



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Institutionen för kemi- och bioteknik

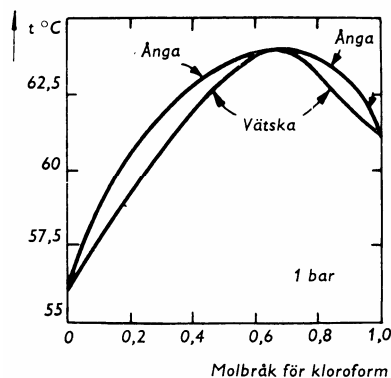
KURSNAMN	Bioseparationsteknik, KAA150
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram bioteknik årskurs 3 läsperiod 3
EXAMINATOR	Krister Ström
TID FÖR TENTAMEN LOKAL	Onsdag 30 maj, kl 08.34-12.30 V
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med tömt minne. Egna anteckningar och kursmaterial är ej godkänt 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 tentamenstesesen)
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 30 maj. Resultat på tentamen anslås 18 juni. Granskning tisdag 19 juni 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 tentamenstesesen. 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. Man kan indela separationsoperationer enligt olika kategorier. Ett exempel är att indela dem i homogena och heterogena operationer. Ge exempel på separationsmetoder enligt respektive typ och därvid utnyttjat *separationsagens!*

(2p)

A2. 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 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. En förstoring av figuren finns i bilaga som Du kan bifoga Din lösning!

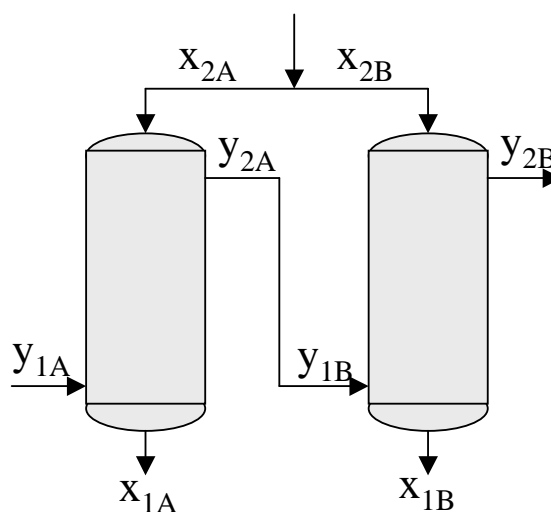


(5p)

A3. Vid absorption kan tre driftparametrar påverkas för att få så effektiv absorptionsprocess som möjligt! Vilka är dessa parametrar?

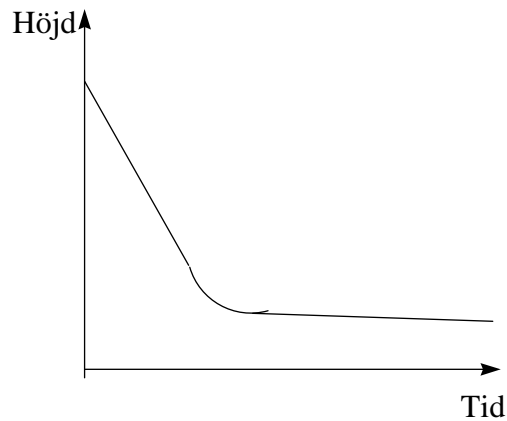
(2p)

A4. En absorptionsprocess är lämplig att utföra i två kolonner enligt figur nedan. Visa med en principfigur placering av driftlinjer och jämviktskurva för tvåkolonnssystemet och motivera Ditt svar! Markera koncentrationerna i principfiguren.



(5p)

-
- A5.** I figuren nedan är en höjd-tidkurva schematiskt presenterad för ett sedimenteringsförlopp. Vad påverkar höjd-tidkurvans utseende?



(3p)

- A6.** Redogör för funktionerna hos en spraykolonn respektive mixer settler (gärna med figur), samt ange hur verkningsgraden och kostnaden förhåller sig för dessa båda!

(4p)

- A6.** Redogör för den fundamentala skillnaden mellan fri och hindrad sedimentering!

(2p)

- A8.** Kapaciteten för en klarnare kan härledas till $A \geq \frac{F}{v}$. Då sedimentationshastigheten, v , är låg kommer en stor klarningsbassäng att fordras för att genomföra separationen. Hur kan man apparatmässigt öka kapacitet för ett sedimentationsförlopp som uppvisar en låg kapacitet i ett gravitationsfält?

(3p)

Del B: Beräkningsuppgifter

B1. En destillationskolonn skall dimensioneras i vilken en blandning av metanol och propanol ska separeras. Tillflödets storlek är 100 kmol/h och håller 40 mol-% metanol och resten propanol. Tillflödet är vätskeformigt och kokvarmt. Från kolonnen önskas två produkter hållande 95 respektive 10 mol-% metanol. Separationen genomförs vid 760 mmHg. Kolonnen ska vara försedd med återkokare och totalcondensor och arbeta vid ett yttre återflödesförhållande 4.24. Relativa flyktigheten för metanol/propanol är 4.32.

- Beräkna med Sorels metod hur många ideala steg fordras för att genomföra separationen?

(9p)

B2. En luftström, 1000 kg/h (34.5 kmol/h), innehåller 1.50 mol-% ammoniak. I en packad kolonn ska denna ammoniak tas bort till 95% genom absorption i vatten, påfört i en mängd av 9900 kg vatten/h (550 kmol/h) och hållande 0.05 mol-% ammoniak. Trycket i kolonnen är 100 kPa och temperaturen konstanthålles vid 20°C.

- Beräkna erforderlig packningshöjd för separationen om H_{OG} kan antas vara 0.8 m!

Jämviktsdiagram för ammoniak/vatten vid 100kPa bifogas.

(8p)

B3. En saltlösning, 1300 kg/h, ska indunstas vid 1 bar från 30 till 60 vikt-% i en enkeleffektindunstare. Temperaturen på tillflödet är 55°C och på värmande ånga 175°C. Entalpier kan approximeras med motsvarande entalpier för ånga respektive vatten. Kokpunktsförhöjningen kan beräknas från sambandet $\beta=100 \cdot x_{SALT}$ där x_{SALT} är viktbråket salt.

- Beräkna erforderlig värmeöverföringsyta för indunstaren!

Skenbara värmegenomgångstalet är 1.1 kW/m²·K.

(8p)

B4. Ett filtreringsförsök har utförts i ett laboriefilter med filterytan $1.45 \cdot 10^{-3}$ m². Slurryn, som håller 5.2 vikt-% fast material, filtrerades vid det konstanta tryckfallet 2.36 MPa och temperaturen 20°C. Efter filtreringen bestämdes filterkakans torrhalt till 17.8 %. Det fasta materialets densitet är 1335 kg/m³ och vätskan 1000 kg/m³.

- Bestäm, utifrån de experimentella resultaten som är givna i tabell nedan, filterkakans filtrermotstånd samt filtermediets motstånd.

(9p)

t (s)	480	1800	4200	6600	11400	16200	23400	30600
V (m ³)	$2.03 \cdot 10^{-5}$	$3.77 \cdot 10^{-5}$	$5.71 \cdot 10^{-5}$	$7.23 \cdot 10^{-5}$	$9.59 \cdot 10^{-5}$	$1.156 \cdot 10^{-4}$	$1.408 \cdot 10^{-4}$	$1.632 \cdot 10^{-4}$

Göteborg 2007-05-27
Kristers Ström

Bioseparationsteknik

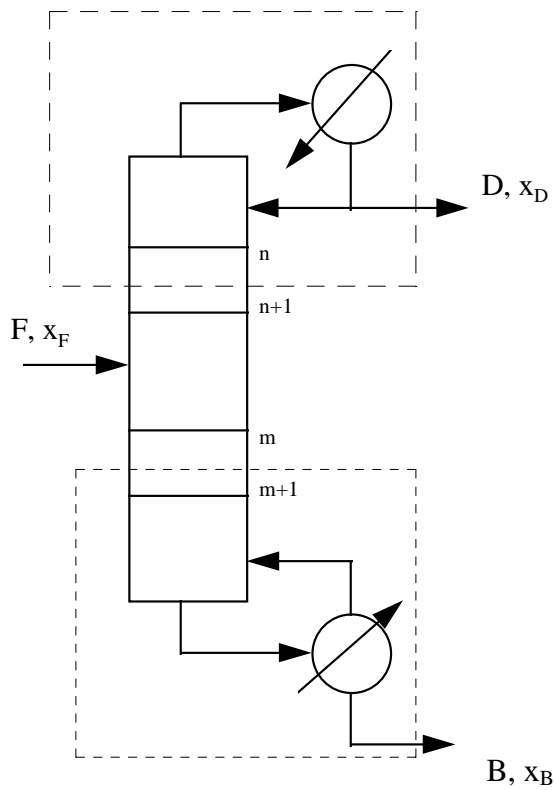
Formelsamling

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:

