



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Institutionen för kemi- och bioteknik

Avdelningen för kemiteknik

KURSNAMN	Separations- och apparatteknik, KAA095	<i>Med hänvisningar till svar av teoriuppgifter och 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	Fredag 25 oktober, kl 08.30-13.30.	
LOKAL	V	
HJÄLPMEDDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med tömt minne. Egna anteckningar och kursmaterial är ej godkänt hjälpmittel "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 tentamenteesen)	
ANSV LÄRARE: namn telnr besöker tentamen	Krister Ström 070 753 5708 Kl. 10.00 resp kl 11.30	
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Förslag till svar på tentamensuppgifter anslås 28 oktober på kurshemsidan. Resultat på tentamen meddelas tidigast 14 november efter kl 12.00 via e-post. Granskning 19 november kl 12.00-13.00 samt 21 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 tentamenteesen. 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. Det är Ditt ansvar att Du besitter nödvändiga kunskaper och färdigheter. Det material som Du lämnar in för rättningsurkund skall vara väl läsligt och förståeligt. Material som inte uppfyller detta kommer att utelämnas vid bedömnningen. Betyggränser: 20-29 poäng betyg 3, 30-39 poäng betyg 4 och 40-50 poäng ger betyg 5.	

Del A. Teoridel

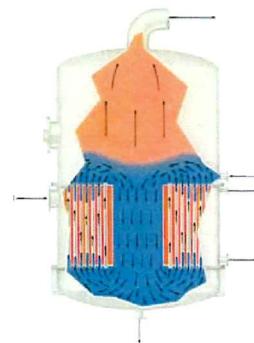
A1. Värmebalansen för en indunstare kan approximeras med följande uttryck;

$$S\Delta H_{VAP,S} = V\Delta H_{VAP,V}$$

Vilka är förutsättningarna för att man ska kunna göra denna approximation?

(3p)

A2. Figuren nedan beskriver en korttubsindunstare med vertikala tuber. Jämför denna typ av indunstare med korttubsindunstare med horisontella tuber och besvara frågorna nedan.



- Vilken indunstare av de två kommer att ha störst om blandning och hur kommer det att påverka värmeöverföringen?
- Är korttubsindunstare lämpliga för indunstning av viskösa lösningar?

(3p)

A3. a) Vad händer om mättad luft vid 40°C blandas med mättad luft vid 0°C ? Varför?
b) Namnge en valfri torkutrustning och beskriv kortfattat funktionen hos denna, gärna med illustrerande figur. Ange också om utrustningen är en konvektiv eller konduktiv tork (eller en kombination av båda).

(2p)

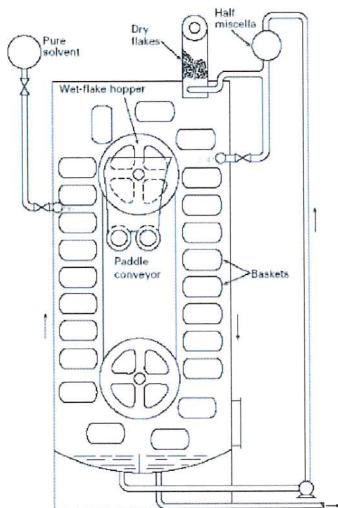
A4. a) Du har en vattenlösning, som innehåller ca 0,5 % fasta partiklar. Om du är intresserad av att rena vattnet från partiklar, ge exempel på en filtertyp du skulle kunna använda.
b) Om du istället är intresserad av de fasta partiklarna, vilken typ av filter skulle du då välja?

(2p)

A5. Redogör för jämviktsbegreppet vid fast fas-vätskaextraktion samt hur detta kan illustreras i ett triangeldiagram! Förklara och motivera!

(2p)

A6. Beskriv funktionen hos lakningsutrustningen enligt nedan!



(3p)

A7. Är det vid vätska-vätskaextraktion en fördel om

- a) Fördelningskonstanten mellan faserna är stor
- b) Densitetsskillnaden mellan faserna är liten
- c) Ångtrycksskillnaden är relativ hög mellan extraherbar komponent och lösningsmedel
- d) Ytspänningen för lösningsmedlet är hög

Motivera svaren kortfattat!

(2p)

A8. En kontinuerligt arbetande förtjockare körs underbelastad! Hur påverkas dess driftlinje, om förtjockarens belastning ökas med bibehållit bottenuttagsflöde så att förtjockaren till slut är överbelastad. Komplettera din skriftliga sammanfattning med ett illustrerande diagram!

(3p)

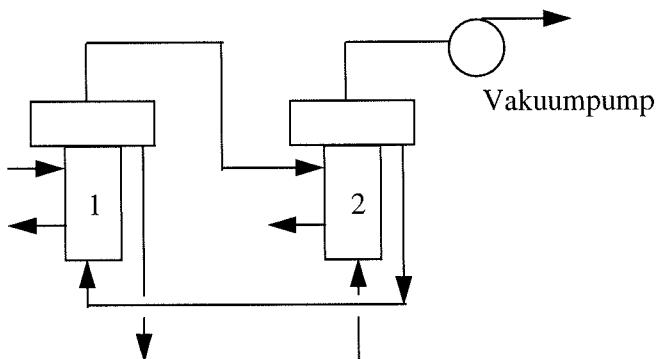
Del B. Problemdel

B1. En indunstningsanläggning arbetande i motström med två effekter, se figur nedan, vars ytor är lika stora, tillföres ett kokvarmt tillflöde på 56 ton/h hållande 5 vikt-% natriumhydroxid. Den koncentrerade lösningen är 50 vikt-%. Färskångans mättnadstryck är 3.0 bar. En vakuumpump efter andra effekten gör att trycket i andra effekten är 0.10 bar. Skenbara värmegenomgångstalet i första respektive andra effekten är 1.2 och 1.6 kW/m²K.

- Uppskatta färskångförbrukningen samt indunstareffekternas värmeverföringsyta!

Diagram över kokpunktsförhöjning bifogas!

(8p)



B2. En torkanläggning ska torka ett torkgods med ett inflöde av 760 kg fuktigt gods/h, från en fukthalt på 65 % till en fukthalt på 5 %. Man har ett torksteg till förfogande, men vill undersöka följande alternativ:

- Ett normalt torksteg.
- Ett torksteg med recirkulation. Färskluften blandas med lika delar recirkulerad luft ut från torksteget.

Färskluften håller en temperatur på 10°C och en relativ fuktighet på 60 %, och trycket är atmosfärtryck. Förvärmningen in till torksteget sker till 50°C i båda fallen, och torksteget betraktas som idealt. Om utgående luft förutsätts vara mättad, beräkna då färskluftförbrukningen i de båda fallen.

(7p)

Mollierdiagram bifogas.

B3. I ett kontinuerligt trumfilter filtreras en suspension av partiklar i vatten. Suspensionens torrhalt är 2 % och temperaturen är 30°C.

Trummans diameter är 3,4 m och dess bredd är 7,8 m. Den roterar med ett varvtal på

0,067 varv/min. Suspensionsnivån i trumfiltret är sådan att 43 % 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.

- a) I ett labbförsök med samma suspension i en utrustning med en filteryta på $0,047 \text{ m}^2$, erhölls en filtratvolym på 16,4 liter efter 2 min och en volym på 26,8 liter efter 5 min. Vätskans temperatur var densamma som i trumfiltret och labbfiltrets tryckskillnad var 0,65 bar. Partiklarnas densitet är 2800 kg/m^3 och kakans porositet bestämdes till 55 %.
Beräkna specifika filtreringsmotståndet och filtermediets motstånd i labbutrustningen.
- b) Hur stor är kaktjockleken när trumman lämnar filtreringszonen? Kakans egenskaper kan anses vara samma som i labbförsöket, men i trumfiltret används ett filtermedium med ett mycket lägre motstånd, så det kan försummas vid beräkningarna.
Vad är filtrets kapacitet räknat som kg fast material i filterkakan per timme?
- c) Hur mycket ändras filtrets kapacitet om trummans varvtal ökas till det dubbla?

