



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Institutionen för kemi- och bioteknik

Avdelningen för kemiteknik

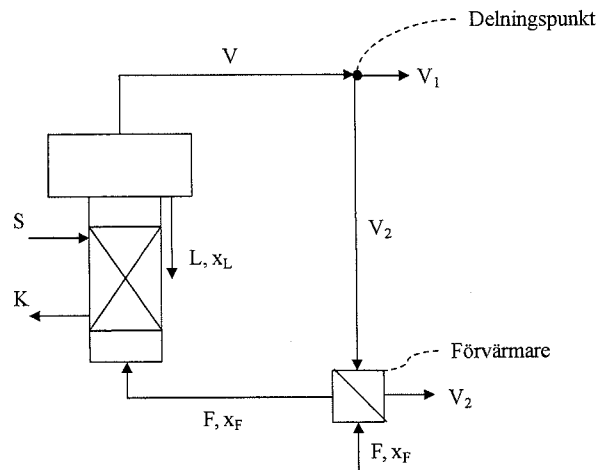
KURSNAMN	Separations- och apparatteknik , KAA095	<i>Med förslag till lösningar av beräkningsuppgifter</i>
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram kemiteknik Civilingenjörsprogram med fysik årskurs 3 läsperiod 1	
EXAMINATOR	Krister Ström	
TID FÖR TENTAMEN LOKAL	Torsdag 25 oktober 2012, kl 08.30-13.30 Hörsalsvägen	
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. 08.30 resp kl 11.00	
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås 26 oktober på kurshemsidan, studieportalen. Resultat på tentamen meddelas tidigast 14 november efter kl 12.00 via e-post. Granskning 20 november kl 12.30-13.00 samt 22 november kl. 12.30-13.00 i seminarierummet, forskarhus II plan 2.	
ÖVRIG INFORM.	<p>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 ej kompletteras med vid senare tillfälle.</p> <p>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.</p> <p>Betygränser: 20-29 poäng betyg 3, 30-39 poäng betyg 4 och 40-50 poäng ger betyg 5.</p>	

Del A. Teoridel

- A1.** Hur kan man påverka indunstningsprocessen så att den arbetar vid så hög kapacitet som möjligt? (4p)
- A2.** a) Ge förslag till en indunstartyp för indunstning av en vattenlösning av en lågviskös, temperaturstabil produkt!
b) Beskriv den principiella uppbyggnaden och funktionen hos denna indunstare! (4p)
- A3.** a) Vad är orsaken till att våttemperaturisotermernas lutning skiljer sig så mycket från de vanliga isotermerna i ett Mollierdigram?
b) Ange en passande tork för att torka ett torkgods som tenderar att klibba när det torkar. Motivera! (2p)
- A4.** a) Vad händer med filtreringstiden när arbetstemperaturen ökar? Varför?
b) Vad begränsar arbetstemperaturen i ett vakuumfilter? (2p)
- A5.** En lakningsoperation föregås vanligtvis av ett förbehandlingssteg, vad har denna förbehandling för funktion så att den efterföljande lakningen blir så effektiv som möjligt? (1p)
- A6.** Ge förslag på vätska-vätskaextraktionsutrustning lämplig för;
a) fall där separationskraven är mycket höga och golvutrymmet är begränsat,
b) fall där separationskraven är mycket höga och där ej alltför hög utrustning kan installeras, samt
c) fall där separationskraven är låga
Visa med figur utrustningarnas funktionssätt och utformning! (3p)
- A7.** Nämn och beskriv fyra faktorer som man särskilt bör beakta vid val av lösningsmedel vid vätska-vätskaextraktion så att en så effektiv extraktion som möjligt erhålls! (2p)
- A8.** En "höjd-tidkurva" karakteriserar en suspension, men vilka är faktorerna som påverkar kurvans utseende och hur? (2p)

Del B. Problemdel

- B1.** I en enkeffektsindunstare skall en 5 vikt-% kalciumkloridlösning indunstas till 30 vikt-%. Den inkommande lösningen, 150 kg/h, förvärmes med hjälp av en del av den från effekten avgående ångan, se figur nedan, från 20°C till en temperatur av 10°C under den utgående koncentrerade lösningens temperatur. Indunstaren arbetar vid atmosfärstryck och värms med färsånga av 3 bar tryck.



Kokpunktsförhöjningen för kalciumkloridlösningar kan uppskattas från $\beta = 33.33 \cdot x$.
Värmekapaciteten för lösningen sättes lika som för vatten.

För indunstaren antages skenbara värmegenomgångstalet till $6280.5 \text{ kJ/m}^2\text{h}\cdot^\circ\text{C}$.

Beräkna

- den för indunstningen erforderliga mängden färsånga, S!
- den från indunstaren avgående mängden ånga disponibel för andra ändamål, V_1 !
- erforderlig värmeyta i indunstaren!

Ledning: Strömmen V_2 kan anses mättad ånga då den påföres och mättad vätska då den lämnar förvärmaren.

(7p)

- B2.** En tvåstegs torkanläggning används för att torka ett torkgods från en fuktkvot på 3,6 till en fuktkvot på 0,55. Godsinflödet är 1,4 ton fuktigt gods/h. Den torkluft som används håller en temperatur på 20°C och en relativ fuktighet på 50 % in till anläggningen. Torkluftens temperatur efter förvärmningen är 140°C (för båda stegen), och utgående luft från första steget håller en temperatur på 40°C och en relativ fuktighet på 65 %, medan luften från andra steget har en temperatur på 50°C och en relativ fuktighet på 65 %.