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

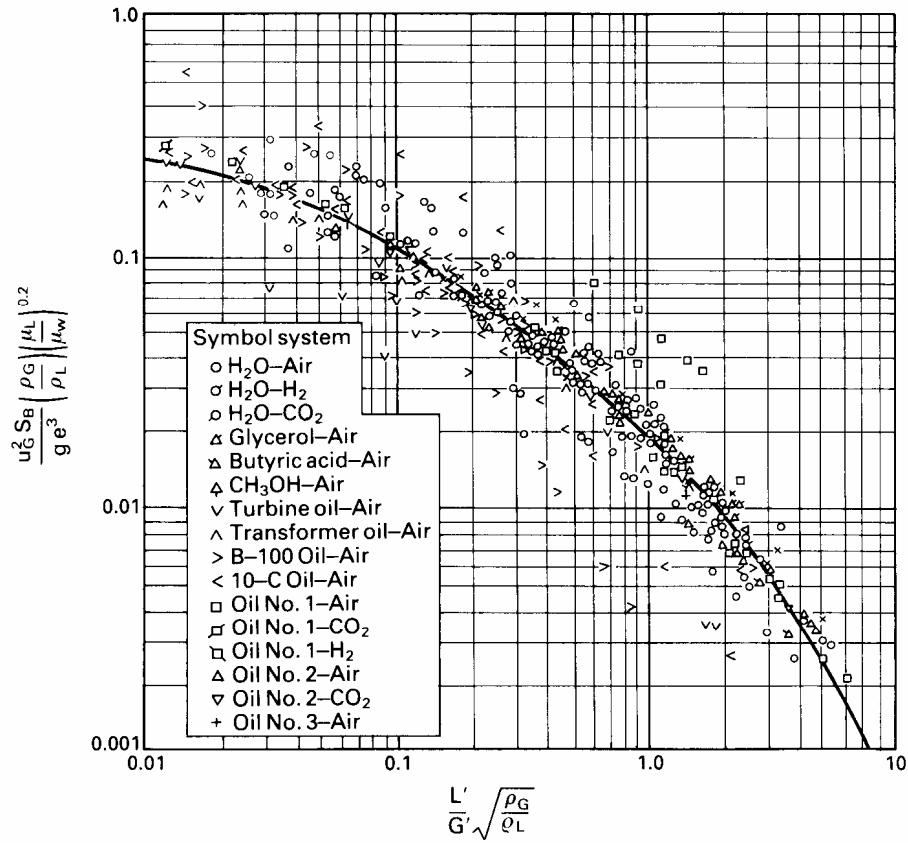


FIG. 4.21. Generalised correlation for flooding rates in packed towers

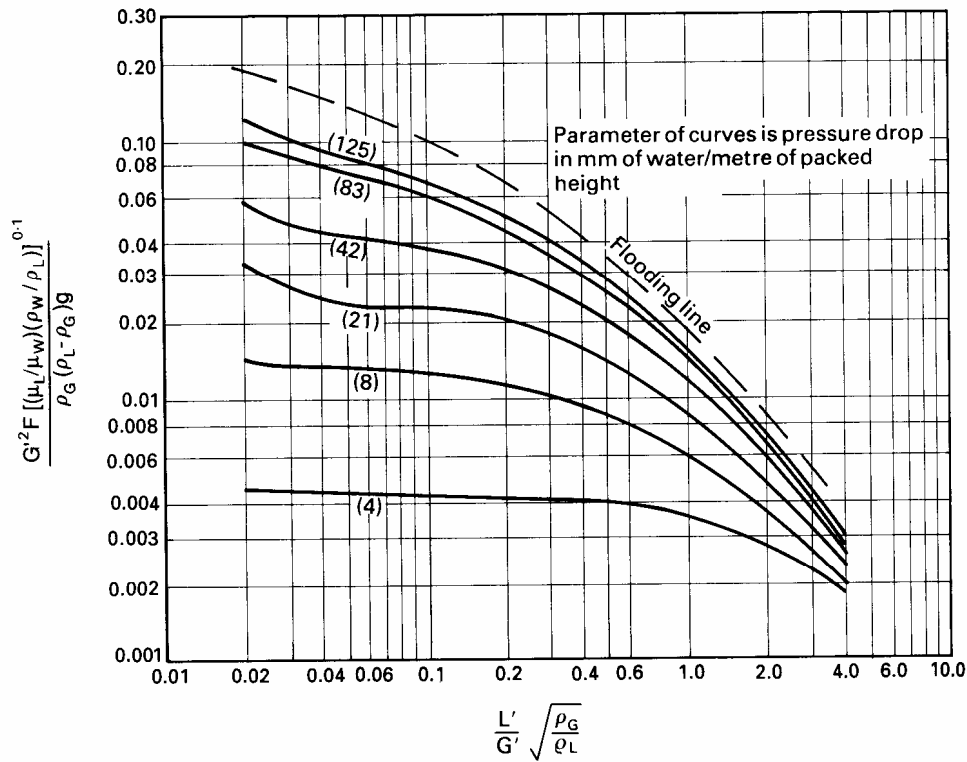


FIG. 4.22. Generalised pressure drop correlation (adapted from a figure by the Norton Co. with permission)

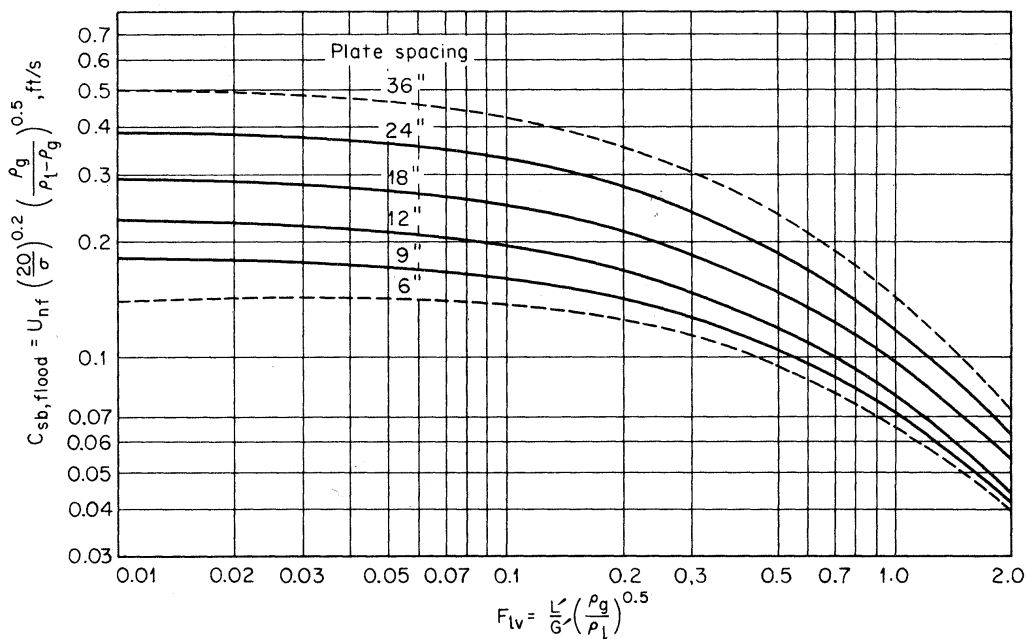


FIG. 18-10 Flooding limits for bubble-cap and perforated plates. L'/G' = liquid-gas mass ratio at point of consideration. To convert feet per second to meters per second, multiply by 0.3048; to convert inches (symbol ") to meters, multiply by 0.0254. [Fair, Pet./Chem. Eng., 33(10), 45 (September 1969).]

