



# CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

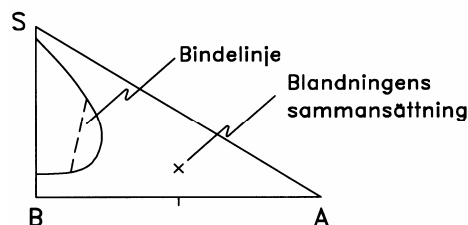
## Institutionen för kemi- och bioteknik

### Kemisk apparatteknik

KURSNAMN	Separations- och apparatteknik, KAA095 – <i>Med förslag till lösningar</i>
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram kemiteknik Civilingenjörsprogram kemiteknik med fysik årskurs 3 läsperiod 1
EXAMINATOR	Krister Ström
TID FÖR TENTAMEN LOKAL	Lördag 1 oktober, kl 08.30-13.30 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 "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 Kl. 09.30 resp kl 11.30
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås måndag 3 september på kurshemsidan, studieportalen. Resultat på tentamen anslås tidigast onsdag 19 september efter kl 12.00. Granskning torsdag 20 september kl 12.30-13.00 samt måndag 24 september kl. 12.30-13.00 i seminarierummet, forskarhus II plan 2.
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av en teoridel med nio teorifrågor samt en räknedel med fyra räkneuppgifter. Poäng på respektive uppgift finns noterat i tentamentesen. För godkänd tentamen fordras 40% av tentamens 50 poäng. Samtliga diagram och bilagor skall bifogas lösningen av tentamensuppgiften. Diagram och bilagor kan <b>ej</b> 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. Teoridel

- A1.** a) Vad är skillnaden mellan medstöms- resp. motströmskoppling vid flereffekt-indunstning? Förklara lut- och ångföring för ett flereffektssystem!  
b) När är det lämpligt att välja motströmskoppling? (3p)
- A2.** Beskriv och förklara funktionen hos en lämplig indunstare som ska koncentrera en temperaturkänslig lösning! (3p)
- A3.** a) Vad är för- och nackdelar med konduktionstorkar i jämförelse med konvektionstorkar?  
b) Vad innebär våttemperaturjämvikt? Ange i vilket sammanhang den kan användas för beskrivning av en torkprocess. (3p)
- A4.** a) Du har tillgång till data från en filtreringsutrustning över samhörande värden mellan filtratvolym och tid. Visa schematiskt hur du kan bestämma det specifika filtermotståndet,  $\alpha$ , och filtermediets motstånd,  $R_m$ , utifrån dessa.  
b) Nämn en satsvis och en kontinuerlig filterutrustning, och beskriv kortfattat de båda utrustningarnas funktion. (3p)
- A5.** Ange två industriella processer där lakning används som separationsmetod! (2p)
- A6.** Hur förbehandlar man lakgodset lämpligast för att få så effektiv lakning som möjligt? (2p)
- A7.** Ange fyra fall då vätska-vätskaextraktion är att föredra framför destillation som separationsmetod? (2p)
- A8.** Du ska separera en vätskeblandning i två produkter. Den ena produkten ska innehålla komponenterna A och S och den andra produkten A och B. Blandningens sammansättning finns representerad i triangeldiagrammet ned där också lösningskurvan är inritad



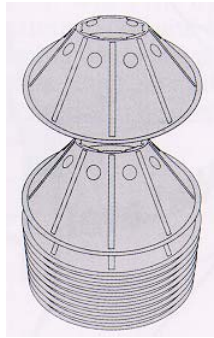
Vilken enhetsoperation ska du välja för att genomföra separationen av blandningen?  
Motivera svaret kortfattat

(3p)

---

**A9.** För att snabbare skilja en blandning av två vätskor med olika densitet från varandra kan man sätta in koniska koncentriska plåtar, se figur nedan, i en centrifugalseparators separatorokula.

- Redogör för varför en kapacitetsökning erhålls hos en centrifug när ett tallrikspaket sätts in i separatorokulan!
- Studera figuren på tallrikspaketet och avgör om vi får en ren lätt eller tung fas! Motivera svaret!



(3p)

---

## Del B. Problemdel

**B1.** En procesström, 13.6 ton/h, hållande 10 vikt-% NaOH ska koncentreras till 50 vikt-% NaOH i en enkeleffekt industare vid trycket 0.24 bar. Som värmande ånga används mättad vattenånga av 8 bar. Det skenbara värmegenomgångstalet kan ansättas till 8178 kJ/h·m<sup>2</sup>·K. Tillflödets temperatur är 60°C.

- Beräkna erforderlig värmeöverförande yta!
- Beräkna avdunstningsfaktorn!
- Beräkna behovet av värmande ånga!

Entalpi- och Düringdiagram för NaOH-lösning bifogas.

(8p)

**B2.** I en tvåstegs strömtork torkas ett torkgods från en fuktkvot på 3,5 till en fuktkvot på 0,4. Ingående torkgodsflöde är 7,8 kg fuktigt gods per minut. Ingående torkluftflöde håller en temperatur på 10°C och en relativ fuktighet på 40 %. Torkluften förvärms i båda stegen till 90°C.

- a) Beräkna specifika luftförbrukningen och specifika värmebehovet i den verkliga torken, om utgående torkluft efter första steget håller 32°C och en fuktighet på 50 %, och efter andra steget 40°C och en fuktighet på 60 %.
- b) Hur stor är den totala luftförbrukningen i m<sup>3</sup>/min, och tillförd värmeeffekt i W?
- c) Vad skulle luftförbrukning och värmeeffekt bli om torkstegen skulle ske idealt? Uppvärmningen sker fortfarande till 90°C, och utgående torkluft kan antas vara mättad i båda stegen.

Mollierdiagram bifogas.