(10p)

Ledning: Vid beräkningarna på trumfiltret kan man betrakta filtreringsförloppet som ett satsvis förlopp, med hela den nedsänkta arean som filterarea. Vid kapacitetsberäkningar bör dock hela arean beaktas.

- B4.** Aceton ska extraheras ur etylacetat innehållande 25 vikt-% aceton och 5 vikt-% vatten. Detta ska ske genom flerstegsextraktion i motström vid 25°C med vatten innehållande 2 vikt-% aceton. Utgående raffinatfas ska innehålla 3 vikt-% aceton. Ingående raffinatfasström är 2000 kg/h och tillförd extraktfasström är 4300 kg/h

- Bestäm antalet ideala steg som fordras för att genomföra separationen!

(5p)

Jämvikts- och triangeldiagram för systemet aceton-etylacetat-vatten vid 25°C bifogas.

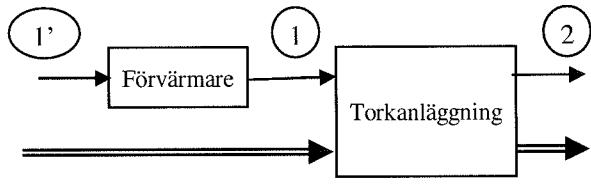
Göteborg 2013-10-22
Krister Ström

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

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

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

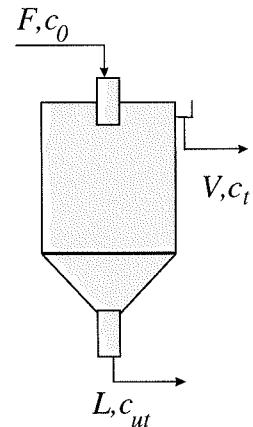
SEDIMENTERING

Fri sedimentering:

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

Hindrad sedimentering:

Nedre driftlinjen	$c v = \frac{L}{A} (c_{ut} - c)$
Övre driftlinjen	$c v = \frac{V}{A} (c - c_t)$



STRÖMNING I PORÖS BÄDD

Kozeny-Carman baserad:

$$v_{mf} = \frac{1}{K''} \frac{\epsilon_{mf}^3}{S^2 (1 - \epsilon_{mf})} \frac{(\rho_s - \rho) g}{\mu}$$

Ergun baserad:

$$v_{mf} = -\frac{150(1 - \epsilon_{mf})\mu}{3.5D_p \rho} + \sqrt{\left(-\frac{50(1 - \epsilon_{mf})\mu}{3.5D_p \rho}\right)^2 + \frac{(\rho_s - \rho)g\epsilon_{mf}^3 D_p}{1.75\rho}}$$

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

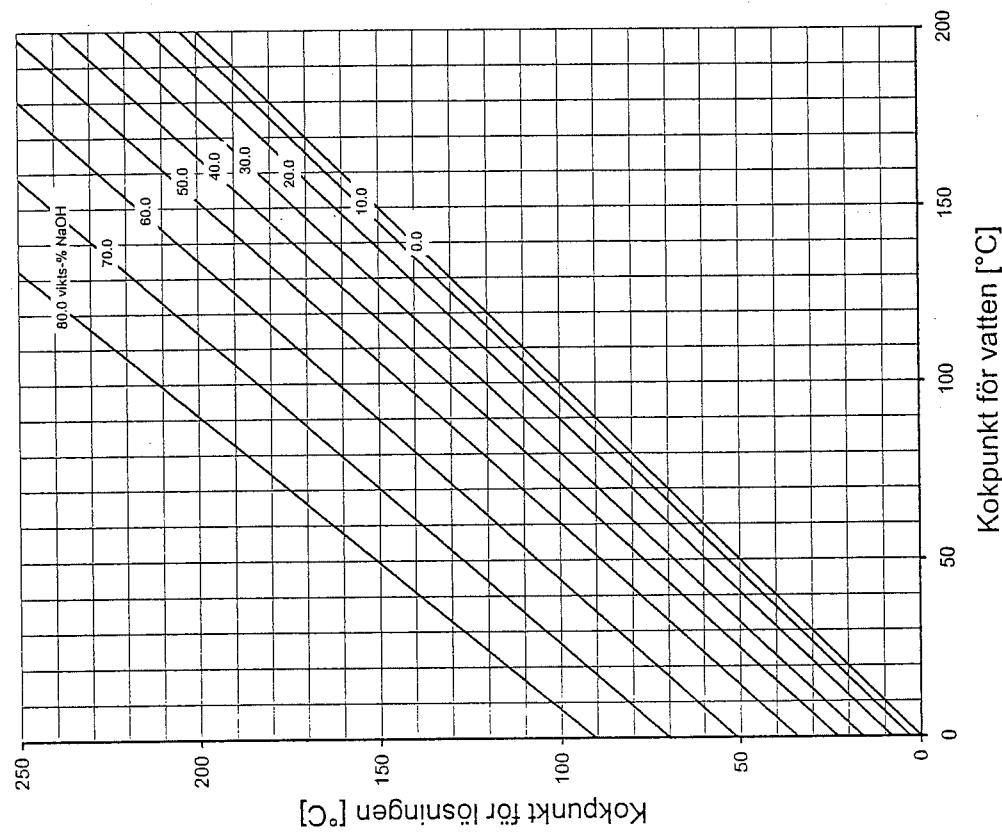
A	sedimentationsarea, m ²
D_p	partikelstorlek, m
g	tyngdaccelerationen, m/s ²
v	partikelns sedimentationshastighet, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s

