



# CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

## Institutionen för kemi- och bioteknik

KURSNAMN	Bioseparationsteknik, 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	Onsdag 26 mars, kl 14.00-18.00  V	
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med <b>tömt</b> minne. Egna anteckningar och kursmaterial är <b>ej</b> 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 $\beta$ " av Lennart Råde/Bertil Westergren Formelblad (vilket bifogats tentamenstesen)	
ANSV LÄRARE: namn telnr besöker tentamen	Krister Ström 772 5708 ca. kl. 15.00 och 16.30	
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Lösningar till tentamens räknedel anslås på kurshemsidan 27 mars. Resultat på tentamen anslås 14 april. Granskning tisdag 15 april kl. 12.30-13.00 i seminarierummet, forskarhus II plan 2.	
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av teoriproblem, del A, och en beräkningsdel, del B. Omfattningen av del A är ca 40% 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 <u>ej</u> 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.** För ett system bestående av p-xylen och m-xylen finns följande jämviktsdata publicerade av Kato, Sato och Hirata, *J. Chem. Eng. Jpn.*, **4**, 305 (1970).

Temperatur, °C	$y_{\text{para-xylen}}$	$x_{\text{para-xylen}}$
138.335	1.0000	1.0000
138.414	0.9019	0.9000
138.491	0.8033	0.8000
138.568	0.7043	0.7000
138.644	0.6049	0.6000
138.720	0.5051	0.5000
138.795	0.4049	0.4000
138.869	0.3042	0.3000
138.943	0.2032	0.2000
139.016	0.1018	0.1000
139.088	0.0000	0.0000

- Finns det anledning att tro att systemet uppträder idealt?
- Har systemet en azeotrop?
- Om man skulle bestämma aktivitetsfaktorer för respektive komponent för en vätskeblandning hållande 90 mol-% para-xylen och 10 mol-% meta-xylen, skulle dessa avvika mycket från 1.0 (dvs mycket mer än 20%)?
- Kan en separation av dessa komponenter genom destillation betraktas som lätt eller svår?

För att erhålla poäng på uppgiften fordras att svaren motiveras!

(5p)

**A2.** Vid separation av en blandning av två komponenter föreslås en stripper/avdrivare att användas

- Vad är fördelen med en sådan utrustning?
- Ställs speciella krav på tillflödets tillstånd?
- Hur kan man utforma strippern eller dess drift, så att en så hög renhet som möjligt kan fås hos en av produkterna?

För att erhålla poäng på uppgiften fordras att svaren motiveras!

(4p)

**A3.** Varför finns det behov av distributörer på flera nivåer i en packad kolonn, men inte i en bottenkolonn?

(2p)

**A4.** Vilka krav ska ställas på ett absorptionsmedel? Motivera svaret!

(4p)

**A5.** Beskriv funktionen hos en tvångscirkulationsindunstare och komplettera beskrivningen med en skiss!

(3p)

- 
- A6.** Nämn en satsvis och en kontinuerlig filterutrustning, och beskriv kortfattat de båda utrustningarnas funktion! (2p)
- A7.** Vilka två krafter verkar på partiklarna i en fluidiserad bädd? (2p)
- A8.**
- Beskriv funktionen hos en tubulär centrifug!
  - Hur kan kapaciteten ökas hos en centrifug?
- (3p)

---

## Del B: Beräkningsuppgifter

**B1.** I en destillationskolonn destilleras en blandning av komponent A och vatten där komponent A är den lättflyktiga komponenten. Kolonnen är utrustad med totalcondensator och värms med direktång och arbetar vid 760 mmHg.

Tillflödet, 100 kmol/h, håller 46 mol-% A och påföres som mättad vätska till kolonnen. Från kolonnen önskar man två produkter, en hållande 90 mol-% vatten och en hållande 4 mol-% vatten. Kolonnen arbetar vid ett yttre återflödesförhållande  $R = 2.8R_{\min}$ .

- Vilka blir produktflödena från kolonnen?
- Vilken är temperaturen hos tillflödet?
- Hur många ideala steg fordras för att genomföra separationen?
- Hur mycket direktång (kmol/h) fordras för att genomföra separationen?

Givna data:

Jämviktsdiagram för systemet A/H<sub>2</sub>O bifogas.

Antoines ekvation: 
$$\log P_i^{\circ} (\text{mmHg}) = A_i - \frac{B_i}{C_i + t(^{\circ}\text{C})}$$

Antoinekonstanter:

Komponent	A <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	C <sub>i</sub>
A	8.04494	1554.300	222.650
H <sub>2</sub> O	8.10765	1750.286	235.000

(10p)

**B2.** En luftström, 1000 kg/h (34.5 kmol/h), innehåller 1.5 mol-% ammoniak. I en packad kolonn ska denna ammoniak tas bort till 95% genom absorption i vatten, påfört i en mängd av 9900 kg/h (550 kmol/h) och hållande 0.05 mol-% ammoniak. Trycket i kolonnen är 100 kPa och temperaturen är 20°C.

- Beräkna erforderlig packningshöjd om  $H_{OG}$  kan antas vara 0.8 m.
- Vätskeflödet är egentligen ett sammanslaget flöde av dels en ström, 275 kmol/h, hållande 0.1 mol-% ammoniak och en ström, 275 kmol/h, hållande 0.0 mol-%. Beräkna totalt erforderlig packningshöjd om dessa vätskeflöden införes på olika, lämpliga ställen i kolonnen.

Givna data:

Jämviktsdata för ammoniak-vatten vid 100kPa. (x vätskefas- och y ångfassammansättning)

x	y vid 20°C
0.0308	0.0239
0.0406	0.0328
0.0503	0.0427
0.0735	0.0658

(11p)

**B3.** En utspädd vattenlösning innehållande 0.5 vikt-% kalciumsulfat skall indunstas i en eneffektsindunstare, som arbetar vid 2 bar. För uppvärmning används mättad ånga vid 5 bar. Indunstarens kapacitet är 20MW och det skenbara värmegenomgångstalet är 1.0 kW/m<sup>2</sup>K. Flödet på utgående vattenånga är 7.5 kg/s och temperaturen på ingående flöde är 50°C.

