



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

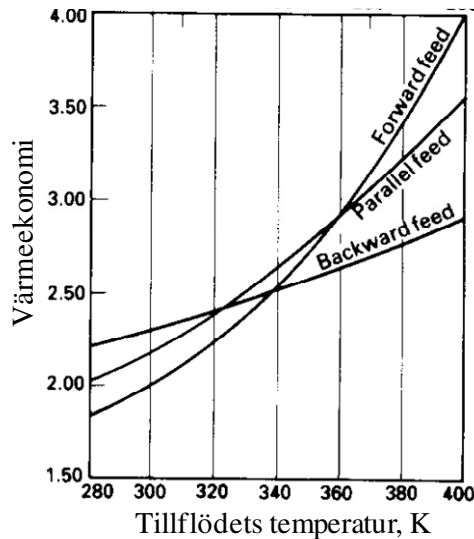
Institutionen för kemi- och bioteknik

Avdelningen för kemiteknik

KURSNAMN	Separations- och apparatteknik 2, 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	Måndag 9 januari 2012, kl 08.30-13.30	
LOKAL	V	
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 10 januari på kurshemsidan, studieportalen. Resultat på tentamen meddelas tidigast 24 januari efter kl 12.00 via e-post. Granskning 24 januari kl 12.30-13.00 samt 1 februari kl. 12.30-13.00 i seminarierummet, forskarhus II plan 2.	
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av en teoridel med åtta teorifrågor samt en räknedel med fyra räkneuppgifter. Poäng på respektive uppgift finns noterat i tentamentesen. För godkänd tentamen fordras 40% av tentamens 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. Betygränser: 20-29 poäng betyg 3, 30-39 poäng betyg 4 och 40-50 poäng ger betyg 5.	

Del A. Teoridel

A1. Studerar man avdunstningsfaktor som funktion av tillflödets temperatur för en indunstningsanläggning bestående av tre effekter erhålls kurvor för med-, mot, och tvärströmskoppling enligt figuren nedan.



- Varför är medströmskoppling lämplig vid hög temperatur hos tillflödet då man önskar en hög avdunstningsfaktor? Motivera svaret!
- Varför är motströmskoppling lämpligt vid låg temperatur hos tillflödet? Motivera svaret!

(2p)

A2. Kokpunktsförhöjning för med sig att avdunstad ånga är överhettad!

- Beskriv fenomenet kokpunktsförhöjning!
- Innan denna ånga används som värmende medium i nästa effekt mäts denna! Hur och varför görs detta?

(3p)

- A3.**
- a) Vilka förutsättningar gäller för ett idealt torksteg i en konvektionstork? Vad innebär detta för processen i ett Mollierdiagram? Motivera!
 - b) Vad är för- och nackdelar med konduktionstorkar i jämförelse med konvektionstorkar?

(2p)

- A4.**
- a) Varför bör inte filtrering vid konstant tryckfall tillämpas om man har problem i inledningskedet av filtreringen?
 - b) Namnge ett valfritt filter och beskriv kortfattat dess funktion. Ange om filtret är kontinuerligt eller satsvis arbetande.

(3p)

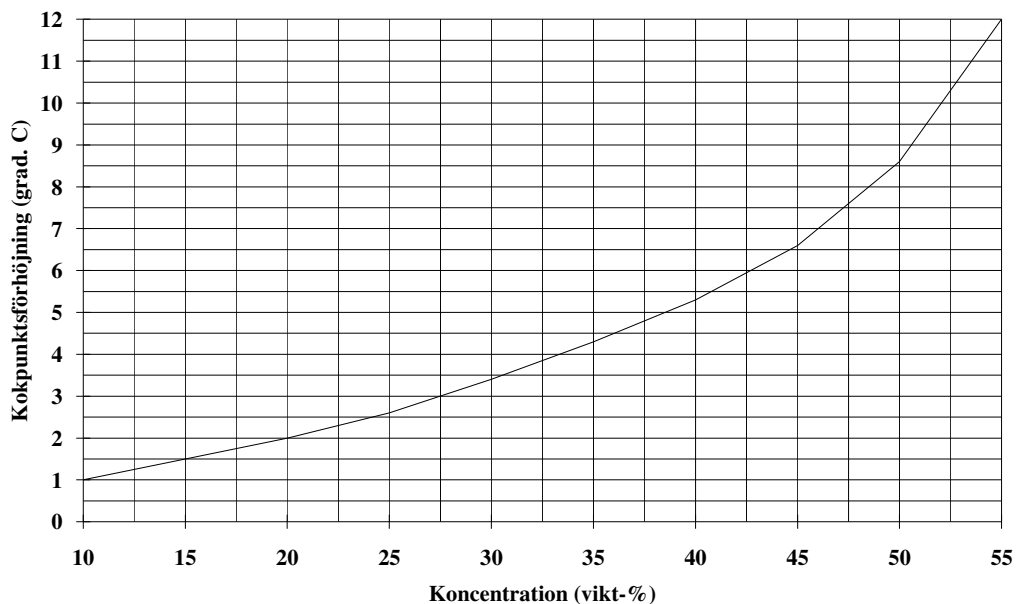
- A5.**
- Redogör för hur lakgodsets och lakmedlets tillstånd och egenskaper påverkar lakningsförloppet!
 - Hur kan man ordna för att en så effektiv lakning som möjligt?
- (2p)
- A6.** Vilka faktorer bör man särskilt ta i beaktande, när det gäller att åstadkomma effektiv vätska-vätskaextraktion?
- (2p)
- A7.** Erforderlig sedimentationsyta för en klarnare kan härledas till $A \geq \frac{F}{v}$. Då sedimentationshastigheten, v , är låg kommer en stor klarningsbassäng att fordras för att genomföra separationen. Hur kan man apparatmässigt öka kapacitet för ett sedimentationsförlopp i den existerande klarnaren som uppvisar en låg kapacitet?
- (3p)
- A8.** I en fluidiserad bädd utsätts det fluidiserade materialet för avnötning under fluidisationsprocessen. Vilka nackdelar för detta med sig och vilka motåtgärder måste vidtas? Beakta både gas- och vätskefluidisation!
- (3p)

