



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

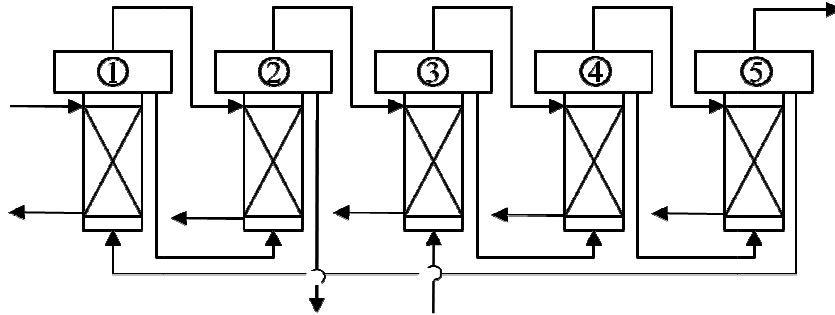
Institutionen för kemi- och bioteknik

Avdelningen för kemiteknik

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	Fredag 21 oktober, 2011, kl 08.30-13.30.	
LOKAL	V-salar	
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med tömt minne. Egna anteckningar och kursmaterial är ej godkänt hjälpmedel "Data och Diagram" av Sven-Erik Mörtstedt/Gunnar Hellsten "Physics Handbook" av Carl Nordling/Jonny Österman "BETA β " 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 24 oktober på kurshemsidan, studentportalen. Resultat på tentamen meddelas tidigast 11 november efter kl 12.00 via e-post. Granskning onsdag 16 november kl 12.30-13.00 samt onsdag 23 november 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 totalpoäng. Samtliga diagram och bilagor skall bifogas lösningen av tentamensuppgiften. Diagram och bilagor kan <u>ej</u> kompletteras med vid senare tillfälle. Det är Ditt ansvar att Du besitter nödvändiga kunskaper och färdigheter. Det material som Du lämnar in för rättning skall vara väl läsligt och förståeligt. Material som inte uppfyller detta kommer att utelämnas vid bedömningen. Betygsgränser: 20-29 poäng betyg 3, 30-39 poäng betyg 4 och 40-50 poäng ger betyg 5.	

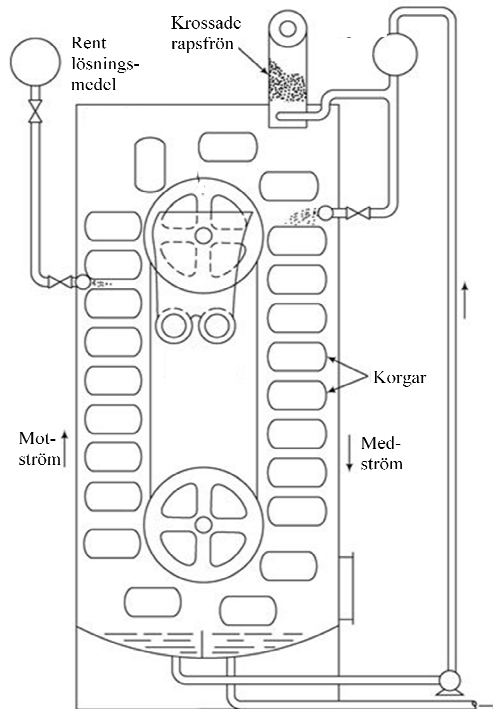
Del A. Teoridel

- A1.** I figuren nedan redovisas en anläggning för svartlutsindunstning med fem effekter, vilka har lika stora värmeöverförande ytor.



Redogör för;

- a) vad skälet är till att man påför tillflödet till effekt 3!
b) vad skälet kan vara till varför koncentrerad lösning förs från indunstaren 5 till 1!
(3p)
- A2.** a) Varför har våttemperaturisotermerna nästan samma lutning som isentalperna i ett Mollierdiagram?
b) Du ska torka ett temperaturkänsligt material i form av en suspension. Namnge och beskriv en lämplig tork för detta ändamål.
(2p)
- A3.** a) Vad innebär det specifika filtrermotståndet, α_{av} ? Hur påverkas detta av partikelstorleken hos det filtrerade materialet?
b) Nämn en satsvis och en kontinuerlig filterutrustning, och beskriv kortfattat de båda utrustningarnas funktion.
(3p)
- A4.** a) Varför är det gynnsamt med en liten partikelstorlek vid en lagningsoperation?
b) Vad är nackdelen?
(3p)
- A5.** Figuren nästa sida beskriver en lagningsutrustning, en så kallad Bollmanextraktor, för utvinning av ex.vis rapsolja ur rapsfrön.
- Beskriv funktionen hos utrustningen!
 - Varför väljer man att använda både ett med- och motströmsförfarande i samma apparatur? Motivera svaret!

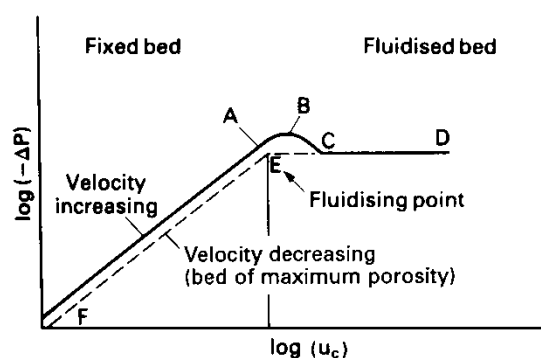


(3p)

- A6.** a) Varför är vätske-vätske extraktion att föredra framför destillation vid separation av myrsyra och vatten i industriella processer?
 b) Ge några förslag, minst två, till varför vätska-vätskaextraktion av andra orsaker än ovan bör väljas i stället för destillation i industriella processer!

(2p)

- A7.** Figuren nedan visar tryckfallet över en bädd bestående av fast material som funktion av gashastigheten! Beskriv hur tryckfallet, ΔP , kommer att kunna representeras i figuren då gashastigheten, u_c , ökar bortom punkten D!