- Bestäm specifik luftförbrukning och specifikt värmebehov för torken. Beräkna även verklig luftförbrukning i m^3/h och förbrukad värmeeffekt.
- Uppskatta förlusterna i respektive torksteg.

Hur mycket skulle luftförbrukningen minska om torkstegen istället kunde köras teoretiskt maximalt, d.v.s. idealt och med utgående luft mättad i varje steg?

- c) Anta att man istället för två steg i serie kör torkstegen parallellt, d.v.s. i praktiken som ett steg (med ökad luftkapacitet), och med recirkulering för att inte behöva öka färskluftförbrukningen. Om samma luftförbrukning som för den verkliga torken antas gälla, vad blir då den förbrukade värmeeffekten?

(9p)

Mollierdiagram bifogas.

B3. Man planerar att använda platt- och ramfilter för att ta hand om en produkt som bildas genom utfällning i en vattenlösning. Produktionen är tänkt att vara 5,0 ton torrtänt produkt per timma. Varje ram har en filteryta på 1,25 m² och en volym på 65 liter, och tål ett tryck på 3,5 bar i monterat skick. Arbetstemperaturen kommer att vara ca 50°C. Fällningen kommer att upparbetas i en förtjockare till en torrhalt på 5 % i inkommande suspension.

För att testa filtreringsegenskaperna har man utfört ett småskaligt test med en labbtillverkad suspension i en utrustning med en filterarea på 0,055 m² vid en temperatur på 20°C och ett tryck på 1,5 bar. Man kunde dock inte ha en torrhalt på suspensionen högre än 2 % i labbutrustningen. De data man fick var följande:

Tid (min)	5	10	15	20
Volym filtrat (liter)	1,10	1,75	2,25	2,65

Kakans torrhalt uppmättes till 70 %, och den fasta produktens densitet bestämdes till 3500 kg/m³. Filtermediet motsvarar det man har tänkt använda i den stora utrustningen.

- a) Beräkna specifikt filtreringsmotstånd och filtermediets motstånd.
b) Om kakans och filtermediets egenskaper kan antas vara samma i den stora utrustningen, hur många ramar måste man minst använda, om tiden mellan varje filtercykel (för tvättning av kakan, omhändertagande av kakan, m.m.) är 15 min?

(8p)

B4. Pyridin ska extraheras ur vattenlösning innehållande 40-vikt-% pyridin genom flerstegsextraktion i motström vid 25°C med en extraktionsvätska bestående av 85 vikt-% klorbensen och resten pyridin. Raffinatfasen från extraktionsanläggningen ska innehålla 7.5 vikt-% pyridin.

- Bestäm sammansättning och mängd av extraktfasen som lämnar anläggningen samt erforderligt antal ideala steg om tillförd viktsmängd pyridinlösning är 150 kg/h och tillförd viktsmängd extraktionsvätska är 310 kg/h

Triangeldiagram med lösningskurva och jämviktskurva bifogas.

(6p)

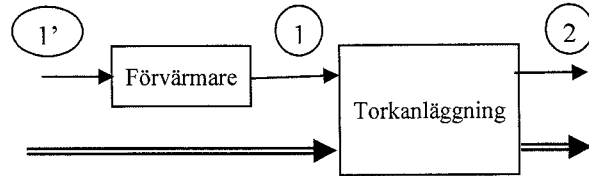
Göteborg 2012-10-11
Krister Ström

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

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

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

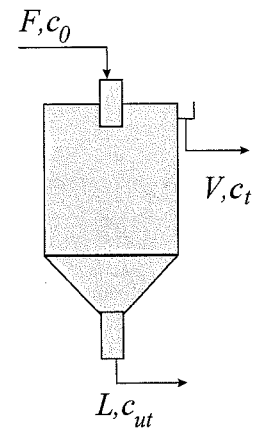
SEDIMENTERING

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 torkgod, 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

