

**STORTGOED- EN POEDER-
TECHNOLOGIE**

NRLO-rapport nr. 92/3

Verslag van de NRLO-Themadag "Stortgoed- en Poedertechnologie", gehouden op 10 december 1991 in het Congres- en Studiecentrum Drienerburght op het terrein van de Universiteit Twente te Enschede, georganiseerd door de Taakgroep Technologie van de NRLO-Sector-Kamer Verwerking en Marktvoorziening.



Nationale Raad voor
Landbouwkundig Onderzoek
Postbus 20401
2500 EK 's-Gravenhage
tel.: 070 - 3793653/3793654

Inhoud

Inleiding

Deelnemerslijst

Blok 1 : Mechanisch transport en opslag

- Inleiding, Ir. G. Haaker, Universiteit Twente, Enschede
- Opslag in mammoetsilo's, Ir. J.P.J. Ruygrok, LSE Logistics Engineers B.V., Purmerend
- Transport van grondstoffen en produkten, Ing. J.H. Laarhuis, AKZO Zout en Basis Chemie, Hengelo

Blok 2 : Mengen en agglomereren

- Inleiding, Dr.Ir. J.A.H. de Jong, AKZO Research Laboraties, Arnhem
- Gecombineerd sproeidrogen en agglomereren, E.G. Senior, Niro Abdomizer, Apeldoorn
- Agglomereren en vormen van veevoeders, B. Vooijs, IGMB-TNO, Wageningen

Blok 3 : Scheiden en verkleinen

- Inleiding, Ir. D.J. van Zuilichem, Landbouwniversiteit, Wageningen
- Scheiden van deeltjes, Ir. H. Slangen, Apparatenproefstation CRO DSM, Geleen
- Verkleinen van plantaardige vezels, Ir. E. van der Ent, Driebergen

Inleiding

Op 10 December 1991 werd in het Congres en Studiecentrum Drienerburght op het terrein van de Universiteit Twente te Enschede, de thema dag "Stortgoed- en poedertechnologie" georganiseerd door de taakgroep Technologie van de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek. Doel van deze dag was het in kaart brengen van de stand van zaken binnen dit onderzoeks gebied.

In een negental lezingen werd verdeeld over drie blokken dieper ingegaan op de volgende onderwerpen : Mechanisch transport en opslag, Mengen en agglomereren en als derde Scheiden en verkleinen. De drie blokken werden van een inleiding voorzien door Ir. G. Haaker, Dr.Ir. J.A.H. de Jong en Ir. D.J. van Zuilichem.

Als algemeen beeld uit de voordrachten kwam naar voren dat de kennis op het gebied van de stortgoed- en poedertechnologie groeiende is maar dat er nog veel werk verzet kan worden. De resultaten worden gekenmerkt door een hoog empirisch karakter. Het ontwikkelen van theorieën blijkt moeilijk, dit is onder andere het gevolg van de wetenschappelijke "onenigheid" over de te gebruiken constitutieve relaties.

In dit verslag zijn de sheets van de negen voordrachten verzameld met een weergave van de vragen die naar aanleiding van een aantal voordrachten gesteld werden.

Mede dankzij de goede verzorging van de ontvangst, koffie en thee pauzes en de lunch kunnen de deelnemers terugzien op een geslaagde en interessante themadag.

Deelnemers (incl. genodigden) themadag "Stortgoed- en poedertechnologie"

Ir. M.B. Aarnink	Universiteit Twente, Fac. Werktuigbouwkunde
Ir. J.A.M. Bartels	Nestlé Nederland
Ir. H. Beumer	IGMB-TNO
Ir. E. van den Ent	Consultant, Driebergen
Ir. G. Haaker	Universiteit Twente, Fac. Werktuigbouwkunde
Dr.Ir. J.A.H. de Jong	AKZO Research Laboratories
Ir. M. van der Kroon	TU Delft, Fac. STM - Vakgr. CPT
Dipl.Ing. F. Koch	Bühler Miagg
Ing. J.H. Laarhuis	AKZO Zout en Basis Chemie
Ir. E.H.J. Langelaan	Stork Alpha Engineering
Dr.Ir. J. van der Lijn	Douwe Egberts
Ir. G. Mesu	Quaker Oats
Dr.Ir. P.J.J.M. van Mil	NIZO
Dr.Ir. J.M.P. Papenhuijzen	Ministerie van LNV (DWT/NRLO)
Prof.Dr.Ir. F.J.C. Rademacher	Universiteit Twente, Fac. Werktuigbouwkunde
Ir. J.P.J. Ruijgrok	ESI Engineers & Contractors
Ir. J.C.F. Rynja	Velp
E.G. Senior	Fa. NIRO
Ir. J. Sikma	Parenco
Ir. H. Slangen	DSM-Research / PT-AA
W. Stolp	Landbouwniversiteit, sectie Proceskunde
Drs. J. Vercauteren	Cehave
Ir. J.W. Vissers	GEM Consultants
B. Vooy	IGMB-TNO
Ir. O. de Weert	Cebeco Consulting Engineers
J.W. Wessels	Van Tongeren/Kennemer
Ir. F.J. Westerling	Ministerie van LNV (Industrie en Handel)
Ir. D.J. van Zuilichem	Landbouwniversiteit, sectie Proceskunde

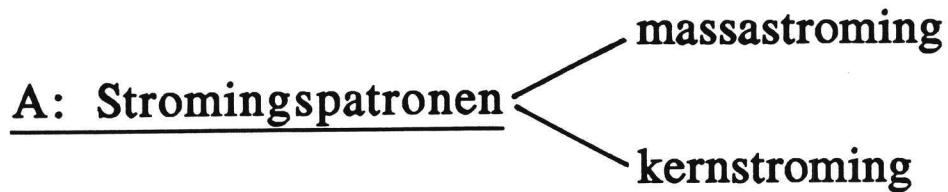
Ir. G. Haaker : Inleiding blok 1 : Mechanische transport en opslag

In de voordracht wordt een globaal overzicht gegeven van de kennis die, vanuit de stortgoedtechnologie, beschikbaar is voor het ontwerpen van silo's.

Hierbij wordt aandacht gegeven aan :

- de klassieke methode voor geometrisch ontwerp; betrouwbaarheid, toepasbaarheid, nieuwe inzichten, optimaliteit.
- meetmethoden voor stortgoedgedrag; betrouwbaarheid, nieuwe ontwikkelingen, tekortkomingen.
- wandbelasting; normen, normontwikkeling.
- invloeden van segregatie, slijtage en attritie.
- niet-klassieke vormen van onderzoek naar het gedrag van stortgoed in silo's en optredende wandbelasting.

"KLASSIEKE" METHODE VOOR SILO-ONTWERP



Grenzen: α , ϕ_w , ϕ_e $\longrightarrow$ kennis nodig

Toepasbaarheid: axiaal symmetrisch
vlak " "
tussenvormen??
afwijkende vormen???

Betrouwbaarheid: voldoende (mits gebaseerd
op de juiste gegevens).
niet optimaal
intermediate flow

B: Brug- en gewelfvorming bij massastroming

Gebaseerd op: flow-no flow criterium
radiaal spanningsveld

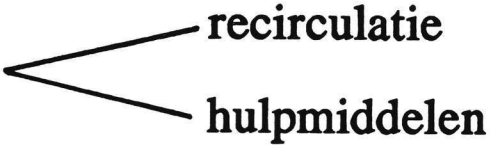
σ_p : brugsterkte (= gemeten grootheid)

σ_1^1 : brugbelasting (= te berekenen grootheid)

$\sigma_p = \sigma_1^1 \longrightarrow$ kritische uitstroomafmeting

Toepasbaarheid: axiaal symmetrisch
vlak " "
tussen- en afwijkende vormen????

Betrouwbaarheid: groot, mits gebaseerd op goede
stortgoedmonsters
niet optimaal

"Problemen" t.a.v. : tijdsinvloed 
invloed eerste vulling
invloed hulpmiddelen algemeen

C: Schachtvorming bij kernstroming.

Stabiliteitskriterium:

$$\text{schachtbelasting } \sigma_1^1 > \text{schachtsterkte } \sigma_p (\sigma_1)$$

T.a.v. de consolidatiespanning σ_1 :

- a: ondergrensbenadering (spanningsnivo bepaald
door schachtkanaalafmetingen)
- b: bovengrensbenadering (spanningsnivo bepaald
door complete silo-configuratie)

Toepasbaarheid: axiaal symmetrische gevallen

Betrouwbaarheid: onvoldoende (onder- resp. over-
schatting mogelijk).
invloed eerste vulling

D: Meting van de stortgoedeigenschappen.

Standaard: Jenike sheartester

Resultaten redelijk betrouwbaar op basis van:

-representatief monster 

- vochtgehalte
- tijdsinvloed
- korrelgrootteverdeling

-ervaring t.a.v. meten en interpretatie

Nadelen: nogal tijdrovend

verandering wandgedrag niet meetbaar

Nader onderzoek: snellere vergelijkende methoden
wrijving/slijtage in de tijd

E: Silo belastingen.

- < 1896 hydrostatisch
- > 1896 Janssen
- > ca 1950 Aanpassingen van Janssen + uitbreidingen
 t.a.v.: invloed stromingspatroon
 " excentriciteiten
 spanningsvelden en -overgangen

—————> Normen en voorschriften :

DIN 1055 blatt 6 1987
BMHB Code of Practice ca 1985
ACI 313 1983
etc.

Problemen t.a.v.: verschillen in resultaten
 toepassingsgebied
 uitsluitingen
 "niet slanke" silo,s

Nederlandse norm???

Europese norm???

F : Invloed van segregatie, slijtage en attritie.

**Wisselwerking t.a.v. : het stromingspatroon
de belastingen
het "proces"**

(Toenemende belangstelling voor dit gebied.)

G: "Moderne" methoden van silo-onderzoek.

Nadelen klassieke methode: aannames nodig
 symmetrische problemen
 geen dynam. effecten

Eindige Elementen Methode : numerieke simulaties van
 spannings- en stromingsgedrag m.b.v.
 geschikte constitutieve relaties.

Voordelen: volledige spannings- snelheidsveld te
 berekenen, ook voor niet symm. geval.

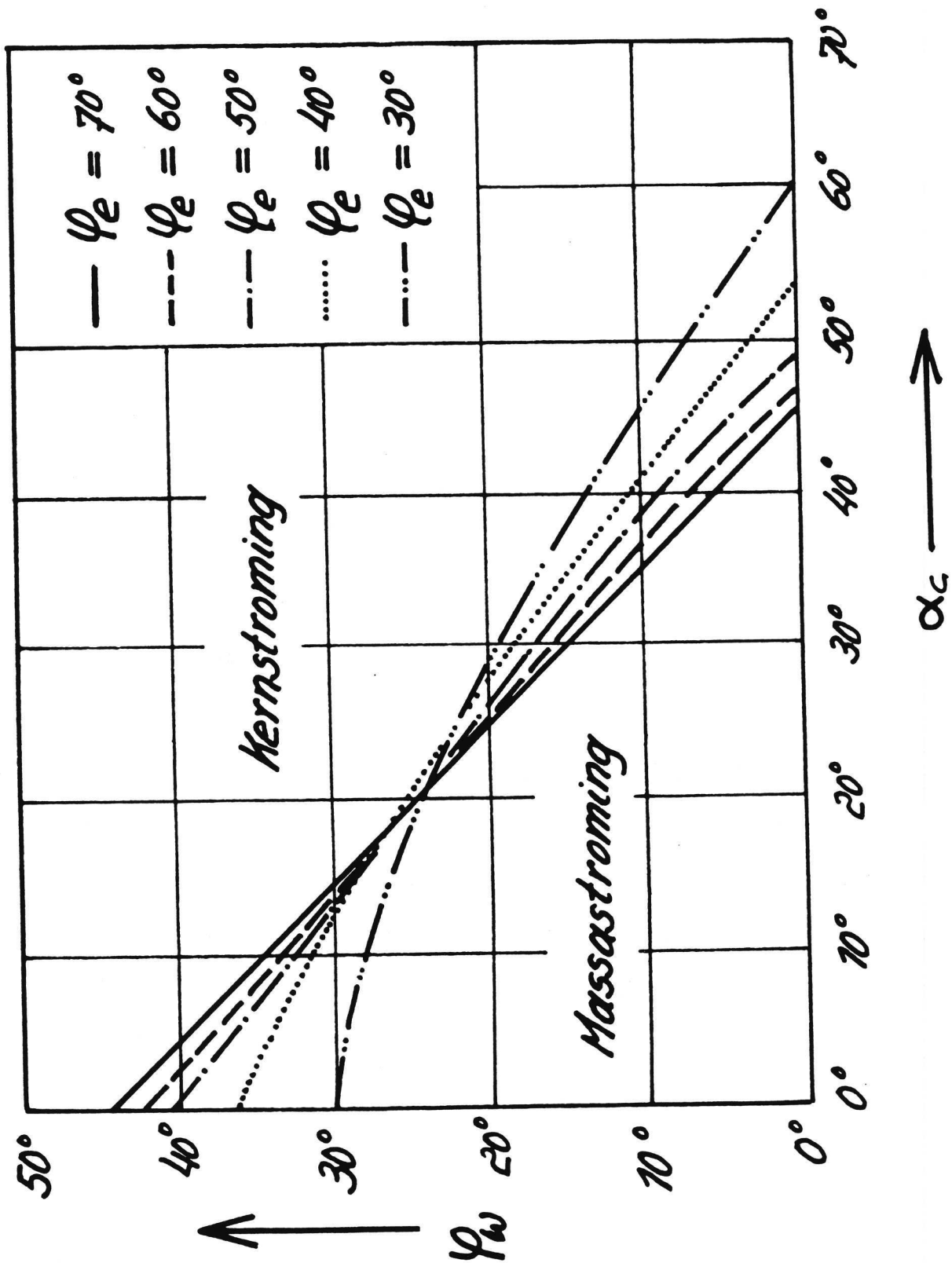
Nadelen: geschikte constitutieve relaties moei-
 lijk, zeker voor cohesieve materialen.

