a \geq 0.10 \\ 5(A_h/A_a)+0.5 & \text{for } 0.06 \leq A_h/A_a \leq 0.1 \end{cases}$$

A_h is the area open to vapour as it penetrates into the liquid on a tray.

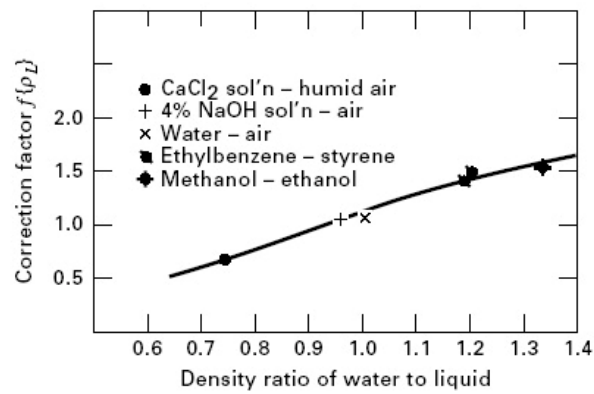
A_a is the active area for the tray.

$$U_f = C \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{1/2} \quad U_f \text{ är gashastigheten vid flödning}$$

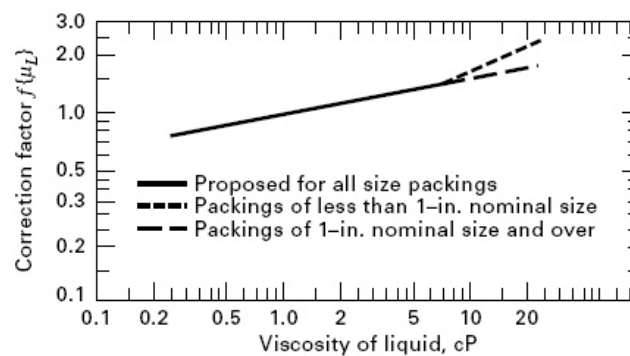
Beräkning av diameter för packade kolonner



(a)



(b)



(c)

Figure 6.36 (a) Generalized pressure-drop correlation of Leva for packed columns. (b) Correction factor for liquid density. (c) Correction factor for liquid viscosity. [From M. Leva, *Chem. Eng. Prog.*, 88 (1), 65–72 (1992) with permission.]

ABSORPTION

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

$L_W > 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 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:
$$l_T = \frac{V}{k_G \cdot a \cdot P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y - y_i)} = \frac{V}{K_G \cdot a \cdot P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y - y^*)}$$

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

$$l_T = \frac{V'}{k_G \cdot a \cdot P} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{(Y - Y_i)} = \frac{V'}{K_G \cdot a \cdot P} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{(Y - Y^*)}$$

$$l_T = \frac{L'}{k_L \cdot a \cdot C_T} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{(X_i - X)} = \frac{L'}{K_L \cdot a \cdot C_T} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{(X^* - X)}$$

Vid rät driftlinje
och rät jämvikts-
kurva:

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

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

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

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu(c \alpha_{av} V + AR_m)}$$

$$c = \frac{\rho J}{(1-J) - \frac{\varepsilon_{av}}{1-\varepsilon_{av}} J \frac{\rho}{\rho_s}}$$

SEDIMENTERING

Fri sedimentering:

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

SYMBOLFÖRTECKNING:

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
V	gasflöde, $kmol/(m^2 \cdot s)$
G'	gasflöde, $kg/(m^2 \cdot s)$
V'	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''	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
l_T	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 ytspänning, dyn/cm (=mN/m)

FILTRERING

A filtreringsarea, m²
 c förhållandet mellan vikten av det fasta materialet i filterkakan och filtratvolymen, kg/m³
 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 , m³
 α_{av} specifikt filtreringsmotstånd, m/kg
 ε_{av} filterkakans porositet, -
 μ fluidens viskositet, Pa·s
 ρ fluidens densitet, kg/m³
 ρ_s fasta fasens densitet, kg/m³

SEDIMENTERING

D_p partikelstorlek, m
 g tyngdaccelerationen, m/s²
 v partikelns sedimentationshastighet, m/s
 μ fluidens viskositet, Pa·s
 ρ fluidens densitet, kg/m³
 ρ_s fasta fasens densitet, kg/m³

B1.