(2p)

- A8.** Visa matematiskt att koncentrationen, c , är lika med tillfödets koncentration, c_0 , då övre och nedre driftlinjen sammanfaller i en partikel-fluxkurva vid beräkning av ex.vis kapacitet hos en Dorrfortjockare !

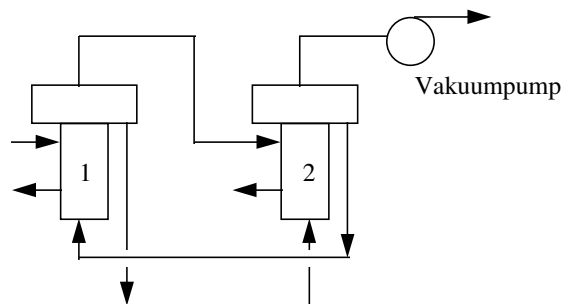
(2p)

Del B. Problemdel

B1. En industrianläggning arbetande i motström med två effekter, se figur nedan, vars ytor är lika stora, tillföres 60 ton/h av en 10 procentig natriumhydroxidlösning. Tillflödet är kokvarmt. Den koncentrerade lösningen är 50 %. Färskångans mättnadstryck är 2.9 bar. En vakuumpump efter andra effekten gör att trycket i andra effekten är 0.15 bar. Skenbara värmegenomgångstalet i första respektive andra effekten är 1.3 och 1.7 kW/m²K.

- Uppskatta färskångförbrukningen samt industareffekternas värmeöverföringsyta!

Dürringdiagram samt diagram över entalpidata finns i bilaga 1.



(8p)

B2. En konvektiv tork ska användas för att torka ett temperaturkänsligt material. Torkgodsfloppet in till torken är 3,4 ton fuktigt gods per timme och det håller en fuktkvot på 2,7. Utgående torkgod har en fuktkvot på 0,7. Godset bör inte utsättas för högre temperatur än 50°C.

Torkluftens tillstånd varierar och för dimensioneringen studerar man två fall. I det ena är ingående temperatur 5°C och relativa fuktigheten 50 %, i det andra är temperaturen 20°C och relativa fuktigheten 60 %. För att undvika problem med avgaserna, bör inte utgående relativ fuktighet vara högre än 90 %.

- Bestäm för de båda fallen, under förutsättning att torkningen sker idealt, specifik luftförbrukning, specifikt värmebehov, luftförbrukning i m³/h och tillförd värmeeffekt.
- Förlusterna i torken kan uppskattas ge en entalpinminskning i torkluften på 600 kJ/kg avdunstat. Om utgående luft fortfarande inte får hålla högre relativ fuktighet än 90 %, vad blir då den maximala luftförbrukningen (i m³/h) vid de dimensionerande fallen?

(8p)

Mollierdiagram bifogas

B3. Ett bandfilter är en kontinuerlig filteringsutrustning, där det porösa filtermediet vilar på ett band som transporterar den växande filterkakan över suglådor. I suglådorna skapas ett undertryck, som gör att den tillförda suspensionen dräneras. För bästa funktion, är det viktigt att avpassa flödet av tillförd suspension till tiden som bandet

rör sig över suglådorna, för att balansera filtreringstiden.

Till ett bandfilter med bredden 1,75 m, och där suglådorna är 14 m i bandets färdriktning, förs ett suspensionsflöde på 4,8 m³/min. Suspensionen innehåller 2,5 volym-% fasta partiklar, med en densitet på 3200 kg/m³. Vätskans densitet är 1000 kg/m³ och viskositeten 0,0010 Pa s. Den bildade kakans porositet är 0,48. Tryckskillnaden över bandet är 0,5 bar.

- a) I ett labbförsök med samma suspension och med motsvarande filtermedium (d.v.s. samma motstånd som i bandfiltret kan antas), erhöles för en filteryta på 0,025 m² en filtratvolym på 5,0 liter efter 1,25 min och en volym på 10,0 liter efter 4,6 min. Beräkna specifika filtreringsmotståndet och filtermediets motstånd, om vätskans och kakans egenskaper är desamma som i bandfiltret, och labbfiltrets tryckskillnad är 0,30 bar.
- b) Hur hög bör bandets hastighet vara, för att klara den önskade kapaciteten?

Ledning: Bandets passage över suglådorna kan jämföras med en filtreringscykel, och den totala filtratvolymen kan beräknas ur ingående suspensionsflöde m.h.a.

$$V_{tot} = \frac{1 - \epsilon - J_{vol}}{1 - \epsilon} \cdot \dot{V}_{susp} \cdot t_{cykel}$$

där J_{vol} är volymandel fast fas i suspensionen, \dot{V}_{susp} är suspensionsflödet, och t_{cykel} är tiden för bandets passage över suglådorna.

(7p)

- B4.** En vattenlösning innehåller 6 vikt-% av en ester. Denna lösning ska extraheras med ren bensen så att 92 % av estern utvinns. Vatten och bensen kan anses helt olösliga i varandra. I aktuellt koncentrationsområde kan jämviktsambandet tecknas,

$$Y \left[\frac{\text{kg ester}}{\text{kg bensen}} \right] = 1.2 \cdot X \left[\frac{\text{kg ester}}{\text{kg vatten}} \right]$$

- Beräkna halten ester i utgående extraktfas och antalet ideala steg om ingående vattenlösning är 19 kg/h och ingående bensenflöde i kg/h är 1.6 gånger det minimala!

