

Grundläggande apparatteknik

Fö 1995 Kf

Sidor: 51

Pris: ~~15 kr~~ 25:-

951102
Fö 1

GRUNDLÄGGANDE
APPARATTEKNIK



951103
Fö 2

Kontaktanordningar:

F# 2:1

Masstransport över en fasgränsyta enl. tvåfilms teorin

$$N_A = k_{ya} (y - y_i) = K_{ya} (y - y_e) \quad (2.1)$$

Bottenkolonner:

Aktiv area - den area hos en botten som möjliggör separation.

fig 2.2
2.3
2.4
2.5
2.6

Kapacitet:

$$V_c = K_1 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \left(\frac{G}{0.020} \right)^{0.20} \quad (2.3)$$

K_1 - koefficient enl. fig 2.8

F_{wv} - dimensionslös flödesparameter

Grätning (weeping):

$$v_w = \frac{K_2 - 0.90(25.4 - d)}{\sqrt{\rho_V}} \quad (2.4)$$

$$h_{ow} = 750 \left(\frac{L_w}{\rho_L L_w} \right)^{2/3} \quad (2.5)$$

K_2 - koefficient enl. fig 2.9

Tryckfall över en botten:

$$h_t = h_d + \beta (h_w + h_{ow}) + h_r \quad (2.6)$$

$$h_d = 51 \left(\frac{V_u}{C_o} \right)^2 \frac{\rho_V}{\rho_L} \quad (2.7)$$

$$h_r = \frac{12500}{\rho_L} \quad (2.8)$$

C_o - strömningskoeff. enl. fig 2.11

Separationskrav: överst s. 16

- * Murphree bottenverkningsgrad

$$E_{mv} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_c - y_{n-1}} \quad (2.9)$$

- * Punktverkningsgrad.
- * Kolonnverkningsgrad

$$E_o = \frac{\text{Antal ideala steg i kolonnen}}{\text{Antal verkliga steg i kolonnen}} \quad (2.10)$$

- * O'Connells relation

$$E_o = 51 - 32.5 \log(\mu_a \alpha_a) \quad (2.12)$$

- * van Winklekorrelation

$$E_{mv} = 0.07 D_g^{0.14} Sc^{0.25} Re^{0.08} \quad (2.13)$$

Beräkningsgång vid dimensionering av en kolonn.

Rota sid 44

PACKADE KOLONNER

Huvudkrav vid en design. sid 25

Man skiljer mellan slumpvis ordnad packning och strukturerad packning

Vättningshastighet:

$$h_w = \frac{L'}{\rho_L S_B} = \frac{V_L}{S_B} \quad (2.20)$$

Fig 3.1 Schematisk bild av en destillationsanläggning

fig 3.2 Stripperkolonn - Andnärkolonn (saknar återflöde)

fig 3.3 Förstärkar kolonn

fig 3.4 Destillationskolonn med stripper

"Tillflöden och uttag görs vid fallröret för att veta säkert att man får vätska."

Destillationskolonnens delar och layout

- Återkokare med påtvingad strömning
- Termosifon
- Klaff typ
- Kolonn med direct ångtillförsel (fig 3.9)
- Kondensor, total och partial (fig 3.10)

fig 3.11 Layout av dest.anläggning

kondensor, återkokare, pumpar ligger i marknivå \Rightarrow lättare service, tynger ej kolonnen \Rightarrow stabilare.

Rörgator av samma skäl - lättare komlighet

fig 3.12 Optimalt återflödesförhållande vid destillation

$$R_{opt} = 1.3 - 1.4$$

$R_{min} \Rightarrow$ oändligt antal separationssteg

Förlågt $R \Rightarrow$ störningskänslighet

För högt $R \Rightarrow$ bra separation, men "dyrt"

Tryckets inverkan: Höjs trycket, sjunker $\alpha \Rightarrow$ sämre separation
Föredrar av olika skäl P_{atm} framför
mettryck.

- fig 3.15 Tank med reglering av nivå
 fig 3.16 Schematisk bild av en reglerkrets
 fig 3.17 Nivåreglering av buffertanken för destillat och exempel på reglersvar på en haltanöning

Gibbs fasregel \Rightarrow antalet frihetsgrader

Und i kolonnen kan "läsas"?

- Två nivåer
 - En produkthalt
 - Kolonntryck
 - Ett flöde
- } olika reglermöjligheter

Direkta materialbalanser

Indirekta materialbalanser

Högre T i toppen \Rightarrow mer tung komponent i toppen \Rightarrow "smutsigare produkt."

Absorption

Lösningsmedel:

Tabell 4.1 Jämviktskonstanten m , för gaser i vatten vid 30°C.
utnyttjat jmv.samband $y = m \cdot x$. Ökande $m \Rightarrow$ mer
svårslutlig gas.

Övriga jmv.samband: Henrys lag: $p = H \cdot c$ $p =$ partialtrycket i gasen

$H =$ Henrys konstant

$c =$ konc. i vätskan

Raoults lag: $y = \frac{p_i^0}{p} x$ endast då $x \approx 1$

Mer allmänt: $y = \frac{\gamma_i \cdot p_i^0}{p} x$ ideala system

Jämviktskonstanten kan påverkas genom val av:

- * høgt tryck
- ** låg temperatur
- *** typ av lösningsmedel

* Fig 4.2 Absorption av koldioxid med vatten

Fördelar: 1) Enkel design av anläggningen

2) Ingen värmebelastning

3) Inga dyra lösningsmedel

4) Lösningsmedlet är icke reaktivt med
t.ex. CO_2 , O_2 , m.m

5) Inga nitrosa föreningar utlös i gasen

Nackdelar: 1) Förluster av vissa gaskomponenter, t.ex
våte genom dess löslighet

2) Höga pumpkostnader

3) Icke fullständig absorption av CO_2

4) CO_2 ej i ren form

** Fig 4.3 Rectisol process för absorption

- Fördelar:
- 1) Kräver mindre energi
 - 2) effektivt avlägsnande av föroreningar i gasprocessen
 - 3) ger låg vattenhalt i produktgasen
 - 4) selektiv absorption av svaveldiåte och koldioxid möjlig

- Nackdelar:
- 1) Komplext flödesschema
 - 2) relativt höga förluster av lösningsmedel
 - 3) svårt att få helt koldioxidfri gasprodukt.

*** Fig 4.4 Absorption av koldioxid och en monoetanolaminlösning

- Fördelar:
- 1) En ökning av absorptions hastigheten
 $N_a = k_g a (y - y_e)$
 - 2) En minskning av utrustningsstorlek
 - 3) En mindre mängd cirkulerat lösningsmedel
 - 4) En ökad gaskapacitet per volymenhet lösningsmedel.
 - 5) Ett ökat utnyttjande av stagnanta zoner
 - 6) Ett minskat beroende av vätskeflödet
 - 7) En återvinning av absorberad gas i ren form

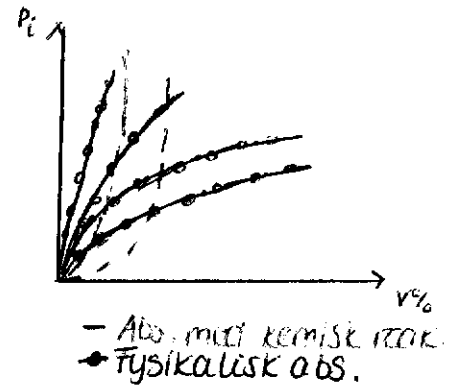
Krav på bra reagens:

- 1) Hög reaktionshastighet
- 2) Reaktionen bör vara kemiskt reversibel
- 3) Diffusionshastigheterna i lösningsmedlet bör vara relativt låga
- 4) Reagenset bör ha låg ekvivalentvikt
- 5) Reagenset bör inte nämnvärt öka viskositeten av lösningsmedlet i det aktuella koncentrations- 6
området

Tabell 4.2 Exempel på absorptionssystem

Fig 4.5 Temperaturprofil och jämkurva vid adiabatisk process

1. Fysikalisk absorption
2. Reversibla reaktioner
3. Irreversibla reaktioner
4. Irreversibla reaktioner med fast fas



$$Z = \frac{V}{k_{ga} \cdot S \cdot P} \int \frac{dy}{y - y_e} \quad ; \quad \frac{1}{k_{ga}} = \frac{1}{k_{ga}} + \frac{1}{k_{La}} \cdot \frac{m \cdot P}{G}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{H_{OG}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{N_{OG}}$

stort $m \Rightarrow$ vätskefilmens motstånd är "bestämmande"

litt $m \Rightarrow$ gasfilmens motstånd är "bestämmande"

Sherwood och Holloway fann med svårsluga gaser i vatten i torn med 37 mm ringar följande:

$$\frac{k_{La}}{D_L} = \beta \left[\frac{L}{M_L} \right]^{0.75} \cdot \left[\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right]^{0.50} \quad (2.28)$$

För fallet med ammoniak:

$$(k_{La})_{NH_3} = (k_{La})_{O_2} + \left(\frac{(D_L)_{NH_3}}{(D_L)_{O_2}} \right)^{0.5} \quad (2.29)$$

För lätt sluga gaser

$$(Sh)_G = \beta (Re)_G^{0.59} \cdot (Sc)_G^{0.33} \quad (2.30)$$

eller med j -faktorer: $j_D = \frac{k_G P_i}{V} \left(\frac{\mu}{\rho D_G} \right)^{2/3} \quad (2.31)$

Val av utrustning

Gasabsorption fördrar god kontakt mellan gas och vätska.

Tre sätt finns.

- 1) Bryta upp gasströmmen till en ström av bubblor i en kontinuerlig fas (t.ex. bottenkolonner)
- 2) dela upp vätskan i tunna filmer som rinner genom kontinuerlig gasfas
- 3) dispergera vätskan i form av droppar i en kontinuerlig fas

Genomgång av "övingt" sid 43 i kursboken

• yttubulens (Marangoni effekt)

Extraktion och lavningFöreläsning 5
951175

Val av lösningsmedel påverkas av:

- Selektivitet $k = \frac{c_E}{c_H}$; $\beta = \frac{(y_A/y_B)_E}{(x_A/x_B)_R}$
- Löslighet - lösningsmedlet bör vara nästan oblandbart med utgångsfasen
- Återvinning
- Densitet, ytspänning, kemisk stabilitet, viskositet, ångtryck och fryspunkt
- Säkerhetsaspekter

Utdelad stencil

fig 5.

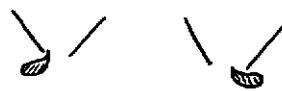
Massöverföring $N_{oc} = K_c a (c_c - c_{de})$

fig 19.7 Flödningskurva för packade extraktionskolonner

I spraykolonner blir massöverföringen speciell, eftersom droppar inte beter sig som stela droppar - massöverföringsstalet påverkas.



Suren cirkulation i droppe



Svängning hos droppe under bildning

Tabell 5.1

Klassifikation av extraktionsutrustning

fig 5.1 Spraykolonn - enkel typ av utrustning

fig 5.5 Pulskolonn. Högre verkningsgrad.

Kolonnen är 'helstuten', vilket gör den lämplig vid användning av "farliga" ämnen

fig 5.4 RDC- kolonn (roterande skivor)

fig 5.6 Mixer-settler Junf m. fig 7 i utdelad stencil

fig 5.7 Podbielusiaextraktor

fig 6.1 Schema för val av kontaktanordning
Olika krav och separationsförhållanden begränsar
valmöjligheterna

fig 5.8 Superkritisk extraktion

CO_2 är vanligt som superkritiskt fluidum,
eftersom det inte skadar biologiska material och
är lätt att avlägsna efteråt

LAKNING

Lakningshastighet påverkas av

- Partikelstorlek
- Temperatur
- Lösningsmedel
- Omrörning

- Stationära bäddar
- Rörliga bäddar
- Suspenderat material

fig 5.9 Diffusör för sockerbetslakning - stationär

fig 5.10 Bollmanextraktor - rörliga korgar

- spädnings / avvattning
 - förträngning
- } ex. tvättfilter (fig 5.12)

Comparative performance of several contactors for the system toluene-acetone-water.

Relative load $B = w_d + w_c$ ($m^3/m^2 \cdot k$)

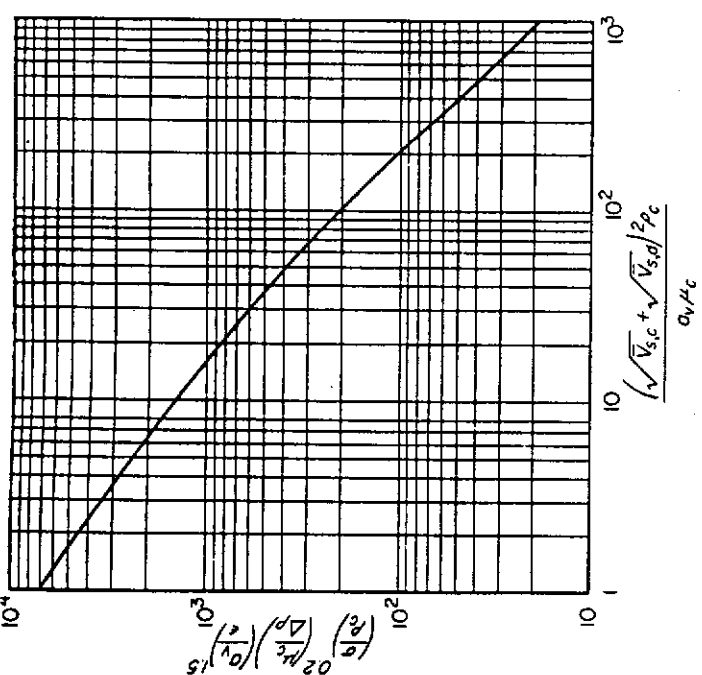
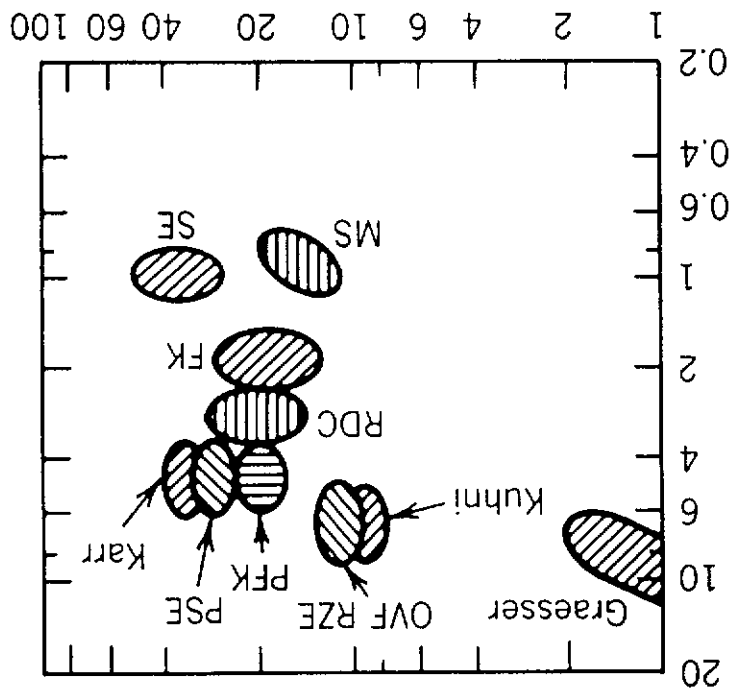


Figure 19-7 Flooding velocities in packed extraction towers.