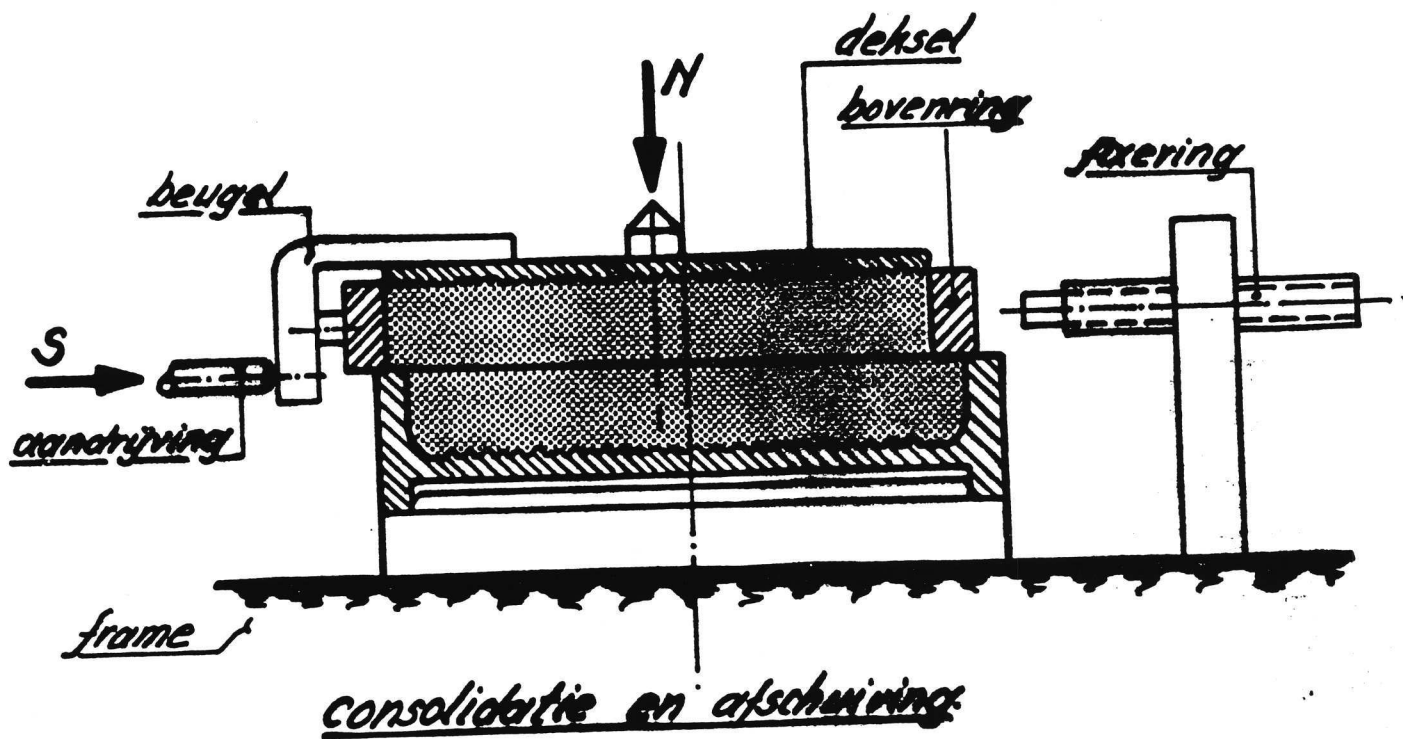
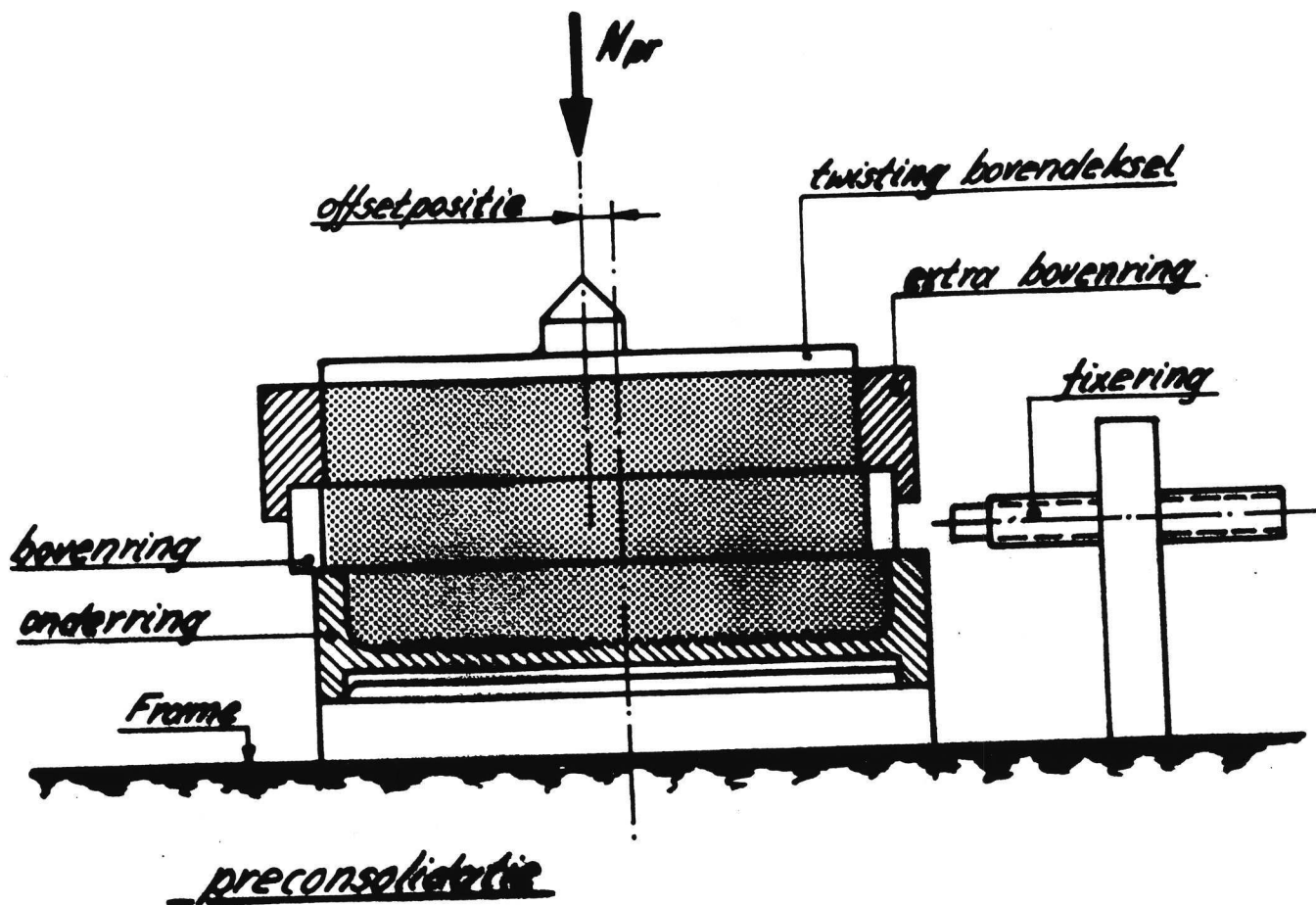
Discrete Elementen Methode : uitgaande van de con-
 tacten tussen de afzonderlijke deeltjes;
 Herhaalde numerieke integraties over
 zeer veel deeltjes t.a.v vervormingen en
 spanningen.

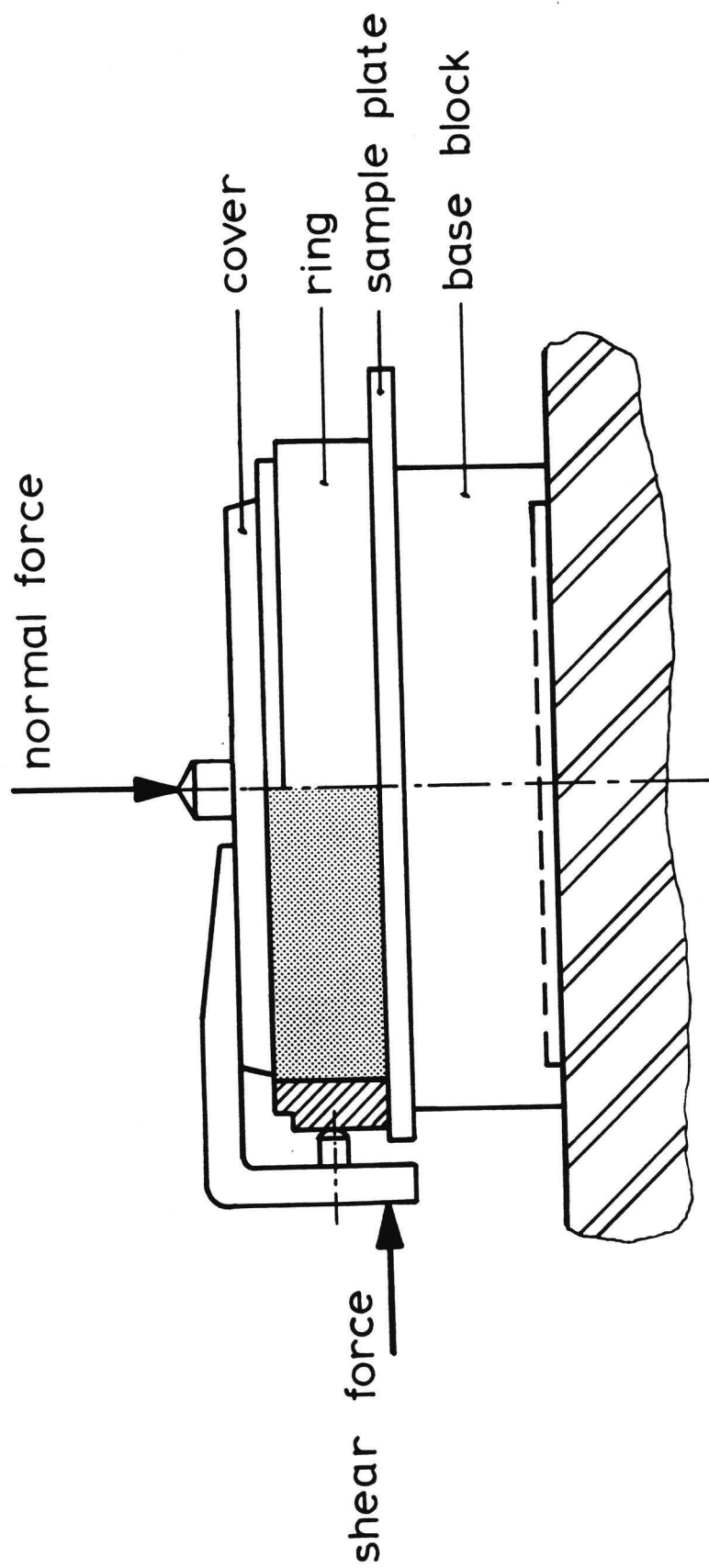
Voordelen: gebaseerd op eenvoudige fysische modellen

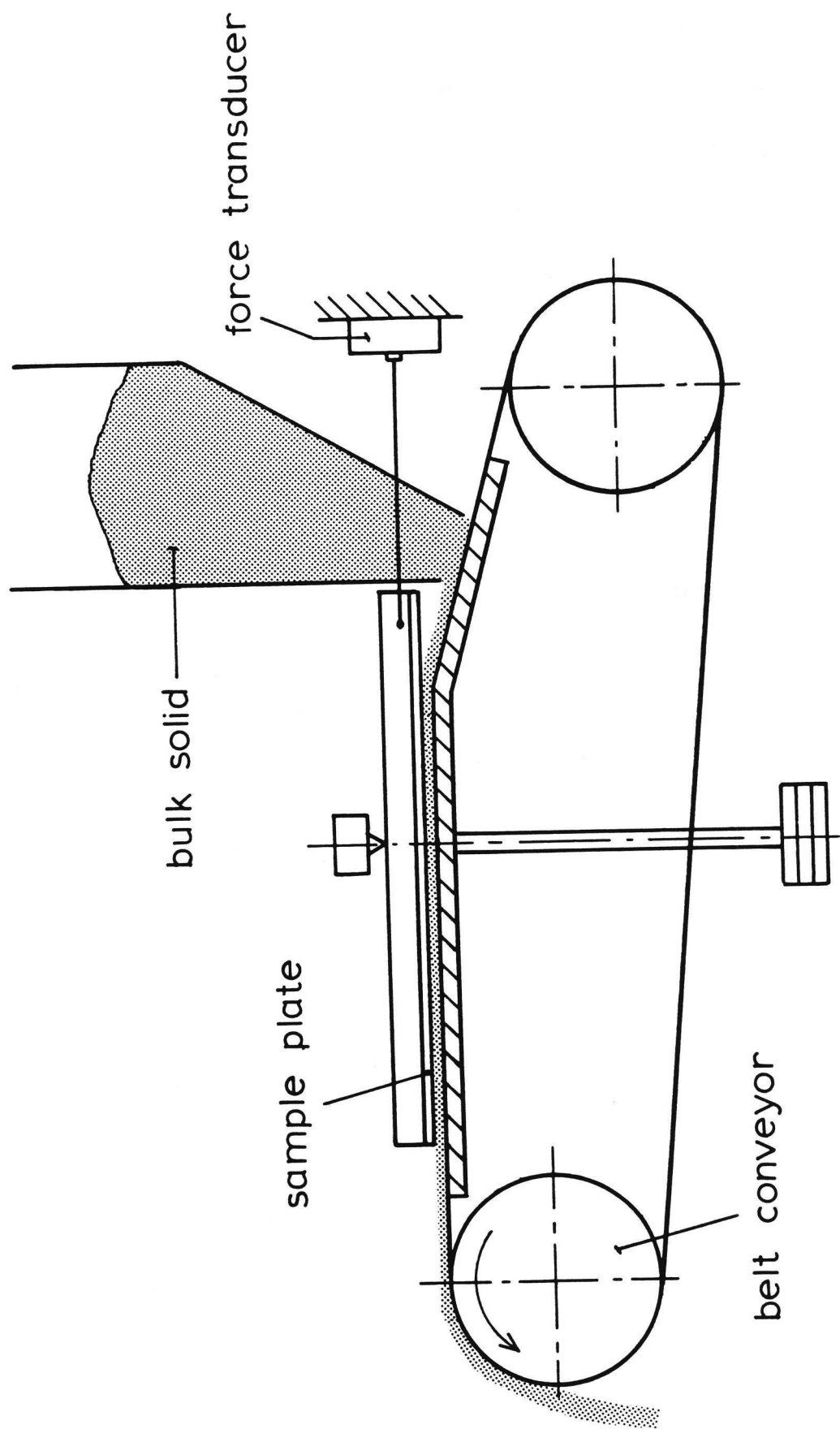
Nadelen : zeer veel rekentijd

Nog veel ontwikkeling nodig voor beide methoden.









Opmerkingen bij de voordracht van de hr Haaker :

De heer Rademacher benadrukt dat het nog lang zal duren voor de discrete computer modellen algemeen toepasbaar worden voor de constructeur. De theorie voor ideaal bolvormige deeltjes is al ver ontwikkeld.

Ir.J.P.J. Ruijgrok (ESI Engineers & Contractors)

Titel : Eurosilo's : Een rustpunt in een probleemgebied

Indien de stortgoedtechnologie geen praktische oplossing biedt voor het ontwerpen van een first-in first-out silo op grond van :

- slechte stromingseigenschappen van het stortgoed
- vereiste opslagvolume
- vereiste opslagperiode

kan een first-in last-out systeem een oplossing bieden.

Op grond van de beschikbare (meetbare) stortgoedgegevens en logistieke gegevens kan een optimale silo configuratie worden bepaald. Deze ontwerp methodiek zal worden toegelicht.