(7p)

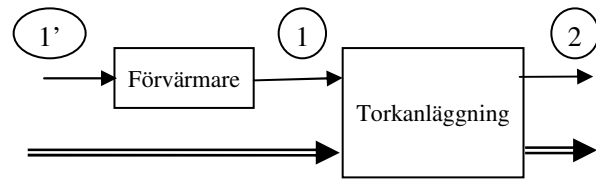
Göteborg 2011-10-04
Krister Ström

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

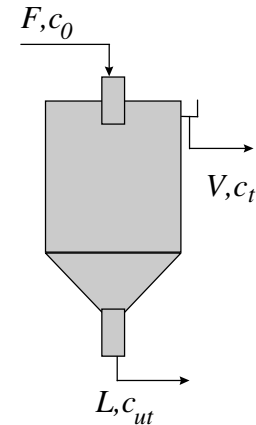
$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu(c\alpha_{av} V + AR_m)}$$

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

SEDIMENTERING

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

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 torkgoods, 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 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

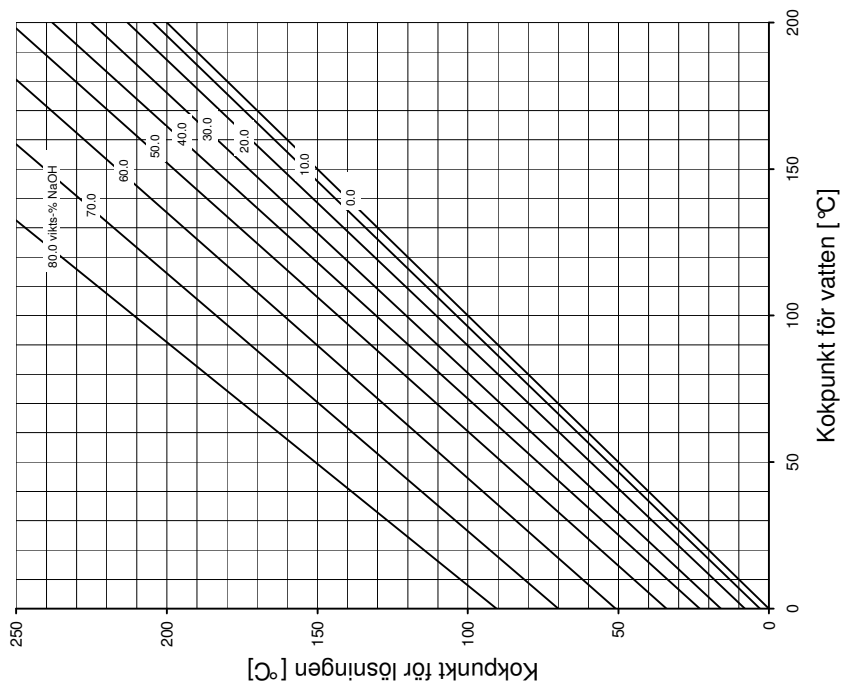
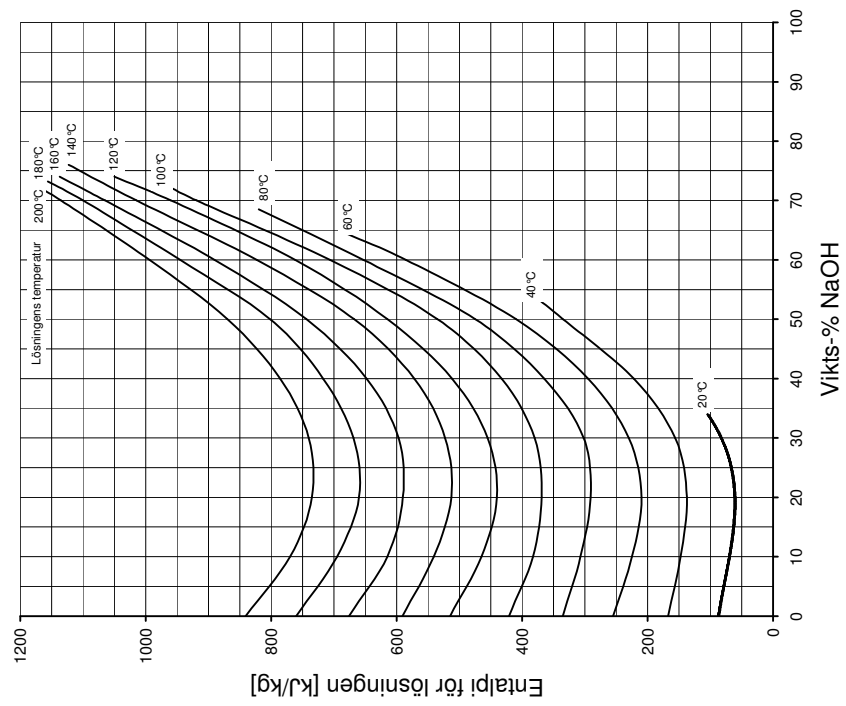
SEDIMENTERING