Bestäm

- erforderlig värmeyta i indunstaren!
- erforderligt färsångflöde!  
och
- utgående koncentration på kalciumsulfatlösningen!

(5p)

**B4.** Ett tryckfilter, som har en total filteryta på 14 m<sup>2</sup>, används för att filtrera en suspension med en torrhalt på 2.5 vikt-%. Filtreringen sker vid ett konstant tryckfall på 2.5 bar och en temperatur på 80°C. Efter 5 min av filtreringen har 5.6 m<sup>3</sup> filtrat producerats, och efter 10 min 8.3 m<sup>3</sup> filtrat.

På labb har kakans porositet uppmätts till 47 % och det fasta materialets densitet till 2500 kg/m<sup>3</sup>.

- Beräkna hur lång tid filtreringen tar, om den avbryts vid en kaktjocklek på 5 cm.
- Uppskatta specifika filtreringsmotståndet och filtermediets motstånd.
- För att öka kapaciteten funderar man på att öka trycket till ett tryckfall på 3.5 bar. Hur mycket tid tjänar man på detta för varje filtercykel?

(9p)

Göteborg 2008-03-13  
Krister Ström

---

# Bioseparationsteknik

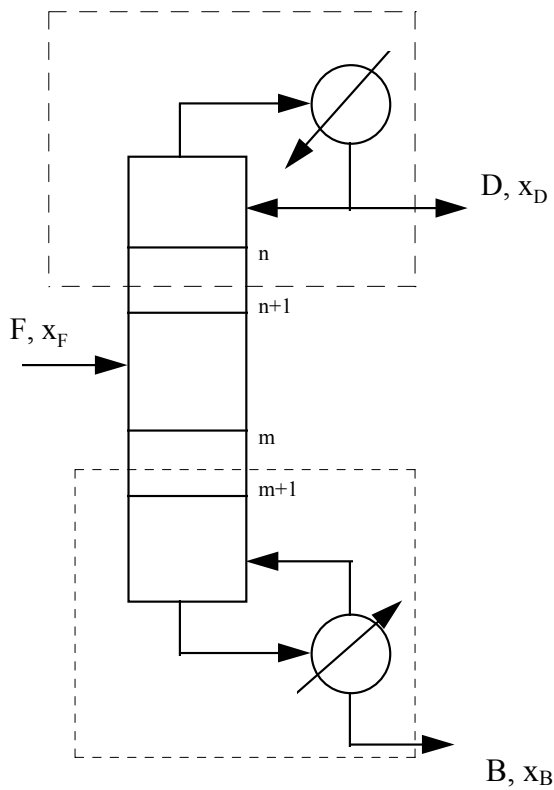
## Formelsamling

## 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:

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

$$Vy_{m+1} = Lx_m - Bx_B$$

q-linje:

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

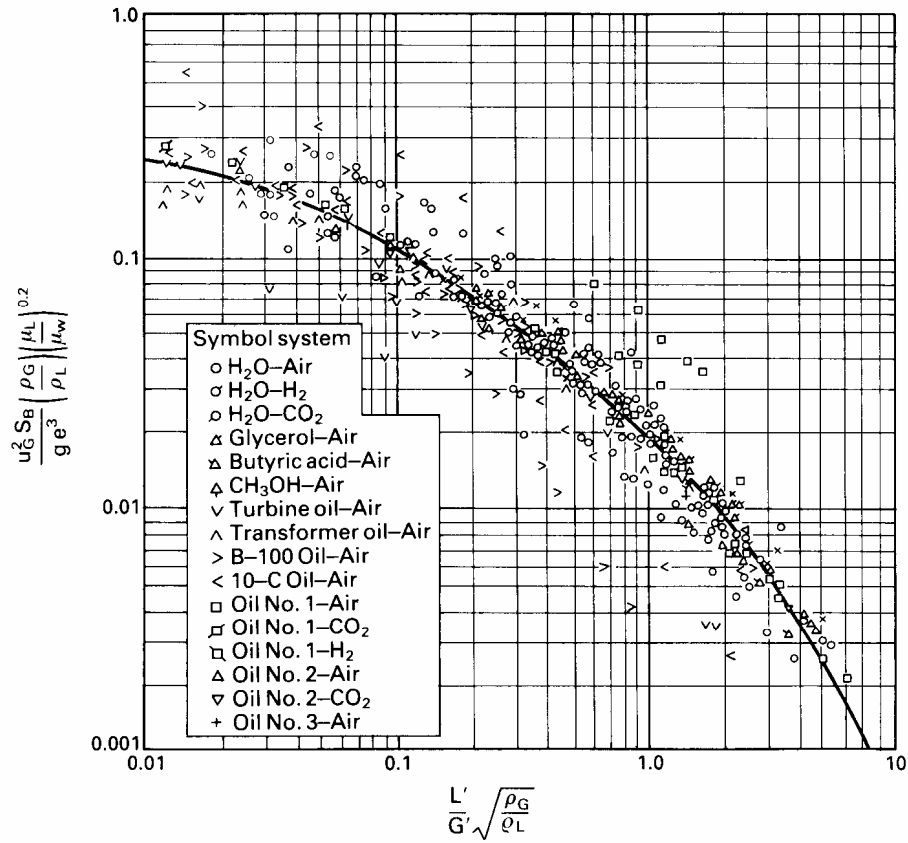


FIG. 4.21. Generalised correlation for flooding rates in packed towers



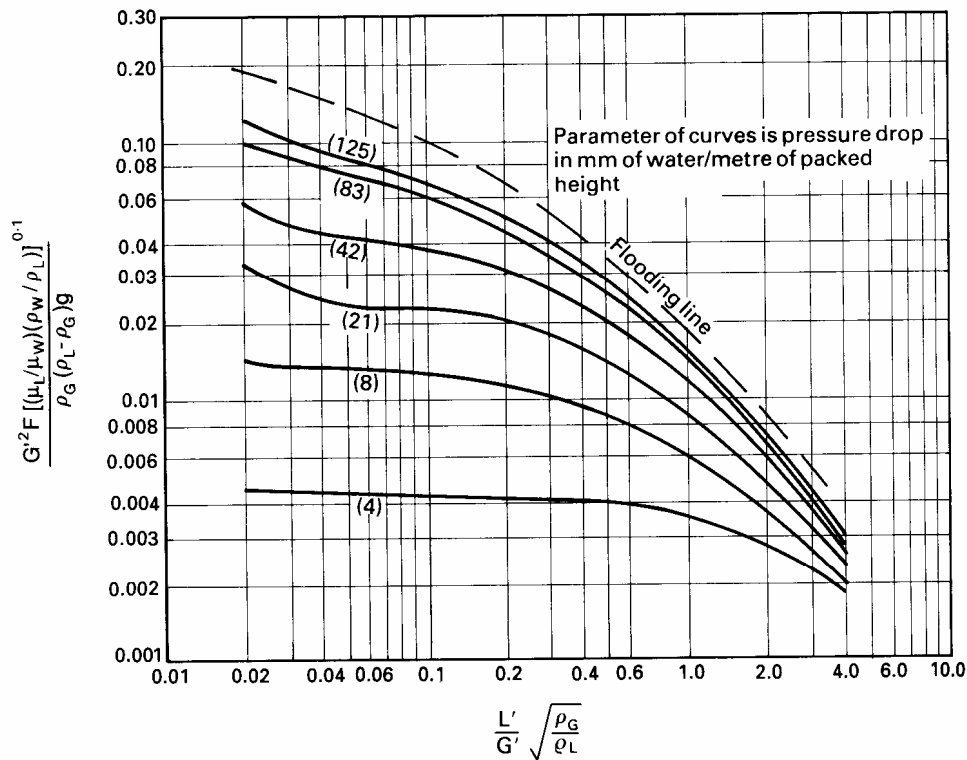


FIG. 4.22. Generalised pressure drop correlation (adapted from a figure by the Norton Co. with permission)

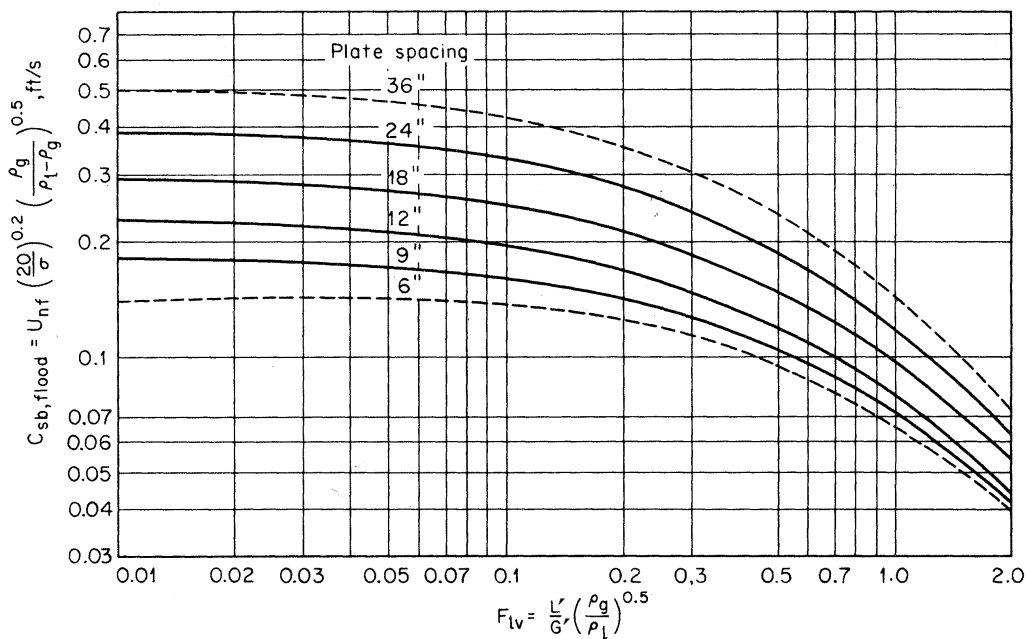


FIG. 18-10 Flooding limits for bubble-cap and perforated plates.  $L'/G'$  = liquid-gas mass ratio at point of consideration. To convert feet per second to meters per second, multiply by 0.3048; to convert inches (symbol ") to meters, multiply by 0.0254. [Fair, Pet./Chem. Eng., 33(10), 45 (September 1969).]

---

## 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: 
$$l_T = \frac{V}{k_G \cdot a \cdot P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y - y_i)} = \frac{V}{K_G \cdot a \cdot P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y - y^*)}$$

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

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

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

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

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

## SEDIMENTERING

Fri sedimentering:

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

---

## 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
$\mu_L$	vätskans dynamiska viskositet, Pa·s
$\mu_W$	dynamiska viskositeten för vatten vid 20°C, Pa·s
$\rho_G$	gasens densitet, $kg/m^3$
$\rho_L$	vätskans densitet, $kg/m^3$
$\rho_W$	densiteten för vatten vid 20°C, $kg/m^3$
$\sigma$	ytpänning, dyn/cm (=mN/m)

