



# CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

## Institutionen för kemi- och bioteknik

KURSNAMN	Separations- och apparatteknik, KAA095	Förslag till lösningar infogade
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram kemiteknik Civilingenjörsprogram kemiteknik med fysik årskurs 3 läsperiod 1	
EXAMINATOR	Krister Ström	
TID FÖR TENTAMEN  LOKAL	Måndag 14 januari, kl 14.00-19.00  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 "Physics Handbook" av Carl Nordling/Jonny Österman "BETA $\beta$ " av Lennart Råde/Bertil Westergren Formelblad (vilket bifogats tentamentesen)	
ANSV LÄRARE: namn telnr besöker tentamen	Krister Ström 772 5708 Kl. 15.00 resp kl 16.30	
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås tisdag 15 januari på kurshemsidan, studieportalen. Resultat på tentamen anslås tidigast fredag 1 februari efter kl 12.00. Granskning måndag 4 februari kl 12.30-13.00 samt måndag 11 februari kl. 12.30-13.00 i seminarierummet, forskarhus II plan 2.	
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av en teoridel med sju 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**

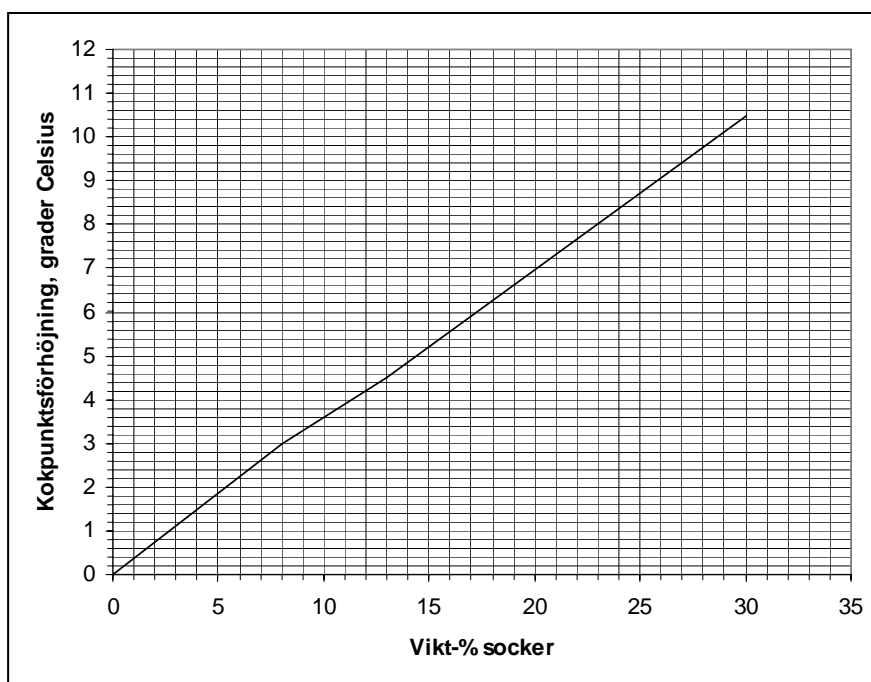
- A1.** Ett problem vid indunstning är inkrusterbildning! Vad är inkruster och varför innebär inkrusterbildning en försämrad indunstning? (3p)
- A2.** Beskriv funktionen hos en fallfilmindunstare och komplettera beskrivningen med en skiss! (3p)
- A3.**
- Vad händer med temperaturen och entalpin i en luftmassa om en liten mängd vätska sprutas in i den? Motivera!
  - Ange en passande tork för att torka ett material som i vått tillstånd är en pasta och som gärna klibbar när det torkar. Motivera!
- (3p)
- A4.**
- Hur påverkar temperaturen filtreringstiden? Vad begränsar temperaturen vid vakuumfiltrering?
  - Näm en satsvis och en kontinuerlig filterutrustning, och beskriv kortfattat de båda utrustningarnas funktion.
- (3p)
- A5.** Vilka två krafter verkar på partiklarna i en fluidiserad bädd? (2p)
- A6.** Extraktion innebär i allmänhet att man överför ett ämne från en polär fas till en opolär fas. Hur väljer man lämpligt extraktionsmedel? (3p)
- A7.**
- Beskriv funktionen hos en tubulär centrifug!
  - Hur kan kapaciteten ökas hos en centrifug?
- (3p)

## Del B. Problemdel

**B1.** En sockerlösning, 10 ton/h, ska indunstas i en medströms arbetande indunstningsanläggning med två lika stora effekter. Ingående sockerlösning har temperaturen  $90^{\circ}\text{C}$  och sammansättning 8 vikt-%. Den koncentrerade lösning ska hålla 30 vikt-% socker. Trycket i andra indunstareffekten är 30 kPa. De skenbara värmegenomgångstalen är  $1.5 \text{ kW/m}^2\text{K}$  för den första effekten och  $1.0 \text{ kW/m}^2\text{K}$  för den andra. Den tillgängliga färsångan har mättnadstrycket 200 kPa.

- Uppskatta färsångbehovet samt värmeytorna!

Kokpunktsförhöjningar bestäms från nedanstående diagram. Lösningars entalpi kan antas vara de samma som för rent vatten vid motsvarande tryck och temperatur.



(7p)

**B2.** En konvektiv tork används för att torka ett temperaturkänsligt material i tre steg. Torkgodslödet är 120 kg fuktigt gods/timme och håller en fuktkvot på 2,4 innan och 0,4 efter torkstegen. Torkluften, som värms upp till  $45^{\circ}\text{C}$  innan varje steg har följande data:

Inkommande luft håller  $10^{\circ}\text{C}$  och 50 % relativ fukthalt.