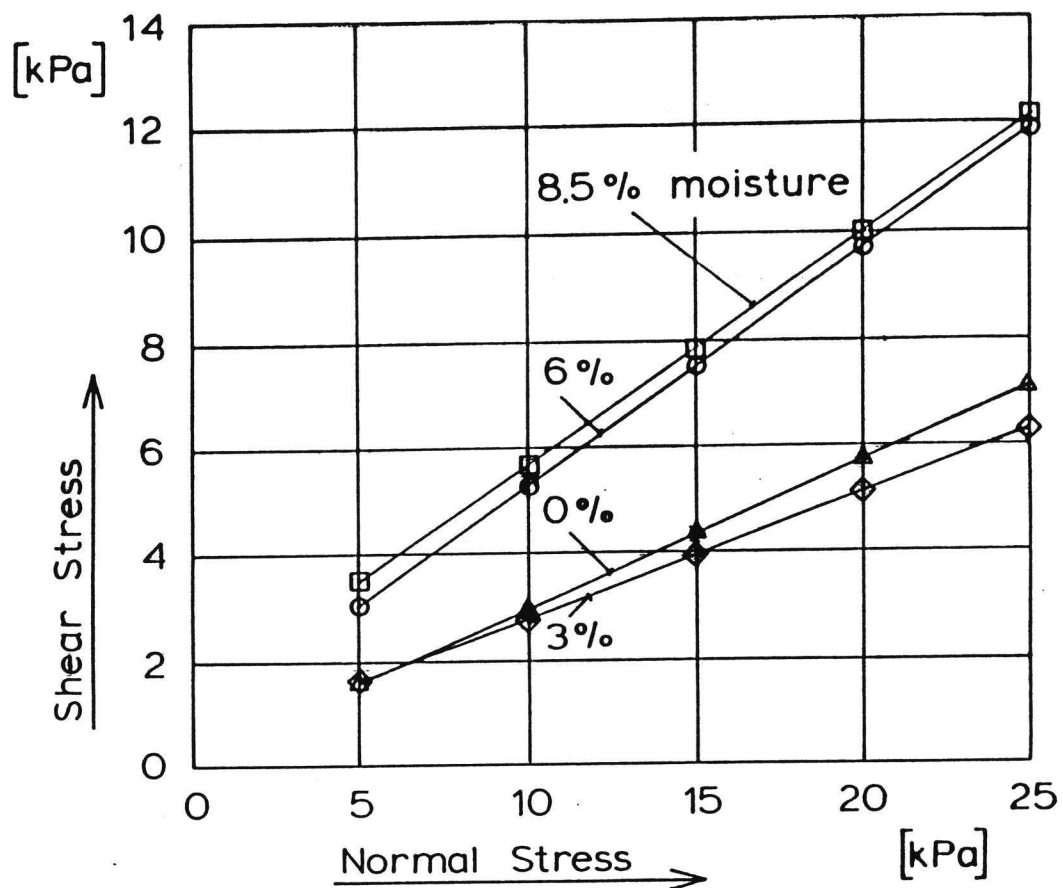
- OPSLAG IN MAMMOETSILO'S
- EUROSILO'S: EEN RUSTPUNT IN EEN PROBLEEMGEBIED
- . ONTWERPGEGEVENS
- . STORTGOEDGEGEVENS
- . EUROSILO CONFIGURATIES
- . UITGEVOERDE INSTALLATIES

ONTWERPGEGEVENS

- VEREIST OPSLAGVOLUME [m^3]
- AANTAL EENHEDEN
- TOELAATBARE BOUWHOOGTE (BODEMGEGEVENS) [M]
- BESCHIKBAAR OPPERVLAKE (LAY-OUT) [m^2]
- TOEVOERCAPACITEIT [m^3/HR]
- AFVOER CAPACITEIT [m^3/HR]
- VERWACHTE OPSLAGDUUR [DAGEN]

STORTGOEDGEGEVENS

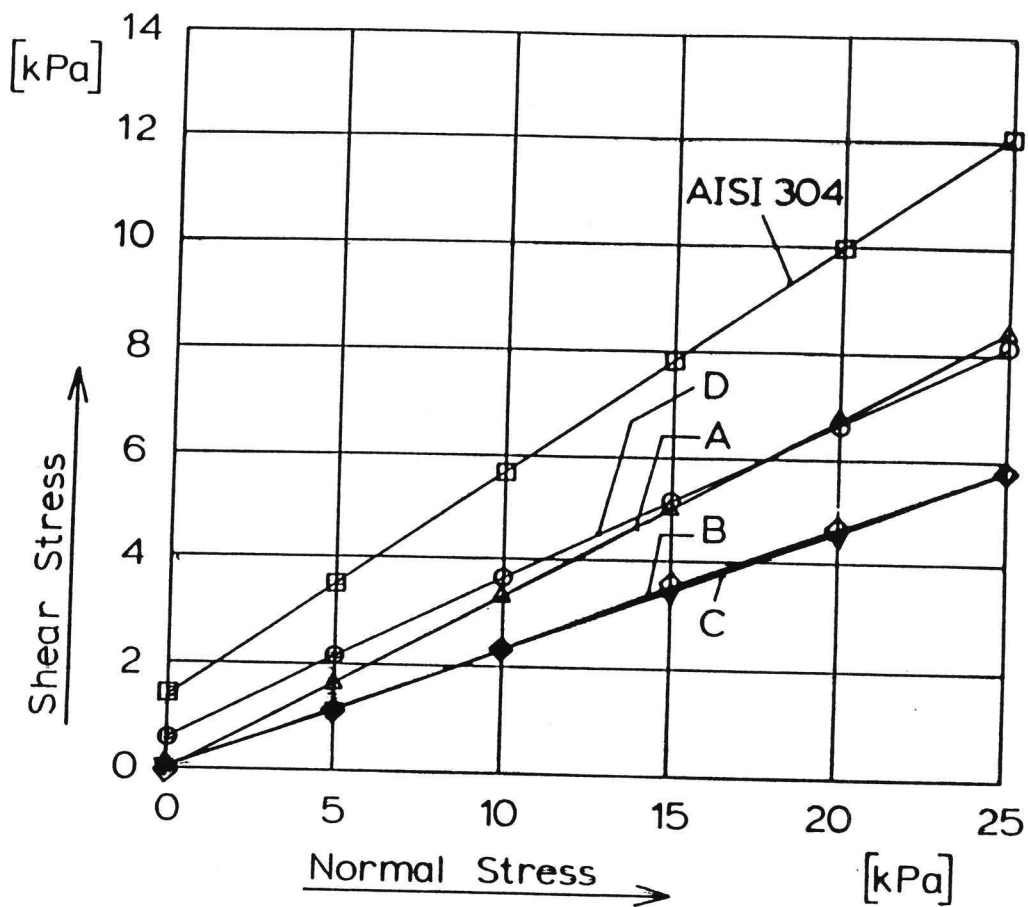
- SAMENSTELLING
- DICHTHEID [KN/M^3]
- SAMENDRUKBAARHEID (DICHTHEID ALS FUNKTIE VAN CONSOLIDATIESPANNING)
- EIGENSTERKTE (DRUKSTERKTE) σ_p
- TIJDSCONSOLIDATIE (σ_p ALS FUNKTIE VAN DE CONSOLIDATIETIJD EN -SPANNING)
- INWENDIGE WRIJVINGSHOEK (φ_e EN φ_t ALS FUNKTIE VAN DE CONSOLIDATIETIJD EN -SPANNING)
- WANDWRIJVINGSHOEK
- KORRELGROOTTEVERDELING
- CORROSIEF
- HYGROSCOPISCH
- ABRASIEF
- VEROUDERING
- VOCHTIGHEID
- TEMPERATUUR



R.O.I. GIPS

INVLOED VOCHTIGHEID (% WT.)

OP DE WANDWRIJVING

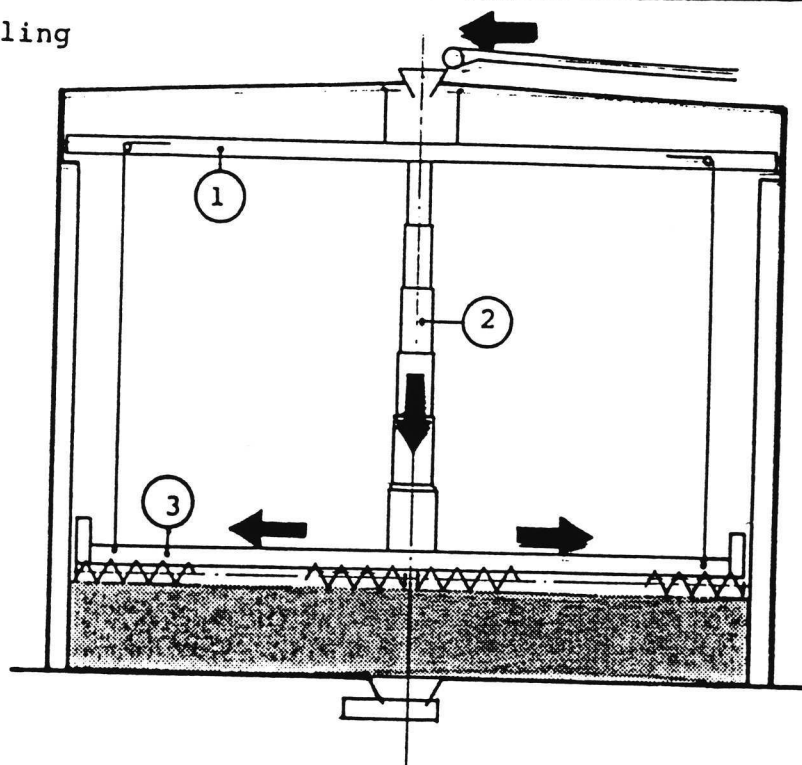


R.O.I. GIPS (8,5% VOCHTGEHALTE)

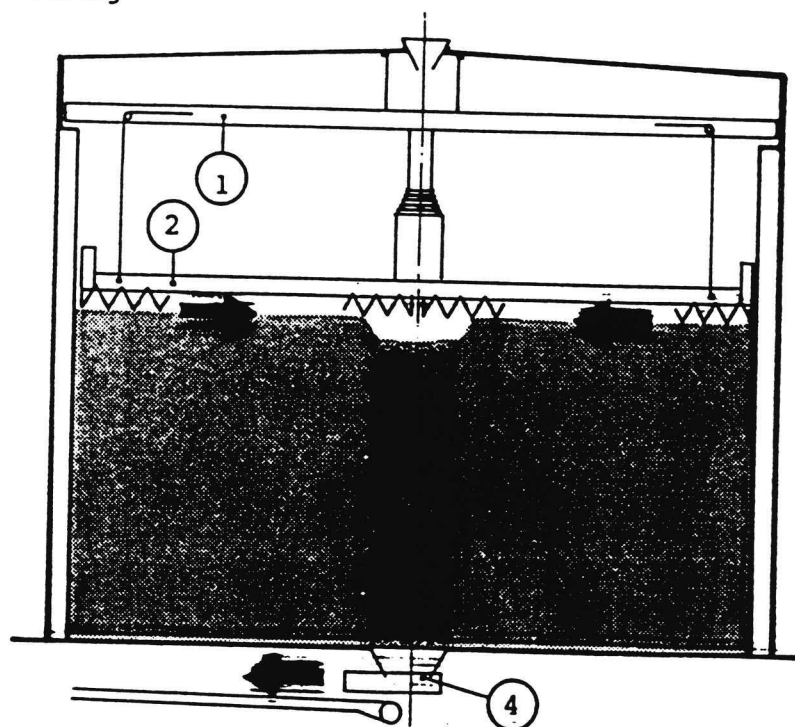
WANDWRIJVING

A B C D DIVERSE POLYMEREN

Filling



Reclaiming



Direction of flow



Bulk material



Material in downward flow

①

Rotating overhead bridge

②

Telescopic spout

③

Distributing auger

④

Discharge mechanism

Figure 6.

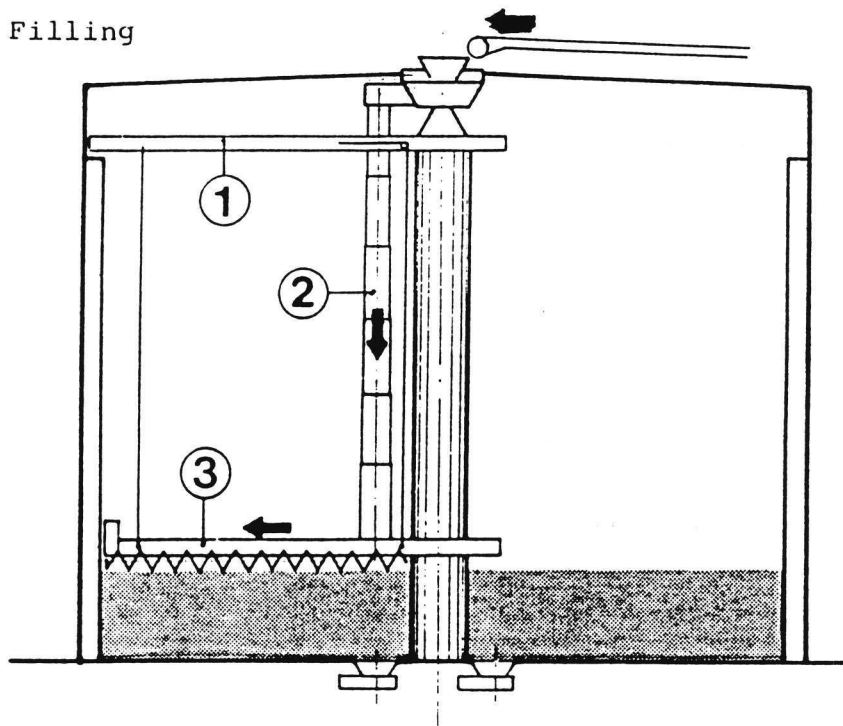
EUROSILO

Filling and reclaiming
system without a centre
column.

