Grundläggande apparatteknik

Övn 1995

K7

Sidor: 49
Pris: 15 kr

A1

Givet: $A \cdot V' = 7.25 \; kg/s$ $\rho_v = 1.15 \; kg/m^3$ $\sigma = 0.019 \; N/m$

$A \cdot L' = 5.64 \; kg/s$ $\rho_L = 750 \; kg/m^3$

a) Tillåten ånghastighet i kolonnen

$$F_{LV} = \frac{L'}{V'}\sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} = 0.0305$$

Botten avståndet $18'' = 45 \; cm$ ur figur 2.8 fås då $K_1 = 0.082$

$$V_c = K_1 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}} \left(\frac{\sigma}{0.020}\right)^{0.20} = 2.07 \; m/s$$

Tag 80% av flödeshastigheten $v = 0.8 \cdot V_c = 1.66 \; m/s$

b) lämplig kolonn diameter

$$A_a = \frac{7.25}{\rho_v \cdot v} = 3.8 \; m^2$$

Denna aktiva area ger totalarean om fallrören utgör 30%

$$A = \frac{A_a}{0.7} = 5.44 \; m^2$$

$$\text{Diametern} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 2.63 m$$

c) tryckfallet över en botten där höjden av fallrörskanten är 50 mm

$$h = h_D + \beta(h_w + h_{ow}) + h_r$$

$h_w = 50 \; mm$

$$h_{ow} = 750\left(\frac{L'A}{\rho_L l_w}\right)^{2/3} = 19.1$$

$l_w = 0.7 \cdot \text{diametern} = 1.84$

$$V_h = \frac{K_2 - 0.90(25.4 - d_h)}{\sqrt{\rho_v}}$$

ur figur (2.9) fås $K_2 = 30.5$

$V_h = 12.4 \; m/s$

$$h_d = 51\left(\frac{V_h}{C_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_v}{\rho_L}\right) = 22.6 \text{ (mm vätskepelare)}$$

Diagram ger $C_0 = 0.73$ (Hålarean är 10%)

$$h_r = \frac{12\,500}{\rho_L} = 16.7$$

$h = 22.6 + 0.6 \cdot 69.1 + 16.7 = 80.75$ mm

d) om risk föreligger för gråtning

$V_{håi} \leq V_h$

$$V_h = \frac{7.25}{\rho_v \cdot A_a \cdot 0.10} = 23.7 \text{ m/s}$$

e) risk för medryckning fig (2.10)

Vid 80% av flödning fås 9% medryckning

f) kolonnverkningsgraden

$E_o = 0.51$ - ur diagram

$\mu_L \cdot \alpha = 0.32 \cdot 10^{-3} \cdot 2.60 = \ldots$ (α taget ur G.sep boken)

g) Murphrees bottenverkningsgrad

$$E_{mv} = 0.07 \cdot D_g^{0.14} \cdot Sc^{0.25} \cdot Re^{0.08}$$

$v = 1.65$ m/s

$\sigma = 0{,}019$

$\mu_L = 0.32 \cdot 10^{-3}$

$$D_g = \frac{\sigma}{\mu_L v} = 35.8$$

$$Sc = \frac{\mu_L}{\rho_L \cdot D_{LK}} = 74.8$$

$$Re = \frac{h_w \cdot V_v \cdot \rho_v}{\mu_L \cdot c} = 2980$$

$E_{mv} = 0.64$

Genomgås med hjälp av utdelad lösning AZ

A2: Svar och lösningsgång:

Tillflödet av gas är 708 m^3/h, vilket med densiteten $\rho_v = 1.181$ (ur allm gaslagen) ger massflödet AV' = 0.232 kg/s (A är kolonnens tvärsnittyta och V' gasflödet som kg/m^2,s). Därmed är också AL' = 0.232 kg/s. Vi får

$$F_{LV} = \frac{L'}{V'}\sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = 0.03437$$

Ur figur 2.25 fås ordinatan till

$$\frac{u_G^2 S_B}{g e^3}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)\left(\frac{\mu_L}{\mu_W}\right)^{0.2} = 0.18$$

där S_B är specifika ytan hos packningsmaterialet, $S_B = 255\ m^2/m^3$
e är porositeten, e = 0.77
μ_L är vätskans viskositet, $\mu_L = 1.0\ 10^{-3}$ kg/m,s
μ_W är vattens viskositet vid 20 oC, $\mu_W = 1.0\ 10^{-3}$ kg/m,s
u_G är gashastigheten vid flödning, m/s

Insättning ger $u_G = 1.64$ m/s vid flödning.

Med en vald belastningspunkt vid 70 % av flödning fås $\mathbf{u_G = 1.15}$ **m/s.**

b) Volymsflödet är 0.197 m^3/s, vilket med gashastigheten 1.15 m/s ger arean respektive diametern hos kolonnen.

A = 0.197/1.15 = 0.171 m^2

D = 0.47 m

c) Vätningshastigheten fås med uttrycket

$$L_W = \frac{L'}{\rho_L S_B} = \frac{1.356}{1000 \cdot 255} = 0.53 \cdot 10^{-5} \qquad [2.17]$$

där L_W är vätningshastigheten $m^3/m,s$
L' är vätskeflödet i $kg/m^2,s$
S_B är specifika ytan hos packningsmaterialet, m^2/m^3
ρ_L är vätskans densitet, kg/m^3

Då $L_W < 2\ 10^{-5}\ m^3/m,s$ kan det bli problem med vätning av packningen och därmed sämre massöverföring.

d) Med FLV = 0.0344 och

$$\frac{G'^2 F(\mu_L/\mu_W)(\rho_W/\rho_L)^{0.1}}{\rho_G(\rho_L - \rho_G)g} = 0.047$$

där G' är massflödet gas, $kg/m^2,s$

F är packningsfaktorn för fyllkroppsmaterialet, m^2/m^3, se tabell 2.1

μ_W är vattens viskositet vid 20 °C, $\mu_W = 1.0\ 10^{-3}$ kg/m,s

μ_L är vätskans viskositet, kg/m,s

ρ_W är vattens densitet vid 20 °C, $\rho_W = 998\ kg/m^3$

ρ_L är vätskans densitet, kg/m^3

fås med figur 2.26 **Δp = 45 mm vatten/m**

e) Höjden av en genomgångsenhet fås genom summering av bidragen för höjderna för massöverföringsenheterna. Dessa kan bestämmas enligt Semmelbauer ur

$$H_G = \beta\left[\frac{G'^{0.41}\ \mu_G^{0.26}\ \mu_L^{0.46}\sigma^{0.5}}{L'^{0.46}\ \rho_G^{0.67}\ \rho_L^{0.5} D_G^{0.67} d_p^{0.05}}\right] \qquad [2.28]$$

$$H_L = \beta\left[\frac{\mu_L^{0.88}\sigma^{0.5}}{L'^{0.05}\ \rho_L^{1.33} D_L^{0.5} d_p^{0.55}}\right] \qquad [2.29]$$

där β = 21 också kan antagas gälla för Intaloxsadlar. I tabell 2.2 anges inom vilka områden parametrarna anses giltiga.

Tabell 2.2 Giltighetsområden för parametrarna i Semmelbauers korrelation.

L'	0.1 - 10	kg/m^2s	μ_L	0.2 - 2.	mPa s
G'	0.1 - 10	kg/m^2s	μ_G	0.005 - 0.03	mPa s
d_p	0.006 - 0.06	m	σ	0.02 - 0.2	J/m^2
ρ_L	600 - 1400	kg/m^3	T	273 - 373	K
ρ_G	0.4 - 4	kg/m^3	d/d_p	2.5 - 25	-
D_L	$3 - 30\ 10^{-10}$	m^2/s	h_p/d_p	10 - 100	-
D_G	$3 - 90\ 10^{-6}$	m^2/s			

I vårt fall är

G' = 0.232/0.171 = 1.357 $kg/m^2,s$

L' = 0.232/0.171 = 1.357 $kg/m^2,s$

$\mu_G = 18\ 10^{-6}$ kg/m,s

$\mu_L = 1.0\ 10^{-3}$ kg/m,s

$\rho_G = 1.181\ kg/m^3$
$\rho_L = 998\ kg/m^3$
$\sigma = 74\ 10^{-3}\ N/m$
$D_G = 2.37\ 10^{-5}\ m^2/s$
$D_L = 2.0\ 10^{-9}\ m^2/s$
$d_p = 25.4\ 10^{-3}\ m$

$$H_G = 21 \cdot \left[\frac{1.133 \cdot 0.0584 \cdot 0.0417 \cdot 0.272}{1.1508 \cdot 1.118 \cdot 31.62 \cdot 7.96 \cdot 10^{-4} \cdot 0.832}\right] = 0.585$$

$$H_L = 21 \cdot \left[\frac{0.00229 \cdot 0.272}{1.015 \cdot 9772 \cdot 44.7 \cdot 10^{-6} \cdot 0.1326}\right] = 0.222$$

då m= 0.81 och L/G = (L'/18)(29/G') = 1.61 fås

$$H_{OG} = H_G + \frac{mG}{L} H_L = 0.585 + 0.50 \cdot 0.222 = 0.696 \qquad [2.36]$$

H_{OG} = 0.70 m

f) Höjden av ett teoretiskt steg, HETS, kan beräknas ur H_{OG} enligt

$$\text{HETS} = H_{OG} \frac{\ln\left(\frac{mG}{L}\right)}{\frac{mG}{L} - 1} = 0.70 \frac{\ln(0.503)}{0.503 - 1} = 0.96 \qquad [2.35]$$

HETS = 0.96 m

Alternativt kan **<u>Ondas metod</u>** användas under punkt e) vilket ger

Korrelationen för den effektiva arean ges av uttrycket

$$\frac{a_w}{a} = 1 - \exp\left[-1.45\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_L}\right)^{0.75}\left(\frac{L'}{a\mu_L}\right)^{0.1}\left(\frac{L'^2 a}{\rho_L^2 g}\right)^{-0.05}\left(\frac{L'^2}{\rho_L \sigma_L a}\right)^{0.2}\right] \quad [2.30]$$

och för massöverföringskoefficienterna fås

$$k_L\left(\frac{\rho_L}{\mu_L g}\right)^{1/3} = 0.0051\left(\frac{L'}{a_w \mu_L}\right)^{2/3}\left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L}\right)^{-1/2}\left(a d_p\right)^{0.4} \quad [2.31]$$

$$\frac{k_G}{a}\frac{RT}{D_G} = K_1\left(\frac{G'}{a\mu_G}\right)^{0.7}\left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G}\right)^{1/3}\left(a d_p\right)^{-2.0} \quad [2.32]$$

där

K_1 = 5.23 för packningsstorlekar över 15 mm och 2.00 för storlekar under 15 mm
L' är massflödet av vätska per tvärsnittsyta, kg/m^2s
G' är massflödet av gas per tvärsnittsyta, kg/m^2s
a_w är den effektiva arean hos packningsmaterialet, m^2/m^3
d_p är packningsmaterialets storlek, m
σ_c är den kritiska ytspänningen för packningsmaterialet enligt

Material	σ_c mN/m
Keramik	61
Metal (stål)	75
Polyeten	33
Kol	56

σ_L är vätskans ytspänning, N/m
k_G är massöverföringstalet för gasfilmen, $kmol/m^2s$ bar
k_L är massöverföringstalet för vätskefilmen, m/s $(kmol/[m^2\ s\ (kmol/m^3)])$

Notera att alla grupperna i uttrycken är dimensionslösa och att värdet av beror av R, vilken här satts till R = 0.08314 bar m^3/kmol K. Vi finner också H_G och H_L enligt

$$H_G = \frac{G}{k_G a_w P} \quad [2.33]$$

$$H_L = \frac{L}{k_L a_w C_t} \quad [2.34]$$

där P är kolonntrycket, bar, och C_t är totala molkoncentrationen, kmol/m^3.

I vårt fall har vi att

$$\left[\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_L}\right)^{0.75} = \left(\frac{61}{72}\right)^{0.75} = 0.865\right]$$

$$\left[\left(\frac{L'}{a\mu_L}\right)^{0.1} = \left(\frac{0.232}{0.171\cdot 255\cdot 10^{-3}{}_L}\right)^{0.1} = 1.182\right]$$

$$\left[\left(\frac{L'^2\,a}{\rho_L^2 g}\right)^{-0.05} = \left[\left(47\cdot 10^{-6}\right)^{-0.05}\right] = 1.646\right]$$

$$\left[\left(\frac{L'^2}{\rho_L \sigma_L a}\right)^{0.2} = \left(97.55\cdot 10^{-6}\right)^{0.2} = 0.158\right]$$

$$\frac{a_w}{a} = 1 - \exp[-0.158] = 0.32$$

<u>$a_W = 81.3$</u>

Vi har vidare att

$$\left(\frac{L'}{a_w \mu_L}\right)^{2/3} = \left(\frac{0.232'}{0.171\cdot 81.3\cdot 1\cdot 10^{-3}}\right)^{2/3} = 6.52$$

$$\left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L}\right)^{-1/2} = \left(\frac{10^{-3}}{998\cdot 2\cdot 10^{-9}}\right)^{-1/2} = 0.0447$$

$$\left(ad_p\right)^{0.4} = \left(243\cdot 25.4\cdot 10^{-3}\right)^{0.4} = 2.071$$

$$k_L\left(\frac{\rho_L}{\mu_L g}\right)^{1/3} = 0.00314$$

$$\left(\frac{\rho_L}{\mu_L g}\right)^{1/3} = \left(\frac{998}{0.001\cdot 9.81}\right)^{1/3} = 46.53$$

$k_L = 67\ 10^{-6}$ 1/s

och att

$$\left(\frac{G'}{a\mu_G}\right)^{0.7} = \left(\frac{0.232'}{0.171 \cdot 255 \cdot 18 \cdot 10^{-6}}\right)^{0.7} = 53.64$$

$$\left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G}\right)^{1/3} = \left(\frac{18 \cdot 10^{-6}}{1.181 \cdot 2.37 \cdot 10^{-5}}\right)^{1/3} = 0.863$$

$$\left(ad_p\right)^{-2.0} = \left(255 \cdot 25.4 \cdot 10^{-3}\right)^{-2.0} = 0.0238$$

$$\frac{k_G}{a}\frac{RT}{D_G} = 5.771$$

$$k_G = 5.771 \cdot \frac{255 \cdot 2.37 \cdot 10^{-5}}{0.08314 \cdot 293} = 0.001432 \text{ kmol/m}^2\text{s bar}$$

Detta ger

$$\mathrm{H_G} = \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{k_G a_W P}} = \frac{0.232}{0.171 \cdot 29 \cdot 0.001432 \cdot 81.3 \cdot 1} = 0.405$$

