



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	Lördag 24 oktober, kl 08.30-13.30	
LOKAL	H-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	Gunnar Eriksson 772 5704 Kl. 09.30 resp kl 11.00	
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås 27 oktober på kurshemsidan, studieportalen. Resultat på tentamen meddelas tidigast 12 november efter kl 12.00 via e-post. Granskning onsdag 18 november kl 12.30-13.00 samt måndag 23 november 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 <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. Betyggränser: 20-29 poäng betyg 3, 30-39 poäng betyg 4 och 40-50 poäng ger betyg 5.	

Del A. Teoridel

- A1.** a) Vilken typ av indunstare är lämplig att använda vid indunstning av viskösa lösningar? Motivera svaret!
b) Beskriv en indunstare som arbetar med ett högt värmeöverföringstal men som inte är lämplig för viskösa fluider! Motivera svaret!
(4p)
- A2.** a) Vilka förutsättningar gäller för ett idealt torksteg? Vad innebär detta för processen i ett Mollierdiagram? Motivera!
b) Beskriv funktionen för en valfri konvektiv tork.
(3p)
- A3.** a) Beskriv hur en valfri, satsvis arbetande filterutrustning fungerar.
b) Hur påverkas filtreringsmotståndet av partikelstorleken i filterkakan?
(3p)
- A4.** Beskriv funktionen hos en valfri kommersiellt tillgänglig apparatur för industriell lakning av ett lakgods där den inerta fasen består av ett biologiskt material!
(2p)
- A5.** a) Skissera en höjd-tidkurva och beskriv sedimentationsförloppets olika faser!
b) Vilka faktorer påverkar höjd-tidkurvans utseende?
c) När kan sedimentering anses vara ett alternativ till filtrering?
(4p)
- A6.** Beskriv hur tryckfallet över en partikelbädd varierar med gashastigheten. Beskrivningen ska redovisa förloppet från vilande bädd till medryckning av partiklar. Komplettera gärna din beskrivning med en förklarande figur!
(3p)
- A7.** Beskriv en vätska-vätskaextraktionsutrustning som har en låg investeringskostnad vilken är lämplig då ett litet antal jämviktssteg fordras för separationen! Motivera svaret!
(1p)

Del B. Problemdel

B1. En indunstaranläggning med två effekter används för att indunsta 1400 kg/h av en natriumhydroxidlösning från 10 till 50 vikt-%. Anläggningen är kopplad i medström och tillflödet är kokvarmt. De två effekternas ytor är vardera 10 m². Trycket i den första effekten uppmättes till 1.8 bar, medan en vakuumpump efter den andra effekten ger trycket 0.2 bar. Färskångans mättnadstryck är 3.7 bar.

- Uppskatta ångförbrukningen och skenbara värmegenomgångstalet för respektive effekt!

God värmeeekonomi kan antas. Düringdiagram bifogas.

(6p)

B2. En tvåstegs torkanläggning används för att torka ett torkgods från en fuktkvot på 2,5 till en fuktkvot på 0,75. Ingående friskluft till anläggningen har ett flöde på 13500 m³/h och håller en temperatur på 10°C och en våttemperatur på 5°C. Torkgodset tål inte hög värme, så högsta tillåtna temperatur i förvärmningsstegen är 50°C.

Utgående torkluft från första steget håller en temperatur på 20°C och en relativ fuktighet på 50 %. Det andra stegets utgående temperatur är 24°C med en relativ fuktighet på 60 %.

- a) Bestäm specifik luftförbrukning och specifikt värmebehov för denna tork.
- b) Hur stor är torkens kapacitet uttryckt som ingående torkgodsflöde i kg fuktigt gods per timme?
- c) Uppskatta förlusterna i de enskilda torkstegen, samt avgasförlusterna. Förlusterna ska anges i kW.

(10p)

Mollierdiagram bifogas

B3. I ett kontinuerligt trumfilter filtreras en suspension av partiklar i vatten. Suspensionens torrhalt är 4,5 % och temperaturen är 30°C.

Trummans diameter är 1,5 m och dess bredd är 3,0 m. Den roterar med ett varvantal på 0,015 varv/min. Suspensionsnivån i trumfiltret är sådan att en tredjedel av filterarean är nedsänkt under ytan, d.v.s. i kontakt med suspensionen. Detta utgör filtreringszonen. Tryckfallet över filtret, 1,5 bar, kan antas vara konstant. Vid laboratorieförsök har det specifika filtreringsmotståndet, α_{av} , uppskattats till $7,2 \cdot 10^9$ (m/kg) och kakans porositet till 55 %. Partiklarnas densitet är 2700 kg/m³. Filtermediets motstånd kan försummas.