---

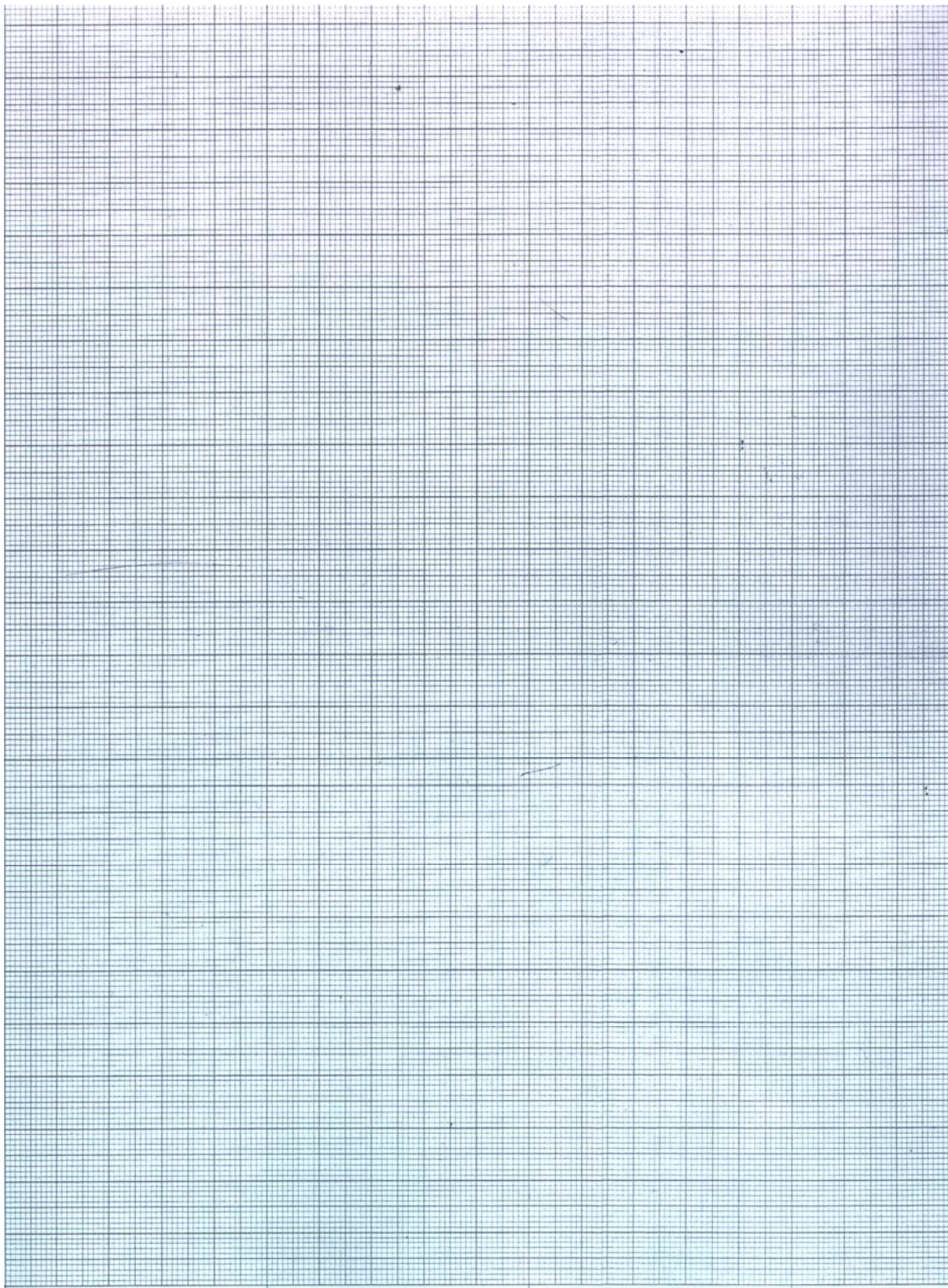
## FILTRERING

$A$	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, -
$\Delta P$	tryckfall över filterkakan, Pa
$R_m$	filtermediets motstånd, $m^{-1}$
$t$	filtreringstid, s
$V$	erhållen filtratvolym under tiden $t$ , $m^3$
$\alpha_{av}$	specifikt filtreringsmotstånd, $m/kg$
$\varepsilon_{av}$	filterkakans porositet, -
$\mu$	fluidens viskositet, Pa·s
$\rho$	fluidens densitet, $kg/m^3$
$\rho_s$	fasta fasens densitet, $kg/m^3$

