



# CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

## Institutionen för kemi- och bioteknik

KURSNAMN	Separations- och apparatteknik, KAA095	<i>Med förslag till lösningar av beräkningsuppgifter</i>
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram kemiteknik Civilingenjörsprogram kemiteknik med fysik årskurs 3 läsperiod 1	
EXAMINATOR	Krister Ström	
TID FÖR TENTAMEN LOKAL	Måndag 11 januari 2010, kl 08.30-13.30 VV-salar	
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. 09.30 resp kl 11.00	
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås måndag 11 januari på kurshemsidan, studieportalen. Resultat på tentamen meddelas tidigast torsdag 28 januari efter kl 12.00 via e-post. Granskning torsdag 28 januari kl 12.30-13.00 samt torsdag 4 februari kl. 12.30-13.00 i seminarierummet, forskarhus II plan 2.	
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av en teoridel med åtta teorifrågor samt en räknedel med fyra räkneuppgifter. Poäng på respektive uppgift finns noterat i tentamentesen. För godkänd tentamen fordras 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.** Värmebalansen för en indunstningseffekt kan under vissa förhållanden approximeras med följande uttryck:

$$S\Delta H_S = V\Delta H_V$$

S är mängden värmande ånga,  $\Delta H_S$  dess ångbildningsvärme, V förångad mängd lösningsmedel och  $\Delta H_V$  dess ångbildningsvärme.

- Vilka förutsättningar måste gälla för att ovanstående uttryck skall kunna användas? (2p)

**A2.** a) Varför är det skillnad mellan lutningen på våttemperaturlinjerna och isotermerna i Mollierdiagrammet?  
b) Vad händer med temperaturen och entalpin i en luftmassa om en liten mängd vätska sprutas in i den? Motivera! (2p)

**A3.** a) Vad är för- och nackdelar med konduktionstorkar i jämförelse med konvektionstorkar?  
b) Ange en passande tork för att torka ett material som i vått tillstånd är en pasta och som gärna klibbar när det torkar. Motivera! (2p)

**A4.** a) Hur påverkar temperaturen filtreringstiden? Vad begränsar temperaturen vid vakuumfiltrering?  
b) Nämn en satsvis och en kontinuerlig filterutrustning, och beskriv kortfattat de båda utrustningarnas funktion. (4p)

**A5.** Rita upp ett triangeldiagram för en blandning av de tre vätskekomponenterna A, C och S. A och C respektive A och S är fullständigt blandbara, men endast ca en del av C går att lösa i nio delar av S och motsvarande en del av S går att lösa i nio delar av C. Är både A, S och C närvarande och andelen A större än 50 % består blandningen av en fas, dvs. den är homogen.  
  
• Rita in en ungefärlig lösningskurva för systemet i triangeldiagrammet! (2p)

**A6.** Beskriv med ord och en figur hur en lamellapparat för sedimentering fungerar och förklara dess fördel jämfört med en konventionell förtjockare! (3p)

**A7.** Nämn och diskutera minst fyra faktorer som man särskilt ska beakta när det gäller att välja ett lämpligt lösningsmedel för vätska-vätskaextraktion! (2p)

---

**A8.** Ge tre exempel på hur en fluidiserad bädd kan uppföra sig som en vätska!

(3p)

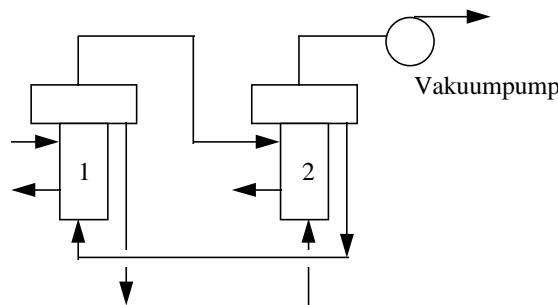
## Del B. Problemdel

**B1.** En industningsanläggning arbetande i motström med två effekter, se figur nedan, vars ytor är lika stora, tillförs 60 ton/h av en 5 procentig kaliumsaltlösning. Tillflödet är kokvarmt. Den koncentrerade lösningen är 50 %. Färskångans mättnadstryck är 3.0 bar. En vakuumpump efter andra effekten gör att trycket i andra effekten är 0.20 bar. Skenbara värmegenomgångstalet i första respektive andra effekten är 1.3 och 1.8 kW/m<sup>2</sup>K.

- Uppskatta färskångförbrukningen samt industareffekternas värmeöverförande yta!
- Vad kan skälet vara att man valt en motströmsanläggning för separationen?