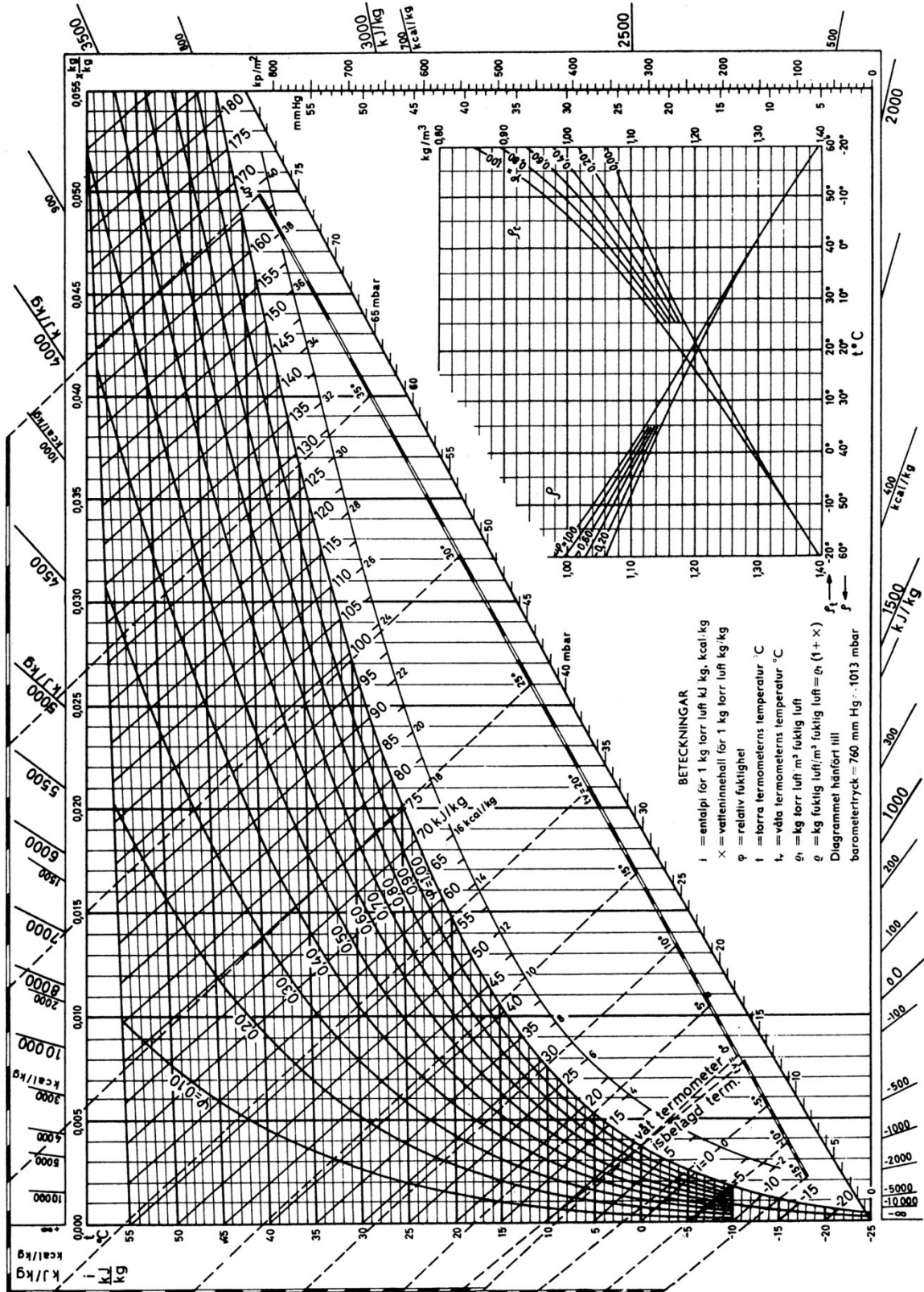
A	sedimentationsarea, m ²
D_p	partikelstorlek, m
g	tyngdaccelerationen, m/s ²
v	partikelns sedimentationshastighet, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s

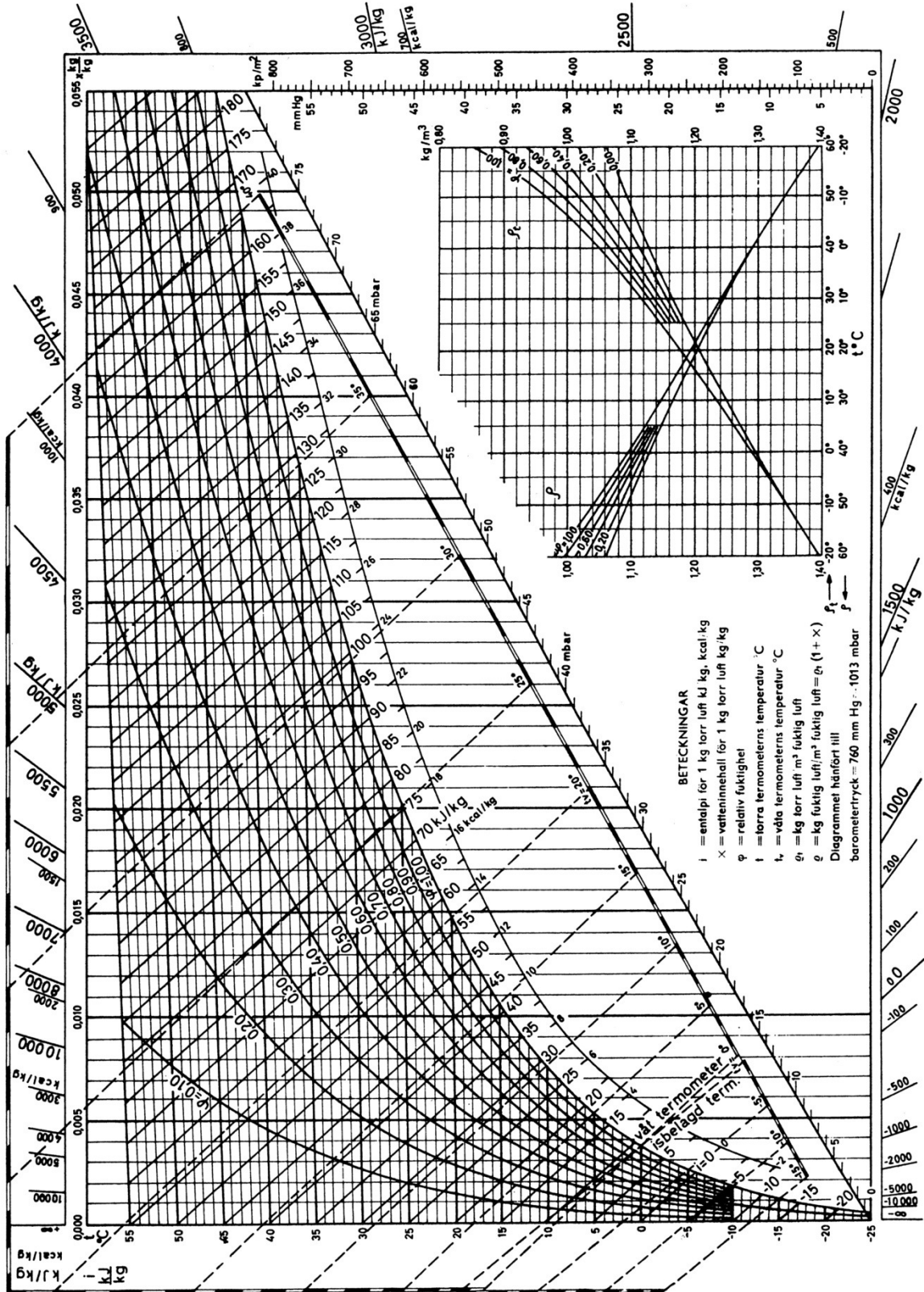
ρ	fluidens densitet, kg/m ³
ρ_s	fasta fasens densitet, kg/m ³