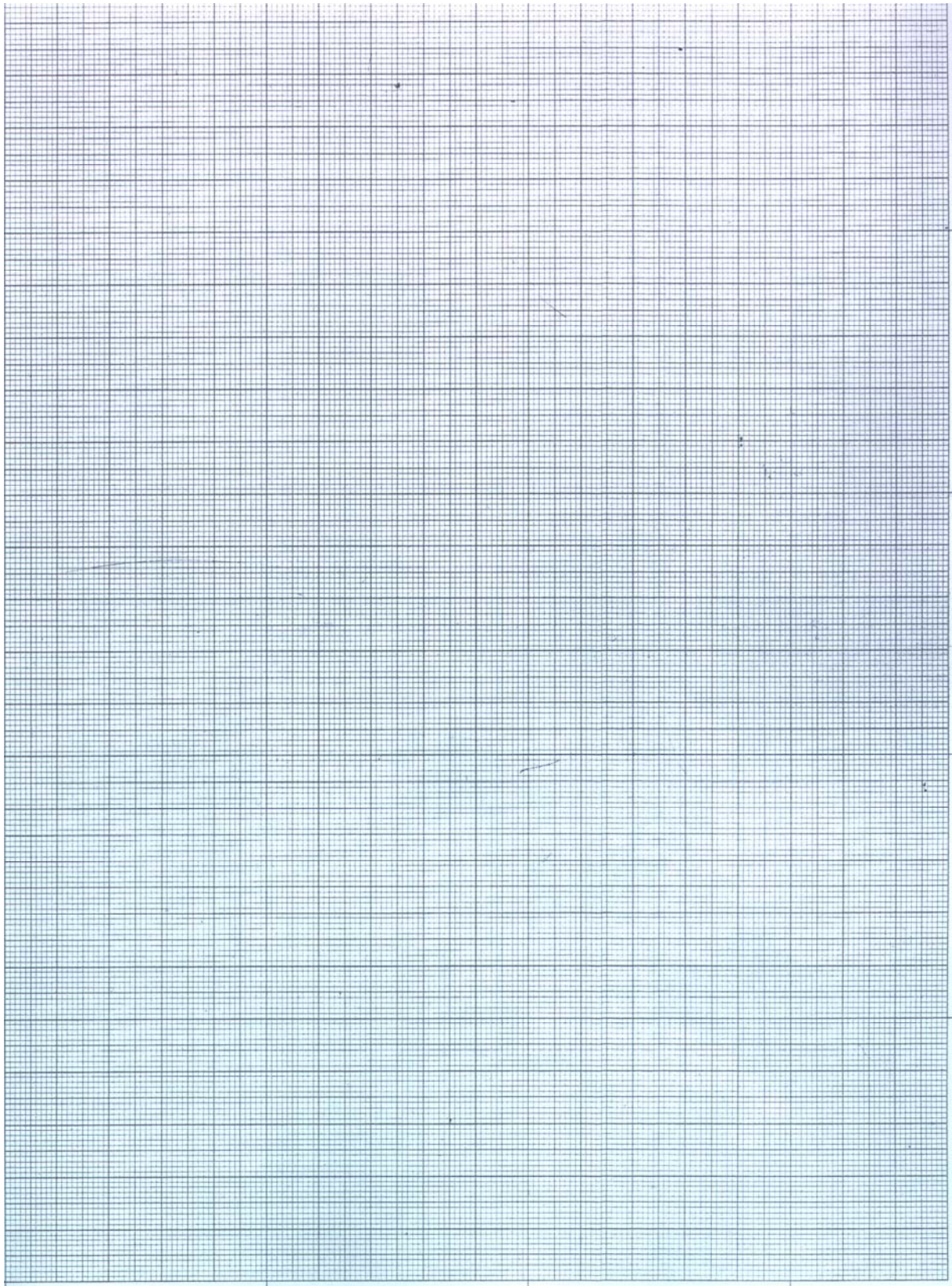
## SEDIMENTERING

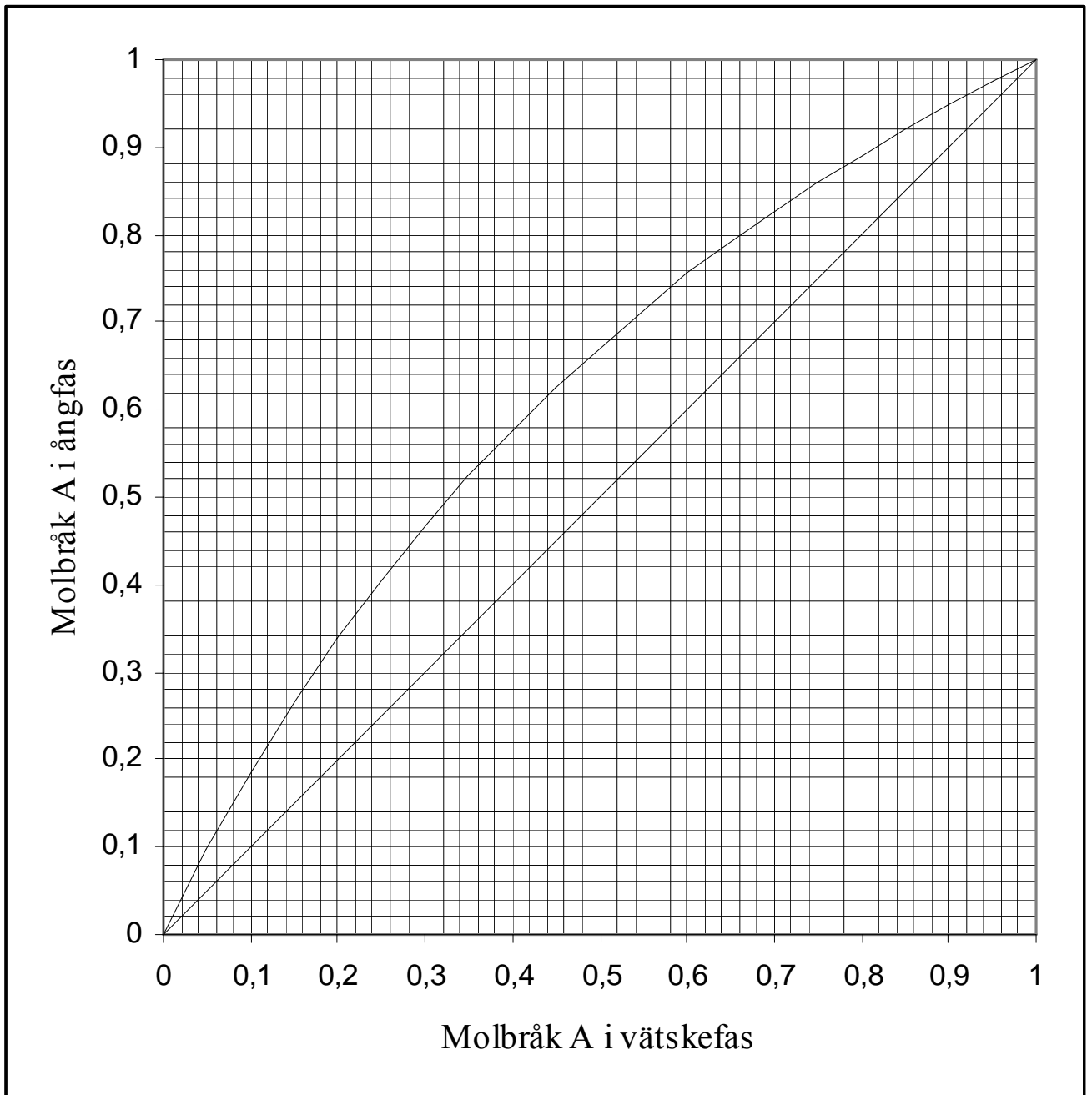
$D_p$	partikelstorlek, m
$g$	tyngdaccelerationen, $m/s^2$
$v$	partikelns sedimentationshastighet, m/s
$\mu$	fluidens viskositet, Pa·s
$\rho$	fluidens densitet, $kg/m^3$
$\rho_s$	fasta fasens densitet, $kg/m^3$