(8p)

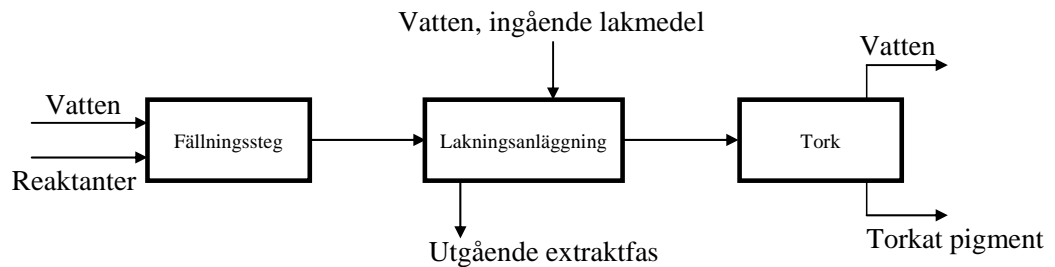
**B3.** I en planerad process ska en suspension av ett partikelformigt material filtreras och tvättas i en platt- och ramfilterpress. Den planerade kapaciteten är 23 ton filtrat/h. Av transporttekniska skäl kommer suspensionen att hålla en torrhalt på 8 vikt-%. Varje ram i filterpressen har en volym på 0,030 m<sup>3</sup> och en filteryta på 1,5 m<sup>2</sup>. En filtreringscykel är planerad enligt följande: Det första skedet sker filtreringen med konstant filtratflöde på 20 liter/min genom varje ram, tills en tryckskillnad på 4,0 bar är uppnådd. Därefter sker filtreringen med konstant tryckskillnad på 4,0 bar tills ramarna är fulla. Efter själva filtrering sker tvättning av kakan vid konstant tryckskillnad på 3,0 bar tills en tvättkvot på 3 uppnåtts (tvättkvoten är kvoten mellan mängd tvättvätska som tillförts och den mängd vätska som fanns i den bildade kakan), d.v.s. tills filterkakans vätska är ”bytt” 3 gånger. Tvättningen sker genom s.k. enkel tvättning, där tvättvätskan leds in samma väg som suspensionen och ut samma väg som filtratet. Hela cykeln antas ske vid 20°C. I laborieförsök har specifika filtrermotståndet,  $\alpha$ , bestämts till  $2,7 \cdot 10^{11}$  m/kg, kakans porositet till 0,55 och partiklarnas densitet till 2500 kg/m<sup>3</sup>. Samma kan antas gälla i fullskalefiltreringen. Det planerade filtermediet antas ha ett försumbart motstånd.

Vänd 

- a) Hur lång tid tar själva filtreringen?  
b) Om omställningstiden (tiden för filtertömning, preparering för nästa filtercykel, m.m.) uppskattas till 4 min, hur många ramar måste man då minst använda för att uppnå önskad kapacitet?

(12p)

**B4.** Ett pigment framställs i en anläggning vilket presenteras som ett blockschema i figuren nedan.



Pigmentet framställs i ett fällningssteg och är förorenat med lösliga komponenter som lakas bort i en efterföljande lakningsanläggning. Lakningsanläggningen arbetar enligt motströmsprincip med vatten som lakmedel. In till lakningsanläggningen förs 100 kg/h som håller 60 vikt-% pigment, 30 vikt-% lakbara föroreningar samt 10 vikt-% vatten. Utgående extraktfas från lakningsanläggningen ska hålla 80 vikt-% lakbart. Pigmentet tillåts hålla 2.5 vikt-% föroreningar efter torkning. Vid analys av underströmmarna i lakningsanläggningen har man funnit att tre kg inert pigment kvarhåller ett kg vatten.

- Hur många ideala lakningssteg fordras i lakningsanläggningen för att uppfylla separationbskravet?
- Hur mycket vatten (lakmedel) måste lakningsanläggningen tillföras för att separationen ska kunna genomföras?
- Hur mycket vatten förångas i torken?

(8p)

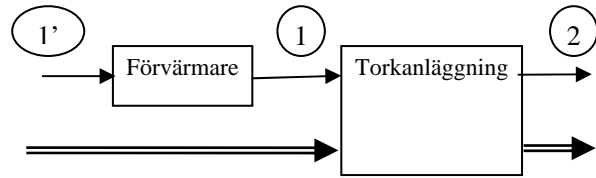
Göteborg 2007-08-13  
Krister Ström

## Formelblad – Separations- och apparatteknik

### TORKNING

$$\frac{dH}{dY} = \frac{H_1 - H_2}{Y_1 - Y_2} = c_{pl} T_{S_1} - q_S - q_{X_1} - q_F$$

$$q_D = \Delta H_{vap, T_0} + c_{pV} T_{G_2} - c_{pl} T_{S_1}$$



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

Klarnarens yta 
$$A \geq \frac{F}{v}$$

### STRÖMNING I PORÖS BÄDD

Kozeny-Carman baserad: 
$$v_{mf} = \frac{1}{K^n} \frac{\varepsilon_{mf}^3}{S^2(1-\varepsilon_{mf})} \frac{(\rho_s - \rho)g}{\mu}$$

Ergun baserad: 
$$v_{mf} = -\frac{150(1-\varepsilon_{mf})\mu}{3.5D_p\rho} + \sqrt{\left(-\frac{50(1-\varepsilon_{mf})\mu}{3.5D_p\rho}\right)^2 + \frac{(\rho_s - \rho)g\varepsilon_{mf}^3 D_p}{1.75\rho}}$$

---

## SYMBOLFÖRTECKNING:

### TORKNING

$c_{pl}$	vattnets värmekapacitet, kJ/kg,K
$T_{S_1}$	torkgodsets temperatur, °C
$q_S$	värme för uppvärmning av torra godset, kJ/kg avd.
$q_{X_1}$	värmemängd för uppvärmning av vatten i torkgods, kJ/kg avd.
$q_F$	värmeförluster, kJ/kg avd.
$q_D$	värme genom torkluft
$\Delta H_{vap,T_0}$	vattnets ångbildningsvärme vid 0°C, kJ/kg
$c_{pV}$	vattenångas värmekapacitet, kJ/kg,K
$T_{G_2}$	luftens temperatur, °C
$T_{S_1}$	torkgodsets temperatur, °C
$H$	luftens entalpi, kJ/kg torr luft
$Y$	luftens vatteninnehåll, kg vattenånga/kg torr luft