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

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

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

SEDIMENTERING

Fri sedimentering:

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

SYMBOLFÖRTECKNING:

ABSORPTION

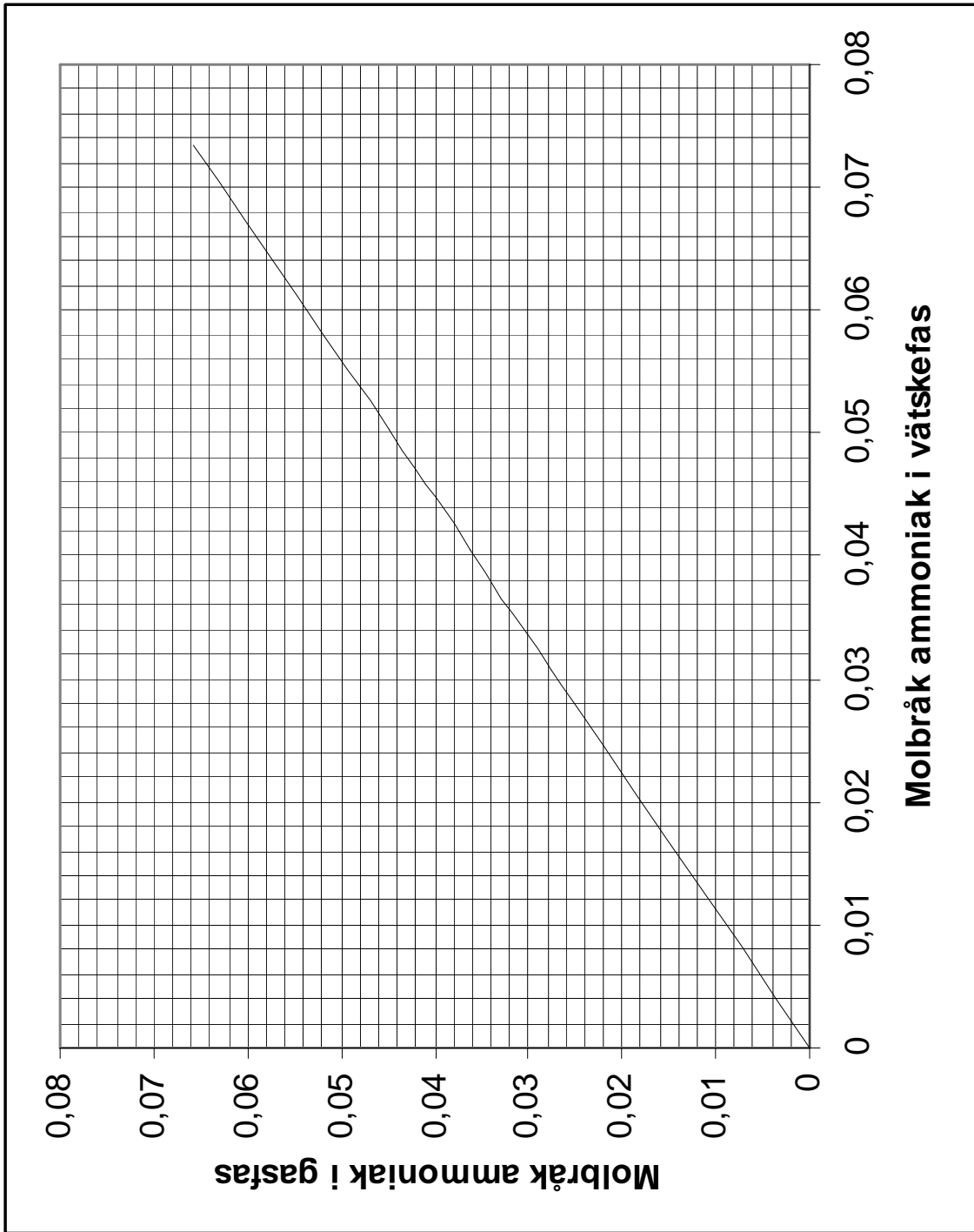
a	massöverförande yta per tornvolym, m^2/m^3
$C_{sb, flood}$	kapacitetsparameter, ft/s
C_T	vätskans totalkoncentration, $kmol/m^3$
e	packningens porositet, -
F	packningsfaktor, m^{-1}
F_{lv}	flödesparameter, -
g	tyngdaccelerationen, m/s^2
V	gasflöde, $kmol/(m^2 \cdot s)$
G'	gasflöde, $kg/(m^2 \cdot s)$
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	ytpänning, dyn/cm (=mN/m)