- a) Hur stor är kaktjockleken när trumman lämnar filtreringszonen?
- b) Vad är filtrets kapacitet uttryckt som suspensionsflöde?
- c) Hur påverkas kapaciteten av en ökning av varvtalet till det dubbla?

(9p)

Ledning: Vid beräkningarna kan filtreringsförloppet betraktas som ett satsvis förlopp, med hela den nedsänkta arean som filterarea. Vid kapacitetsberäkningar bör hela arean beaktas.

B4. Pyridin skall extraheras ur en vattenlösning, 100 kg/h, innehållande 32.5 vikt-% pyridin genom flerstegsextraktion i motström vid 25°C med ren klorbensen. Tillförd viktsmängd klorbensen är dubbelt så stor som tillförd viktsmängd pyridin-vattenlösning. Underströmmen som lämnar systemet (raffinatifasen) innehåller 5 vikt-% pyridin.

- Bestäm sammansättning och mängd av extraktfasen som lämnar systemet samt erforderligt antal ideala steg!

Triangeldiagram med lösningskurva samt jämviktsdiagram för systemet pyridin-vatten-klorbensen bifogas.

(5p)

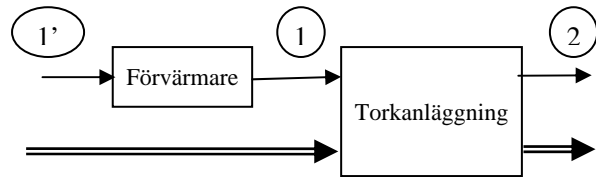
Göteborg 2009-10-11
Krister Ström

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

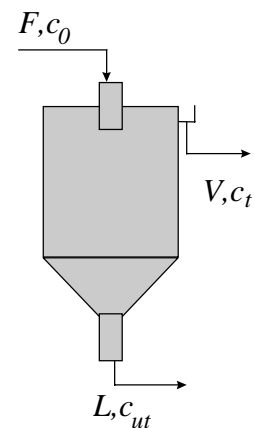
$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu(c\alpha_{av}V + AR_m)}$$

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

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 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 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