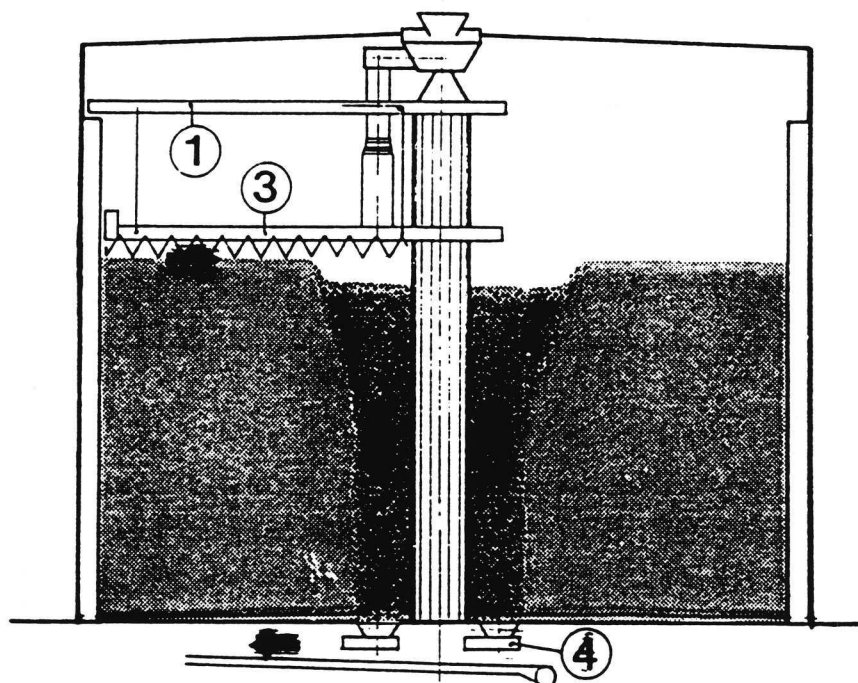


HOLLAND

Filling



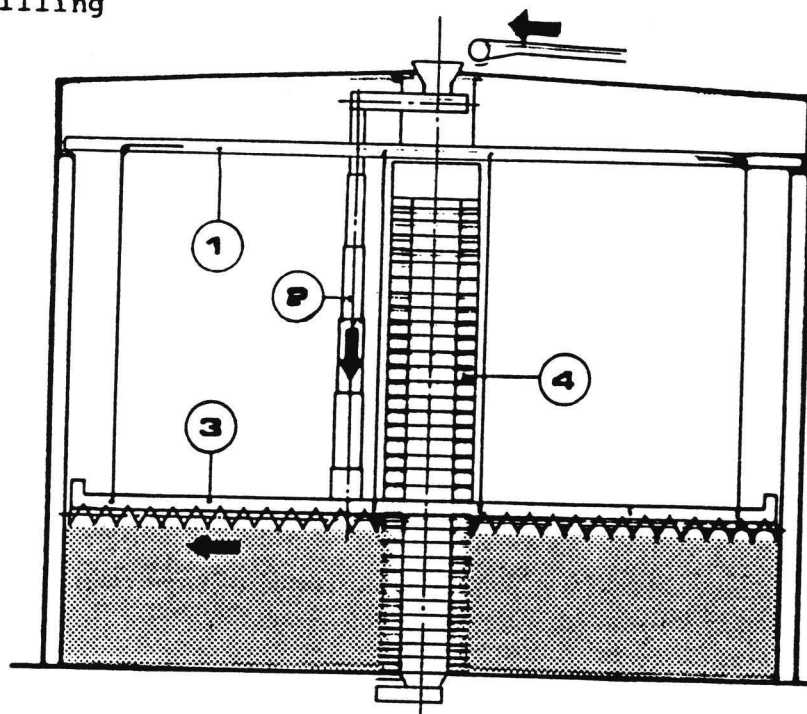
Reclaiming



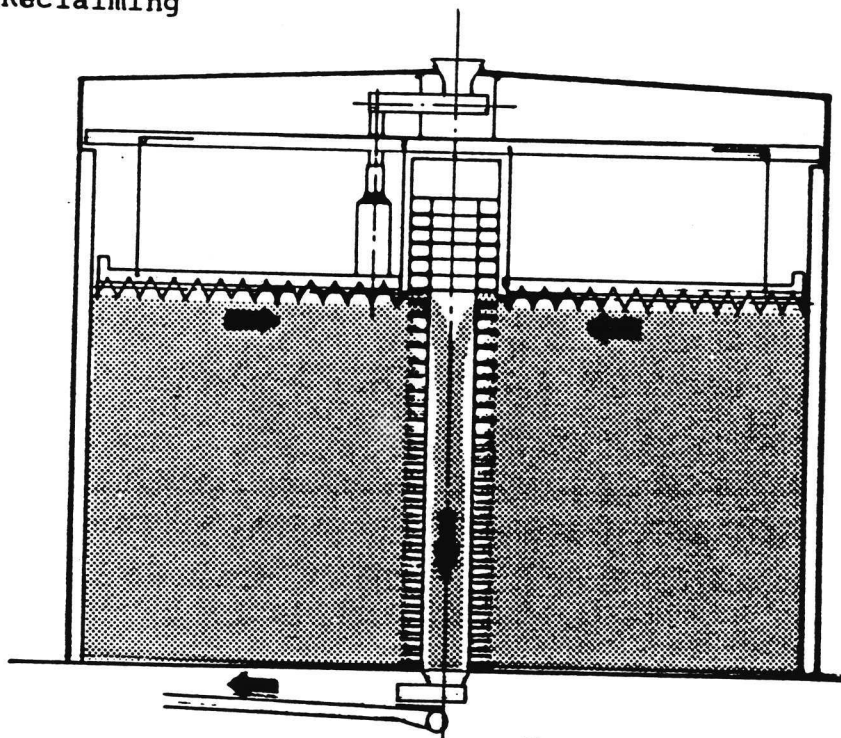
- ➔ Direction of flow.
- ▒ Bulk material
- Material in downward flow.
- ① Rotating overhead bridge.
- ② Telescopic spout.
- ③ Distr. screw auger.
- ④ Discharge mechanism.

Filling and reclaiming system (in case of centre column) Figure 4.

Filling



Reclaiming



➔ Direction of flow

■ Bulk material

- ① Rotating overhead bridge.
- ② Telescopic spout.
- ③ Distributing auger.
- ④ Slotted circular column section



Filling and reclaiming
system with slotted
circular column section.

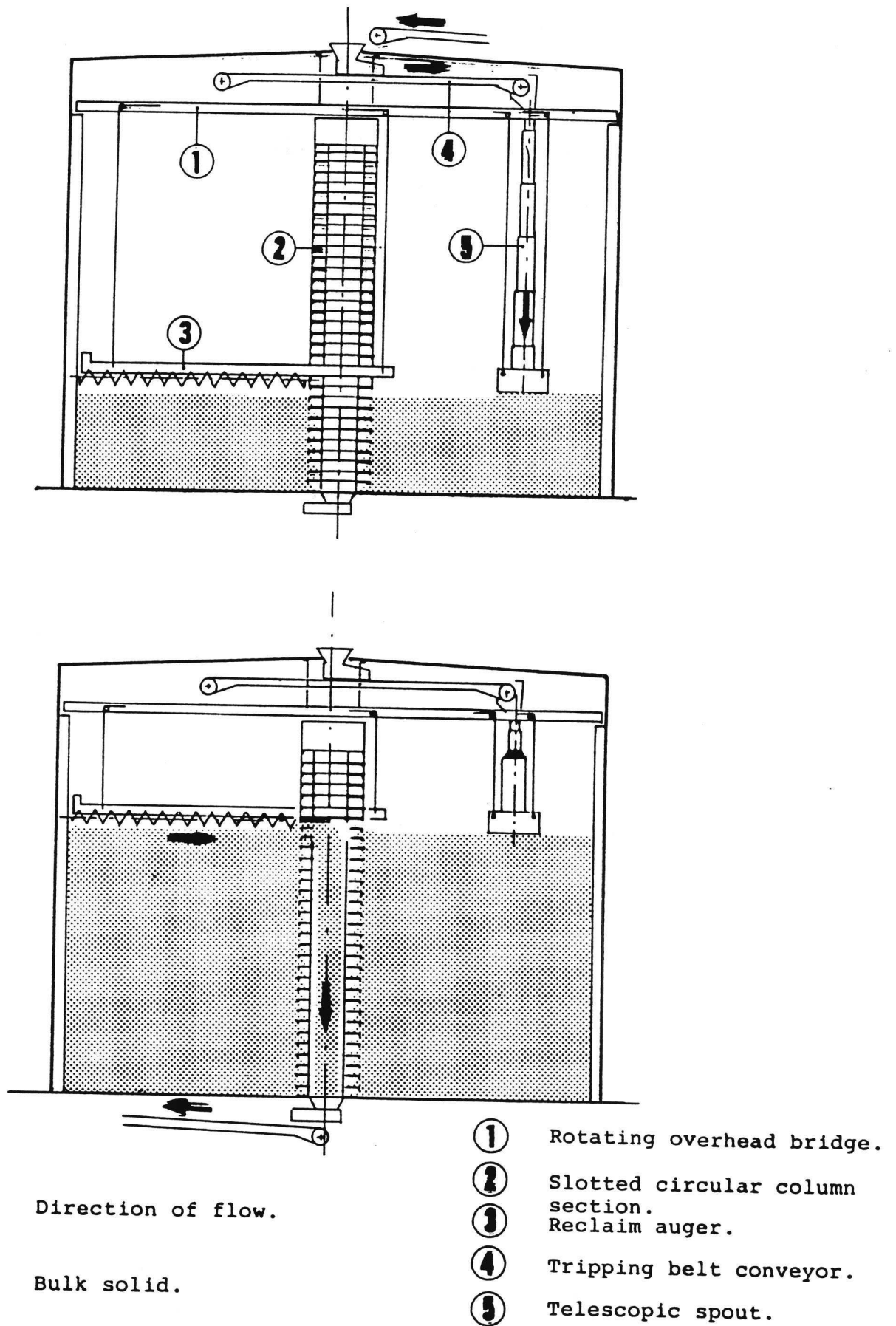
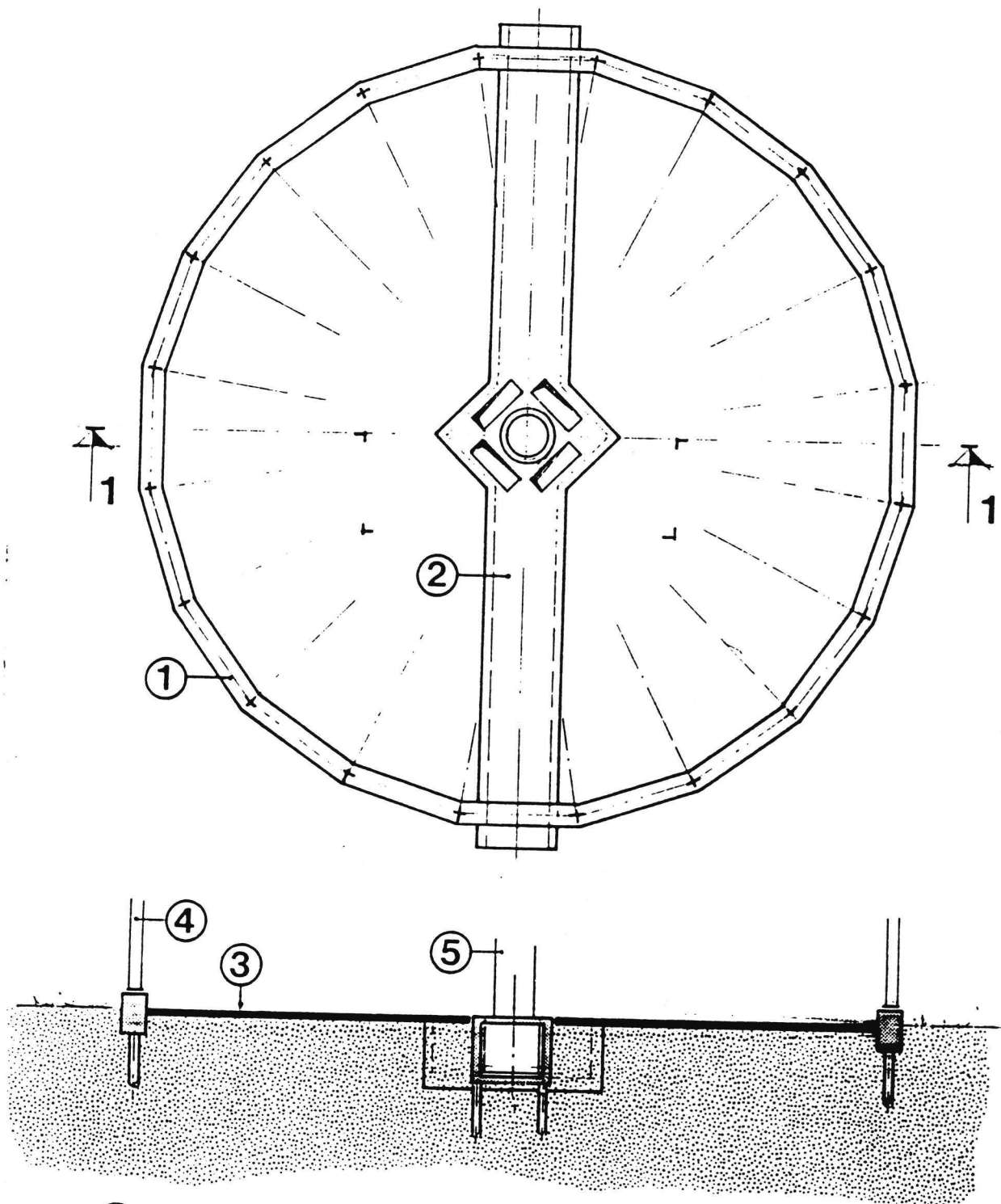


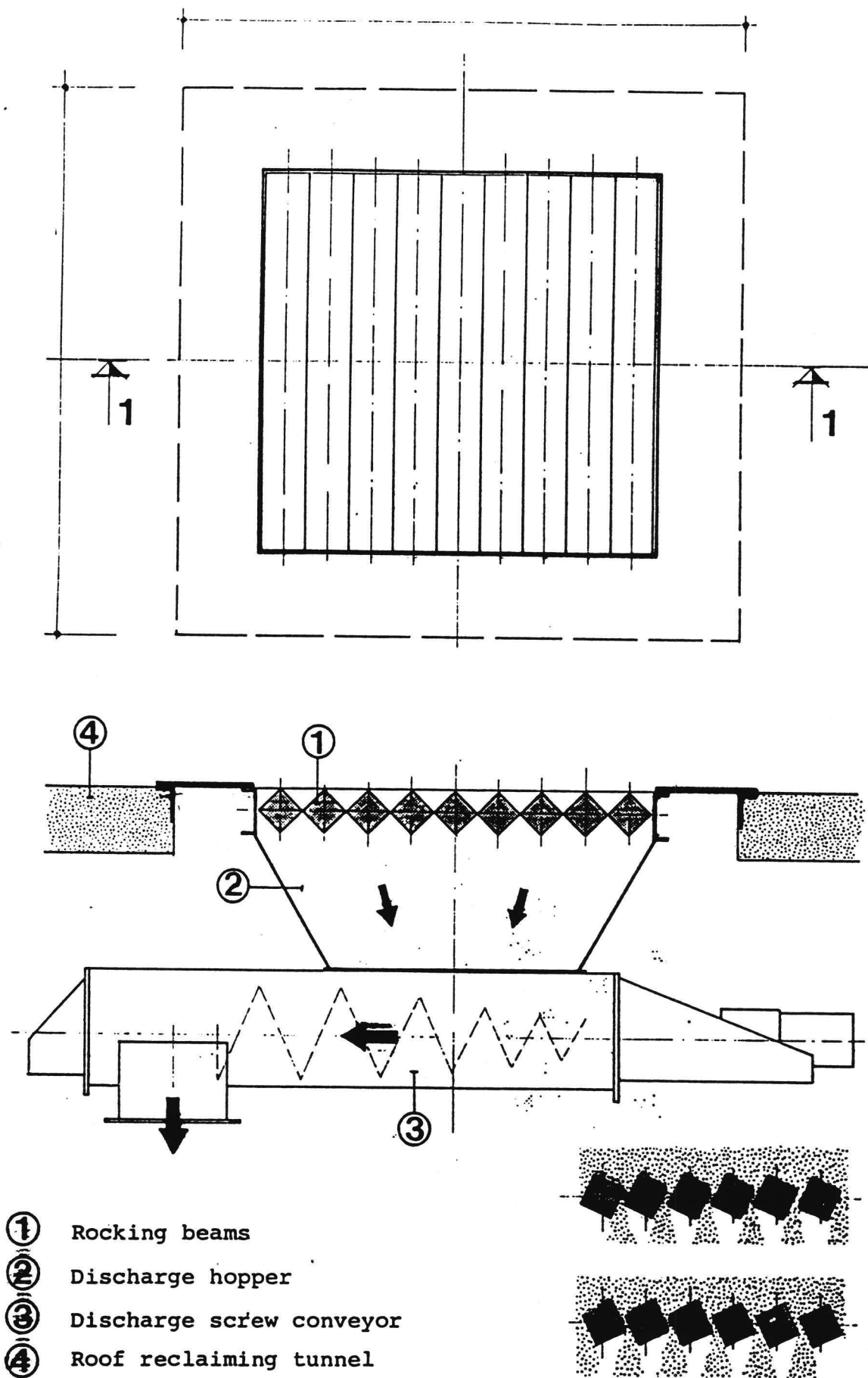
Figure 3.



- ① Reinforced concrete beam.
- ② Reclaiming tunnel.
- ③ Asphalt concrete floor.
- ④ Steel column and lining.
- ⑤ . Centre column.