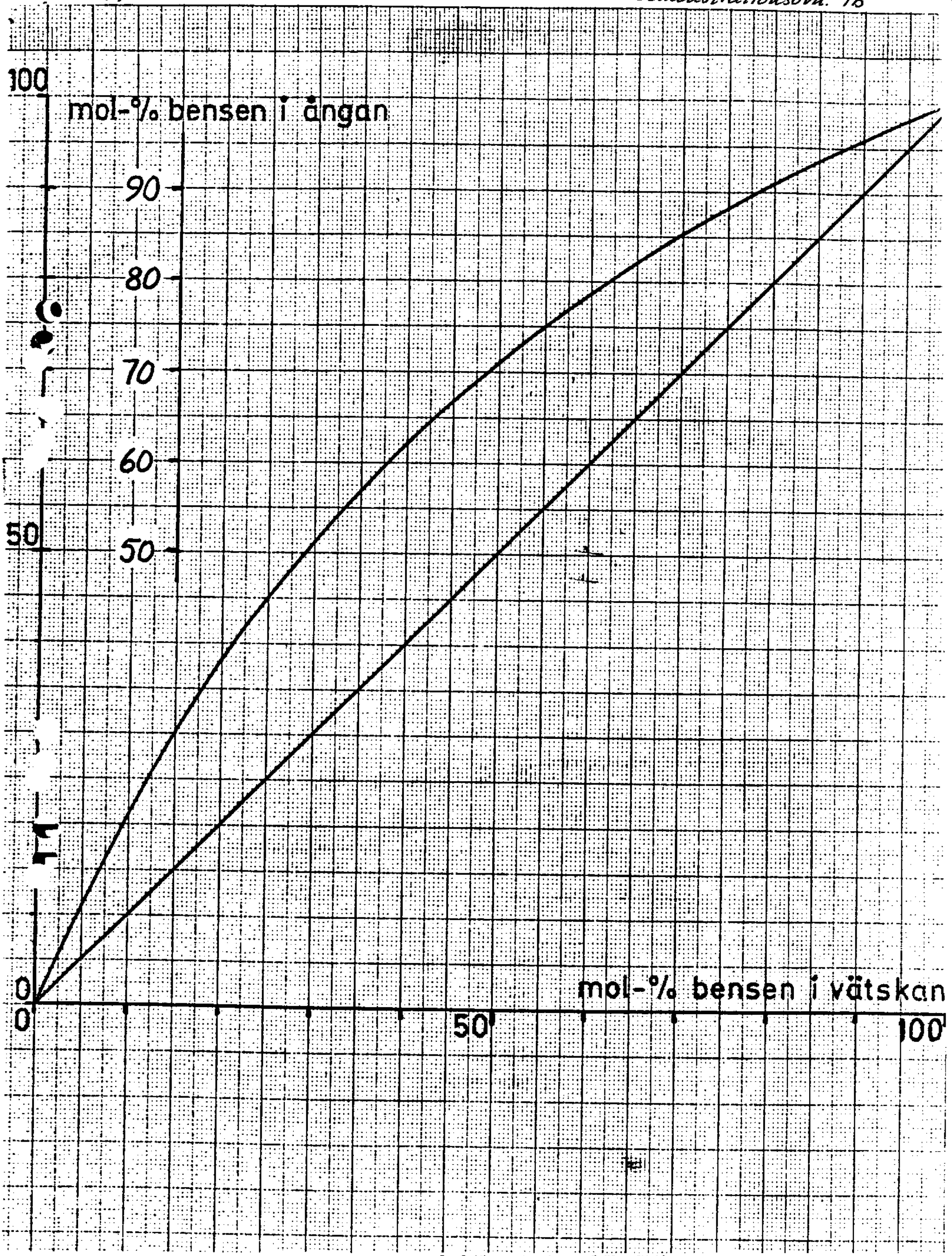
$$\mathrm{H_L} = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{k_L a_W \cdot c_t}} = \frac{0.232}{0.171 \cdot 18 \cdot 67 \cdot 10^{-6} \cdot 81.3 \cdot 55.6} = 0.247$$

$$\mathrm{H_{OG}} = \mathrm{H_G} + \frac{\mathrm{mG}}{\mathrm{L}}\mathrm{H_L} = 0.405 + 0.247 \cdot 0.174 = 0.53 \qquad [2.36]$$

då m = 0.81 och mG/L = 0.503.

Jämviktsdiagram för systemet bensen-toluen vid 100 kPa Dö16:1

951107 Demonstrationsövn. 1b



Dö76:2

Demonstrationsövning:Destillation

$Fw := 1.65$ kg/s

$Dw := 1.01$ kg/s

$xd := 0.95 \quad xf := 0.60 \quad xb := 0.05 \quad R := 4.0$

$rol := 695.0 \quad rovt := 2.69 \quad rovb := 2.92 \quad myl := 0.00032 \quad DL := 54 \cdot 10^{-10}$

$Mbensen := 78.11 \quad Mtoluen := 92.13 \quad sigma := 0.020 \quad DG := 5.05 \cdot 10^{-6}$

$por := 0.10$

$Mdest := xd \cdot Mbensen + (1 - xd) \cdot Mtoluen \qquad Mdest = 78.811$

$Mfeed := xf \cdot Mbensen + (1 - xf) \cdot Mtoluen \qquad Mfeed = 83.718$

$F := \frac{Fw}{Mfeed} \qquad F = 0.01971$ kmol/s

$D := \frac{Dw}{Mdest} \qquad D = 0.01282$ kmol/s

$W := F - D \qquad W = 0.00689$ kmol/s

$LO := R \cdot D \qquad LO = 0.05126$ kmol/s

$V := (R + 1) \cdot D \qquad V = 0.06408$ kmol/s

$LOw := LO \cdot Mdest \qquad LOw = 4.04$ kg/s

$Vw := (R + 1) \cdot D \cdot Mdest \qquad Vw = 5.05$ kg/s

a) Beräkning av diametern

$FLV := \frac{LOw}{Vw} \cdot \sqrt{\frac{rovt}{rol}} \qquad FLV = 0.04977$

$K1 := 0.080$ Med 0.45 m bottenavstånd

$vc := K1 \cdot \sqrt{\frac{rol - rovt}{rovt}} \cdot \left(\frac{sigma}{0.020}\right)^{0.20} \qquad vc = 1.28341$

$v := 0.80 \cdot vc \qquad v = 1.02672$ m/s

$Aa := \frac{Vw}{rovt \cdot v} \qquad Aa = 1.82846$ m2

$Atot := \frac{Aa}{0.70} \qquad Atot = 2.61208$ m2

$Diam := \sqrt{Atot \cdot \frac{4}{\pi}} \qquad Diam = 1.82368$ m

....

b) Medryckning

$FLV = 0.04977$ Diagram ger medryckning 6 %

c) Tryckfall över silbottnen

Följande data antas gälla

$dh := 0.005$ m

$hw := 50$ mm

$lw := 0.70 \cdot Diam \qquad lw = 1.27658$ m

$how := 750 \cdot \left(\frac{LOw}{rol \cdot lw}\right)^{0.6667} \qquad how = 20.60076$ mm

$vhole := \frac{v}{0.10} \qquad vhole = 10.26725$ m/s

$Co := 0.77$

Plåttjocklek=3.5 mm Plåttjocklek/dh=0.7

$hd := 51 \cdot \left(\frac{vhole}{Co}\right)^2 \cdot \left(\frac{rovt}{rol}\right) \qquad hd = 35.09655$ mm

$hr := \frac{12500}{rol} \qquad hr = 17.98561$ mm

$htot := hd + 0.60 \cdot (hw + how) + hr \qquad htot = 95.44262$ mm

d) Risk för gråtning

$K2 := 30.6$

$vh := \frac{K2 - 0.90 \cdot (25.4 - dh \cdot 1000)}{\sqrt{rovt}} \qquad vh = 7.46286$ m/s

dvs ingen risk för gråtning

e) Kolonnverkningsgraden

$myl = 3.2 \cdot 10^{-4} \qquad alfa := 2.45$

$alfamy := myl \cdot alfa \cdot 1000 \qquad alfamy = 0.784$

Diagram ger 51 %

$Eo := 51 - 32.5 \cdot \log(alfamy)$ $\qquad Eo = 54.43473$

f) Beräkning av bottenverkningsgrad enligt van Winkle

$Dg := \dfrac{sigma}{myl \cdot v}$ $\qquad Dg = 60.87316$

$Sc := \dfrac{myl}{rol \cdot DL}$ $\qquad Sc = 85.26512$

$Re := \dfrac{hw \cdot 10^{-3} \cdot v \cdot rovt}{myl \cdot por}$ $\qquad Re = 4.31545 \cdot 10^{3}$

$EmV := 0.07 \cdot Dg^{0.14} \cdot Sc^{0.25} \cdot Re^{0.08}$ $\qquad EmV = 0.73861$

****

Bestämning av antal ideala steg

Driftlinjen

$DLlutning := \dfrac{LO}{V}$ $\qquad DLlutning = 0.8$

$Avsk := xd \cdot \dfrac{D}{V}$ $\qquad Avsk = 0.19$

Stegning ger 8.1 ideala steg

Beräkning av antalet verkliga steg

Med en kolonnverkningsgrad av 51% fås 14 verkliga bottnar i kolonnen.

Med en bottenverkningsgrad av 74 % fås 10 verkliga bottnar i kolonnen plus återkokare.

AIChE metoden för beräkning av bottenverkningsgrad

****

$ZL := 0.35 \cdot Diam$ $\qquad ZL = 0.63829$ m $\qquad myv := 9.00 \cdot 10^{-6}$ Pa s

$m := 0.4239$

$Lp := \dfrac{\dfrac{LOw}{rol}}{\left(\dfrac{Aa}{ZL}\right)}$ $\qquad Lp = 0.00203$ m3/m2 s

$Fv := v \cdot \sqrt{rovt}$ $\qquad Fv = 1.68395$

$ScV := \dfrac{myv}{rovt \cdot DG}$ $\qquad ScV = 0.66252$

$NG := \left(0.776 + 4.57 \cdot 10^{-3} \cdot hw - 0.24 \cdot Fv + 105 \cdot Lp\right) \cdot \left(ScV^{0.5}\right)^{-1}$ $\qquad NG = 0.99934$

****

$Zc := \left[\left(0.006 + 0.73 \cdot 10^{-3} \cdot hw\right) - 0.24 \cdot 10^{-3} \cdot Fv \cdot hw\right] + 1.22 \cdot Lp$ $\qquad Zc = 0.02477$ m

$tL := \dfrac{Zc \cdot ZL}{Lp}$ $\qquad tL = 7.79081$ s

$NL := \left(4.13 \cdot 10^{8} \cdot DL\right)^{0.5} \cdot (0.21 \cdot Fv + 0.15) \cdot tL$ $\qquad NL = 5.85958$

****

$De := \left(0.0038 + 0.017 \cdot v + 3.86 \cdot Lp + 0.18 \cdot 10^{-3} \cdot hw\right)^{2}$ $\qquad De = 0.00145$

$Pe := \dfrac{ZL^{2}}{De \cdot tL}$ $\qquad Pe = 36.04912$

$NOG := \dfrac{1}{\left(\dfrac{1}{NG} + \dfrac{m \cdot \dfrac{V}{LO}}{NL}\right)}$ $\qquad NOG = 0.91652$

****

Punktverkningsgraden kan nu beräknas

$Emv := 1 - \exp(-NOG)$ $\qquad Emv = 0.60009$

Bottenverkningsgraden fås genom korrektion med hänsyn till omblandning på botten

$mVLEmv := m \cdot \dfrac{V}{LO} \cdot Emv$ $\qquad mVLEmv = 0.31797$ $\qquad Pe = 36.04912$

Diagram ger nu bottenverkningsgraden

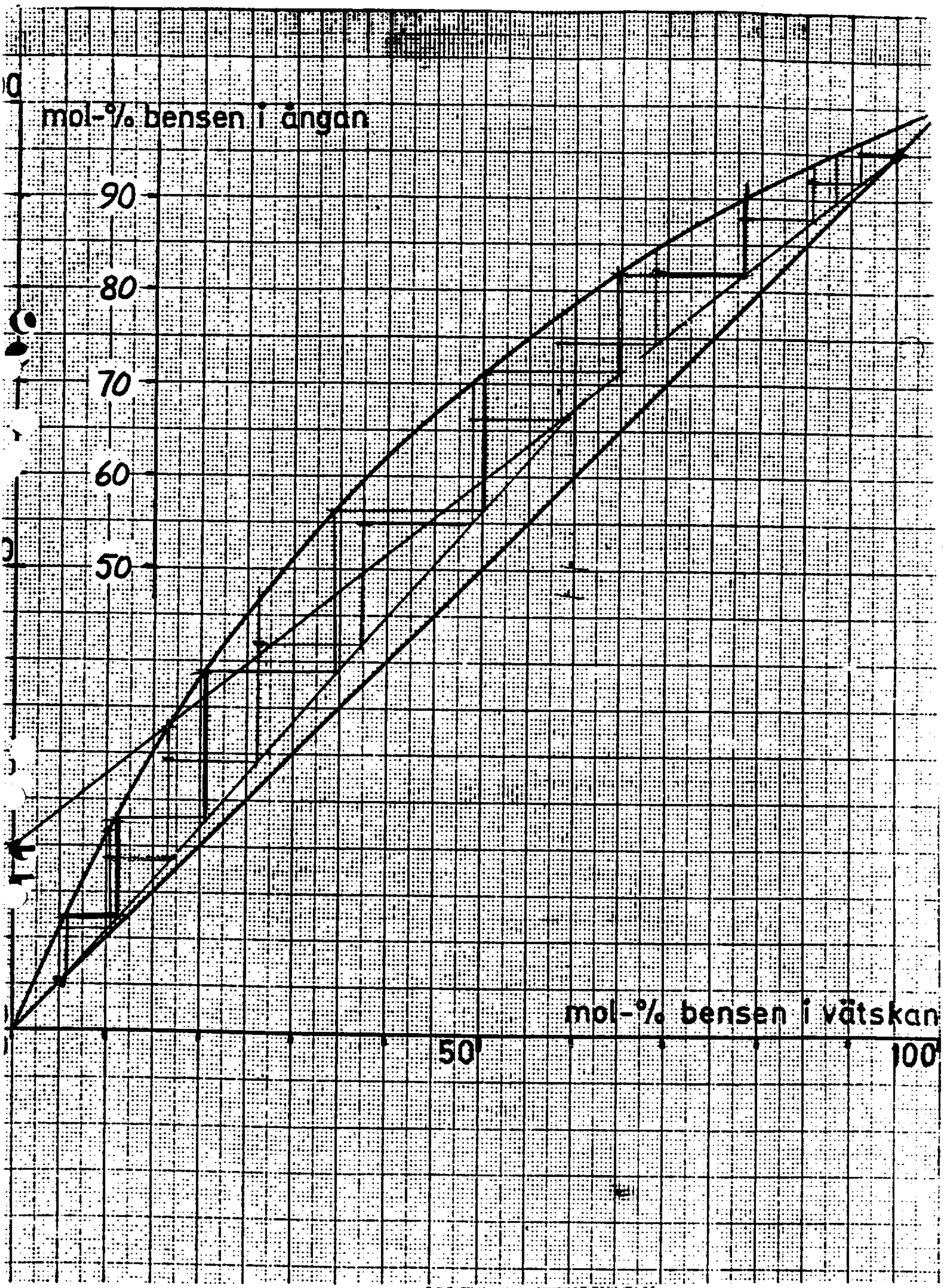
$Ekvot := 1.20$ $\qquad EmV := Ekvot \cdot Emv$ $\qquad EmV = 0.72011$

****

Dö 16:3

11

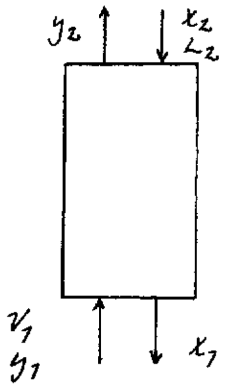
Jämviktsdiagram för systemet bensen-toluen vid 100 kPa Dö7b:4



Demonstrationsräkneövning 2 - absorption

951114

A1



$V_1 = 10000$ kmol/h $= 2.78$ kmol/s

$L_2 = 14000$ kmol/h $= 3.89$ kmol/s

$y_1 = 0.03$, $x_2 = 0.0004$

$P = 20$ atm , $T = 373$ K

Inertflöden L_m, V_m

$L_m = L_2(1-x_2) = 3.887$ kmol/s

$V_m = V_1(1-y_1) = 2.694$ kmol/s

$$x_1 = \frac{0.98\ V_1 y_1}{L_m + 0.98\ V_1 y_1} = 0.0794$$

$$y_2 = \frac{0.02\ V_1 y_1}{V_m + 0.02\ V_1 y_1} = 6.18 \cdot 10^{-4}$$

Antagande av låga halter $\Rightarrow$ rät jämviktskurva

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{m V_m}{L_m}} \ln \frac{y_1 - m x_1}{y_2 - m x_2} = \underline{\underline{12.6}}$$

b) Beräkning av diametern

$$F_{LV} = \frac{L'}{V'}\sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$$

$L_1 = L_2 + V_1 y_1 \cdot 0.98 = 3.97$ kmol/s

$M_L = x_1 \cdot 44 + (1-x_1)\cdot 18 = 18.5$ kg/kmol

$L' \cdot A = 73.47$ kg/s

$M_G = 30.08$ kg/kmol

$V' \cdot A = 83.56$ kg/s

Gasens densitet fås ur gaslagen: $\rho_G = \frac{m}{V} = \frac{MP}{RT} = 23.47$ kg/m^3

$\rho_L = 992$ kg/m^3

Då fås $F_{LV} = 0.135 \rightarrow \Psi = 0.09$

$$\Psi = \frac{u_{GF}^2\, \rho_B}{g e^3}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)\left(\frac{M_L}{M_W}\right)^{0.2} = 0.09$$

$\rho_B = 128$, $e = 0.95$

$\Rightarrow$ flödeshastigheten $u_{GF} = 0.52$ m/s

$u_G = 0.8 \cdot 0.52 = 0.42$ m/s

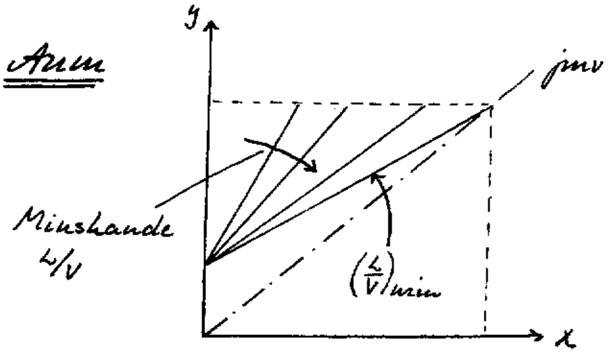
$$A_t = \frac{V'A}{\rho_G u_G} = 8.54\ m^2 \Rightarrow \phi = \sqrt{\frac{4A_t}{\pi}} = \underline{\underline{3.3\ m}}$$

Beräkna vätningshastigheten L_W

$$L_W = \frac{L'}{\rho_L \cdot S_B} \left(= \frac{L' A_t}{A_t \rho_L S_B} \right) = \underline{\underline{6.8 \cdot 10^{-5}\ m^3/m,s}}$$

$\because$ Packningen är tillfredsställande vått.