Ut från första steget är temperaturen  $20^{\circ}\text{C}$  och relativa fukthalten 60 %.

Ut från andra steget är temperaturen  $23^{\circ}\text{C}$  och relativa fukthalten 70 %.

Ut från tredje steget är temperaturen  $28^{\circ}\text{C}$  och relativa fukthalten 60 %.

- a) Beräkna specifik luftförbrukning och specifikt värmebehov i torken.
- b) Beräkna totala luftförbrukningen i  $\text{m}^3$  inkommande luft/timme. Beräkna också tillförd värmeeffekt.

- c) Uppskatta hur stora energiförlusterna är i varje torksteg. Ange förlusterna som värmeeffekt.

(9p)

Mollierdiagram bifogas.

- B3.** Ett tryckfilter, som har en total filteryta på  $14 \text{ m}^2$ , 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  $80^\circ\text{C}$ . Efter 5 min av filtreringen har  $5,6 \text{ m}^3$  filtrat producerats, och efter 10 min  $8,3 \text{ m}^3$  filtrat.

På labb har kakans porositet uppmätts till 47 % och det fasta materialets densitet till  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

- a) Beräkna hur lång tid filtreringen tar, om den avbryts vid en kaktjocklek på 5 cm!
- b) Uppskatta specifika filtreringsmotståndet och filtermediets motstånd!
- c) För att öka kapaciteten funderar man på att minska kaktjockleken till 3 cm. Uppskatta hur mycket kapaciteten ökar, räknat i  $\text{m}^3$  producerat filtrat per timme, om en total cykel, utöver filtring, även innehåller 15 min för övriga moment (tvättning, kaktömning, m.m.). Tiden för övriga moment kan antas vara oberoende av kaktjockleken.

(9p)

- B4.** En PCB-haltig vattenström ska renas genom att extrahera över PCB till en oljefas! PCB-oljeströmmen kan därefter destrueras termiskt. Inkommande vattenström,  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , innehåller  $10 \text{ mg PCB/kg vatten}$ . Man vill uppnå en 99%-ig reduktion av PCB i vattenströmmen. Inkommande flöde av PCB-fri olja är  $300 \text{ kg/h}$

Beräkna;

- halten PCB i utgående oljefas!
- Antal teoretiska steg som krävs för extraktionen

Jämviktsambandet kan uttryckas 
$$\left[ \frac{\text{mg PCB}}{\text{kg olja}} \right] = 7 \left[ \frac{\text{mg PCB}}{\text{kg vatten}} \right]$$

(5p)

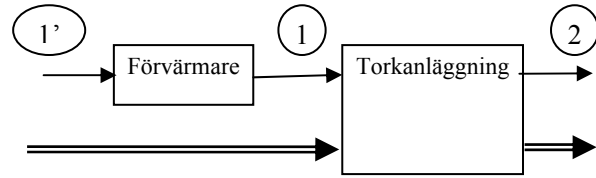
Göteborg 2008-01-04  
Krister Ström

## 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

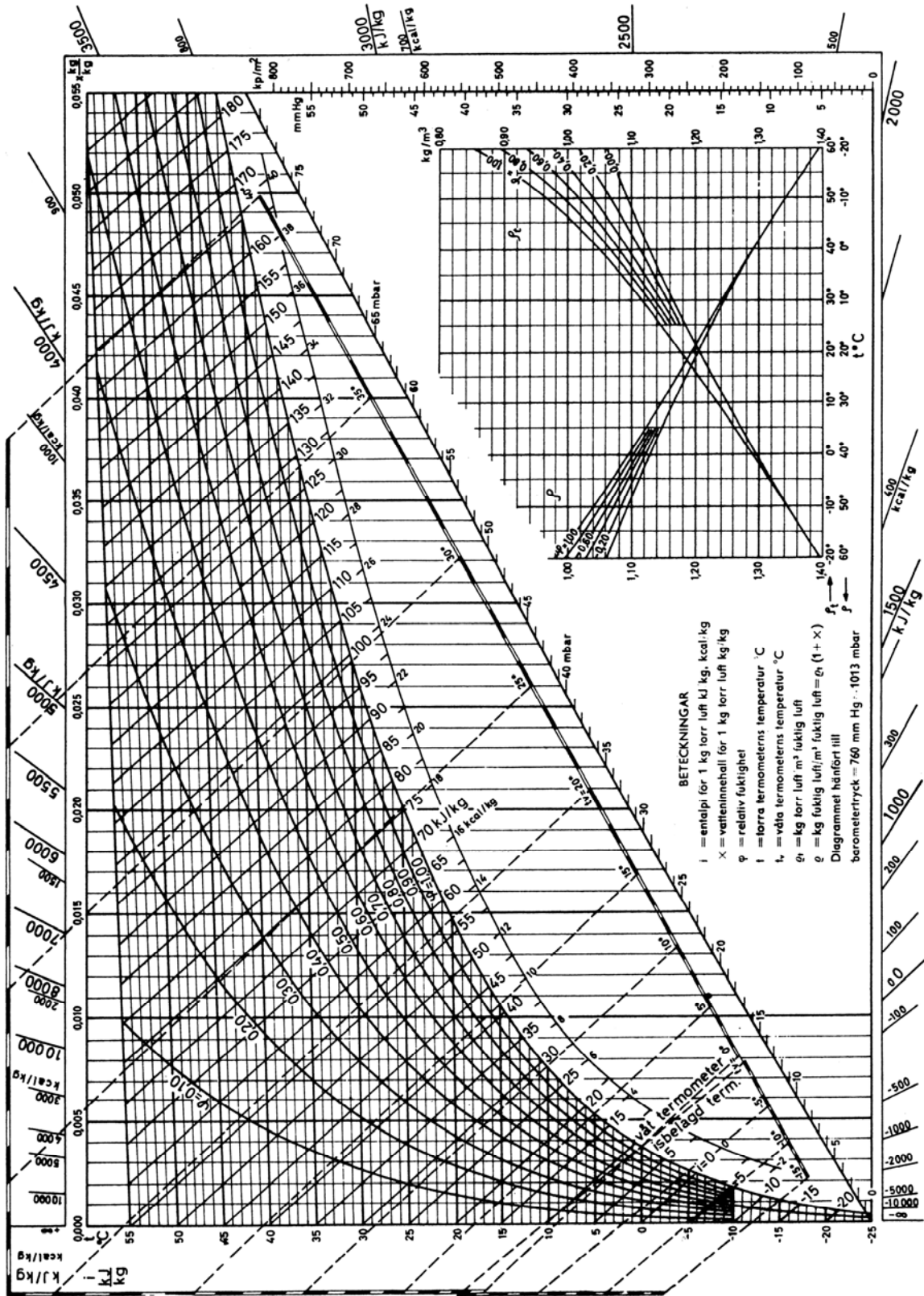
$S$  Partikelns specifika yta,  $\text{m}^2/\text{m}^3$