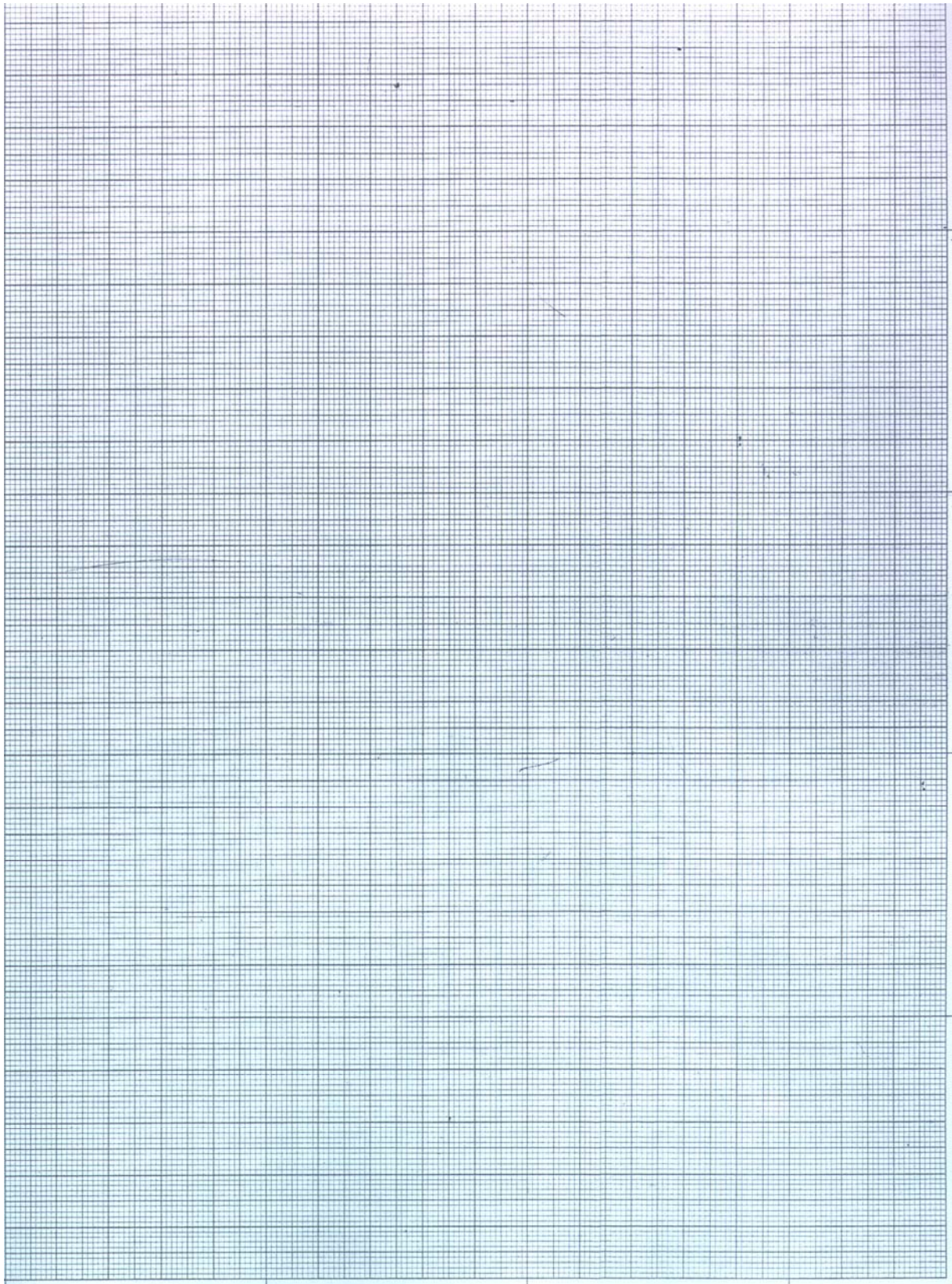
FILTRERING

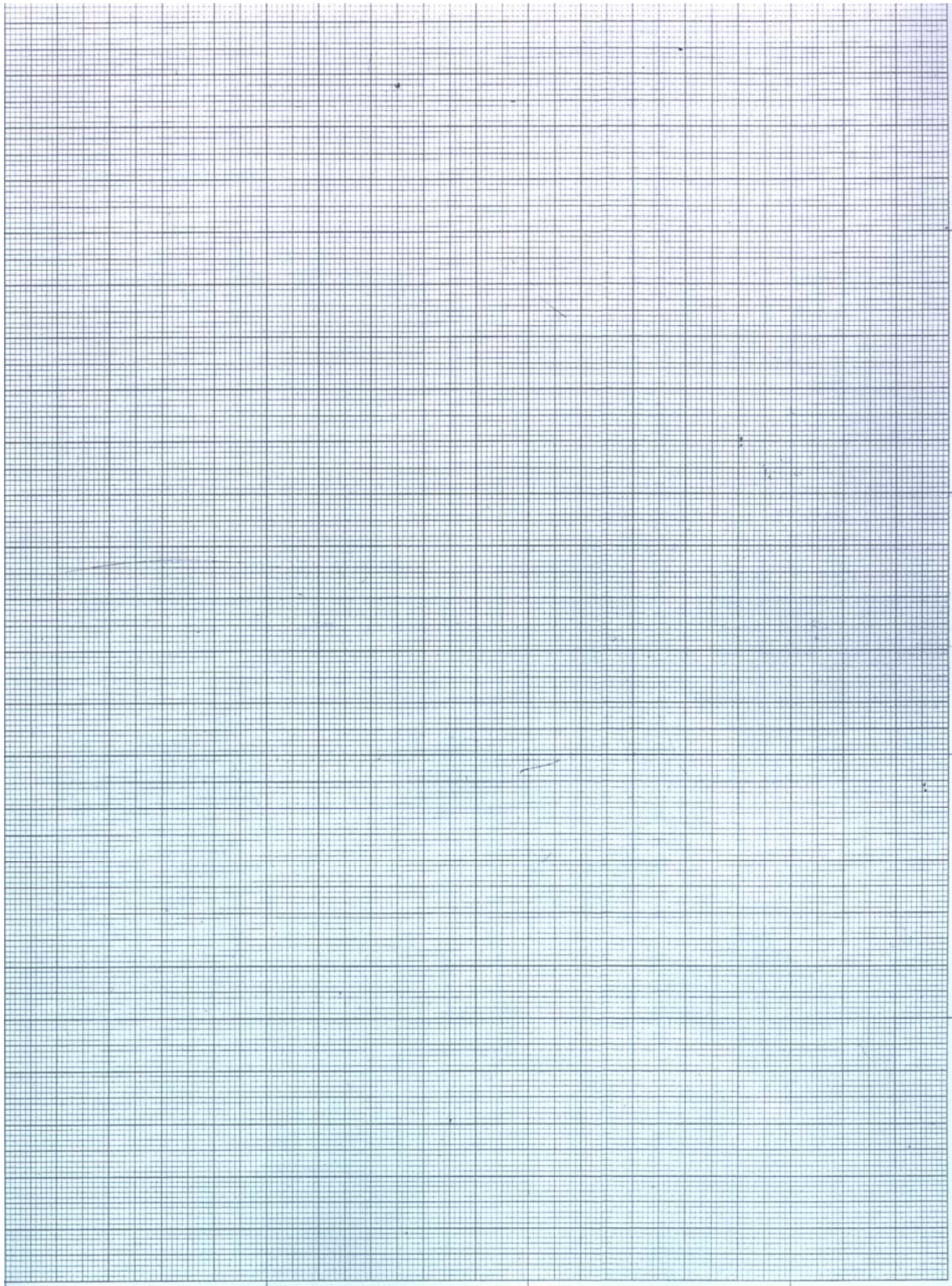
A	filtreringsarea, m^2
c	förhållandet mellan vikten av det fasta materialet i filterkakan och filtratvolymen, kg/m^3
J	massbråk av fast material i suspensionen, -
ΔP	tryckfall över filterkakan, Pa
R_m	filtermediets motstånd, m^{-1}
t	filtreringstid, s
V	erhållen filtratvolym under tiden t , m^3
α_{av}	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

D_p	partikelstorlek, m
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







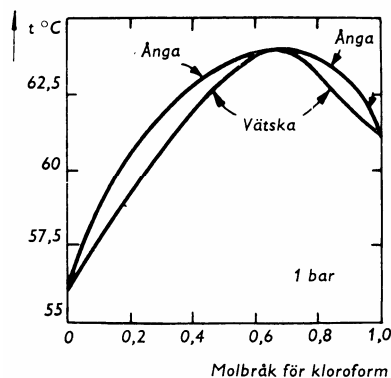
KURSNAMN	Bioseparationsteknik, KAA150 – <i>Lösningar bifogade till B-uppgifter</i>
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram bioteknik årskurs 3 läsperiod 3
EXAMINATOR	Krister Ström
TID FÖR TENTAMEN LOKAL	Onsdag 30 maj, kl 08.34-12.30 V
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med tömt minne. 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 tentamenstesen)
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 30 maj. Resultat på tentamen anslås 18 juni. Granskning tisdag 19 juni 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 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. Man kan indela separationsoperationer enligt olika kategorier. Ett exempel är att indela dem i homogena och heterogena operationer. Ge exempel på separationsmetoder enligt respektive typ och därvid utnyttjat *separationsagens!*

(2p)

A2. 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 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. En förstoring av figuren finns i bilaga som Du kan bifoga Din lösning!

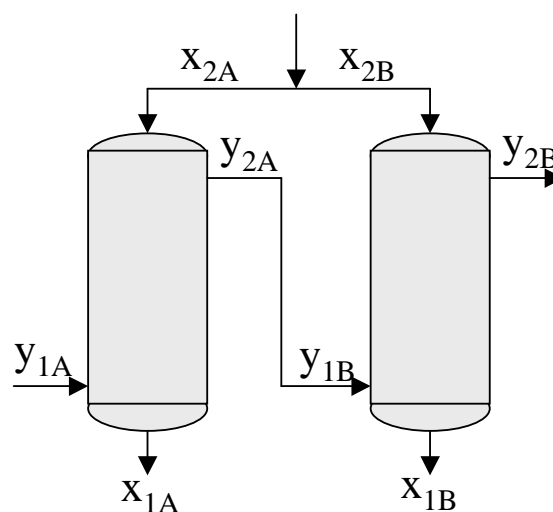


(5p)

A3. Vid absorption kan tre driftparametrar påverkas för att få så effektiv absorptionsprocess som möjligt! Vilka är dessa parametrar?

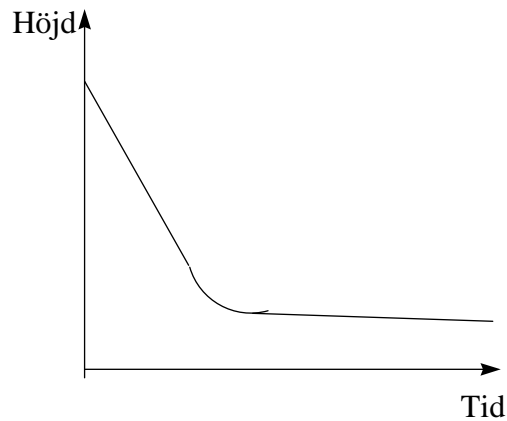
(2p)

A4. En absorptionsprocess är lämplig att utföra i två kolonner enligt figur nedan. Visa med en principfigur placering av driftlinjer och jämviktskurva för tvåkolonnssystemet och motivera Ditt svar! Markera koncentrationerna i principfiguren.



(5p)

-
- A5.** I figuren nedan är en höjd-tidkurva schematiskt presenterad för ett sedimenteringsförlopp. Vad påverkar höjd-tidkurvans utseende?



(3p)

- A6.** Redogör för funktionerna hos en spraykolonn respektive mixer settler (gärna med figur), samt ange hur verkningsgraden och kostnaden förhåller sig för dessa båda!

(4p)

- A6.** Redogör för den fundamentala skillnaden mellan fri och hindrad sedimentering!

(2p)

- A8.** Kapaciteten för en klarnare kan härledas till $A \geq \frac{F}{v}$. Då sedimentationshastigheten, v , är låg kommer en stor klarningsbassäng att fordras för att genomföra separationen. Hur kan man apparatmässigt öka kapacitet för ett sedimentationsförlopp som uppvisar en låg kapacitet i ett gravitationsfält?

(3p)

Del B: Beräkningsuppgifter

B1. En destillationskolonn skall dimensioneras i vilken en blandning av metanol och propanol ska separeras. Tillflödets storlek är 100 kmol/h och håller 40 mol-% metanol och resten propanol. Tillflödet är vätskeformigt och kokvarmt. Från kolonnen önskas två produkter hållande 95 respektive 10 mol-% metanol. Separationen genomförs vid 760 mmHg. Kolonnen ska vara försedd med återkokare och totalcondensor och arbeta vid ett yttre återflödesförhållande 4.24. Relativa flyktigheten för metanol/propanol är 4.32.

- Beräkna med Sorels metod hur många ideala steg fordras för att genomföra separationen?

(9p)

B2. En luftström, 1000 kg/h (34.5 kmol/h), innehåller 1.50 mol-% ammoniak. I en packad kolonn ska denna ammoniak tas bort till 95% genom absorption i vatten, påfört i en mängd av 9900 kg vatten/h (550 kmol/h) och hållande 0.05 mol-% ammoniak. Trycket i kolonnen är 100 kPa och temperaturen konstanthålles vid 20°C.