Kokpunktsförhöjningen antas följa ett linjärt samband inom det koncentrationsintervall som gäller enligt  $\beta(^{\circ}\text{C}) = 45 \cdot x$  där  $x$  är viktbråk upplöst ämne. Lösningen antas ha samma entalpi som vatten vid de tillstånd som råder i strömmarna.

(8p)



**B2.** I en tvåstegs torkanläggning torkas ett gods från en fuktkvot på 2,7 till en fuktkvot på 0,3. Godsflödet är 650 kg fuktigt gods per timme. Friskluften till torken håller en temperatur på 10°C och en relativ fuktighet på 60 %. Innan varje steg förvärmis luften till 50°C. Utgående torkluft släpps ut i en låg skorsten, så för att undvika onödig dimbildning i processen, styrs tillståndet på utgående luft så att inga blandningar med friskluft ger upphov till detta.

- Om torkstegen är ideala och utgående torkluft har maximalt tillåten fuktkvot, vad blir då den specifika luftförbrukningen och det specifika värmebehovet?
- Beräkna, med samma förutsättningar, det ingående volymflödet av friskluft till det första torksteget och effektbehovet i förvärmarna.
- De två torkstegen är även möjliga att koppla parallellt (d.v.s. som två stycken enstegstorkar). För att inte förbruka mer friskluft i anläggningen, kan man låta en del av utgående torkluft recirkuleras. Beräkna kvoten mellan recirkulerad luft och friskluft, om ingående friskluftflöde är detsamma som i tvåstegsfallet. Beräkna också effektbehovet i detta fall.

(9p)

Mollierdiagram bifogas.

**B3.** Ett tryckfilter, som har en total filteryta på 7,8 m<sup>2</sup>, används för att filtrera en suspension med en torrhalt på 6,5 vikt-%. Filtringen sker vid ett konstant tryckfall

---

på 2,0 bar och en temperatur på 50°C. Efter 10 min av filtreringen har 11,2 m<sup>3</sup> filtrat producerats, och efter 20 min 17,6 m<sup>3</sup> filtrat.  
På labb har kakans porositet uppmätts till 55 % och det fasta materialets densitet till 2800 kg/m<sup>3</sup>.

- a) Beräkna hur lång tid filtreringen tar, om den avbryts vid en kaktjocklek på 6 cm.
  - b) Uppskatta specifika filtreringsmotståndet och filtermediets motstånd.
- (6p)

**B4.** En förbehandlad kopparmalm innehåller koppar i form av kopparsulfat. Kopparsulfatet ska lakas ut med rent vatten i en flerstegsoperation i motström med ett utbyte på 95% med avseende på kopparsulfat. Ingående raffinatström till lakningsanläggningen består av 10 ton inert ouplöst malm, 1.2 ton kopparsulfat och 0.5 ton vatten per timma. Det inerta materialet kvarhåller 2 kg lösning per kg inert. Extraktströmmen från anläggningen ska hålla 10 vikt-% kopparsulfat.

- Beräkna antalet ideala lakningssteg som fordras samt den mängd vatten som fordras för att genomföra separationen!

Förenkling: För det fall polen hamnar oändligt långt bort från triangeldiagrammet kan driftlinjerna anses vara parallella!

(7p)

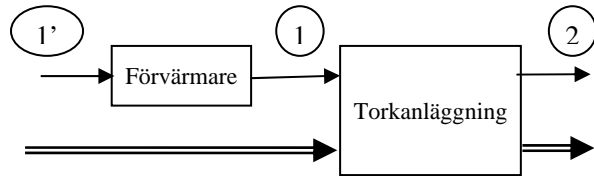
Göteborg 2009-12-30  
Kristers Ström

## 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

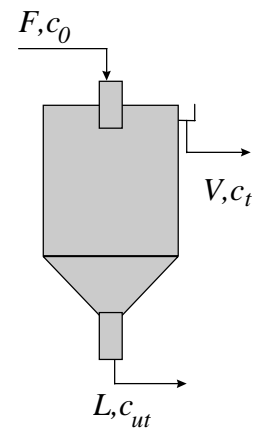
$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu(c\alpha_{av}V + AR_m)}$$

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

### SEDIMENTERING

Fri sedimentering:  $v = \frac{D_p^2(\rho_s - \rho)g}{18\mu}$  ;  $A \geq \frac{F}{v}$

Hindrad sedimentering: Nedre driftlinjen  $cv = \frac{L}{A}(c_{ut} - c)$   
 Övre driftlinjen  $cv = \frac{V}{A}(c - c_t)$