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

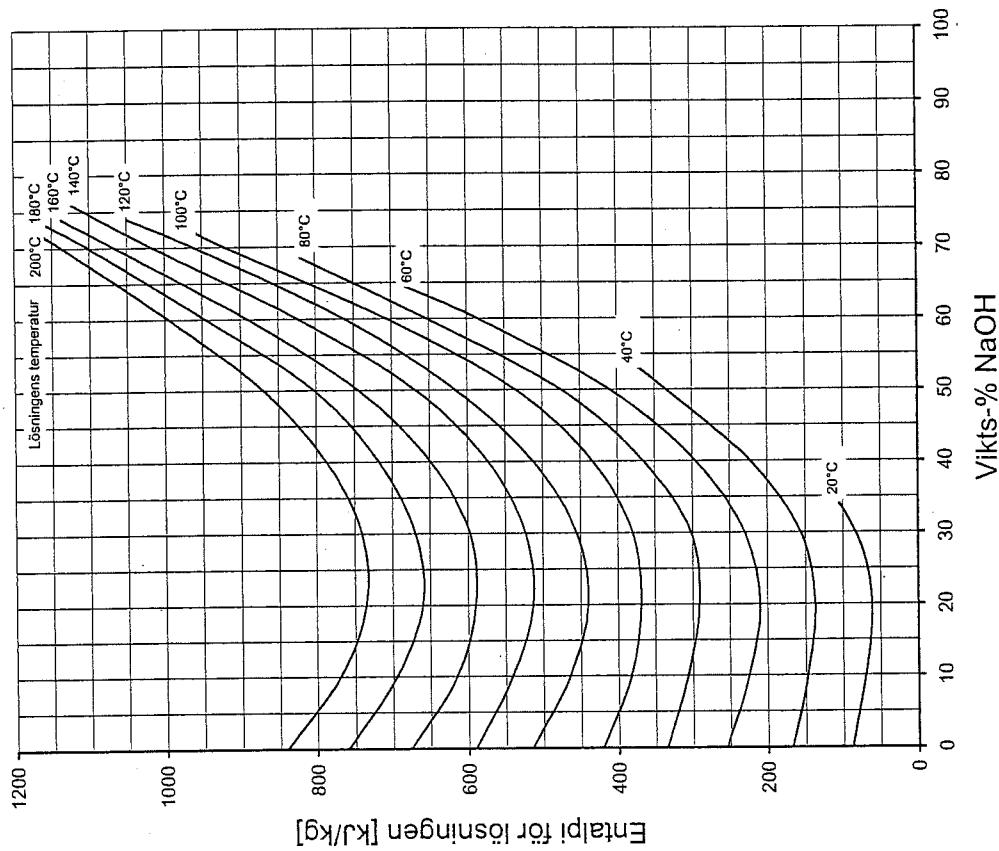
STRÖMNING I PORÖS BÄDD

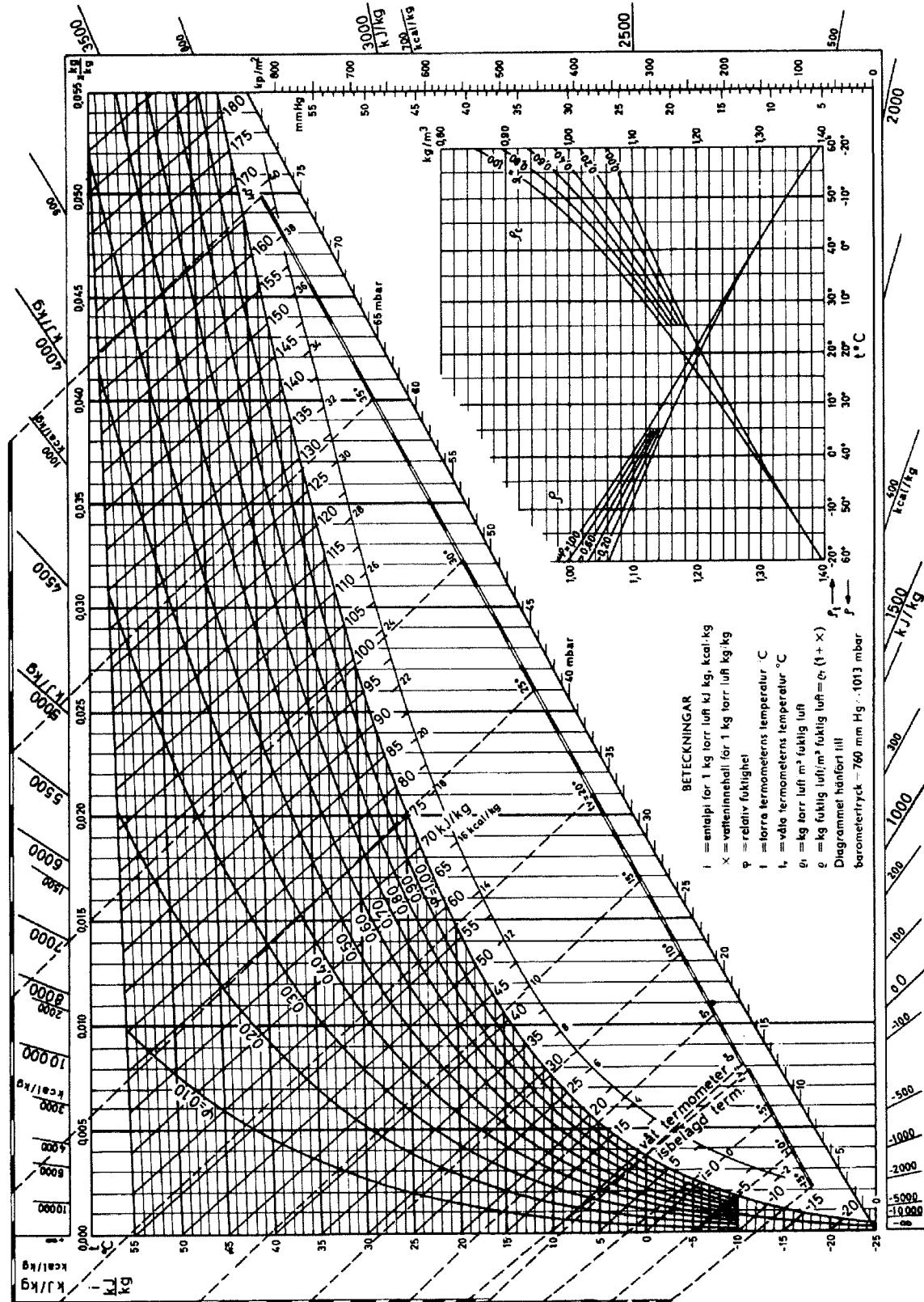
ρ_s	fasta fasens densitet, kg/m ³
D_p	partikelstorlek, m
g	Acceleration i gravitationsfält, m/s ²
K	Kozenys konstant
S	Partikelns specifika yta, m ² /m ³
v_{mf}	Minsta hastighet för fluidisation, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s
ρ	fluidens densitet, kg/m ³
ε_{mf}	Bäddens porositet vid minsta hastighet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