Flooding velocities in packed columns⁵ can be estimated from Fig. 19-7. In this figure the abscissa is the group

$$\frac{(\sqrt{V_{s,c}} + \sqrt{V_{s,d}})^2 \rho_c}{a_v \mu_c}$$

The ordinate is the group

$$\frac{\mu_c}{\Delta \rho} \left(\frac{\sigma}{\rho_c} \right)^{0.2} \left(\frac{a_v}{\epsilon} \right)^{1.5}$$

- where $V_{s,c}$, $V_{s,d}$ = superficial velocities of continuous and dispersed phases, respectively, ft/h
- μ_c = viscosity of continuous phase, lb/ft-h
- σ = interfacial tension between phases, dyn/cm
- ρ_c = density of continuous phase, lb/ft³
- $\Delta \rho$ = density difference between phases, lb/ft³
- a_v = specific surface area of packing, ft²/ft³
- ϵ = fraction voids or porosity of packed section

The groups in Fig. 19-7 are not dimensionless, and the proper units must be used.

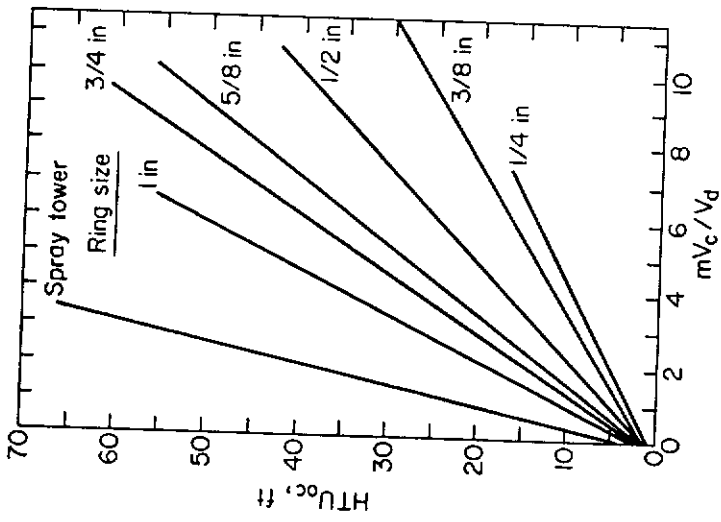


Fig. 5 Extraction of diethylamine from water to toluene. [Reprinted by permission from Chem. Eng. Prog., 49, 405 (1953).]

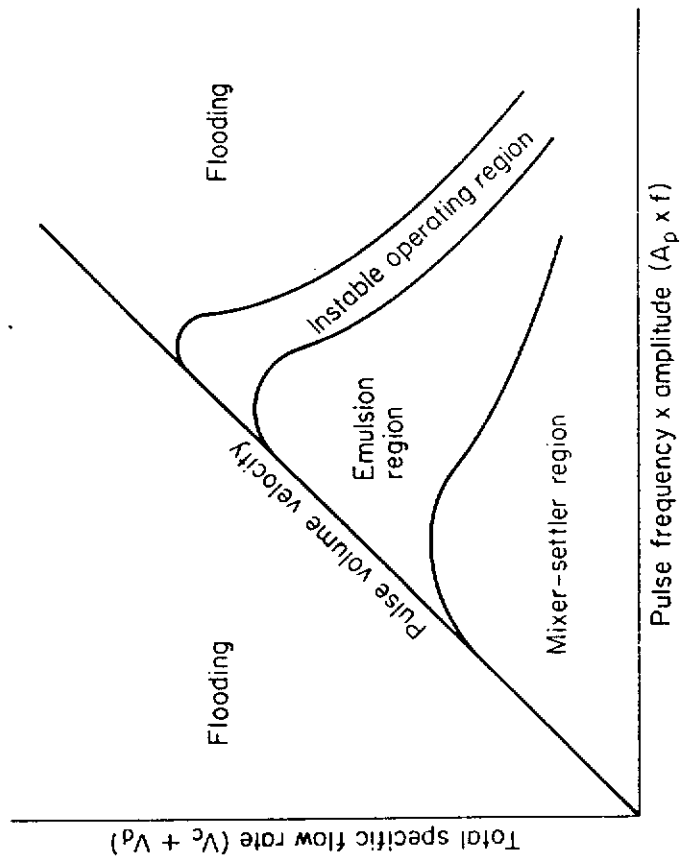
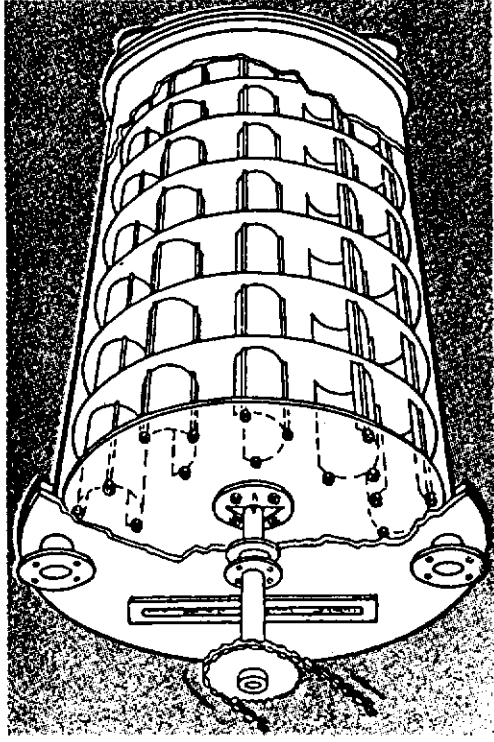
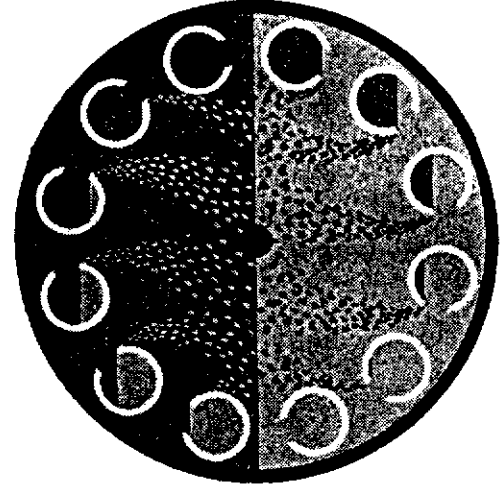


Fig. 27 Regions of operation of pulsed perforated-plate column. [Reprinted by permission from Chem. Eng. Prog., 50, Symp. Ser. 13, 1979 (1954).]



(a)

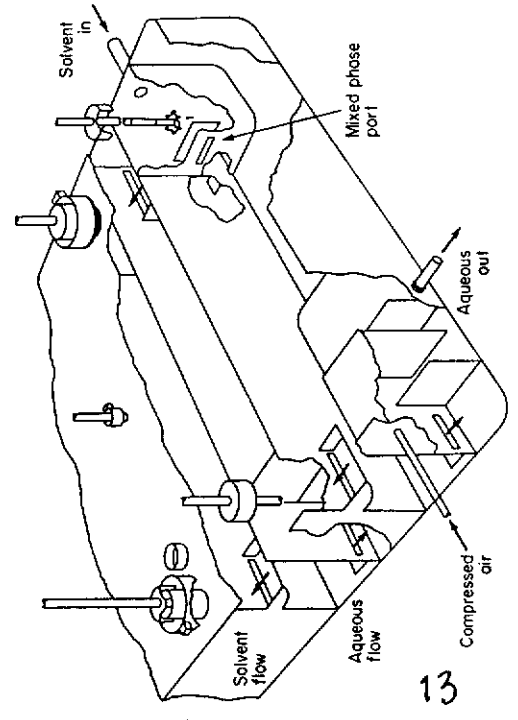


(b)

Fig. 44 Graesser raining-bucket contactor. [Reprinted by permission of Chem. Eng., 75(18),76 (Aug. 26, 1968).]



Fig. 43 Kuhni extractor. (Kuhni A.G., Switzerland.)



13

Fig. 7 Box-type mixer settler. [Adapted from Proc. 3d U.N. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 10, 224 (1964).]

TABLE 1 Summary of Features and Fields of Industrial Application of Commercial Extractors

| Types of extractor | General features | Fields of industrial application |
|-----------------------------|---|--|
| Unagitated columns | Low capital cost Low operating and maintenance cost Simplicity in construction Handles corrosive material | Petrochemical Chemical |
| Mixer-settlers | High-stage efficiency Handles wide solvent ratios High capacity Good flexibility Reliable scale-up Handles liquids with high viscosity | Petrochemical Nuclear Fertilizer Metallurgical |
| Pulsed columns | Low HETS No internal moving parts Many stages possible | Nuclear Petrochemical Metallurgical |
| Rotary-agitation columns | Reasonable capacity Reasonable HETS Many stages possible Reasonable construction cost Low operating and maintenance cost | Petrochemical Metallurgical Pharmaceutical Fertilizer |
| Reciprocating-plate columns | High throughput Low HETS Great versatility and flexibility Simplicity in construction Handles liquids containing suspended solids Handles mixtures with emulsifying tendencies | Pharmaceutical Petrochemical Metallurgical Chemical |
| Centrifugal extractors | Short contacting time for unstable material Limited space required Handles easily emulsified material Handles systems with little liquid density differences | Pharmaceutical Nuclear Petrochemical |

SOURCE: Reprinted by permission from T. C. Lo, Recent Developments in Commercial Extractors, Engineering Foundation Conference on Mixing Research, Rindge, N.H., 1975.

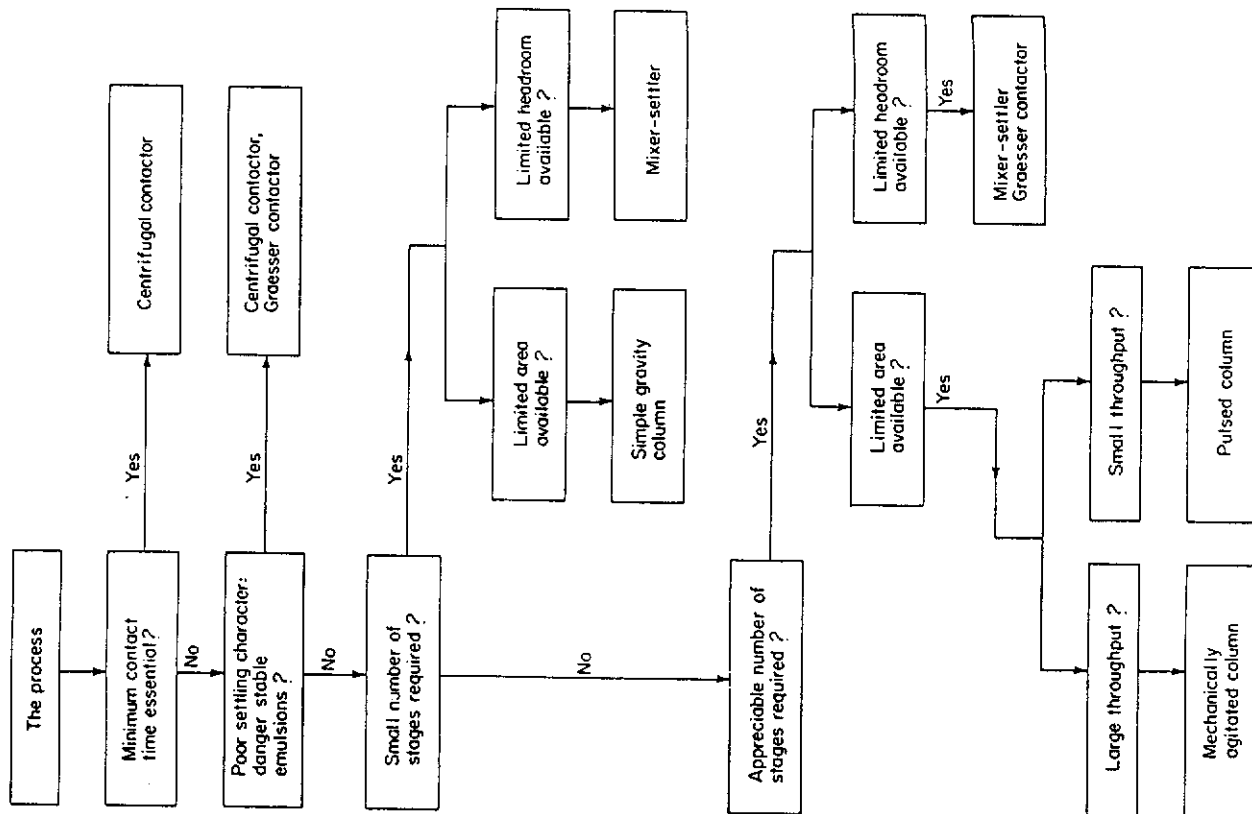
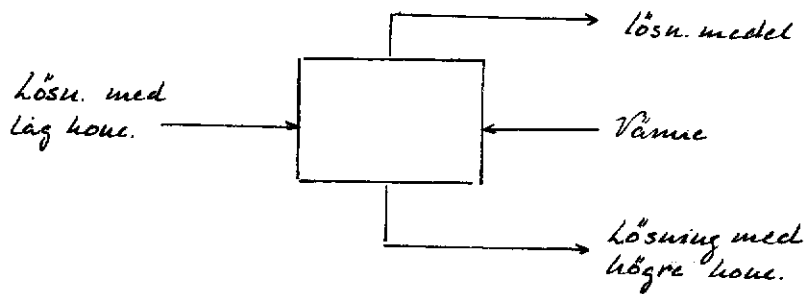


Fig. 61 Selection guide for use in choosing contactors. (Reprinted by permission from Chem. Eng., Aug. 6, 1968.)

IndustrieringFöreläsning 6
951121

Används vid stor ångtrycksskillnad
mellan de ingående ämnena



{ fig. 6.1 }

Industriering står för 10% av industriens energianvändning.

- Direkt uppvärmning (rökgaser)
- Indirekt uppvärmning (kondenserande ånga) **VANLIGAST**

Användningsområden

- Svartlutsindustriering (2 ton/s i Sverige)
- Livsmedelsindustri, tex sockerframställning
- Tung organisk industri

{ fig 6.2 } Principskiss industriering

Dimensionera värmeväxelpaket \propto investering

Mängd värmande ånga \propto driftskostnader

{ fig 6.3 } Beräkningar

Ekvationer och definitioner

$$TB: F = L + V \quad (1)$$

$$KB: Fx_F = Lx + Vy = \{y=0\} = Lx \quad (2)$$

$$VB: SH_S + FH_F = SH_K + LH_L + VH_V \quad (3)$$

Försummar överhettning (H_S) och underhettning (H_K) \Rightarrow

$$T_S = T_K, \text{ dvs enbart kondensation}$$

$$SH_S - SH_K = S\Delta H_{vap} \quad (4)$$

där ΔH_{vap} är ångbildningsvärmnet.