Del B. Problemdel

B1. Man vill prova att indunsta svartlut i en indunstningsanläggning bestående av två effekter. Tillflödet är 20 ton/h och skall koncentreras från 17 vikt-% till 50 vikt-%. Indunstningen sker i motström. Första effektens skenbara värmegenomgångstal är $1.4 \text{ kW/m}^2\text{K}$ och andra effektens är $1.1 \text{ kW/m}^2\text{K}$. Effekternas värmeytor är lika stora. Värmande färskångas mättnadstryck är 3.2 bar. I andra effekten hålles trycket 0.25 bar med hjälp av en vakuumpump kopplad till avgående ånga därifrån. Tillflödet är kokvarmt.

- Uppskatta hur stor färskångförbrukningen blir och vilken yta respektive indunstar-effekt skall ha!

Kokpunktsförhöjning för svartlut framgår av bifogat diagram nedan.



(9p)

B2. En torkanläggning ska torka ett fuktigt torkgods från en fuktkvot på 3,2 till 0,9. Den är dimensionerad för att klara ett torrt torkgodsflöde på 2,8 ton/h. Den primära källan för torkluften är utomhusluft med en temperatur på 10°C och en relativ fuktighet på 60 %. Nu vill man utreda några olika möjligheter som står till buds, för att minska friskluftförbrukningen.

Beräkna i följande fall massflödet av luft, både det totala flödet och friskluftflödet. Beräkna också förbrukad värmeeffekt i förvärmningen. I alla fallen ska luften värmas till 90°C och torken räknas som ideal, med utgående torkluft mättad.

A: Grundfallet – all torkluft är friskluft.

Vänd!

- B: Ingående friskluft blandas med dubbel mängd recirkulerad utgående torkluft.
 C: I processen har man tillgång till hetluft som är 80°C och har en relativ fuktighet på 5 %. Man planerar att blanda lika delar hetluft och friskluft.

Mollierdiagram bifogas.

(8p)

- B3.** I en process ska en vattensuspension med en torrhalt på 2,0 vikt-% filtreras i en platt- och ramfilterpress med 42 ramar. Filtreringen sker vid ett konstant tryckfall på 3,5 bar och en temperatur på 50°C. Varje ram har en volym på 0,034 m³ och en filteryta på 0,72 m².

För att bestämma filterkakans och filtermediets motstånd, har labbförsök gjorts, med samma suspension och filtermedium som i processen. Tryckfallet över labbfiltret var 2,0 bar, och dess filteryta var 0,085 m². Filtreringen, som utfördes vid en temperatur på 20°C gav följande resultat:

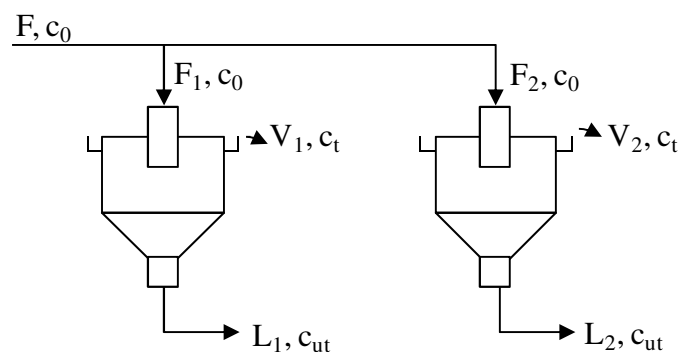
Volym filtrat (liter)	3	6	10	15
Tid (min)	5,8	21,6	57,9	128,0

I labbet bestämdes också porositeten på den bildade kakan till 56 % och densiteten på det fasta materialet till 2700 kg/m³.

- a) Bestäm det specifika filtreringsmotståndet och filtermediets motstånd.
 b) Hur lång tid tar det innan processfiltret är fullt? Anta att kakans och filtermediets egenskaper är desamma som i labbförsöket.