__Anm__



Väljer t.ex. driftlinjen med lutningen $\frac{L}{V} = 1.5\left(\frac{L}{V}\right)_{min}$ för att få lagom vätskeflöde

c) H_G och H_L kan bestämmas enl. Semmelbauer, ekv. [2.32 - 2.33] eller Onda, ekv. [2.34 - 2.36]

$H_{OG} = H_G + H_L \cdot m\frac{L}{V}$ ← __OBS!__ motflöden

$z = H_{OG} N_{OG}$

$$H_G = \beta \cdot \frac{G'^{0.41} \cdot \mu_G^{0.26} \cdot \mu_L^{0.46} \cdot \sigma^{0.5}}{L'^{0.46} \cdot \rho_V^{0.67} \cdot \rho_L^{0.5} \cdot D_G^{0.67} \cdot d_p^{0.05}} = 0.58\ m$$

$$G' = \frac{V'A_t}{A_t}, \quad L' = \frac{L'A_t}{A_t}$$

$$H_L = \beta \cdot \frac{\mu_L^{0.88} \cdot \sigma^{0.5}}{L'^{0.05} \cdot \rho_L^{1.33} \cdot D_L^{0.5} \cdot d_p^{0.55}} = 0.177\ m$$

$H_{OG} = 0.66 \Rightarrow z = H_{OG} N_{OG} = \underline{\underline{8.4\ m}}$

Ondas metod är ofta bättre - tar hänsyn till hur stor del av arean som är aktiv

$a_W = 93.7$ $\quad H_L = \frac{L}{k_L a_W c_T} = 1.2 \cdot 10^{-4}$

$k_L = 0.74$

$k_G = 4.06 \cdot 10^{-4}$ $\quad H_G = \frac{V}{k_G a_W P} = 0.43$

$H_{OG} = 0.43 \Rightarrow \underline{z = 5.4\ m}$

DEMONSTRATIONSRÄKNEÖVNING

Absorption

Uppdaterad version

A1. Gas från en reaktor, 10 kmol/h, håller 3.0 % etenoxid, 10.0 % koldioxid och resten kväve och 98 % av denna skall utvinnas genom absorption med vatten. Aborptionskolonnen skall arbeta vid 20 atm och använda vatten hållande 0.04 mol-% etenoxid. Temperaturen antages vara 40 °C i hela kolonnen. Den mängd vätska som skall påföras är 1.4 mol vattenlösning per mol gas. Föreslaget fyllkroppsmaterial är 1.5" Pallringar.

Bestäm

a) erforderligt antal massgenomgångsenheter
b) höjden av en massgenomgångsenhet
c) erforderlig packningshöjd
d) erforderlig diameter

Några data:

$\mu_G = 18.1\ 10^{-5}$ Pa s
$\mu_L = 0.656\ 10^{-3}$ Pa s
$D_G = 7.01\ 10^{-7}$ m^2/s
$D_L = 2.15\ 10^{-9}$ m^2/s

m=1.0
$\rho_L = 992$
$\sigma = 0.070$

Demonstrationsövning: Absorption

Materialbalanser

$V1 := \frac{10000.0}{3600}$ $\quad V1 = 2.77778$ kmol/s

$L2 := \frac{14000.}{3600}$ $\quad L2 = 3.88889$ kmol/s

$yleo := 0.030 \quad ylco2 := 0.10 \quad x2 := 0.0004$

$P := 20$ atm $\quad T := 313.15$ K

$Meo := 44 \quad Mco2 := 44 \quad Mn2 := 28$

$Mgas := yleo \cdot 44 + ylco2 \cdot 44 + (1 - yleo - ylco2) \cdot Mn2 \qquad Mgas = 30.08$

Följande data kan dessutom anses gälla

$mjvt := 1.0 \qquad DG := 7.51 \cdot 10^{-7} \qquad DL := 2.15 \cdot 10^{-9}$

$rol := 992 \qquad myg := 1.81 \cdot 10^{-5} \qquad sigma := 0.070$

$R := 0.082056$

a) Beräkning av NOG

$Vm := V1 \cdot (1 - yleo) \qquad Vm = 2.69444$ kmol inert/s

$Lm := L2 \cdot (1 - x2) \qquad Lm = 3.88733$ kmol inert/s

$y2eo := 0.02 \cdot V1 \cdot \frac{yleo}{(Vm + 0.02 \cdot V1 \cdot yleo)} \qquad y2eo = 6.18174 \cdot 10^{-4}$

$x1 := \frac{0.98 \cdot V1 \cdot yleo + L2 \cdot x2}{L2 + 0.98 \cdot V1 \cdot yleo} \qquad x1 = 0.02096$

Vi kan antaga låga halter och NOG ges av

$NOG := \frac{1}{1 - mjvt \cdot \frac{Vm}{Lm}} \cdot \ln\left(\frac{yleo - mjvt \cdot x1}{y2eo - mjvt \cdot x2}\right) \qquad NOG = 12.13605$
****

b) Beräkning av erforderlig diameter

$L1 := L2 + V1 \cdot yleo \cdot 0.98 \qquad L1 = 3.97056$

$MIL := x1 \cdot 44 + (1 - x1) \cdot 18 \qquad MIL = 18.54496$

$L1w := MIL \cdot L1 \qquad L1w = 73.63378$ kg/s

$V1w := Mgas \cdot V1 \qquad V1w = 83.55556$ kg/s

$rov1 := P \cdot \frac{Mgas}{R \cdot T} \qquad rov1 = 23.41235$ kg/m3

$FLV := \frac{L1w}{V1w} \cdot \sqrt{\frac{rov1}{rol}} \qquad FLV = 0.13538$

Detta ger ur diagram

$Fl := 0.090$ Vilket med följande data för packningsmaterialet

$myl := 0.656 \cdot 10^{-3} \qquad myw := 1. \cdot 10^{-3} \qquad por := 0.95$

$gr := 9.81 \qquad SB := 128.$

ger

$ugf := \left[Fl \cdot gr \cdot \frac{por^3}{SB} \cdot \left(\frac{rol}{rov1}\right) \cdot \left(\frac{myw}{myl}\right)^{0.2}\right]^{0.5} \qquad ugf = 0.52213$ m/s

$ug := ugf \cdot 0.8 \qquad ug = 0.4177$ m/s

$At := \left(\frac{V1w}{rov1}\right) \cdot \left(\frac{1}{ug}\right) \qquad At = 8.544$ m2

$Diam := \sqrt{At \cdot \frac{4}{\pi}} \qquad Diam = 3.29827$ m
****

Beräkning av vätningshastigheten

$Lwet := \frac{L1w}{At \cdot rol \cdot SB} \qquad Lwet = 6.78726 \cdot 10^{-5}$
****

Packningen är tillfredställande vått.

Dö2:4

b) Bestämning av HOG enligt Semmelbauer

$beta := 21 \qquad dp := 0.032 \quad m$

$$HG1 := \left(\frac{V1w}{At}\right)^{0.41} \cdot myg^{0.26} \cdot myl^{0.46} \cdot sigma^{0.5}$$

$$HG2 := \left(\frac{L1w}{At}\right)^{0.46} \cdot rov1^{0.67} \cdot rol^{0.5} \cdot DG^{0.67} \cdot dp^{0.05}$$

$$HG := \frac{HG1}{HG2} \cdot beta \qquad HG = 0.61032 \quad m$$

$$HL1 := myl^{0.88} \cdot sigma^{0.5}$$

$$HL2 := \left(\frac{L1w}{At}\right)^{0.05} \cdot rol^{1.33} \cdot DL^{0.5} \cdot dp^{0.55}$$

$$HL := \frac{HL1}{HL2} \cdot beta \qquad HL = 0.1168 \quad m$$

$$HOG := HG + HL \cdot mjvt \cdot \frac{V1}{L1} \qquad HOG = 0.69204 \quad m$$

$$z := HOG \cdot NOG \qquad z = 8.39859 \quad m$$

Alternativt kan **Ondas metod** användas

Korrelation av den effektiva arean ges av uttrycket

$sigmac := 0.075 \qquad a := SB \qquad Ctot := 55.5$

$$aw1 := 1.45 \cdot \left(\frac{sigmac}{sigma}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{L1w}{At \cdot a \cdot myl}\right)^{0.1} \cdot \left[\left(\frac{L1w}{At}\right)^{2} \cdot \frac{a}{rol^2 \cdot gr}\right]^{-0.05} \cdot \left[\left(\frac{L1w}{At}\right)^{2} \cdot \frac{1}{rol \cdot sigma \cdot a}\right]^{0.2}$$

$$aw2 := 1 - \exp(-aw1) \qquad aw2 = 0.73216$$

$$aw := aw2 \cdot a \qquad aw = 93.71641$$

Massöverföringskoefficienterna ges av följande uttryck

$$kl1 := 0.0051 \cdot \left(\frac{L1w}{At \cdot aw \cdot myl}\right)^{0.6667} \cdot \left(\frac{myl}{rol \cdot DL}\right)^{-0.5} \cdot (a \cdot dp)^{0.4} \qquad kl1 = 0.0138$$

$$kl := kl1 \cdot \left(\frac{myl \cdot gr}{rol}\right)^{0.3333} \qquad kl = 2.57395 \cdot 10^{-4}$$

$$kg1 := 5.23 \cdot \left(\frac{V1w}{At \cdot a \cdot myg}\right)^{0.7} \cdot \left(\frac{myg}{rov1 \cdot DG}\right)^{0.3333} \cdot (a \cdot dp)^{-2}$$

$$kg := kg1 \cdot \frac{a \cdot DG}{R \cdot T} \qquad kg = 4.06223 \cdot 10^{-4}$$

$$HGG := \frac{V1}{At \cdot kg \cdot aw \cdot P} \qquad HGG = 0.427 \quad m$$

$$HLL := \frac{L1}{At \cdot kl \cdot aw \cdot Ctot} \qquad HLL = 0.34712 \quad m$$

$$HOGG := HGG + mjvt \cdot \frac{V1}{L1} \cdot HLL \qquad HOGG = 0.66984 \quad m$$

$$zz := HOGG \cdot NOG \qquad zz = 8.12925 \quad m$$

Svar:

a) antal massgenomgångsenheter blir $NOG = 12.13605$

b) höjden av en massgenomgångsenhet blir mHOG=0.69204er $HOG = 0.69204$

och med Ondas metod fås $HOGG = 0.66984$

c) erforderlig packningshöjd blir med Semmelbauers metod $z = 8.39859$

och med Ondas metod $zz = 8.12925$

d) erforderlig diameter blir $Diam = 3.29827$

17

Dö2:5

Demonstrationsövning: Absorption

Alternativ med sänkt tryck. Detta leder till att m och DG ändras. Det visar sig också nödvändigt att ändra vätskeflödet. Varför? (Kontrollera drivkrafterna och vilka konsekvenser det får för NOG-beräkningen).

Materialbalanser

$V1 := \frac{10000.0}{3600}$ $V1 = 2.77778$ kmol/s

$L2 := \frac{21000.}{3600}$ $L2 = 5.83333$ kmol/s

$y1eo := 0.030$ $y1co2 := 0.10$ $x2 := 0.0004$

$P := 10$ atm $T := 313.15$ K

$Meo := 44$ $Mco2 := 44$ $Mn2 := 28$

$Mgas := y1eo \cdot 44 + y1co2 \cdot 44 + (1 - y1eo - y1co2) \cdot Mn2$ $Mgas = 30.08$

Följande data kan dessutom anses gälla

$mjvt := 2.0$ $DG := 15.0 \cdot 10^{-7}$ $DL := 2.15 \cdot 10^{-9}$

$rol := 992$ $myg := 1.81 \cdot 10^{-5}$ $sigma := 0.070$

$R := 0.082056$

a) Beräkning av NOG

$Vm := V1 \cdot (1 - y1eo)$ $Vm = 2.69444$ kmol inert/s

$Lm := L2 \cdot (1 - x2)$ $Lm = 5.831$ kmol inert/s

$y2eo := 0.02 \cdot V1 \cdot \frac{y1eo}{(Vm + 0.02 \cdot V1 \cdot y1eo)}$ $y2eo = 6.18174 \cdot 10^{-4}$

$L2 = 5.83333$

$x1 := \frac{0.98 \cdot V1 \cdot y1eo + L2 \cdot x2}{L2 + V1 \cdot 0.98 \cdot y1eo}$ $x1 = 0.0142$

Vi kan antaga låga halter och NOG ges av

$NOG := \frac{1}{1 - mjvt \cdot \frac{Vm}{Lm}} \cdot \ln\left(\left|\frac{y1eo - mjvt \cdot x1}{y2eo - mjvt \cdot x2}\right|\right)$ $NOG = 28.66272$

****

b) Beräkning av erforderlig diameter

$L1 := L2 + V1 \cdot y1eo \cdot 0.98$ $L1 = 5.915$

$M1L := x1 \cdot 44 + (1 - x1) \cdot 18$ $M1L = 18.36923$

$L1w := M1L \cdot L1$ $L1w = 108.654$ kg/s

$V1w := Mgas \cdot V1$ $V1w = 83.55556$ kg/s

$rov1 := P \cdot \frac{Mgas}{R \cdot T}$ $rov1 = 11.70618$ kg/m3

$FLV := \frac{L1w}{V1w} \cdot \sqrt{\frac{rov1}{rol}}$ $FLV = 0.14126$

Detta ger ur diagram

$Fl := 0.090$ Vilket med följande data för packningsmaterialet

$myl := 0.656 \cdot 10^{-3}$ $myw := 1. \cdot 10^{-3}$ $por := 0.95$

$gr := 9.81$ $SB := 128.$

ger

$ugf := \left[Fl \cdot gr \cdot \frac{por^3}{SB} \cdot \left(\frac{rol}{rov1}\right) \cdot \left(\frac{myw}{myl}\right)^{0.2}\right]^{0.5}$ $ugf = 0.7384$ m/s

$ug := ugf \cdot 0.8$ $ug = 0.59072$ m/s

$At := \left(\frac{V1w}{rov1}\right) \cdot \left(\frac{1}{ug}\right)$ $At = 12.08304$ m2

$Diam := \sqrt{At \cdot \frac{4}{\pi}}$ $Diam = 3.92232$ m

****

Beräkning av vätningshastigheten

$Lwet := \frac{L1w}{At \cdot rol \cdot SB}$ $Lwet = 7.08187 \cdot 10^{-5}$

****

Packningen är tillfredställande vätt.