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

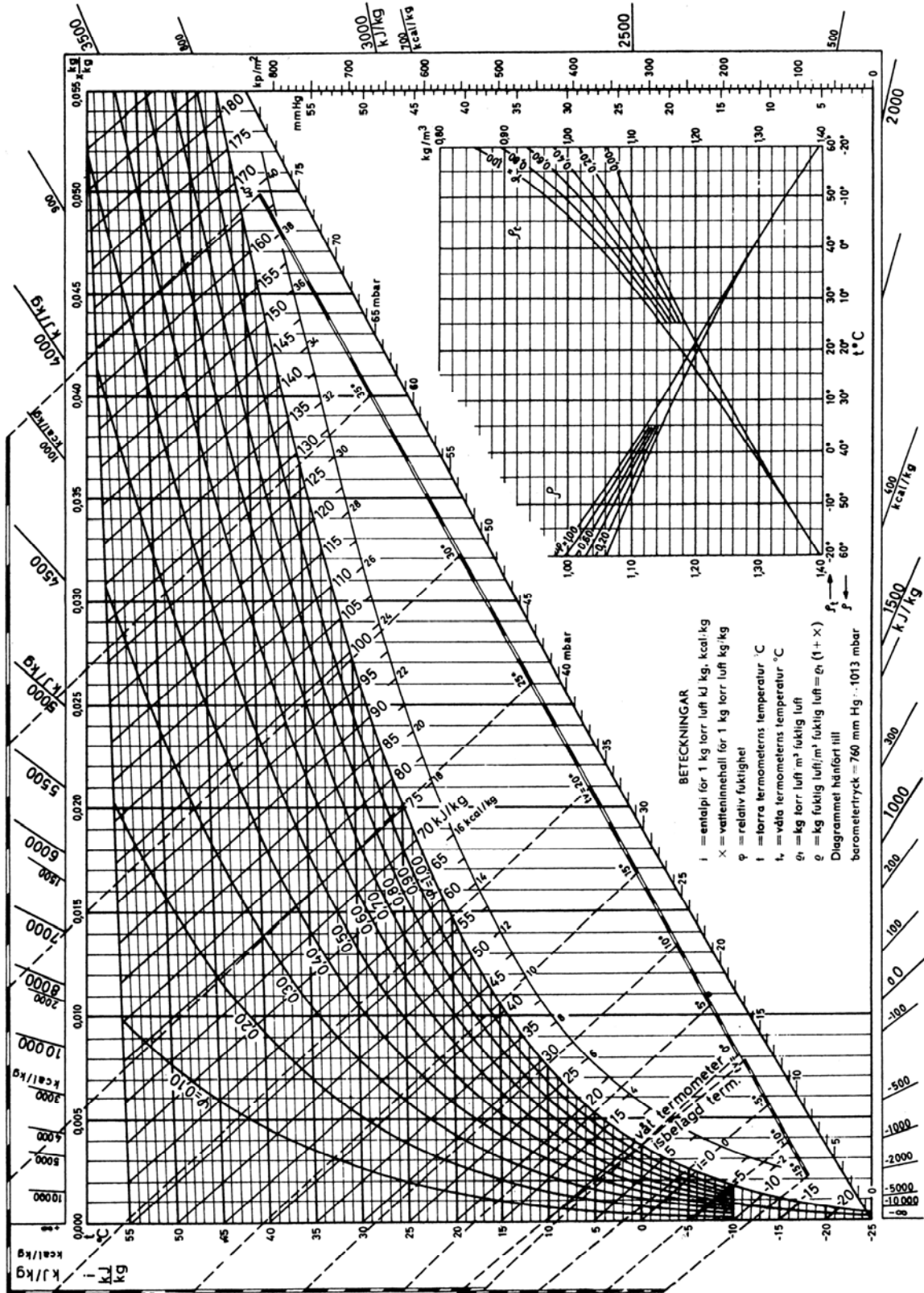
$\mu$  fluidens viskositet, Pa·s

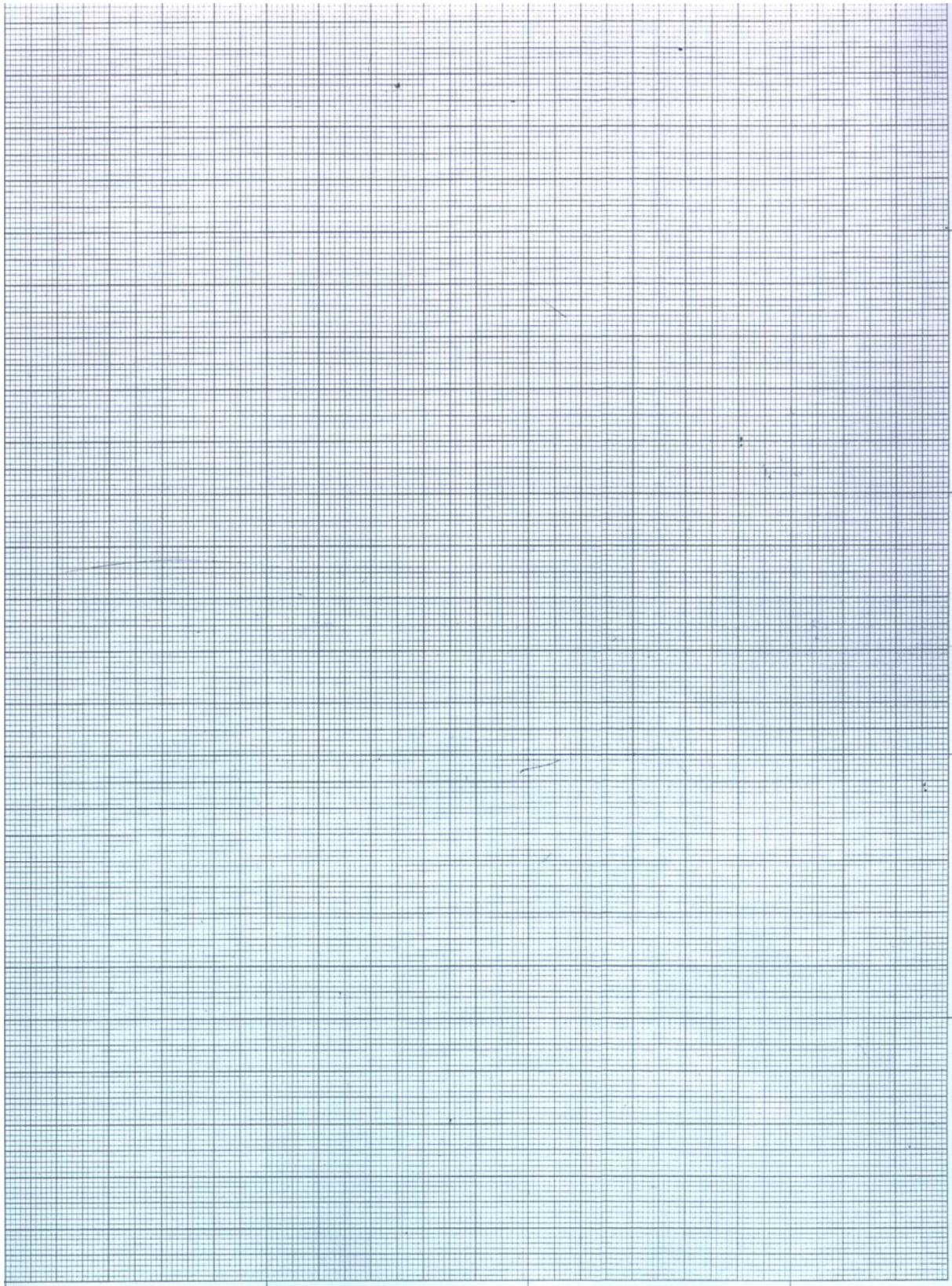
$\rho$  fluidens densitet,  $\text{kg/m}^3$