STRÖMNING I PORÖS BÄDD

ρ_s	fasta fasens densitet, kg/m ³
D_p	partikelstorlek, m
g	Acceleration i gravitationsfält, m/s ²
K''	Kozenys konstant
S	Partikelns specifika yta, m ² /m ³
v_{mf}	Minsta hastighet för fluidisation, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s
ρ	fluidens densitet, kg/m ³
ϵ_{mf}	Bäddens porositet vid minsta hastighet för fluidisation, -







B1.

Data: $F = 60 \text{ ton/h}$
 $x_F = 0.10$
 $x_{L1} = 0.50$
 $P_S = 2.9 \text{ bar}$
 $P_2 = 0.15 \text{ bar}$
 $U_{SKB,1} = 1.3 \text{ kW/m}^2\text{K}$
 $U_{SKB,2} = 1.7 \text{ kW/m}^2\text{K}$

Sökt: S samt A_1 och A_2 .

Lösning:

I uppgiftsformuleringen står att en uppskattning ska göras dvs förenklade värmebalanser ska användas.

Totalbalans: $F = V_1 + V_2 + L_1$ Antag att $V_1 \approx V_2$ och kontrollera mot ytorna
 $F = 2V + L_1$

Komponentbalans: $Fx_F = L_1x_{L1} \Rightarrow L_1 = 12 \text{ ton/h}$

$$V = \frac{1}{2}(F - L_1) \Rightarrow V_1 = V_2 = 24 \text{ ton/h}$$

För att kunna bestämma kokpunktsförhöjningarna fordras kännedom om x_{L2} .

Totalbalans över effekt 2: $F = V_2 + L_2 \Rightarrow L_2 = 36 \text{ ton/h}$
Komponentbalans över effekt 2: $Fx_F = L_2x_{L2} \Rightarrow x_{L2} = 0.17$

Kokpunktsförhöjningar.

Effekt 2 $P_2 = 0.15 \text{ bar} \Rightarrow T_2' = 54^\circ\text{C}$
Dürring ger $T_2 = 64^\circ\text{C} \Rightarrow \beta_2 = 10^\circ\text{C}$

Effekt 1 $P_S = 2.9 \text{ bar} \Rightarrow T_S = 132.39^\circ\text{C}$
 P_1 är obekant men ligger mellan P_S och P_2 vilket ger ett $\beta_1 = 41^\circ\text{C}$ då kokpunktsförhöjningen är nära konstant i intervallet.

Temperaturdifferenser.

$$\Delta T_{\text{TOT}} = T_S - T_2' - \beta_1 - \beta_2 \Rightarrow \Delta T_{\text{TOT}} = 27.4^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{TOT}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 \text{ samt } U_{SKB,1}\Delta T_1 = U_{SKB,2}\Delta T_2 \Rightarrow \Delta T_{\text{TOT}} = \left(1 + \frac{U_{SKB,1}}{U_{SKB,2}}\right) \Delta T_1$$
$$\Delta T_1 = 15.5^\circ; \Delta T_2 = 11.9^\circ$$

Kapacitetsekvationen

$$\left. \begin{aligned} Q &= U_{SKB} A \Delta T \\ Q &= S \Delta H_{VAP} \end{aligned} \right\} A$$

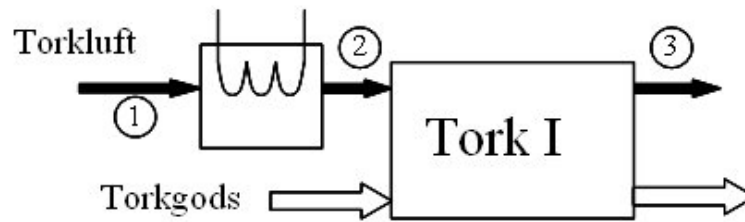
$$\left. \begin{aligned} S \Delta H_{VAP,S} &= V_2 \Delta H_{VAP,V2} \\ \Delta H_{VAP,S} &= 2167.28 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H_{VAP,V2} &= 2372.50 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \right\} S = 26.3 \text{ ton/h}$$

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{S \Delta H_{VAP,S}}{U_{SKB,1} \Delta T_1} \Rightarrow A_1 = 785.8 \text{ m}^2 \\ A_2 &= \frac{S \Delta H_{VAP,S}}{U_{SKB,2} \Delta T_2} \Rightarrow A_2 = 782.7 \text{ m}^2 \end{aligned} \right\} A_m = 785 \text{ m}^2$$

Ytorna skiljer säg åt <5%. Antagandet $V_1 \approx V_2$ är OK!