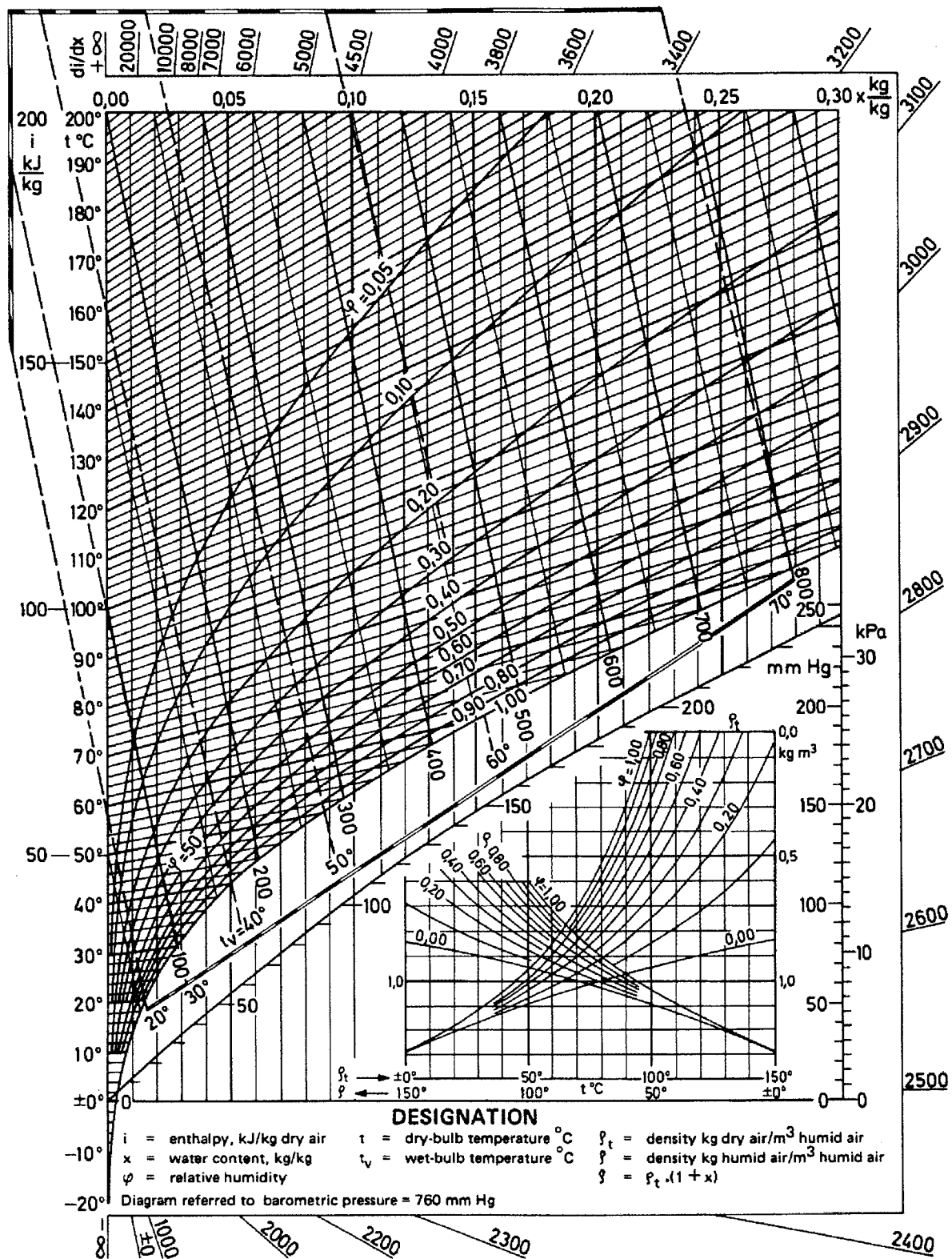
SEDIMENTERING

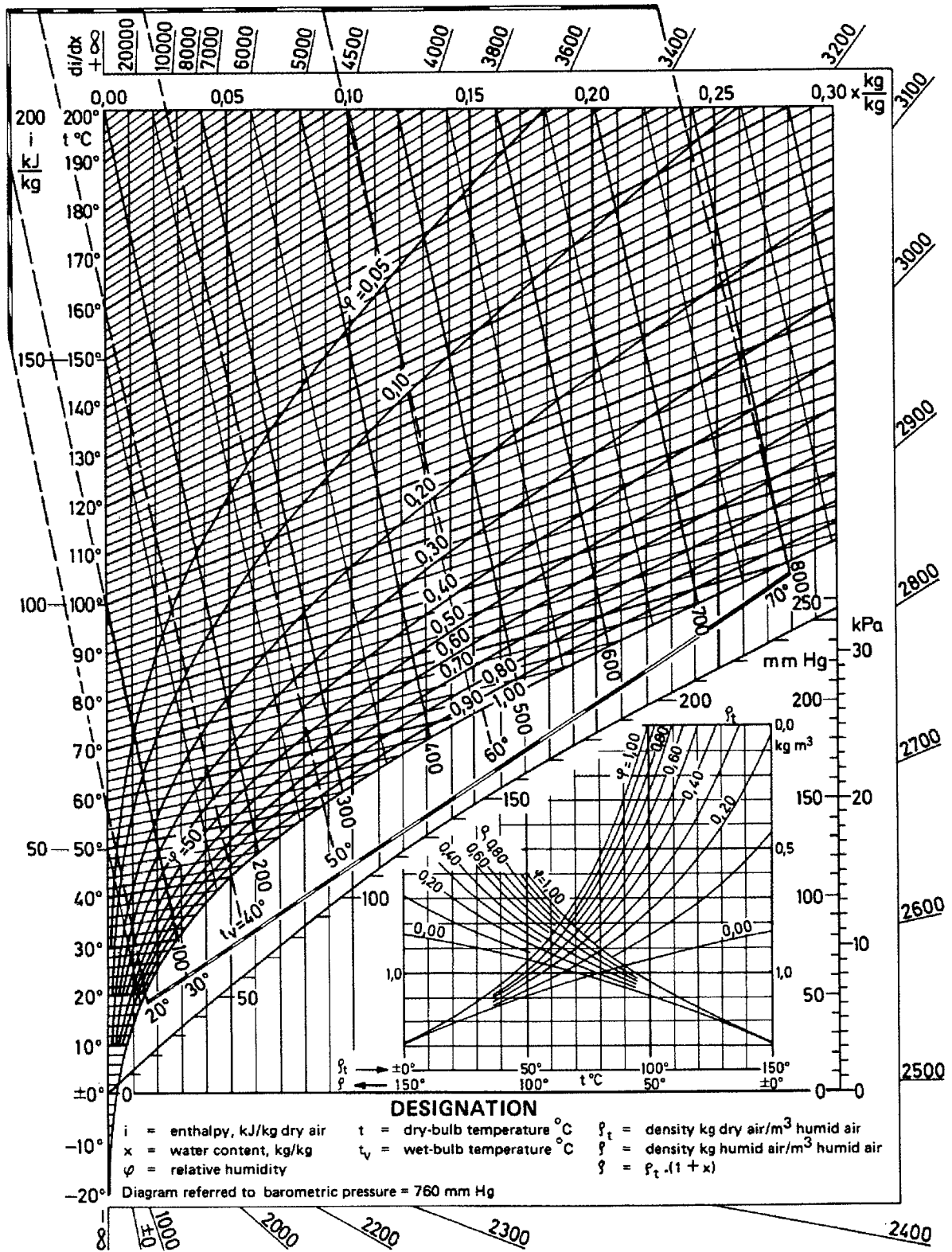
A	sedimentationsarea, m ²
D_p	partikelstorlek, m
g	tyngdaccelerationen, m/s ²
v	partikelns sedimentationshastighet, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s