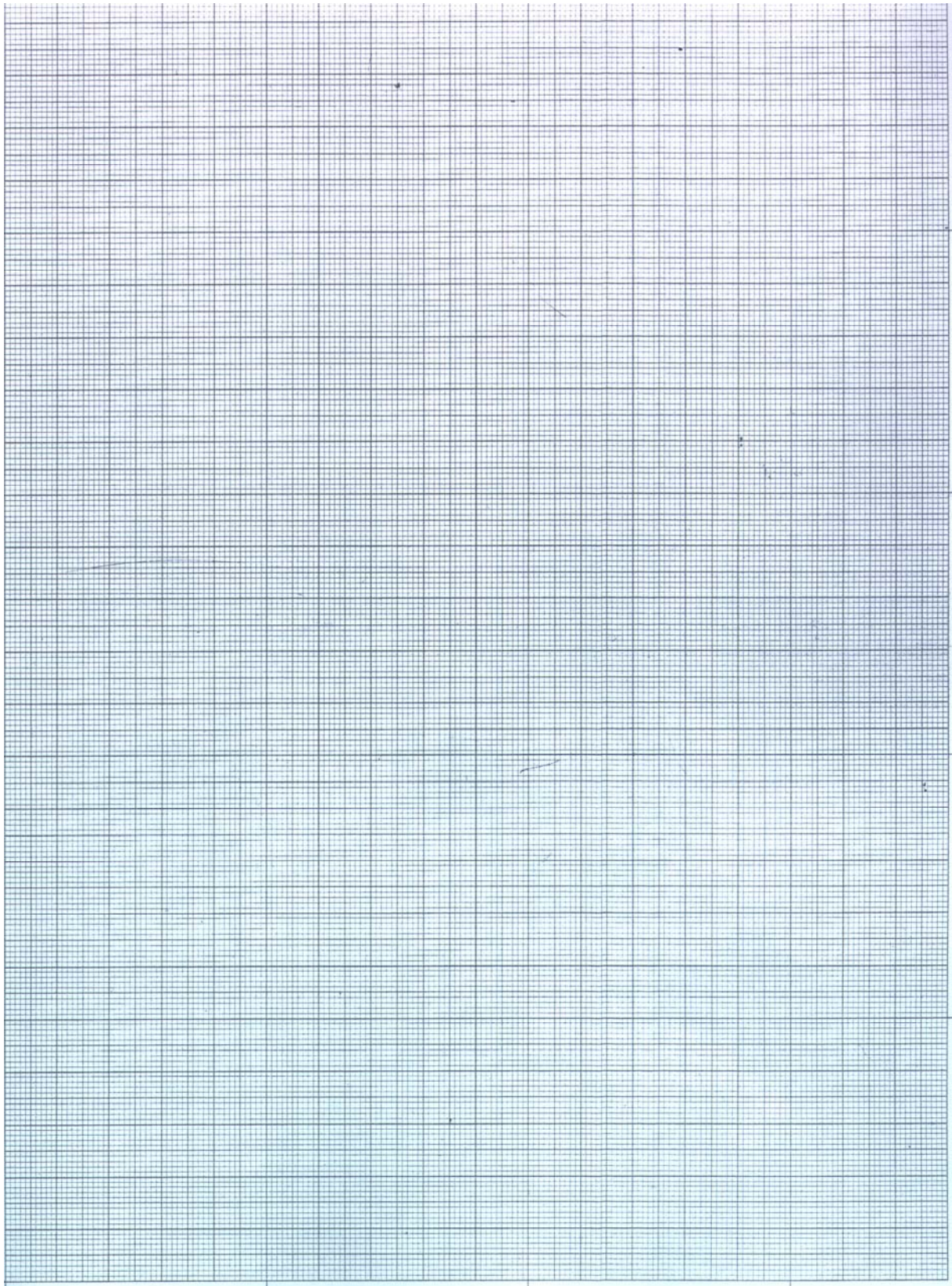
$\varepsilon_{mf}$  Bäddens porositet vid minsta hastighet för fluidisation, -











## B1.

### Data:

$$F = 10 \text{ ton/h}$$

$$T_F = 90^\circ\text{C}$$

$$x_F = 0.08$$

$$x_{L2} = 0.30$$

$$P_2 = 30 \text{ kPa}$$

$$U_{SKB1} = 1.5 \text{ kW/m, } ^\circ\text{C}$$

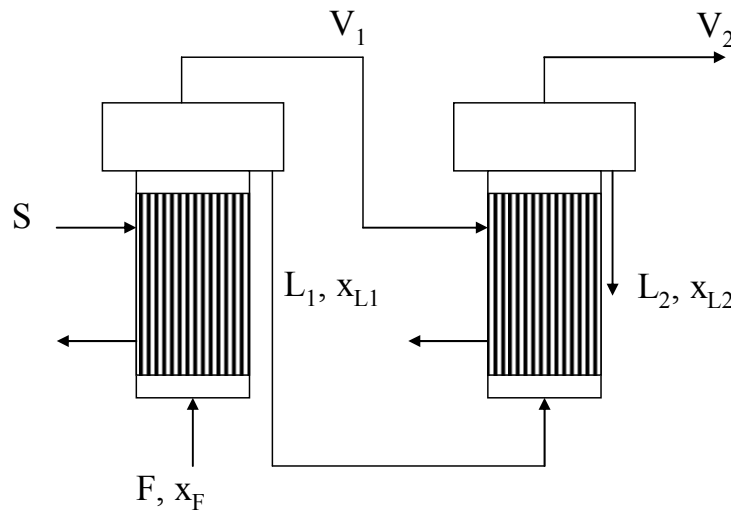
$$U_{SKB2} = 1.0 \text{ kW/m, } ^\circ\text{C}$$

$$P_S = 200 \text{ kPa}$$

### Sökt

- Uppskatta  $S$ ,  $A_1$  och  $A_2$

### Lösning:



$$\text{Totalbalans:} \quad F = L_2 + V_1 + V_2 \quad (1)$$

$$\text{Komponentbalans:} \quad Fx_F = L_2x_{L2} \quad (2)$$

$$(2) \Rightarrow L_2 = F \frac{x_F}{x_{L2}} \quad \Rightarrow \quad L_2 = 2.67 \text{ ton/h}$$

$$(1) \Rightarrow V_1 + V_2 = V_{\text{TOT}} = F + L_2 \quad \Rightarrow \quad V_{\text{TOT}} = 7.33 \text{ ton/h}$$

Uppskatning, antag att  $V_1 = V_2 = 3.67 \text{ ton/h}$