Svar: $S = 26.3 \text{ ton/h}$; $A = 785 \text{ m}^2$

B2



Figur 1: Ett torksteg

Givna data

$\dot{M}_{fg,in} = 3,4 \text{ ton/h}$	$\phi_{in,1} = 0,50$
$X_{in} = 2,7 \text{ kg fukt/kg torr gods}$	$T_{in,2} = 20^\circ\text{C}$
$X_{ut} = 0,7 \text{ kg fukt/kg torr gods}$	$\phi_{in,2} = 0,60$
$T_{max} = 50^\circ\text{C}$	$\phi_{ut} = 0,90$
$T_{in,1} = 5^\circ\text{C}$	$q_F = 600 \text{ kJ/kg avdunstat}$

Sökt

- $l_1, l_2, q_1, q_2, \dot{V}_{in,1}, \dot{V}_{in,2}, \dot{Q}_1$ och \dot{Q}_2
- $\dot{V}_{in,max}$

Lösning

a)

För att kunna bestämma specifik luftförbrukning, måste vi veta luftens fuktkvot-sändring, eftersom:

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

med

$$\Delta Y = Y_3 - Y_1 \quad (2)$$

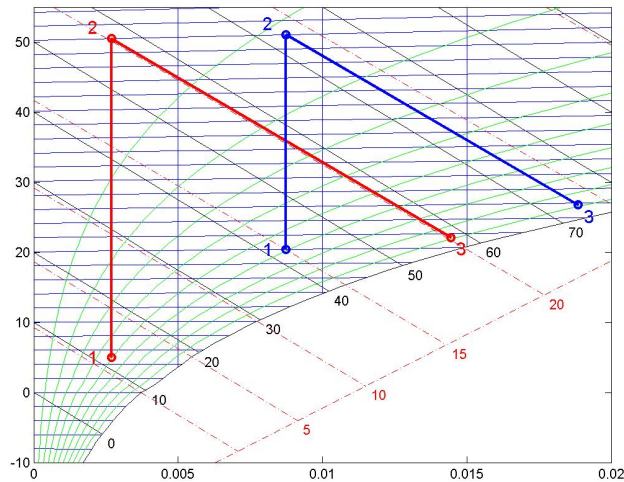
Ritar vi in torkförloppet i ett Mollierdiagram (med förvärmning till T_{max}) för de båda fallen, kan vi bestämma ΔY . Avläsning av fuktkvotvärden ur figur 2:

Fall 1: $Y_1 = 0,0027 \text{ kg fukt/kg torr luft}$	$Y_3 = 0,0144 \text{ kg fukt/kg torr luft}$
Fall 2: $Y_1 = 0,0087 \text{ kg fukt/kg torr luft}$	$Y_3 = 0,0189 \text{ kg fukt/kg torr luft}$

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

$$\Delta Y_1 = 0,0118 \text{ kg fukt/kg torr luft} \quad \Delta Y_2 = 0,0101 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$l_1 = 85 \text{ kg torr luft/kg avdunstat} \quad l_2 = 99 \text{ kg torr luft/kg avdunstat}$$



Figur 2: Ett torksteg i Mollierdiagrammet (två olika fall)

Specifika värmebehovet fås ur:

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

Avläsning av entalpivärden ur figur 2:

Fall 1: $H_1 = 12 \text{ kJ/kg torr luft}$

$H_2 = 57 \text{ kJ/kg torr luft}$

Fall 2: $H_1 = 42 \text{ kJ/kg torr luft}$

$H_2 = 73 \text{ kJ/kg torr luft}$

Insättning i ekvation (3) ger:

$$q_1 = 3866 \text{ kJ/kg avdunstat} \\ = 3,9 \text{ MJ/kg avdunstat}$$

$$q_2 = 3024 \text{ kJ/kg avdunstat} \\ = 3,0 \text{ MJ/kg avdunstat}$$

För att få reda på luftflöde och värmeeffekt, behöver vi först bestämma det torra luftflödet, eftersom de specifika värdena räknas per torr luftmängd. Denna kan vi bestämma m.h.a. fuktbalansen över torken:

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

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

Först måste vi räkna om torkgodsflödet från fuktigt flöde till torrt flöde. Det görs med hjälp av:

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

$$\dot{M}_S = 0,255 \text{ kg torrt gods/s}$$

Insättning i ekvation (5) ger:

$$\dot{M}_{G,1} = 43,4 \text{ kg torr luft/s} \qquad \dot{M}_{G,2} = 50,4 \text{ kg torr luft/s}$$

Nu kan vi beräkna luftförbrukningen genom:

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

Vi läser av ρ_t vid ingående lufttemperatur och relativ fuktighet för de båda fallen i hjälpdiagrammet:

$$\rho_{t,in,1} = 1,26 \text{ kg torr luft/m}^3 \qquad \rho_{t,in,2} = 1,19 \text{ kg torr luft/m}^3$$

Detta ger nu:

$$\dot{V}_{in,1} = 34 \text{ m}^3/\text{s} \qquad \dot{V}_{in,2} = 42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tillförd värmeeffekt fås ur:

$$\dot{Q} = \dot{M}_G \cdot \Delta H \qquad (8)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_1 &= 1974 \text{ kW} \\ &= 2,0 \text{ MW} \end{aligned}$$

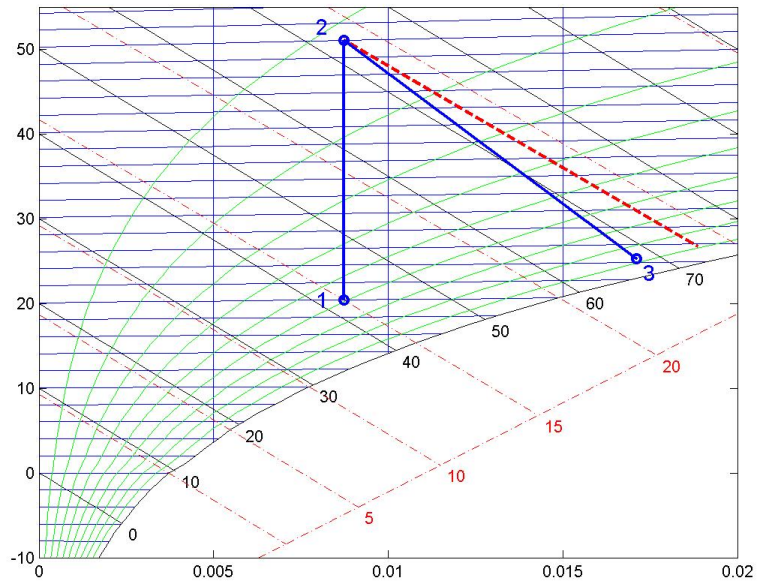
$$\begin{aligned} \dot{Q}_2 &= 1544 \text{ kW} \\ &= 1,5 \text{ MW} \end{aligned}$$

b)