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

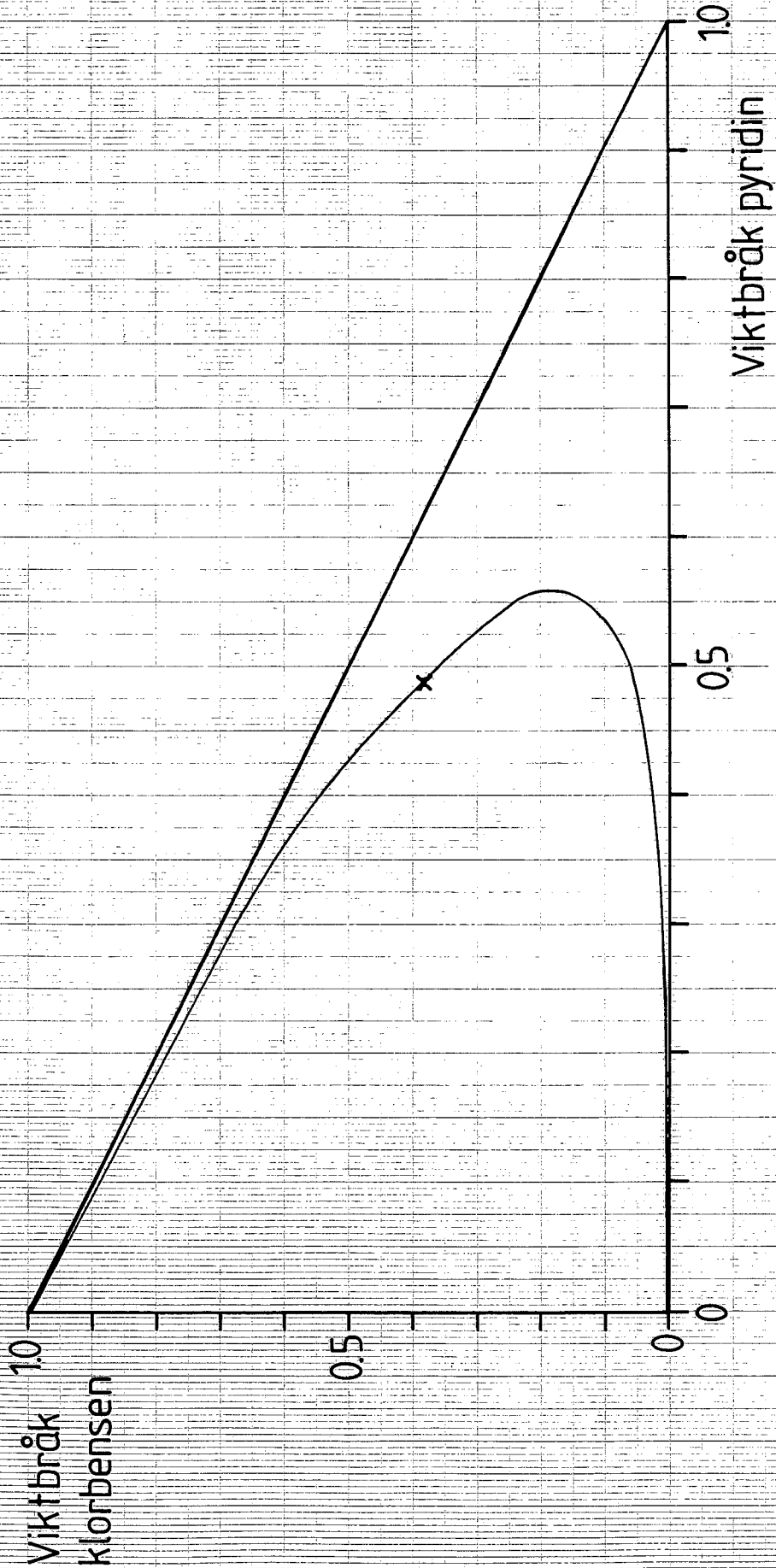
STRÖMNING I PORÖS BÄDD

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, -

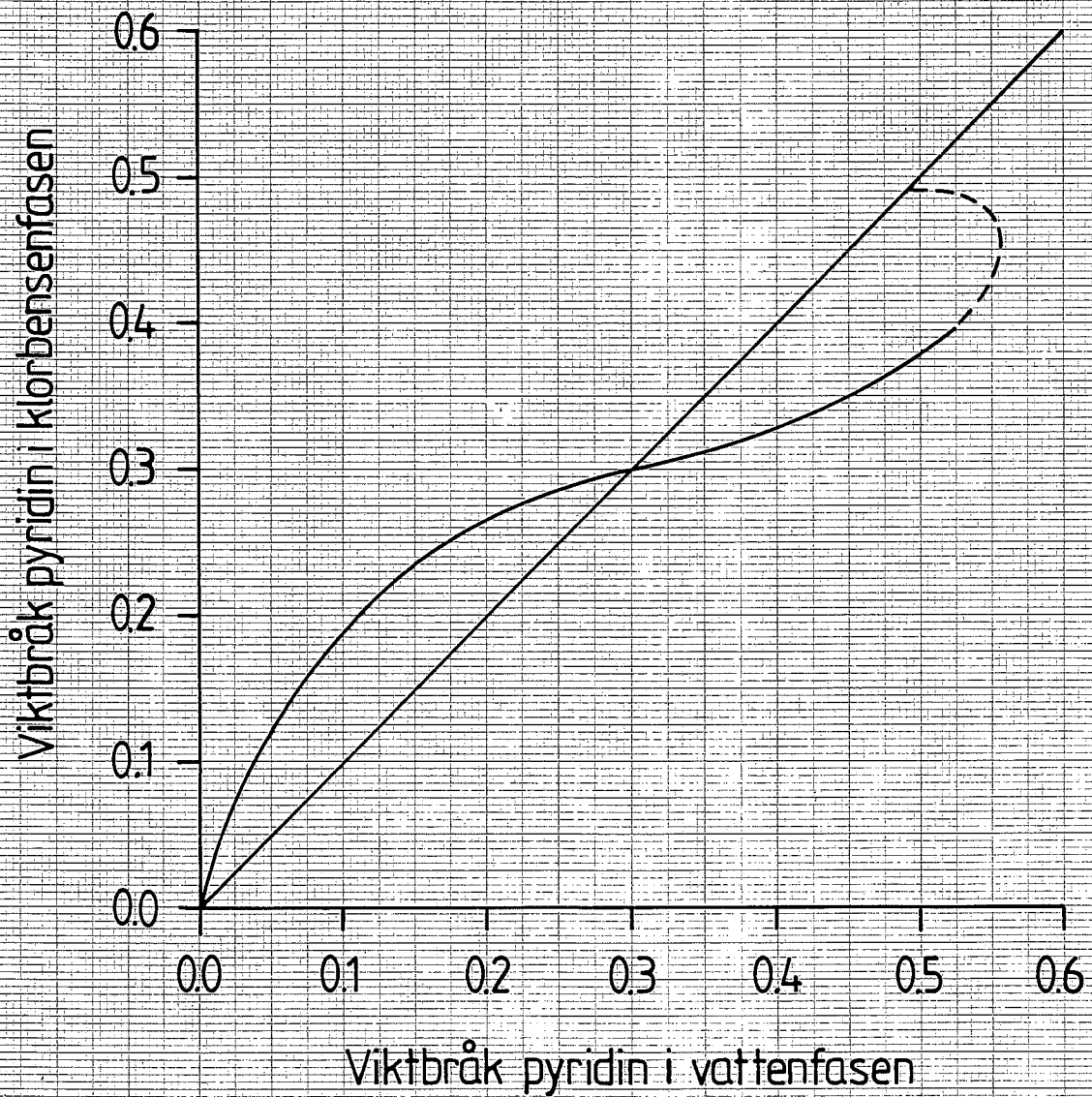




Pyridin-vatten-klorbensen, 25 °C



Pyridin-vatten-klorbensen, 25 °C



B1.

Data: $x_F = 0.05$
 $x_L = 0.30$
 $F = 150 \text{ kg/h}$
 $T = 20^\circ\text{C}$
 $T_F = T_L - 10$
 $P_S = 3 \text{ bar}$
 $P = 1 \text{ bar}$
 $\beta = 33.33 \cdot x_L$

Sökt: a) S b) V_1 c) A

Lösning: Totalbalans: $F = V + L$
 Komp.balans: $F x_F = L x_L \Rightarrow L = 25 \text{ kg/h}$ } $V = 125 \text{ kg/h}$

Totalbalans i delningspunkten: $V = V_1 + V_2 \Rightarrow V_1 = V - V_2$
 V_2 erhålls från en värmebalans över förvärmare för vilket entalpidata fordras.
 Trycket i indunstaren $P = 1 \text{ bar} \Rightarrow T' = 99.63^\circ\text{C}$

$T_L = T' + \beta$
 $\beta = 33.33 \cdot x_L$