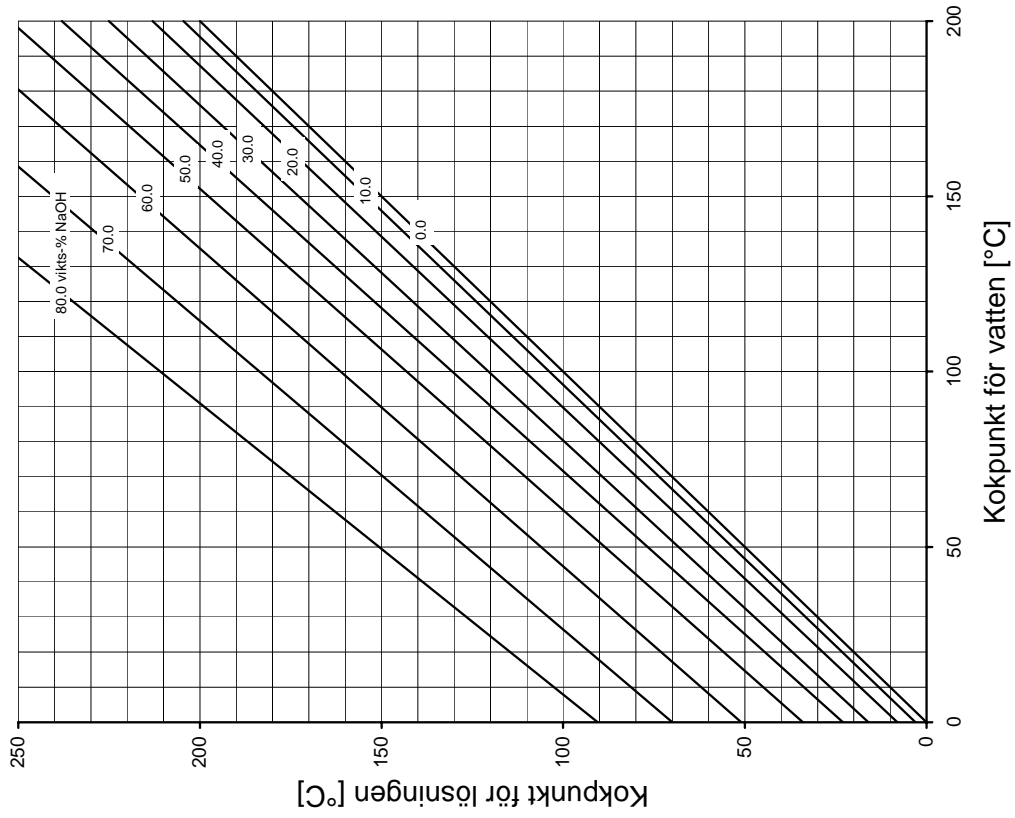
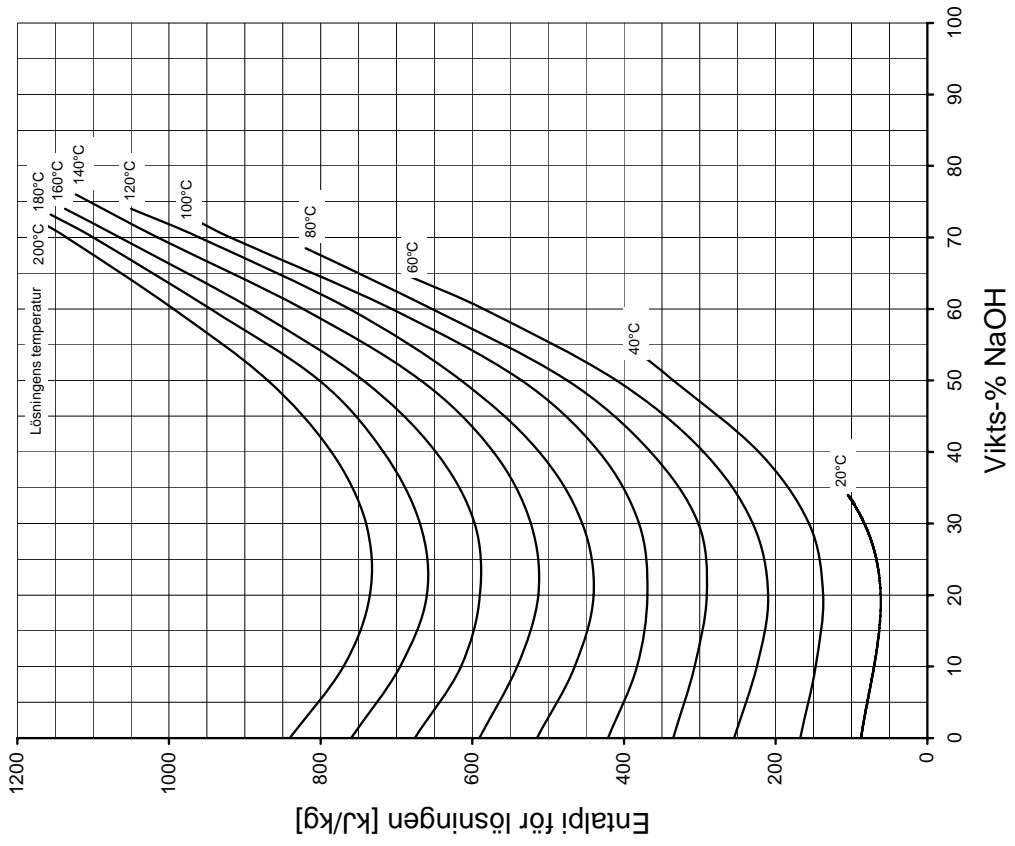
SEDIMENTERING