### FILTRERING

$A$	filtreringsarea, m <sup>2</sup>
$c$	förhållandet mellan vikten av det fasta materialet i filterkakan och filtratvolymen, kg/m <sup>3</sup>
$J$	massbråk av fast material i suspensionen, -
$\Delta P$	tryckfall över filterkakan, Pa
$R_m$	filtermediets motstånd, m <sup>-1</sup>
$t$	filtreringstid, s
$V$	erhållen filtratvolym under tiden $t$ , m <sup>3</sup>
$\alpha_{av}$	specifikt filtreringsmotstånd, m/kg
$\varepsilon_{av}$	filterkakans porositet, -
$\mu$	fluidens viskositet, Pa·s
$\rho$	fluidens densitet, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	fasta fasens densitet, kg/m <sup>3</sup>

### SEDIMENTERING

$A$	sedimentationsarea, m <sup>2</sup>
$D_p$	partikelstorlek, m
$F$	tillflöde, m <sup>3</sup> /s
$g$	tyngdaccelerationen, m/s <sup>2</sup>
$v$	partikelns sedimentationshastighet, m/s
$\mu$	fluidens viskositet, Pa·s
$\rho$	fluidens densitet, kg/m <sup>3</sup>

---

$\rho_s$  fasta fasens densitet,  $\text{kg/m}^3$

### STRÖMNING I PORÖS BÄDD

$\rho_s$  fasta fasens densitet,  $\text{kg/m}^3$

$D_p$  partikelstorlek, m

$g$  Acceleration i gravitationsfält,  $\text{m/s}^2$

$K''$  Kozenys konstant

$S$  Partikelns specifika yta,  $\text{m}^2/\text{m}^3$

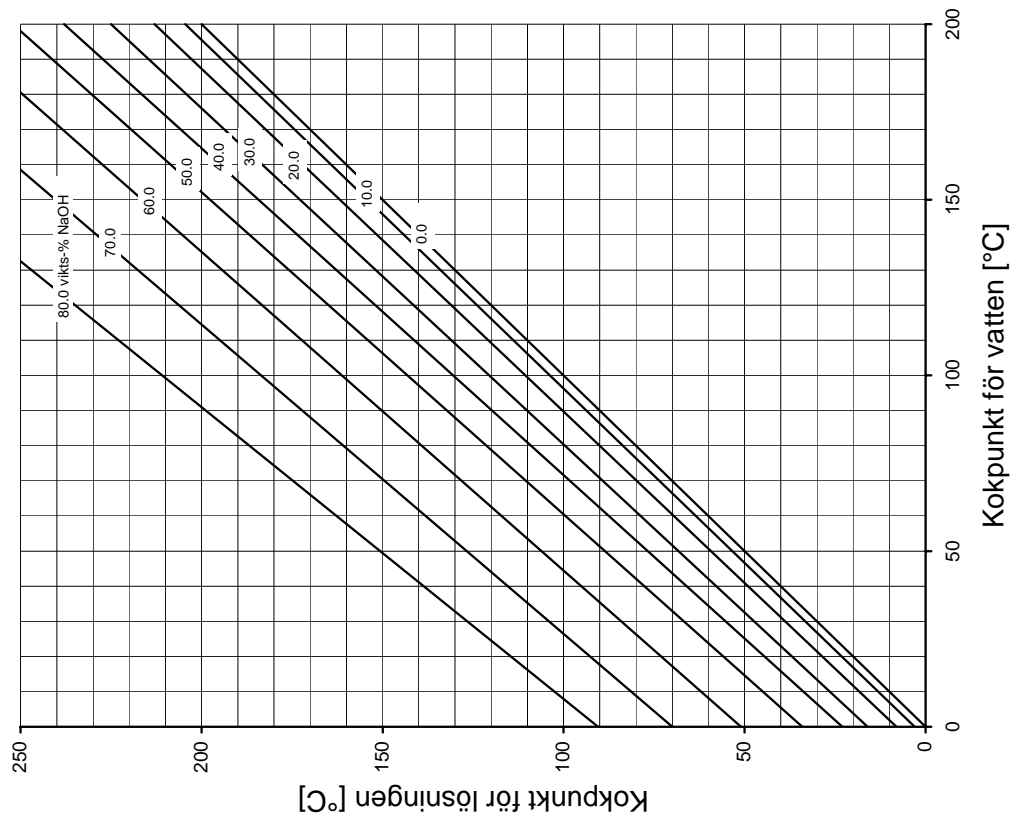
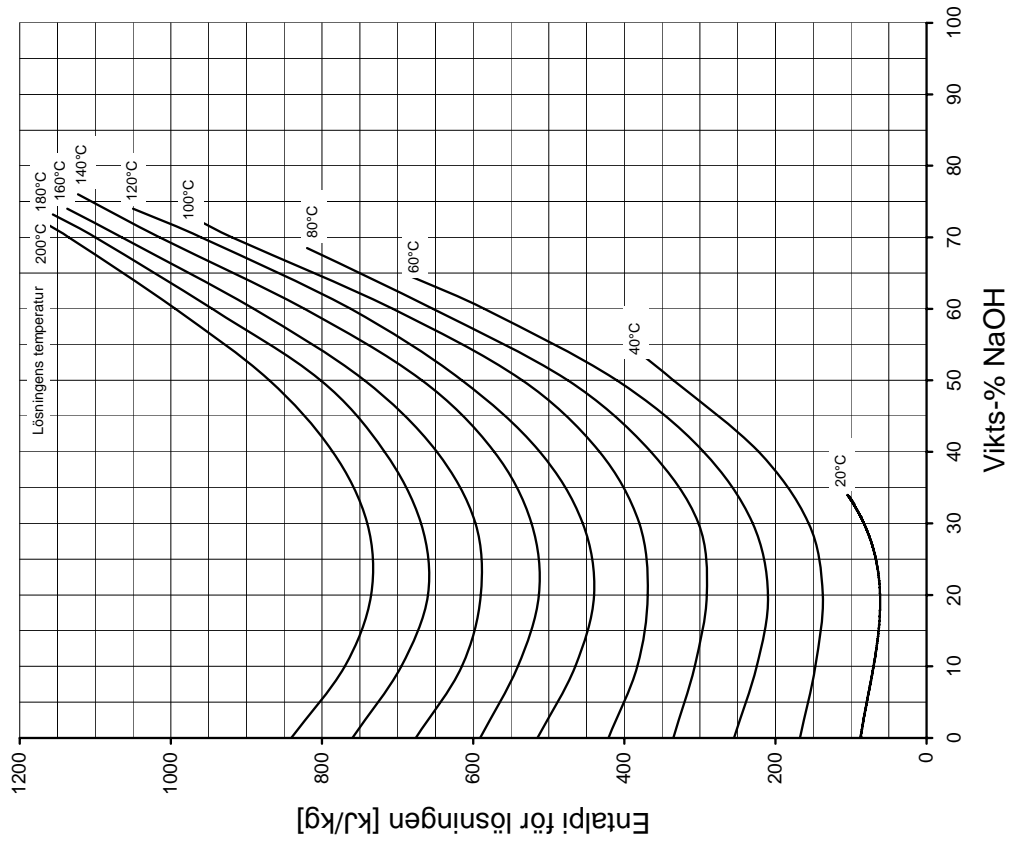
$v_{mf}$  Minsta hastighet för fluidisation, m/s