- Beräkna erforderlig packningshöjd för separationen om H_{OG} kan antas vara 0.8 m!

Jämviktsdiagram för ammoniak/vatten vid 100kPa bifogas.

(8p)

B3. En saltlösning, 1300 kg/h, ska indunstas vid 1 bar från 30 till 60 vikt-% i en enkeleffektindunstare. Temperaturen på tillflödet är 55°C och på värmande ånga 175°C. Entalpier kan approximeras med motsvarande entalpier för ånga respektive vatten. Kokpunktsförhöjningen kan beräknas från sambandet $\beta=100 \cdot x_{SALT}$ där x_{SALT} är viktbråket salt.

- Beräkna erforderlig värmeöverföringsyta för indunstaren!

Skenbara värmegenomgångstalet är 1.1 kW/m²·K.

(8p)

B4. Ett filtreringsförsök har utförts i ett laboriefilter med filterytan 1.45·10³ m². Slurryn, som håller 5.2 vikt-% fast material, filtrerades vid det konstanta tryckfallet 2.36 MPa och temperaturen 20°C. Efter filtreringen bestämdes filterkakans torrhalt till 17.8 %. Det fasta materialets densitet är 1335 kg/m³ och vätskan 1000 kg/m³.

- Bestäm, utifrån de experimentella resultaten som är givna i tabell nedan, filterkakans filtrermotstånd samt filtermediets motstånd.

(9p)

t (s)	480	1800	4200	6600	11400	16200	23400	30600
V (m ³)	2.03·10 ⁻⁵	3.77·10 ⁻⁵	5.71·10 ⁻⁵	7.23·10 ⁻⁵	9.59·10 ⁻⁵	1.156·10 ⁻⁴	1.408·10 ⁻⁴	1.632·10 ⁻⁴

Göteborg 2007-05-27
Kristers Ström

Bioseparationsteknik

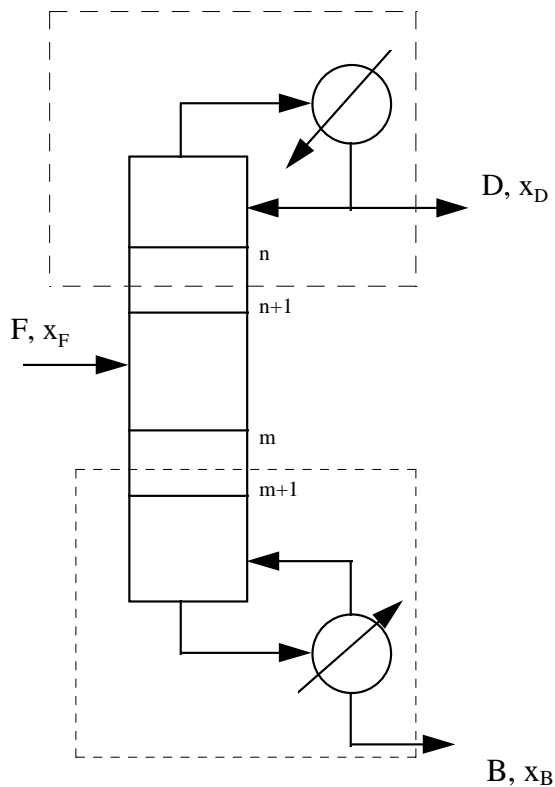
Formelsamling

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:

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

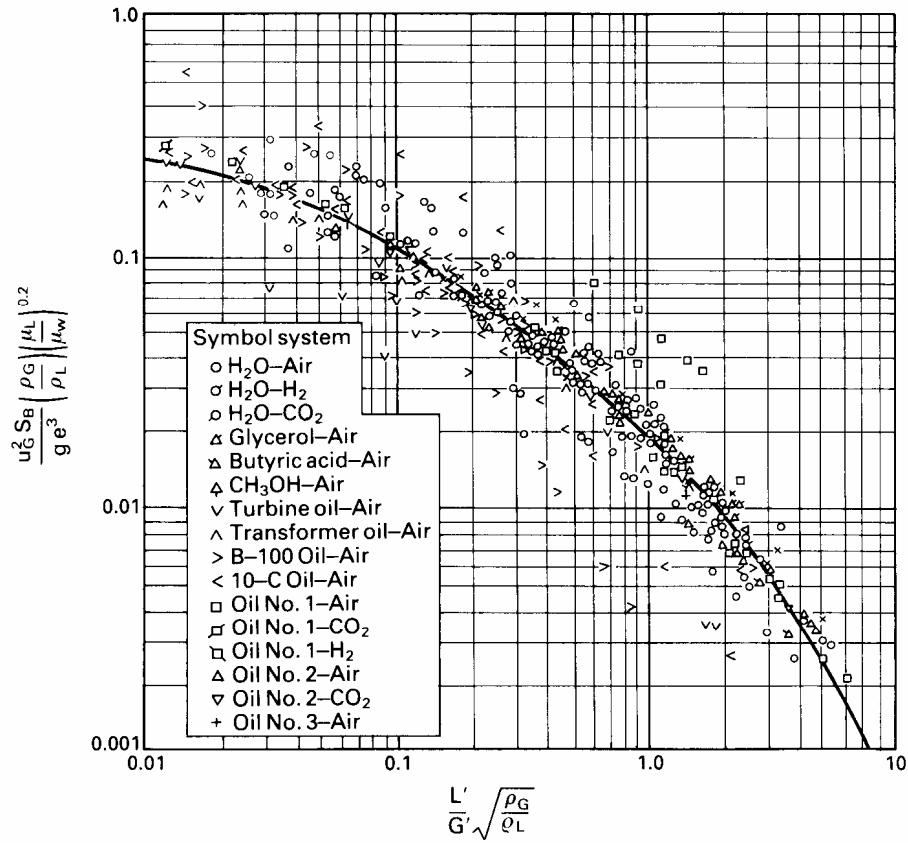


FIG. 4.21. Generalised correlation for flooding rates in packed towers

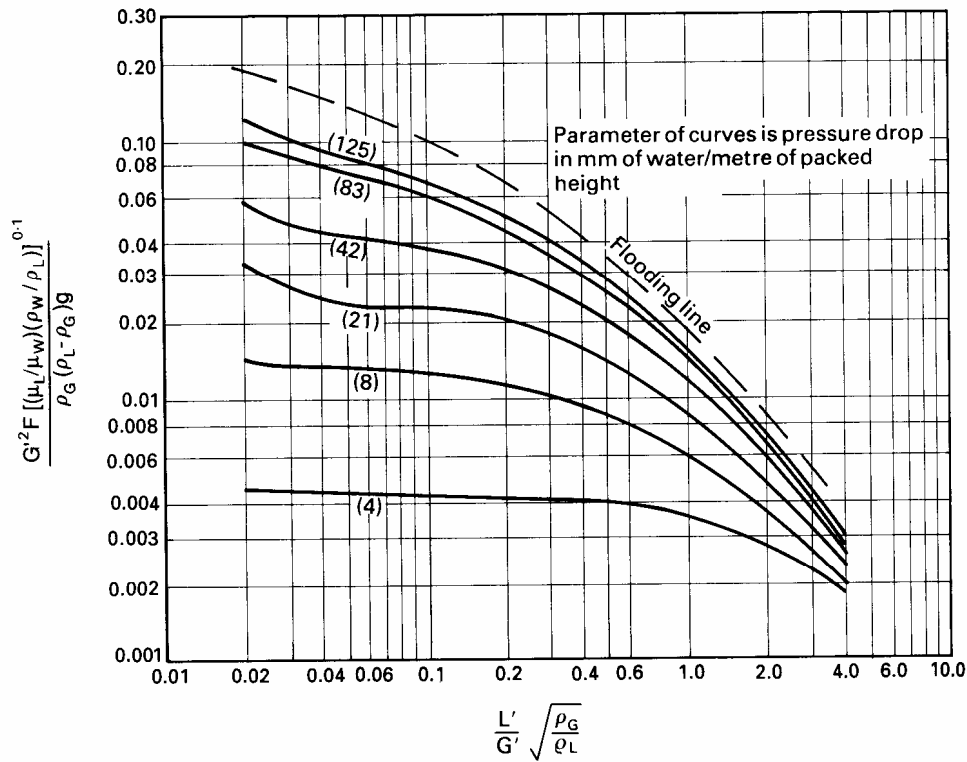


FIG. 4.22. Generalised pressure drop correlation (adapted from a figure by the Norton Co. with permission)