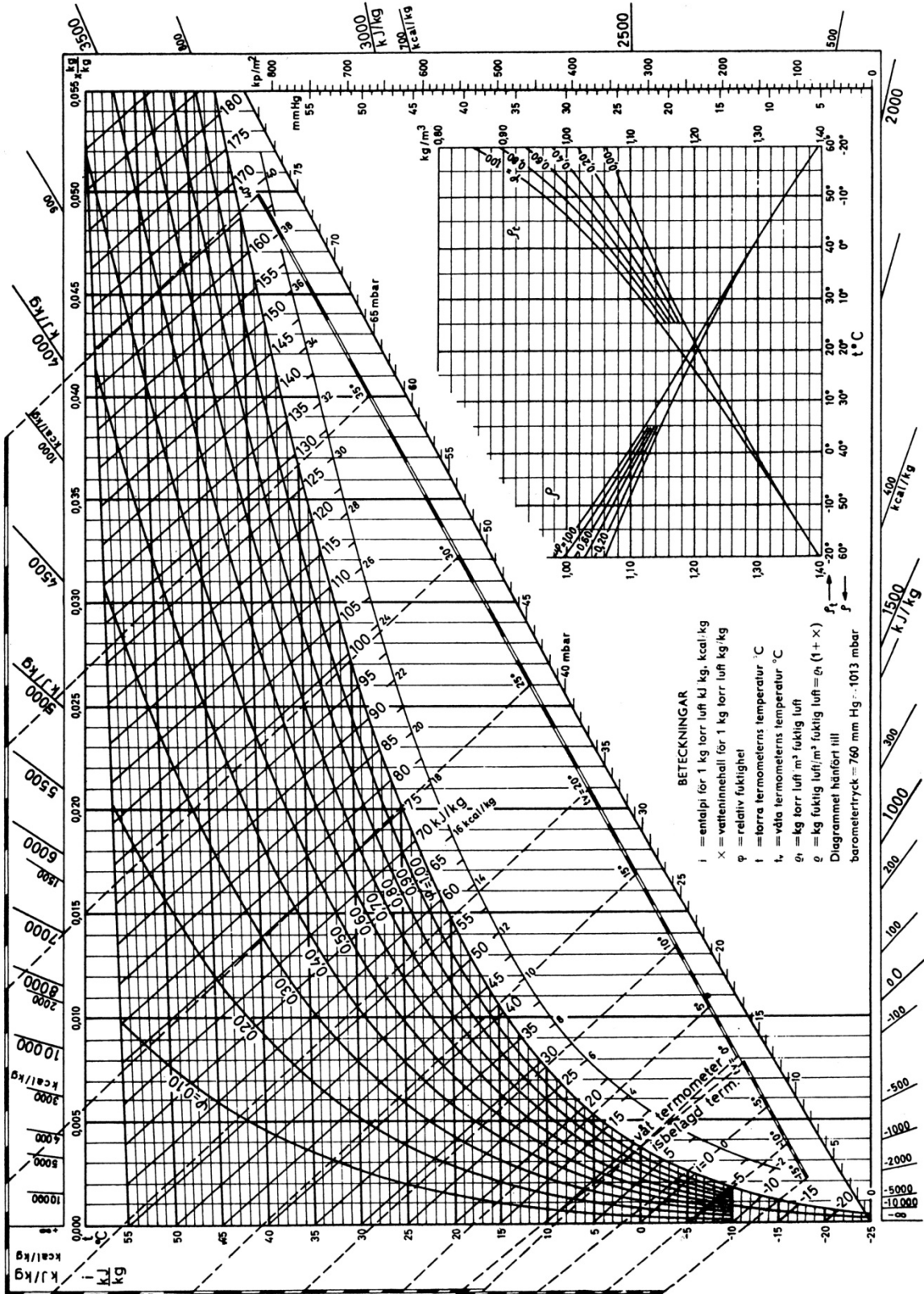
A	sedimentationsarea, m ²
D_p	partikelstorlek, m
g	tyngdaccelerationen, m/s ²
v	partikelns sedimentationshastighet, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s
ρ	fluidens densitet, kg/m ³