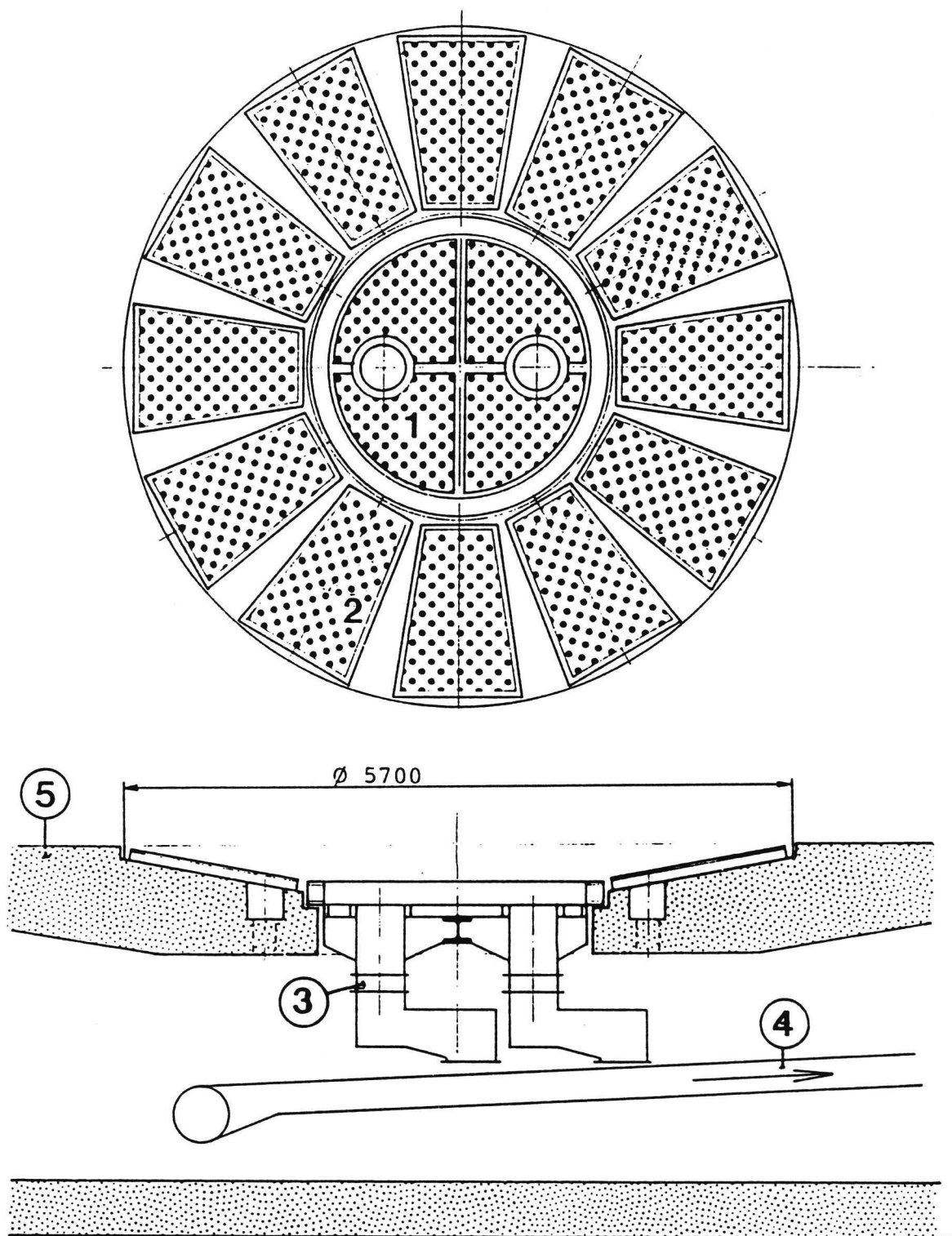
Foundation.
(centre column)

Figure 3.



Rocking beam unit

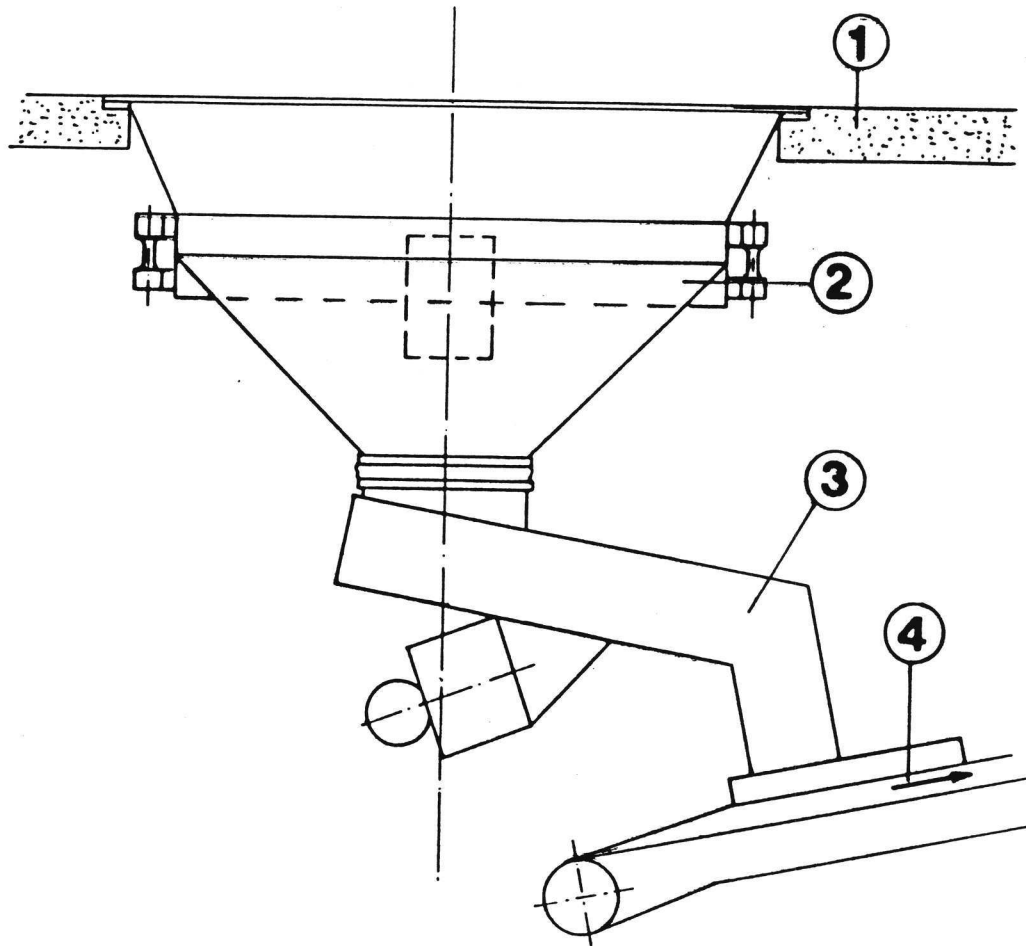
Figure 7.



- ① Discharge unit
- ② Aeration unit
- ③ Slide construction
- ④ Belt conveyor
- ⑤ Roof reclaiming tunnel.

Pneumatic reclaim unit

Figure 8.



- ① Reclaim tunnel ③ Vibrating feeder
② Vibrating hopper ④ Belt conveyor

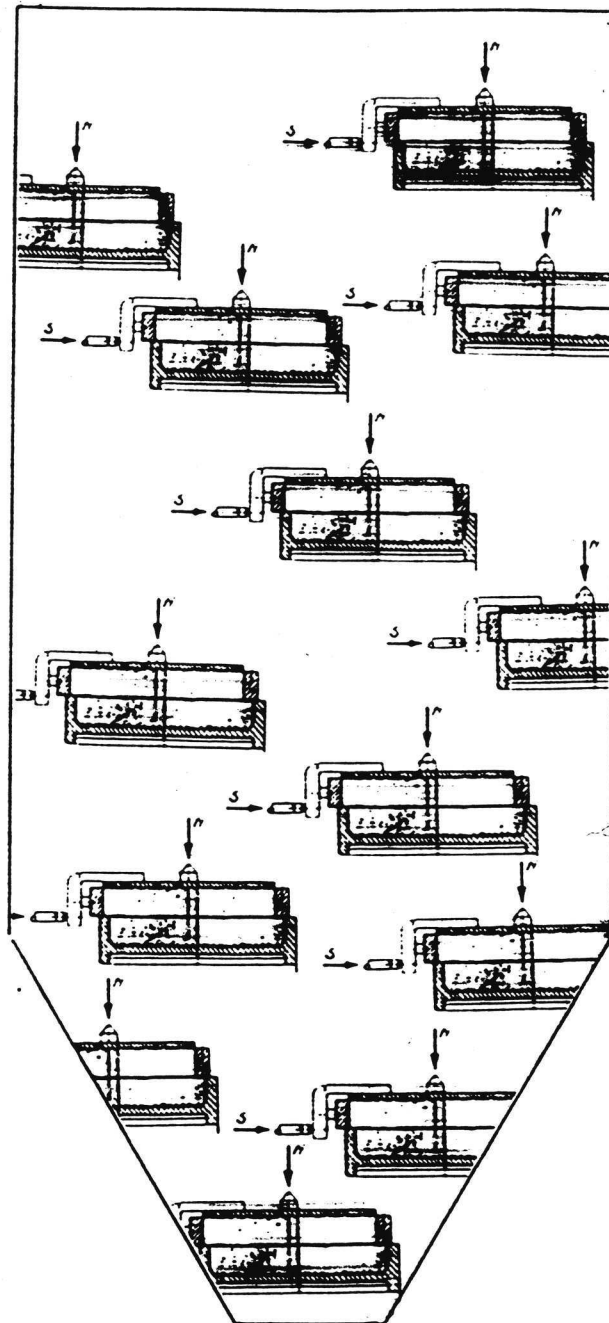
Transport van grondstoffen en produkten, Ing. J.H. Laarhuis

HET BEPALEN VAN HOOFDDIMNSIES EN
HET BEHEERSEN VAN STORTGOEDSTROMEN
IN SILO'S MET BEHULP VAN EEN
JENIKE-SHEARCELL

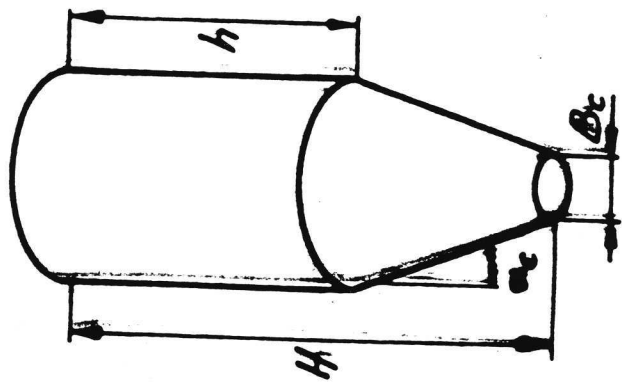
I. KENMERKEN VAN SILO'S

II. BEPALING HOOFDDIMENSIES
SILO'S

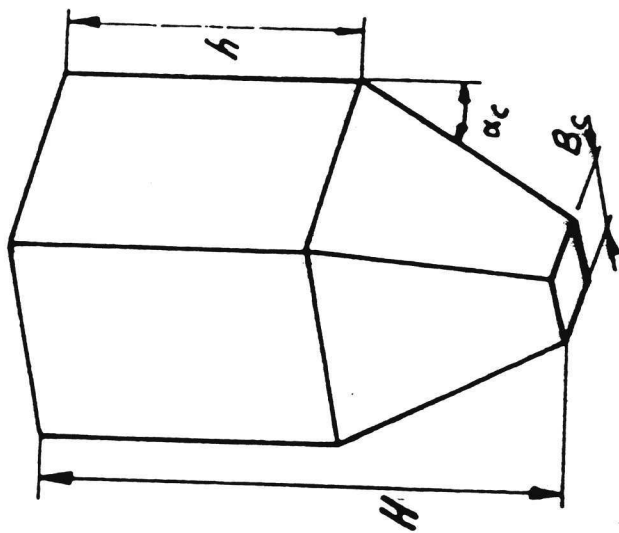
III. CASES



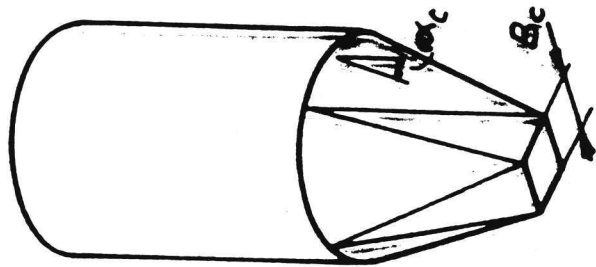
II-2C : Meetkondities stortgoed met
 inbegrip van:
 -relatieve vochtigheid
 -opslagtijd
 -temperatuur
 -consolidatie door trillingen



a

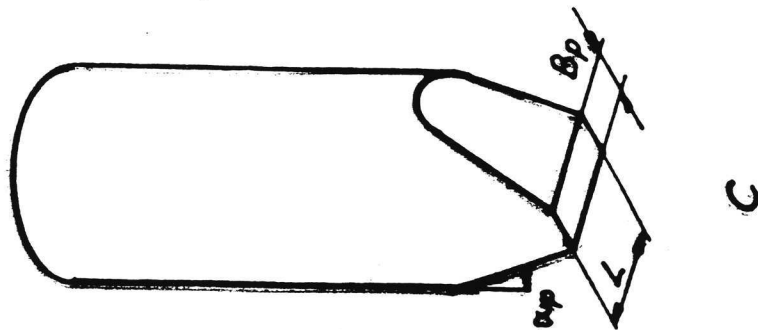
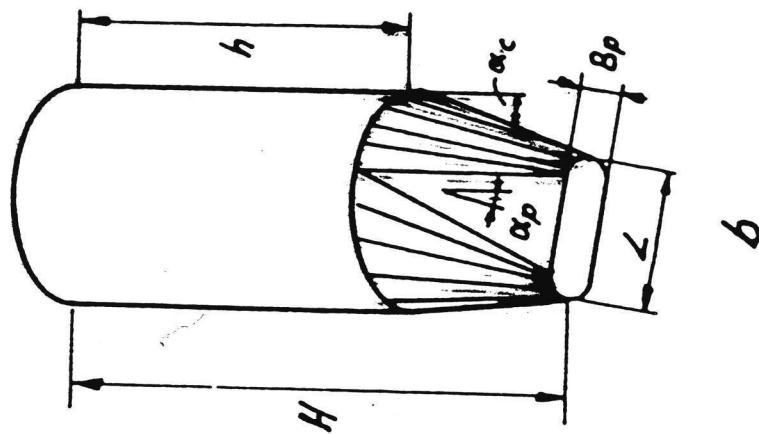
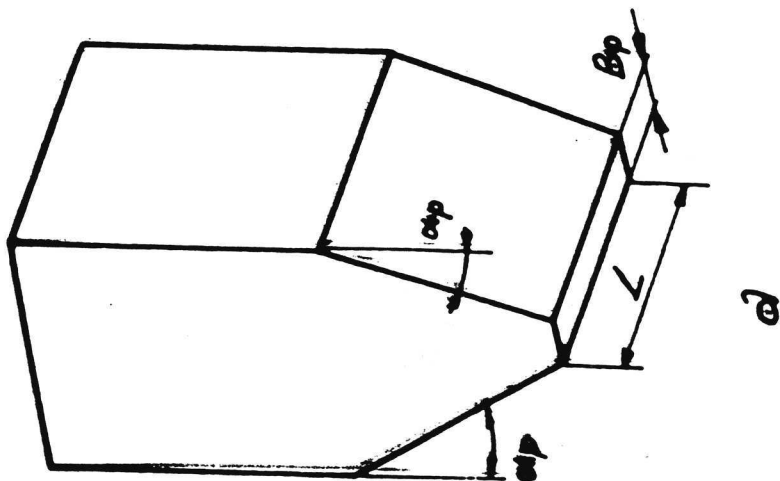