### STRÖMNING I PORÖS BÄDD

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

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

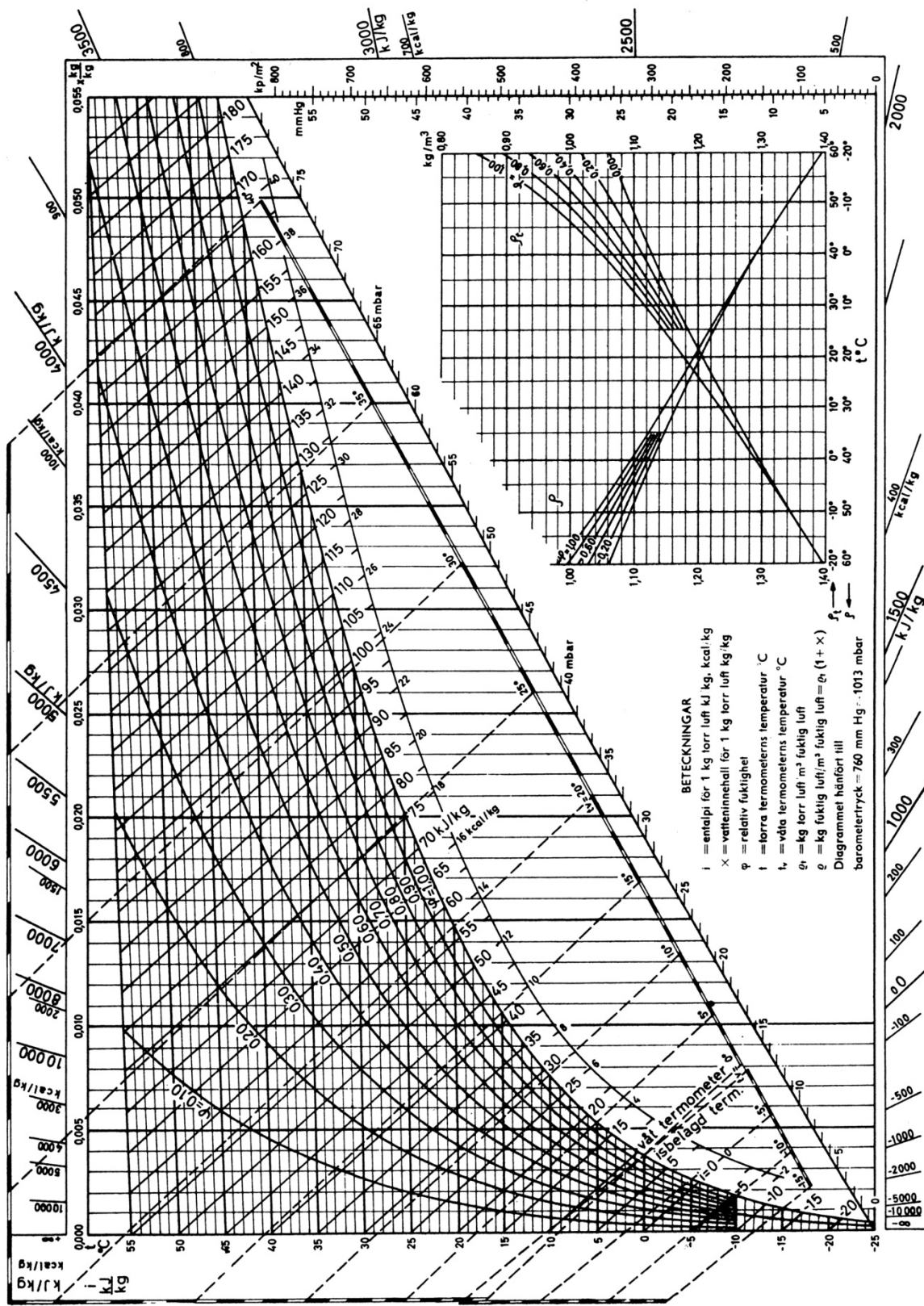
$A$	sedimentationsarea, m <sup>2</sup>
$D_p$	partikelstorlek, m
$g$	tyngdaccelerationen, m/s <sup>2</sup>
$v$	partikelns sedimentationshastighet, m/s
$\mu$	fluidens viskositet, Pa·s
$\rho$	fluidens densitet, kg/m <sup>3</sup>