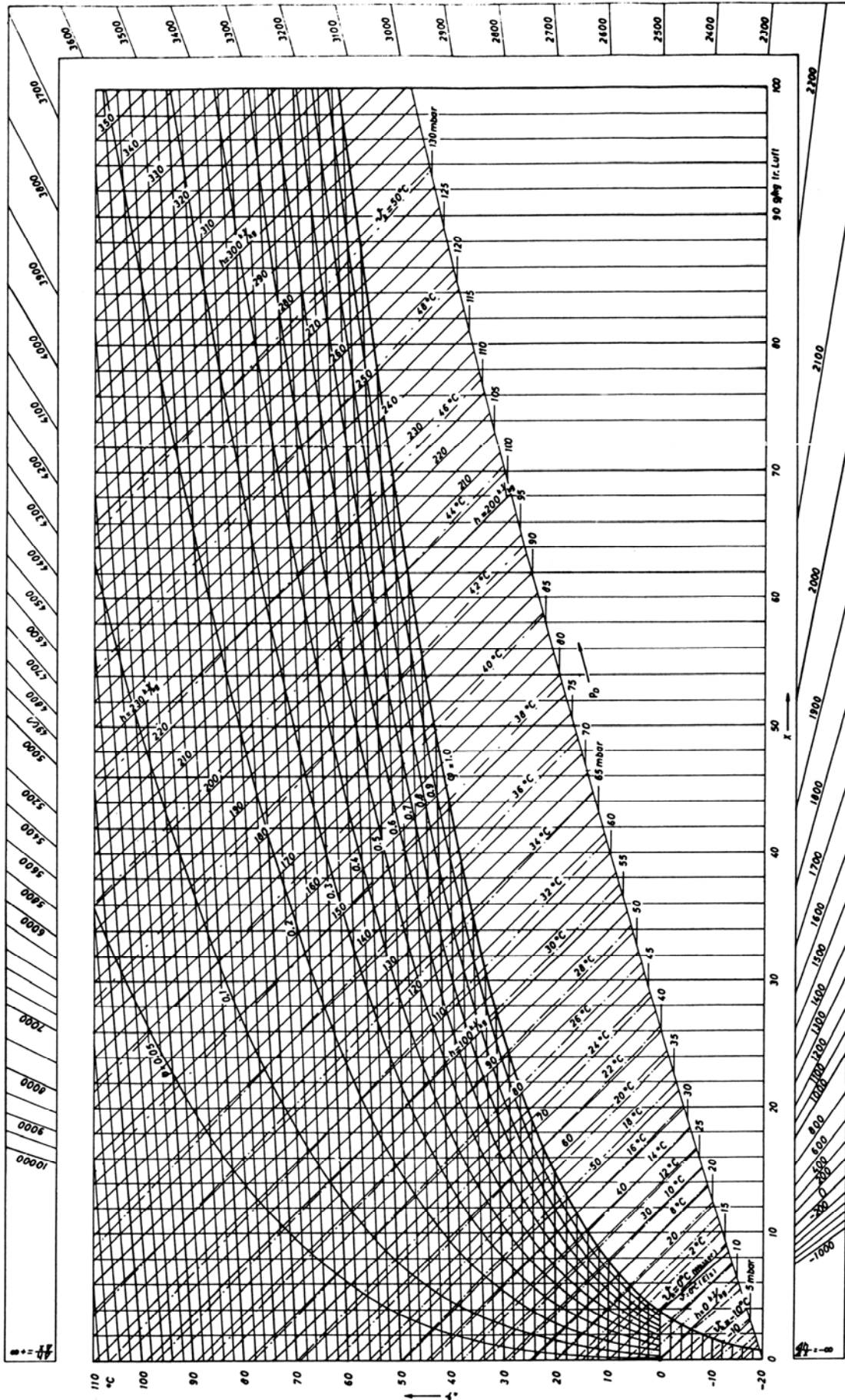
$\mu$  fluidens viskositet, Pa·s

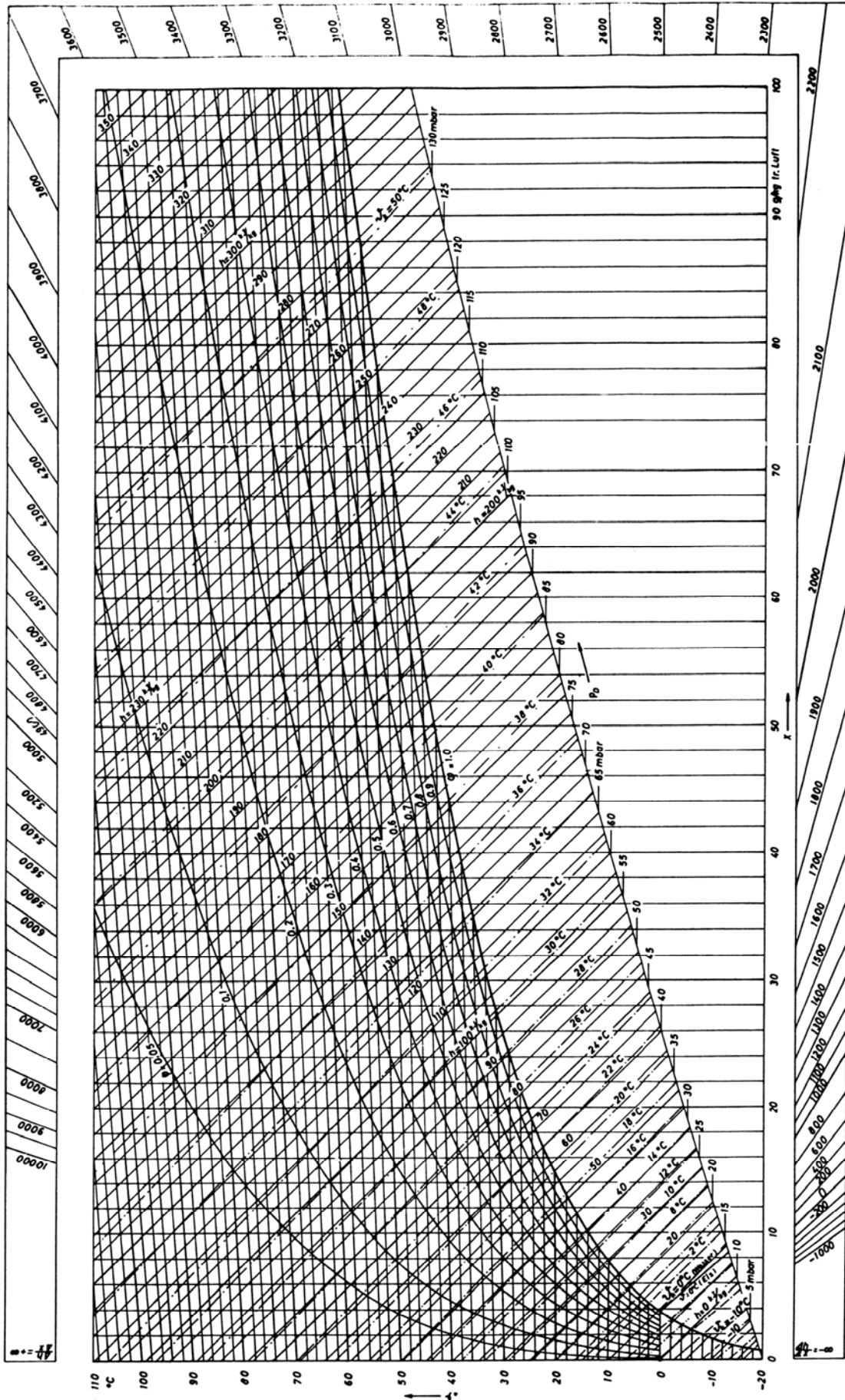
$\rho$  fluidens densitet,  $\text{kg/m}^3$