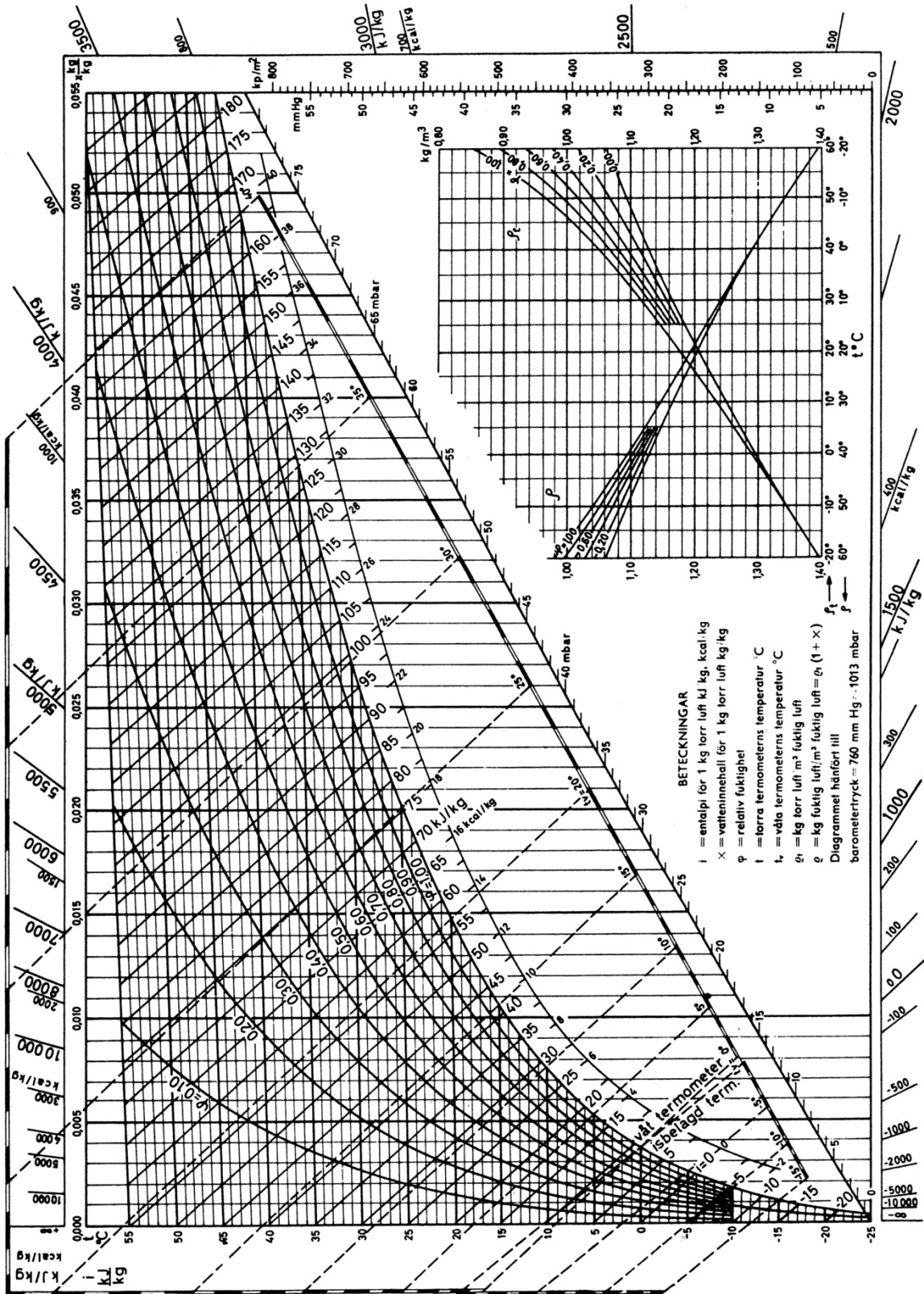
ρ_s fasta fasens densitet, kg/m^3

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, -





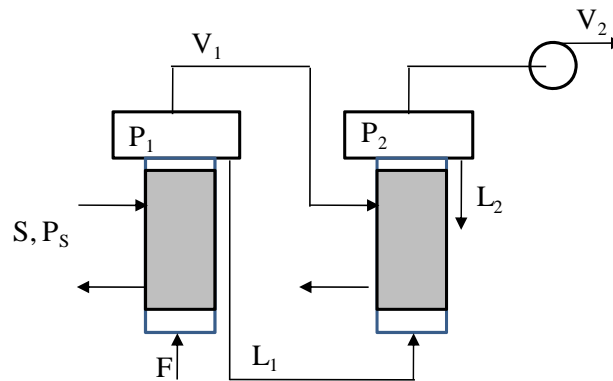


B1.

Data: $F = 1400 \text{ kg/h}$
 $x_F = 0.10$
 $x_{L2} = 0.50$
 $A_1 = A_2 = A = 10 \text{ m}^2$
 $P_1 = 1.8 \text{ bar}$
 $P_2 = 0.2 \text{ bar}$
 $P_S = 3.7 \text{ bar}$

Sökt: Uppskatta ångförbrukningen samt de skenbara värmegenomgångstalen.