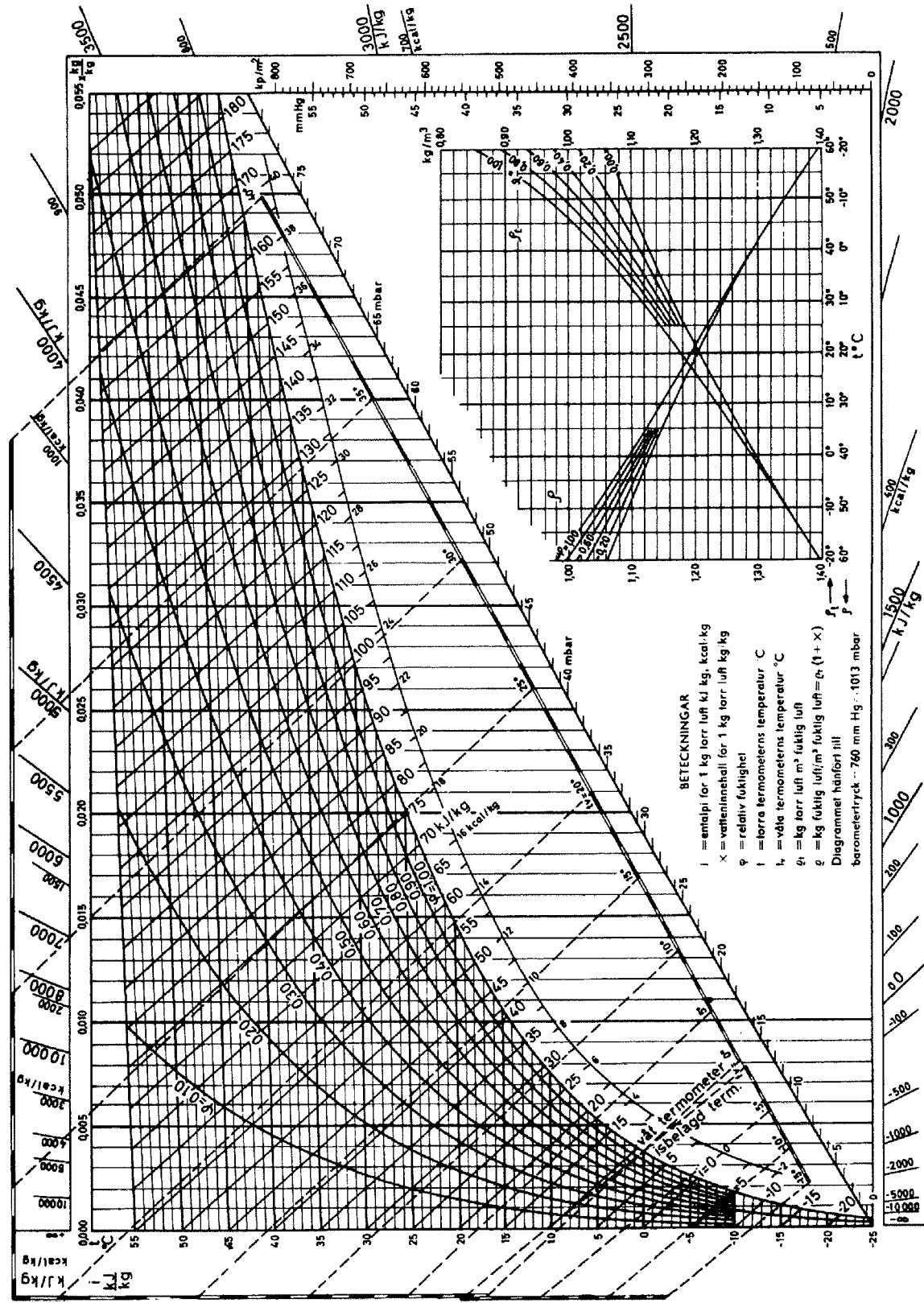
Dühringdiagramm



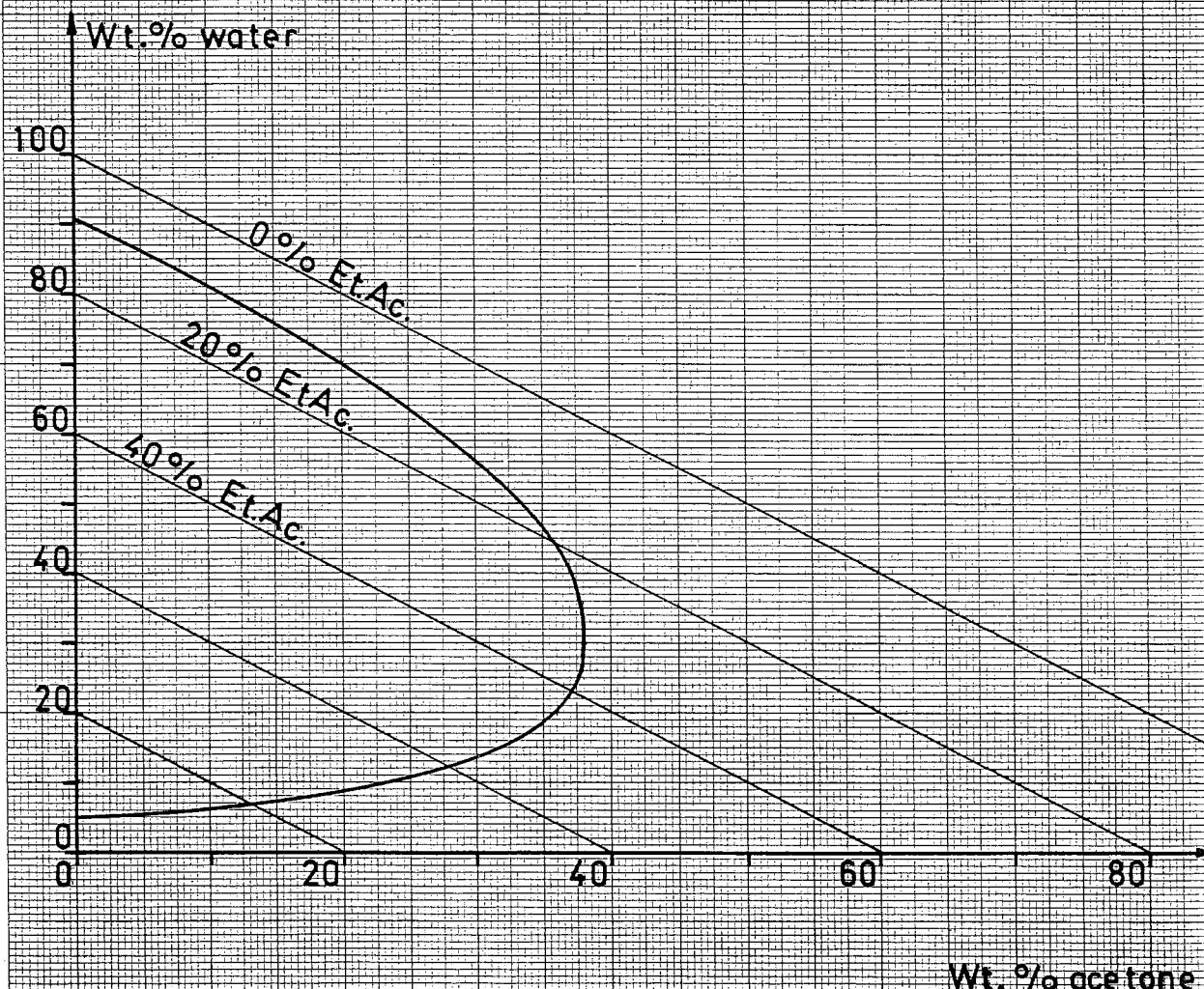
Entalpi för lösningen



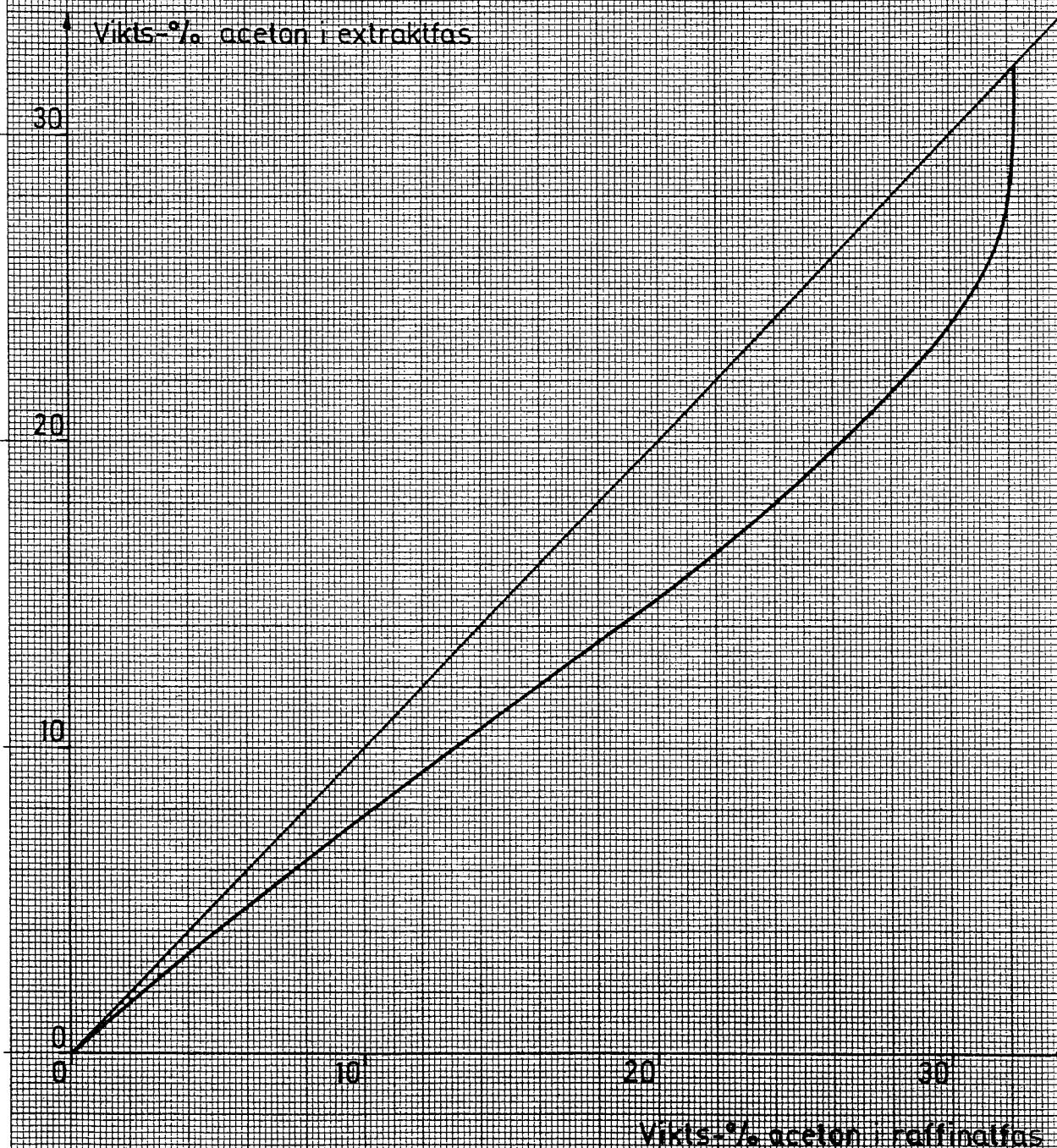




SYSTEMET
ACETON-ETYLACE TAT-VATTEN



Jämviktskurva för systemet
aceton-etylacetat-vatten vid 100 kPa.