Data: $x_F = 0.30$
 $x_B = 0.10$
 $P = 101.3 \text{ kPa}$
 $\bar{V} = 1.46F \text{ kmol/h}$
 $R = 3.16$

Sökt: a) Antal steg
b) Antal steg vid ångformigt tillflöde och $\bar{V} = 0.46F \text{ kmol/h}$

Lösning: a) Sök x_D och driftlinjer!

Materialbalanser över kolonnen
Total: $F = D + B$
Komponent: $Fx_F = Dx_D + Bx_B$

Totalbalans runt kondensorn
 $V = L + D$
 $R = L/D$
 $\bar{V} = V$ ty kokvarmt tillflöde

$$\bar{V} = D(R+1) \Rightarrow 1.46F = D(R+1)$$
$$D = \frac{1.46F}{R+1}$$

$$B = F - D \Rightarrow B = F - \frac{1.46F}{R+1}$$

$$\text{Komponentbalansen ger } \Rightarrow x_D = \frac{Fx_F - Bx_B}{D}$$
$$x_D = 0.67$$

Övre driftlinjen, $y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$, konstrueras från $(x_D, x_D); (0.67, 0.67)$ på jämviktskurvans diagonal till punkten $(0, \frac{x_D}{R+1}); (0, 16)$ på y-axeln. q-linjen är lodrät pga av kokvarmt mättat tillflöde. Nedre driftlinjen skapas från q-linjens skärning med övre driftlinjen och punkten $(x_B, x_B); (0.10, 0.10)$.
”Stegning” ger att det fordras 5 ideala bottnar samt återkokare.

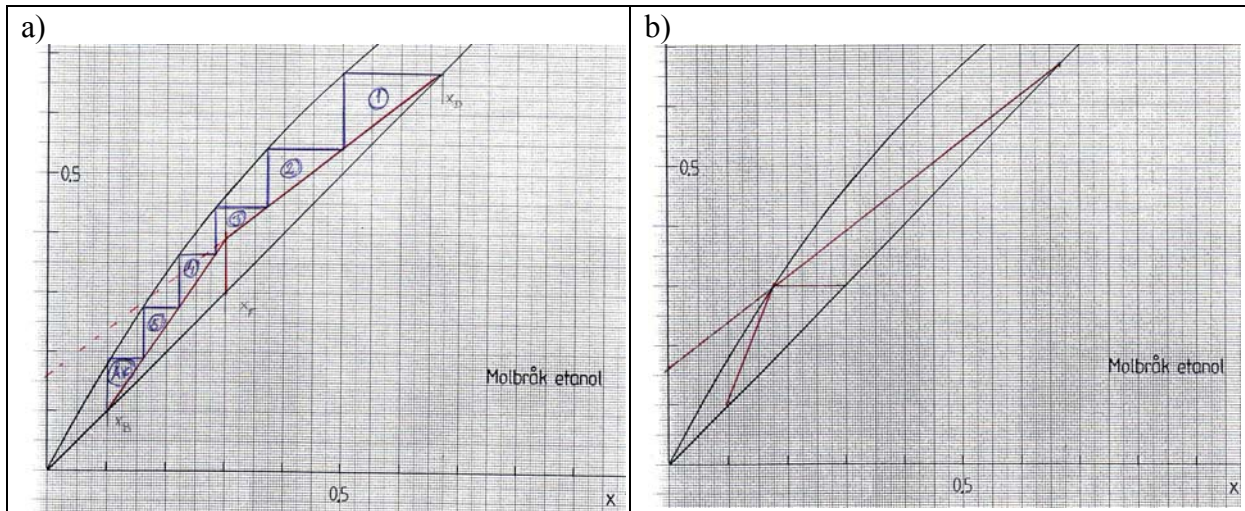
b) $\bar{V} = 0.46F$ och F är mättad ånga \Rightarrow Antal ideala steg?

$$V = \bar{V} + F \Rightarrow V = 0.46F + F \Rightarrow V = 1.46F$$

q-linjen kommer att vara vågrät då tillflödet består av mättad ånga. q-linje och driftlinjerna konstrueras enligt samma som i tidigare deluppgift.