18

Dö2:6

Dö 2:7

b) Bestämning av HOG enligt Semmelbauer

$\mathrm{beta} := 21 \qquad dp := 0.032 \quad \mathrm{m}$

$$HG1 := \left(\frac{V1w}{At}\right)^{0.41} \cdot myg^{0.26} \cdot myl^{0.46} \cdot sigma^{0.5}$$

$$HG2 := \left(\frac{L1w}{At}\right)^{0.46} \cdot rov1^{0.67} \cdot rol^{0.5} \cdot DG^{0.67} \cdot dp^{0.05}$$

$$HG := \frac{HG1}{HG2} \cdot beta \qquad HG = 0.51969 \quad \mathrm{m}$$

$$HL1 := myl^{0.88} \cdot sigma^{0.5}$$

$$HL2 := \left(\frac{L1w}{At}\right)^{0.05} \cdot rol^{1.33} \cdot DL^{0.5} \cdot dp^{0.55}$$

$$HL := \frac{HL1}{HL2} \cdot beta \qquad HL = 0.11656 \quad \mathrm{m}$$

$$HOG := HG + HL \cdot mjvt \cdot \frac{V1}{L1} \qquad HOG = 0.62917 \quad \mathrm{m}$$

$$z := HOG \cdot NOG \qquad z = 18.03359 \quad \mathrm{m}$$

Alternativt kan **Ondas metod** användas

Korrelation av den effektiva arean ges av uttrycket

$sigmac := 0.075 \qquad a := SB \qquad Ctot := 55.5$

$$aw1 := 1.45 \cdot \left(\frac{sigmac}{sigma}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{L1w}{At \cdot a \cdot myl}\right)^{0.1} \cdot \left[\left(\frac{L1w}{At}\right)^2 \cdot \frac{a}{rol^2 \cdot gr}\right]^{0.05} \cdot \left[\left(\frac{L1w}{At}\right)^2 \cdot \frac{1}{rol \cdot sigma \cdot a}\right]^{0.2}$$

$$aw2 := 1 - \exp(aw1) \qquad aw2 = 0.73814$$

$$aw := aw2 \cdot a \qquad aw = 94.48192$$

Massöverföringskoefficienterna ges av följande uttryck

$$kl1 := 0.0051 \cdot \left(\frac{L1w}{At \cdot aw \cdot myl}\right)^{0.6667} \cdot \left(\frac{myl}{rol \cdot DL}\right)^{-0.5} \cdot (a \cdot dp)^{0.4}$$

$$kl := kl1 \cdot \left(\frac{myl \cdot gr}{rol}\right)^{0.3333} \qquad kl = 2.63359 \cdot 10^{-4}$$

$$kg1 := 5.23 \cdot \left(\frac{V1w}{At \cdot a \cdot myg}\right)^{0.7} \cdot \left(\frac{myg}{rov1 \cdot DG}\right)^{0.3333} \cdot (a \cdot dp)^{-2}$$

$$kg := kg1 \cdot \frac{a \cdot DG}{R \cdot T} \qquad kg = 6.36866 \cdot 10^{-4}$$

$$HGG := \frac{V1}{At \cdot kg \cdot aw \cdot P} \qquad HGG = 0.38205$$

$$HLL := \frac{L1}{At \cdot kl \cdot aw \cdot Ctot} \qquad HLL = 0.35448$$

$$HOGG := HGG + mjvt \cdot \frac{V1}{L1} \cdot HLL \qquad HOGG = 0.71499 \quad \mathrm{m}$$

$$zz := HOGG \cdot NOG \qquad zz = 20.49359 \quad \mathrm{m}$$

Svar: Om trycket sänks till 10 atm och vätskeflödet till 21000 kmol/h fås

a) antal massgenomgångsenheter blir $NOG = 28.66272$

b) höjden av en massgenomgångsenhet blir $HOG = 0.62917$

med Ondas metod fås $HOGG = 0.71499$

c) erforderlig packningshöjd blir $z = 18.03359$

med Ondas metod fås $zz = 20.49359$

d) erforderlig diameter blir $Diam = 3.92232$

DEMONSTRATIONSRÄKNEÖVNING

Extraktion - lakning

A1. Lakningsoperationer utföres ofta industriellt på så sätt att det fasta materialet först suspenderas i tvättvätska, och sedan avskiljes lösningen från det fasta materialet när en tid getts för att de ämnen som skall separeras har hunnit löst sig i vätskan. Det finns alltid en viss mängd lösning kvar i det fasta materialet efter lakningen. Hur mycket vätska som finns kvar beror på den utrustning som användes. Beräkning av lakningsoperationen kan vara grafisk eller numerisk.

a)Visa i ett triangeldiagram hur en lakningsoperation kan beskrivas grafiskt. Ta som exempel att ett fast material hållande 25 % löst substans späds från 15 % inert material till 4 % inert material med rent lösningsmedel. Därefter avvattnas materialet till att hålla 20 % inert material. Bestäm andelen löst material i utgående underström efter lakningen.

b) Beskriv på motsvarande sätt förloppet om lakningen enligt a) sker i två steg i tvärström med rent vatten påfört i båda stegen. Bestäm andelen löst material i underströmmen efter de två stegen.

c) Beräkna utbytet (verkningsgraden) för de båda alternativen enligt a) och b).

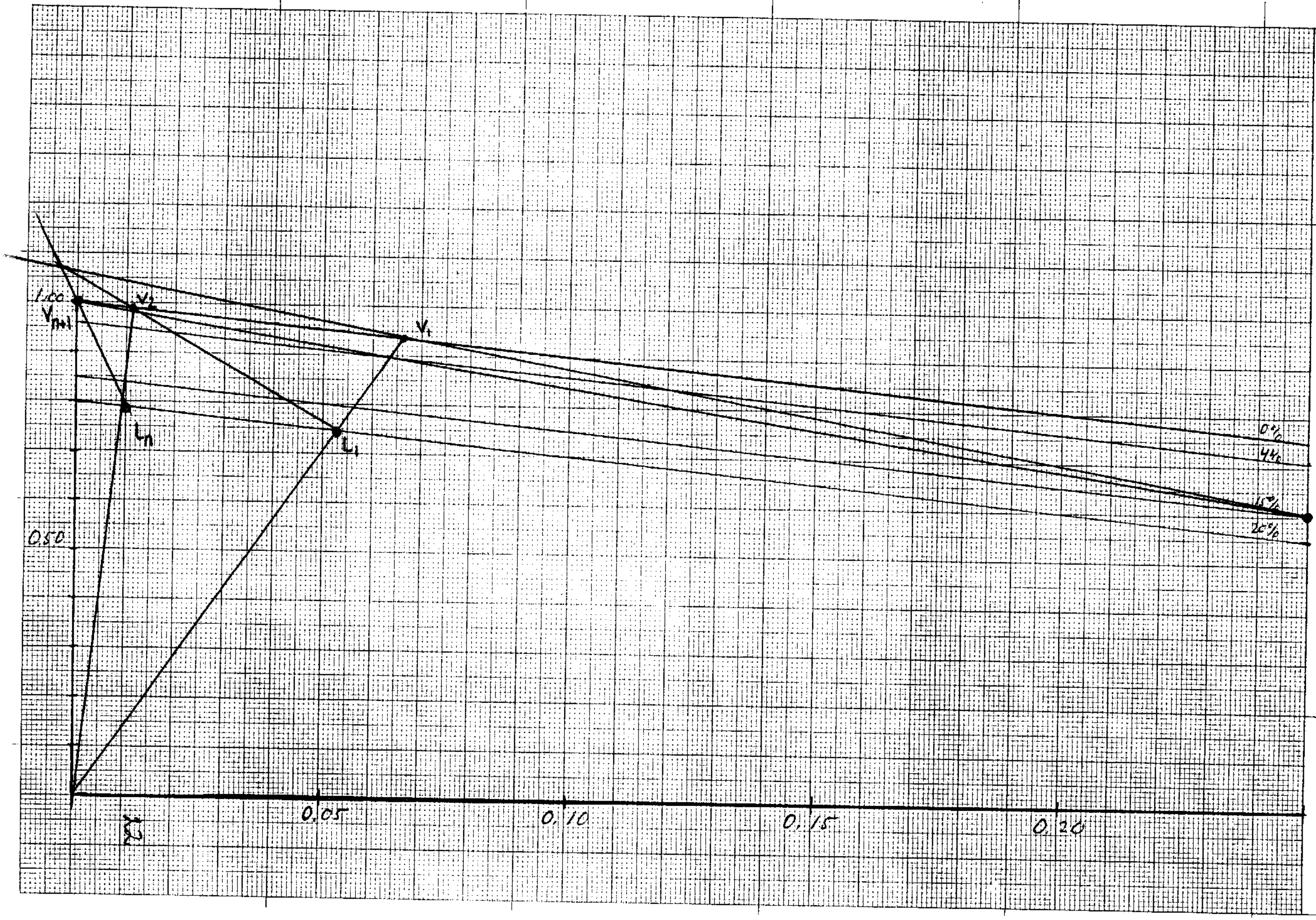
d) Visa hur lakningsoperationen enligt a) och b) kan genomföras som en motströms lakningsoperation och så att det erhållna fasta materialet endast innehåller 1 vikts-% löst substans. Rent vatten användes som lösningsmedel (och påföres således endast ett av stegen).

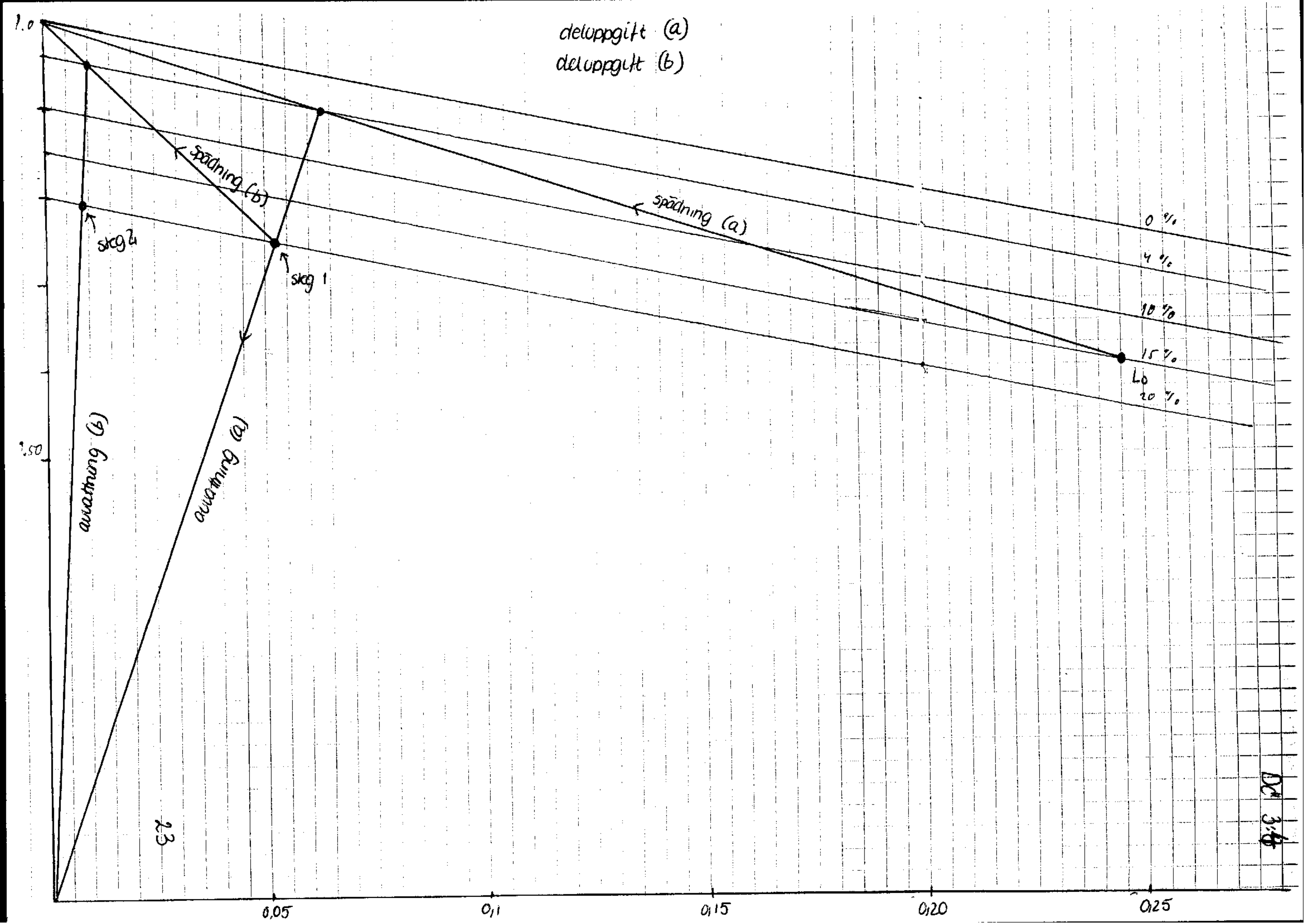
e) Villken renhet skulle erhållas om lakningsoperationen genomfördes i ett steg och med en förträngning med rent vatten vid en massakoncentration av 10 %. Förträngningsverkningsgraden kan sättas till 60 %.

f) Skulle en ökad renhet erhållas om spädningen skedde till 2.5 % massakoncentration, avvattning till 10 %, förträngning vid 10 % med rent vatten och med en förträngningsverkningsgrad av 60 %, samt en slutavvattning till 15 %.