Eqv. (3) och (4) ger

$$S\Delta H_{vap} + FH_F = LH_L + VH_V \quad (5)$$

Vid enkla uppskattningar görs antaganden:

- Adiabatisk anläggning
- Kohlevatut tillflöde
- Oändlig utspädning

Detta kallas god värmeekonomi och medför

$$H_F = H_L$$

$$S\Delta H_{vap} \approx VH_V - (F-L)H_L = \{\text{eqv (1)}\} = V(H_V - H_L) = V\Delta H_{vap,v}$$

$$\Rightarrow S\Delta H_{vap} \approx V\Delta H_{vap,v} \quad (6)$$

Industarens kapacitet, Q

Skenbara värmegenomgångstalet, U_{skb}

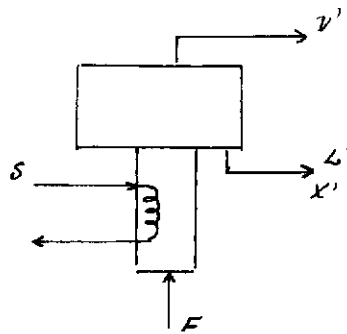
$$Q = SH_S - KH_L = U_{skb} A \Delta T$$

↑ skenbar temperaturdifferens

Värmeekonomi

En-effekt

Antag
god värmeekonomi



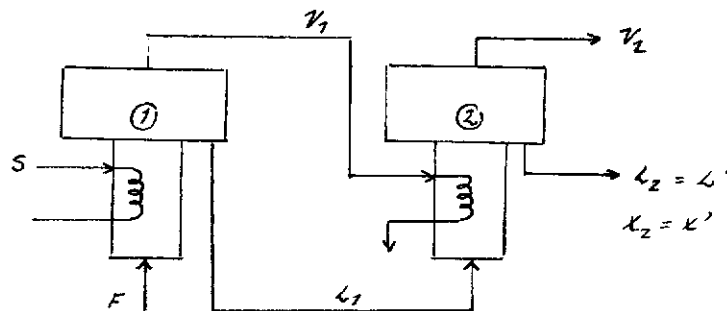
Eqv (6):

$$\left. \begin{aligned} S\Delta H_{vap} &\approx V\Delta H_{vap,v} \\ \Delta H_{vap} &\approx \Delta H_{vap,v} \end{aligned} \right\}$$

Da fas $S \approx V$

Inte ekonomiskt genomförbart \Rightarrow använder fler-effekt

Två-effekt



$$\left. \begin{aligned} v' &= v_1 + v_2 \\ S &\approx v_1 \approx v_2 \end{aligned} \right\} S \approx \frac{v'}{2} \approx \frac{S'}{2}$$

Ångflödet blir alltså mindre

$$P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_n$$

Industriellt används ofta 5-6 effekter.

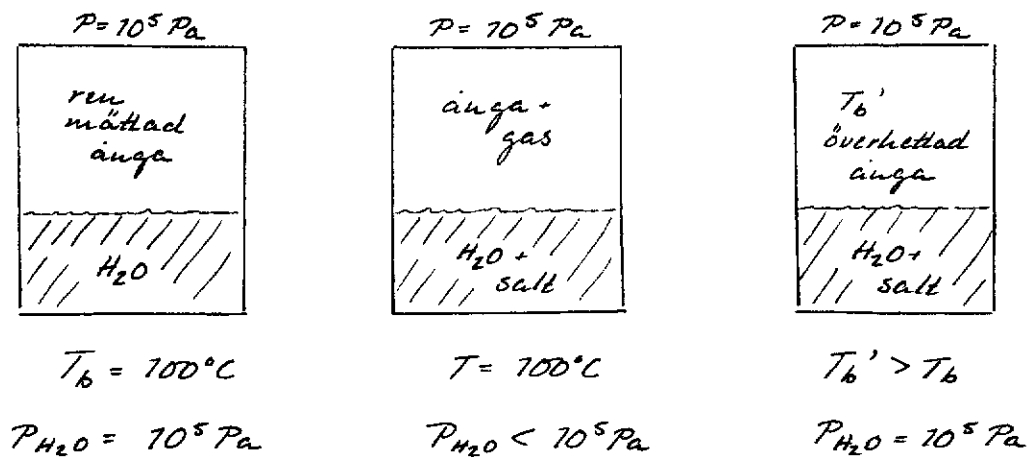
Värmepumpar · Öppet system (ångkompression)
· Slutet system

{ fig. 6.6 } Öppet värmepumpsystem

{ fig. 6.7 } Ånginjektor

{ fig. 6.8 } Slutet system

Kokpunktsförhöjning (= ångtrycksänkning)



Attraktionskrafter

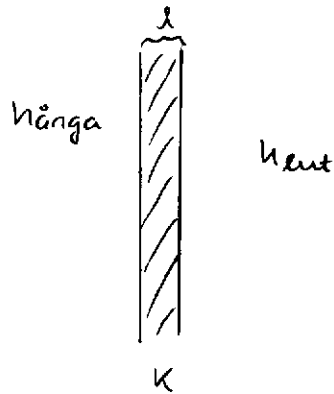
$$L_{sg} - \text{joner} > L_{sg} - L_{sg}$$

dvs krafterna mellan lösningsmedelsmolekyler och joner är större än krafterna mellan lösningsmedelsmolekylerna.

∴ Krafterna ökar ⇒ kokpunkten höjs

Detta kan även beskrivas med Gibbs energi { fig. 6.12 }

Kokpunktsförhöjningen $\beta = T_b' - T_b$

VÄRMEÖVERFÖRING

$$\frac{1}{U_{skb}} = \frac{1}{h_{k1}} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_{k2}}$$

$$h_{k1} \sim 1000 - 15000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\frac{k}{l} \sim 3000 - 5000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{k2} \sim 4000 - 10000 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{kondenserande ånga})$$

$$50 - 200 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{översattad ånga})$$

D.g.a detta mätas utgående ånga från en induktare innan den går in i röst. fig 6.13.

Beräkningar: (se ^{även} stencil)

Total tillgänglig temp. diff ΔT_{tot}

$$\Delta T_{tot} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = (T_5 - T_1) - (T_1 - \beta_1 - T_2) - (T_2 - \beta_2 - T_3) =$$

$$= T_5 - T_3 - \beta_1 - \beta_2$$

$$T_3 = T_{v3} + \beta_3$$

$$\Delta T_{tot} = T_5 - T_{v3} - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) = T_5 - T_{vn} - \sum_{i=1}^n \beta_i \quad (8)$$

$$\Delta T_{tot} > 0$$

Om $\Delta T_{tot} < 0$ måste antalet effekter minskas eller $\begin{cases} T_5 \text{ ökas} \\ T_{vn} \text{ minskas} \end{cases}$ går oftast inte!

Fördelning av ΔT_{tot}

uppskattning om $A_1 = A_2 = A_3$, god värmeekonomi

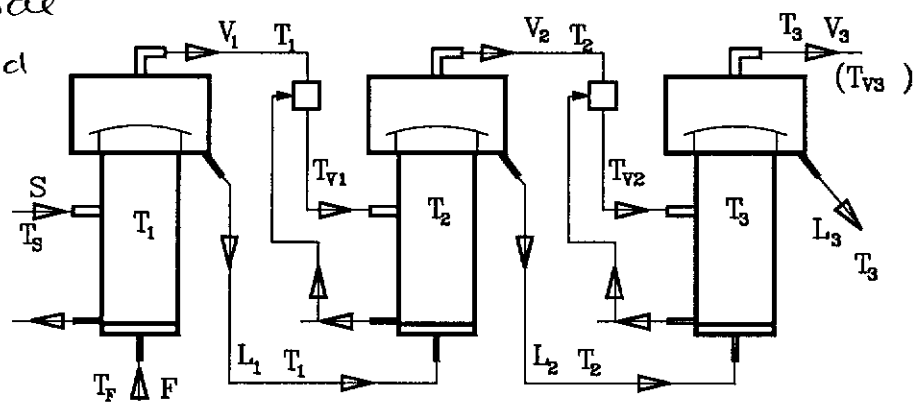
$$\Rightarrow \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q}_3$$

$$A_1 U_{skb1} \Delta T_1 = A_2 U_{skb2} \Delta T_2 = A_3 U_{skb3} \Delta T_3$$

$$U_{skb1} \Delta T_1 = U_{skb2} \Delta T_2 = U_{skb3} \Delta T_3 \quad (9)$$

$$\Delta T_{tot} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad (10) \quad 18$$

Stencil tillhörande
beräkningar sid
Fö 6:4 sid 18



Kokpunkts-
förföring

β_1 β_2 β_3

Mättnads temp.
på värmande
ångsida

T_s $T_{v1} = T_1 - \beta_1$ $T_{v2} = T_2 - \beta_2$

Skenbar temp.
differens

$\Delta T_1 = T_s - T_1$ $\Delta T_2 = T_{v1} - T_2 = T_1 - \beta_1 - T_2$ $\Delta T_3 = T_{v2} - T_3 = T_2 - \beta_2 - T_3$

Värmeyta

A_1 A_2 A_3

Skenbart värme-
genomgångstal

U_{skb1} U_{skb2} U_{skb3}

Indunstarens
kapacitet

$\dot{Q}_1 = A_1 U_{skb1} \Delta T_1$ $\dot{Q}_2 = A_2 U_{skb2} \Delta T_2$ $\dot{Q}_3 = A_3 U_{skb3} \Delta T_3$

$$(9) \Rightarrow \Delta T_2 = \frac{U_{skb1}}{U_{skb2}} \Delta T_1 \quad (11)$$

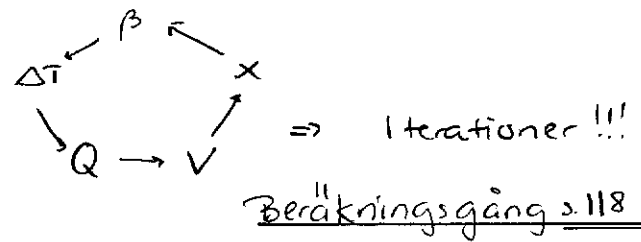
$$\Delta T_3 = \frac{U_{skb1}}{U_{skb3}} \Delta T_1 \quad (12)$$

(10), (11), (12) \Rightarrow

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

Beräkning av arean:

$$A_n = \frac{\dot{Q}_n}{U_{skbn} \Delta T_n}$$



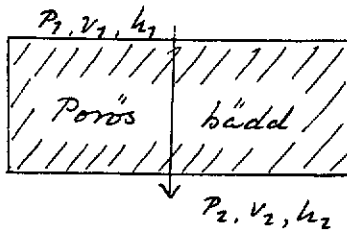
Man kan använda sig av olika uppkopplingar i industrisnärsläggningar.

- * medström
- * motström
- * tvärström

fig 6.9 a-c

fig 6.11

viskositeten $\mu = f(T, x)$
 μ ökar då T minskar
 x ökar. } \Rightarrow olika kopplingar vid olika feed-temp.

Repetition: Strömning i porösa bäddarBernoulli:

$$P_1 - P_2 + \rho g(h_1 - h_2) + \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2) + \text{förluster} = 0$$

$$\text{Efter förenklingar: } \underbrace{P_1 - P_2}_{\Delta P} + \text{förluster} = 0$$

Hydrostatiskt tryck blir till
"belastningstryck" på partiklarna

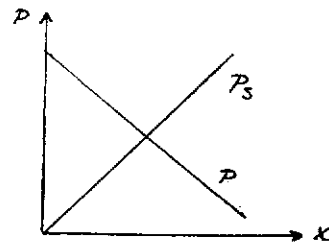
$$dP = -dP_s$$

$$P + P_s = \text{konstant}$$

$$Re = \frac{v_s}{\mu M(1-\epsilon)}$$

↑
partiklarnas
specifika yta =
= $\frac{\text{mantelyta}}{\text{volym}}$

←
Bäddens porositet =
= $\frac{\text{hålrumsvolym}}{\text{total bäddvolym}}$



$$\text{Darcy: } v = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{k \Delta P}{L}$$

$$k = \frac{B}{M} \Rightarrow v = \frac{B \Delta P}{ML}$$

B = bäddens permeabilitet

$$\text{Kozeny-Carman: } v = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\epsilon^3}{k'' s^2 (1-\epsilon)^2} \cdot \frac{\Delta P}{ML}$$

$$\text{Jmf} \Rightarrow B = \frac{\epsilon^3}{k'' s^2 (1-\epsilon)^2}$$

där $k'' \approx 4.8$ för sfäriska partiklar

$k'' = f(\epsilon, D_p, \text{partikelform})$

Filtrering:

- Ytfiltrering { fig 7.1 }
- Djupbäddfiltrering { fig 7.2 }
- Tvänströmsfiltrering { fig 7.3 }

Kort om funktionssätt och användningsområden.

Ytfiltrering är klart vanligast.

Ytfiltrering

Fig 7.4 Upptbyggna av filterkakan

Fig 7.5 Olika strukturer i filterkakan

ann. fall 5b är vanligast. Tätare struktur i botten pga högre tryck. Porositets- och permeabilitetsprofil

- 4 delsteg vid ytfiltrering
- Upptbyggna av filterkaka
 - Pressning " "
 - Trättning " "
 - Avfuktning " "

härledning av filtreringskvationen

$$v = \frac{B_i}{M} \frac{dP_i}{dh} \Rightarrow \frac{dv}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{M(\alpha_{av} \cdot c \cdot V + R_{mi} A)}$$

Darcys ekv. \Rightarrow filtreringskv.

$$v = \frac{B_i}{M} \frac{dP_i}{dh} \quad B_i = \frac{1}{\alpha_i S_i (1 - \epsilon_i)} \quad \text{Index } i \Rightarrow \text{lokala förhållanden}$$

$$w = \frac{\text{vikt fast material}}{\text{arean}} = \frac{A_L (1 - \epsilon) S_s}{A} = L (1 - \epsilon) S_s$$

$$\Rightarrow dw = (1 - \epsilon) S_s dh \quad w = \text{ytvikt; ersätter längd}$$

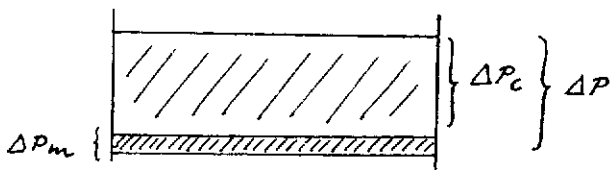
$$\text{Då fås } \left. \begin{aligned} v &= \frac{1}{M \alpha_i} \frac{dP_i}{dw} \\ \alpha_i &= f(P_i) \end{aligned} \right\} \frac{dP_i}{\alpha_i} = v M dw$$

Integrera $0 \rightarrow \Delta P_c, 0 \rightarrow w_c$

$$\int_0^{\Delta P_c} \frac{dP_i}{\alpha_i} = v M w_c$$

Ruth, 1930-talet: $\int_0^{\Delta P_c} \frac{dP_i}{\alpha_i} = \frac{\Delta P_c}{\alpha_{av}}$ $\alpha_{av} = \text{medelvärde}$

$$\Rightarrow \Delta P_c = \alpha_{av} M v w_c$$



$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_m$$

Def $\Delta P_m = v M R_m$
 \uparrow
 filtreringsmotstånd

$$\Rightarrow v = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{M(\alpha_{av} \cdot w_c + R_m)}$$

Def. $c = \frac{\text{vikt fast matr. i filterkakan}}{\text{erhållen filtratvolym}} =$

$$= \frac{w_c A}{V} = \frac{S J}{(1-J) - \frac{\epsilon_{av}}{1-\epsilon_{av}} \cdot \frac{J \cdot S}{S_s}}$$

$J = \text{viktbråk}$

vilket ger

$$\boxed{\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{M(\alpha_{av} C V + R_m A)}}$$

Filtreringsfall:

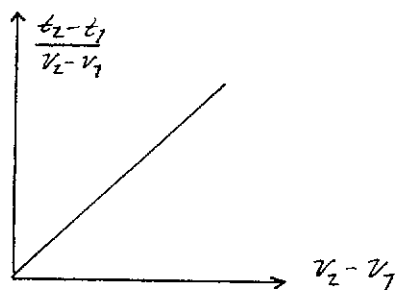
- filtrering med konstant tryck men variabelt flöde
- filtrering med variabelt tryck men konstant flöde
- filtrering med variabelt tryck och variabelt flöde
- konstant tryck och flöde (tvättning)

a) $t_1 \rightarrow t_2, V_1 \rightarrow V_2$

$$\int_{V_1}^{V_2} (\alpha_{av} C V + R_m A) dV = \frac{A^2 \Delta P}{M} \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$\left[\alpha_{av} C \frac{V^2}{2} + R_m A V \right]_{V_1}^{V_2} = \frac{A^2 \Delta P}{M} [t]_{t_1}^{t_2}$$

$$\frac{t_2 - t_1}{V_2 - V_1} = \frac{M}{A^2 \Delta P} \left[\frac{\alpha_{av} C}{2} (V_2 - V_1) + C \alpha_{av} V_1 + A R_m \right]$$



$$\text{linjens lutn.} = \frac{M \alpha_{av} C}{2 A^2 \Delta P}$$

b) $\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Om } V_1 = 0 \\ t_1 = 0 \end{array} \right\} = \frac{V_2}{t_2} = \frac{A^2 \Delta P}{M(\alpha_{av} C V_2 + A R_m)}$

c) $\Delta P = f(V)$

d) $\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{M(\alpha_{av} C V_{f, \text{tot}} + A R_m)}$

där $V_{f, \text{tot}}$ = filtratvolym när uppbyggn. av filterkakan är avslutades

Filtreringsberäkningar

Design: Beräkna erforderlig filterarea för specifikt driftsfall

Rating: Beräkna maximal kapacitet för befutligt filter

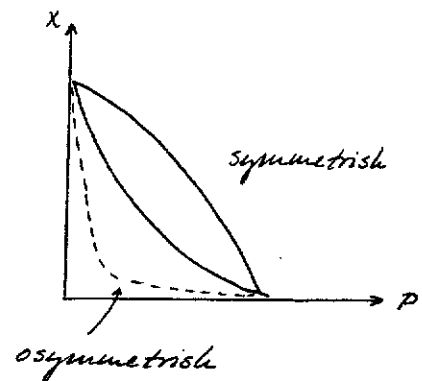
α : Beräkna specifika filtreringsmotståndet

Filterhakans kompressibilitet

$$\alpha_i = \alpha_0 \left(1 + \frac{p_i}{p_a}\right)^n \quad (1 - \epsilon_i) = (1 - \epsilon_0) \left(1 + \frac{p_i}{p_a}\right)^{\beta}$$

Tabell 7.1: Klassificering av parametrarna

OBS! Ekvationerna gäller bara för material med symmetriska tryckprofiler. Tyvärr är många material osymmetriska.



Tvättning av filterhaka

- Förträngning
 - Diffusion
- } fig. 7.8 a-c

$$\text{Tvättvätskeförhållande} = \frac{\text{pålagd volym vätska}}{\text{volym moderlut}}$$

fig 7.9 Porositetens inverkan på tvättförlopp.

Filtertyper

Kontinuerliga filter:

- stora flöden
- hög konc. av fast material
- "lätta" filtreringar

Satsvisa filter:

- mindre konc. och flöde
- "svåra" filtreringar

Ex Platt- och ramfilterpress fig 7.12

Obs! Byt beteckningarna ram och platta i fig.

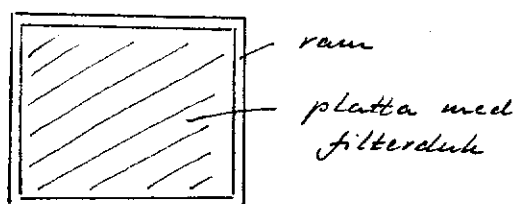


fig 7.15 "Enkel tvättning",
billigt sätt

fig 7.16 "Grundlig tvättning",
dyrare men effektivare

Djupbäddsfiltrering { s. 178-184 }

Många mekanismer som påverkar separationsförloppet:
tröghetskrafter, diffusion, slyvkrakter m.m.

⇒ komplexa förlopp, svåra att beskriva exakt

fig 7.25 Kontinuerligt djupbäddsfiltter

Tvärströmsfiltrering { s. 185-191 }

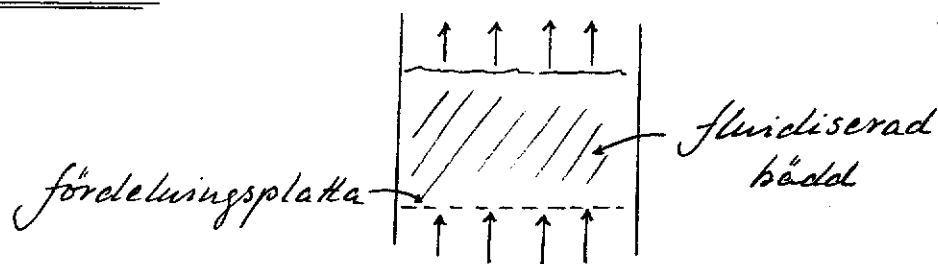
Indelas i tre klasser beroende av membran typ, och
därmed användningsområde

fig 7.26 Tvärströmsfiltter för låga slyvkrakter

fig 7.29 Roterande filter

FluidisationFöreläsning 8
951207

fig 8.1

fig 8.2 Expansion av en fluidiserad bädd ^{gas}Fast bädd: $F_g + F_{ss} > F_{sf}$ Fluidiserad bädd vid v_{mf} :

$$F_g + F_{ss} = F_{sf}$$

Fluidiserad bädd:

$$F_g = F_{sf} \quad \text{där } F_{sf} > F_{sf}'$$

 F_{sf} = friktionskraft mellan fluid och fast fas F_g = tyngdkraftfriktionskraft = F_{ss} mellan partiklar v_{mf} = minsta fluidhastighetenOlika typer av fluidiserade bäddar

- Homogen bädd - ofta med vätska som fluid
- Bubblande bädd - stor densitetsskillnad mellan fluid & partiklar, litet μ hos fluiden (gas)

fig 8.4 Exempel på fluidiserade egenskaper

Användningsområden

1. förgasning av fasta bränslen
2. katalytiska reaktioner
3. kemiska reaktioner: rostning av malen
calcinerings av CaCO_3
4. torkning ex. livsmedel
5. ånggenerering (kol)
6. blanda pulver
7. transport av pulver

S. 202: fördelar och nackdelar med fluidiserings-tekniken

Gas hastighet och tryckfall

fig 8.5 Tryckfall som funktion av gas hastighet
OBS. log-log diagram

- Maximum i streckade kurvan - för att övervinna friktion
- Porositeten ökar något om bädden varit fluidiserad

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{m}{A} = \frac{Wg}{A} = \frac{gV_s(s_s - s)}{A} = \frac{gAL(1-\epsilon)(s_s - s)}{A} = \\ &= gL(1-\epsilon)(s_s - s) \end{aligned} \quad (1)$$

Kozeny-Carman's eq:
$$v = \frac{1}{k''} \cdot \frac{\epsilon^3}{s^2(1-\epsilon)^2} \frac{\Delta P}{\mu L} \quad (2)$$

(1) och (2) ger
$$v = \frac{1}{k''} \cdot \frac{\epsilon^3}{s^2(1-\epsilon)^2} \cdot \frac{g(s_s - s)}{\mu} = f(\epsilon)$$

∴ känner vi porositeten kan gas hastigheten bestämmas

$$v_{mf} = \frac{1}{k''} \cdot \frac{\epsilon_{mf}^3}{s^2(1-\epsilon_{mf})^2} \cdot \frac{g(s_s - s)}{\mu}$$

$\epsilon_{mf} \approx \epsilon$ (fast bädd), vilken ofta är rel. lätt att beräkna


För fluidisation gäller: $v < \text{fria fallhastigheten } v_b$

$$v_b = \left[\frac{4gD_p(s_s - s)}{3sC_D} \right]^{1/2} \quad \text{där } C_D = f(Re, \text{form})$$

Därför $v_{mf} < v < v_b$

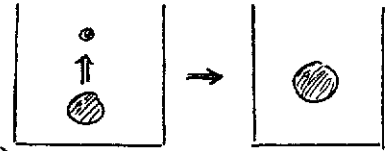
Tomregel: $v \approx 2-4$ ggr v_{mf}

Karakteristik och effekt av gasbubblor

$\phi < 10^{-3}$ m $\phi = 10^{-2}$ m $\phi > 3 \cdot 10^{-2}$ m fig 8.6
 ○ sfärisk ○ ellips  oregelbunden

- formen ungefär samma som när gasbubblor stiger genom vatten
- Stighastigheten ungefär samma $v_b = k'(gD_b)^{1/2}$
 $0.57 < k' < 0.85$; $k'_{H_2O} = 0.77$

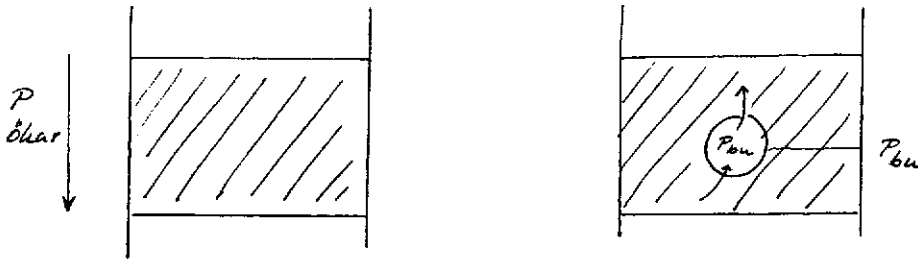
- Mekanismen för sammanslagning är densamma. Alltid horisontellt



(Jämförelse m. gasbubbla i vätska)

Tumregel: $v_b > v_i \Rightarrow$ kollaps av bubblan

Tryckgradient och flöden kring bubblor



$P_{bu} \approx$ konst

"Genväg" för gasen genom bubblan pga tryckskillnad

$$\Delta P = g(1 - \epsilon)L(\rho_s - \rho)$$

- Davidsons modell
- Sfäriska bubblor, fria från fast material
 - Partiklar flyttas åt sidan då bubblorna stiger
 - Darcys elev. gäller

fig 8.8 Stigfärdighetens inverkan på strömningen VIKTIG!
Stora bubblor \rightarrow snabba \rightarrow sämre masstransport

Murrays modell

fig 8.9 Gasbubbla med vake. Mer realistisk modell
Partiklar samlas i vaken - "hoppas" sedan av

fig 8.10 Ackumulering och avhoppning
En del fast material dras med \Rightarrow god omrörning

Upphållstider: fasta fasen motsvarar en perfekt omblandad reaktor

fig 8.17 Upphållstid för bäddmaterial och gas

$$\theta = t/\bar{t} ; F(\theta) = \int_0^\theta c(\theta) d\theta ; 1 - F(\theta) = \text{mängd som är kvar i behållaren}$$

• Upphållstid för gasen är svår att räkna på

Fins även pulserande bädd (fig. 8.14)

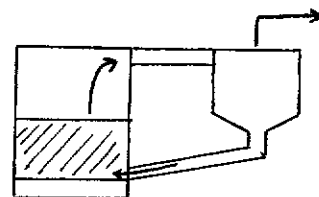
turbulent -"-

snabb -"- (fig. 8.16)

CFB = Circulating Fluidised Bed

Värmeöverföring till en yta i bädden (nedsänkt föremål)

fig 8.20 Förklara höga värme-
överföringsstal



a. Tunnfilmsteori

$$Q \sim 1/L_f \quad \text{fig. 8.21 - 8.22}$$

b. Partikelpaket-teori fig. 8.23

c. Kombination av a och b fig. 8.24 - 8.25

Temperaturprofil

Utrustning:

fördelingsplattans roll fig. 8.26

- Olika antal hål \Rightarrow olika bubbelbildning
- Intrad platta sätts fort igen

fig 8.27 Olika fördelingsanordningar
perforerad platta, klokbotten m.fl.

fig 8.28 Tryckfall över en bädd

$$\underline{\text{Effekt:}} \quad W = \frac{\alpha}{\alpha - 1} P_2 V_2 \left[1 - \frac{P_1}{P_2} \frac{\alpha - 1}{\alpha} \right] \quad \left(\alpha = \frac{c_p}{c_v} \right)$$

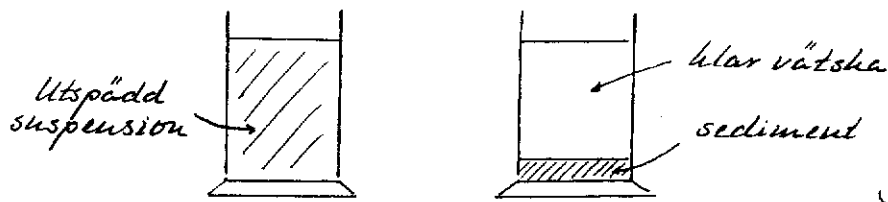
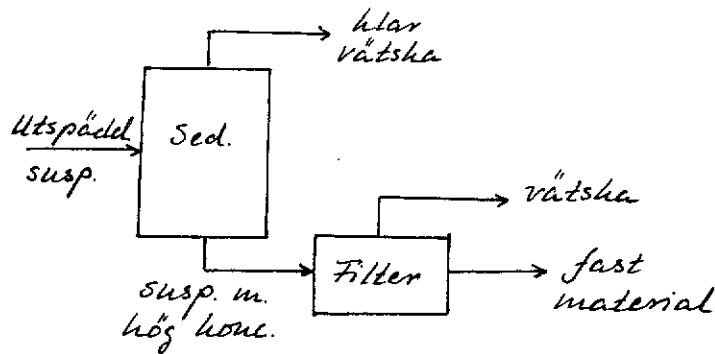
SedimentationFöreläsning 9
951205

fig 9.1



Optimering för att undvika stora filterareor.

Fri sedimentation (klarare):

- Låg partikelkonc.
- Partiklarna påverkar inte varandra

Störad sedimentation (förtjockare):

- Stög partikelkonc.
- Part. påverkar varandra

Principskisser på utrustning fig 9.2-9.4I. Fri sedimentering

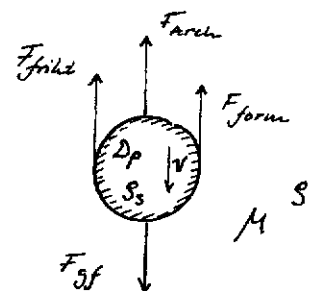
$$\begin{aligned} \text{Def- } F_{\text{frikt}} + F_{\text{form}} &= c_D A s \frac{v^2}{2} = \\ &= c_D \frac{\pi D_p^2}{4} s \frac{v^2}{2} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{gf}} + F_{\text{Arch}} &= V_p s_s a - V_p s a = V_p (s_s - s) a = \\ &= \frac{\pi D_p^3}{6} (s_s - s) a \quad (2) \end{aligned}$$

$$F_{\text{frikt}} + F_{\text{form}} = F_{\text{gf}} + F_{\text{Arch}} \quad (3)$$

$$c_D \frac{\pi D_p^2}{4} s \frac{v^2}{2} = \frac{\pi D_p^3}{6} (s_s - s) a \quad (4)$$

$$\Rightarrow v = \left[\frac{4 D_p (s_s - s) a}{3 s c_D} \right]^{1/2} \quad (5)$$

där $c_D = f(\text{Re, partikelform})$ 

För sfäriska partiklar: $C_D = \frac{24}{Re}$, $Re < 0.4$ (6)

$C_D = \frac{70}{Re^{0.5}}$, $0.4 < Re < 500$ (7)

$C_D \approx 0.44$, $500 < Re < 200000$ (8)

(5) och (6) ger Stokes luv.

$$v = \frac{D_p^2 (s_s - s) a}{18 \mu} \quad Re < 0.4$$

Naturlig gravitation: $a = g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Roterande rörelse: $a = \omega^2 R_c = (2\pi N)^2 R_c$

fig 9.7 Avskiljning i klarvare (ogynnsammaste fallet)

$$\left. \begin{array}{l} \downarrow t_v = \frac{h}{v} \\ \rightarrow t_h = \frac{L}{v_m} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \frac{L}{v_m} \geq \frac{h}{v} \\ F = bhv_m \end{array} \right\} L \cdot b \geq \frac{F}{v}$$

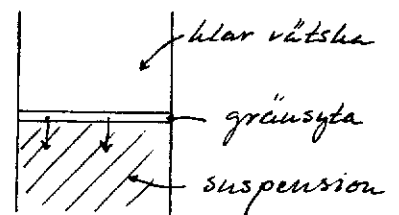
vilket ger $A \geq \frac{F}{v}$

fig 9.8 Sedimentationsförlopp

II. Skivad sedimentation (s. 261f)

Antar att alla partiklar - oavsett storlek - sedimenterar lika fort.