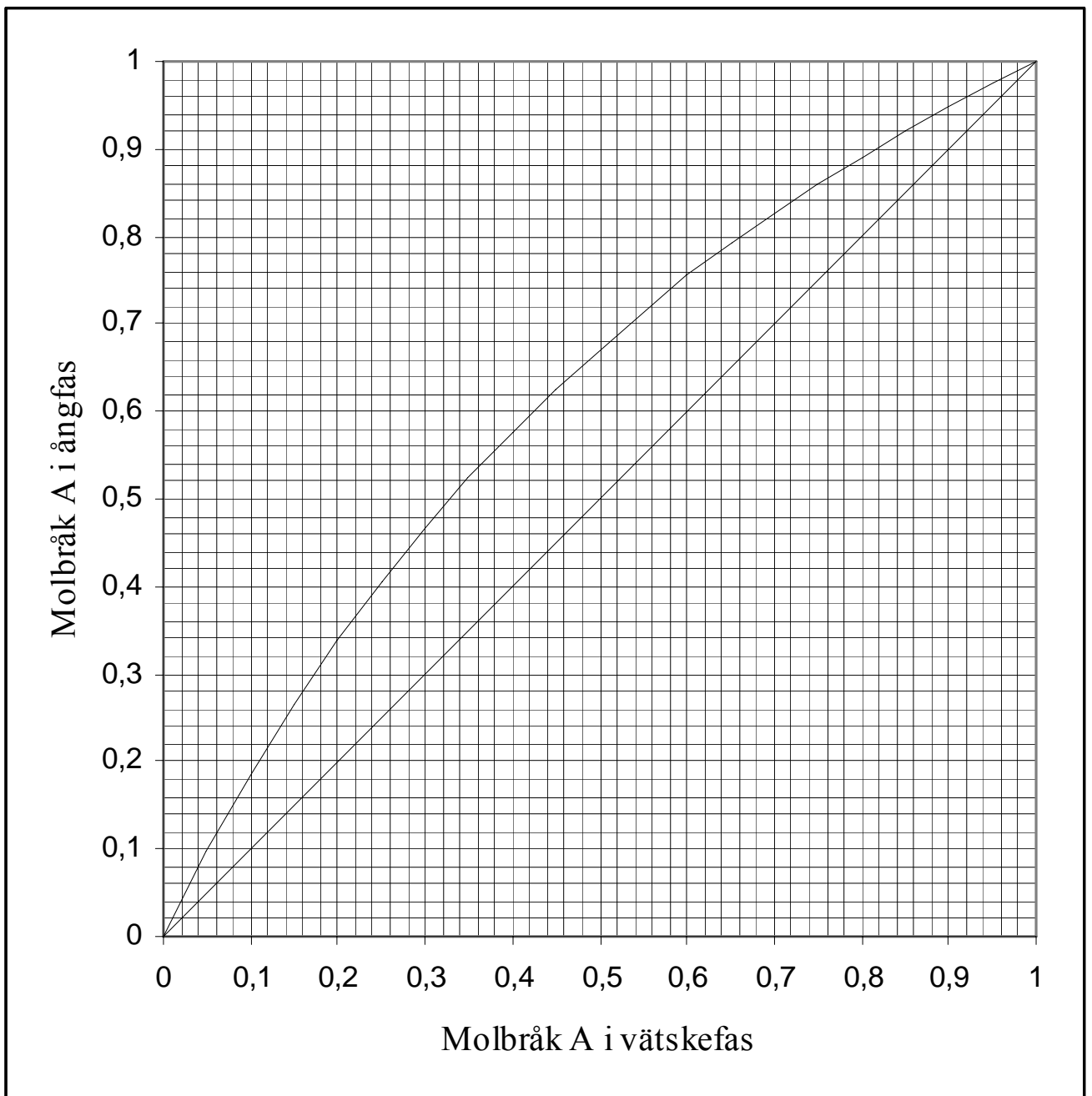










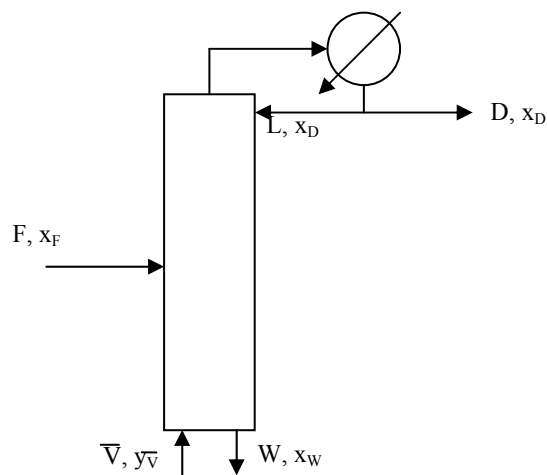


### B1.

Data:  $F = 100 \text{ kmol/h}$   
 $x_F = 0.46$   
 $x_D = 0.96$   
 $x_W = 0.10$   
 $R = 2.8R_{\min}$   
 $P = 760 \text{ mmHg}$

Sökt: a)  $D, W$   
b)  $T_F$   
c)  $n_{\text{IDEAL}}$   
d)  $\bar{V}$

Lösning:



a) Materialbalanser

$$F + \bar{V} = D + W \quad (1)$$

$$F x_F = D x_D + W x_W \quad (2)$$

$$L = R D \quad (3)$$

$$\bar{L} = L + F = R D + F \quad (4)$$

$$\bar{L} = W \quad (5)$$

$$V = \bar{V} = D(R + 1) \quad (6)$$

Sök ett samband  $F = f(D)$        $F = D + W - \bar{V}$

$$(2) \Rightarrow W = \frac{F x_F - D x_D}{x_W} = 460 - 9.6 D$$

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

Sök R!  $y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$  där avskärningen  $\phi = \frac{x_D}{R+1}$

Vid minimalt återflöde

$$\left. \begin{array}{l} \phi_{\min} = \frac{x_D}{R_{\min} + 1} \\ x_D = 0.96 \\ \phi_{\min} = 0.33 \end{array} \right\} R_{\min} = 1.91 \Rightarrow R = 5.35$$

$$\therefore \bar{V} = D(R + 1) \quad \bar{V} = 6.35D$$

$$\therefore F = D + 460 - 9.6D - 6.35D \Rightarrow \begin{array}{l} D = 24.08 \text{ kmol/h} \\ W = 228.83 \text{ kmol/h} \end{array}$$

b)  $T_F = ?$

Jämviktsvillkoret kan tecknas  $y_A = \frac{P_A^0 x_A}{P}$   
 $x_A = 0.46$   
 $y_A = 0.64$  från jämviktsdiagram

$$\Rightarrow P_A^0 = 1057.39 \text{ mmHg} \Rightarrow T_F = 86.93 \text{ }^\circ\text{C}$$

c)  $n = ?$

Övre driftlinjen skapas  $\phi=0.15$ . Nedre driftlinjen konstrueras från skärningspunkten mellan q-linjen och övre driftlinjen samt punkten (0.10,0.0) på x-axeln. ”Stegning” ger 9 ideala steg.