Av den grafiska konstruktionen framgår att det fordras ett ∞ antal steg för att genomföra separationen.

Svar: a) Fem ideala bottnar samt återkokare. b) Det fordras ett ∞ antal steg.

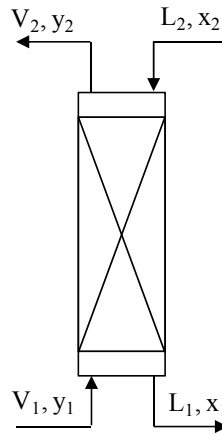


B2.

Data: $V = 44.62 \text{ kmol/h}$
 $y_1 = 0.01$
 $\alpha = 99\%$ (återvinningsgraden)
 $P = 1000 \text{ kPa}$
 $T = 20^\circ\text{C}$
 $M_{\text{Absorbent}} = 226.5 \text{ kmol/h}$
 $H = 1.7 \text{ bar}$

Sökt: a) $L = 5000 \text{ kg/h}$ $x_2 = 0,0$ $H_{oG} = 0.9 \text{ m}$ Vad blir då l_T ?
b) Δl_T då $L = 2000 \text{ kg/h}$

Lösning:



a) Antag låga halter $\Rightarrow V_1 = V_2 = V$; $L_1 = L_2 = L$

Sök x_1 ! Komponentbalans över systemet

$$\begin{aligned} Vy_1 + Lx_2 &= Vy_2 + Lx_1 \\ Vy_2 &= (1-0.99)Vy_1 \Rightarrow y_2 = 0.0001 \\ x_1 &= \frac{V(y_1 - y_2)}{L} \\ L &= 22.08 \text{ kmol/h} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} Vy_1 + Lx_2 &= Vy_2 + Lx_1 \\ Vy_2 &= (1-0.99)Vy_1 \Rightarrow y_2 = 0.0001 \\ x_1 &= \frac{V(y_1 - y_2)}{L} \\ L &= 22.08 \text{ kmol/h} \end{aligned}} \right\} x_1 = 0.02$$

x_2 låg halt, antagandet om låga halter OK!

$$\text{Jämviktsamband } Py = Hx \quad \Rightarrow \quad y = 0.17x \quad \text{dvs } m = 0.17$$

$$\begin{aligned} l_T &= H_{oG} N_{oG} \\ H_{oG} &= 0.9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N_{oG} = \frac{1}{1 - \frac{mV}{L}} \ln \frac{y_1 - mx_1}{y_2 - mx_2} \quad \Rightarrow \quad N_{oG} = 6.4$$

$$l_T = 5.7 \text{ m}$$

b) Då $L = 8.83 \text{ kmol/h} \Rightarrow x_1 = 0.05$

$$N_{oG} = 19.2$$

$$l_T = 17.3 \text{ m} \quad \text{dvs } \Delta l_T = 11.6 \text{ m högre}$$

Svar: a) 5.7 m b) 11.6 m högre

B3.

Data: $F = 3500 \text{ kg/h}$
 $x_F = 0.012$
 $x_L = 0.056$
 $T_F = 35^\circ\text{C}$
 $P = 0.3 \text{ bar}$
 $P_S = 1.2 \text{ bar}$
 $U = 0.88 \text{ kW/m}^2\text{K}$
 $\beta = 35.7x$

Sökt: S, A

Lösning:

Beräkna S!

Värmebalans: $S\Delta H_{\text{VAP}} + Fh_F = Lh_L + VH_V$

Sök flöden och entalpier!