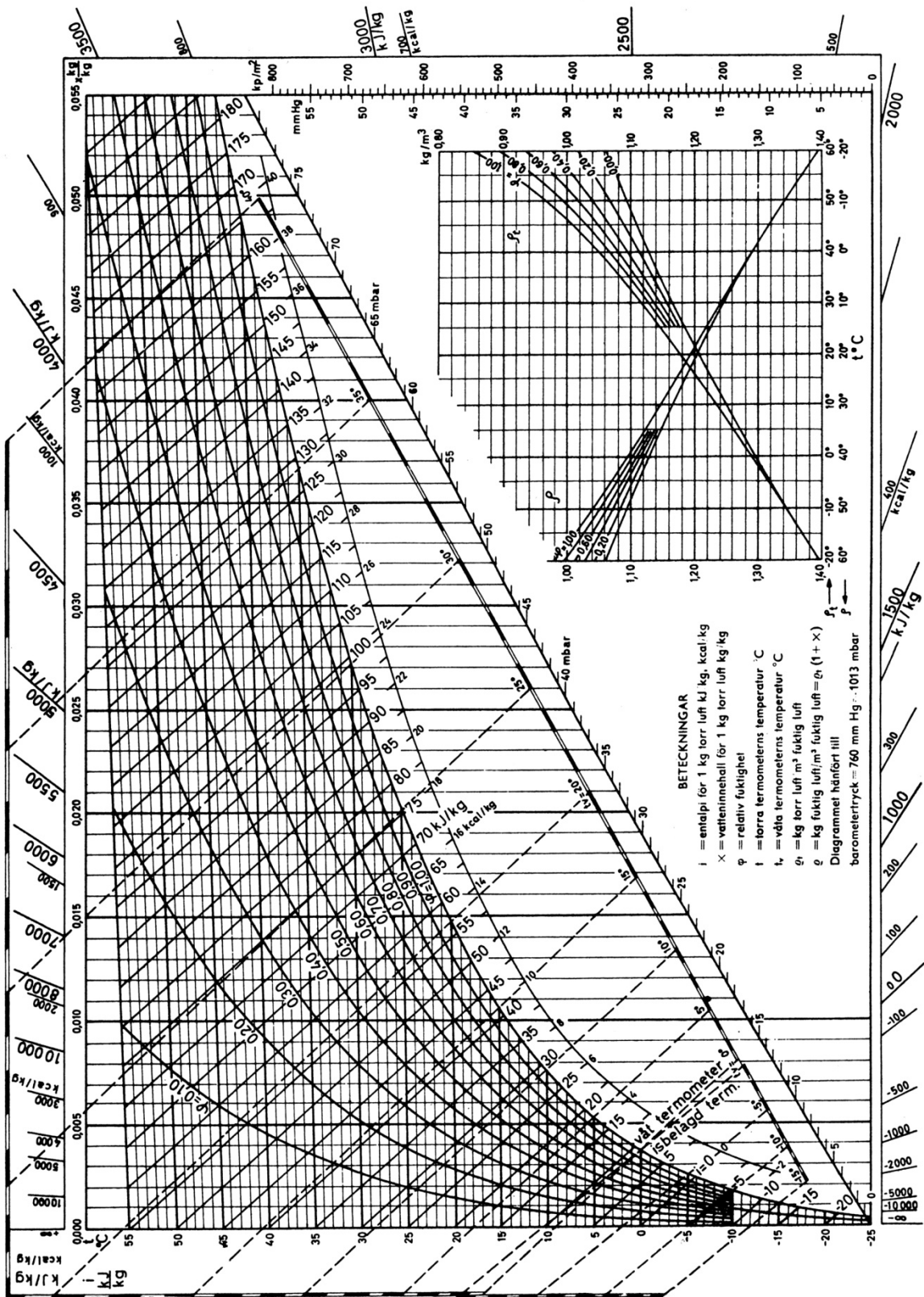
---

$\rho_s$  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, -





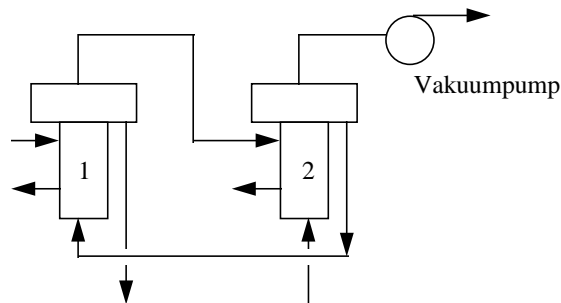


## **B1.**

Data:  $F = 60 \text{ ton/h}$   
 $x_F = 0.05$   
 $x_{L1} = 0.50$   
 $P_S = 3.0 \text{ bar}$   
 $P_2 = 0.20 \text{ bar}$   
 $U_1 = 1.3 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$   
 $U_2 = 1.8 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$   
 $\beta = 45 \cdot x$