(8p)

- B4.** Två kontinuerligt arbetande förtjockare, vardera med en yta av 50 m² (se figur nedan) arbetar med ett tillflöde av 20 m³/h respektive 22 m³/h. Den tillförda suspensionens koncentration är 100 kg/m³ och man önskar att den förtjockade suspensionen håller 300 kg/m³.



Vid ett haveri av den förstnämnda förtjockaren får den andra ta emot hela flödet.

Vänd!

- Kommer förtjockare två att kunna ta emot hela tillflödet? Motivera svaret!
- Vilken är lämplig koncentration hos slammet om man önskar hålla flödet $42 \text{ m}^3/\text{h}$ till den fungerande förtjockaren?

(5p)

För att få poäng på delfråga ett fordras en motivering av svaret!

Partikel-fluxkurva för suspensionen bifogas.

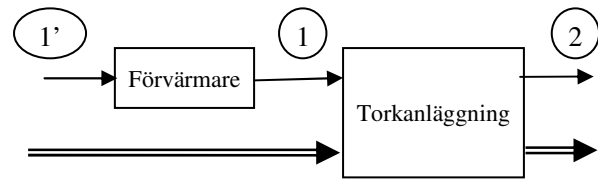
Göteborg 2011-12-29
Krister Ström

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

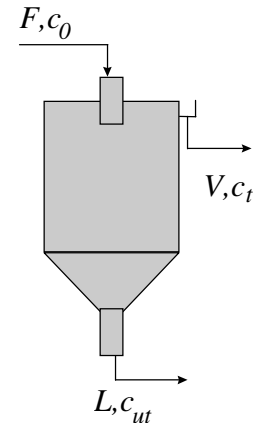
$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu(c\alpha_{av} V + AR_m)}$$