Förlusten i torksteget innebär att luften förlorar entalpi, i jämförelse med det ideala torksteget. Om den lilla ökningen av entalpin för det ideala steget försummas, kan förlusten beskrivas genom en linje med lutningen:

$$\frac{dH}{dY} \approx q_F \qquad (9)$$

Dras en linje med denna lutning från punkten efter förvärmaren (2), kommer en relativ fuktighet på 90 % att uppnås snabbare än vid ett idealt steg (se figur 3), vilket leder till en mindre fuktkvotsändring och därmed ett högre luftbehov, om torkgodskapaciteten ska vara konstant. Detta leder till att man måste dimensionera för ett högre luftflöde. Eftersom vi redan har sett att fall 2 behöver ett högre flöde vid ideal torkning, bör det maximala flödet för det verkliga torksteget baseras på detta fall. Ritats detta in i Mollierdiagrammet, kan det se ut som i figur 3.



Figur 3: Ett torksteg med förlust

En avläsning i diagrammet ger nu:

$$Y_3 = 0,0171 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

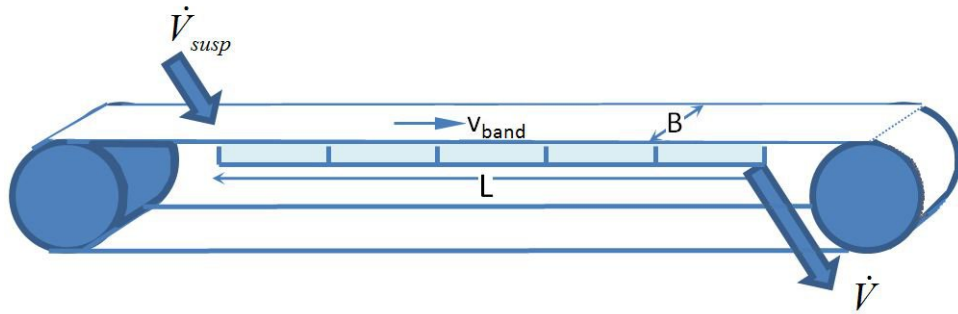
vilket med ekvation (2) ger: $\Delta Y_3 = 0,0084 \text{ kg fukt/kg torr luft}$

Insättning i ekvationerna (5) och (7) ger nu:

$$\dot{M}_{G,max} = 60,9 \text{ kg torr luft/s}$$

$$\dot{V}_{in,max} = 51 \text{ m}^3/\text{s}$$

B3



Figur 1: Bandfilter med suglådor

Givna data

$$B = 1,8 \text{ m}$$

$$L = 14,0 \text{ m}$$

$$\dot{V}_{susp} = 4,8 \text{ m}^3 \text{ suspension/min}$$

$$= 0,080 \text{ m}^3 \text{ suspension/s}$$

$$J_{vol} = 0,025 \text{ m}^3 \text{ fast/m}^3 \text{ suspension}$$

$$\rho_s = 3200 \text{ kg fast/m}^3$$

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

$$\mu = 0,0010 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\epsilon_{av} = 0,48$$

$$\Delta P = 5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$A_{labb} = 0,025 \text{ m}^2$$

$$t_1 = 75 \text{ s}$$

$$V_1 = 0,0050 \text{ m}^3 \text{ filtrat}$$

$$t_2 = 276 \text{ s}$$

$$V_2 = 0,0100 \text{ m}^3 \text{ filtrat}$$

$$\Delta P_{labb} = 3 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Sökt

a) α_{av} och R_m

b) v_{band}

Lösning

a)

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

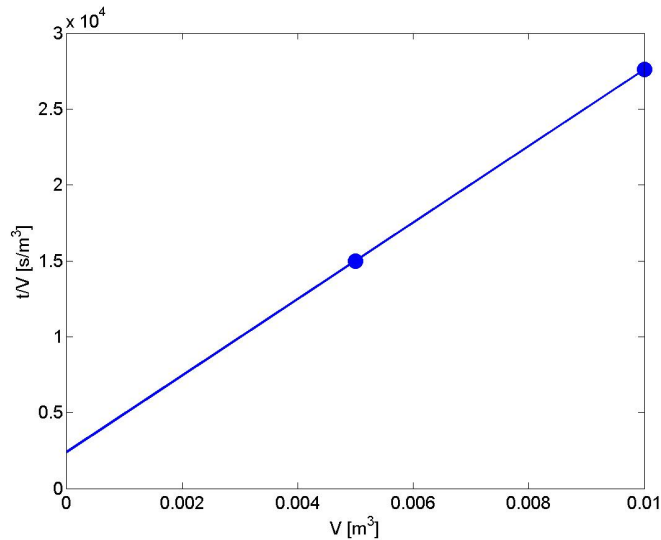
$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \alpha_{av} c}{2A^2 \Delta P} V + \frac{\mu R_m}{A \Delta P} \quad (1)$$

Om värdena för t/V avsätts mot V , bör alltså en linje bildas. Beräkning av t/V och plottning visas i figur 2. Eftersom det bara finns två punkter, kan vi bestämma lutning och skärning ur figur 2, 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:



Figur 2: t/V mot V

$$(t/V)_1 = 1,50 \cdot 10^4 \text{ s/m}^3$$

$$(t/V)_2 = 2,76 \cdot 10^4 \text{ s/m}^3$$

I båda fallen blir resultatet:

$$\text{Lutning} = 2,52 \cdot 10^6 \text{ s/m}^6$$

$$\text{Skärning} = 2,40 \cdot 10^3 \text{ s/m}^3$$

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

$$\alpha_{av} = \frac{2A^2 \Delta P \cdot \text{Lutning}}{\mu c} \quad (4)$$

och

$$R_m = \frac{A \Delta P \cdot \text{Skärning}}{\mu} \quad (5)$$

Vi saknar värden på filterkvoten c . Den bestäms enligt:

$$c = \frac{J \rho}{1 - J - \frac{\epsilon_{av}}{1 - \epsilon_{av}} J \frac{\rho}{\rho_s}} \quad (6)$$