Gränssytan "sjunker" allt eftersom partiklar sedimenterar därifrån



Yttladning påverkar koncentration
- verkar repellerande

Gravitation - attraherande

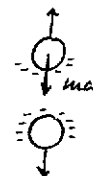


fig 9.9 - 9.10 Höjd-tidkurva

fig 9.11 - 9.13 Partikel-fluxkurva, s.k. cv-c kurva

$$c \cdot v = \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = \frac{\text{massflöde}}{\text{areaenhet}} = \text{flux}$$

Kynch teori (s. 266)

- Gäller för hindrad sedimentation

Koncentrationsstikt

fig 9.13

- vandrar uppåt då partiklarna sedimenterar
- längst ned: max konc., översta skiktet: ursprungskonc.

Materialbalans över konc skikt

fig 9.14

$$\begin{aligned} J_u & & U_t & & A c_h \\ c_v - d(c_v) + (c - dc)(U - dU) - (c_v + c(U + dU)) & = & c(-2dU) \\ - d(c_v) + \underbrace{dc \cdot dU}_{\text{litet tal} \approx 0} - dc \cdot U & = & 0 \\ \Rightarrow U & = & - \frac{d(c_v)}{dc} = \text{konst} \end{aligned}$$

∴ Skiktet rör sig med den konstanta hastigheten U

Konstruktion av partikel-flux kurvan

(s. 271, fig 9.16)

$$v_j = - \left(\frac{dh}{dt} \right)_j = \frac{(h_i)_j - h_j}{t_j}$$

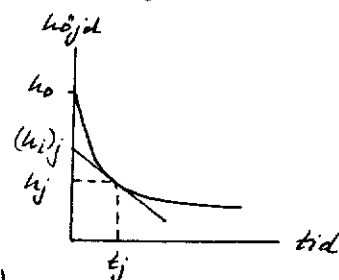
Totala mängden partiklar (2 sätt):

$$\left. \begin{array}{l} c_0 h_0 A \\ (c_j v_j + c_j U_j) t_j A \end{array} \right\} \Rightarrow c_0 h_0 A = (c_j v_j + c_j U_j) t_j A \quad (1)$$

$h_0 =$ "ursprungshöjden"

$$v_j = \frac{(h_i)_j - h_j}{t_j} \quad (2)$$

$$U_j = \frac{h_j}{t_j} \quad (3)$$



(1), (2) och (3) ger

$$c_j = \frac{c_0 h_0}{(h_i)_j}$$

Används för att konstruera $c_v - c$ kurva

Förtjockare: $F = L + V$

fig 9.17

$$F c_0 = L c_{ut} + V c_t = \{c_t \approx 0\} = L c_{ut}$$

$$(c_v + \frac{L}{A} c) = L c_{ut} \Rightarrow c_v = - \frac{L}{A} c + \frac{L}{A} c_{ut}$$

Undre driftlinjen

Analogt fås $c_v = \frac{V}{A} c - \frac{V}{A} c_t$

Övre driftlinjen 3)

Driftlinjerna läggs in i cv-c kurva:

$$\begin{cases} c = c_{cut} \Rightarrow cv = 0 \\ c = 0 \Rightarrow cv = \frac{L}{A} c_{cut} \end{cases}$$

$$\begin{cases} c = c_L \Rightarrow cv = 0 \\ \text{lutningen } \frac{V}{A} \end{cases}$$

$$UDL = \text{öDL} \Rightarrow c = c_0$$

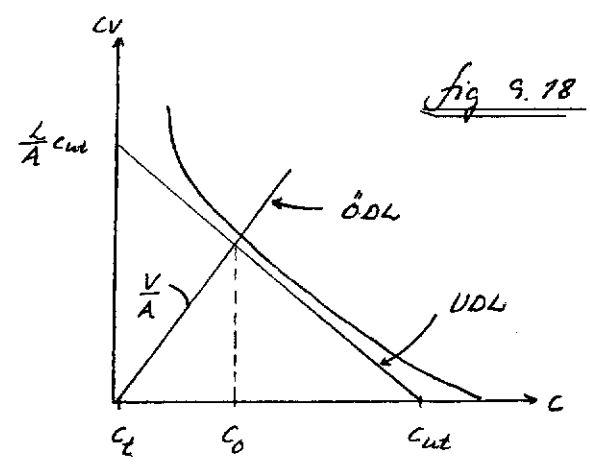


fig 9.18

$c_0 \rightarrow c_{cut}$ Max D_p i V-strömmen

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

Tva fall: (1) Undre delen är dimensionerande fig 9.25

(2) Övre delen är dimensionerande fig 9.26

$$(cv)_{avläst} = \frac{L}{A} c_{cut} \Rightarrow A = \frac{L c_{cut}}{(cv)_{avläst}}$$

Bestämning av förtjockarens yta

Centrifugering (s. 292f)

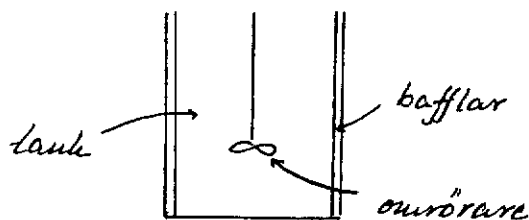
$$\text{Stokes elw. } v = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho) a}{18 \mu}$$



- Utrustning:
- Dehantcentrifug (fig 9.31)
 - Tallrikscentrifug (fig 9.32)
 - Tubulär centrifug (fig 9.33)

BlandningFöreläsning 10
951206

Blandningstank:



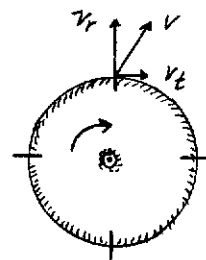
tillförd energi → Rörelseenergi i makroskala → Bullerflöde
 → Rörelseenergi i mikroskala → Hastighetsgradienter

fig 10.1 - 10.2 Radial- resp. axialflödeFlödet från en omrörarefig 10.3

$$Q_L = 4\pi D^2 v_r$$

 $v_r = f(D, N, \rho, \mu)$ från Navier-Stokes ekv.

$$Q_L = f(D, N, \rho, \mu)$$

Dimensionlös form: $\frac{Q_L}{ND^3} = f\left(\frac{ND^2\rho}{\mu}\right)$
 $N_Q = \text{flödestal} = f(Re)$

$$N_Q = \text{konst} = k$$

$$Q_L = k ND^3$$

Labförsök kan användas för industriell dimensionering.

Skjuvkrafterfig 10.5 Hastighetsfördelning på vätskan

$$\text{Skjuvhastighet} = \frac{\Delta v}{\Delta y} \Rightarrow \tau = \mu \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

Mekanism för mikroblandningfig 10.6 Homogeniseringfig 10.7 Sönderdelning av gasbubblor och vätschedroppar
fig 10.11 - 10.13 Skjuvhastigheten som funktion av omrörarvarvtal resp. omrörarstorlek

fig 10.8 Hastighetsprofil för radialflödesomrörare

fig 10.9 " " " " vid fördubblad storlek

$$\left. \begin{array}{l} D \rightarrow 2D \\ Q_L \sim D^3 \\ A \sim D^2 \end{array} \right\} v = \frac{Q_L}{A} \sim D \quad \therefore v \text{ fördubblas}$$

fig 10.10 Hastighetsprofil vid fördubblad varvtal

$$\left. \begin{array}{l} N \rightarrow 2N \\ Q_L \sim N \\ v \sim N \end{array} \right\} \therefore v \text{ fördubblas}$$

Användningsområden
(s. 322-323)

- Rörelse, "pumpning" av vätska
- Blandning av vätskor
- Emulgering av en vätska i en annan
- Dispergering av en gas i en vätska
- Suspendering av fast material i vätska

Utrustning

fig 10.14-10.15 Jämförelse mellan omrörning med och utan bafflar i kärlet - olika effektivitet

Bafflar ger annan flödesbild \rightarrow effektbehovet ökar vid användning av bafflar fig 10.18

Alternativ till bafflar är osymmetrisk placering av omröraren. fig 10.19

Omrörare (impeller): Många olika typer - ingen universell

Radialflödes:

- Rustonturbin (vanlig i industri)
- Pinnturbin
- Ankeromrörare

Axialflödes:

- Marinpropeller
- "Pitched-blade" turbin
- Högflödesomrörare
- Dubbelspiral

Användningsområden för de olika typerna Tabell 10.7

Effektbehov för omrörare

$$P = f(D, N, \mu, \rho, g, \sigma)$$

$$\left(\frac{P}{N^3 D^5 \rho}\right) = f\left(\frac{ND^2 \rho}{\mu}, \frac{DN^2}{g}, \frac{D^3 N^2 \rho}{\sigma}\right)$$

$$P_0 = \text{effektetal} = f(Re, Fr, We)$$

$$\text{Bafflat härl} \Rightarrow P_0 = f(Re)$$

Diagram: P_0 mot Re för olika sorters omrörare

$$\text{Turbulent} \Rightarrow P_0 = k$$

$$P = k D^5 N^3 \rho$$

OBS. Jämför Rustoutturbinens effektbehov med de övriga

fig 10.26 Fördelning av effekt mellan bullerflöde och skjivkrafter hos olika omrörare

Blandningstid

fig 10.30 OBS ändring:

y-axeln: Rel. effektbehov istället för blandningstid

"rutan": Byt konst. effekt mot konst. blandn. tid

$$\text{Newtons lag: } \tau = \mu \frac{dv_x}{dy}$$

$$\tau \sim N, \quad P \sim N^3$$

Mätning av blandningstidfig 10.31

fig 10.32 Resultat av mätningar

$$A = 2e^{-k\theta}$$

där A = amplitud

θ = blandningstid

$$\frac{ND^2}{k\theta} = 1.5 \left[\frac{P}{\rho N^3 D^3} \right] \approx 0.9 \quad Re > 10^5$$

SYSTEMET LUFT-VATTEN

Några vid design:

- Förhindra recirkulation av luft.
- Åstaduomma självdrag
- Lågt tryckfall.
- ~~Välj~~ Luft vanligt medium i många processer, t.ex. uppvärmning.
- Vanlig luft består av torr luft och vattenånga d.v.s 1 fas & 2 komponenter.

Eibbs fasregel:

$$P + F = C + Z ; 1 + F = 2 + 2 \Rightarrow F = 3$$

Tillståndsdigram

- 1 storhet hålls konstant (vanligen P)

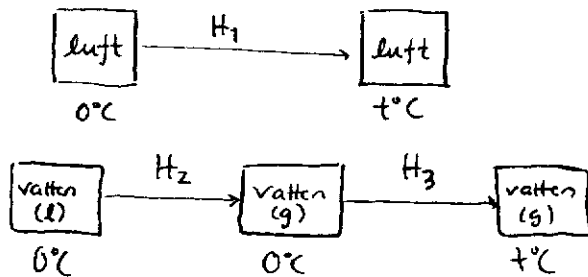
Mollierdiagram H-x

Nollnivån för entalpin väljs till torr luft vid 0°C och flytande vatten vid 0°C.

Diagrammets konstruktion.

- Linjer för konstant temp.
- Mättnadskurva
- Linjer för rel. fuktighet
- Linjer för konstant vättemp.

Värmeinnehåll (fuktig luft)



se sid. 352

se fig 11.1

fig 11.2 11.3 } Snedvinkligt H-x diagram } för konstruktion se s. 353

Mättnadskurvans konstruktion

fig 11.5 s. 355

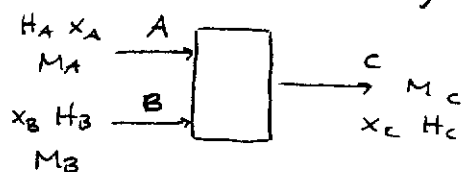
$$P_{H_2O} = y_{H_2O} \cdot P_{tot} \quad (\text{Daltons lag})$$

Linjer för relativt fuktighet

konstr. se s. 356 fig 11.6

Våtktemperaturer s. 357-358fig 11.7 snedvinkligt H, x -diagram.Våtkemp. linjer \neq isentalplinerLuftens densitet s. 359

Tillämpnings ex. s. 363

Tillämpning av MollierBlandning s. 361.

$$\begin{cases} M_C = M_A + M_B \\ x_C \cdot M_C = x_A \cdot M_A + x_B \cdot M_B \\ M_C \cdot h_C = M_A h_A + M_B h_B \end{cases}$$

 \Rightarrow (11.17) \circ (11.18)

fig 11.10 Blandning av A \circ B som ger C
under mättnadskurvan ger
översättning \Rightarrow ex REIN!!!