b

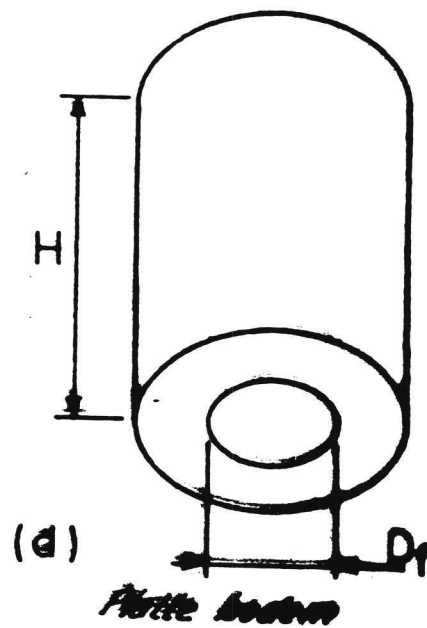
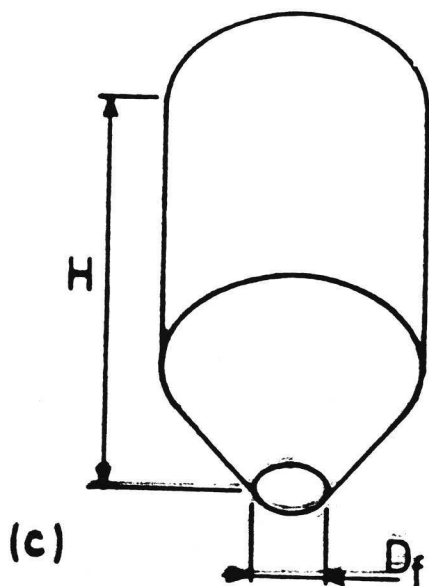
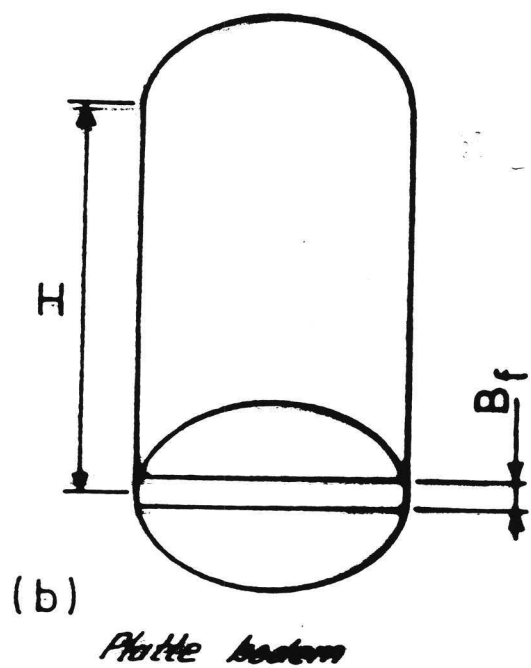
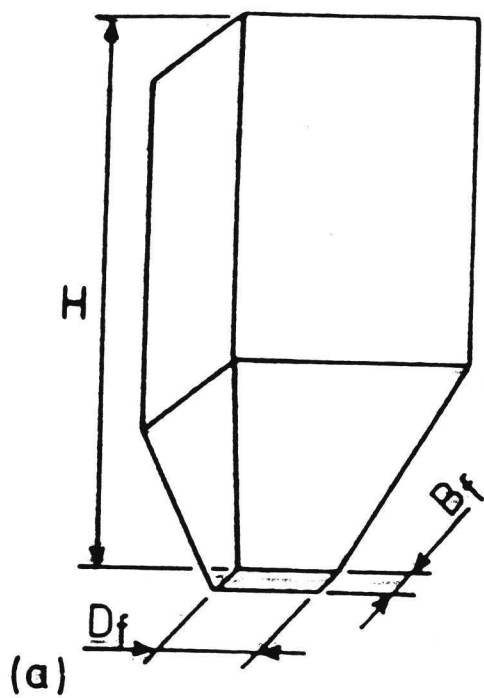


c

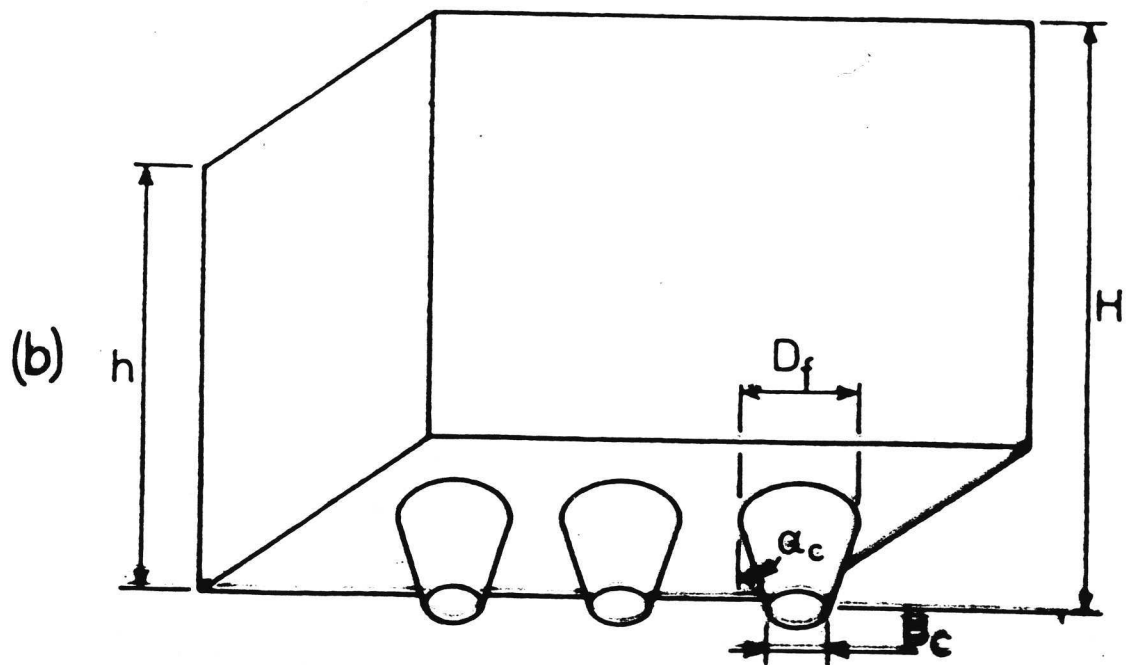
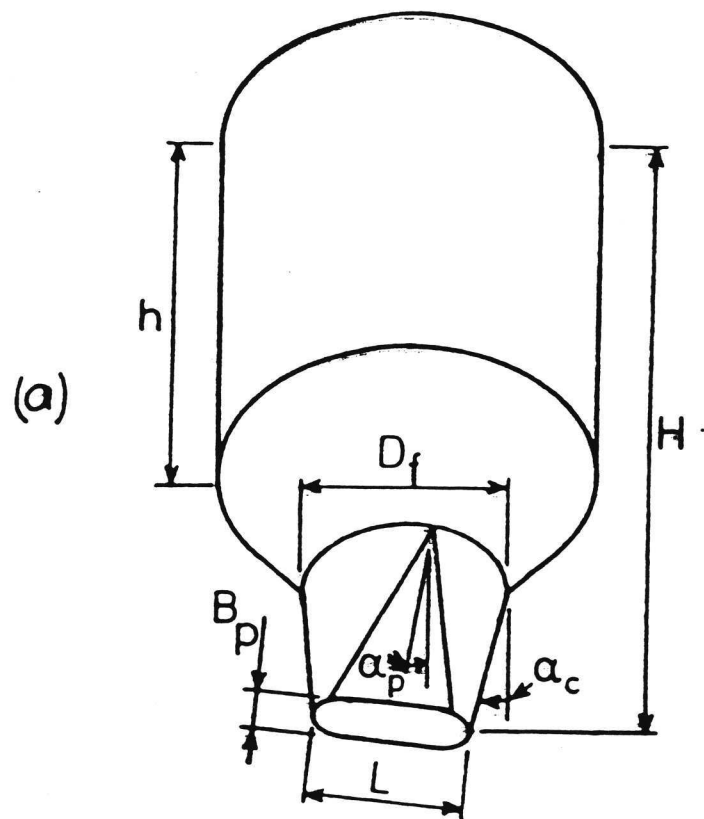
I-2A : Silo's voor axiaalsymmetrische massastroming.



I-2B : Silo's voor vlakke massastroming.



I-2C : Voorbeelden van silo's met kernstroming.



I-2D : EXPANDED FLOW

(Combinatie van massa-en kernstroming)

III. CASES

1. NIEUWBOUW

- LOOGPARELS : 3 MASS-FLOW SILO'S

2. OMBOUW

- LICHTSODA SILO : BESTAANDE VOEDINGSSILO
H.S.B.-DZL. OMGEBOUWD TOT "EXPANDED
-FLOW"

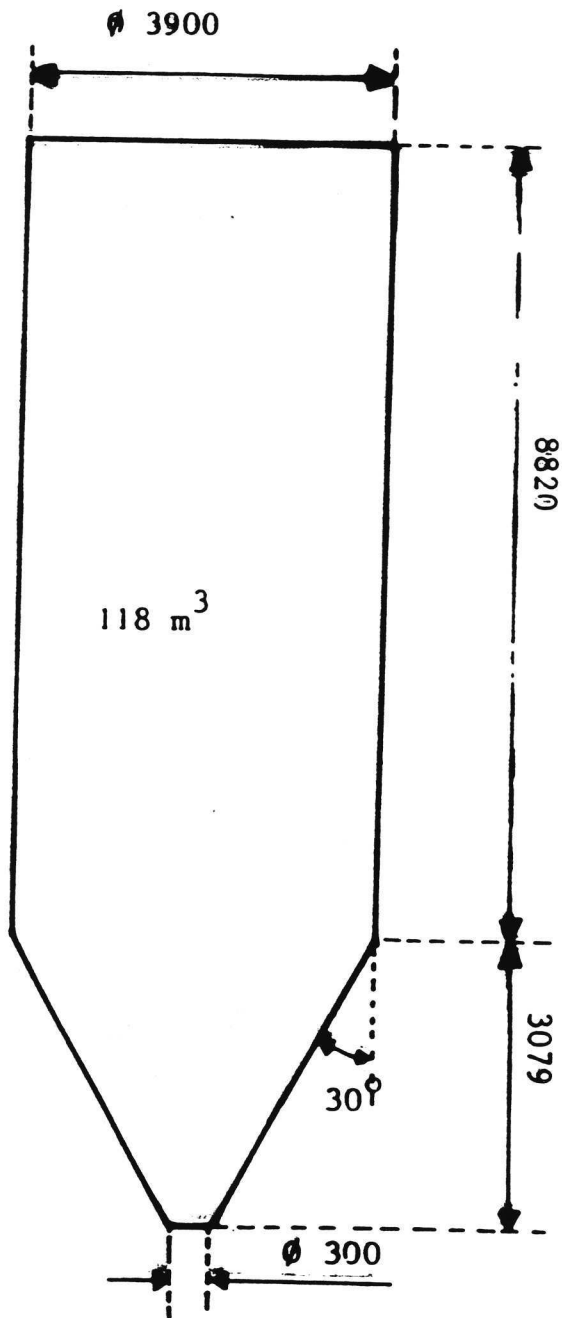
- GEMALEN KALK : BESTAANDE 3 SILO'S OMGE-
(CaO) SILO'S BOUWD TOT "EXPANDED-FLOW"
L.S.B.-DZL

- GLASGEMENG SILO : BESTAANDE GLASOVENVOE-
SILENKA-HOOG- DINGSSILO'S OMGEBOUWD
ZAND TOT (BIJNA) MASS-FLOW

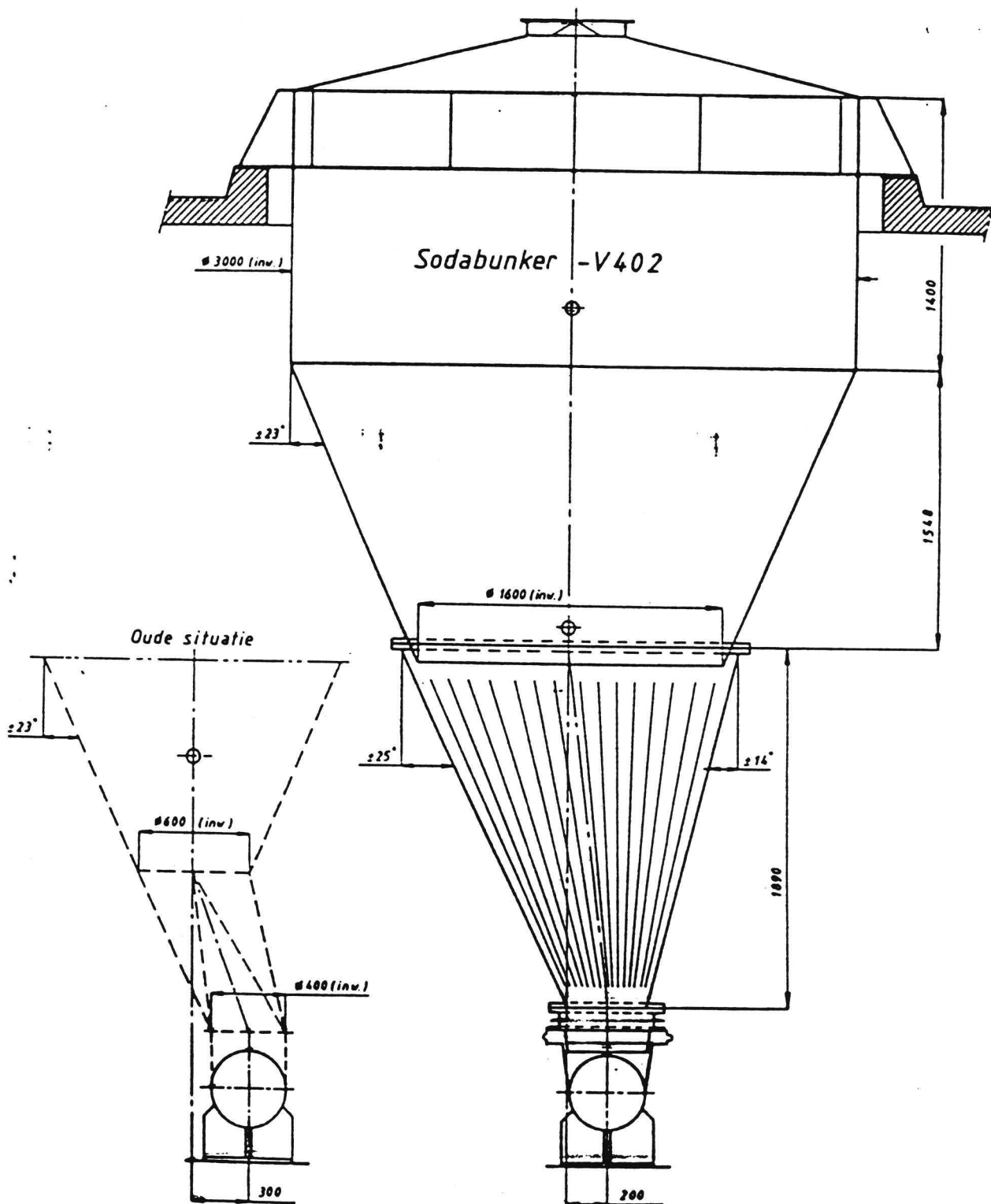
- "UNTERKORN KOM-
PAKTSALZ" SILO
NDS-STADE : BESTAANDE SILO OMGEBOUWD
TOT MASS-FLOW

- N.A.S. SILO
AKZO CHEMIE
A'-DAM : BESTAANDE SILO OMGEBOUWD
TOT ?

LOOGPAREL SILO



Doorsnede A-A



Benennung

WIJZIGING SODABUNKER-V402

Deze winning bleef onbetreft van
Abro Zout Chemie Nederland B.V.
De ondernemer is verplicht tot 1972 voor te strengen, dat
de winning met zout gewonnen wordt van de aardwater
hand met zout gewonnen van de aardwater gewonnen van de aardwater
concentratie, dat de winning van Abro Zout Chemie
Nederland B.V., Boortorenweg 20 Hengelo (O), te ver-
zoeken, dat de winning van Abro Zout Chemie Nederland B.V., Boortorenweg 20 Hengelo (O), te ver-

SCHNITT 1: 20

Lower

GOLDEN RULE ZONE

44 78-92-75

Case

A-3

Akzo Zout Chemie Nederland B.V.