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

SEDIMENTERING

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

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

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

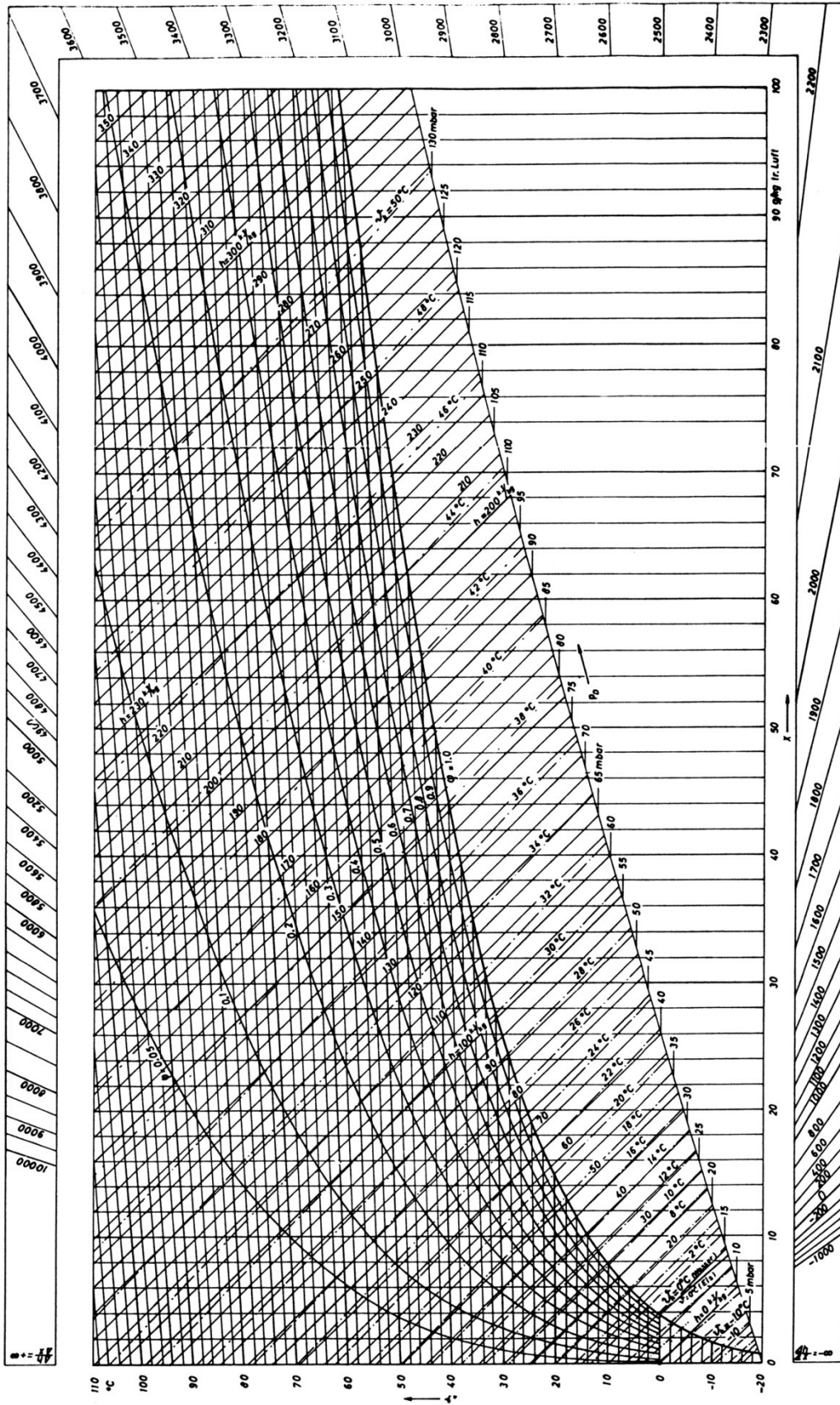
SEDIMENTERING

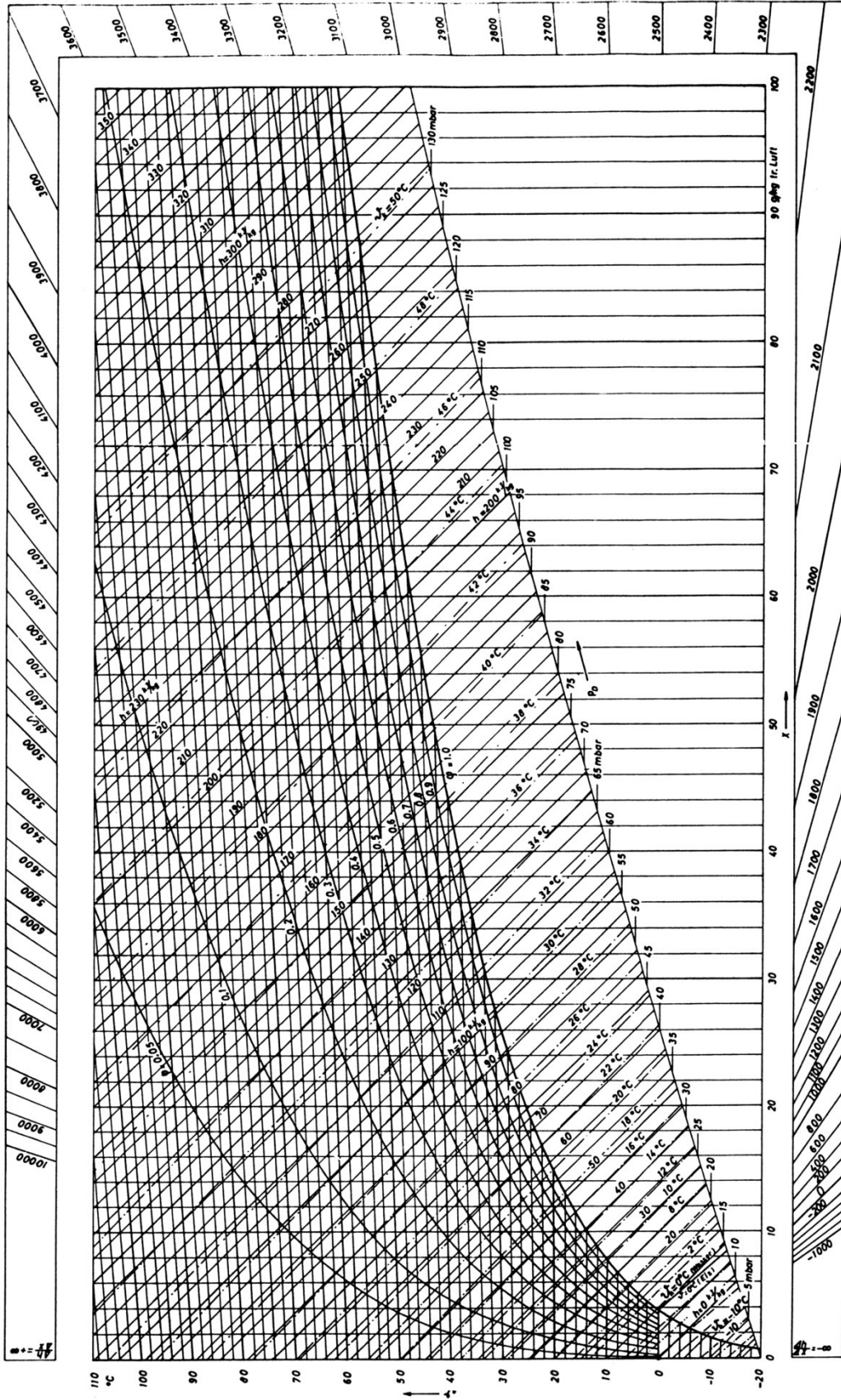
A	sedimentationsarea, m ²
D_p	partikelstorlek, m
g	tyngdaccelerationen, m/s ²
v	partikelns sedimentationshastighet, m/s
μ	fluidens viskositet, Pa·s

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, -





B1. SATData: $F = 20 \text{ ton/h}$

$x_F = 0.17$

$x_{L1} = 0.50$

$U_1 = 1.4 \text{ kW/m}^2\text{K}$

$U_2 = 1.1 \text{ kW/m}^2\text{K}$

$A_1 = A_2$

$P_S = 3.2 \text{ bar}$

$P_2 = 0.25 \text{ bar}$

Sökt: S samt A_1 och A_2 .Lösning:

Totalbalans: $F = L_1 + V_1 + V_2$

Komp.balan: $Fx_F = L_1x_{L1} \Rightarrow L_1 = 6.8 \text{ ton/h}$
 $V_1 + V_2 = 13.2 \text{ ton/h}$

Antag att $V_1 = V_2 = 6.6 \text{ ton/h}$

Antag god värmeekonomi $\Rightarrow S\Delta H_{VAP,S} = V_2\Delta H_{VAP,2}$

$S\Delta H_{VAP,S} = \{ P_S = 3.2 \text{ bar} \} = 2157.43 \text{ kJ/kg}$

$V_2\Delta H_{VAP,2} = \{ P_2 = 0.25 \text{ bar} \} = 2345.65 \text{ kJ/kg}$

$S = V_2 \frac{\Delta H_{VAP,2}}{\Delta H_{VAP,S}} \Rightarrow S = 7.18 \text{ ton/h}$

Sök kokpunktsförhöjningarna β_1 och β_2 .

$\beta_1: x_{L1} = 0.50 \Rightarrow \beta_1 = 8.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$\beta_2: F = L_2 + V_2 \Rightarrow L_2 = 13.4 \text{ ton/h}$
 $L_2x_{L2} = L_1x_{L1} \Rightarrow x_{L2} = 0.25 \Rightarrow \beta_2 = 2.7^\circ\text{C}$

Sök ΔT_1 och ΔT_2 .

$\Delta T_{TOT} = \Delta T_1 + \Delta T_2 \Rightarrow \Delta T_{TOT} = T_S - T_2' - \beta_1 - \beta_2$
 $T_S = \{ P_S = 3.2 \text{ bar} \} = 135.76 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_2 = \{ P_2 = 0.25 \text{ bar} \} = 64.99 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Delta T_{TOT} = 59.57 \text{ }^\circ\text{C}$

$U_1\Delta T_1 = U_2\Delta T_2 \text{ då } A_1 = A_2 \Rightarrow \Delta T_{TOT} = (1 + \frac{U_1}{U_2})\Delta T_1 \Rightarrow \Delta T_1 = 26.21^\circ\text{C}$
 $\Delta T_2 = 33.36^\circ\text{C}$

Kapacitetsekvationen: $Q = UA\Delta T$

$$\underline{A_1 = 117.3 \text{ m}^2}$$

$$\underline{A_2 = 117.3 \text{ m}^2}$$

Svar: Ångbehovet är 7.2 ton/h och indunstarytorna 117 m²

B4.

$$F = 42 \text{ m}^3/\text{h}$$

Data:

$$c_o = 100 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{ut} = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$A_1 = 50 \text{ m}^2$$

Sökt: Kommer förtjockare två att kunna ta emot hela tillflödet? c_{ut} om tillflödet är 42 m³/h?

Lösning:

$$F = F_1 + F_2 \Rightarrow F = 42 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{F}{A} c_o = 1.4 \text{ kg/m}^2 \text{ min}$$

Nedre driftlinjen konstrueras i cv-c-kurva.

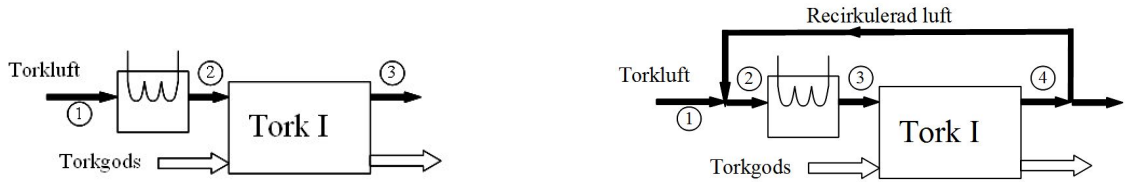
Driftlinjen skär cv-c-kurvan vilket betyder att förtjockaren är överbelastad.

Separationen fungerar inte!

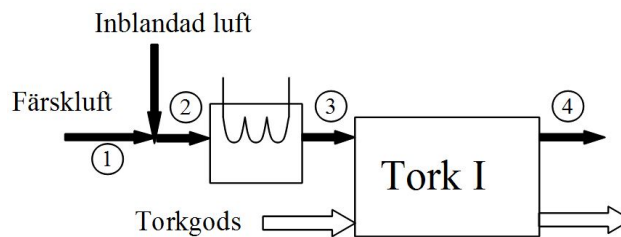
För att behålla kapaciteten och belasta förtjockaren maximalt får c_{ut} sänkas. Konstruera nedre driftlinjen från $\frac{F}{A} c_o$ som tangerar cv-c-kurvan $\Rightarrow c_{ut} = 284 \text{ kg/m}^3$.