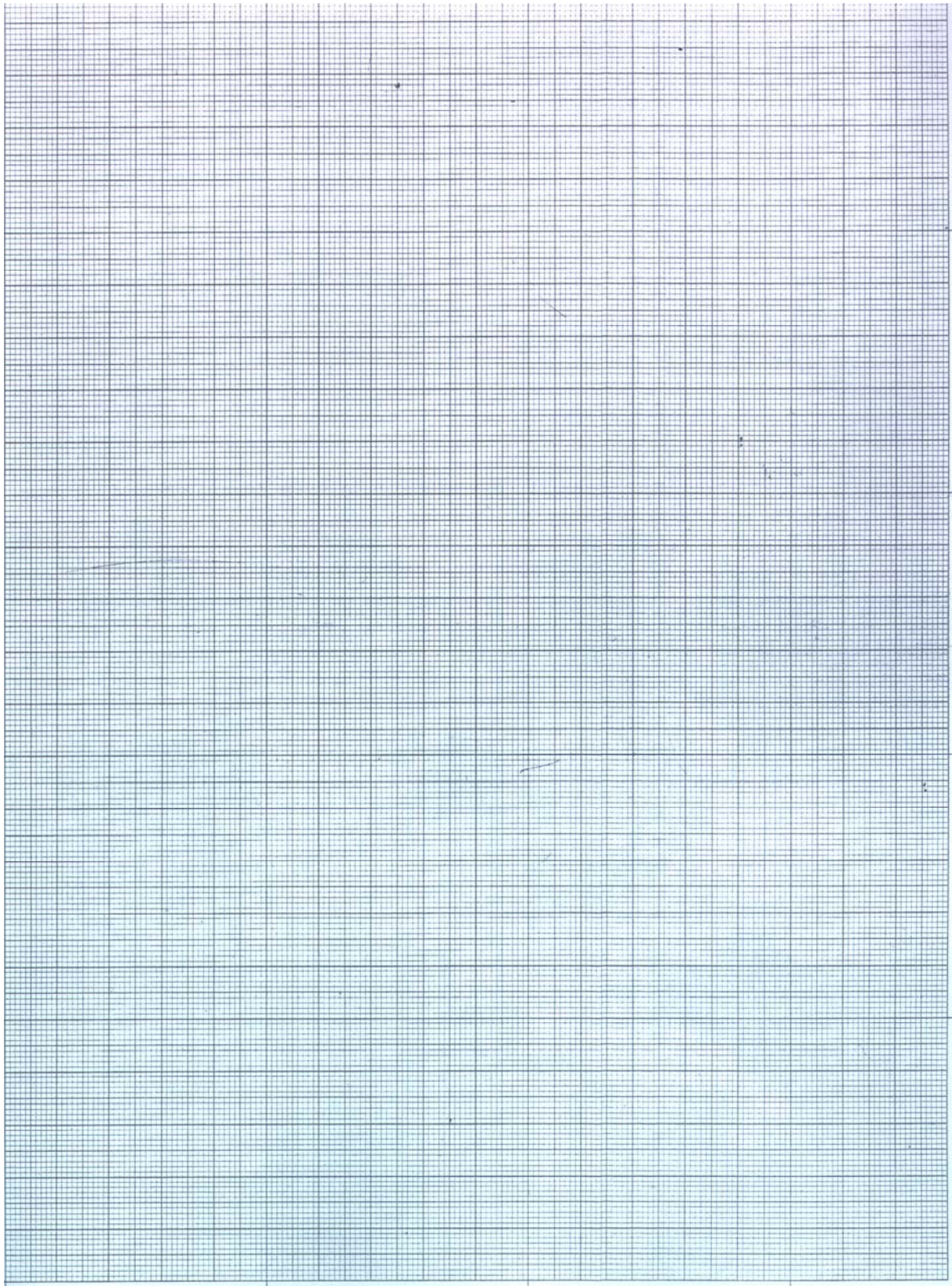
$\varepsilon_{mf}$  Bäddens porositet vid minsta hastighet för fluidisation, -