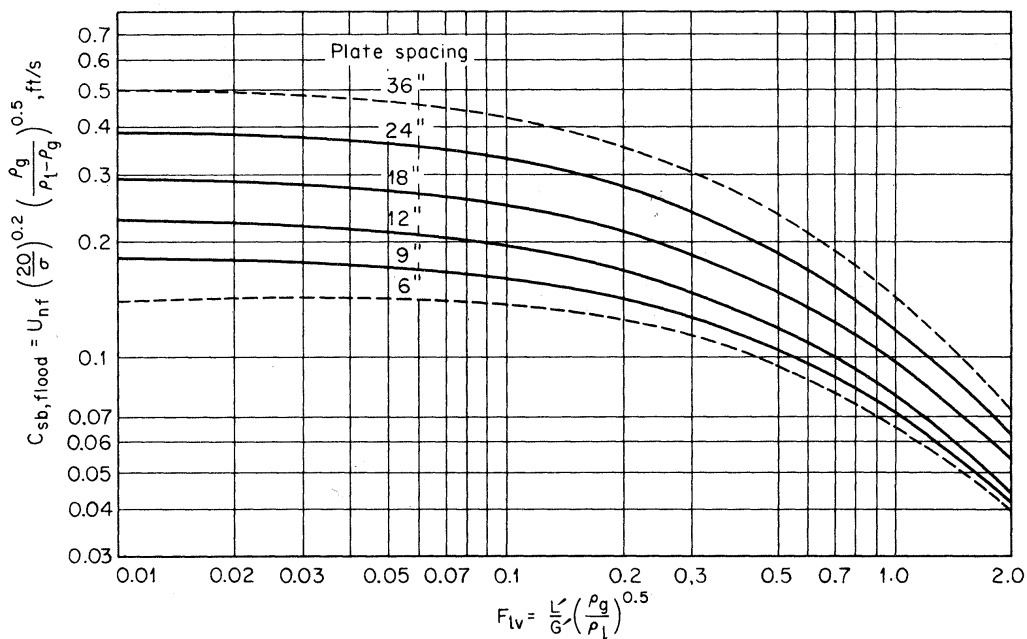


FIG. 18-10 Flooding limits for bubble-cap and perforated plates. L'/G' = liquid-gas mass ratio at point of consideration. To convert feet per second to meters per second, multiply by 0.3048; to convert inches (symbol ") to meters, multiply by 0.0254. [Fair, Pet./Chem. Eng., 33(10), 45 (September 1969).]

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

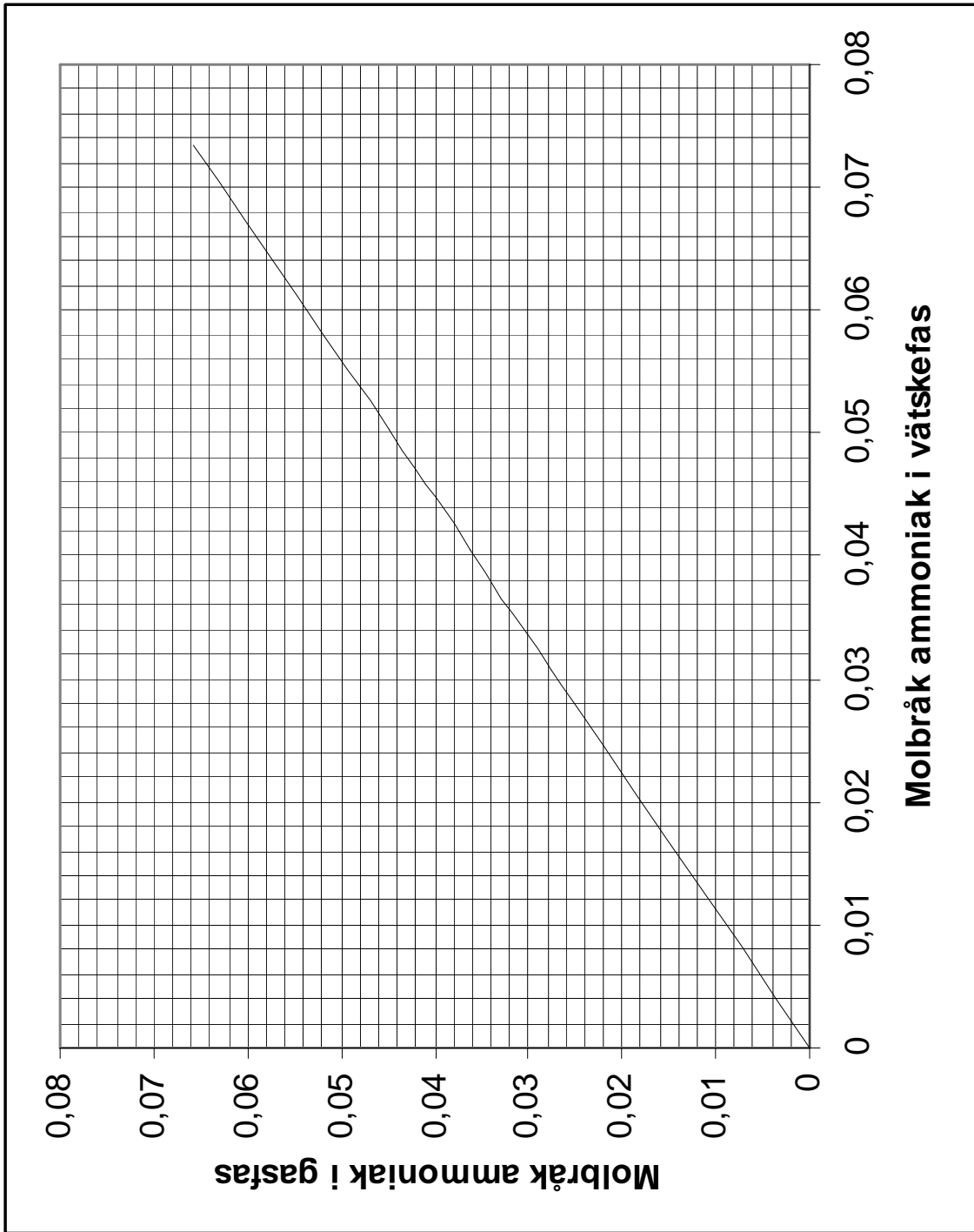
a	massöverförande yta per tornvolym, m^2/m^3
$C_{sb, flood}$	kapacitetsparameter, ft/s
C_T	vätskans totalkoncentration, $kmol/m^3$
e	packningens porositet, -
F	packningsfaktor, m^{-1}
F_{lv}	flödesparameter, -
g	tyngdaccelerationen, m/s^2
V	gasflöde, $kmol/(m^2 \cdot s)$
G'	gasflöde, $kg/(m^2 \cdot s)$
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
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)