Svar: Nej! Se motivering ovan. 284 kg/m³

B2



Figur 1: Ett torksteg utan (a) och med (b) recirkulering



Figur 2: Ett torksteg med inblandning av hetluft (c)

Givna data

$$\begin{aligned}
 \dot{M}_S &= 2,8 \text{ ton/h} & T_{max} &= 90^\circ\text{C} \\
 X_{in} &= 3,2 \text{ kg fukt/kg torrt gods} & \frac{Rec}{Frisk} &= 2 \\
 X_{ut} &= 0,9 \text{ kg fukt/kg torrt gods} & T_{hetluft} &= 80^\circ\text{C} \\
 T_{in} &= 10^\circ\text{C} & \phi_{hetluft} &= 0,05 \\
 \phi_{in} &= 0,60 & \frac{Hetluft}{Frisk} &= 1
 \end{aligned}$$

Sökt

- $\dot{M}_{G,A}$ och \dot{Q}_A
- $\dot{M}_{G,B}$, $\dot{M}_{G,frisk,B}$ och \dot{Q}_B
- $\dot{M}_{G,C}$, $\dot{M}_{G,frisk,C}$ och \dot{Q}_C

Lösning

Det totala massflödet av luft fås med hjälp av fuktbalansen:

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

vilket ger:

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

Ritar vi in torkförloppen i ett Mollierdiagram, kan vi bestämma ΔY .

Friskluftförbrukningen vid inblandning av luft fås ur massbalans över blandningspunkten:

$$\dot{M}_{G,frisk} + \dot{M}_{inblandad} = \dot{M}_G \quad (3)$$

med inblandningskvoten $Kvot$ som

$$Kvot = \frac{\dot{M}_{G,frisk}}{\dot{M}_{inblandad}} \quad (4)$$

Ekvationerna (3) och (4) ger:

$$\dot{M}_{G,frisk} = \frac{\dot{M}_G}{1 + Kvot} \quad (5)$$

Effektförbrukningen fås ur värmebalansen över förvärmningen:

$$\dot{Q} = \dot{M}_G \cdot \Delta H_{uppv} \quad (6)$$

a)

I det första fallet är det ett idealt steg med förvärmning till T_{max} , och ideal torkning till mättnadskurvan. Eftersom vi inte blandar in någon luft i detta fall, blir friskluftförbrukningen densamma som det totala massflödet. Inritning av processen i Mollierdiagrammet ger oss figur (3). Avläsning av relevanta fuktkvoter och entalperier ur figuren ger:

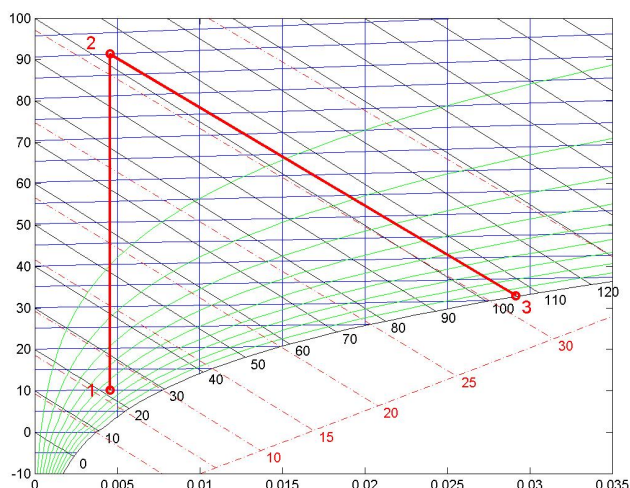
$$Y_1 = 0,0046 \text{ kg fukt/kg torr luft} \\ H_1 = 22 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$Y_3 = 0,029 \text{ kg fukt/kg torr luft} \\ H_2 = 103 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Insättning i ekvationerna (2) och (6) ger:

$$\dot{M}_{G,A} = 72,7 \text{ kg torr luft/s}$$

$$\dot{Q}_A = 5901 \text{ kW} \quad = 5,9 \text{ MW}$$



Figur 3: Ett torksteg i Mollierdiagrammet

b)

Recirkulering innebär att torksteget kommer att flyttas åt höger i Mollierdiagrammet, eftersom den inblandade luften har en högre fuktkvot. Det innebär också att utgående torkluft kommer att ändras, vilket leder till att vi från början varken vet ingående eller utgående lufts tillstånd för torksteget, eftersom ingående luft är en blandning mellan utgående luft och friskluft. För att lösa detta får vi använda oss av iteration: Vi gissar antingen in- eller utgående lufts tillstånd, och kontrollerar vår gissning med hjälp av torksteget och/eller blandningskvoten. Om vi gissar utgående lufttillstånd, kan vi bestämma blandningspunkten med hjälp av hävstångsregeln. För fuktkvoten blir detta:

$$\dot{M}_{G,frisk} \cdot (Y_2 - Y_1) = \dot{M}_{rec} \cdot (Y_{rec} - Y_2) \quad (7)$$

$$\frac{(Y_2 - Y_1)}{(Y_{rec} - Y_2)} = \frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{G,frisk}} = \frac{Rec}{Frisk} \quad (8)$$

$$Y_2 = \frac{Y_1 + Y_{rec} \cdot \frac{Rec}{Frisk}}{1 + \frac{Rec}{Frisk}} \quad (9)$$

På samma sätt får vi den specifika entalpin:

$$H_2 = \frac{H_1 + H_{rec} \cdot \frac{Rec}{Frisk}}{1 + \frac{Rec}{Frisk}} \quad (10)$$

Ett alternativ för denna iteration är som nedan (jfr figur 4):

* Gissa utgående tillstånd 4. (Ligger på mätnadskurvan, eftersom torksteget går till mätnad enligt uppgiften.)