d)  $\bar{V} = ?$

$$V = \bar{V} = \{\text{pga konstanta molära flöden}\} = D(R + 1)$$

$$\bar{V} = 152.9 \text{ kmol/h}$$

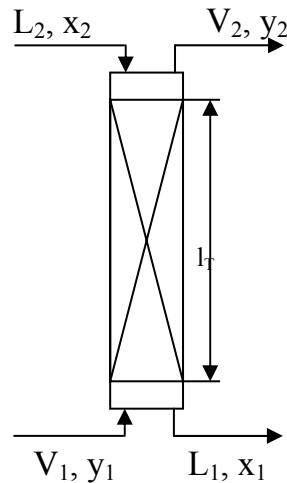
Svar: a) 24.1 kmol/h, 152.9 kmol/h b) 86.9 °C c) 9 ideala steg d)  $\bar{V} = 152.9 \text{ kmol/h}$

## B2.

Data:  $V_1 = 34.5$  kmol/h  
 $y_1 = 0.015$   
 $L_2 = 550$  kmol/h  
 $x_2 = 0.0005$   
 $P = 100$  kPa  
 $T = 20$  °C  
 $H_{oG} = 0.8$

a) Sökt:  $l_T$

Lösning:



Packningshöjden beräknas ur  $l_T = H_{oG} N_{oG}$

$V_1 = V_2 = V$  samt  $L_1 = L_2 = L$  pga ”små” molbråk  $\Rightarrow$  Rät driftlinje

95% av ingående ammoniak skall absorberas

$$0.05Vy_1 = Vy_2 \Rightarrow y_2 = 0.00075$$

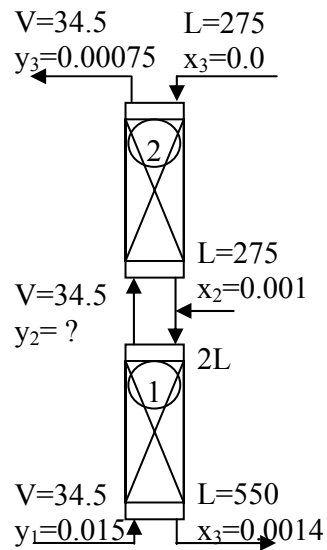
$$Vy_1 + Lx_2 = Vy_2 + Lx_1 \Rightarrow x_1 = 0.0014$$

Låga halter! Av givna jämviktsdata framgår att jämviktskurvan har lutningen  $m = 0.776$  i aktuellt koncentrationsintervall. Detta är baserat på första datapunkten då samtliga sammansättningar är lägre än de som representerar första datapunkten.

$$N_{oG} = \frac{1}{1 - \frac{mV}{L}} \ln \frac{y_1 - mx_1}{y_2 - mx_2} \Rightarrow N_{oG} = 3.84 \quad \underline{l_T = 3.07 \text{ m}}$$

b) Sökt:  $l_T$  då absorptionsvätskan påföres optimalt.

Lösning:



Stadera torn 1:  $Vy_1 + 2Lx_2 = Vy_2 + Lx_1 \Rightarrow y_2 = 0.0086$

$$N_{OG}^1 = \frac{1}{1 - \frac{mV}{2L}} \ln \frac{y_1 - mx_1}{y_2 - mx_2} \Rightarrow N_{OG}^1 = 0.605$$

$$\therefore l_T^1 = H_{OG} N_{OG}^1 \Rightarrow l_T^1 = 0.484 \text{ m}$$

Stadera torn 2:  $N_{OG}^2 = \frac{1}{1 - \frac{mV}{L}} \ln \frac{y_2 - mx_2}{y_3} \Rightarrow N_{OG}^2 = 2.598$

$$\therefore l_T^2 = H_{OG} N_{OG}^2 \Rightarrow l_T^2 = 2.078 \text{ m}$$

Totalt kommer packningshöjden att bli  $l_T^{TOT} = 2.56 \text{ m}$

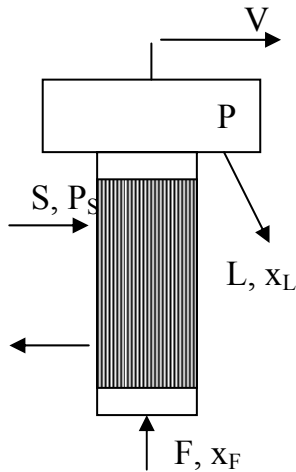
Svar: 3.07 m respektive 2.56 m

### **B3.**

Data:  $x_F = 0.005$   
 $P = 2 \text{ bar}$   
 $P_S = 5 \text{ bar}$   
 $Q = 20 \text{ MW}$   
 $U_{SKB} = 1.0 \text{ kW/m}^2\text{°C}$   
 $V = 7.5 \text{ kg/s}$   
 $T_F = 50 \text{ °C}$

a) Sökt: a) A b) S c)  $x_L$

Lösning:



a) Kapacitetsekvationen

$$Q = U_{SKB}A\Delta T$$

$$\Delta T = T_S - T$$

$$Q = 20 \cdot 10^3 \text{ kW}$$

$$T_S = \{ P_S = 5 \text{ bar} \} = 151.85 \text{ °C}$$

$$T = \{ P = 2 \text{ bar} \} = 120.23 \text{ °C}$$

$$A = \frac{Q}{U_{SKB}(T_S - T)} \Rightarrow A = 632 \text{ m}^2$$

b) Kapacitet

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

$$\Delta H_{VAP} = \{ P = 2 \text{ bar} \} = 2108.62 \text{ kJ/kg}$$

$$S = 9.48 \text{ kg/s}$$

c)