Vi har inte suspensionens torrhalt given i massandelar, J , utan i volymandelar, så den måste räknas om först. Detta görs med hjälp av:

$$J = \frac{\rho_s \cdot J_{vol}}{\rho_s \cdot J_{vol} + \rho \cdot (1 - J_{vol})} \quad (7)$$

$$J = 0,076 \text{ kg fast/kg suspension}$$

Insättning i ekvation (6) ger nu:

$$c = 84,0 \text{ kg/m}^3$$

Med insättning av A_{labb} som A och ΔP_{labb} som ΔP i ekvationerna (4) och (5) får vi nu:

$$\alpha_{av} = 1,12 \cdot 10^9 \text{ (m/kg)} \qquad R_m = 1,80 \cdot 10^9 \text{ (1/m)}$$

b)

För att göra beräkningar på det kontinuerliga bandfiltret, kan ett förlopp följas för en punkt på bandet. När bandet rör sig över suglådorna genomgår punkten en filtreringscykel, som kan jämföras med ett satsvis förlopp. Bandets hastighet bör anpassas så att tiden för denna cykel anpassas till filtreringsförloppet. Hastigheten kan alltså fås om tiden är känd, som:

$$v_{band} = \frac{L}{t_{cykel}} \qquad (8)$$

Filtreringsförloppet sker bara då suglådorna passeras, så detta utgör också filtreringszonen. Varje punkt som befinner sig i denna zon genomgår ett filtreringsförlopp, men punkterna är "fasförskjutna" i förhållande till varandra. För att förenkla beräkningarna kan man dock betrakta alla förloppen som ett enda samtidig filtreringsförlopp, med den totala filterarean enligt:

$$A = A_{band} = B \cdot L \qquad (9)$$

$$A_{band} = 24,5 \text{ m}^2$$

Tiden det tar för transporten genom filtreringszonen kan jämföras med filtreringstiden för ett satsvis förlopp vid konstant tryck, alltså gäller ekvation (1) även här. Med andra beteckningar blir uttrycket:

$$\frac{t_{cykel}}{V_{tot}} = \frac{\mu \alpha_{av} c}{2A_{band}^2 \Delta P} V_{tot} + \frac{\mu R_m}{A_{band} \Delta P} \qquad (10)$$

Den totala produktionen av filtrat, V_{tot} , sker under ett tänkt filtreringsförlopp på tiden t_{cykel} . I det verkliga förloppet sker denna produktion samtidigt från punkter som befinner sig i olika faser av förloppet, vilket gör det mer korrekt att räkna med ett kontinuerligt filtratflöde, \dot{V} , istället. Detta kan uttryckas som:

$$\dot{V} = \frac{V_{tot}}{t_{cykel}} \qquad (11)$$

Vi har också sambandet

$$V_{tot} = \frac{1 - \epsilon - J_{vol}}{1 - \epsilon} \cdot \dot{V}_{susp} \cdot t_{cykel} \qquad (12)$$

En omskrivning av ekvation (12) m.h.a. ekvation (11) ger:

$$\dot{V} = \frac{1 - \varepsilon - J_{vol}}{1 - \varepsilon} \cdot \dot{V}_{susp} \quad (13)$$

som ger oss: $\dot{V} = 0,076 \text{ m}^3 \text{ filtrat/s}$

Kombineras ekvationerna (12) och (11), kan ett uttryck för den totala filtratmängden V_{tot} tas fram:

$$V_{tot} = \left(\frac{1}{\dot{V}} - \frac{\mu \cdot R_m}{\Delta P \cdot A_{band}} \right) \cdot \frac{2\Delta P \cdot A_{band}^2}{\mu \cdot \alpha_{av} \cdot c} \quad (14)$$

Insättning av värden i detta uttryck ger: $V_{tot} = 7,41 \text{ m}^3 \text{ filtrat}$

Ekvation (11) ger oss nu:

$$t_{cykel} = \frac{V_{tot}}{\dot{V}} \quad (15)$$

$$t_{cykel} = 97,3 \text{ s}$$

Insättning i ekvation (8) ger slutligen:

$$v_{band} = 0,14 \text{ m/s}$$

B4.

Data: $x_A^0 = 0.06$
 $V_1: 0.92L_0x_A^0$
 $Y_n = 1.2X_n$
 $L_0 = 19 \text{ kg/h}$
 $V = 1.6 V_{\min}$

Sökt: y_A^1 samt V_{\min}

Lösning:

$L_0:$ $L_0 = 19 \text{ kg/h}$
 $L' = 19 (1 - x_A^0) \Rightarrow L' = 17.86 \text{ kg/h}$
 $X_A^0 = \frac{x_A^0}{1-x_A^0} \Rightarrow X_A^0 = 0.064$

$V_{n+1}: Y_{n+1} = 0.0$

$V_1:$ $0.92L_0x_A^0 \Rightarrow A = 1.05 \text{ kg/h}$

$L_n:$ $A = 0.09 \text{ kg/h} \Rightarrow 0.09 = L'X_A^n$
 $X_A^n = 0.005$

Bestäm flödet av lösningsmedel under "minimala" betingelser;

$$\frac{L'}{V_{\min}} = \frac{1.2X_A^0}{X_A^0 - X_A^n} ; V'_{\min} = 13.7 \text{ kg/h} ; V' = 1.6 V'_{\min} ; V' = 21.9 \text{ kg/h}$$

$y_A^1:$ $L'X_A^0 + V'Y_A^{n+1} = L'X_A^n + V'Y_A^1 \Rightarrow Y_A^1 = 4.81 \cdot 10^{-2}$
 $y_A^1 = 0.046$

Konstruktion av jämviktsdiagram och driftlinje ger 4 ideala extraktionssteg.

Svar: $y_A^1 = 0.046$ samt fyra ideala extraktionssteg.