ST3
523 A4
732501

(TULLBERG
RSTA
KLIPPAK)

Nr 1634

Hänvisningar till svar till tentamentesens Del A.

A1. Se föreläsning anteckningar till föreläsning F2 där uttrycket härleddes och förutsättningarna presenterades.

A2. Se avsnitt §17.10 i kurslitteraturen Henley, Seader & Roper.

A3. a) Se OH från föreläsning F3.
b) Se kap 18.1 i kursboken.

A4. Se kap. 4 i kompendiet Filtrering, eller kap. 19.2 i kursboken.

A5. Se anteckningar till föreläsning F6 Lakning med OH-bilagans bilder 5 och 6.

A6. Se avsnitt §16.1.3 i kurslitteraturen Henley, Seader & Roper.

A7. Se avsnitt §8.2 i kurslitteraturen Henley, Seader & Roper.

A8. Se kompendium Sedimentering.

B1

DATA: $F = 5.6 \text{ ton/h}$

$$x_F = 0.05$$

$$x_{L1} = 0.50$$

$$P_0 = 3.0 \text{ bar}$$

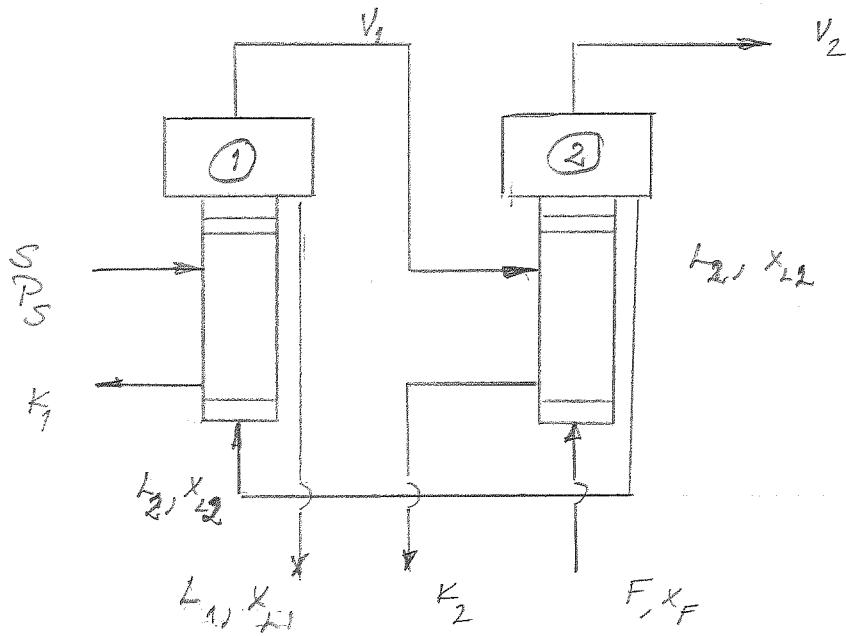
$$P_2 = 0.10 \text{ bar}$$

$$V_1 = 1.2 \text{ kW/m}^2 \cdot K$$

$$V_2 = 1.6 \text{ kW/m}^2 \cdot K$$

SÖKT: UPPSKATTA $A_1 = A_2 = A$ SAMT S

LÖSNING:



SÖK OKÄNDA STRÖMMAR TILL STÖPLEK OCH SAMMANSTÄTTNING.

$$\text{T.B.: } F = L_1 + V_1 + V_2 \Rightarrow F_1 = L_1 + V_{\text{TOT}} \quad (1)$$

$$\text{K.B.: } F x_F = L_1 x_{L1} \quad (2)$$

$$(2) \Rightarrow L_1 = F \frac{x_F}{x_{L1}} \Rightarrow L_1 = 5.6 \text{ ton/h}$$

$$(1) \Rightarrow V_{\text{TOT}} = F - L_1 \Rightarrow V_{\text{TOT}} = 50.4 \text{ ton/h}$$

FÖRDELNINGA ÖVER EFFEKT. $V_1 = V_2 = 25.2 \text{ ton/h}$.

Sammansättning och storlek på λ_2 ?

$$T.B. \text{ EFFEKT } 1. \quad \lambda_2 = \lambda_1 + k \quad \Rightarrow \quad \lambda_2 = 30.8 \text{ ton/h.}$$

$$K.B. \text{ EFFEKT } 2. \quad \lambda_2 x_{22} = \lambda_1 x_{11} \quad \Rightarrow \quad x_{22} = 0.09$$

$$\text{Sj.} \quad S \Delta H_{VAP,S} = V_2 \Delta H_{VAP,2}$$

$$\Delta H_{VAP,S} = \{P_0 = 3.0 \text{ bar}\} = 2163.92 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_{VAP,2} = \{P_2 = 0.10 \text{ bar}\} = 2392.22 \text{ kJ/kg}$$

$$V_2 = 25.2 \text{ ton/h}$$

$$\therefore \underline{S = 27.9 \text{ ton/h.}}$$

$$A_1: \text{ KAPACITETSEKU.} \quad Q = U_1 A_1 \Delta T_1$$

$$\Delta T_{TOT} = \Delta T_1 + \Delta T_2$$

$$\Delta T_{TOT} = T_0 - T_2' - \sum_{n=1}^2 \beta_n$$

$$T_0 = \{P_0 = 3.0 \text{ bar}\} = 133.54^\circ\text{C}$$

$$T_2' = \{P_2 = 0.10 \text{ bar}\} = 45.83^\circ\text{C}$$

$$\beta_1 = 42^\circ\text{C}$$

$$\beta_2 = 3^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{TOT} = 42.71^\circ\text{C}$$

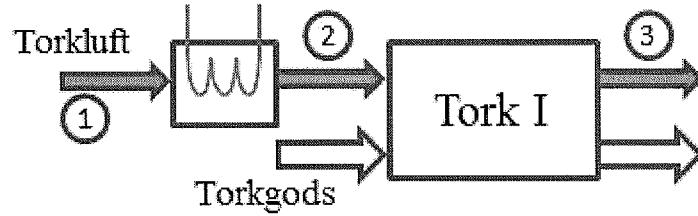
$$\Delta T_{TOT} = (1 + \frac{U_1}{U_2}) \Delta T_1 \quad \Rightarrow \quad \Delta T_1 = 24.4^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 18.8^\circ\text{C}$$

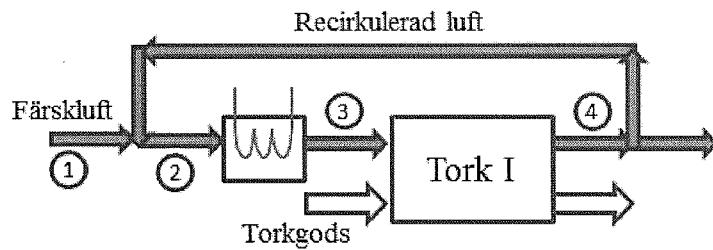
$$A_1: \quad A_1 = \frac{S \Delta H_{VAP,S}}{U_1 \Delta T_1} \quad \Rightarrow \quad \underline{A_1 = 572.8 \text{ m}^2}$$

$$A_2: \quad A_2 = \frac{S \Delta H_{VAP,S}}{U_2 \Delta T_2} \quad \Rightarrow \quad \underline{A_2 = 572.8 \text{ m}^2}$$

B2



Figur 1: Fall a) Enstegstork.