Sökt: S, A

Lösning:



$$P_S = 3.0 \text{ bar} \Rightarrow T_S = 133.54 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_2 = 0.20 \text{ bar} \Rightarrow T_2 = 60.09 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{T.B.: } F &= K_2 + V_2 + L_1 & (K_2 = V_1) \\ F &= V_1 + V_2 + L_1 & \text{Uppskattning } V_1 = V_2 = V \\ F &= 2V + L_1 \end{aligned}$$

$$\text{K.B.: } Fx_F = L_1x_{L1} \quad \Rightarrow \quad L_1 = 6 \text{ ton/h}$$

$$V = \frac{1}{2} \cdot (F - L_1) \quad \Rightarrow \quad V = 27 \text{ ton/h} \quad \{ = V_1 = V_2 \}$$

$$\text{T.B. Effekt 2: } F = L_2 + V_2 \quad \Rightarrow \quad L_2 = 33 \text{ ton/h}$$

$$\text{K.B. Effekt 2: } Fx_F = L_2x_{L2} \quad \Rightarrow \quad x_{L2} = 0.09$$

Kokpunktsförhöjning och temperaturer

$$\text{Effekt 1: } \beta_1 = 45 \cdot 0.50 \quad \Rightarrow \quad \beta_1 = 22.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Effekt 2: } \beta_2 = 45 \cdot 0.09 \quad \Rightarrow \quad \beta_2 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{TOT}} &= \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad \Rightarrow \\ \Delta T_{\text{TOT}} &= T_S - T_2 - \Sigma\beta \\ \Delta T_{\text{TOT}} &= 46.95 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

---

$$\Delta T_1 = T_S - T_{V1} - \beta_1 \quad \Rightarrow \quad T_{V1} = 86.6 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_1 \approx 0.58 \text{ bar}$$

$$P_1 \approx 0.58 \text{ bar} \quad \Rightarrow \quad \Delta H_{VAP1} \approx 2293 \text{ kJ/kg}$$

Färskångförbrukningen

$$\left. \begin{array}{l} S \cdot \Delta H_{VAPS} = V_2 \cdot \Delta H_{VAP2} \\ \Delta H_{VAPS} = 2163.92 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H_{VAP2} = 2357.68 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \Rightarrow S = 29.47 \text{ ton/h}$$

Värmeöverförande ytor

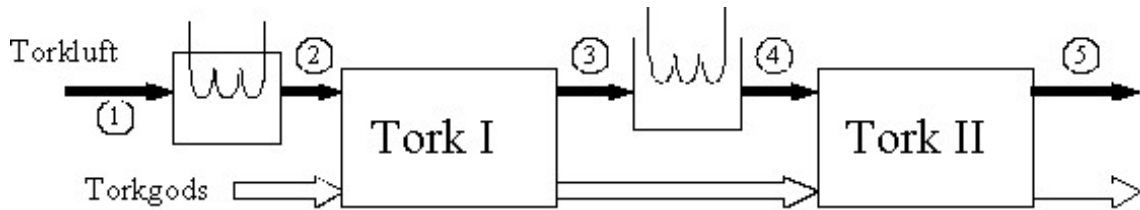
$$S \cdot \Delta H_{VAPS} = U_1 A_1 \Delta T_1 \quad \Rightarrow \quad A_1 = 499.86 \text{ m}^2$$

$$V_1 \cdot \Delta H_{VAPV1} = U_2 A_2 \Delta T_2 \quad \Rightarrow \quad A_2 = 485.56 \text{ m}^2$$

Beräknas ett medelvärde på ytorna fås ca  $493 \text{ m}^2$ . De enskilda ytorna skiljer sig mindre än 2% från medelvärdet. OK!

Svar: Färskångbehovet är 29.5 ton/h och Värmeöverförande ytor är  $493 \text{ m}^2$ .

## B2



Figur 1: Två torksteg

### Givna data

$X_{in} = 2,7 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$	$T_1 = 10^\circ\text{C}$
$X_{ut} = 0,3 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$	$\phi_1 = 0,60$
$\dot{M}_{fg,in} = 0,1806 \text{ kg fuktigt gods/s}$	$T_{max} = 50^\circ\text{C}$

### Sökt

- $l$  och  $q$
- $\dot{V}_{in}$  och  $\dot{Q}_b$
- $Rec/Frisk$  och  $\dot{Q}_c$

### Lösning

a)

För att kunna bestämma specifik luftförbrukning, måste vi veta luftens fuktkvotsändring, eftersom:

$$l = \frac{\dot{M}_G}{\dot{M}_G \cdot \Delta Y} = \frac{1}{\Delta Y} \quad (1)$$