### Kokpunktsförhöjning

$$\begin{aligned} & x_{L1} = ? \\ \text{Effekt 1} \quad & F = V_1 + L_1 \quad \Rightarrow \quad L_1 = 6.33 \text{ ton/h} \\ & Fx_F = L_1x_{L1} \quad \Rightarrow \quad x_{L1} = 0.13 \\ & \beta_1 = 4.6^\circ \text{C} \end{aligned}$$

$$\text{Effekt 2} \quad x_{L2} = 0.30 \quad \beta_2 = 10.5^\circ \text{C}$$

### Temperaturdifferenser

$$\Delta T_{TOT} = \Delta T_1 + \Delta T_2 = T_S - T_2' - \sum \beta_i = \{P_S = 2 \text{ bar}, T_S = 120.23^\circ \text{C}, P_2 = 0.3 \text{ bar}, T_2 = 69.13^\circ \text{C}\} = 36^\circ \text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{Under antagande om lika ytor gäller} \quad \Delta T_{TOT} = \Delta T_1 \left( 1 + \frac{U_{SKB,1}}{U_{SKB,2}} \right) & \Rightarrow \quad \Delta T_1 = 14.4^\circ \text{C} \\ \Delta T_1 = T_S - T_1' - \beta_1 & \Rightarrow \quad T_1' = 100^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Mättnadstemperaturen  $T_1'$  motsvarar  $P_1 = 1.01 \text{ bar}$

$$\text{Förenklad värmebalans} \quad S\Delta\Delta_{VAP,S} = V_1\Delta H_{VAP,V1}$$