* Rita in blandningslinjen mellan tillstånd 1 och 4.

* Pricka in blandningens tillstånd med hjälp av blandningskvoten (ekvation (9) och (10)). Om detta hamnar nedanför mätnadskurvan (vilket det kommer att göra!), kommer utkondensering från den övermättade luften att göra att tillståndet förändras längs en våttemperaturlutning tills den når mätnadskurvan. Detta är tillstånd 2.

* Gör ett torksteg, från 2 till 3 till 4. Om det beräknade tillståndet 4 inte är detsamma som det gissade, får vi göra en ny gissning, och göra om dessa beräkningssteg tills det stämmer (inom rimliga felmarginaler).

När det stämmer överens, kan vi läsa av de data vi behöver:

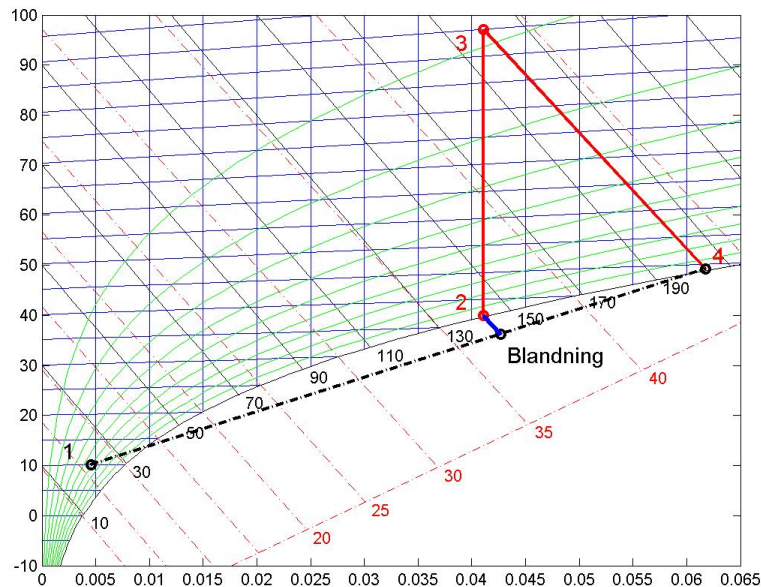
$$Y_2 = 0,041 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$H_2 = 143 \text{ kJ/kg torr luft}$$

$$Y_4 = 0,062 \text{ kg fukt/kg torr luft}$$

$$H_3 = 200 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Insättning i ekvationerna (2), (5) och (6) ger:



Figur 4: Ett torksteg med recirkulering

$$\dot{M}_{G,B} = 86,6 \text{ kg torr luft/s}$$

$$\dot{M}_{G,frisk,B} = 28,9 \text{ kg torr friskluft/s}$$

$$\dot{Q}_B = 4949 \text{ kW}$$

$$= 4,9 \text{ MW}$$

c)

Inblandning av hetluft innebär att ingående luft till torksteget ändras, men i detta fallet är det en blandning mellan två kända tillstånd, så vi kan lätt bestämma tillstånd 2 med hjälp av hävstångsregeln, på samma sätt som i b):

$$Y_2 = \frac{Y_1 + Y_{hetluft} \cdot \frac{Hetluft}{Frisk}}{1 + \frac{Hetluft}{Frisk}} \quad (11)$$

$$H_2 = \frac{H_1 + H_{hetluft} \cdot \frac{Hetluft}{Frisk}}{1 + \frac{Hetluft}{Frisk}} \quad (12)$$

Avläsning i Mollierdiagrammet för hetluften:

$$Y_{hetluft} = 0,0149 \text{ kg fukt/kg torr luft} \quad H_{hetluft} = 120 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Insättning i ekvation (11) och (12) ger nu:

$$Y_2 = 0,010 \text{ kg fukt/kg torr luft} \quad H_2 = 71 \text{ kJ/kg torr luft}$$