Totalbalans: $F = L + V$

Komponentbalans: $Fx_F = Lx_L$

Komponentbalansen ger att $L = 750 \text{ kg/h}$ och totalbalansen att $V = 2750 \text{ kg/h}$

$\Delta H_{\text{VAP}} = \{P_S = 1.2 \text{ bar}\} = 2243.98 \text{ kJ/kg}$

$h_F = \{T_F = 35^\circ\text{C}\} = 4.19 \cdot 35 = 146.65 \text{ kJ/kg}$

$h_L = \{P = 0.3 \text{ bar}, \beta = 2^\circ\text{C}, T_L = 71.13^\circ\text{C}\} = 4.19 \cdot 71.13 = 298 \text{ kJ/kg}$

$H_V = \{P = 0.3 \text{ bar}, T_V = 71.13^\circ\text{C}\} = 2628.59 \text{ kJ/kg}$

Värmebalansen ger att $S = 3092.2 \text{ kg/h}$

Beräkna A!

Kapacitetsekv. $Q = UA\Delta T$

$Q = S\Delta H_{\text{VAP}}$

$\Delta T = T_S - T \Rightarrow \Delta T = 33.68^\circ\text{C}$

Kapacitetsekvationen ger att $A = 65 \text{ m}^2$

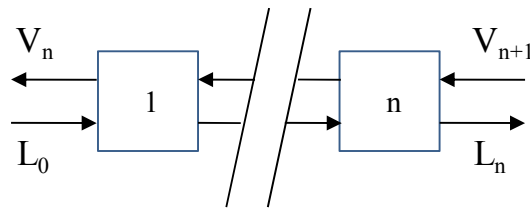
Svar: 3092.2 kg/h resp. 65 m²

B4.

Data: $x_A^0 = 0.20$
 $y_S^1 = 1.0$
 $0.80L_0 x_A^0 = V_1 y_A^1$
 $y_A^1 = 0.40$
 $\frac{S+A}{C} = \frac{1}{2}$

Sökt: Antal steg.

Lösning:



Antag $L_0 = 100 \text{ kg/h} \Rightarrow V_1 = 40 \text{ kg/h}$ Detta betyder att polen kommer att befinna sig under triangeldiagrammet!

Sök information om strömmen L_n ! L_n består av

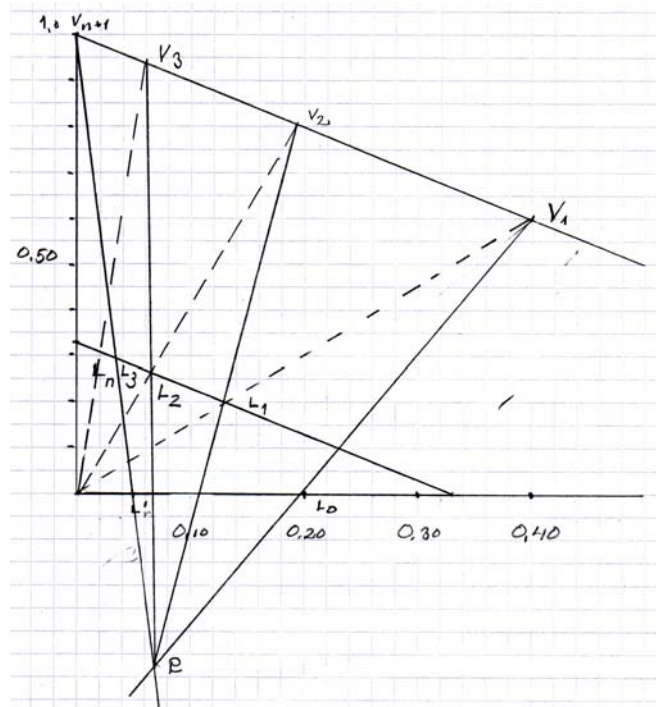
$0.80L_0 x_A^0 = 4 \text{ kg A}$	}	$x_A^{n'} = 0.05$
80 kg C		$x_C^{n'} = 0.95$

Denna tänkta ström L_n hjälper oss att konstruera L_n på geometriska orten för underströmmarna, GOFU!

Sök GOFU!

$$\frac{S+A}{C} = \frac{1}{2} \Rightarrow x_S = \frac{1}{3} x_A$$

Konstruera triangeldiag med GOFU och lös komponentbalanser och jämviktsbegrepp grafiskt!



Det fordras ca 2.5 ideala lakningssteg!

Svar: 3 (2.5) ideala steg.