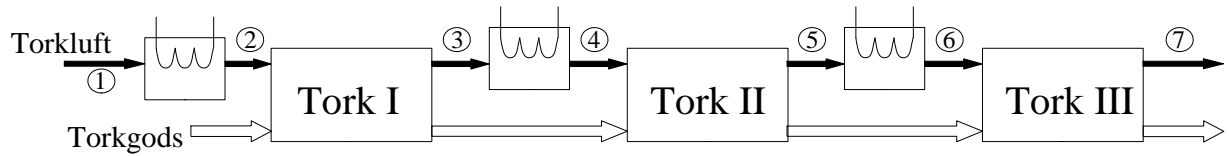
$$\left. \begin{aligned} \Delta H_{VAP,S} &= 2201.89 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H_{VAP,V1} &= 2257.00 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \right\} \Rightarrow S = 3.76 \text{ ton/h}$$

### Kapacitetsekvation

$$\text{Effekt 1:} \quad S\Delta\Delta_{VAP,S} = U_{SKB,1}A_1\Delta T_1 \quad \Rightarrow \quad A_1 = 106.5 \text{ m}^2$$

$$\text{Effekt 2:} \quad V_1\Delta H_{VAP,V1} = U_{SKB,2}A_2\Delta T_2 \quad \Rightarrow \quad A_2 = 106.5 \text{ m}^2$$

**Svar: 3.76 ton/h 106.5 m<sup>2</sup>**

**B2**Givet:

$$\dot{M}_{gods} = 120 \text{ kg fuktigt gods/h}$$

$$X_{in} = 2,4 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$$

$$X_{ut} = 0,4 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$$

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

$$\varphi_1 = 0,50$$

$$T_3 = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi_3 = 0,60$$

$$T_5 = 23^\circ\text{C}$$

$$\varphi_5 = 0,70$$

$$T_7 = 28^\circ\text{C}$$

$$\varphi_7 = 0,60$$

$$T_{max} = 45^\circ\text{C}$$

Sökt:a)  $l$  och  $q$ b)  $\dot{V}_{in}$  och  $\dot{Q}$ c)  $\dot{Q}_{förlust}$  i varje stegLösning:

a) För att bestämma specifika luftförbrukningen och specifika värmebehovet ritas vi in de kända stegen i Mollierdiagrammet. Torkningen sker med förvärmning av färsklufften till torkgodsets maximala temperatur ( $T_{max}$ ), och därefter till de angivna tillstånden.

Specifik luftförbrukning fås ur:

$$l = \frac{1}{\Delta Y_{tot}} \quad \text{med} \quad \Delta Y_{tot} = Y_7 - Y_1$$

och specifika värmebehovet fås ur entalpiändringen över förvärmarna, enligt:

$$q = \frac{\Delta H_{tot}}{\Delta Y_{tot}} \quad \text{med} \quad \Delta H_{tot} = \Delta H_2 - \Delta H_1 + \Delta H_4 - \Delta H_3 + \Delta H_6 - \Delta H_5$$

Ur Mollierdiagrammet:

$$\Rightarrow \begin{aligned} Y_1 &= 0,0038 \text{ kg fukt/kg torr luft} & Y_7 &= 0,0143 \text{ kg fukt/kg torr luft} \\ \Delta Y_{tot} &= 0,0143 - 0,0038 = 0,0105 \text{ kg fukt/kg torr luft} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} \Delta H_1 &= 20 \text{ kJ/kg torr luft} & \Delta H_2 &= 55 \text{ kJ/kg torr luft} \\ \Delta H_3 &= 42 \text{ kJ/kg torr luft} & \Delta H_4 &= 68 \text{ kJ/kg torr luft} \\ \Delta H_5 &= 55 \text{ kJ/kg torr luft} & \Delta H_6 &= 77 \text{ kJ/kg torr luft} \\ \Delta H_{tot} &= (55 - 20) + (68 - 42) + (77 - 55) = 83 \text{ kJ/kg torr luft} \end{aligned}$$

Specifika värmebehovet fås ur entalpiändringen över förvärmarna, enligt:

$$\begin{aligned} l &= 1 / 0,0105 = 95 \text{ torr luft/kg avdunstat} \\ q &= 83 / 0,0105 = 7905 \text{ kJ/kg avdunstat} = 7,9 \text{ MJ/kg avdunstat} \end{aligned}$$

b) För att bestämma volymflödet i inloppet måste vi veta torra luftflödet genom torken, eftersom:

$$\dot{V}_{in} = \frac{\dot{M}_G}{\rho_{t,in}}$$

Det behövs också vid bestämningen av effekten, eftersom:

$$\dot{Q} = \dot{M}_G \cdot \Delta H$$

För att bestämma torra luftflödet, måste vi utnyttja massbalansen:

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

Det fuktiga godsets torra flöde fås ur:

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

Med det ingående fuktiga godsets flöde:

$$\dot{M}_S = 120 / (1 + 2,4) = 35,3 \text{ kg torrt gods/h} (= 0,0098 \text{ kg torrt gods/s})$$

Det torra luftflödet fås nu som:

$$\dot{M}_G = 35,3 \cdot (2,4 - 0,4) / 0,0105 = 6720 \text{ kg torr luft/h} (= 1,87 \text{ kg torr luft/s})$$

Nu kan volymflödet fås om densiteten för luften kan bestämmas. Ur hjälpdigrammet fås:

$$\rho_{t,in} = \rho_t (10^\circ\text{C}, 50 \% \text{ rel. fuktighet}) = 1,24 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V}_{in} = 6720 / 1,24 = 5400 \text{ m}^3/\text{h} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{Q} = 1,87 \cdot 83 = 160 \text{ kW}$$

c) I ett idealt torksteg finns inga förluster, utan avdunstningen av fukten i godset sker vid luftens våta temperatur och processen följer då en våttemperaturlinje. Förlusterna i ett torksteg (mestadels förluster mot omgivningen, men också uppvärmning av torkgodset tills det når luftens våta temperatur) innebär alltså avvikelser från detta. En uppskattning av förlusterna kan då göras om man jämför entalpierna för det verkliga torksteget med ett idealt steg. Vid uppskattning kan approximationen göras att den ideala torkningen sker isentalpt (luftens entalpi ökar vid torkningen, men inte särskilt mycket). Då fås förlusten i ett steg som:

$$\Delta H_{förlust} = \Delta H_{in} - \Delta H_{ut} \quad \text{och} \quad \dot{Q}_{förlust} = \dot{M}_G \cdot \Delta H_{förlust}$$

I Mollierdiagrammet läser vi entalpi för utgående torkluft (den enda vi inte har läst av innan):

$$H_7 = 64 \text{ kJ/kg torr luft}$$

För respektive steg blir detta nu:

$$\Delta H_{förlust,I} = H_2 - H_3 = 55 - 42 = 13 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\Delta H_{förlust,II} = H_4 - H_5 = 68 - 55 = 13 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\Delta H_{förlust,III} = H_6 - H_7 = 77 - 64 = 13 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\dot{Q}_{förlust,I} = 1,87 \cdot 13 = 24 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{förlust,II} = 1,87 \cdot 13 = 24 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{förlust,III} = 1,87 \cdot 13 = 24 \text{ kW}$$



### B3

Givet:

$$J = 0,025$$

$$\Delta P = 2,5 \text{ bar}$$

$$A = 14 \text{ m}^2$$

$$L = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$T = 80^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_{av} = 0,47$$

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

$$t_1 = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$V_1 = 5,6 \text{ m}^3$$

$$t_2 = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$V_2 = 8,3 \text{ m}^3$$

$$L_{ny} = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$$

$$t_{\text{övrigt}} = 15 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

Sökt:

a)  $t_{\text{slut}}$

b)  $\alpha$  och  $R_m$

c)  $\Delta \dot{V}$  (Ökning av filtratflöde vid  $L_{ny}$ )

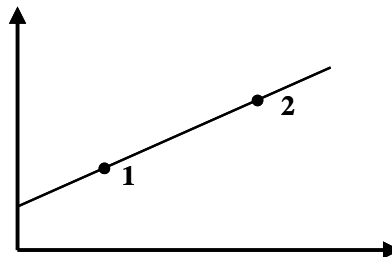
Lösning:

a) Filtreringen sker vid konstant tryck, alltså gäller:

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

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

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



Om lutningen och skärningen kan bestämmas, kan tiden för en viss filtratvolym erhållas som:

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

Lutning och skärning bestäms med givna data:

$$\text{Lutning} = \frac{\left(\frac{t_2}{V_2}\right) - \left(\frac{t_1}{V_1}\right)}{V_2 - V_1} = \frac{((600/8,3) - (300/5,6))}{(8,3 - 5,6)} = 6,93 \text{ (s/m}^6\text{)}$$

$$\text{Skärning} = \left(\frac{t_1}{V_1}\right) - \text{Lutning} \cdot V_1 = (300/5,6) - 6,93 \cdot 5,6 = 14,8 \text{ (s/m}^3\text{)}$$

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

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

$$V_{slut} = \frac{\rho_s \cdot (1 - \varepsilon_{av}) \cdot V_{kaka}}{c}$$

För kakans volym gäller:

$$V_{kaka} = L \cdot A = 0,05 \cdot 14 = 0,70 \text{ m}^3$$

Filterkvoten,  $c$ , bestäms enligt:

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

Vätskans densitet,  $\rho$ , bestäms vid filtreringstemperaturen:

$$\rho = \rho(80^\circ\text{C}) = 971,8 \text{ kg/m}^3$$

Detta ger:

$$c = 0,025 \cdot 971,8 / (1 - 0,025 - 0,47 / (1 - 0,47) \cdot 971,8 / 2500 \cdot 0,025) = 25,1 \text{ kg/m}^3$$

Vi får nu:

$$V_{slut} = 2500 \cdot (1 - 0,47) \cdot 0,70 / 25,1 = 36,9 \text{ m}^3$$

Detta ger:

$$t_{slut} = 6,93 \cdot 36,9^2 + 14,8 \cdot 36,9 = 9980 \text{ s} = 170 \text{ min}$$

b) Specifika filtrermotståndet,  $\alpha$ , och filtermediets motstånd,  $R_m$ , kan nu bestämmas ur lutning resp. skärning, om man har kännedom om övriga parametrar.