Figur 2: Fall b) Enstegstork med recirkulation.

Givna data

$$\begin{array}{ll} \dot{M}_{fg,in} = 760 \text{ kg fuktigt gods/h} & T_{in} = 10^\circ\text{C} \\ FH_{in} = 0,65 & \phi_{in} = 0,60 \\ FH_{ut} = 0,05 & T_{max} = 50^\circ\text{C} \\ \frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{tork}} = 0,50 & \end{array}$$

Sökt

- a) $\dot{M}_{G,a}$
- b) $\dot{M}_{G,b}$

Lösning

Vi ska jämföra luftförbrukningen med och utan recirkulation. I båda fall får färskluftförbrukningen genom fuktbalansen:

$$\dot{M}_D = \dot{M}_S \cdot \Delta X = \dot{M}_G \cdot \Delta Y \quad (1)$$

som ger

$$\dot{M}_G = \frac{\dot{M}_S \cdot \Delta X}{\Delta Y} \quad (2)$$

Eftersom det är färskluftförbrukningen vi ska beräkna, gäller ΔY över hela anläggningen, d.v.s ända från ingående lufts tillstånd.

Massflödet av torkgods är givet som fuktigt gods, men med hjälp av angivna fukt-
halter kan vi räkna om det till torrt torkgodsflöde, enligt:

$$\dot{M}_S = (1 - FH_{in}) \cdot \dot{M}_{fg,in} \quad (3)$$

$$\dot{M}_S = 266 \text{ kg torrt gods/h} \quad = 0,0739 \text{ kg torrt gods/s}$$

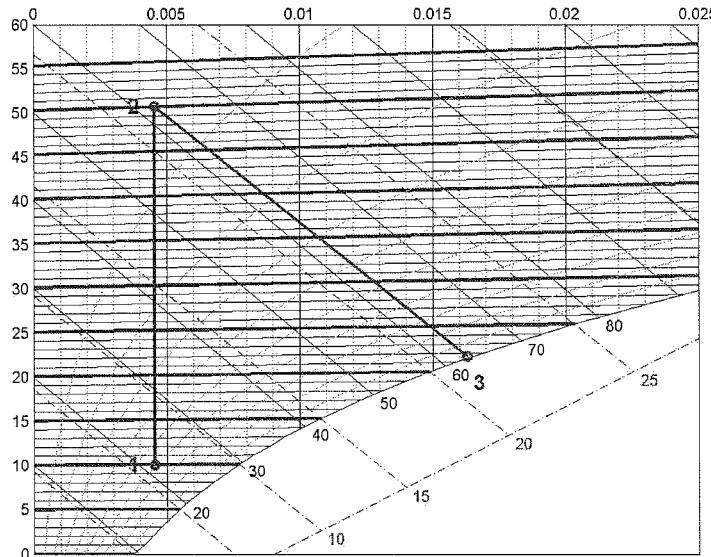
Dessutom är det fukthalten som är given, inte fuktkvoten, så den behöver också bestämmas, enligt:

$$X = \frac{1 - FH}{FH} \quad (4)$$

Insättning i ekvation (4) ger:

$$X_{in} = 1,86 \text{ kg fukt/kg torrt gods} \quad X_{ut} = 0,053 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$$

$$\Delta X = 1,80 \text{ kg fukt/kg torrt gods}$$



Figur 3: Enstegstorken i Mollierdiagrammet

a)

Grundfallet, enstegstorken utan recirkulation, ses inritad i figur 3 - förvärmning från ingående lufts tillstånd vertikalt till T_{max} , och sedan idealt längs en våttemperaturlinje, ända ner till mättnadskurvan.

För detta fall ska ΔY bestämmas mellan punkt 1 och 3, och avläsning i diagrammet ger:

$$Y_{a,1} = 0,0046 \text{ kg fukt/kg torrluft} \quad Y_{a,3} = 0,0163 \text{ kg fukt/kg torrluft}$$

$$\Delta Y_a = Y_{a,3} - Y_{a,1} \quad (5)$$

$$\Delta Y_a = 0,0117 \text{ kg fukt/kg torrluft}$$

Insättning i ekvation (2) ger nu:

$$\dot{M}_{G,a} = 11,35 \text{ kg torrluft/s} \quad = 4,1 \cdot 10^4 \text{ kg torrluft/h}$$

b)

Vid recirkulationen är det inte rakt på, eftersom utgående torkluft blandas med ingående färskluft. Detta innebär att luften in i själva torksteget, den blandade luftströmmen, förskjuts mot högre fuktkvoter, och vi kommer därför att få motsvarande förskjutning av utgående luft efter torksteget, i jämförelse med det rena enstegsfallet. Förskjutningen beror på den inblandade luften, d.v.s. utgående luft, som också är den som vi ska bestämma, alltså en typisk situation för iterering - gissning och justering tills det stämmer överens.

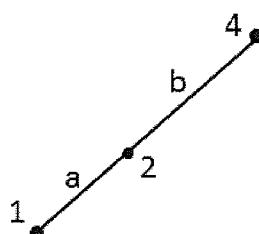
Förfarandet i detta fall går att variera, men bygger på att två villkor måste uppfyllas samtidigt: Blandningsvillkoret, som ger en utgångspunkt för torksteget, och villkoret att torksteget ska passa in mellan punkterna 2 och 4. I denna lösning kommer nedanstående variant att användas:

1. Gissa utgående lufts tillstånd. (Eftersom utgående luft ska vara mättagd, innebär detta en gissning av Y_4 .)
2. Beräkna blandningspunkten m.h.a. hävstångsregeln.
3. Stega baklänges från utgående luft (idealt, längs våttemperaturlinjen, till T_{max} och sedan vertikalt neråt till blandningslinjen), och se om ingående fuktkvot är samma som blandningspunktens (inom avläsningsbara marginaler). Om inte gör ny gissning och upprepa steg 1-3 igen.

(Det går lika bra att stega framåt från blandningspunkten. Då görs kontrollen mellan gissad utgående fuktkvot och fuktkvoten ut från det nyss stegade torksteget.)

Beräkningen av blandningspunkten för Y och H görs med fördel grafiskt. Om räkning med ekvation ändå används, blir detta t.ex. för Y , med $\dot{M}_G + \dot{M}_{rec} = \dot{M}_{tork}$:

$$Y_2 = \frac{\dot{M}_G \cdot Y_1 + \dot{M}_{rec} \cdot Y_4}{\dot{M}_G + \dot{M}_{rec}} = \left(1 - \frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{tork}} \right) \cdot Y_1 + \frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{tork}} \cdot Y_4 \quad (6)$$



Figur 4: Hävstångsregeln

I en grafisk lösning innebär det att sträckan mellan punkt 1 och 2 (a i figur 4) ska kompensera mängden färskluft i jämförelse med mängden recirkulerad, genom motsvarande jämförelse med sträckan mellan punkt 2 och 4 (b i figuren), enligt hävstångsprincipen om likhet *Sträcka · Mängd*:

$$a \cdot \dot{M}_1 = b \cdot \dot{M}_4 \quad (7)$$

$$\Rightarrow \frac{a}{b} = \frac{\dot{M}_4}{\dot{M}_1} = \frac{\frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{tork}}}{1 - \frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{tork}}} \quad (8)$$

I detta fall utgör den recirkulerade luften hälften av det totala flödet, alltså kommer a/b att vara 1, d.v.s. båda sträckorna blir lika långa.