**B1.**

DATA:  $F = 13.6 \text{ ton/h}$

$$x_F = 0.10$$

$$x_L = 0.50$$

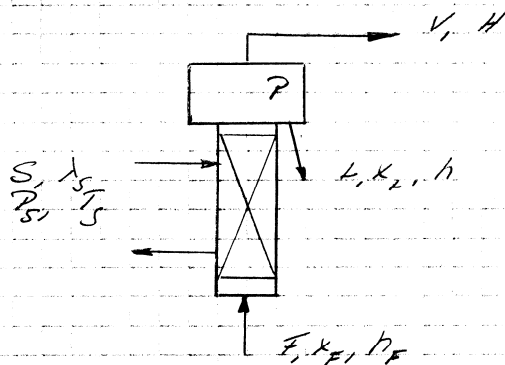
$$P = 0.24 \text{ bar}$$

$$P_S = 8 \text{ bar}$$

$$U_{SEB} = 2.27 \text{ kJ/sm}^2\cdot\text{K}$$

SÖKT:  $A, AVDF, S$

LÖSNING:



T.B.:  $F = V + L$

K.B.:  $F x_F = L x_L \Rightarrow L = 2.72 \text{ ton/h}$

$$V = 10.88 \text{ ton/h}$$

V.B.:  $S \lambda_S + F h_F = V H + L h$

$$\lambda_S = \{P_S = 8 \text{ bar}, T_S = 170.41 \text{ }^\circ\text{C}\} = 2048.16 \text{ kJ/kg}$$

$$H = \{P = 0.24 \text{ bar}, T = 105 \text{ }^\circ\text{C} (\beta = 41\%)\} = 2698 \text{ kJ/kg}$$

$$h = \{T = 105 \text{ }^\circ\text{C}, x_L = 0.50\} = 550 \text{ kJ/kg}$$

$$h_F = \{T_F = 60 \text{ }^\circ\text{C}, x_L = 0.10\} = 225 \text{ kJ/kg}$$

$$S = \frac{V H + L h - F h_F}{\lambda_S} = 13.6 \text{ ton/h}$$

$$KE: \quad S \lambda_s = U_{skB} A \Delta T$$

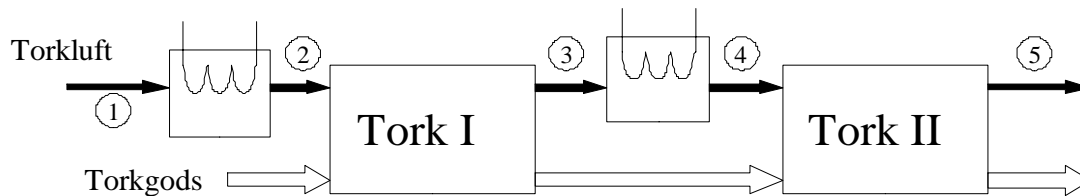
$$\Delta T = T_s - T$$

$$A = \underline{5.2 \text{ m}^2}$$

ANDUNGIN. FAKTOR  $\frac{V}{S} = D.B$

SKAR: 5.2 m<sup>2</sup>, 0.8, 1.3.6 ton/h

## B2



### Givet:

$$\dot{M}_{gods} = 7,8 \text{ kg fuktigt gods/min} = 0,13 \text{ kg/s}$$

$$T_3 = 32^\circ\text{C}$$

$$X_{in} = 3,5$$

$$\varphi_3 = 0,50$$

$$X_{ut} = 0,4$$

$$T_5 = 40^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$\varphi_5 = 0,60$$

$$\varphi_1 = 0,40$$

$$T_2 = T_4 = 90^\circ\text{C}$$

### Sökt:

a)  $l$  och  $q$

b)  $\dot{V}_{in}$  och  $\dot{Q}$

c)  $\dot{V}_{in,ideal}$  och  $\dot{Q}_{ideal}$  om torkningen sker idealt

### Lösning:

a) Inläggning av tillstånden i Mollierdiagrammet ger:

$$Y_1 = 0,0030 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$Y_5 = 0,0284 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$\Rightarrow \Delta Y = Y_5 - Y_1 = 0,0284 - 0,0030 = 0,0254 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$H_1 = 18 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_2 = 99 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_3 = 70 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_4 = 130 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\Rightarrow \Delta H = H_2 - H_1 + H_4 - H_3 = 99 - 18 + 130 - 70 = 141 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$l = \frac{1}{\Delta Y} = 1 / 0,0254 = 39 \text{ kg torr luft/kg avdunstat}$$

$$q = \frac{\Delta H}{\Delta Y} = 141 / 0,0254 = 5550 \text{ kJ/kg avdunstat} = 5,5 \text{ MJ/kg avdunstat}$$

b) Det fuktiga godsets torra flöde fås ur:

$$\dot{M}_{gods} = \dot{M}_{fukt} + \dot{M}_S = X \cdot \dot{M}_S + \dot{M}_S \Rightarrow \dot{M}_S = \frac{\dot{M}_{gods}}{1 + X}$$