med

$$\Delta Y = Y_5 - Y_1 \quad (2)$$

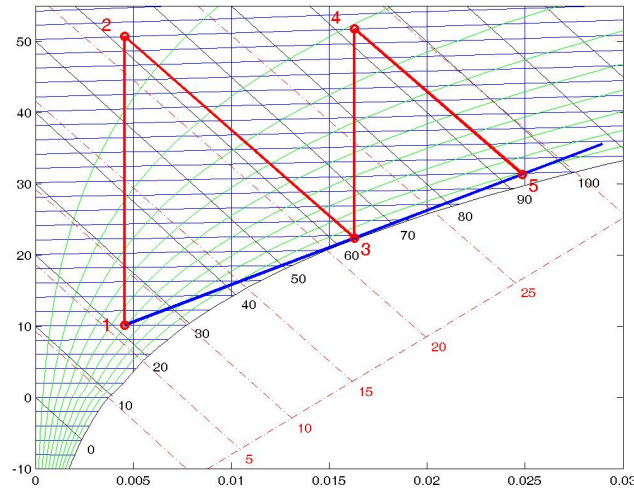
Ritar vi in torkförloppet i ett Mollierdiagram (med förvärmning till  $T_{max}$  i båda stegen), kan vi bestämma  $\Delta Y$ .

För att bestämma utgående luftens tillstånd, måste vi ta hänsyn till att det inte får bildas dimma när den blandas med ingående friskluft. Eftersom alla möjliga blandningar ligger på en linje mellan de två tillstånden, måste alltså denna linje undvika att korsa mättnadskurvan. Alla utgående tillstånd med maximalt möjlig fuktkvot ligger på den linje som är så nära detta som möjligt, d.v.s. på en tangent till mättnadskurvan. Drar man denna tangent från friskluftens tillstånd (1), får sista torksteget inte hamna under denna linje om dimbildning ska undvikas.

Inritning av denna tangent tillsammans med de två ideala torkstegen i figur 2, kan nu ge oss avläsning av de fuktkvotsvärden vi behöver:

$$Y_1 = 0,005 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$Y_5 = 0,025 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$



Figur 2: Två ideala torksteg utan dimbildning

Insättning i ekvation (2) och (1) ger nu:

$$\Delta Y = 0,020 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$l = 49 \text{ kg torr luft/kg avdunstat}$$

Specifika värmebehovet fås ur:

$$q = \frac{\dot{M}_G \cdot \sum \Delta H}{\dot{M}_G \cdot \Delta Y} = \frac{H_2 - H_1 + H_4 - H_3}{\Delta Y} \quad (3)$$

Avläsning av entalpi värden ur figur 2:

$$H_1 = 22 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_3 = 63 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_2 = 62 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_4 = 93 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Insättning i ekvation (3) ger:

$$q = 3441 \text{ kJ/kg avdunstat}$$

$$= 3,4 \text{ MJ/kg avdunstat}$$

**b)**

För att beräkna ingående volymflöde, måste vi först bestämma massflödet. Detta gör vi med hjälp av fuktbalansen:

$$\dot{M}_D = \dot{M}_S \cdot \Delta X = \dot{M}_G \cdot \Delta Y \quad (4)$$

$$\dot{M}_G = \frac{\dot{M}_S \cdot \Delta X}{\Delta Y} \quad (5)$$

---

Först måste vi bestämma det torra godsflödet. Detta görs ur:

$$\dot{M}_S = \frac{\dot{M}_{fg,in}}{1 + X_{in}} \quad (6)$$

Insättning i ekvationerna (6) och (5) ger:

$$\dot{M}_S = 0,049 \text{ kg torrt gods/s} \quad \dot{M}_G = 5,764 \text{ kg torr luft/s}$$

För att räkna om till volymflöde, måste vi känna till densiteten på ingående torkluft. Ur hjälpdigrammet får vi värdet för  $\rho_{t,in}$ :

$$\rho_{t,in} = 1,24 \text{ kg torr luft/m}^3$$

Nu kan vi bestämma volymflödet ur:

$$\dot{V}_{in} = \frac{\dot{M}_G}{\rho_{t,in}} \quad (7)$$

$$\dot{V}_{in} = 4,656 \text{ m}^3/\text{s}$$

Effekten kan fås ur entalpiändringen i förvärmningsstegen enligt:

$$\Delta H_{uppv} = H_2 - H_1 + H_4 - H_3 \quad (8)$$

$$\dot{Q} = \dot{M}_G \cdot \Delta H_{uppv} \quad (9)$$

Insättning av värden ger:

$$\Delta H_{uppv,a} = 69,9 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\dot{Q}_b = 403 \text{ kW}$$