 $x_L = 0.30$ } $T_L = 109 \text{ kJ/kg} \cdot 6^\circ\text{C}$; $T_F = T_L - 10 \Rightarrow T_F = 99.6^\circ\text{C}$

Värmebalans över förvärmaren: $F(h_{99.6^\circ\text{C}} - h_{20^\circ\text{C}}) = V_2(H_V - h_K)$

$h_{99.6^\circ\text{C}} = 4.19T_F \Rightarrow h_{99.6^\circ\text{C}} = 417.32 \text{ kJ/kg}$
 $h_{20^\circ\text{C}} = 4.181T \Rightarrow h_{20^\circ\text{C}} = 83.62 \text{ kJ/kg}$
 $H_V = 2675.25 \text{ kJ/kg}$
 $h_K = 417.55 \text{ kJ/kg}$

$V_2 = 22.2 \text{ kg/h} \Rightarrow \underline{V_1 = 102.8 \text{ kg/h}}$

Värmebalans över indunstaren: $S\Delta H_{\text{VAP},S} + Fh_F = VH_V + Lh_L$

$\Delta H_{\text{VAP},S} = \{P_S = 3 \text{ bar}\} = 2163.9 \text{ kJ/kg}$
 $h_F = \{T = 99.6^\circ\text{C}\} = 417.32 \text{ kJ/kg}$
 $H_V = \{P = 1 \text{ bar} ; T = 109.6^\circ\text{C}\} = 2696.13 \text{ kJ/kg}$
 $h_L = \{P = 1 \text{ bar} ; T = 109.6^\circ\text{C}\} = 458.06 \text{ kJ/kg}$