[illegible]

Oude situatie

Benennung

[illegible]

Scritta 1: 20

Logger

CELESTIAL v. 0.2.0

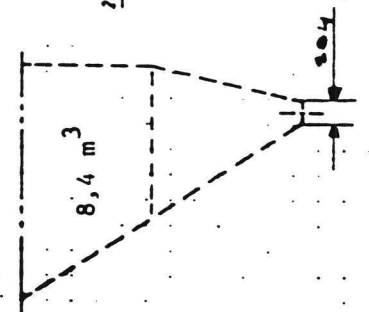
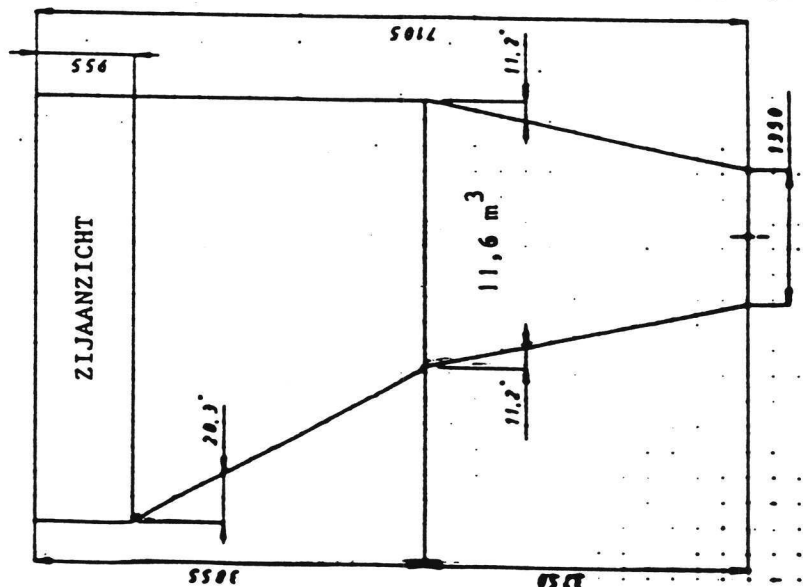
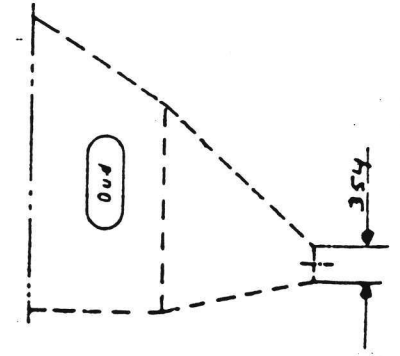
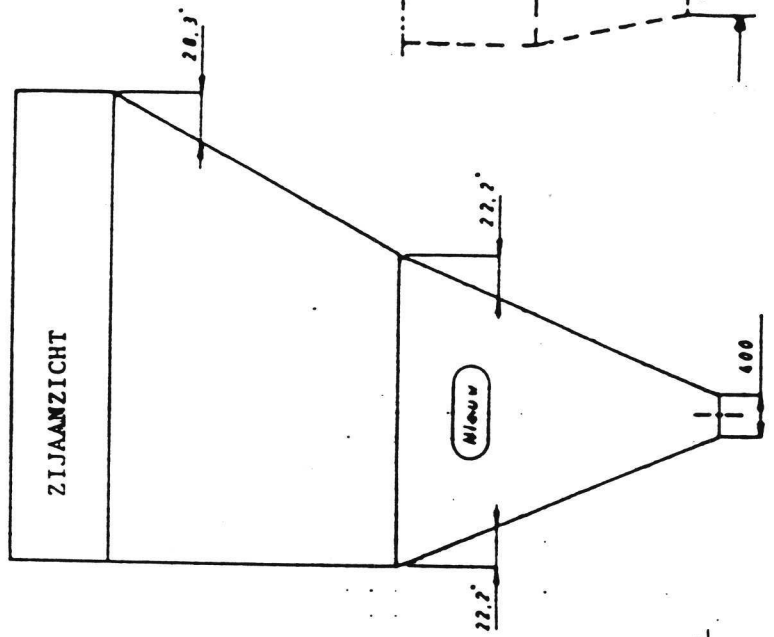
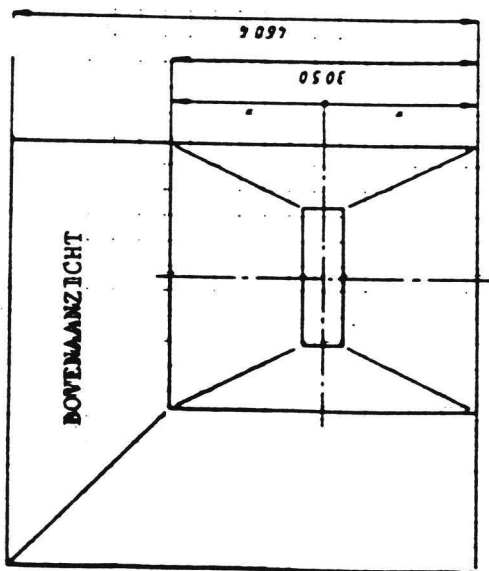
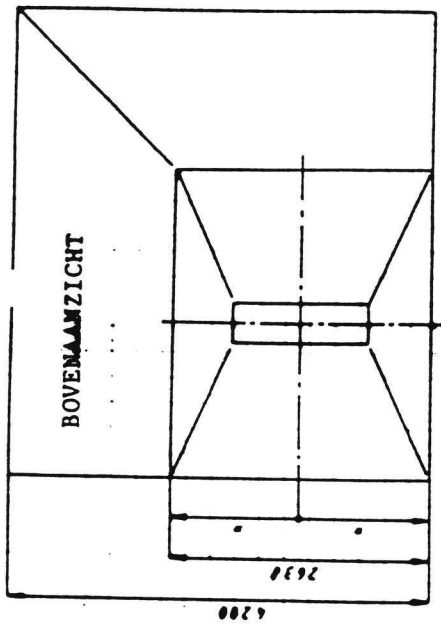
48 72-8-19



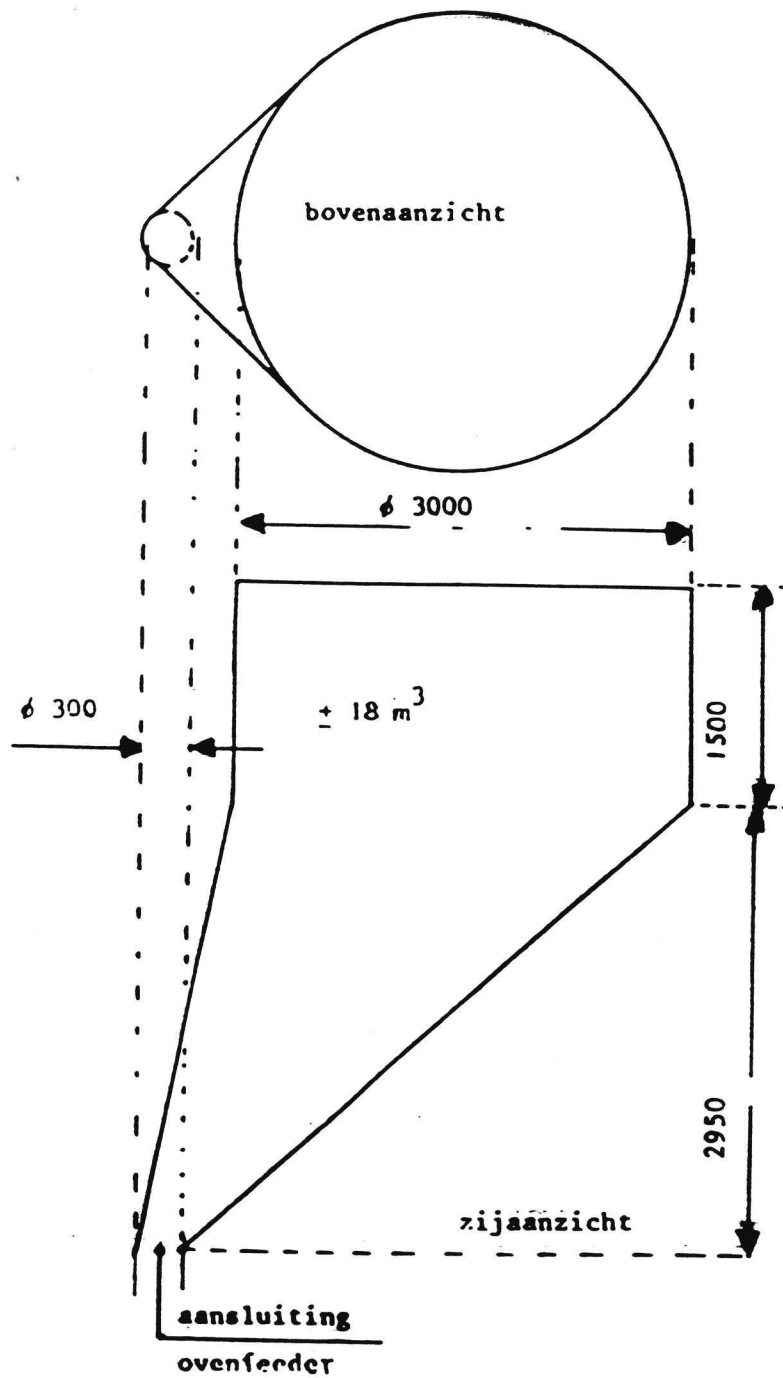
A-3

Alzo Zout Chemie Nederland B.V.