Det ingående godsets torra flöde:

$$\dot{M}_S = 0,13 / (1 + 3,5) = 0,029 \text{ kg torrt gods/s}$$

En fuktbalans ger:

$$\dot{M}_G \cdot \Delta Y = \dot{M}_S \cdot \Delta X \Rightarrow \dot{M}_G = \frac{\dot{M}_S \cdot \Delta X}{\Delta Y}$$

$$\dot{M}_G = 0,029 \cdot (3,5 - 0,4) / 0,0254 =$$

$$3,53 \text{ kg torr luft/s}$$

Ingående volymflöde fås nu om densiteten vid ingående lufts tillstånd är känt. Mollierdiagrammet i Data & Diagram (sista bladet) ger:

$$\rho_{in} = \rho(10^\circ\text{C}, 40\% \text{ rel. fuktighet}) = 1,245 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{t,in} = \frac{\rho_{in}}{1 + Y_1} = 1,24 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V}_{in} = \frac{\dot{M}_G}{\rho_{t,in}} = 3,53 / 1,24 = 2,84 \text{ m}^3/\text{s} = 170 \text{ m}^3/\text{min}$$

Tillförd värmeeffekt fås nu ur:

$$\dot{Q} = \dot{M}_G \cdot \Delta H = 3,53 \cdot 141 = 497 \cdot 10^3 \text{ W} = 500 \text{ kW}$$

c) Torkningen sker nu idealt, d.v.s. följer en våttemperaturlinje från tillstånd 2 och 4. Inritat i Mollierdiagram fås nu nya värden för tillstånd 3 – 5:

$$Y_{5,ideal} = 0,0497 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$\Rightarrow \Delta Y_{ideal} = Y_{5,ideal} - Y_1 = 0,0497 - 0,0030 = 0,0467 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$H_{3,ideal} = 102 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_{4,ideal} = 165 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\Rightarrow \Delta H = H_2 - H_1 + H_{4,ideal} - H_{3,ideal} = 99 - 18 + 165 - 102 = 144 \text{ kJ/kg torr luft}$$

En fuktbalans ger:

$$\dot{M}_{G,ideal} = \frac{\dot{M}_S \cdot \Delta X}{\Delta Y_{ideal}} = 0,13 \cdot (3,5 - 0,4) / 0,0467 = 1,92 \text{ kg torr luft/s}$$



Eftersom ingående luft inte ändras, är  $\rho_{t,in}$  samma. Detta ger nu:

$$\dot{V}_{in,ideal} = \frac{\dot{M}_{G,ideal}}{\rho_{t,in}} = 1,92 / 1,24 = 1,55 \text{ m}^3/\text{h} = 93 \text{ m}^3/\text{min}$$
$$\dot{Q}_{ideal} = \dot{M}_{G,ideal} \cdot \Delta H_{ideal} = 1,92 \cdot 144 = 276 \cdot 10^3 \text{ W} = 280 \text{ kW}$$

### **B3**

#### Givet:

$$\dot{m}_{filtrat} = 23 \text{ ton/h} = 6,39 \text{ kg/s}$$

$$J = 0,08$$

$$V_{ram} = 0,030 \text{ m}^3$$

$$A_{ram} = 1,5 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{dV}{dt}\right)_{1,ram} &= 20 \text{ liter/min} \cdot ram = \\ &= 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot ram \end{aligned}$$

$$\Delta P_1 = 4,0 \text{ bar}$$

$$\Delta P_{tvätt} = 3,0 \text{ bar}$$

$$WR = 3$$

$$T = 20^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{av} = 2,7 \cdot 10^{11} \text{ m/kg}$$

$$R_m \text{ försumbar}$$

$$\varepsilon_{av} = 0,55$$

$$\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$t_{omst} = 4 \text{ min} = 240 \text{ s}$$

#### Sökt:

a)  $t_{slut}$

b)  $n_{ram}$

#### Lösning:

a) Filtreringen sker först vid konstant flöde. Då gäller (med försumbart mediemotstånd):

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_1 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_1}{t_1} = \frac{\Delta P_1 \cdot A^2}{\mu \cdot \alpha_{av} \cdot c \cdot V_1}$$

Med känt flöde och sluttryck kan filtratvolymen  $V_1$  beräknas som:

$$V_1 = \frac{\Delta P_1 \cdot A^2}{\mu \cdot \alpha_{av} \cdot c \cdot \left(\frac{dV}{dt}\right)_1}$$

Tiden  $t_1$  för den första fasen fås ur:

$$t_1 = \frac{V_1}{\left(\frac{dV}{dt}\right)_1}$$

Därefter fortsätter filtreringen vid konstant tryckfall, alltså gäller:

$$\int_{t_1}^{t_{slut}} dt = \int_{V_1}^{V_{full}} \frac{\mu \cdot \alpha_{av} \cdot c \cdot V}{\Delta P \cdot A^2} dV$$

$$t_{slut} - t_1 = \frac{\mu \cdot \alpha_{av} \cdot c}{\Delta P \cdot A^2} \cdot \left( \frac{V_{full}^2}{2} - \frac{V_1^2}{2} \right) \Rightarrow t_{slut} = t_1 + \frac{\mu \cdot \alpha_{av} \cdot c}{2 \cdot \Delta P \cdot A^2} \cdot (V_{full}^2 - V_1^2)$$

Tiden för filtrering är samma för en enskild ram som för hela utrustningen, så vi kan räkna på en ram. Bestämning av filterkvoten  $c$  och vätskans egenskaper behövs:

$$\mu = \mu(20^\circ\text{C}) = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$$

$$\rho = \rho(20^\circ\text{C}) = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

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

$$c = 0,08 \cdot 998,2 / (1 - 0,08 - 0,55 / (1 - 0,55) \cdot 998,2 / 2500 \cdot 0,08) = 90,6 \text{ kg/m}^3$$

Nu kan  $V_{1,ram}$  beräknas:

$$V_{1,ram} = 4,0 \cdot 10^5 \cdot 1,5^2 / (1,005 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7 \cdot 10^{11} \cdot 90,6 \cdot 3,33 \cdot 10^{-4}) = 0,110 \text{ m}^3/\text{ram}$$