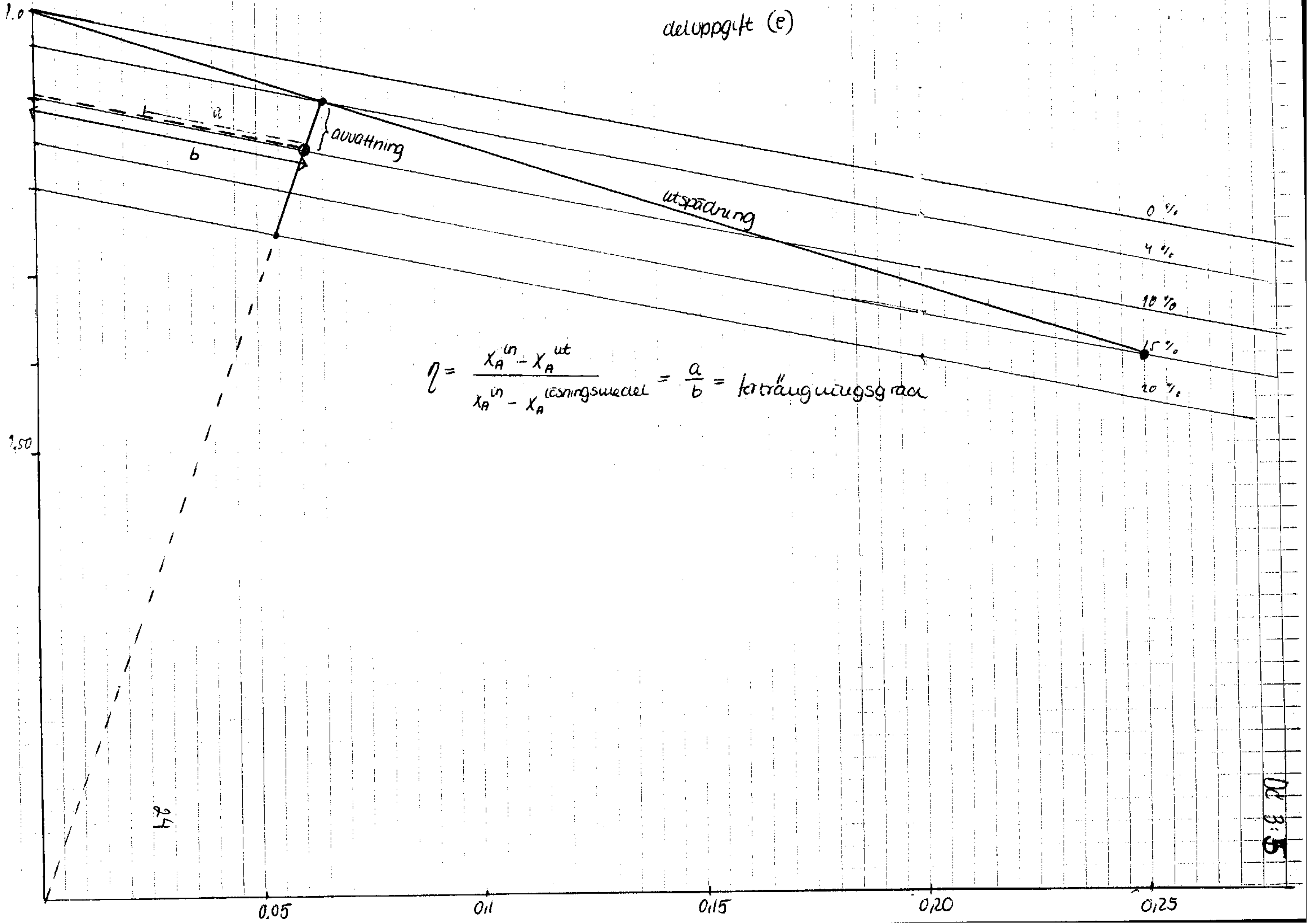
g) Vad blir för alternativet enligt f) den slutliga renheten hos det utgående fasta materialet om det som lösningsmedel påförda vattnet håller 0.5 % löst substans?

uppgift (d)




deluppgift (a)
deluppgift (b)
1.0
0,50
0,05
0,1
0,15
0,20
0,25
0 %
4 %
10 %
15 %
20 %
L0
spädning (a)
spädning (b)
steg 1
steg 2
avvattning (a)
avvattning (b)
23
Dc 3:4

deluppgift (e)



$$\eta = \frac{X_A^{in} - X_A^{ut}}{X_A^{in} - X_A^{lösningsmedel}} = \frac{a}{b} = \text{förträngningsgrad}$$

Demonstrationsövning Lakning

a) Lakning i ett steg. Uppgifterna baseras på de för ett tvättfilter för pappersmassa.

Givna uppgifter

$Lo := 1.0$ $\quad xAo := 0.25$ $\quad xBo := 0.15$ $\quad xSo := 1 - xAo - xBo$ $\quad xSo = 0.6$

$xB1 := 0.20$ $\quad xB2 := 0.20$ $\quad xB3 := 0.20$

$LoxBo := Lo \cdot xBo$ $\quad LoxBo = 0.15$

$L1xB1 := LoxBo$ $\quad L2xB2 := LoxBo$ $\quad L3xB3 := LoxBo$

$L1 := \frac{L1xB1}{xB1}$ $\quad L2 := \frac{L2xB2}{xB2}$ $\quad L1 = 0.75$ $\quad L2 = 0.75$

$L3 := \frac{L3xB3}{xB3}$ $\quad L3 = 0.75$

Steg 1
Spädning
Bilda en ström M av Lo och V2'

$xb1M := 0.04$ $\quad L1M := \frac{LoxBo}{xb1M}$ $\quad L1M = 3.75$

$V22 := L1M - Lo$ $\quad V22 = 2.75$

Avvattning

$V1 := L1M - L1$ $\quad V1 = 3$

Halterna kan nu beräknas

$xA1M := \frac{Lo \cdot xAo}{L1M}$ $\quad xA1M = 0.06667$

$yA1M := \frac{Lo \cdot xAo}{V22 + Lo \cdot (1 - xBo)}$ $\quad yA1M = 0.06944$

$yA1V := yA1M$ $\quad xA1L := \frac{Lo \cdot xAo - V1 \cdot yA1V}{L1}$ $\quad xA1L = 0.05556$

****

$xS1L := 1 - xA1L - xB1$ $\quad xS1L = 0.74444$

b) Lakning i två steg

Steg 2
Spädning

$xB2M := 0.04$ $\quad L2M := \frac{Lo \cdot xBo}{xB2M}$ $\quad L2M = 3.75$

$V33 := L2M - L1$ $\quad V33 = 3$

Avvattning

$V2 := L2M - L2$ $\quad V2 = 3$

Halterna

$xA2M := \frac{L1 \cdot xA1L}{L2M}$ $\quad xA2M = 0.01111$

$yA2M := \frac{L1 \cdot xA1L}{L2M \cdot (1 - xB2M)}$ $\quad yA2M = 0.01157$ $\quad yA2V := yA2M$

$xA2L := \frac{L1 \cdot xA1L - V2 \cdot yA2V}{L2}$ $\quad xA2L = 0.00926$

****

$xS2L := 1 - xA2L - xB2$ $\quad xS2L = 0.79074$

Studie vad som händer med ytterligare ett steg

Steg 3

Spädning

$xB3M := 0.04$ $\quad L3M := \frac{Lo \cdot xBo}{xB3M}$ $\quad L3M = 3.75$

$V44 := L3M - L2$ $\quad V33 = 3$

Avvattning

$V3 := L3M - L3$ $\quad V3 = 3$

Halterna

$xA3M := \frac{L2 \cdot xA2L}{L3M}$ $\quad xA3M = 0.00185$

$yA3M := \frac{L2 \cdot xA2L}{L3M \cdot (1 - xB3M)}$ $\quad yA3M = 0.00193$ $\quad yA3V := yA3M$

$xA3L := \frac{L2 \cdot xA2L - V3 \cdot yA3V}{L3}$ $\quad xA3L = 0.00154$

****

$xS3L := 1 - xA3L - xB3$ $\quad xS3L = 0.79846$

c) Med ett steg utvinns 83 %
Med två steg utvinns 97 %
Med tre steg utvinns 99.5%

d) För ett motströmsförfarande krävs ca två steg.

e) Halten blir 2.3 %

f) Ja, understrømmens halt av löst substans blir 1.4 %.

g) Halten blir 1.8 %

DU 3:6

Demonstrationsräkneövning 4 — indunstning

951121

A1 Sökt: S

Känt: $F = 1000$ kg/h $P = 1$ bar $\Rightarrow T_{V1} = 100°C$
$x_F = 0.005$ $T = 100°C$
$x_1 = 0.03$ $P_S = 5$ bar, mättad
$T_F = 100°C$

Approximera med rent vatten

MB: $F = V_1 + L_1$

KB: $F x_F = L_1 x_1$

VB: $S \Delta H_{vap} + F H_F = V_1 H_{V1} + L_1 H_{L1} \Rightarrow$

$$\Rightarrow S = \frac{V_1 H_{V1} + L_1 H_{L1} - F H_F}{\Delta H_{vap}} \qquad (*)$$

KB $\Rightarrow L_1 = F \dfrac{x_F}{x_1} = 167$ kg/h $\Rightarrow V_1 = 833$ kg/h

Ångtabell: $H_{L1}\{100°C,\ 1\ \text{bar}\} = 419$ kJ/kg
$H_F\{\quad -\text{"}- \quad\} = 419$ kJ/kg
$H_{V1}\{\quad -\text{"}- \quad\} = 2676$ kJ/kg
$\Delta H_{vap}\{\text{mättad ånga, 5 bar}\} = 2108.6$ kJ/kg

Insättning i (*) ger $\underline{\underline{S = 892 \text{ kg/h}}}$

A2 Sökt: A för uppgift A1

Känt: MB, KB, VB samt $U_{slb} = 1$ kW/m²K

Kapacitetsekv. $Q_1 = U_{slb1} A_1 \Delta T_1$

$\Delta T_1 = T_S - T_1 = 152 - 100 = 52$ K

$$A_1 = \frac{Q_1}{U_{slb1} \Delta T_1} = \frac{S \Delta H_{vap}}{U_{slb1} \Delta T_1} = \frac{\frac{892}{3600} \cdot 2108.6}{1 \cdot 52} = \underline{\underline{10 \text{ m}^2}}$$

A3) Kapaciteten

Antag att U_{skb} = konstant ; $\dot{Q}^{en} = U_{skb} \cdot A \cdot \Delta T_{tot}$

$\dot{Q}^{fem} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 \Rightarrow$

$\dot{Q}^{fem} = A \cdot U_{skb} (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 + \Delta T_5) = U_{skb} \cdot A \cdot \Delta T_{tot}$

dvs: $\dot{Q}^{en} = \dot{Q}^{fem}$ om man bara tar hänsyn till kapaciteten.

Ångbehovet

Antag adiabatiskt, kokvarmt tillflöde samt oändlig utspädning.

$S^{en} \cdot \Delta H_{vap} \approx V_{tot} \cdot \Delta H_{vap,V} \Rightarrow S^{en} \approx V_{tot}$

För en fem-effektsindunstare: $\left.\begin{array}{l} V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \\ S^{fem} = \approx V_1 \approx V_2 \approx \ldots \approx V_5 \end{array}\right\} \Rightarrow$

$S^{fem} = \frac{V_{tot}}{5}$ om man tar hänsyn till ångbehovet

---

A4) Sökt A_1, A_2, A_3

Känt $F = 5000$ kg/h $\quad P_S = 10$ bar $\Rightarrow T_S = 179.9°C$

$x_F = 0.1 \quad P_3 = 8$ kPa $\Rightarrow T_{V3} = 41.5°C$

$x_1 = 0.4$

β försummas, samt $A_1 = A_2 = A_3$

$U_{skb1} = 0.8$ kW/m²K ; $U_{skb2} = 1.2$ kW/m²K ; $U_{skb3} = 1.0$ kW/m²K

Feeden är kokvarm, samt egenskaper för vatten

Effekt 1 Mb: $L_3 = V_1 + L_1$ (1)

Kb: $L_3 \cdot x_3 = L_1 \cdot x_1$ (2)

Vb: $S \cdot \Delta H_{vap} + L_3 \cdot H_{L3} = L_1 \cdot H_{L1} + V_1 \cdot H_{V1}$ (3)

K: $\dot{Q}_1 = S \cdot \Delta H_{vap} = U_{skb1} \cdot A_1 \cdot \Delta T_1$ (4)

Effekt 2 Mb: $F = V_2 + L_2$ (5)

Kb: $F \cdot x_F = L_2 \cdot x_2$ (6)

Vb: $V_1 \cdot \Delta H_{vap,V1} + F \cdot H_F = L_2 \cdot H_{L2} + V_2 \cdot H_{V2}$ (7)

K: $\dot{Q}_2 = V_1 \cdot \Delta H_{vap1} = U_{skb2} \cdot A_2 \cdot \Delta T_2$ (8)

Effekt 3 Mb: $L_2 = V_3 + L_3$ (9)

Kb: $L_2 \cdot x_2 = L_3 \cdot x_3$ (10)

Vb: $V_2 \cdot \Delta H_{vap V2} + L_2 \cdot H_{L2} = L_3 \cdot H_{L3} + V_3 \cdot H_{V3}$ (11)

K: $\dot{Q}_3 = V_2 \cdot \Delta H_{vap V2} = U_{skb3} \cdot A_3 \cdot \Delta T_3$ (12)

Följer "beräkningsgång" i kursboken

V_{tot}: 1, 5, 9 ⇒ total MB : $F = L_1 + V_{TOT}$

2, 6, 10 ⇒ $F \cdot x_F = L_1 \cdot x_1 \Rightarrow L_1 = F \cdot \frac{x_F}{x_1} = 1250\ kg/h$

$V_{TOT} = F - L_1 = 3750\ kg/h$

Antag $V_1 = V_2 = V_3 \Rightarrow V_1 = V_2 = V_3 = \frac{V_{tot}}{3} = 1250\ kg/h$

(5) ⇒ $L_2 = F - V_2 = 3750\ kg/h$

(1) ⇒ $L_3 = L_2 - V_3 = 2500\ kg/h$

(6) ⇒ $x_2 = \frac{F \cdot x_F}{L_2} = 0.133$

(10) ⇒ $x_3 = \frac{L_2 \cdot x_2}{L_3} = 0.20$

$$\Delta T_{TOT} = T_S - T_{vn} - \Sigma\beta = 179.9 - 41.5 = 138.4\ K$$

$$\Delta T_1 = \frac{\Delta T_{TOT}}{1 + \frac{U_{skb1}}{U_{skb2}} + \frac{U_{skb1}}{U_{skb3}}} = 56.1$$

$$\Delta T_3 = \frac{U_{skb1}}{U_{skb3}} \cdot \Delta T_1 = 44.9\ K \qquad \Delta T_2 = \frac{U_{skb1}}{U_{skb2}} \cdot \Delta T_1 = 37.4\ K$$

$\Delta T_1 = T_S - T_1 \Rightarrow T_1 = T_S - \Delta T_1 = 123.8\ °C$ $\qquad T_1 = T_{V1} = 128.8\ °C$

$\Delta T_2 = T_{V1} - T_2 \Rightarrow T_2 = T_{V1} - \Delta T_2 = 86.4\ °C$ $\qquad T_2 = T_{V2} = 86.4\ °C$

$T_3 = T_{V3} = 41.5\ °C$

Ur ångtabell fås: $\Delta H_{vap} = 2015.4$ kJ/kg

$\Delta H_{vap\,V1} = 2191.9$ -"-

$\Delta H_{vap\,V2} = 2292.0$ -"-

$H_{V1} = 2711.8$ kJ/kg

$H_{V2} = 2653.9$ kg/kg

$H_{V3} = 2576.4$ -"-

$H_{L1} = 519.9$ kJ/kg

$H_F = H_{L2} = 361.9$ kJ/kg

$H_{L3} = 173.9$ -"-

$$(11) \Rightarrow \quad V_2 = \frac{L_3 \cdot H_{L3} + V_3 \cdot H_{V3} - L_2 \cdot H_{L2}}{\Delta H_{vap\,v2}} = 1003 \text{ kg/h}$$

$$L_2 = F - V_2 = 3997 \text{ kg/h}$$

$$(7) \Rightarrow \quad V_1 = 1048 \text{ kg/h}$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = 3301 \text{ kg/h} < V_{TOT}$$

$$\Delta V_{TOT} = V_{TOT} - 3301 = 449 \text{ kg/h}$$

Nya antagainden:

$$V_1 = 1048 + \frac{\Delta V_{tot}}{3} = 1197 \text{ kg/h}$$

$$V_2 = 1003 + \frac{\Delta V_{tot}}{3} = 1153 \text{ kg/h}$$

$$V_3 = 1250 + \frac{\Delta V_{tot}}{3} = 1400 \text{ kg/h}$$

Börja om från $\underline{V_{tot}}$:

$$(5) \Rightarrow \quad L_2 = 3847 \text{ kg/h}$$

$$(9) \Rightarrow \quad L_3 = 2447 \text{ kg/h}$$

$$(11) \Rightarrow \quad V_2 = 1152 \text{ kg/h}$$

$$(7) \Rightarrow \quad V_1 = 1205 \text{ kg/h}$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = 3757 \text{ kg/h} \qquad \Delta V_{tot} = -7 \text{ kg/h}$$

$$(3) \Rightarrow \quad S = \frac{L_1 \cdot H_{L1} + V_1 H_{V1} - L_3 \cdot H_{L3}}{\Delta H_{vap}} = 1733 \text{ kg/h}$$