$$Fx_F = Lx_L \Rightarrow x_L = \frac{F}{L}x_L$$

$$F = V + L$$

$$Fh_F + Q = VH_V + Lh_L$$

$$h_F = \{50^\circ\text{C}\} = 4.177 \cdot 50 = 208.85 \text{ kJ/kg}$$

$$H_V = \{2 \text{ bar}\} = 2706.65 \text{ kJ/kg}$$

$$h_L = \{2 \text{ bar}\} = 504.75 \text{ kJ/kg}$$

$$F = \frac{V(H_V - h_L) - Q}{h_F - h_L} \Rightarrow F = 11.78 \text{ kg/s}$$

$$L = F - V \Rightarrow L = 4.28 \text{ kg/s}$$

$$\therefore x_L = 0.014$$

Svar: a) 632 m<sup>2</sup> b) 9.48 kg/s c) 1.4 vikt-%

#### **B4.**

<u>Data:</u>	$J = 0.025$	$t_1 = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$
	$\Delta P = 2.5 \text{ bar}$	$V_1 = 5.6 \text{ m}^3$
	$A = 14 \text{ m}^2$	$t_2 = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$
	$Q = 20 \text{ MW}$	$V_2 = 8.3 \text{ m}^3$
	$L = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$	$\Delta P_{NY} = 3.5 \text{ bar}$
	$T = 50^\circ\text{C}$	
	$\epsilon_{AV} = 0.47$	
	$\rho_S = 2500 \text{ kg/m}^3$	

a) Sökt: a)  $t_{\text{SLUT}}$  b)  $\alpha$  och  $R_M$  c)  $t_{\text{SLUT, NY}}$  vid  $P_{NY}$

#### Lösning:

a) Filtringen sker vid konstant tryck, då gäller

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu\alpha_{AV}c}{2\Delta\Delta P^2}V + \frac{\mu R_m}{\Delta P A}$$

Detta beskriver en rät linje om man avsätter  $t/V$  mot  $V$  i ett diagram vilket kan beskrivas som

$$\frac{t}{V} = \text{Lutning} \cdot V + \text{Avskärning}$$

Om lutning och avskärning kan bestämmas, kan tiden för en viss filtratvolym erhållas som:

$$t = \text{Lutning} \cdot V^2 + \text{Avskärning} \cdot V$$

Lutning och avskärning bestäms med givna data;

$$\text{Lutning} = \frac{\frac{t_2}{V_2} - \frac{t_1}{V_1}}{V_2 - V_1} = \frac{\left(\left(\frac{600}{8.3}\right) - \left(\frac{300}{5.6}\right)\right)}{8.3 - 5.6} = 6.93 \text{ s/m}^6$$

$$\text{Avskärning} = \frac{t_1}{V_1} - \text{Lutning} \cdot V_1 = \frac{300}{5.6} - 6.93 \cdot 5.6 = 14.8 \text{ s/m}^3$$

Tiden för filtreringen,  $t_{\text{SLUT}}$ , kan bestämmas om man vet filtratvolymen vid filtreringens slut,  $V_{\text{SLUT}}$ . Denna kan beräknas genom kännedom om filterkakans totala volym och filterkvoten  $c$ , eftersom;

$$c = \frac{\text{Torrsubs tan s i kakan}}{\text{Filtratvolym}} = \frac{\rho_s (1 - \varepsilon_{\text{AV}}) V_{\text{KAKA}}}{V_{\text{SLUT}}}$$

$$V_{\text{SLUT}} = \frac{\rho_s (1 - \varepsilon_{\text{AV}}) V_{\text{KAKA}}}{c}$$

För kakans volym gäller  $V_{\text{KAKA}} = LA = 0.05 \cdot 14 = 0.70 \text{ m}^2$

Filterkvoten,  $c$ , bestäms enligt;

$$c = \frac{J\rho}{1 - J - \frac{\varepsilon_{\text{AV}}}{1 - \varepsilon_{\text{AV}}} \frac{\rho}{\rho_s} J}$$

Vätskans densitet,  $\rho$ , bestäms vid filtreringstemperaturen till  $971.8 \text{ kg/m}^3$ . Detta ger att  $c$  kan beräknas till  $25.1 \text{ kg/m}^3$  och  $V_{\text{SLUT}}$  till  $36.9 \text{ m}^3$ .

Detta ger  $t_{\text{SLUT}} = 9980 \text{ s} = 170 \text{ min}$ .

- b) Specifika filtrermotståndet,  $\alpha_{\text{AV}}$ , och filtermediets motstånd,  $R_m$ , kan nu bestämmas ur lutning respektive avskärning om övriga data är kända.

$$\alpha_{\text{AV}} = \frac{2\Delta\Delta P^2 \cdot \text{Lutning}}{\mu c} \quad R_m = \frac{\Delta P A \cdot \text{Avskärning}}{\mu}$$

Viskositeten,  $\mu$ , bestäms vid filtreringstemperaturen till  $357 \cdot 10^{-6} \text{ Pas}$ .



---

Då kan  $\alpha_{AV}$  bestämmas till  $7.6 \cdot 10^{10}$  m/kg samt  $R_m$  till  $1.4 \cdot 10^{11}$  m<sup>-1</sup>.

c) När enbart tryckfallet ändras påverkas filtreringstiden omvänt proportionellt,

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu\alpha_{AV}C}{2\Delta\Delta P^2} V + \frac{\mu R_m}{\Delta P A} \Rightarrow t = \frac{\mu\alpha_{AV}C}{2\Delta\Delta P^2} V^2 + \frac{\mu R_m}{\Delta P A} V = \frac{\text{KONST}}{\Delta P}$$

Detta ger;

$$t_{\text{SLUT,NY}} = \frac{\Delta P}{\Delta P_{\text{NY}}} t_{\text{SLUT}} \Rightarrow 7130 \text{ s} = 120 \text{ min}$$

Svar: a) 170 min b)  $7.6 \cdot 10^{10}$  m/kg  $1.4 \cdot 10^{11}$  m<sup>-1</sup> c) 120 min.