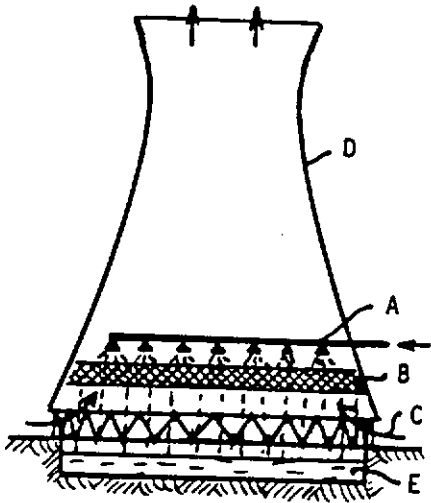


Figure 5.15 Hyperbolic natural-draught cooling tower. A is the water distributor. B the packing, C the air inlet, D the stack giving natural draught due to buoyancy of warm, humid air, E is the cooled water

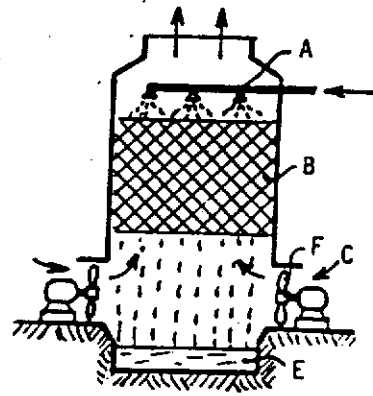


Figure 5.16 Forced-draught cooling tower with countercurrent air flow. Symbols as in Figure 5.15. F is the fan

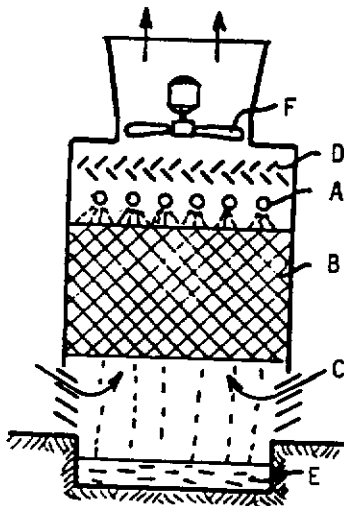


Figure 5.17 Induced-draught cooling tower with countercurrent air flow. A, water distributor; B, packing; C, air inlet (louvres); D, mist eliminator; E, cooled water; F, fan

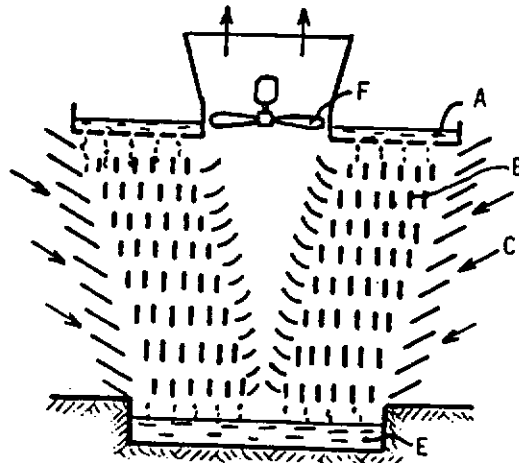


Figure 5.18 Induced-draught cooling tower with cross-flow of air. Symbols as in Figure 5.17

- 1 Fan assembly
- 2 Gearbox
- 3 Fan stack
- 4 Drive shaft assembly
- 5 Motor
- 6 Fan deck
- 7 Mechanical equipment supports
- 8 Drift eliminators (PVC or Timber – Timber shown)
- 9 Cooling tower packing (plastic plate or wooden lath)
- 10 Inlet water distribution pipe
- 11 Open type distribution system
- 12 Timber laths for even water distribution
- 13 Cladding
- 14 Cladding extended to form handrail
- 15 Access ladder
- 16 Internal access ladder to distribution system and drift eliminators
- 17 Diagonal wind baffles
- 18 Air inlet louvres
- 19 Steel structures with horizontal and diagonal ties
- 20 Cold water sump

Some structural members have been omitted for clarity

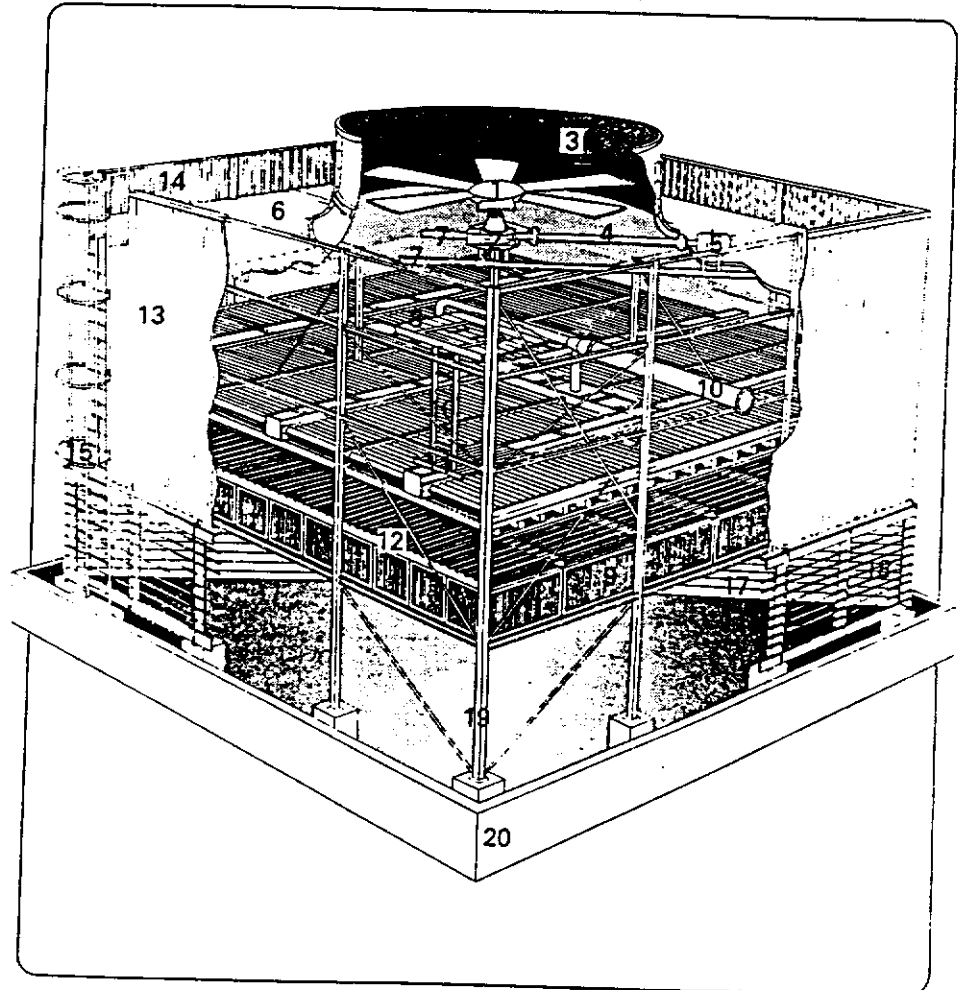
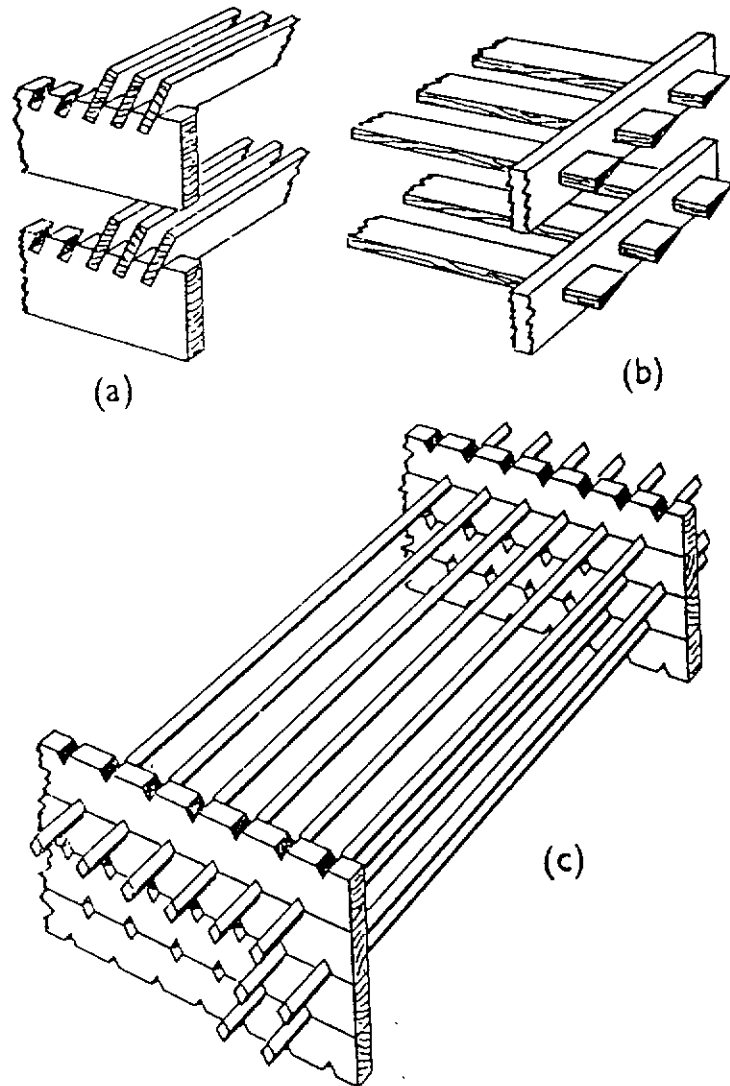


FIG. 13.13. Visco 2000 series steel framed, mechanical draught, water cooling tower.



Typical splash-bar packings.

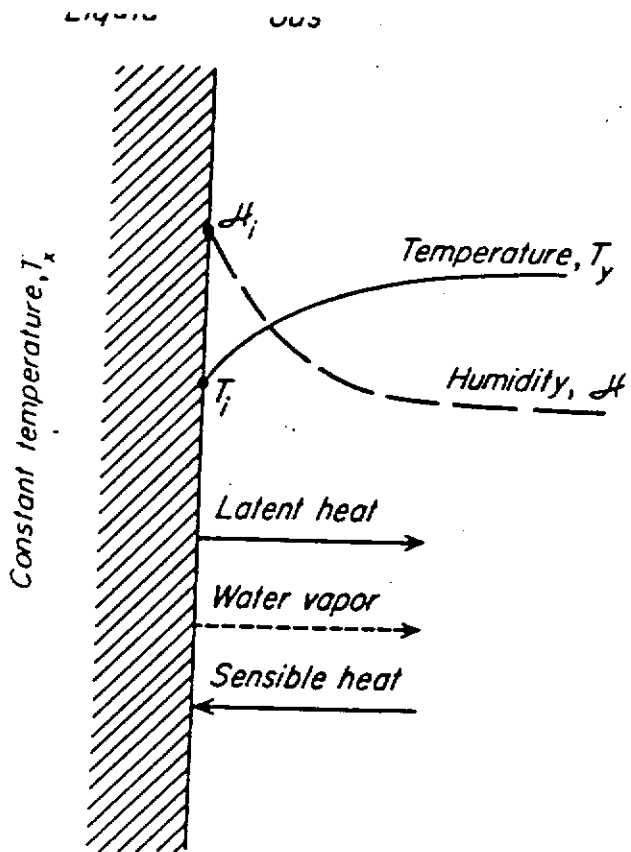


Figure 23-8 Conditions in adiabatic humidifier.

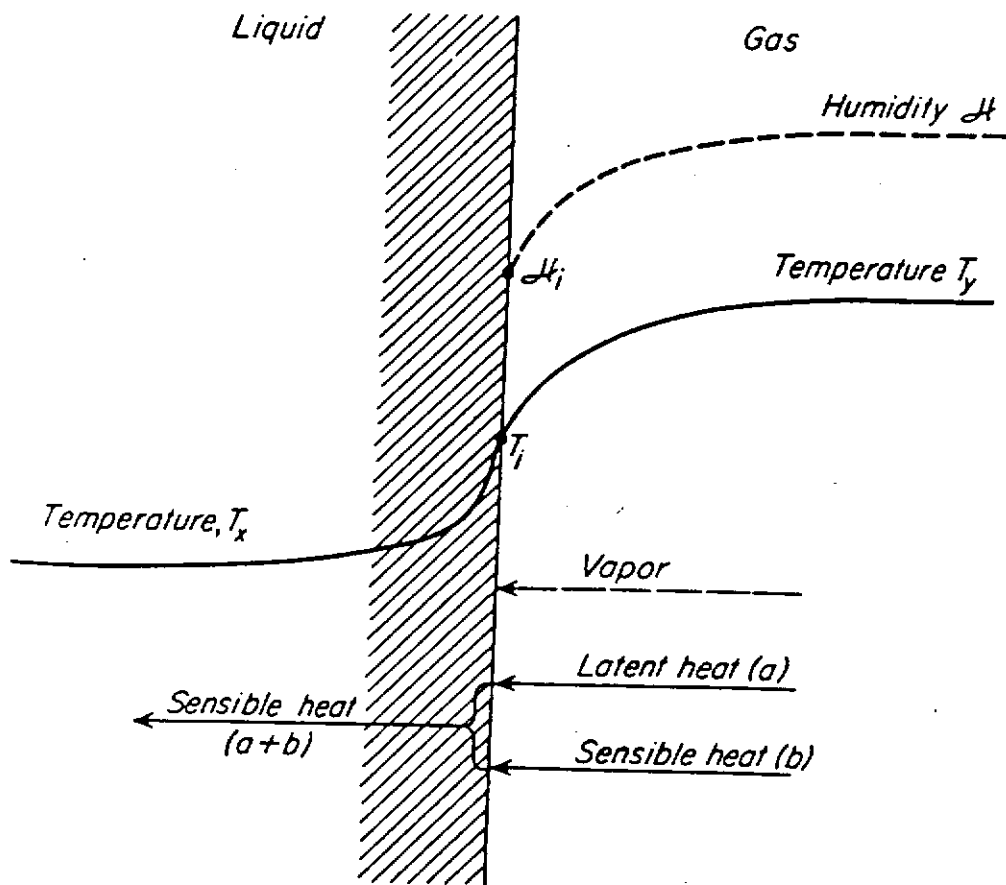


Figure 23-9 Conditions in dehumidifier.

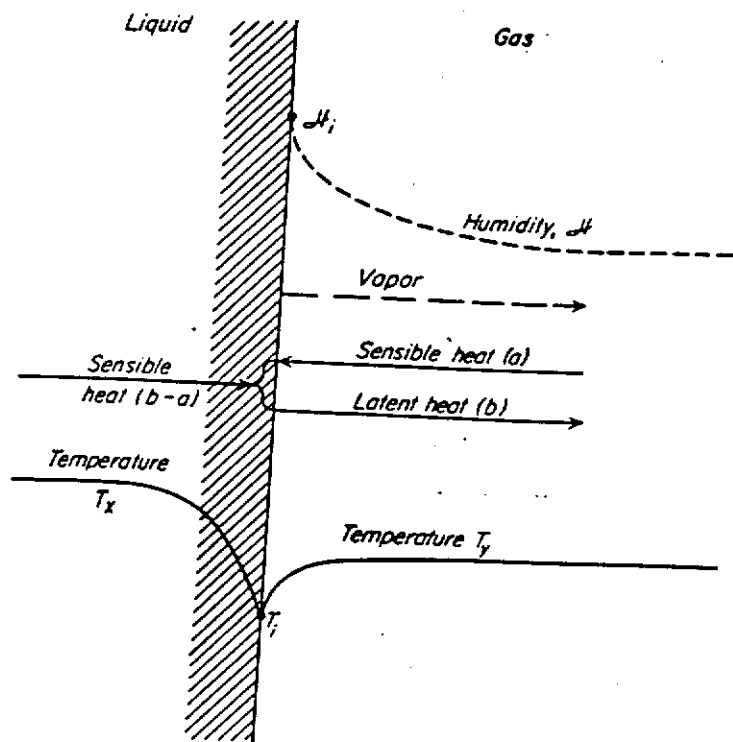


Figure 23-12 Conditions in bottom of cooling tower.