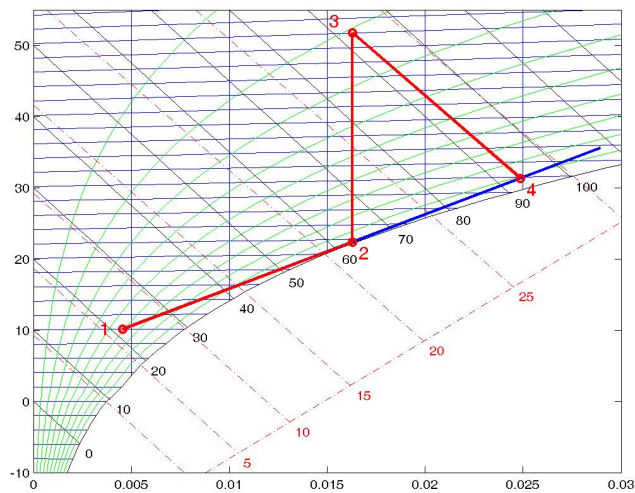
**c)**

Vid recirkulation blandas utgående torkluft och ingående friskluft. Blandningen hamnar då på en linje mellan de båda tillstånden, d.v.s. samma linje som vi redan utnyttjat vid dimbildningsproblematiken. Om ingående friskluftflöde dessutom är samma som i tvåstegsfallet, måste även utgående tillstånd vara detsamma (p.g.a. samma  $\Delta Y$ ). Ett baklängessteg med samma förutsättningar innebär därför att torksteget motsvarar det sista steget i tvåstegsfallet.

Inritning i Mollierdiagrammet kan ses i figur 3. För att beräkna kvoten mellan recirkulerad luft och friskluft kan vi utnyttja hävstångsregeln, som säger att avståndet till blandningspunkten är omvänt proportionellt mot massflödet. Detta kan beskrivas genom mätning i figuren, eller genom beräkning m.h.a. en specifik egenskap, t.ex. fuktkvoten:

$$\dot{M}_{Rec} \cdot (Y_4 - Y_2) = \dot{M}_{Frisk} \cdot (Y_2 - Y_1) \quad (10)$$

$$Rec/Frisk = (Y_2 - Y_1)/(Y_4 - Y_2) \quad (11)$$



Figur 3: Ett torksteg med recirkulation

Värden ur figur ger:

$$Y_1 = 0,005 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$Y_4 = 0,025 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$Y_2 = 0,016 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$Rec/Frisk = 1,4$$

När det gäller effekten, bestäms den ur entalpiändringen över torksteget, men nu måste vi ta hänsyn till att det är ett ökat flöde genom torksteget:

$$\Delta H_{uppv} = H_2 - H_1 \quad (12)$$

$$\dot{Q}_c = (\dot{M}_{Frisk} + \dot{M}_{Rec}) \cdot \Delta H_{uppv,c} \quad (13)$$

Avläsning och insättning av värden ger:

$$H_2 = 63 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_3 = 93 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\Delta H_{uppv,c} = 29,4 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\dot{M}_{Frisk} + \dot{M}_{Rec} = 13,7 \text{ kg torr luft/s}$$

$$\dot{Q}_c = 401 \text{ kW}$$



---

## B3

### Givna data

$A = 7,8 \text{ m}^2$	$t_2 = 1200 \text{ s}$
$J = 0,065 \text{ kg fast/kg suspension}$	$V_2 = 17,6 \text{ m}^3$
$\Delta P = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$	$\epsilon_{av} = 0,60$
$T = 50^\circ \text{C}$	$\rho_S = 2600 \text{ kg fast/m}^3$
$t_1 = 600 \text{ s}$	$L_{kaka} = 0,060 \text{ m}$
$V_1 = 11,2 \text{ m}^3$	

### Sökt

- $t_{slut}$
- $\alpha_{av}$  och  $R_m$

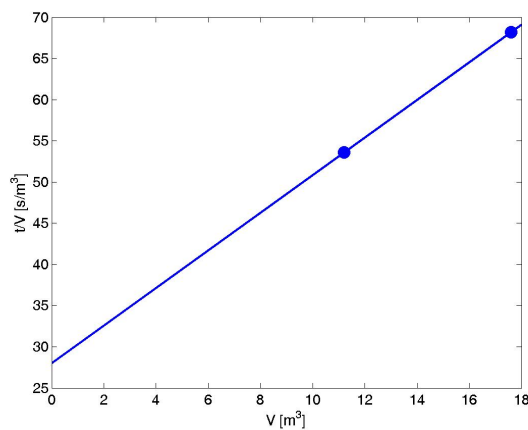
### Lösning

a)

Eftersom tryckfallet är konstant, blir resultatet av en integrering (från  $t=0$ ):

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \alpha_{av} c}{2A^2 \Delta P} V + \frac{\mu R_m}{A \Delta P} \quad (1)$$

Om värdena för  $t/V$  avsätts mot  $V$ , bör alltså en linje bildas. Beräkning av  $t/V$  och plottning ger:



Figur 1:  $t/V$  mot  $V$

Eftersom det bara finns två punkter, kan vi bestämma lutning och skärning ur figur (1), eller genom beräkning:

$$\text{Lutning} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2)$$

$$\text{Skärning} = y - \text{Lutning} \cdot x \quad (3)$$

---

y-värdena är i detta fallet  $t/V$ -värden:

$$(t/V)_1 = 54 \text{ s/m}^3 \qquad (t/V)_2 = 68 \text{ s/m}^3$$

I båda fallen blir resultatet:

$$\text{Lutning} = 2,28 \cdot 10^0 \text{ s/m}^6 \qquad \text{Skärning} = 3 \cdot 10^1 \text{ s/m}^3$$

Vi kan bestämma  $\alpha_{av}$  och  $R_m$  ur lutningen, men kan också bestämma filtreringstiden med hjälp av den förenklade ekvationen:

$$\frac{t}{V} = \text{Lutning} \cdot V + \text{Skärning} \quad (4)$$

som ger:

$$t_{slut} = \text{Lutning} \cdot V_{tot}^2 + \text{Skärning} \cdot V_{tot} \quad (5)$$

Först måste totala filtratvolymen tas fram, m.h.a. kakvolymen (filtervolymen) och kvoten  $c$ :

$$c = \frac{m_s}{V} \quad (6)$$

$$V_{tot} = \frac{m_{s,kaka}}{c} = \frac{\rho_s(1 - \epsilon_{av})V_{kaka}}{c} \quad (7)$$

$c$  bestäms enligt:

$$c = \frac{J\rho}{1 - J - \frac{\epsilon_{av}}{1 - \epsilon_{av}} J \frac{\rho}{\rho_s}} \quad (8)$$

Vi saknar ett värde på  $\rho$ . Detta fås ur tabell (t.ex. D&D s.76) vid den givna temperaturen:

$$\rho = 988,1 \text{ kg/m}^3$$

Insättning i ekvation (8) och (7) ger nu:

$$c = 71,5 \text{ kg/m}^3 \qquad V_{tot} = 6,80 \text{ m}^3$$

Ekvation (5) ger oss nu:

$$t_{slut} = 296 \text{ s} \qquad = 4,9 \text{ min}$$

## b)

För att bestämma  $\alpha_{av}$  och  $R_m$  identifierar vi lutningen och skärningen i ekvation (1). Ur detta får vi:

$$\alpha = \frac{2A^2\Delta P \cdot \text{Lutning}}{\mu c} \quad (9)$$

och

$$R_m = \frac{A\Delta P \cdot \text{Skärning}}{\mu} \quad (10)$$

Vi behöver ett värde på  $\mu$ , vilket fås ur tabell:

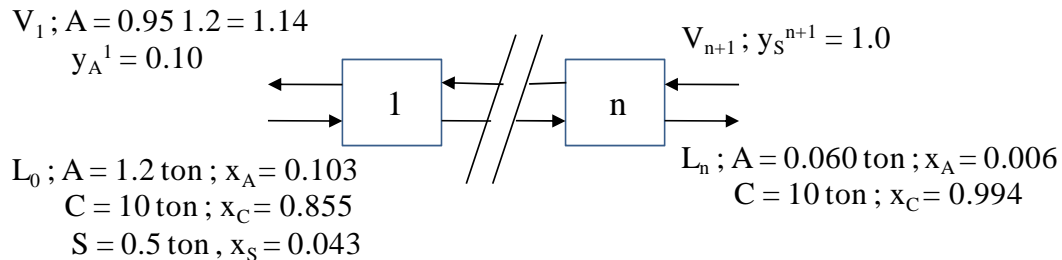
$$\mu = 5,490 \cdot 10^{-4} \text{ Pa s}$$

Insättning i ekvationerna (9) och (10) ger nu:

$$\alpha_{av} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ (m/kg)} \qquad R_m = 8,0 \cdot 10^{10} \text{ (1/m)}$$

#### **B4.**

Data: Se figur nedan.



Sökt: Antal ideala lakningssteg som fordras för separationen samt flödet av extraktionsvätska.

Lösning:

Geometrisk orten för underströmmarna

$$\frac{S + A}{C} = 2 \quad ; \quad \frac{x_A + x_S}{1 - x_A - x_S} = 2 \quad ; \quad x_S = \frac{2}{3} - x_A$$

Geometrisk orten kan konstrueras i triangelndiagram. Kända strömmars sammansättningar markeras i triangelndiagrammet. Polen hamnar  $\infty$  långt under triangelndiagrammet  $\Rightarrow$  Driftlinjerna parallella.

”Stegning” ger 7 ideala lakningssteg.

Hävstångsregeln ger att  $V_8 = 29.5 \text{ ton/h}$

Svar: 7 ideala lakningssteg samt 29.5 ton/h