Kontroll av $A_1 = A_2 = A_3$

$$(4) \quad A_1 = \frac{\dot{Q}_1}{U_{sk6\,1} \cdot \Delta T_1} = \frac{S \cdot \Delta H_{vap}}{U_{sk6\,1} \cdot \Delta T_1} = 21.6 \, m^2$$

$$(8) \quad A_2 = \frac{\dot{Q}_2}{U_{sk6\,2} \cdot \Delta T_2} = \frac{V_1 \cdot \Delta H_{vap\,v1}}{U_{sk6\,2} \cdot \Delta T_2} = 16.3 \, m^2$$

$$(12) \quad A_3 = \frac{\dot{Q}_3}{U_{sk6\,3} \cdot \Delta T_3} = \frac{V_2 \cdot \Delta H_{vap\,v2}}{U_{sk6\,3} \cdot \Delta T_3} = 16.3 \, m^2$$

Medelarea: $\dfrac{21.6 + 16.2 + 16.3}{3} = 18.1 \, m^2$

$\Delta T_1 = 56.1 \cdot \frac{21.6}{18.1} = 66.9 K$

$\Delta T_2 = 37.6 \cdot \frac{16.3}{18.1} = 33.7 K$

$\Delta T_3 = \Delta T_{TOT} - \Delta T_1 - \Delta T_2 = 37.8 K$

Men med nya temperaturer kommer entalpierna att ändras:

$T_1 = T_S - \Delta T_1 = 113°C = T_{V1}$

$T_2 = T_{V1} - \Delta T_2 = 79.3°C = T_{V2}$

$\Delta H_{vap\,v1} = 2221.9$ kJ/kg

$\Delta H_{vap\,v2} = 2310.0$ kJ/kg

$H_{V1} = 2695.8$ -"-

$H_{V2} = 2642.3$ -"-

$H_{L1} = 474.1$ -"-

$H_{L2} = 332.0$ -"-

(11) $\Rightarrow V_2 = 1193$ kg/h

(7) $\Rightarrow V_1 = 1240$ kg/h

Vi får nu att $V_1 + V_2 + V_3 = 3833$ kg/h ; $\Delta V_{TOT} = -83$ kg/h

Nya antaganden: $V_1 = 1240 + \frac{\Delta V_{tot}}{3} = 1212$ kg/h

$V_2 = \quad = 1165$ kg/h

$V_3 = \quad = 1372$ kg/h

(5) $L_2 = 3835$ kg/h

(7) $L_3 = 2463$ -"-

(11) $V_2 = 1164$ -"-

(7) $V_1 = 1210$ kg/h

$V_1 + V_2 + V_3 = 3746$ kg/h

Nu återstår att beräkna areorna:

(3) $S = 1700$ kg/h

(4) $A_1 = 17.8\ m^2$

(8) $A_2 = 18.5\ m^2$

(12) $A_3 = 19.7\ m^2$

A5 a) Sökt: ΔT_{tot}

Känt: $T_s = 130°C$ $\beta_1 = 5°C$

$T_{V3} = 50°C$ $\beta_2 = 3°C$

$\beta_3 = 2°C$

$$\Delta T_{tot} = T_s - T_{V3} - \Sigma\beta = 130 - 50 - (5+3+2) = \underline{\underline{70°C}}$$

b) Sökt: ΔT_1

Känt: uppg. a, $T_1 = 110°C$

$$\Delta T_1 = T_s - T_1 = \underline{\underline{20°C}}$$

c) Sökt: ΔT_2

Känt: uppg. a, b, $T_2 = 90°C$

$$\Delta T_2 = T_{V1} - T_2 = \{T_{V1} = T_1 - \beta_1\} = T_1 - \beta_1 - T_2 = \underline{\underline{15°C}}$$

d) Sökt: ΔT_3

Känt: uppg. a, b, c

2 sätt: (1) $\Delta T_{tot} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$

$\Rightarrow \Delta T_3 = \underline{\underline{35°C}}$

(2) $\Delta T_3 = T_{V2} - T_3 = \{T_{V2} = T_2 - \beta_2\} =$

$= T_2 - \beta_2 - T_3 = \underline{\underline{35°C}}$

A6 enligt utdelad lösning

Utrustning

- Direkteldade indunstare {fig. 6.16}
- Självcirkulationsindunstare {fig. 6.17 - 6.18}
- Tvångscirkulationsindunstare {fig. 6.19}
- Filmindunstare
  - Stigfilms- {fig. 6.20}
  - Fallfilms- {fig. 6.21}
- Tunnfilmsindunstare {fig. 6.22}

Tal A6 Indunstning

Sökt: U_{skb1}, U_{skb2}, U_{skb3}

Känt: Se figur
Entalpi- och Düringerdiagram

Detta tal måste lösas effekt för effekt. Börja med effekt 1.

Mb: $F = L_1 + V_1$ (1)
Kb: $F \cdot x_F = L_1 \cdot x_1$ (2)
Vb: $F \cdot H_F + S \cdot \Delta H_{vap} = L_1 \cdot H_{L1} + V_1 \cdot H_{V1}$ (3)
K: $\dot{Q}_1 = S \cdot \Delta H_{vap} = U_{skb1} \cdot A_1 \cdot \Delta T_1$ (4)

I ekv. (4) är U_{skb1} och ΔT_1 okända.

$$\Delta T_1 = T_s - T_1 = T_s - (T_{V1} - \beta_1) \qquad (5)$$

T_{v1} erhålls ur ångtabell.

T_{v1}=154.77°C (P=5.4 bar)

För att bestämma β_1 måste vi känna x_1 . I ekv (1)-(3) finns 5 okända. Dvs. passningsräkning tillgrips.

En första approximation kan vara att:

$$S = V_1 = 11 \qquad kg/s$$

Ekv (1) : $L_1 = F - V_1 = 30 - 11 = 19 \qquad kg/s$
Ekv (2) : $x_1 = x_F(F/L_1) = 0.1(30/19) = 0.157$

Düringerdiagrammet ger β_1=6°C vilket leder till

$$T_1 = T_{V1} + \beta_1 = 154.77 + 6 = 160.77^\circ C$$

Entalpidata för strömmarna kan nu bestämmas och gjorda antaganden kan kontrolleras.

ΔH_{vap}=2048 kJ/kg (D&D)
H_F=385 kJ/kg
H_{L1}=599 kJ/kg
H_{V1}=2752.23 + 1.8•6= 2763 kJ/kg $(H_{V1} = H_{V1,mättnad} + \beta_1 \cdot c_p)$

$$\text{Ekv3}: V_1 = \frac{F \cdot H_F + S \cdot \Delta H_{vap} - L_1 \cdot H_{L1}}{H_{V1}} = \frac{30 \cdot 385 + 11 \cdot 2048 - 19 \cdot 599}{2763} = 8.21 \qquad kg/s$$

vilket är betydligt mindre än det antagna värdet

Antag V_1=8.21 kg/s

Ekv (1) : $L_1 = F - V_1 = 30 - 8.21 = 21.79 \quad kg/s$
Ekv (2) : $x_1 = x_F(F/L_1) = 0.1(30/21.79) = 0.138$

Düringerdiagrammet ger β_1=5°C vilket leder till

$T_1 = T_{V1} + \beta_1 = 154.77 + 5 = 159.77°C$

Entalpidata för strömmarna kan nu bestämmas och gjorda antaganden kan kontrolleras.

H_{L1}=600 kJ/kg
H_{V1}=2752.23 + 1.8·5= 2761 kJ/kg $(H_{V1} = H_{V1,mättnad} + \beta_1 \cdot c_p)$

$$\text{Ekv3}: V_1 = \frac{F \cdot H_F + S \cdot \Delta H_{vap} - L_1 \cdot H_{L1}}{H_{V1}} = \frac{30 \cdot 385 + 11 \cdot 2048 - 21.79 \cdot 600}{2761} = 7.61 \quad kg/s$$

vilket är mindre än det antagna värdet

Antag V_1=7.61 kg/s

Ekv (1) : $L_1 = F - V_1 = 30 - 7.61 = 22.39 \quad kg/s$
Ekv (2) : $x_1 = x_F(F/L_1) = 0.1(30/22.39) = 0.134$

β_1 och därmed entalpidata kommer inte att ändras märkbart varför de kan anses var samma som i föregående beräkning: β_1=5°C, H_{L1}=600 kJ/kg och H_1= 2761 kJ/kg

$$\text{Ekv3}: V_1 = \frac{F \cdot H_F + S \cdot \Delta H_{vap} - L_1 \cdot H_{L1}}{H_{V1}} = \frac{30 \cdot 385 + 11 \cdot 2048 - 22.36 \cdot 600}{2761} = 7.48 \quad kg/s$$

vilket är något mindre än det antagna värdet

Om ytterliggare en itteration görs fås att:
L_1 = 22.52
x_1= 0.133
V_1=7.45

vilket får anses vara OK.

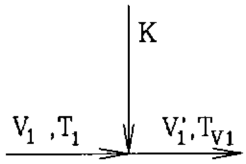
Det skenbara värmegenomgångstalet för effekt 1 kan nu beräknas:

$\Delta T_1 = T_s - (T_{V1} + \beta_1) = 170.4 - (154.77 + 5) = 10.6°C$

$$\text{ekv (4)}: U_{skb1} = \frac{S \cdot \Delta H_{vap}}{A_1 \cdot \Delta T_1} = \frac{11 \cdot 2048}{1500 \cdot 10.6} \approx 1.4 \quad kW/m^2,°C$$

Effekt 2

Ångan från effekt 1 är överhettad 6°C. temperaturen sänks genom att tillsätta mättat kondensat från effekt 2 (se nedanstående fig), vilket innebär att ångmängen ändras:



Mb: $V_1' = V_1 + K$

Vb: $V'_1 \cdot H'_{V1} = V_1 \cdot H_{V1} + K \cdot H_K$

Om kondenstmängden (K) elimineras erhålls:

$$V'_{V1} = V_{V1} \frac{H_{V1} - H_K}{H'_{V1} - H_K}$$

Ångtabeller ger:

H_K=652.8 kJ/kg
H'_{V1}=2752.2
H_{V1}=2752.2+5 1.8=2763 kJ/kg

vilket ger:

$$V'_1 = 7.45 \frac{2763 - 652.8}{2752.2 - 652.8} = 7.49 \qquad kg/s$$

Betingelserna för effekt 2 kan nu beräknas på samma sätt som för effekt 1.

Mb: $L_1 = L_2 + V_2$ (6)
Kb: $L_1 \cdot x_1 = L_2 \cdot x_2$ (7)
Vb: $L_1 \cdot H_{L1} + V'_1 \cdot \Delta H_{vapv1} = L_2 \cdot H_{L2} + V_2 \cdot H_{V2}$ (8)
K : $\dot{Q}_2 = V'_1 \cdot \Delta H_{vapv1} = U_{skb2} \cdot A_2 \cdot \Delta T_2$ (9)

I ekv. (9) är U_{skb2} och ΔT_2 okända.

$$\Delta T_2 = T_{v1} - T_2 = T_{v1} - (T_{V2} - \beta_2) \qquad (5)$$

T_{v1} erhålls ur ångtabell.

T_{v2}=118.6°C (P=1.9 bar)

För att bestämma β_2 måste vi känna x_2. I ekv (6)-(8) finns 5 okända. Dvs. passningsräkning tillgrips.

En första approximation kan vara att:

$V'_1 = V_2 = 7.49 \quad kg/s$

Ekv (6) : $L_2 = L_1 - V_2 = 22.55 - 7.49 = 15.05 \quad kg/s$
Ekv (7) : $x_2 = x_1(L_1 / L_2) = 0.133 \cdot (22.55/15.06) = 0.199$

Düringerdiagrammet ger β_2=10°C vilket leder till

$T_2 = T_{V2} + \beta_2 = 118.6 + 10 = 128.6°C$

Entalpidata för strömmarna kan nu bestämmas och gjorda antaganden kan kontrolleras.

ΔH_{vapV1}=2099.4 kJ/kg (D&D)
H_{L2}=470 kJ/kg
H_{V2}=2704.3 + 1.8 10= 2722.3 kJ/kg $(H_{V2} = H_{V2,mättnad} + \beta_2 \cdot c_p)$

Ekv8 :

$$V_2 = \frac{L_1 \cdot H_{L1} + V'_1 \cdot \Delta H_{vapV1} - L_2 \cdot H_{L2}}{H_{V2}} = \frac{22.55 \cdot 599 + 7.49 \cdot 2099.4 - 15.06 \cdot 499}{2722.3} = 8.14 \quad kg/s$$

vilket inte är tillräckligt nära det antagna värdet

Antag V_2=8.14 kg/s

Ekv (6) : $L_2 = L_1 - V_2 = 22.55 - 8.14 = 14.41 \quad kg/s$
Ekv (7) : $x_2 = x_1(L_1 / L_2) = 0.133 \cdot (22.55/14.41) = 0.208$

Düringerdiagrammet ger β_2=11°C vilket leder till

$T_2 = T_{V2} + \beta_2 = 118.6 + 11 = 129.6°C$

Ny entalpidata krävs:

H_{L2}=475 kJ/kg
H_{V2}=2704.3 + 1.8 11= 2724.1 kJ/kg $(H_{V2} = H_{V2,mättnad} + \beta_2 \cdot c_p)$

Ekv8 :

$$V_2 = \frac{L_1 \cdot H_{L1} + V'_1 \cdot \Delta H_{vapV1} - L_2 \cdot H_{L2}}{H_{V2}} = \frac{22.55 \cdot 599 + 7.49 \cdot 2099.4 - 14.41 \cdot 475}{2724.1} = 8.22 \quad kg/s$$

Om itterationen görs ett varv till erhålls följande data:

L_2=14.32 kg/s
x_2=0.209
β_2=11°C
V_2=8.23 kg/s

Det skenbara värmegenomgångstalet för effekt 2 kan nu beräknas:

$$\Delta T_2 = T_{V1} - (T_{V2} + \beta_2) = 154.8 - (118.6 + 11) = 25.2^{\circ}C$$

$$\text{ekv (9)} : U_{skb2} = \frac{V'_1 \cdot \Delta H_{vapV1}}{A_2 \cdot \Delta T_2} = \frac{7.49 \cdot 2099.4}{1500 \cdot 25.2} \approx 0.42 \qquad kW/m^2, {}^{\circ}C$$

EFFEKT 3

Ångan från effekt 2 är överhettad och mättas på samma sätt som ångan till effekt 2:

Mb: $V_2' = V_2 + K_2$

Vb: $V'_2 \cdot H'_{V2} = V_2 \cdot H_{V2} + K_2 \cdot H_{K2}$

Om kondenstmängden (K_2) elimineras erhålls:

$$V'_{V2} = V_{V2} \frac{H_{V2} - H_{K2}}{H'_{V2} - H_{K2}}$$

Ångtabeller ger:

H_{K2}=497.9 kJ/kg
H'$_2$=2704.3
H_2=2704.3+11 1.8=2724.1 kJ/kg

vilket ger:

$$V'_2 = 8.23 \frac{2724.1 - 497.9}{2704.1 - 497.9} = 8.30 \qquad kg/s$$

Förhållandena kring effekt 3 kan nu beräknas på samma sätt som för de två tidigare effekterna.

Mb: $L_2 = L_3 + V_3$ (11)
Kb: $L_2 \cdot x_2 = L_3 \cdot x_3$ (12)
Vb: $L_2 \cdot H_{L2} + V'_2 \cdot \Delta H_{vapv2} = L_3 \cdot H_{L3} + V_3 \cdot H_{V3}$ (13)
K : $\dot{Q}_3 = V'_2 \cdot \Delta H_{vapv2} = U_{skb3} \cdot A_3 \cdot \Delta T_3$ (14)

I ekv. (14) är U_{skb2} och ΔT_3 okända.

$$\Delta T_3 = T_{V2} - T_3 = T_{v2} - (T_{V3} - \beta_3) \qquad (15)$$

T_{v2} erhålls ur ångtabell.