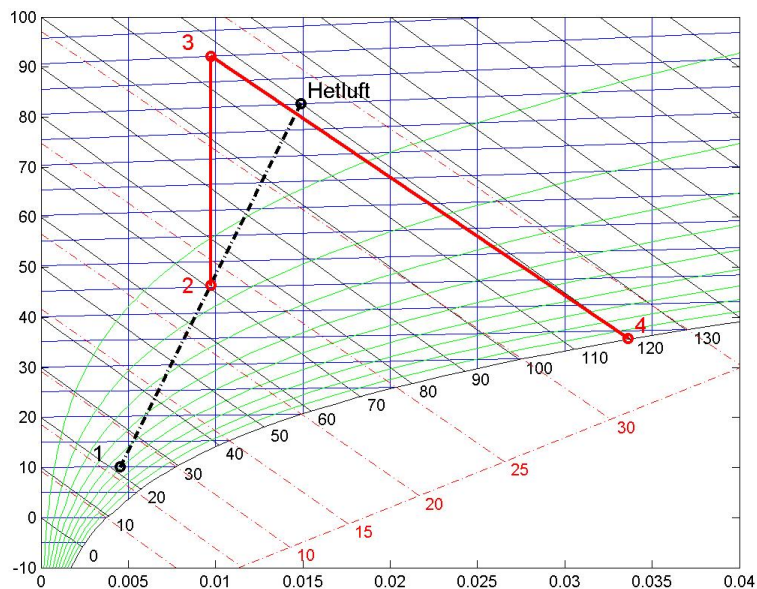
Stegning i Mollierdiagrammet (se figur 5) ger nu:

$$Y_4 = 0,034 \text{ kg fukt/kg torr luft} \quad H_3 = 116 \text{ kJ/kg torr luft}$$

Insättning i ekvationerna (2), (5) och (6) ger:

$$\dot{M}_{G,C} = 74,9 \text{ kg torr luft/s} \quad \dot{M}_{G,frisk,C} = 37,4 \text{ kg torr friskluft/s}$$

$$\dot{Q}_C = 3428 \text{ kW} \quad = 3,4 \text{ MW}$$



Figur 5: Inblandning av hetluft innan torksteget

B3

Givna data

$$n_{ram} = 42 \text{ ramar}$$

$$V_{ram} = 0,034 \text{ m}^3$$

$$A_{ram} = 0,7 \text{ m}^2$$

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

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

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

$$\varepsilon_{av} = 0,56$$

$$\rho_S = 2700,0 \text{ kg fast/m}^3$$

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

V_{labb} l	t_{labb} min
3,0	5,8
6,0	21,6
10,0	57,9
15,0	128,0

Sökt

a) α_{av} och R_m

b) t_{slut}

Lösning

a)

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

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

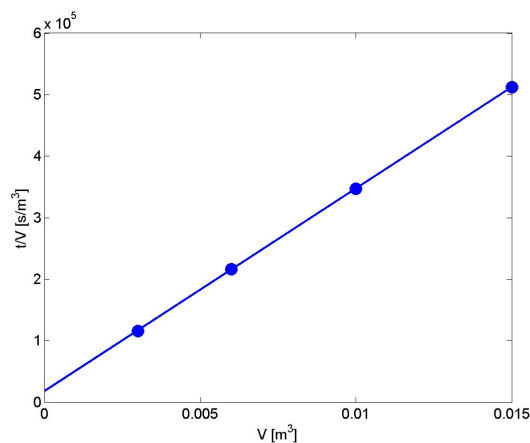
Om värdena för t/V avsätts mot V , bör alltså en linje bildas. Beräkning av t/V och plottning ger:

t s	V $m^3 \text{ filtrat}$	(t/V) s/m^3
348	$3,00 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^5$
1296	$6,00 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^5$
3474	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^5$
7680	$1,50 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^5$

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:

$$Lutn = 3,3 \cdot 10^7 \text{ s/m}^6$$

$$Skärn = 1,75 \cdot 10^4 \text{ s/m}^3$$



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 och μ_{labb} . Filterkvoten bestäms enligt:

$$c = \frac{J \rho}{1 - J - \frac{\epsilon_{av} J \rho}{1 - \epsilon_{av} \rho_s}} \quad (4)$$

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):

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

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

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

$$\alpha_{av} = 4,61 \cdot 10^{12} \text{ (m/kg)} \quad R_m = 2,97 \cdot 10^{11} \text{ (1/m)}$$

b)

Ekvationen för bestämning av filtreringstiden fås ur ekvation (1), enligt:

$$t_{slut} = \frac{\mu \alpha_{av} c}{2A^2 \Delta P} \cdot V_{tot}^2 + \frac{\mu R_m}{A \Delta P} \cdot V_{tot} \quad (5)$$

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

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

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

Kakvolymen fås ur:

$$V_{kaka} = n_{ram} \cdot V_{ram} \quad (8)$$

$$V_{kaka} = 1,4 \text{ m}^3 \text{ kaka}$$

Eftersom temperaturen är en annan än vid labbförsöket, behöver vi nya värden på ρ och μ . Detta ger oss också ett något lägre värde på c (approximationen att de är samma är godtagbar).

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

$$\mu = 0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$c = 20,4 \text{ kg/m}^3$$

Insättning i ekvation (7) ger: $V_{tot} = 83,3 \text{ m}^3$ filtrat

Filterarean fås ur:

$$A = n_{ram} \cdot A_{ram} \quad (9)$$

$$A = 30,2 \text{ m}^2$$

Ekvation (5) ger oss nu:

$$t_{slut} = 2,05 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$= 569 \text{ h}$$