Filtreringstiden för första fasen:

$$t_1 = 0,110 / 3,33 \cdot 10^{-4} = 329 \text{ s}$$

Filtratvolymen för att fylla en ram fås ur:

$$c = \frac{\text{Torrs substansmassa i kakan}}{\text{Filtratvolym}} = \frac{\rho_s \cdot (1 - \varepsilon_{av}) \cdot V_{kaka}}{V_{full}}$$

Här är  $V_{kaka} = V_{ram}$ , så

$$V_{full,ram} = \frac{\rho_s \cdot (1 - \varepsilon_{av}) \cdot V_{ram}}{c} = 2500 \cdot (1 - 0,55) \cdot 0,030 / 90,6 = 0,372 \text{ m}^3/\text{ram}$$

Nu kan tiden för filtreringen bestämmas:

$$t_{slut} = 329 + 1,005 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7 \cdot 10^{11} \cdot 90,6 / (2 \cdot 4,0 \cdot 10^5 \cdot 1,5^2) \cdot (0,372^2 - 0,110^2) = 2059 \text{ s}$$

$t_{slut} = 34 \text{ min}$
-----------------------------

b) För att beräkna hur många ramar som krävs för att ta hand om en viss mängd filtrat, måste den totala tiden för en filtercykel, med tvättning och omställning, beräknas. Därefter kan det nödvändiga antalet bestämmas enligt:

$$\dot{V}_{\text{filtrat}} = \frac{n_{\text{ram}} \cdot V_{\text{full,ram}}}{t_{\text{cykel}}} \quad \Rightarrow \quad n_{\text{ram}} = \frac{t_{\text{cykel}} \cdot \dot{V}_{\text{filtrat}}}{V_{\text{full,ram}}} = \frac{t_{\text{cykel}} \cdot \dot{m}_{\text{filtrat}}}{V_{\text{full,ram}} \cdot \rho}$$

med  $t_{\text{cykel}} = t_{\text{slut}} + t_{\text{tvätt}} + t_{\text{omst}}$

Vid tvättningen gäller att både tryckfallet och flödet är konstanta:

$$\left( \frac{dV}{dt} \right)_{\text{tvätt}} = \frac{\Delta P_{\text{tvätt}} \cdot A^2}{\mu \cdot \alpha_{\text{av}} \cdot c \cdot V_{\text{full}}}$$

( $\alpha_{\text{av}} \cdot c \cdot V_{\text{full}}$  motsvarar strömningsmotståndet i den bildade filterkakan.)

Räknat på en ram blir tvättvätskeflödet:

$$dV/dt_{\text{tvätt,ram}} = 3,0 \cdot 10^5 \cdot 1,5^2 / (1,005 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7 \cdot 10^{11} \cdot 90,6 \cdot 0,372) = 7,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s-ram}$$

Den totala tvättvätskevolym som använts är 3 gånger mängden vätska i kakan, eller:

$$WR = \frac{V_{\text{tvätt}}}{\varepsilon_{\text{av}} \cdot V_{\text{kaka}}} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{tvätt}} = WR \cdot \varepsilon_{\text{av}} \cdot V_{\text{kaka}}$$

$$V_{\text{tvätt,ram}} = 3 \cdot 0,55 \cdot 0,030 = 0,0495 \text{ m}^3/\text{ram}$$

Tvättiden fås nu ur:

$$t_{\text{tvätt}} = \frac{V_{\text{tvätt,ram}}}{(dV/dt)_{\text{tvätt,ram}}} = 0,0495 / 7,37 \cdot 10^{-4} = 672 \text{ s}$$

Den totala tiden för en filtreringscykel blir nu:

$$t_{\text{cykel}} = 2059 + 672 + 240 = 2971 \text{ s}$$

Detta ger nu minsta antalet ramar:

$$n_{\text{ram}} = 2971 \cdot 6,39 / (0,372 \cdot 998,2) = 51,07 = 52 \text{ ramar}$$

(Vid minsta antal måste avrundning ske uppåt!)

**B4.**

DATA:  $L_0 = 100 \text{ kg/h}$

$$x_B^0 = 0.60$$

$$x_A^0 = 0.30$$

$$x_S^0 = 0.10$$

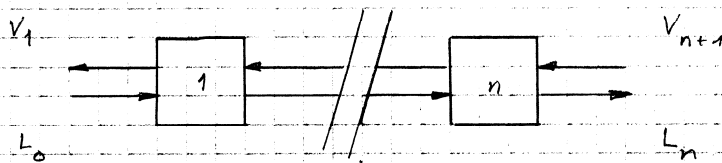
$$y_A^1 = 0.60$$

$$x_A^n = 0.025$$

$$\frac{S}{B} = \frac{1}{3}$$

SÖKT:  $n, V_{n+1}, L_n x_S^n$

LÖSNING:



GEOMETRISK ÖRT FÖR UNDERSTRÖMMAR  $\frac{S}{B} = \frac{1}{3}$

$$\frac{x_S}{1 - x_A - x_S} = \frac{1}{3}$$

$$3x_S = 1 - x_A - x_S; \quad 4x_S = 1 - x_A; \quad x_S = \frac{1}{4}(1 - x_A)$$

KONSTRUERA TRIANGELDIAGRAM MED GLOFU.

LÄGG IN KÄNDA STRÖMMAR OCH SKAPA POTENTIAL

STEGNING GER SIX IDEALA STEG

HÄVSTÄNGSREGLN GER  $V_{n+1}$

$$L_0 a = V_{n+1} b$$

$$a = 24$$

$$b = 84$$

$$L_0 = 100 \text{ kg/h}$$

$$V_{n+1} = 28.6 \text{ kg/h}$$

STRÖMMEN  $L_A$  LIGER PÅ GDFU VÄRFÖR

SÄMBANDET  $\frac{S}{B} = \frac{1}{3}$  MÅSTE GÄLLA.

$$B = 60 \Rightarrow S = 20 \text{ kg/h}$$

SVAR:  $n = 6$ ,  $V_{n+1} = 28.6 \text{ kg/h}$ ,  $L_n \times S = 20 \text{ kg/h}$