T_{v3}=65°C (P=0.25 bar)

För att bestämma β_3 måste vi känna x_3. I ekv (11)-(13) finns 5 okända. Dvs. passningsräkning tillgrips.

En första approximation kan vara att:

$V'_2 = V_3 = 8.30 \quad kg/s$

Ekv (11) : $L_3 = L_2 - V_3 = 14.32 - 8.30 = 6.02 \quad kg/s$
Ekv (12) : $x_3 = x_2(L_2 / L_3) = 0.21 \cdot (14.32 / 6.02) = 0.500$

Düringerdiagrammet ger β_2=42°C vilket leder till

$T_3 = T_{V3} + \beta_3 = 65 + 42 = 107°C$

Entalpidata för strömmarna kan nu bestämmas och gjorda antaganden kan kontrolleras.

ΔH_{vapV2}=2206.4 kJ/kg (D&D)
H_{L3}=570 kJ/kg
H_{V2}=2617.4 + 1.8 42= 2693.3 kJ/kg ($H_{V2} = H_{V2,mättnad} + \beta_2 \cdot c_p$)

Ekv13 :

$$V_3 = \frac{L_2 \cdot H_{L2} + V'_2 \cdot \Delta H_{vapV2} - L_3 \cdot H_{L3}}{H_{V3}} = \frac{14.32 \cdot 475 + 8.30 \cdot 2206.4 - 6.02 \cdot 570}{2693.3} = 8.05 \quad kg/s$$

vilket inte är tillräckligt nära det antagna värdet

Antag V_3=8.05 kg/s

Ekv (11) : $L_3 = L_2 - V_3 = 14.32 - 8.05 = 6.27 \quad kg/s$
Ekv (12) : $x_3 = x_2(L_2 / L_3) = 0.21 \cdot (14.32 / 6.27) = 0.48$

Düringerdiagrammet ger β_2=40°C vilket leder till

$$T_3 = T_{V3} + \beta_3 = 65 + 40 = 105^{\circ}C$$

Entalpidata för strömmarna kan nu bestämmas och gjorda antaganden kan kontrolleras.

H_{L3}=560 kJ/kg
H_{V2}=2617.4 + 1.8 40= 2689.7 kJ/kg $(H_{V2} = H_{V2,mättnad} + \beta_2 \cdot c_p)$

Ekv13 :

$$V_3 = \frac{L_2 \cdot H_{L2} + V'_2 \cdot \Delta H_{vapV2} - L_3 \cdot H_{L3}}{H_{V3}} = \frac{14.32 \cdot 475 + 8.30 \cdot 2206.4 - 6.27 \cdot 560}{2689.7} = 8.03 \quad kg/s$$

vilket är ok!

Det skenbara värmegenomgångstalet för effekt 2 kan nu beräknas:

$$\Delta T_3 = T_{V2} - (T_{V3} + \beta_3) = 118.6 - (65 + 40) = 13.6^{\circ}C$$

$$\text{ekv (15)} : U_{skb3} = \frac{V'_2 \cdot \Delta H_{vapV2}}{A_3 \cdot \Delta T_3} = \frac{8.03 \cdot 2206.4}{1500 \cdot 13.6} \approx 0.87 \quad kW/m^2,^{\circ}C$$

DVS!

U_{skb1}=1.4 kW/m²,°C
U_{skb2}=0.42 kW/m²,°C
U_{skb3}=0.87 kW/m²,°C

Effekt 2 har mistänkt lågt värmegenomgångstal. Antagligen inkruster.

GAP

Demonstrationsräkneövn. nr 5   951129

A2) Känt: $V_{susp} = 20 m^3$ $\rho = 1000\ kg/m^3$ $Th_{FK} = 0.5$

$J = 0.01$ $\rho_s = 2700\ kg/m^3$

a) Sökt: Filterkakans vikt, samt filterkakans volym

$$\rho_{susp} = \frac{1\ (\text{antag ett kilo material})}{\frac{(1-J)1}{\rho} + \frac{J\cdot 1}{\rho_s}} = 1006.34\ kg/m^3$$

$$m_{susp} = V_{susp} \cdot \rho_{susp} = 20126.8\ kg$$

$$m_{FKS} = m_{susp} \cdot J$$

$$m_{FK} = \frac{m_{FKS}}{Th_{FK}} = \frac{m_{susp}\cdot J}{Th_{FK}} = 402.5\ kg$$

$$V_{FK} = \frac{m_{FKS}}{\rho_s} + \frac{m_{FK} - m_{FKS}}{\rho} = 0.276\ m^3$$

b) Sökt: erhållen filtratvolym

$$V = V_{susp} - V_{FK} = 19.724\ m^3$$

c) Sökt: ϵ_{av}

$$Th_{FK} = \frac{\text{vikt fast material}}{\text{vikt fast material} + \text{vikten av vätskan}} = \frac{V_{FK}(1-\epsilon_{av})\cdot\rho_s}{V_{FK}(1-\epsilon_{av})\rho_s + V_{FK}\cdot\epsilon_{av}\cdot\rho} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \epsilon_{av} = 0.73$$

d) Sökt: C

$$C = \frac{m_{FK}}{V} = \frac{J\cdot\rho}{(1-J) - \frac{\epsilon_{av}}{1-\epsilon_{av}}\cdot J\cdot\frac{\rho}{\rho_s}} = 10.2$$

e) Sökt: Antalet ramar

$A_{tv} = 0.5 m^2$; $l_d = 0.025\ m$ $V_{ram} = A_{tv}\cdot l_d = 0.0125\ m^3$

från a) $V_{FK} = 0.276$

$$\text{Antalet ramar} = \frac{V_{FK}}{V_{ram}} = 22\ st$$

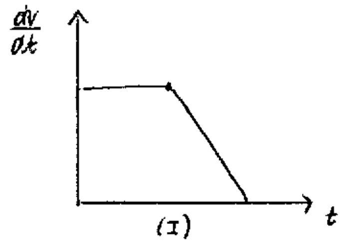
A3) Sökt: t_2

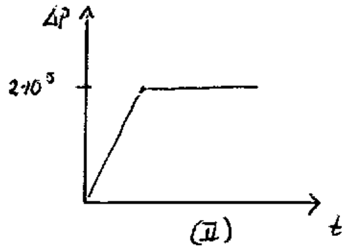
$V_2 = 19.724\,m^3$
$C = 10.2\,kg/m^3$
$\alpha_{av} = 2.5\cdot 10^{10}\,m/kg$

$R_m = 5\cdot 10^{9}\,l/m$
$\mu = 1\cdot 10^{-3}\,Pa\,s$
$A = 22(2\cdot 0.5) = 22\,m^2$ filteryta

(I) $\frac{dV}{dt} = 0.075\,m^3/s$ tills $\Delta P = 2\cdot 10^5\,Pa$

(II) $\Delta P = 2\cdot 10^5\,Pa$





konstant flöde: $\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_1 - 0}{t_1 - 0} = \frac{A^2\cdot\Delta P}{\mu(C\cdot\alpha_{av}\cdot V_1 + A\cdot R_m)}$ (1)

konstant tryck: $\frac{dV}{dt} = \frac{A^2\Delta P}{\mu(C\cdot\alpha_{av}\cdot V + A\cdot R_m)}$ (2)

Integreras: $V_1 \rightarrow V_2$; $t_1 \rightarrow t_2$

$$\frac{C\cdot\alpha_{av}}{2}(V_2^2 - V_1^2) + A\cdot R_m(V_2 - V_1) = \frac{A^2\Delta P}{\mu}(t_2 - t_1)$$

$$(1) \Rightarrow V_1 = \frac{1}{C\alpha_{av}}\cdot\left(\frac{A^2\Delta P}{\mu\; dV/dt} - AR_m\right) = 4.63\,m^3$$

$$(1) \Rightarrow \frac{dV}{dt} = \frac{V_1}{t_1} \Rightarrow t_1 = \frac{V_1}{\frac{dV}{dt}} = 61.7\,\text{sekunder}$$

$$(2) \Rightarrow t_2 = t_1 + \frac{\mu}{A^2\Delta P}\left(\frac{C\cdot\alpha_{av}}{2}(V_2^2 - V_1^2) + A\cdot R_m(V_2 - V_1)\right) = 563\,s = 9\,min\ 23\,sek$$

A4) Sökt: t_{tv} Känt: se uppgift A2, A3

tvättvätskeförhållande $\omega = 3$

$$\omega = \frac{V_{TV}}{V_{FKL}} = \frac{V_{TV}}{V_{FK}\cdot 6} \Rightarrow V_{TOT} = \omega\cdot V_{FK} = 0.6\,m^3$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{V_{TV}}{t_{tv}} = \frac{A_{TV}^2\cdot\Delta P}{\mu(C\cdot\alpha_{av}\cdot V_2 + 2\cdot A_{TV}\cdot R_m)} \quad ; \quad A_{TV} = \frac{A}{2}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(A/2)^2\Delta P}{\mu(C\cdot\alpha_{av}\cdot V_2 + 2\,A/2\cdot R_m)} = 4.76\cdot 10^{-3}\,m^3/s$$

$$t_{TV} = \frac{V_{TV}}{\frac{dV}{dt}} = 126\,s = 2\,min$$

A5) Sökt A

$\dot{V}_{susp} = 144\,m^3/h = 0.040\,m^3/s$
$J = 0.08$
$\alpha_{av} = 3\cdot10^9\,m/kg$
$N = 1.5\,rpm$

$\rho = 1000\,kg/m^3$
$\rho_s = 2500\,kg/m^3$
$\mu = 1\cdot10^{-3}\,Pas$

$\frac{A_{eff}}{A} = 0.35$; $t = 0.35\cdot\frac{1}{N}$; $R_m = 0$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A_{eff}^2\cdot\Delta P}{\mu\cdot C\cdot\alpha_{av}\cdot V} \quad (1)$$

integrera mellan $0\to V$; $0\to t$ $\Rightarrow$ $\frac{V^2}{2} = \frac{A_{eff}^2\cdot\Delta P\cdot t}{\mu\cdot C\cdot\alpha_{av}}$ $\Rightarrow$

$$\left(\frac{V}{t}\right)^2 = \frac{2\cdot A_{eff}^2\cdot\Delta P}{\mu\cdot C\cdot\alpha_{av}}\cdot\frac{1}{t} = \frac{2\cdot A_{eff}^2\cdot\Delta P}{\mu\cdot C\cdot\alpha_{av}}\cdot\frac{N}{0.35}$$

$$\rho_{susp} = \frac{1}{\frac{1\cdot J}{\rho_s} + \frac{1(1-J)}{\rho}} = 1050.42\,kg/m^3$$

$\dot{m}_{susp} = \dot{V}_{susp}\cdot\rho_{susp} = 42\,kg/s$; $\dot{m}_s = \dot{m}_{susp}\cdot J = 3.36\,kg/s$

$$\dot{V}_{FK} = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s(1-\epsilon)} = 4.2\cdot10^{-3}\,m^3/s$$

$$\frac{V}{t} = \dot{V} = \dot{V}_{susp} - \dot{V}_{FK} = 0.035\,m^3/s \quad ; \quad C = \frac{\rho\cdot J}{(1-J) - \frac{\epsilon}{1-\epsilon}\cdot J\cdot\frac{\rho}{\rho_s}} = 93.9\,kg/m^3$$

$$A_{eff} = \left[\left(\frac{V}{t}\right)^2 \frac{\mu\cdot C\cdot\alpha\cdot0.35}{2\cdot\Delta P\cdot N}\right]^{1/2} = 7.11\,m^2$$

$$A = \frac{A_{eff}}{0.35} = 20.3\,m^2$$

A6) Sökt t

$\Delta P = 10^4\cdot V^{1.5}$
Antal kammare (ram) = 10
$A_{kammare} = 1\,m^2$
$l_d = 0.05\,m$
$J = 0.015$

$\frac{våt}{torr} = 1.7$
$\rho_s = 2500\,kg/m^3$
$\rho = 1000\,kg/m^3$
$\mu = 1\cdot10^{-3}\,Pas$
$\alpha = 1.2\cdot10^{10}\,m/kg$
$R_m = 0$

$$\frac{våt}{torr} = \frac{m_{FKS} + m_{FKL}}{m_{FKS}} = 1 + \frac{m_{FKL}}{m_{FKS}} = 1 + \frac{V_{FK}\cdot\epsilon\cdot\rho}{V_{FK}(1-\epsilon)\rho_s} \Rightarrow \epsilon = \frac{\left(\frac{våt}{torr}-1\right)\frac{\rho_s}{\rho}}{1+\left(\frac{våt}{torr}-1\right)\frac{\rho_s}{\rho}} = 0.636$$

$$C = \frac{m_{FKS}}{V} = \frac{J\cdot\rho}{(1-J) - \frac{\epsilon}{1-\epsilon}\cdot J\cdot\frac{\rho}{\rho_s}} = 15.39$$

$$V_{FK} = 10\cdot A_{TV}\cdot l_d = 10\left(\frac{A_{kammare}}{2}\right)\cdot l_d = 0.25\,m^3$$

$m_{FKS} = V_{FK}(1-\epsilon)\rho_s = 227.5\ kg$; $V = \frac{m_{FKS}}{c} = 14.8\ m^3$

$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu \cdot c \cdot \alpha \cdot V} \rightarrow \frac{A^2 \cdot 10^4 \cdot V^{0.5}}{\mu \cdot c \cdot \alpha} \Rightarrow$ integrera mellan; $0 \rightarrow V$, $0 \rightarrow t$

$\int_0^V \frac{dV}{V^{0.5}} = \frac{A^2 \cdot 10^4}{\mu \cdot c \cdot \alpha} \int_0^t dt \Rightarrow t = \frac{\mu \cdot c \cdot \alpha}{A^2 \cdot 10^4} \cdot \frac{V^{0.5}}{0.5} = 1421\ s = 24\ min$

A7) Sökt: α $\qquad c = \frac{\rho \cdot J}{(1-J) - \frac{\epsilon}{1-\epsilon} \cdot J \cdot \frac{\rho}{\rho_s}} = 55.11$

a) Integrera filtreringsekv. $0 \rightarrow V$, $0 \rightarrow t$

$\int_0^V (c \cdot \alpha_{av} \cdot V + A \cdot R_m)\, dV = \frac{A^2 \cdot \Delta P}{\mu} \int_0^t dt \Rightarrow \frac{t}{V} = \frac{\mu}{A^2 \Delta P}\left[\frac{c \cdot \alpha_{av}}{2} V + A \cdot R_m\right]$ (rät linje)

lutningen $= \frac{\mu \cdot c \cdot \alpha_{av}}{A^2 \cdot \Delta P \cdot 2} \Rightarrow \alpha_{av} = \frac{lutn. \cdot A^2 \cdot \Delta P \cdot 2}{\mu \cdot c} = 1 \cdot 10^9\ m/kg$

b) Använd den deriverade formen:

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

$lutn = \frac{\mu \cdot c \cdot \alpha_{av}}{A^2 \cdot \Delta P} \Rightarrow \alpha_{av} = 0{,}97 \cdot 10^9\ m/kg \approx 1 \cdot 10^9\ m/kg$

c) Integration: $V_1 \rightarrow V$, $t_1 \rightarrow t$

$V_1 = 2 \cdot 10^{-4}\ m^3$
$t_1 = 5{,}3\ s$

$\frac{t - t_1}{V - V_1} = \frac{\mu}{A^2 \Delta P}\left(\frac{c \cdot \alpha_{av}}{2}(V - V_1) + \underbrace{c \cdot \alpha_{av} \cdot V_1 + A \cdot R_m}_{konstant}\right)$

$lutn = \frac{\mu \cdot c \cdot \alpha_{av}}{A^2 \Delta P \cdot 2} \Rightarrow \alpha_{av} = 0{,}99 \cdot 10^9 \approx 1 \cdot 10^9\ m/kg$

SEDIMENTERING.