I tabellen nedan redovisas resultatet efter iterationen, med

$$Diff = Y_{2steg} - Y_{2ber} \quad (9)$$

Y_{4giss} kgfukt/kg torrluft	Y_{2ber} kgfukt/kg torrluft	Y_{2steg} kgfukt/kg torrluft	$Diff$ kgfukt/kg torrluft
0,0163	0,0104	0,0046	-0,0059
0,0210	0,0128	0,0108	-0,0020
0,0234	0,0139	0,0138	-0,0001

Iterationens första gissning, att utgående luft inte skulle påverkas, kan vara en bra utgångspunkt om man inte har någon uppfattning om hur långt bort man ska gissa, eftersom den ger en bra indikation på storleksordningen på förskjutningen. (Efter två gissningar, hittar man lätt den tredje genom inter- eller extrapolation till ett värde som borde ge differensen 0.)

Slutresultatet syns i figur 5, där vi kan läsa av fuktkvoterna:

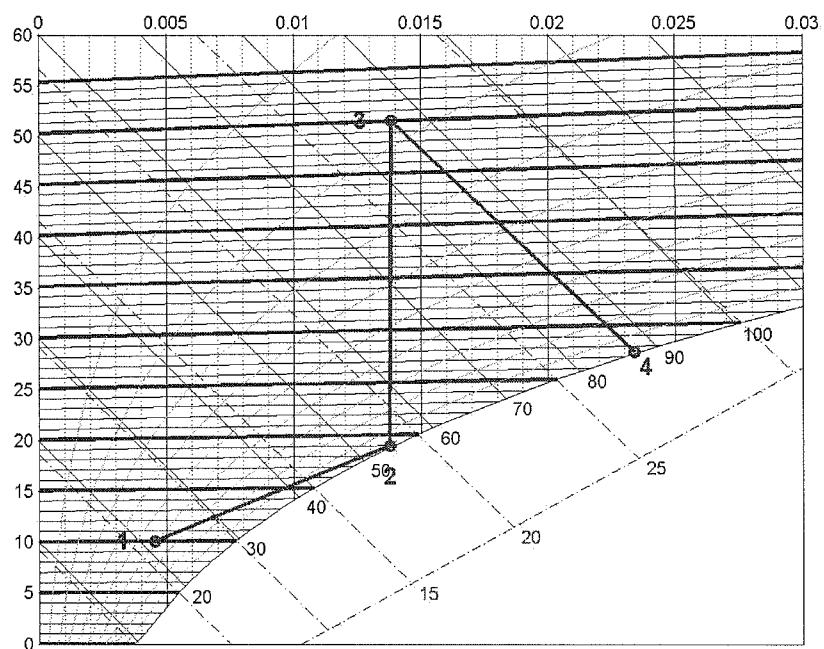
$$Y_{b,1} = 0,0046 \text{ kg fukt/kg torrluft} \quad Y_{b,4} = 0,0234 \text{ kg fukt/kg torrluft}$$

$$\Delta Y_b = Y_{b,4} - Y_{b,1} \quad (10)$$

$$\Delta Y_b = 0,0188 \text{ kg fukt/kg torrluft}$$

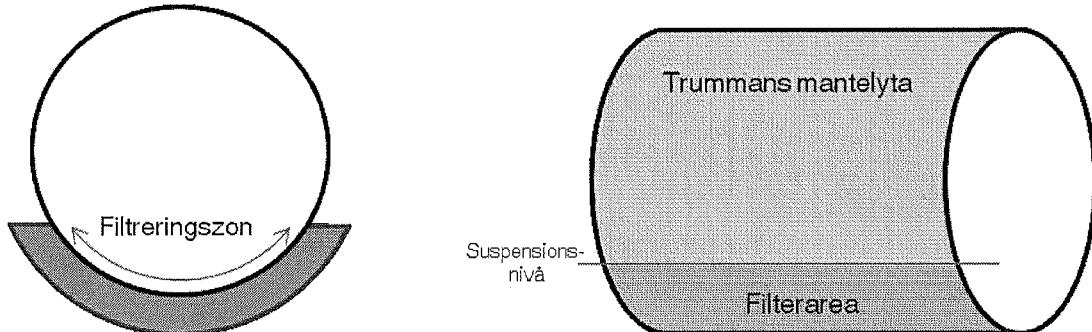
Insättning i ekvation (2) ger nu:

$$\dot{M}_{G,b} = 7,08 \text{ kg torrluft/s} \quad = 2,5 \cdot 10^4 \text{ kg torrluft/h}$$



Figur 5: Ett torksteg med recirkulation

B3



Figur 1: Trumfilter med aktiv filterarea

Givna data

$J = 0,02 \text{ kg fast/kg suspension}$	$t_1 = 2 \text{ min}$
$T = 30^\circ\text{C}$	$V_1 = 16,41$
$D_{trumma} = 3,4 \text{ m}$	$t_2 = 5 \text{ min}$
$B_{trumma} = 7,8 \text{ m}$	$V_2 = 26,81$
$n = 0,067 \text{ varv/min}$	$\Delta P_{labb} = 0,65 \text{ bar}$
$A_{filter}/A_{tot} = 0,43$	$\varepsilon_{av} = 0,55$
$\Delta P = 1,5 \text{ bar}$	$\rho_s = 2800 \text{ kg fast/m}^3$
$A_{labb} = 0,047 \text{ m}^2$	$n_{ny} = 0,134 \text{ varv/min}$

Sökt

- a) α_{av} och R_m
- b) L_{kaka} och \dot{m}_S
- c) $\dot{m}_{S,ny}$

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:

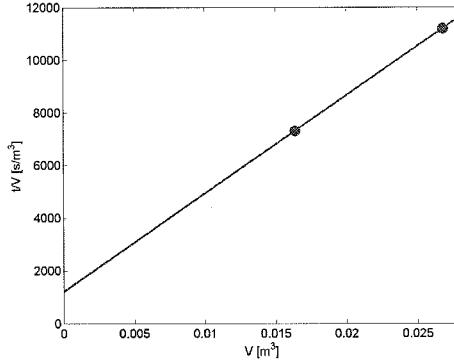
$$\text{Lutning} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2)$$

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

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

$$(t/V)_1 = 7,32 \cdot 10^3 \text{ s/m}^3$$

$$(t/V)_2 = 1,12 \cdot 10^4 \text{ s/m}^3$$



Figur 2: t/V mot V

I båda fallen blir resultatet:

$$Lutn = 3,73 \cdot 10^5 \text{ s/m}^6$$

$$Skärn = 1,20 \cdot 10^3 \text{ s/m}^3$$

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 säknar även värden på vätskans egenskaper vid aktuell temperatur. Data & Diagram, s.76 ger:

$$\rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,000801 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Insättning i ekvation (6) ger nu: $c = 20,5 \text{ kg/m}^3$

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

$$\alpha_{av} = 6,52 \cdot 10^9 \text{ (m/kg)}$$

$$R_m = 4,59 \cdot 10^9 \text{ (1/m)}$$

b)