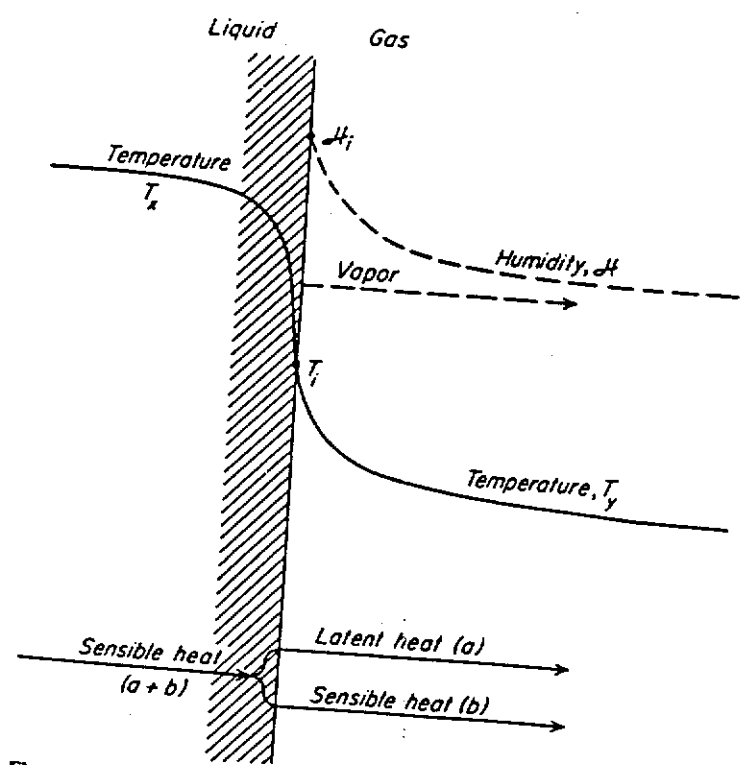
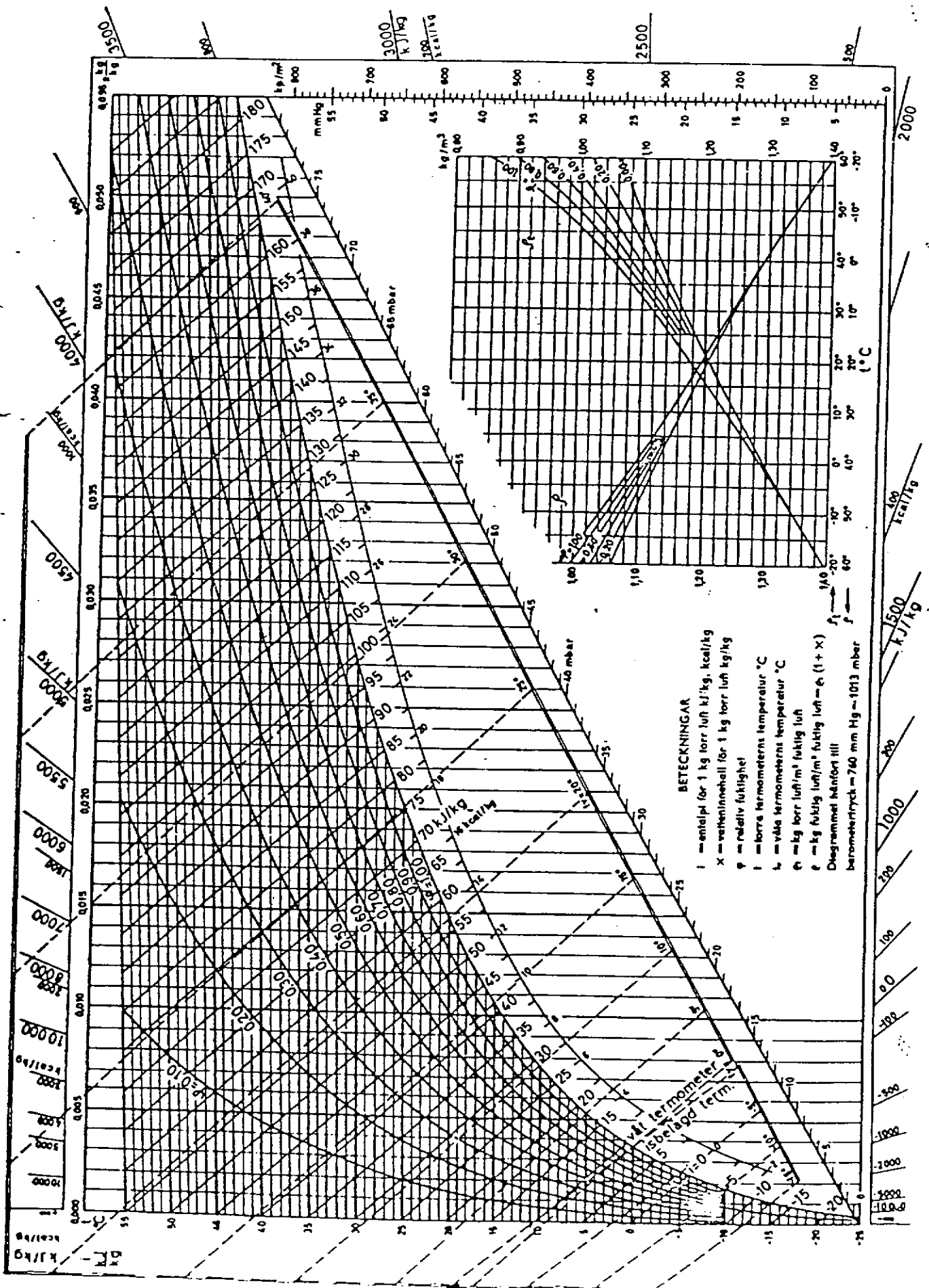
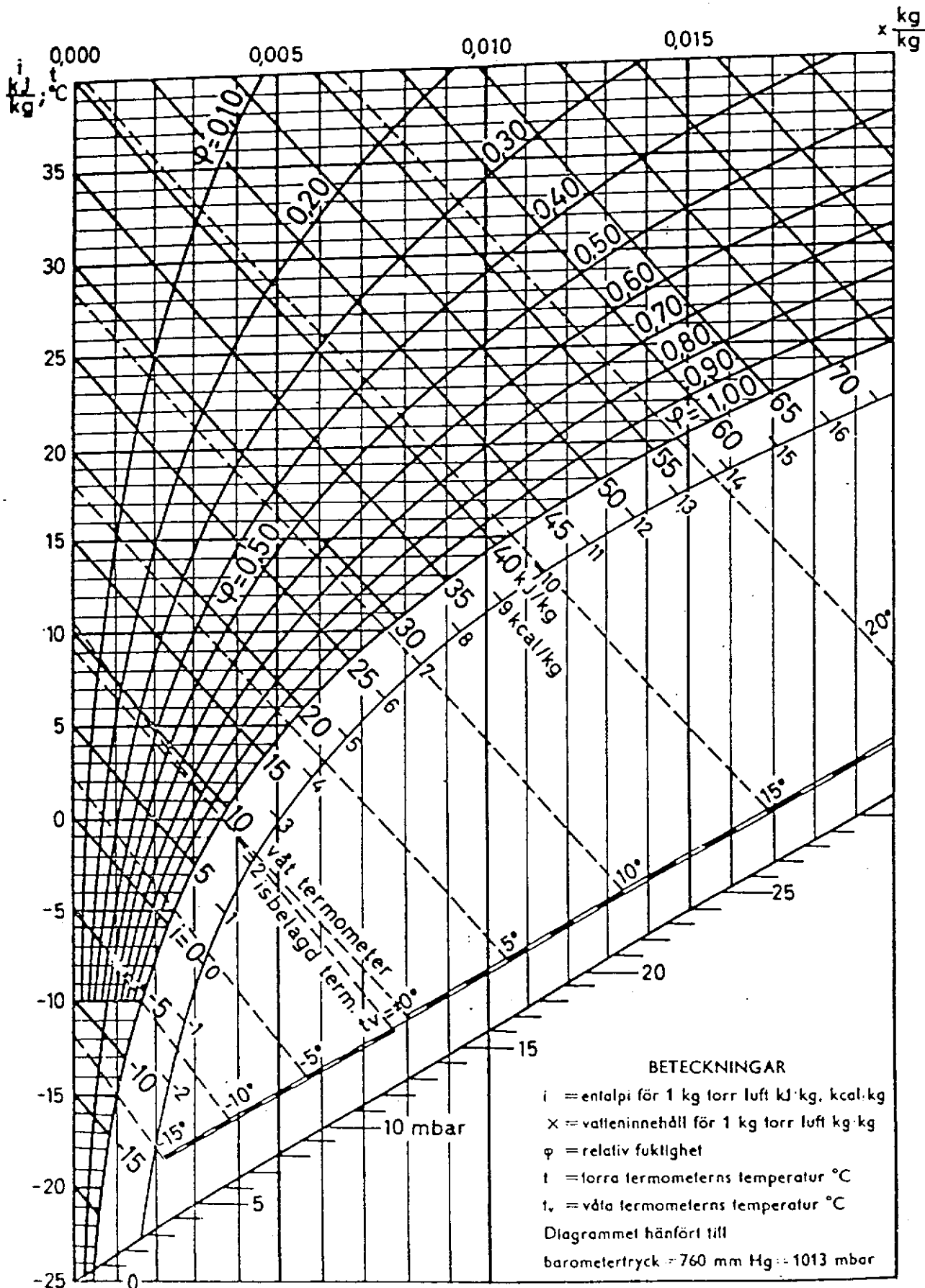


Figure 23-11 Conditions in top of cooling tower.

MOLLIERDIAGRAM FÖR FUKTIG LUFT





TorkningFöreläs. 12
951213

- Torkning står för mer än 10% av industriens energibehov.
- Energibesparing genom avvattning innan torkning
 - viktigt inom t. ex. massaindustrin
- 3 stora industriella energibehov
 - Destillation
 - Industriering
 - Torkning

Metoder för värmeöverföring

- (1) Konvektion
- (2) Ledning
- (3) Strålning

- Utdelade stencil:
- För- och nackdelar med konvektion
 - Faktorer av betydelse vid klassificering av torkar
 - Olika typer av torkar

Torkgods:Hygroskopiskt

Bränder lösningsmedel. Kan endast torkas helt torrt i luft som är fri från vattenånga

Iske-hygroskopiskt

Kan torkas helt torrt i fuktig luft

Vattnet kan vara bundet kemiskt, fysikaliskt eller mekaniskt. Bindningen avgör hur svårt det är att torra materialet.

fig 12.3 Relativ fuktighet mot fukt i godset

fig 12.2 Sorptionsisoterm med hysteresis

Olika kurvor för torkning och vätning, beroende av strukturförändringar i materialet

stencil fig 18.9 Sorptionsisotermier för olika material



$$\text{Fukthvol} = f(\text{tid})$$

$$\frac{dX}{dt} = \text{torrhastighet}$$

seuvisl fig 16 Torrhastigheter

- Torrhalt = $T_h = \frac{\text{kg torrt material}}{\text{kg fuktigt material}}$
- Fukthalt = $F_h = \frac{\text{kg fukt}}{\text{kg fuktigt material}}$
- Fukthvol = $X = \frac{\text{kg fukt}}{\text{kg torrt material}}$

Fukthvoten är praktisk att använda, eftersom den baseras på ett konstant värde.

Tillståndsförändringar vid konvektionstorkning (s. 379)

I en ideal konvektionstork ändras luftens tillstånd längs en vättemperaturlinje

Tillämpning för Mollierdiagram

Specifik luftförbrukning $l = \frac{\text{kg torr luft}}{\text{kg avdunstat vatten}}$

Specifikt värmebehov $q = \frac{\text{åtgångsen energi}}{\text{kg avdunstat vatten}}$

$$l = \frac{1}{\Delta X}, \quad q = \frac{\Delta H}{\Delta X}$$

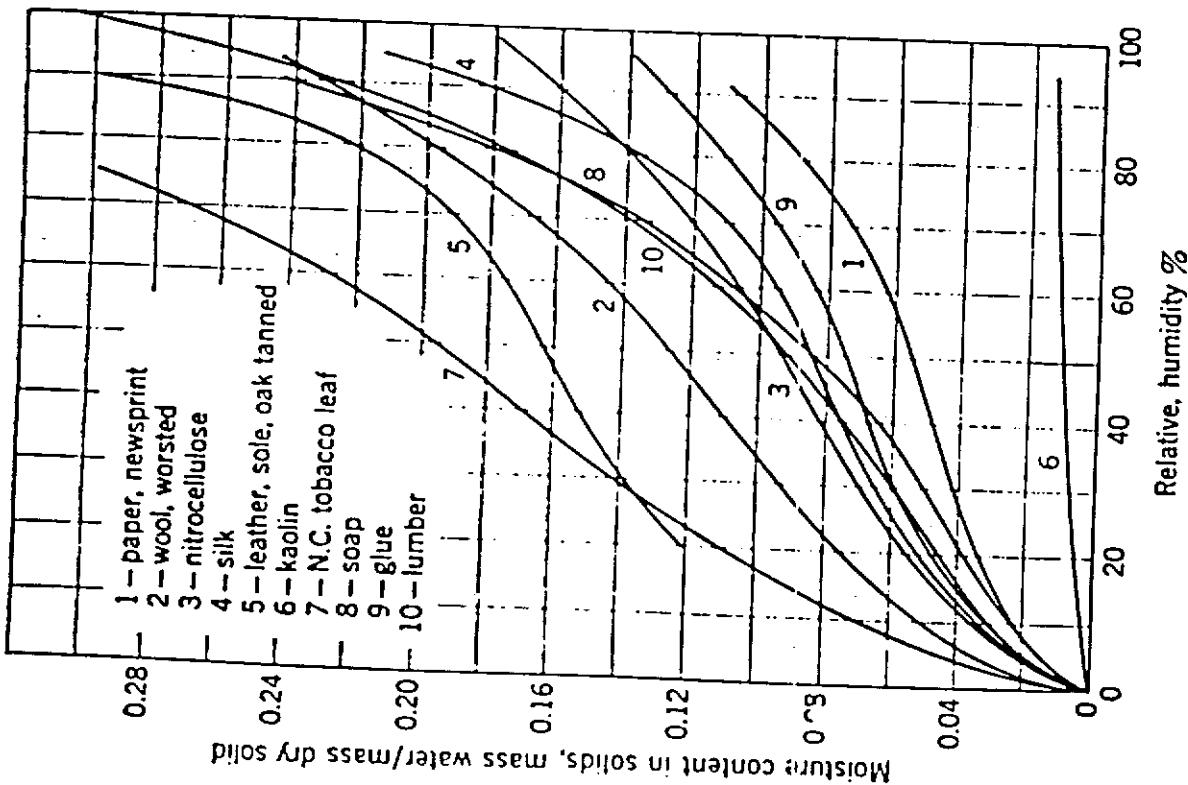
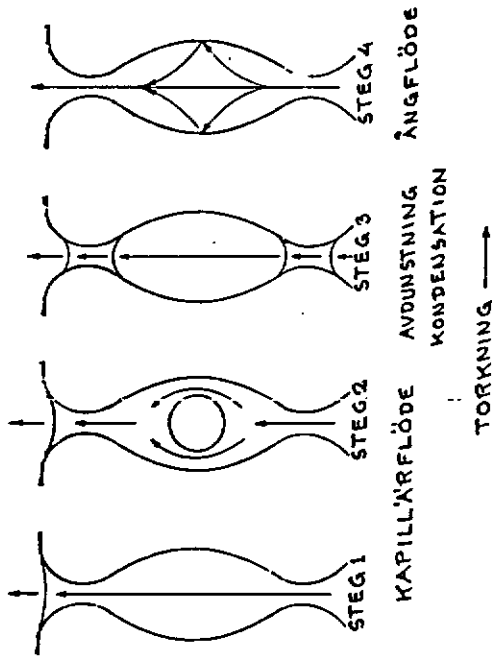


Figure 18.9. Equilibrium moisture content of some solids at 25°C (17). (By permission of Nat. cad. of Sc., copyright © 1926.)



| KEMISKT BUNDET | TYP AV BINDNING |
|--------------------|----------------------|
| | HYDRAT |
| | KRISTALLVATTEN |
| | VÄTE BINDNING |
| FYSIKALISKT BUNDET | FYS. KEM. ADSORPTION |
| | OSMOTISKT |
| MEKANISKT BUNDET | KAPILLÄR |
| | YTADSORPTION |

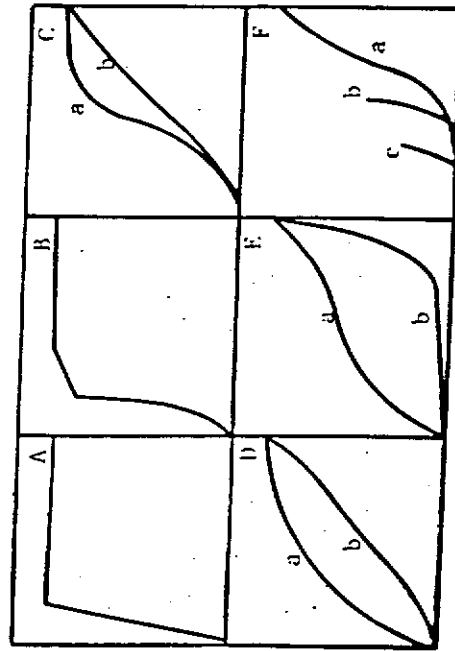


FIG. 16 Examples of normalized drying rate curves for different types of media. (A) Sand, clay, silica-gel, paper pulp, leather; (B) Sand, plastic-clay mix, silica-brick mix, ceramic plate, leather; (C) [a] fir wood and [b] cyprus wood; (D) [a] paper, wool and [b] potatoes, taploca tuber, rice flour; (E) [a] rye bread, yeast and [b] butter and margarine; (F) [a] wheat corns, [b and c] represent curves at lower values of initial moisture content.