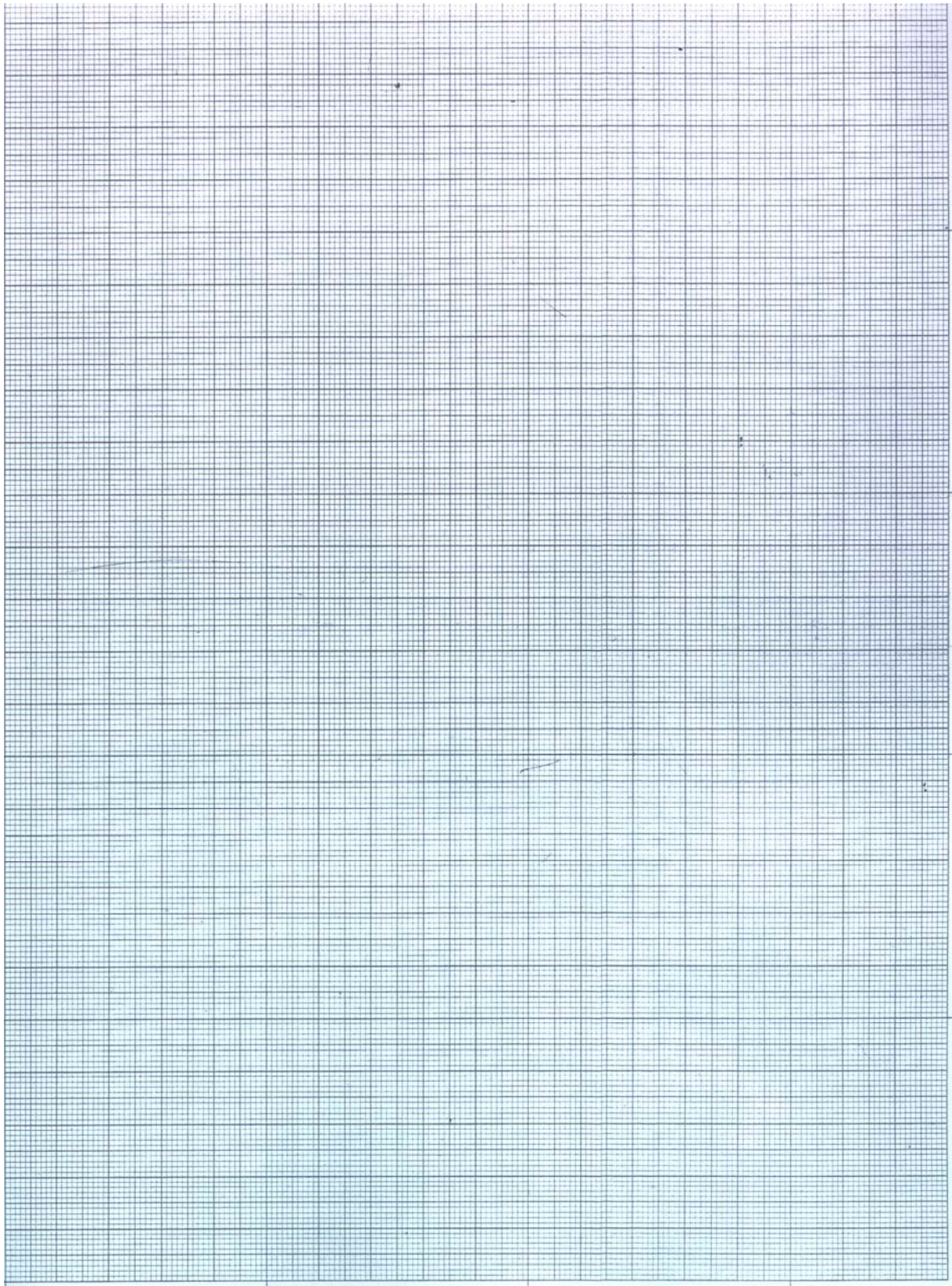
FILTRERING

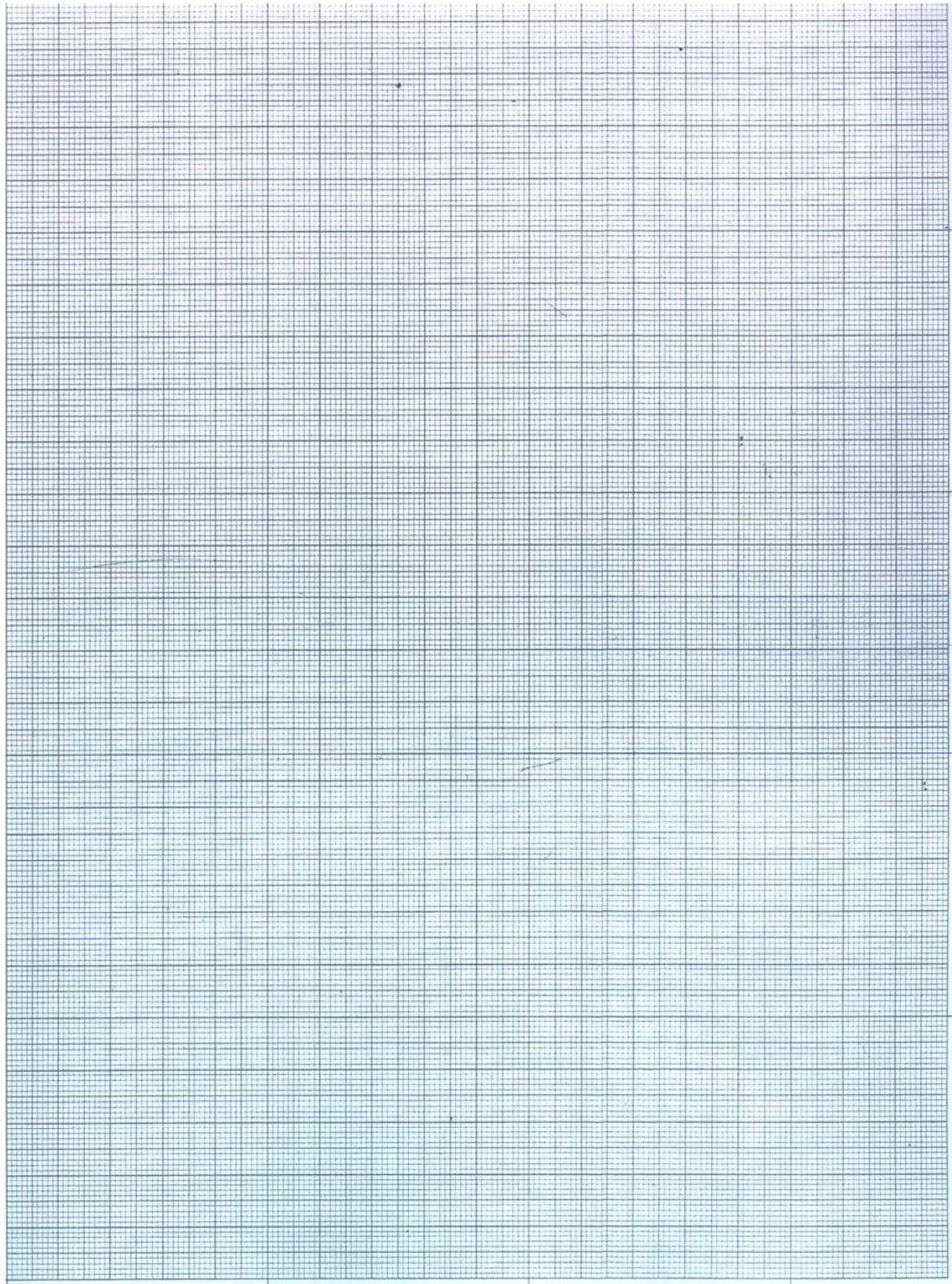
A	filtreringsarea, m^2
c	förhållandet mellan vikten av det fasta materialet i filterkakan och filtratvolymen, kg/m^3
J	massbråk av fast material i suspensionen, -
ΔP	tryckfall över filterkakan, Pa
R_m	filtermediets motstånd, m^{-1}
t	filtreringstid, s
V	erhållen filtratvolym under tiden t , m^3
α_{av}	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

D_p	partikelstorlek, m
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







B1

DATA: $F = 100 \text{ kmol/h}$

$$x_F = 0.40$$

$$q = 1.0$$

$$x_D = 0.95$$

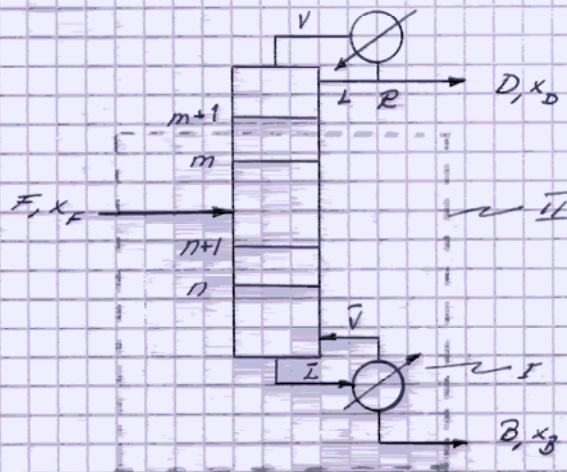
$$x_B = 0.10$$

$$R = 4.24$$

$$\alpha = 4.34$$

SÖKT: ANTAL STEG FÖR ATT GENOMFÖRA SEPARATIONEN!