Lösning:



$$\text{God värmeekonomi} \Rightarrow S\Delta H_{VAP,S} = V_1\Delta H_{VAP,1} = V_2\Delta H_{VAP,2}$$

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

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

$$(2) \Rightarrow L_2 = 280 \text{ kg/h}$$

$$(1) \Rightarrow V_1 + V_2 = F - L_2 \Rightarrow V_1 + V_2 = 1120 \text{ kg/h}$$

$$\begin{aligned} \text{God värmeekonomi} \Rightarrow V_1\Delta H_{VAP,1} &= V_2\Delta H_{VAP,2} \\ \Delta H_{VAP,1} &= \{P_1 = 1.8 \text{ bar}\} = 2211.05 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H_{VAP,2} &= \{P_2 = 0.2 \text{ bar}\} = 2357.68 \text{ kJ/kg} \\ V_1\Delta H_{VAP,1} &= (1120 - V_1)\Delta H_{VAP,2} \Rightarrow V_1 = 577.97 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} S\Delta H_{VAP,S} &= V_1\Delta H_{VAP,1} \\ \Delta H_{VAP,S} &= \{P_S = 3.7 \text{ bar}\} = 2142.33 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \right\} S = 596.51 \text{ kg/h}$$

Skenbara värmegenomgångstalen beräknas från kapacitetsekvationen.

Effekt 1:

$$\begin{aligned} S\Delta H_{VAP,S} &= U_{SKB,1}A\Delta T_1 \\ \Delta T_1 &= T_S - T_1 - \beta_1 \\ T_S &= \{P_S = 3.7 \text{ bar}\} = 140 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_1 &= \{P_1 = 1.8 \text{ bar}\} = 116.98 \text{ }^\circ\text{C} \\ \beta_1 &= \{x_{L1} = ?\} \end{aligned}$$

Totalbalans: $F = V_1 + L_1 \Rightarrow L_1 = 822.03 \text{ kg/h}$
Komponentbalans: $Fx_F = L_1x_{L1} \Rightarrow x_{L1} = 0.17$

$$\beta_1 = \{x_{L1} = 0.17\} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 15.91 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\underline{U_{SKB,1} = 2.23 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Effekt 2: $V_1 \Delta H_{VAP,1} = U_{SKB,2} A \Delta T_2$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2 - \beta_2$$

$$T_1 = \{P_S = 1.8 \text{ bar}\} = 116.93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \{P_1 = 0.2 \text{ bar}\} = 60.09 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\beta_2 = \{x_{L2} = 0.50\} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 16.84 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\underline{U_{SKB,1} = 2.11 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}}$$

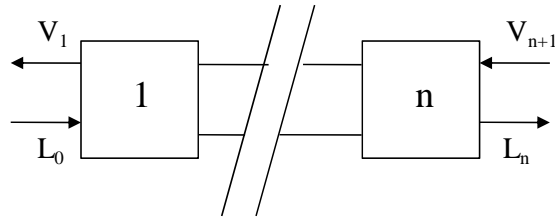
Svar: 596.5 kg/h, 2.23 resp 2.11 kW/m²·K

B4.

Data: $L_0 = 100 \text{ kg/h}$
 $x_A^0 = 0.325$
 $y_S^{n+1} = 1.0$
 $V_{n+1} = 2 L_0$
 $x_A^n = 0.05$

Sökt: V_1, y_A^1

Lösning:



Lägg in kända strömmar i triangelndiagram med lösningskurva.

Blandningspunkten, M, bestäms.

$$\left. \begin{array}{l} L_0 a = V_{n+1} b \\ a + b = 112 \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} a = 75 \text{ mm} \\ b = 37 \text{ mm} \end{array}$$

V_1 på lösningskurvan bestäms från L_n och M. Avläsning i diagram ger $y_A^1 = 0.125$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Hävstångsregeln ger} \\ L_n c = V_1 d \\ c = 63 \text{ mm} \\ d = 19 \text{ mm} \end{array} \right\} L_n = V_1 \frac{d}{c}$$

$$\text{Totalbalans } L_0 + V_{n+1} = V_1 + L_n \Rightarrow V_1 = 230 \text{ kg/h}$$

Polen skapas! Stegning ger 1 steg.

Svar: 230 kg/h, 12.4 vikt-%, 1 steg