Faktorer av betydelse vid klassificering av torkar

- * temperatur och tryck i torken
- * metod för värmeförförel
- * metod för fukttransport
- * mekaniska hjälpordningar
- * metod för luftcirkulation
- * metod för hantering av torkgodset
- * värmemediet
- * väta materialets natur och metod för förförel

Beakta vid val av tork

- vilka torktyper klarar det aktuella torkgodset
- väl bort de mer kostsamma alternativen på basis av drift- och kapitalkostnad

Metoder för värmeöverförin

Konvektion

- * billig utrustning
- * lätt att kontrollera lufttemperaturen så att ingen överhettning av materialet sker
- * dålig termisk verkningsgrad
- * om ett dyrt lösningsmedel förångas blir processen dyr och komplicerad
- * för luster vid fluffiga och puderlika material.

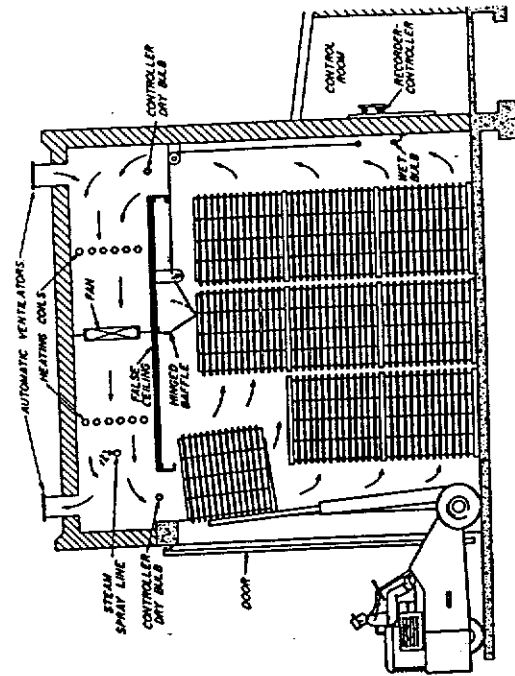
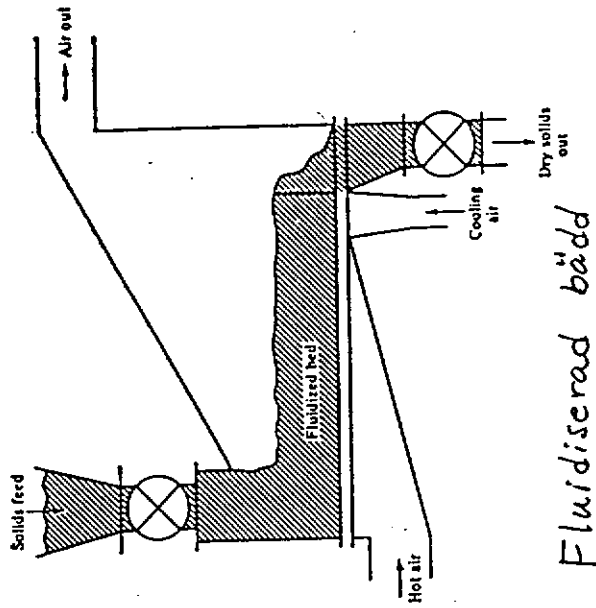


FIG. 5 Package-loaded compartmental lumber-drying kiln.

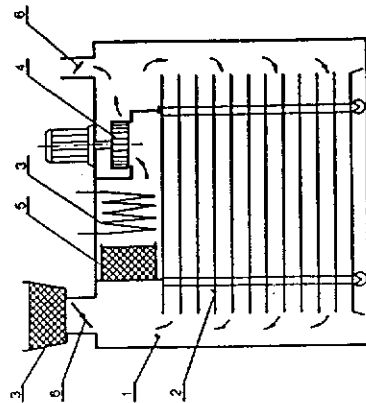
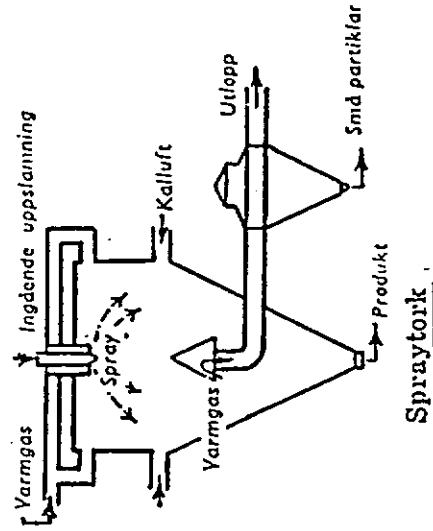


FIG. 3 Shelf batch dryer: (1) shell, (2) truck with shelves, (3) heat (4) fan, (5) air filters, (6) valves.



Torkar

Konvektions torkar:

- * Brick tork el. torkskåp
- * Tunnel- el. kanal tork
- * Trumtork
- * Spray tork
- * Strömtork
- * Fluidiserad bädd tork

Kontakt torkar

- * Trumtork
- * Valstork
- * Tallriks tork (Turbo)
- * Termaskruv el. Skivtork

TABLE 3 Capacity and Energy Consumption for Selected Dryers

| Method | Typical dryer | Typical materials |
|--|------------------------|--|
| Material not conveyed | Tray dryer | Wide range of pastes, granules. |
| Material falls by gravity | Rotary dryer | Free-flowing granules |
| Material conveyed mechanically | Screw-conveyor, paddle | Wet sludges, pastes |
| Transported on trucks | Tunnel dryer | Wide range of materials |
| Sheet-form materials, supported on rolls | Cylinder dryers | Paper, textiles, pulp |
| Conveyed on bands | Band, conveyor dryer | Wide range of solids (pellets, grains) |
| Material suspended in air | Fluid bed, flash | Free-flowing granules |
| Slurries or solutions atomized in air | Spray dryer | Milk, coffee, etc. |

Note: Most dryers may operate continuously, semicontinuously, or batch-wise. Labor costs are high for tray and tunnel dryers.

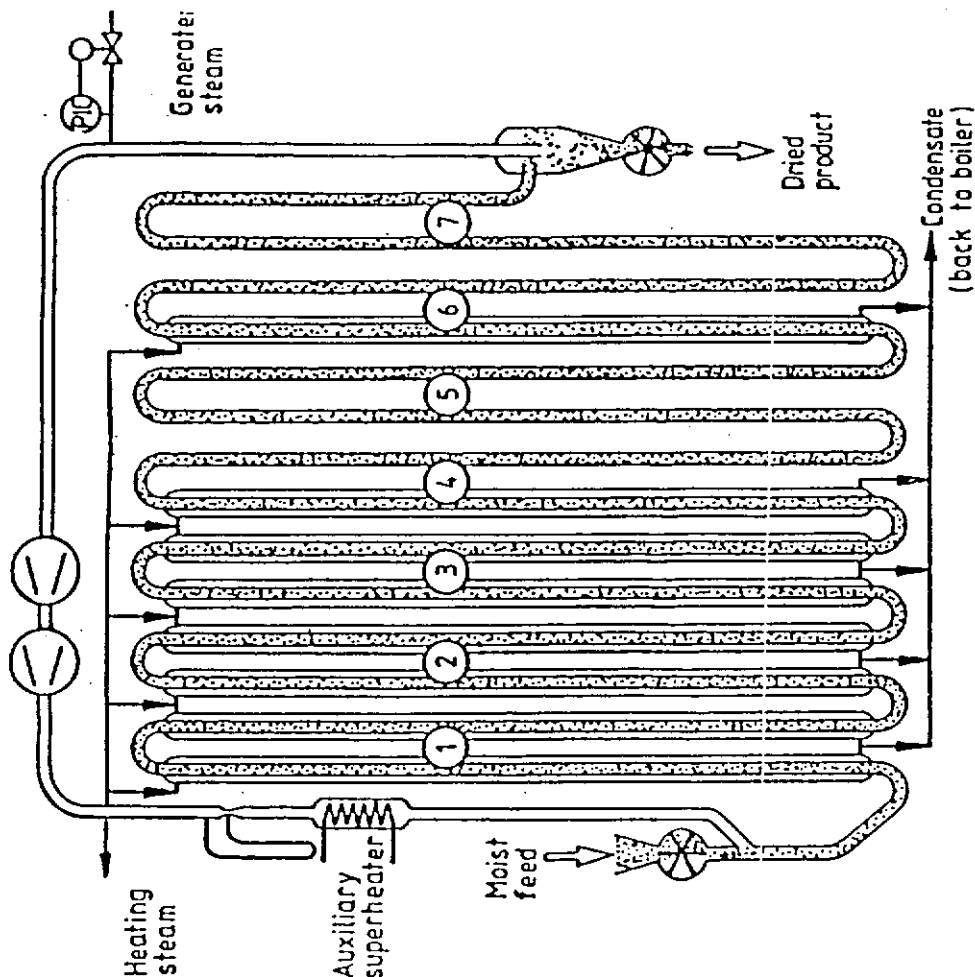
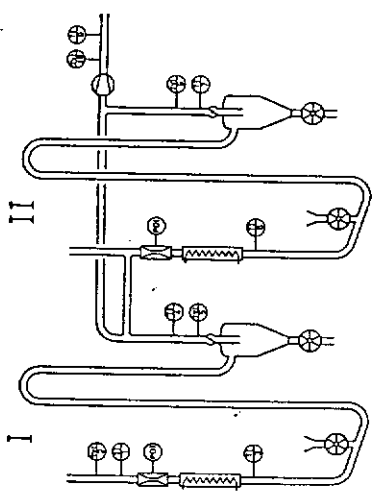
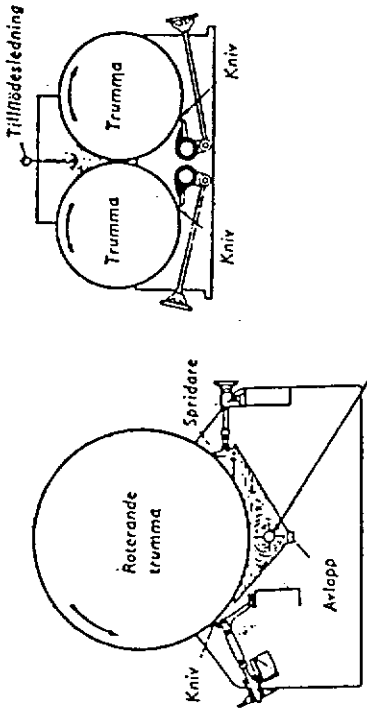
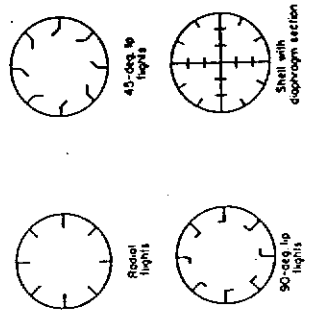


Figure 3. Scheme of the pilot plant dryer.

Strömtock

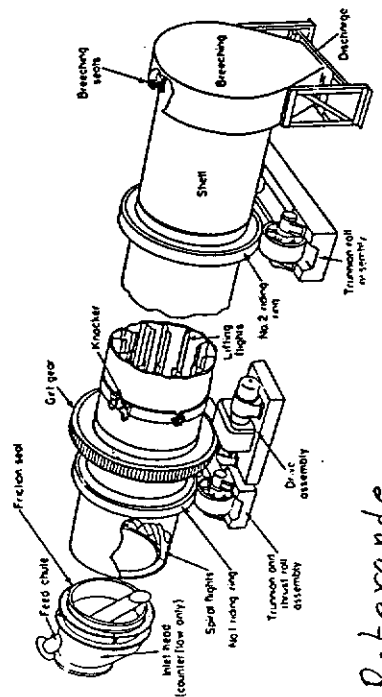
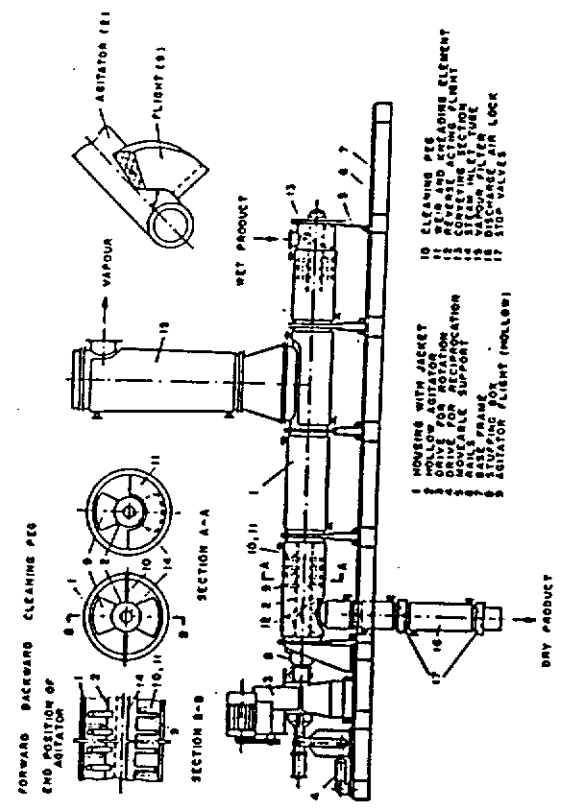


| Kanal | Mätställe |
|-------|--------------------------------------|
| 1 | Torr temperatur ingående luft T I |
| 2 | Vät temperatur ingående luft T I |
| 3 | Torr temperatur efter förvärmare T I |
| 4 | Vät temperatur efter förvärmare T I |
| 5 | Torr temperatur efter T I |
| 6 | Vät temperatur efter förvärmare T II |
| 7 | Torr temperatur efter T II |
| 8 | Vät temperatur efter T II |
| 9 | Torr temperatur efter fläkt |
| 10 | Vät temperatur efter fläkt |



Behållare med omröring för vått material

Exempel på valstorkar (Roterande)



Roterande trumtork (konvektiv) direkt

Skivtork d. Termaskruv