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

Viskositeten,  $\mu$ , bestäms vid filtreringstemperaturen:

$$\mu = \mu(80^\circ\text{C}) = 357 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$$

Nu kan motstånden beräknas:

$$\alpha_{av} = 2 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 14^2 \cdot 6,93 / (357 \cdot 10^{-6} \cdot 25,1) = 7,6 \cdot 10^{10} \text{ m/kg}$$

$$R_m = 14,8 \cdot 10^4 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 14 / 357 \cdot 10^{-6} = 1,4 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-1}$$

c) För att undersöka ändringen i kapaciteten, måste vi först bestämma den nuvarande. Filtratvolym per timme,  $\dot{V}$ , fås ur:

$$\dot{V} = \frac{V_{slut}}{t_{total}} \quad \text{med} \quad t_{total} = t_{slut} + t_{övrigt}$$

Ändringen fås då som:

$$\Delta \dot{V} = \dot{V}_{ny} - \dot{V}_{ursprunglig}$$

Den ursprungliga kapaciteten är:

$$\dot{V}_{ursprunglig} = 36,9 / (9980 + 600) = 0,00339 \text{ m}^3/\text{s} = 12,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vid ändring av kaktjockleken ändras totala mängden filtratmängden (eftersom kakvolymen ändras), och därmed också filtreringstiden. De nya värdena (beräknas som förut):

$$V_{kaka,ny} = 0,03 \cdot 14 = 0,42 \text{ m}^3$$

$$V_{slut,ny} = 2500 \cdot (1 - 0,47) \cdot 0,42 / 25,1 = 22,1 \text{ m}^3$$

$$t_{slut,ny} = 6,93 \cdot 22,1^2 + 14,8 \cdot 22,1 = 3720 \text{ s}$$

vilket ger:

$$\dot{V}_{ny} = 22,1 / (3720 + 600) = 0,00479 \text{ m}^3/\text{s} = 17,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ökningen av kapaciteten blir nu:

$$\Delta \dot{V} = 17,2 - 12,2 = 5,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

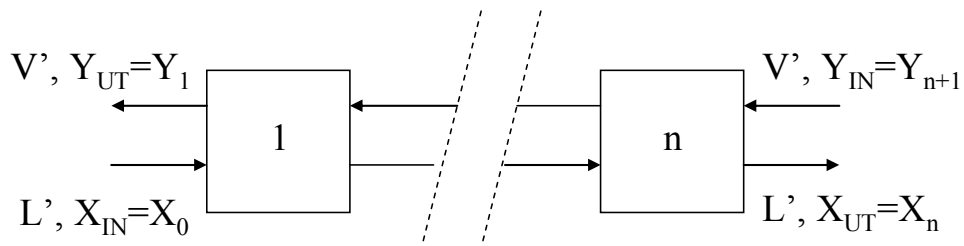
#### **B4.**

**Data:**  $L' = 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $X_{\text{IN}} = 10 \text{ mg PCB/kg vatten}$   
 $V' = 300 \text{ kg olja/h}$   
99 %-ig utvinning av PCB från vattenfasen  
 $Y[\text{mg PCB/kg olja}] = 7X[\text{mg PCB/kg vatten}]$

**Sökt**

- Halt PCB i utgående oljefas
- Antal steg

#### **Lösning:**



Komponentbalans över systemet:

$$L'X_{\text{IN}} + V'Y_{\text{IN}} = L'X_{\text{UT}} + V'Y_{\text{UT}}$$

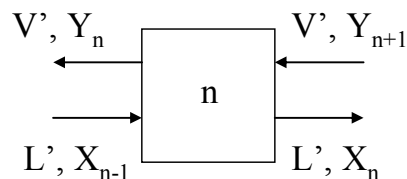
$$Y_{\text{IN}} = 0.0$$

$$99 \text{ \% -ig utvinning ger: } 0.01L'X_{\text{IN}} = L'X_{\text{UT}} \quad \Rightarrow \quad X_{\text{UT}} = 0.10 \text{ mg PCB/kg olja}$$

$$L' = 1.5 \text{ m}^3/\text{h} \quad L' = 1500 \text{ kg vatten/h}$$

$$\text{Komponentbalansen ger: } \begin{cases} L'X_{\text{IN}} = L'X_{\text{UT}} + V'Y_{\text{UT}} \\ Y_{\text{UT}} = \frac{L'}{V'}(X_{\text{IN}} - X_{\text{UT}}) \end{cases} \quad \underline{\underline{Y_{\text{UT}} = 49.5 \text{ mg PCB/kg olja}}}$$

Erforderligt antal steg för separationen kan lösas grafiskt eller analytiskt! Väljer här en analytisk lösning. Studera ett godtyckligt idealt extraktionssteg  $n$ .



---

Komponentbalans över steget;

$$L'X_{n-1} + V'Y_{n+1} = L'X_n + V'Y_n$$

$$Y_{n+1} = \frac{L'}{V'}(X_n - X_{n-1}) + Y_n$$

Jämviktsvillkor

$$Y_n = 7X_n$$

Sammansättningarna samlas i tabell enligt nedan

n+1	X [mg PCB/kg vatten]	Y [mg PCB/kg olja]
0	10	-
1	7.071	49.5
2	4.9796	34.857
3	3.4857	24.4
4	2.4186	16.9305
5	1.6565	11.5952
6	1.1121	7.7845
7	0.7232	5.0623
8	0.4454	3.1178
9	0.2470	1.7288
10	0.1052	0.7366
11		0.0278

Det fordras 10 ideala steg för separationen!

**Svar: 49.5 mg PCB/kg olja, 10 idela steg.**