För att göra beräkningar på det kontinuerliga trumfiltret, kan ett förlopp följas för en punkt på trumman. När den rör sig genom varvet genomgår den en cykel, som kan jämföras med ett satsvis förlopp. Filtreringsförloppet sker bara under den del av varvet som den betraktade punkten rör sig genom filtreringszonen. Tiden det tar för denna transport kan jämföras med filtreringstiden för ett satsvis förlopp, alltså är:

$$t_{slut} = t_{tot} \cdot \frac{A_{filter}}{A_{tot}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{A_{filter}}{A_{tot}} \quad (7)$$

$$t_{slut} = 385 \text{ s}$$

Ur denna beräkning kan vi sedan uppskatta hur mycket filterkakan hunnit växa till. För den beräkningen måste vi betrakta alla punkter på trumman som befinner sig i filtreringszonen, eftersom det pågår filtrering i alla dessa punkter samtidigt (även om de är ”ur fas” med varandra). Filterytan fås då ur:

$$A_{filter} = \frac{A_{tot}}{A_{tot}} \cdot A_{tot} \quad (8)$$

med

$$A_{tot} = \pi \cdot D_{trumma} \cdot B_{trumma} \quad (9)$$

Insättning i ekvationerna (9) och (8) ger nu:

$$A_{tot} = 83,3 \text{ m}^2 \quad A_{filter} = 35,8 \text{ m}^2$$

Om filterkakan som bildas har tjockleken L_{kaka} , kommer den sammanlagda kakvolymen som kommer att bildas av alla dessa ”fasförskjutna” filtreringsförlopp på filterytan att bli:

$$V_{kaka} = L_{kaka} \cdot A_{filter} \quad (10)$$

Denna kan kopplas till producerat filtrat under tiden för ett filtreringsförlopp, V_{cykel} , m.h.a. kvoten c :

$$c = \frac{m_S}{V_{cykel}} \quad (11)$$

eftersom

$$m_S = \rho_s \cdot (1 - \varepsilon_{av}) \cdot V_{kaka} \quad (12)$$

Kombination av ekvationerna (10), (11) och (12) ger nu:

$$L_{kaka} = \frac{c \cdot V_{cykel}}{\rho_s (1 - \varepsilon_{av}) A_{filter}} \quad (13)$$

Eftersom tryckfallet är konstant, men filtermediets motstånd försumbart, blir ekvation (1) nu istället:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \alpha_{av} c}{2 A^2 \Delta P} V \quad (14)$$

Om filtratvolymen lösas ut ur ekvation (14), fås:

$$V = \sqrt{\frac{2A^2\Delta P}{\mu\alpha_{av}c}} t \quad (15)$$

Med t_{slut} som t , kan nu V_{cykel} beräknas:

$$V_{cykel} = \sqrt{\frac{2A_{filter}^2\Delta P}{\mu\alpha_{av}c} t_{slut}} \quad (16)$$

$$V_{cykel} = 37,2 \text{ m}^3 \text{ filtrat}$$

Insättning i ekvation (13) ger nu:

$$L_{kaka} = 0,0169 \text{ m} = 1,7 \text{ cm}$$

Kapaciteten beräknas som mängden bildad filterkaka (den fasta delen av kakan) per tidsenhet. I resonemanget ovan tittade vi bara på filterzonen, eftersom det är där filterkakan byggs upp, men när det gäller kapaciteten måste vi titta på hur hela trumman utnyttjas.

Varje del av ytan kommer att bilda en kaka i filterzonen. Räknat per yta är den bildade kakans fasta massa m_S/A_{filter} . Hela trumman bildar då för varje varv:

$$m_{S,varv} = m_S \cdot \frac{A_{tot}}{A_{filter}} = \frac{m_S}{\frac{A_{filter}}{A_{tot}}} \quad (17)$$

Kapaciteten fås nu ur bildad kakmängd per varv dividerat med tiden för ett varv:

$$\dot{m}_S = \frac{m_S}{\frac{A_{filter}}{A_{tot}} \cdot t_{tot}} = \frac{m_S \cdot n}{\frac{A_{filter}}{A_{tot}}} \quad (18)$$

Vi behöver beräkna ett värde på m_S , och ommöblering av ekvation (6) ger:

$$m_S = c \cdot V_{cykel} \quad (19)$$

$$m_S = 763 \text{ kg}$$

Insättning i ekvation (18) ger nu:

$$\dot{m}_S = 1,98 \text{ kg fastfas/s} = 7,1 \cdot 10^3 \text{ kg fastfas/h}$$

c)

Ett högre varvtal kommer att påverka tiden som det tar för en punkt att färdas genom filterzonern, och därmed också mängden per varv, genom att kakan inte himmer bygga upp lika mycket. Enligt ekvation (19) och (16) påverkas kakmängden av filtreringstiden som:

$$m_{S,ny} = c \cdot V_{cykel,ny} = c \cdot \sqrt{\frac{2A_{filter}^2 \Delta P}{\mu \alpha_{avg} c}} t_{slut,ny} \quad (20)$$

Med $n_{ny} = 2 \cdot n$ får vi enligt ekvation (7): $t_{slut,ny} = t_{slut}/2 = 193 \text{ s}$

vilket insatt i ekvation (20) ger: $m_{S,ny} = 540 \text{ kg}$

Insatt i ekvation (18) får vi nu:

$$\dot{m}_{S,ny} = 2,80 \text{ kg fast fas/s} = 1,01 \cdot 10^4 \text{ kg fast fas/h}$$

Vi ser att vi alltså får en ökad kapacitet. Att detta stämmer, kan vi lätt övertyga oss om via en förenkling av ekvation (20) med allting konstant utom tiden:

$$m_S = \text{konst} \cdot \sqrt{t_{slut}} \Rightarrow m_{S,ny} = \frac{m_S}{\sqrt{2}} \quad (21)$$

I kombination med $n_{ny} = 2 \cdot n$, ger ekvation (18) oss:

$$\dot{m}_S = \text{konst} \cdot m_S \cdot n \Rightarrow \dot{m}_{S,ny} = 2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \dot{m}_S = \sqrt{2} \cdot \dot{m}_S \quad (22)$$

B4

DATA: $x_A^0 = 0.25$

$$x_{S_{n+1}}^0 = 0.05$$

$$y_A = 0.98$$

$$y_S_n^{n+1} = 0.02$$

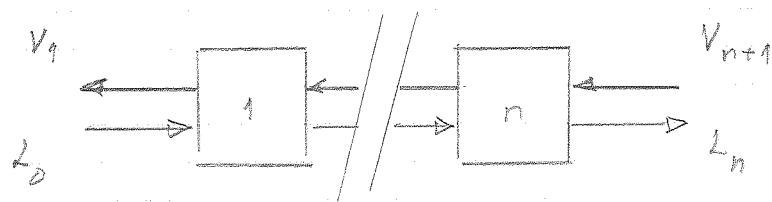
$$x_A = 0.03$$

$$L_0 = 2000 \text{ kg/h}$$

$$V_{n+1} = 4300 \text{ kg/h}$$

SÖK: ANTAL EXTRAKTIONSSTEG!

LÖSNING:



LÄGS IN KÄNDH STRÖMMAR I TRIANGELDIAGRAM.

SÖK BLANDNINGSPUNKTER MELLAN L_0 OCH V_{n+1}

HÅVNÄRSREGELN $\left. \begin{array}{l} L_0 = V_{n+1}, b \\ a + b = 99 \end{array} \right\} \begin{array}{l} a = 68 \text{ mm} \\ b = 31 \text{ mm} \end{array}$

LÄGET AV V_1 PÅ LÖSNINGSKURVAN KAN KONSTRUERAS.

POLEN KONSTRUERAS?

LÖS DRIFTLINJER OCH JMV. SAMMBAND GRAFIKT

$$y_A^1 = 0.105 \rightarrow x_A^1 = 0.188$$

$$y_A^2 = 0.06 \rightarrow x_A^2 = 0.075$$

$$y_A^3 = 0.035 \rightarrow x_A^3 = 0.044$$

$$y_A^4 = 0.025 \rightarrow x_A^4 = 0.03 = x_A^1 \Rightarrow 4 \text{ IDEALA STEG.}$$

SVAR: $\not 4$ IDEALA EXTRAKTIONSSTEG

SYSTEMET
ACETON - ETYLACE TAT - VATTEN