$S = 132.1 \text{ kg/h}$

Kapacitetsekvationen $Q = U_{\text{SKB}}A\Delta T$

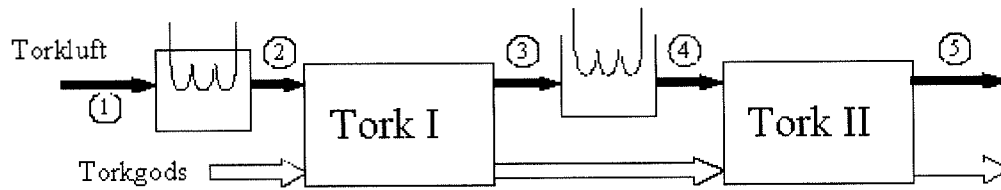
$Q = S\Delta H_{\text{VAP},S}$

$\Delta T = T_S - T_L$

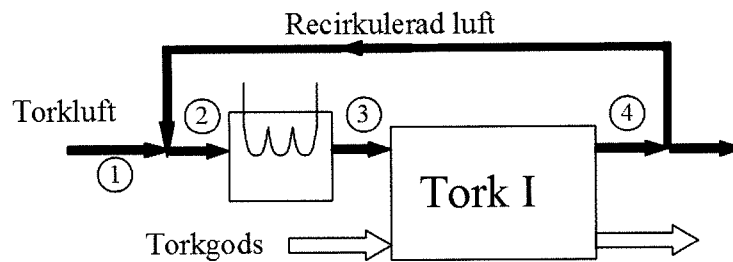
$T_S = 133.54^\circ\text{C} ; T_L = 109.6^\circ\text{C}$

$A = 1.9 \text{ m}^2$

B2



Figur 1: Två torksteg (a,b)



Figur 2: Ett torksteg med recirkulering (c)

Givna data

$$\dot{M}_{fg,in} = 1,4 \text{ ton/h}$$

$$X_{in} = 3,6 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$$

$$X_{ut} = 0,6 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$\phi_1 = 0,50$$

$$T_{max} = 140^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 40^\circ\text{C}$$

$$\phi_3 = 0,65$$

$$T_5 = 50^\circ\text{C}$$

$$\phi_5 = 0,65$$

Sökt

- $l_{verkl}, q_{verkl}, \dot{V}_{in,verkl}$ och \dot{Q}_{verkl}
- $\dot{Q}_{forl,I}, \dot{Q}_{forl,II}$ och l_{ideal}
- \dot{Q}_c

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

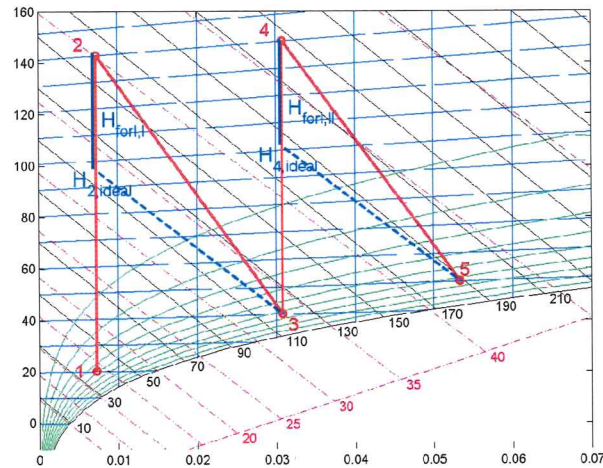
$$\Delta Y = Y_5 - Y_1 \quad (2)$$

Ritar vi in torkförloppet i ett Mollierdiagram (med förvärmning till T_{max} i båda stegen), kan vi bestämma ΔY (se figur 3). Avläsning av de fuktkvotsvärden vi behöver

ger:

$$Y_1 = 0,007 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$Y_5 = 0,053 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$



Figur 3: Två verkliga torksteg med förluster

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

$$\Delta Y_{verkl} = 0,046 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$l_{verkl} = 22 \text{ kg torr luft/kg avdunstat}$$

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 entalpivärden ur figur 3:

$$H_1 = 39 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_3 = 120 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_2 = 161 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_4 = 226 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Insättning i ekvation (3) ger nu:

$$q_{verkl} = 4948 \text{ kJ/kg avdunstat}$$

$$= 4,9 \text{ MJ/kg avdunstat}$$

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:

$$\dot{M}_S = 0,085 \text{ kg torr gods/s} \quad \dot{M}_{G,verkl} = 5,6 \text{ kg torr luft/s}$$

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

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

Nu kan vi bestämma volymflödet ur:

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

$$\dot{V}_{in,verkl} = 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

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:

$$\Delta H_{verkl} = 229 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\dot{Q}_{verkl} = 1276 \text{ W} = 1,3 \text{ kW}$$

b)

För att bestämma förlusten i ett torksteg, jämför vi med ett idealt (förlustfritt) torksteg. Ett av alternativen är då att utgå från samma tillstånd för utgående luft, och sedan gå baklängeslängs en våttemperaturlinje, tills linjen för förvärmningen uppnås (se figur 3). Detta beskriver ett "idealt förvärmningssteg", d.v.s. hur långt man skulle behöva värma upp för att nå samma resultat, men med ideal torkning. Här kan man läsa av de tänkta ideala förvärmningstemperaturerna ($T_{2,ideal}$, $T_{4,ideal}$) och -entalpierna ($H_{2,ideal}$, $H_{4,ideal}$):

$$T_{2,ideal} = 96^\circ\text{C}$$

$$H_{2,ideal} = 116 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$T_{4,ideal} = 101^\circ\text{C}$$

$$H_{4,ideal} = 185 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Den ideala entalpin kan nu jämföras med den verkliga:

$$H_{forl,I} = H_2 - H_{2,ideal} \quad (10)$$

$$H_{forl,II} = H_4 - H_{4,ideal} \quad (11)$$

vilket med:

$$H_2 = 161 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_4 = 226 \text{ kJ/kg torr luft}$$

ger:

$$H_{forl,I} = 45 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$H_{forl,II} = 41 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Med hjälp av det torra luftflödet fås nu förlusten i effekt:

$$\dot{Q}_{forl,I} = \dot{M}_G \cdot H_{forl,I} \quad (12)$$

$$\dot{Q}_{forl,II} = \dot{M}_G \cdot H_{forl,II} \quad (13)$$

$$\dot{Q}_{forl,I} = 250 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{forl,II} = 228 \text{ W}$$