A1)

Sökt: D_p

Känt: $v = 0.001\ m/s$
$\rho_s = 1900\ kg/m^3$
$\rho = 1200\ kg/m^3$
$\mu = 5 \cdot 10^{-3}\ Pa \cdot s$
Sfäriska partiklar

$$v = \left(\frac{4 \cdot D_p (\rho_s - \rho) \cdot g}{3 \cdot \rho \cdot C_D} \right)^{0.5} \qquad (1)$$

Antag laminära flöden: $C_D = \frac{24}{Re} = \frac{24}{\frac{D_p \cdot v \cdot \rho}{\mu}}$

$$v = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho) g}{18\ \mu} \qquad Re < 0.4$$

$$\underline{D_p} = \left(\frac{v \cdot 18 \mu}{(\rho_s - \rho) g} \right)^{0.5} = \underline{\underline{5.1 \cdot 10^{-5} m}}$$

Kontroll av Re:

$$Re = \frac{D_p \cdot v \cdot \rho}{\mu} = 0.06 < 0.4 \qquad \text{OK!}$$

A2)

Sökt: A

Känt: $F = 10000\ m^3/h = 2.78\ m^3/s$
$D_p = 0.5 \cdot 10^{-3}\ m$
$\rho_s = 2700\ kg/m^3$
$\rho = 1000\ kg/m^3$
$\mu = 1 \cdot 10^{-3}\ Pa \cdot s$

sfäriska partiklar!

$$A \geq \frac{F}{v} \qquad v = \left(\frac{4 D_p (\rho_s - \rho) \cdot g}{3 \rho C_D} \right)^{0.5}$$

Antag laminära förhållanden:
Stokes ekv:

$$v = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho) g}{18 \mu} = 0.23\ m/s$$

Kontroll av Re: $Re = \frac{D_p \cdot v \cdot \rho}{\mu} = 115 \gg 0.4$ Fel:

Antag turbulent:

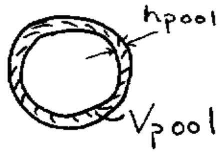
$C_D = 0.44$

$$v = \left(\frac{4 D_p (\rho_s - \rho) g}{3 \rho C_D} \right)^{0.15} m/s = 0.15\ m/s$$

A7)

$$\left.\begin{array}{l} v = \dfrac{D_p^2(\rho_s - \rho)a}{18\mu} \\ a = \omega^2 \cdot R_c = (2\pi N)^2 \cdot R_c \end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} v = \dfrac{D_p^2(\rho_s-\rho)(2\pi N)^2 \cdot R_c}{18\mu} \\ A \geq \dfrac{F}{v} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad F \leq \frac{D_p^2(\rho_s-\rho)(2\pi N)^2}{18\mu} R_c \cdot A$$



$$A = \frac{V_{pool}}{h_{pool}}$$

$$\Rightarrow \quad F \leq \frac{D_p^2(\rho_s-\rho)(2\pi N)^2}{18\mu} R_c \underbrace{\frac{V_{pool}}{h_{pool}}}_{\text{specifikt för varje centrifug}}$$

Sökt: N då

känt:

$D_p = 0.5$ resp. $0.1\ \mu m$

$F = 5\ m^3/h$ $\qquad$ $\mu = 10^{-3}\ Pa \cdot s$

$\rho = 1000\ kg/m^3$ $\qquad$ $\rho_s = 2000\ kg/m^3$

R_c, V_{pool}, h_{pool} ??

$h_{pool} = h' - h''$

$V_{pool} = V_{cyl} - V_{kon}$

$$V_{cyl} = L_c \pi\left((R_c - h'')^2 - (R_c - h')^2\right)$$

$$V_{kon} = \frac{R_c - h''}{\tan\alpha}\pi(R_c - h'')^2\frac{1}{3} - \frac{R_c - h'}{\tan\alpha}\pi(R_c-h')^2\frac{1}{3} -$$

$$- \frac{h'-h''}{\tan\alpha}\pi(R_c-h')^2 = \frac{\pi}{3\tan\alpha}\left((R_c-h'')^3 - (R_c+2h'-3h'')(R_c-h')^2\right)$$

$$R_c \cdot \frac{V_{pool}}{h_{pool}} = R_c \cdot \frac{V_{cyl} + V_{kon}}{h' - h''}$$

$$F \leq \frac{D_p^2(\rho_s-\rho)(2\pi N)^2}{18\mu} \cdot R_c \cdot \frac{V_{cyl}+V_{kon}}{h'-h''}$$

$$N \geq \frac{1}{2\pi}\left(\frac{F \cdot 18 \cdot \mu(h'-h'')}{D_p^2(\rho_s-\rho)R_c(V_{cyl}+V_{kon})}\right)^{1/2}$$

$V_{cyl} = 0{,}0405\ m^3$; $V_{kon} = 0.000\,897\ m^3$

a) 98% skall avskiljas

$D_p = 0.5\ \mu m$

$N \geq 67\ r/s = 4000$ varv/min

b) 100% ska avskiljas

$D_p = 0.1\ \mu m$

$\underline{N \geq 333\ r/s = 20000\ \text{varv/min}}$

Filtrering A1

Sökt: B och ΔP

Känt:	D_p	$= 10^{-3}$ m	L	= 1 m
	D_R	= 0.08 m	dV/dt	$= 0.004\ m^3/s$
	μ	= 0.0005 Pas	ρ	$= 950\ kg/m^3$

En jämförelse mellan Kozeny-Carmans ekvation och Darcys ekvation ger:

$$B = \frac{\varepsilon^3}{K''\cdot S^2 \cdot (1-\varepsilon)^2} \qquad (1)$$

Specifika ytan för en sfär är:

$$S = \frac{\text{mantelytan}}{\text{Volym}} = \frac{6}{D_p} \qquad (2)$$

Vilket i detta fall innebär:

$$S = \frac{6}{10^{-3}} = 6000\ \ m^2/m^3$$

Porositeten (ε) för bäddar bestående av sfäriska partiklar finns tabellerad (se kursen i transportprocesser). Bäddar bestående av partiklar med en diameter motsvarande 1 mm har en porositet motsvarande 0.4 m^3/m^3. Vidare, för sfäriska partiklar är Kozenys konstant (K") ungefär lika med 4.8. Permeabiliteten kan nu beräknas med ekvation (1):

$$B = \frac{0.4^3}{4.8\cdot 6000^2 \cdot (1-0.4)^2} \approx 1\cdot 10^{-9}\ \ m^2$$

För att beräkna tryckfallet används Darcys ekvation:

$$v = \frac{1}{A}\cdot\frac{dV}{dt} = B\cdot\frac{\Delta P}{\mu\cdot L} \qquad \Rightarrow$$

$$\Delta P = \frac{1}{A}\cdot\frac{dV}{dt}\cdot\frac{1}{B}\cdot\mu\cdot L = \frac{1}{\frac{\pi\cdot 0.08^2}{4}}\cdot 4\cdot 10^{-3}\cdot\frac{1}{1\cdot 10^{-9}}\cdot 0.0005\cdot 1 \approx 0.4\ \text{MPa}$$

Koll av Re: $Re = 75 \quad < 500$

$0.4 < Re < 500 \Rightarrow \quad C_D = \frac{10}{Re^{0.5}}$

$$V = \left(\frac{4 D_p^{3/2} (\rho_s - \rho) g}{30 \rho^{1/2} \mu^{1/2}} \right)^{2/3} = 0.085 \text{ m/s}$$

Koll av Re:

~~[illegible]~~ $Re = 43$ OK

$\underline{\underline{A}} \geq \frac{F}{V} = \frac{2.78}{0.085} = 32.7 \text{ m}^2 \approx \underline{\underline{33 \text{ m}^2}}$

A3) Sökt: v-c kurva

Känt: höjd-tid kurva
$c_0 = 100 \text{ kg/m}^3$
$h_0 = 0.27 \text{ m}$

$$v_j = \frac{(h_i)_j - h_j}{t_j} \quad ; \quad c_j = \frac{c_0 h_0}{(h_i)_j}$$

Se grafer o tabeller bifogade till uppgiften i kursmaterialet!

A4) Sökt: L, V

Känt: $F = 180 \text{ m}^3/\text{h}$
$C_0 = 75 \text{ kg/m}^3$
$C_{ut} = 350 \text{ kg/m}^3$
$C_t \approx 0$

$$\left.\begin{array}{l} F = L + V \\ F \cdot C_0 = L \cdot C_{ut} + V \cdot \cancel{C_t}^{=0} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$\underline{\underline{V}} = F\left(1 - \frac{C_0}{C_{ut}}\right) = \underline{\underline{141}} \text{ m}^3/\text{h}$

$\underline{\underline{L}} = F - V = \underline{\underline{39 \text{ m}^3/\text{h}}}$

A5) Sökt: A

$$c \cdot v = -\frac{L}{A} \cdot c + \frac{L}{A} c_{ut} = \frac{L}{A}(c_{ut} - c)$$

om $c = 0$

$$c \cdot v = \frac{L}{A} c_{ut} = 0{,}328 \text{ kg/m}^3\text{, min}$$

$F \cdot c_0 =$

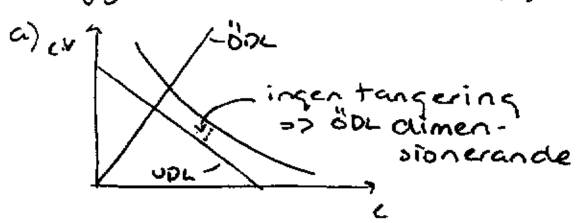
$$\underline{\underline{A}} = \frac{L \cdot c_{ut}}{0.328} = \frac{39/60 \cdot 350}{0.328} = \underline{694 \text{ m}^2}$$

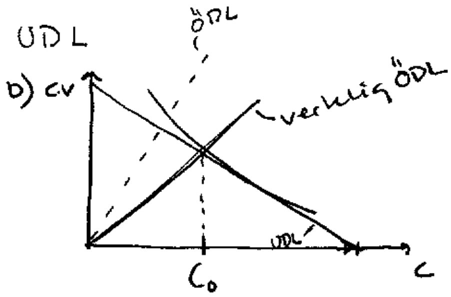
om $c_t = 0 \Rightarrow L \cdot c_{ut} = F \cdot c_0$

A6) Sökt: A $\qquad D_{p\,max} = 4.5\ \mu m$

Känt: Cv-c kurva
material balanser
$D_{p\,max} = 4{,}5\ \mu m$
$\rho_s = 2400$ kg/m³
$\rho = 985$ kg/m³
$\mu = 0.5$ mPa·s

1) Lägg in ÖDL $\qquad$ 2) Lägg in UDL





UDL:

$$c \cdot v = -\frac{L}{A} c + \frac{L}{A} c_{ut}$$

ÖDL:

$$c \cdot v = \frac{V}{A} \cdot c - \frac{V}{A} c_t$$

$$\frac{V}{A} = v(D_{p\,max})$$

$$v = \left(\frac{4 D_p (\rho_s - \rho) g}{3 \rho \cdot C_D}\right)^{1/2}$$

Laminära förhållanden antas => Stokes ekv.

$$v = \left(\frac{4 D_p (\rho_s - \rho) g}{3 \rho C_D}\right)^{1/2} = 3{,}12 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Koll av Re: $\quad Re = \frac{D_p \cdot v \cdot \rho}{\mu} = 3 \cdot 10^{-4} \ll 0.4$ ok!

$$\frac{V}{A} = v(D_{p\,max}) = 3{,}12 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} = 1.87 \cdot 10^{-3} \text{ m/min}$$

$c_t = 0 \Rightarrow$ när $c = 0 \quad c \cdot v = 0$

$c \cdot v = 0.182$ kg/m³, min

$$0.182 = \frac{L \cdot c_{ut}}{A} \Rightarrow \qquad \underline{A = 1250 \text{ m}^2}$$

Demonstrationsräkneövning 7

951213

Systemet luft-vatten

A1, A3 och A4 är tillämpningar på Mollierdiagram
Jfr exempel i kursboken

A2) a. $H = c_{pg} \cdot t + (r_0 \cdot x + c_{pD} \cdot x \cdot t) =$

$$= 1 \cdot 25 = \underline{\underline{25 \text{ kJ/kg torr luft}}}$$

b. $$p_{H_2O} = y_{H_2O} \cdot P = \frac{\frac{x}{18}}{\frac{x}{18} + \frac{1}{29}} \cdot P = \underline{\underline{35 \text{ mmHg}}}$$

Räknar på 1 kg torr luft i luftblandningen

c. $$\rho_t = \frac{p_g M_g}{RT} = \frac{(P - p_{H_2O}) M_g}{RT}$$ p_g = partialtryck av luft

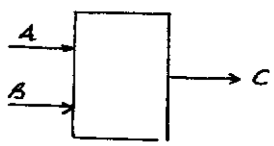
$$p_{H_2O} = p^{\circ}_{H_2O} = 7.375 \text{ kPa} \quad (\text{mättad, } 40^{\circ}C)$$

$$\underline{\underline{\rho_t = 1.047 \text{ kg torr luft/m}^3}}$$

$$\rho = \frac{p_{H_2O} M_{H_2O} + p_g M_g}{RT} = \frac{P M_g - p_{H_2O} M_g + p_{H_2O} M_{H_2O}}{RT} =$$

$$= \frac{M_g \left[P + p_{H_2O} \left(\frac{M_{H_2O}}{M_g} - 1 \right) \right]}{RT} = \underline{\underline{1.098 \text{ kg fuktig luft/m}^3}}$$

A3)

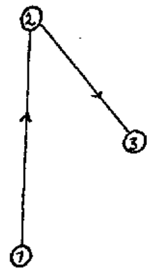


Markera punkterna i Mollier-diagram och använd hävstångsregeln.
OBS! "lika mängder"

b) Hamnar i övermättade området ⇒ vatten kommer att kondensera ur luftblandningen.
Följ våttemperaturlinje till mättnadskurvan och avläs temperaturen ($\phi = 1.0$ vid mättnad).

A4) Ur diagram: a. $\underline{\underline{t_1 = 30.5\,°C}}$

b. $\underline{\underline{t_2}} = (t_v =)\ \underline{\underline{72.5\,°C}}$



c. $L_1 = \dot{M}_g \Delta x = \dot{M}_g (x_3 - \underbrace{x_1}_{=x_2}) =$

$= 0.72\,(0.0058 - 0.0076) = \underline{\underline{5 \cdot 10^{-4}\ kg/s}}$

där $\dot{M}_g = 0.1 \cdot 1.20 = 0.72$ kg torr luft/s

och $\rho_L = 1.20$ kg torr luft/m³ $\quad (20\,°C,\ \phi = 0.40)$

d. $P = (H_2 - H_1)\dot{M}_g = (34 - (-6)) \cdot 0.72 = \underline{\underline{4.8\ kW}}$

Torkning

A1) a. $\underset{\substack{\uparrow \\ \text{torrt}}}{\dot{M}_s} (X_1 - X_2) = \dot{M}_g (x_2 - x_1) = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{fuktigt}}}{\dot{M}_D}$ kg avdunstat/h

$\dot{M} = (1 + X_1)\dot{M}_s = 1000$ kg/h

$\dot{M}_s = 500$ kg/h eftersom $X_1 = 1.0$

Då $x_1 = 0.0149$, $X_2 = 0.05$, $\dot{M}_g = 30000$ kg/h

fås $\underline{\underline{x_2 = 0.0307}}$

b. $\underline{\underline{t = 53\,°C,\ \phi = 0.33}}$ ur diagram

c. Specifika luftförbrukningen

$l = \dfrac{\dot{M}_g}{\dot{M}_D} = \dfrac{1}{\Delta x} = \underline{\underline{63.3}}$ kg torr luft / kg avdunstat

d. Specifikt värmebehov

$q = \dfrac{\Delta H}{\Delta x} = \underset{\substack{\uparrow \\ \Delta T}}{(31 - 14)} \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ c_p}}{4.78} \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ (\Delta x)^{-1}}}{63.3} = \underline{\underline{4.5}}$ MJ/kg avdunstat