LÖSNING:



JÄMVIKTSLAMBANDET KAN TECKNAS

$$y_n = \frac{\alpha x_n}{1 + (\alpha - 1)x_n}$$

KOMPONENTBALANS FÖR SYSTEM I

$$\bar{V}y_n = \bar{L}x_{n+1} + \bar{B}x_B \Rightarrow x_{n+1} = \frac{\bar{V}}{\bar{L}}y_n - \frac{\bar{B}}{\bar{L}}x_B$$

KOMPONENTBALANS SYSTEM II

$$V y_m + B x_B = L x_{m+1} + F x_F \Rightarrow x_{m+1} = \frac{V}{L} y_m + \frac{1}{L} (B x_B - F x_F)$$

SÖK FLÖDEN !

$$\left. \begin{array}{l} \text{T.B.: } F = B + D \\ \text{K.B.: } F x_F = B x_B + D x_D \end{array} \right\} \begin{array}{l} B = 64.7 \text{ kmol/h} \\ D = 35.3 \text{ kmol/h} \end{array}$$

$$L = RD \Rightarrow L = 149.7 \text{ kmol/h}$$

$$V = L + D \Rightarrow V = 185 \text{ kmol/h}$$

$$\bar{L} = 249.7 \text{ kmol/h}$$

$$\bar{V} = 185 \text{ kmol/h}$$

$$\therefore \text{JAV. SAMBAND: } y_m = \frac{\alpha x_n}{1 + (\alpha - 1) x_n}$$

$$\text{SYSTEM I: } x_{n+1} = \frac{185}{249.7} y_n - 0.0259$$

$$\text{SYSTEM II: } x_{m+1} = \frac{185}{149.7} y_m - 0.2436$$

n, m	x	y
1	0.10	0.3202
2	0.2114	0.5319
3	0.3682	0.7119
4	0.6362	0.8811
5	0.8453	0.9586

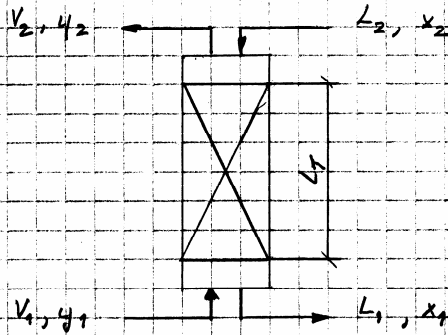
SVAR: 5 STEG, DVS 4 IDEALA BOTTNAR
SAMT ÅTERKÅRE

B2

DATA: $V_1 = 37.5 \text{ kmol/h}$
 $y_1 = 0.0150$
 $L_2 = 550 \text{ kmol/h}$
 $x_2 = 0.0005$
 $H_{OG} = 0.8 \text{ m}$
95 %-ig ABSORPTION

SÖK: EFFEKTBELIGA PÅKÄNNINGSFÖR

LÖSNING:



HALTER? LÅGA HALTER ANTAS $\Rightarrow V_1 = V_2 = V$

$$L_1 = L_2 = L$$

$y_2?$ $0.05V y_1 = V y_2 \Rightarrow y_2 = 7.5 \cdot 10^{-4}$

$x_1?$ $V y_1 + L x_2 = V y_2 + L x_1$

$$x_1 = \frac{V(y_1 - y_2) + L x_2}{L} \Rightarrow x_1 = 1.89 \cdot 10^{-3}$$

ENLIGT BIFOGAT JMV. DIAG. ÄR JMV. "KURVAN"

RÄT OCH LÅGA HALTER GER EN RÄT DRIFTLINJE.

JÄMVIKTKURVANS LUTNING ÄR $m = 0.897$

ENKLT FORMELSAMLING GÅNER

$$L_T = \underbrace{\frac{V}{K_{0.5} P}}_{H_{0.5}} \cdot \underbrace{\frac{1}{1 - \frac{mV}{\mu}}}_{N_{0.5}} \cdot \ln \frac{y_1 - m x_1}{y_2 - m x_2}$$

$$N_{0.5} = \frac{1}{1 - \frac{0.897 \cdot 34.5}{550}} \cdot \ln \frac{0.0150 - 0.897 \cdot 1.39 \cdot 10^{-3}}{7.5 \cdot 10^{-4} - 0.897 \cdot 0.0005}$$

$$N_{0.5} = 4.05$$

$$\therefore L_T = H_{0.5} N_{0.5} \Rightarrow L_T = 3.23 \text{ m}$$

$$\text{SVAR: } \underline{\underline{3.23 \text{ m}}}$$

B3

DATA: $F = 1300 \text{ kg/h}$

$P = 1 \text{ bar}$

$x_F = 0,30$

$x_u = 0,60$

$z_F = 55^\circ\text{C}$

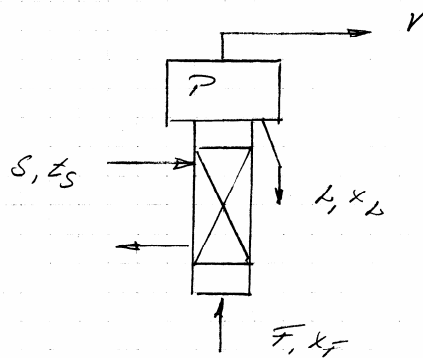
$z_s = 175^\circ\text{C}$

$\beta = 100 \times \text{SALT}$

$U_{SKB} = 1,1 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$

SÖKT: A

LÖSNING:



SAMBAND: $F = V + L$ (1)

$$F x_F = L x_L \quad (2)$$

$$S \lambda_s + F h_F = V h_V + L h_L \quad (3)$$

$$S \lambda_s = U_{SKB} A \Delta z \quad (4)$$

$$(2) \Rightarrow L = F \frac{x_F}{x_L} \Rightarrow L = 650 \text{ kg/h}$$

$$(1) \Rightarrow V = F - L \Rightarrow V = 650 \text{ kg/h}$$

$$(3) \Rightarrow S = \frac{V h_V + L h_L - F h_F}{\lambda_s}$$

ENTALPIER:

$$h_F = \{ 55^\circ\text{C}, 1 \text{ bar} \} = 230.21 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = \{ 1 \text{ bar}, 99.63 + 100 \cdot 0.6 = 159.63 \} = 667 \text{ kJ/kg}$$

$$h_v = \{ 1 \text{ bar}, 99.63 + 100 \cdot 0.6 \} = 159.63 \} = 2796 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda_s = \{ 175^\circ\text{C} \} = 2032 \text{ kJ/kg}$$

$$S = 960.47 \text{ kg/h.}$$

$$(4) \Rightarrow A = \frac{S \lambda_s}{U_{SKB} \Delta t}$$

$$\Delta t = t_s - t_v - \beta \Rightarrow \Delta t = 15.87^\circ\text{C}$$

$$A = 32 \text{ m}^2$$

SVAR: 32 m²

BH

DATA: $A = 1.45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$j = 0.052$$

$$\Delta P = 2.36 \text{ MPa}$$

$$T_h = 0.178$$

$$\rho_s = 1335 \text{ kg/m}^3$$

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

SÖKT: α_{AV} OCH R_m

LÖSNING:

ENLIGT FS

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu (\alpha_{AV} V + A R_m)}$$

$$C = \frac{\rho j}{(1-j) - \frac{E_{AV}}{1-E_{AV}} j \frac{\rho}{\rho_s}}$$

FILTEREKVATIONEN INTEGRERAS MELLAN 0 OCH t
RESP 0 OCH V

$$\therefore \frac{t}{V} = \frac{\mu}{A^2 \Delta P} \left(C \alpha_{AV} \frac{V}{2} + A R_m \right) \quad (1)$$

FÖR ATT BESTÄMMA KONC. FÄST FAS FÖRDEBAS
ATT E_{AV} BEST.

$$T_h = \frac{\text{TORR KAKA}}{\text{VÄT KAKA}} = \frac{V_{KAKA} (1 - E_{AV}) \rho_s}{V_{KAKA} (1 - E_{AV}) \rho_s + V_{KAKA} E_{AV} \rho}$$

$$E_{AV} = 0.86 \Rightarrow C = 73.37 \text{ kg/m}^3$$

EKVATION (1) BESKRIVER EN RÄT LINJE

$$\frac{z}{V} = kV + L$$

k OCH L BEST. UTIFRÅN EXPERIMENTELLA
DATA.

z/V	V	
$2.365 \cdot 10^{-7}$	$2.03 \cdot 10^{-5}$	$k = 1.148 \cdot 10^{12} \text{ s/m}^6$
$4.775 \cdot 10^{-7}$	$3.77 \cdot 10^{-5}$	
$7.356 \cdot 10^{-7}$	$5.21 \cdot 10^{-5}$	$L = 5.786 \cdot 10^{-6} \text{ s/m}^3$
$9.129 \cdot 10^{-7}$	$7.28 \cdot 10^{-5}$	
$1.189 \cdot 10^{-6}$	$9.59 \cdot 10^{-5}$	$r = 0.998$
$1.401 \cdot 10^{-6}$	$1.156 \cdot 10^{-4}$	
$1.662 \cdot 10^{-6}$	$1.408 \cdot 10^{-4}$	
$1.875 \cdot 10^{-6}$	$1.632 \cdot 10^{-4}$	

$$\therefore \alpha_{AV} = k \cdot \frac{2A^2 \Delta P}{\mu L} \Rightarrow \alpha_{AV} = 1.545 \cdot 10^{14} \text{ m/kg}$$

$$R_m = L \frac{A \Delta P}{\mu} \Rightarrow R_m = 1.959 \cdot 10^{13} \text{ 1/m}$$

SVAR: $\alpha_{AV} = 1.545 \cdot 10^{14} \text{ m/kg}$ $R_m = 1.959 \cdot 10^{13} \text{ 1/m}$