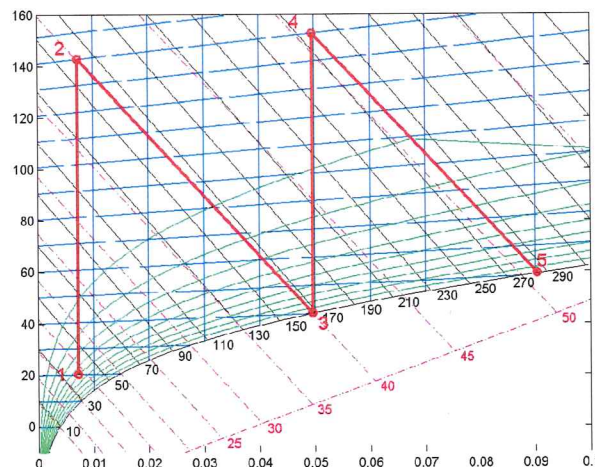
När det gäller optimala luftförbrukningen, fås denna genom att rita in två ideala steg med utgående luft mättad (se figur 4). En avläsning av fuktkvoten efter andra steget ger:

$$Y_5 = 0,090 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

Insättning i ekvationerna (2) och (1) ger:

$$\Delta Y_{ideal} = 0,083 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$l_{ideal} = 12 \text{ kg torr luft/kg avdunstat}$$



Figur 4: Två ideala steg

Friskluftflödet är samma som i det första fallet, och vi kan bestämma kvoten mellan recirkulerad och frisk luft ur ekvation (15).

Avläsning i diagrammet ger: $Y_2 = 0,031 \text{ kg fukt/kg torr luft}$
vilket ger oss:

$$\frac{\dot{M}_{Rec}}{\dot{M}_G} = 1,05$$

Ur ekvation (16) får vi:

$$\dot{M}_{tot} = 11,4 \text{ kg torr luft/s}$$

Entalpiavläsning ger nu:

$$H_2 = 115 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$\Delta H_3 = 110 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Insättning i ekvation (9) (med \dot{M}_{tot}) ger oss:

$$\dot{Q}_c = 1261 \text{ W} \qquad = 1,3 \text{ kW}$$

Vi får alltså ingen större ändring i uppvärmningen för ett fall med recirkulering, jämfört med en tvåstegstork!

B3

Givna data

$$\dot{m}_{S,ram} = 5,0 \text{ ton/h}$$

$$V_{ram} = 0,065 \text{ m}^3$$

$$A_{ram} = 1,25 \text{ m}^2$$

$$J = 0,050 \text{ kg fast/kg suspension}$$

$$\Delta P = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = 50^\circ\text{C}$$

$$A_{labb} = 0,055 \text{ m}^2$$

$$T_{labb} = 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta P_{labb} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$J_{labb} = 0,020 \text{ kg fast/kg suspension}$$

$$TH_{labb} = 0,70$$

$$\rho_S = 3500 \text{ kg fast/m}^3$$

$$t_{extra} = 15 \text{ min}$$

t_{labb} min	V_{labb} l
5,0	1,1
10,0	1,8
15,0	2,3
20,0	2,6

Sökt

a) α_{av} och R_m

b) n_{ram}

Lösning

a)

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

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

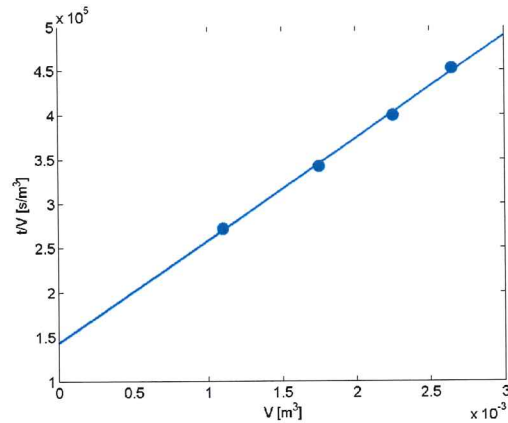
Om värdena för t/V avsätts mot V , bör alltså en linje bildas. Beräkning av t/V och plottning ger:

t s	V $\text{m}^3 \text{ filtrat}$	(t/V) s/m^3
300	$1,10 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^5$
600	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^5$
900	$2,25 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^5$
1200	$2,65 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^5$

Vi ser att punkterna ligger på en tillräckligt rak linje för att vi ska kunna ta lutning och skärning utan att behöva arbeta mera med tillgängliga data. Lutning och skärning bestäms ur figur 1:

$$Lutn = 1,15 \cdot 10^8 \text{ s/m}^6$$

$$Skärn = 1,43 \cdot 10^5 \text{ s/m}^3$$



Figur 1: t/V mot V

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

$$\alpha_{av} = \frac{2A_{labb}^2 \Delta P_{labb} \cdot \text{Lutning}}{\mu_{labb} C} \quad (2)$$

och

$$R_m = \frac{A_{labb} \Delta P_{labb} \cdot \text{Skärning}}{\mu_{labb}} \quad (3)$$

Vi saknar värden på filterkvoten c_{labb} och μ_{labb} . Filterkvoten bestäms enligt:

$$c_{labb} = \frac{J_{labb} \rho_{labb}}{1 - J_{labb} - \frac{\varepsilon_{av,labb}}{1 - \varepsilon_{av,labb}} J_{labb} \frac{\rho_{labb}}{\rho_s}} \quad (4)$$

Till denna ekvation behövs också värden på ρ_{labb} . Detta fås ur tabell (t.ex. D&D s.76) vid den givna temperaturen (vi passar även på att hämta värdet på viskositeten):

$$\rho_{labb} = 998,2 \text{ kg/m}^3 \quad \mu_{labb} = 0,001005 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Vi behöver också bestämma kakporositeten, $\varepsilon_{av,labb}$. Detta görs ur torrhalten, m.h.a.:

$$\varepsilon_{av,labb} = \frac{1 - TH_{labb}}{1 - TH_{labb} + TH_{labb} \cdot \frac{\rho_{labb}}{\rho_s}} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{av,labb} = 0,60$$

$$\text{Ekvation (4) ger nu: } c_{labb} = 20,6 \text{ kg/m}^3$$

Insättning i ekvationerna (2) och (3) ger nu:

$$\alpha_{av} = 5,07 \cdot 10^{12} \text{ (m/kg)} \quad R_m = 1,18 \cdot 10^{12} \text{ (1/m)}$$

b)

Eftersom vi inte vet antalet ramar, får vi räkna för en ram. Eftersom ramarna används parallellt, kan flödet genom varje ram antas utgöra en lika stor andel av det totala flödet. Om vi vet hur lång tid det tar att fylla en ram och tömma och efterbehandla den innan nästa filtreringscykel, kan vi bestämma mängden fast fas som passerar en ram per tidsenhet, $\dot{m}_{S,ram}$. Då kan vi bestämma den minsta antalet ramar som behövs ur:

$$n_{ram} = \frac{\dot{m}_S}{\dot{m}_{S,ram}} \quad (6)$$

Mängden fast fas per tidsenhet och ram fås ur:

$$\dot{m}_{S,ram} = \frac{m_{S,ram}}{t_{slut} + t_{extra}} \quad (7)$$

Ekvationen för bestämning av filtreringstiden (gäller även för en enskild ram!) fås ur ekvation (1), enligt:

$$t_{slut} = \frac{\mu \alpha_{av} c}{2A_{ram}^2 \Delta P} \cdot V_{tot,ram}^2 + \frac{\mu R_m}{A_{ram} \Delta P} \cdot V_{tot,ram} \quad (8)$$

Först måste totala filtratvolymen för varje ram tas fram, m.h.a. ramvolymen och kvoten c :

$$c = \frac{m_{S,ram}}{V_{tot,ram}} \quad (9)$$

$$m_{S,ram} = \rho_s \cdot (1 - \epsilon_{av}) \cdot V_{ram} \quad (10)$$

$$V_{tot,ram} = \frac{m_{S,ram}}{c} = \frac{\rho_s (1 - \epsilon_{av}) V_{ram}}{c} \quad (11)$$

Vi antar att kakans egenskaper inte påverkas av temperaturen eller den högre torrhalten i suspensionen, d.v.s. $\epsilon_{av} = \epsilon_{av,lab}$. Den högre torrhalten påverkar dock värdet på c (enl. ekvation (4)):

$$c = 53,2 \text{ kg/m}^3$$

Eftersom temperaturen är en annan än vid labbförsöket, behöver vi nya värden på ρ och μ . (Det är framförallt viskositeten som påverkas, approximationen att densiteten är densamma är godtagbar).

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

$$\mu = 0,000549 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Insättning i ekvation (11) ger: $V_{tot,ram} = 1,7 \text{ m}^3 \text{ filtrat/ram}$

Ekvation (8) ger oss nu:

$$t_{slut} = 3,98 \cdot 10^5 \text{ s} \quad = 111 \text{ h}$$

Ekvation (10) och (7) ger oss nu:

$$m_{S,ram} = 90,9 \text{ kg/ram}$$

$$\dot{m}_{S,ram} = 0,82 \text{ kg/h}$$

Detta ger oss till slut, m.h.a. ekvation (6):

$$n_{ram} = 6097 \text{ ramar}$$

(Med detta stora antal kan man fundera på om valet av utrustning kanske kunde göras annorlunda...)

B4.

Data: $x_A^0 = 0.40$
 $y_S^{n+1} = 0.85$
 $x_A^n = 0.075$
 $L_0 = 150 \text{ kg/h}$
 $V_{n+1} = 310 \text{ kg/h}$

Sökt: V_1, y_A^1, n

Lösning:

Kända strömmar lags in i triangeldiagram dvs L_0, L_n och V_{n+1} . L_0 och V_{n+1} är kända varför en tänkt resulterande ström M kan skapas och placeras i triangeldiagrammet mha hävstångsregeln.

$$\left. \begin{array}{l} L_0 a = V_{n+1} b \\ a + b = 98 \end{array} \right\} \begin{array}{l} a = 66 \\ b = 32 \end{array}$$

Strömmen V_1 's läge kan bestämmas då L_n samt M är kända, V_1 ligger på geometriska orten för överströmmarna. Polen kan nu skapas utifrån L_0 och V_1 samt V_{n+1} och L_n . Grafisk lösning ger ca 3 steg.

Avläsning ger $y_A^1 = 0.27$.

V_1 beräknas mha totalbalans och hävstångsregeln

$$L_0 + V_{n+1} = V_1 + L_n$$
$$\left. \begin{array}{l} V_1 a' = L_n b' \\ a' = 16 \\ b' = 65 \end{array} \right\} L_n = \frac{16}{65} V_1$$

$V_1 = 369 \text{ kg/h}$