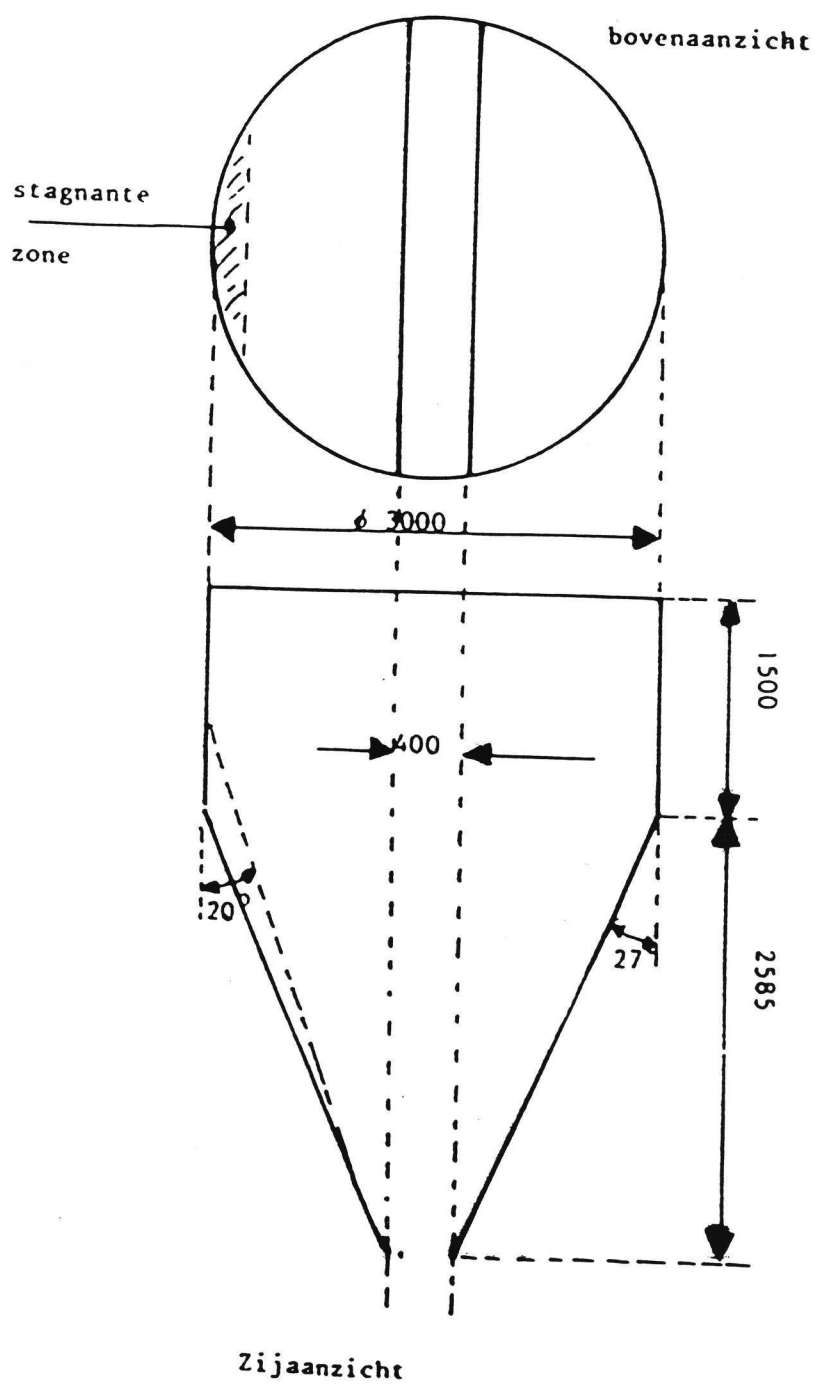
GEMALEN KALK SILO



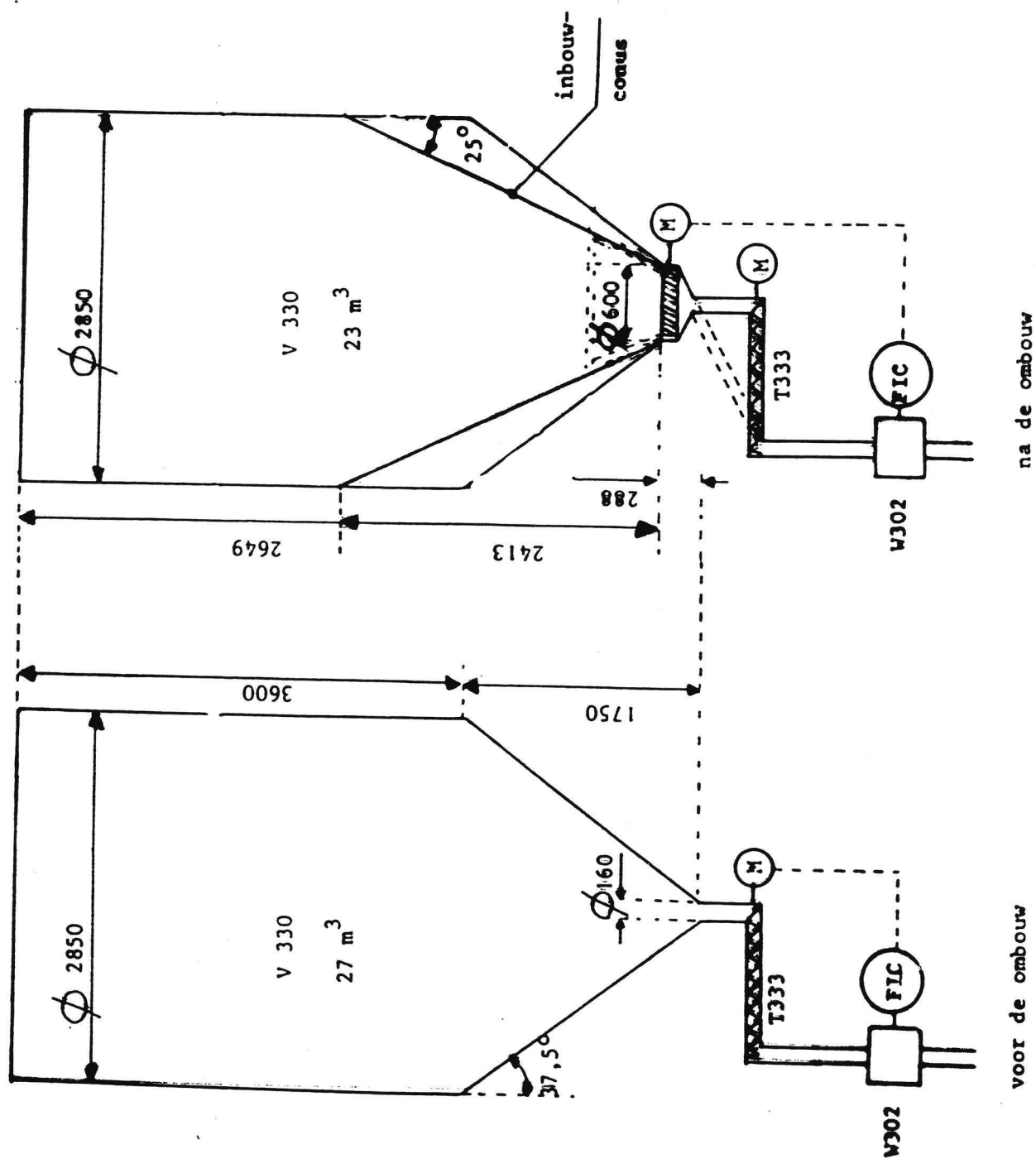
Oorspronkele uitvoering
Glasgemeng-silo



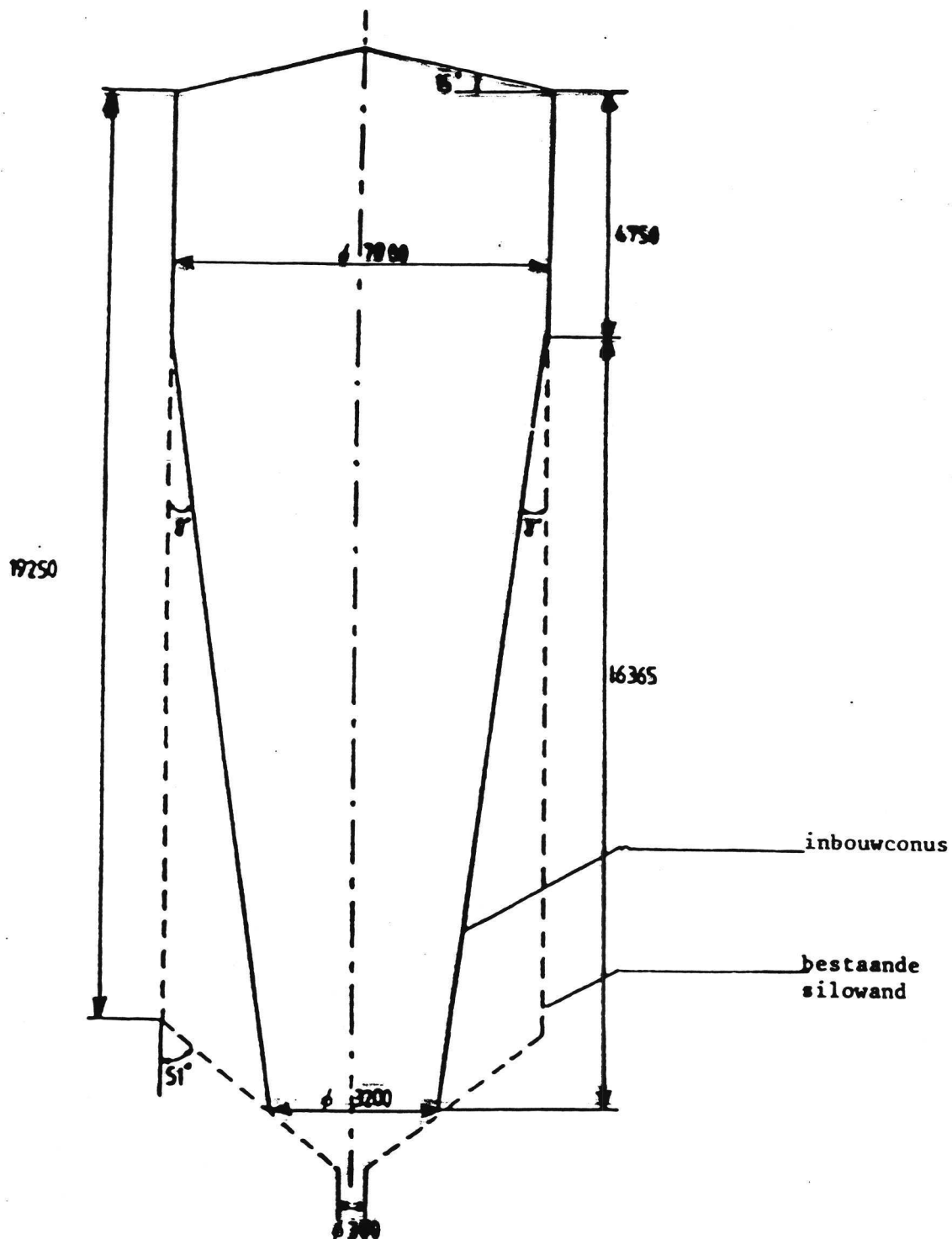
Glasgemeng-silo na ombouw



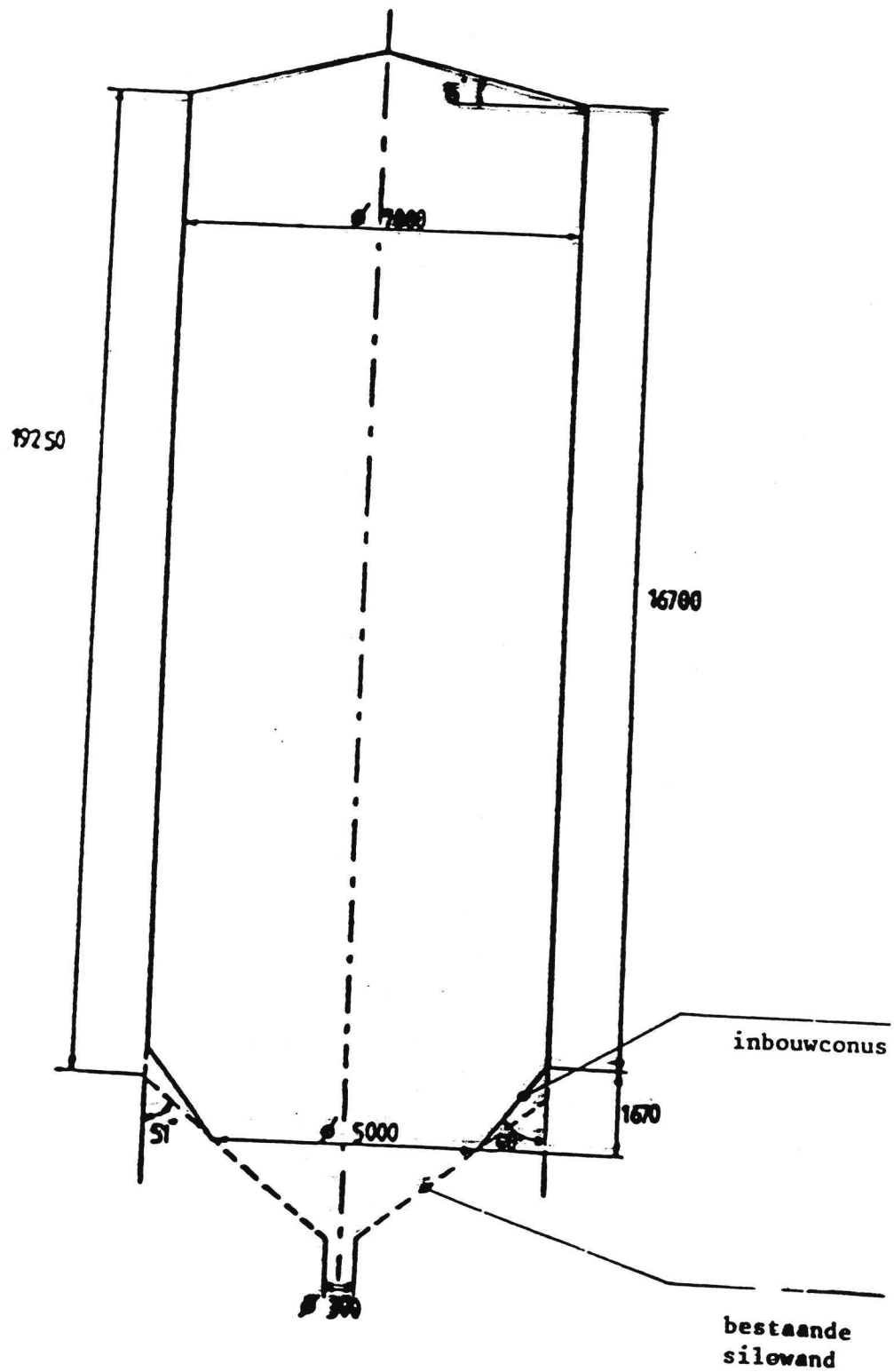
"Unterkorn-kompaktsalz" Silo



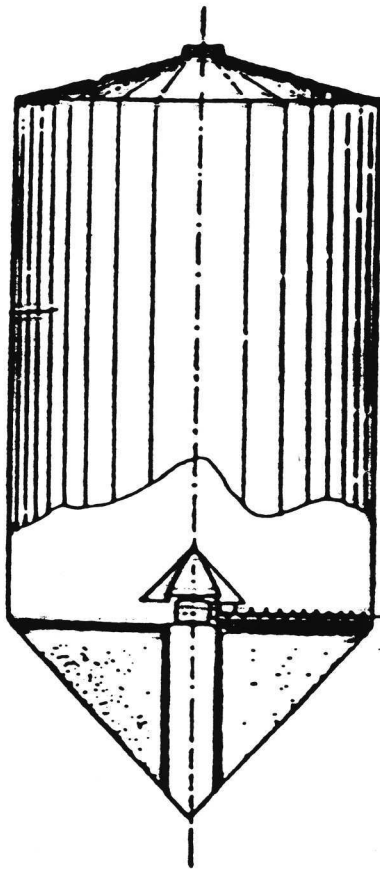
Mass Flow ontwerp N.A.S.-Silo



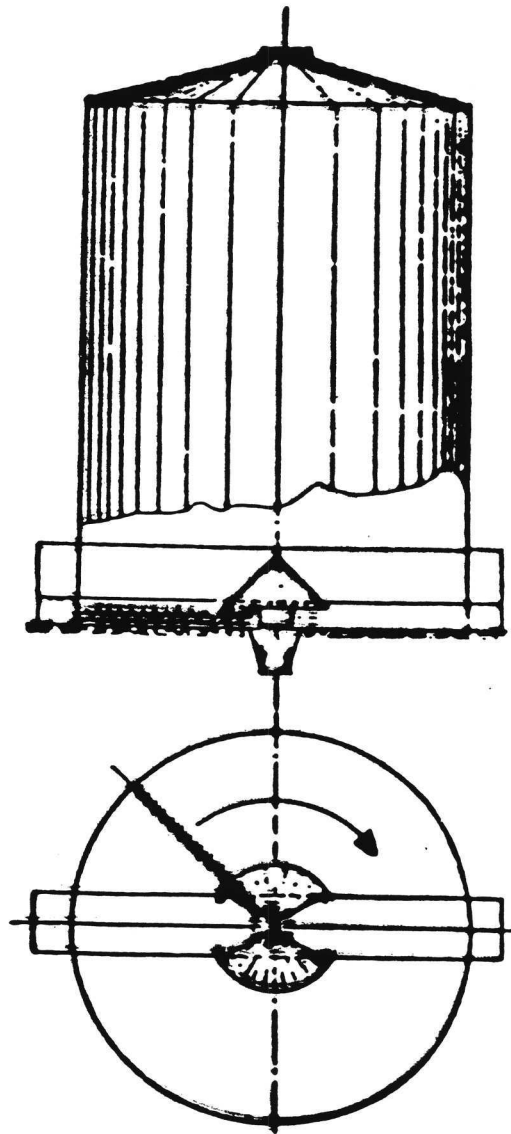
Core-flow ontwerp N.A.S.-Silo



Principe ontwerp N.A.S. Silo



roterende uitdraagschroef



Dr.Ir.J.A.H. de Jong (AKZO Research Laboraties)

Inleiding blok 2: Mengen en agglomereren

Titel : Vastleggen van mengsels d.m.v. granuleren

Een mengsel van deeltjes heeft in veel gevallen de neiging tot segregatie of ontmenging.

Aangegeven wordt wanneer en onder welke omstandigheden dit vooral optreedt.

Een veel gebruikte methode om deze segregatie te voorkomen is granuleren. Dit granuleren kan gebeuren d.m.v. het aan elkaar plakken van deeltjes en/of door een proces waarbij deeltjes onder druk samenhang gaan vertonen.

Na enige theoretische beschouwingen over de krachten tussen deeltjes die bij de granuleerprocessen optreden, zal aan de hand van enkele voorbeelden aangetoond worden dat zowel het proces als de eigenschappen van de granulaten sterk afhangen van de eigenschappen van de deeltjes en de concentraties.

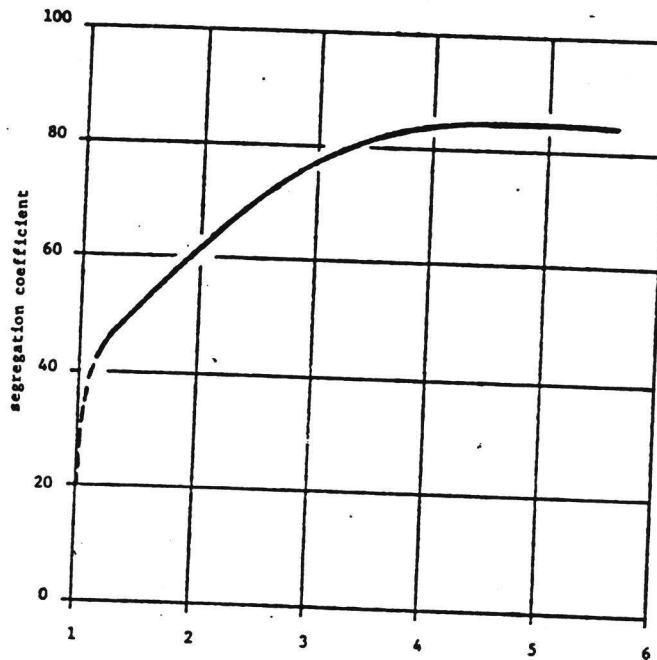
VASTLEGGEN VAN MENGSELS
DMV GRANULEREN

J.A.H. DE JONG - AKZO RESEARCH - CRP DEPT.
ENGHEDE, 10 DEC. 1991
NRLO.

DOEL VAN HET VERGROTEN

- STROMINGS EIGEN SCHAPPEN
- TRANSPORT
- OPSLAG
- HOGER STORTGEWICHT
- SEGREGATIE
- COMPRESSIBILITEIT
- STOF
- EXPLOSIE GEVAAR
- UITERLYK
- WARMTE OVERDRACHT
- VERLIES tgv OXYDATIE
- ETC.

INVLOED DEELTJESDIAMETER



: Variation of coefficient of segregation in binary mixtures having various particle diameter ratios [3]

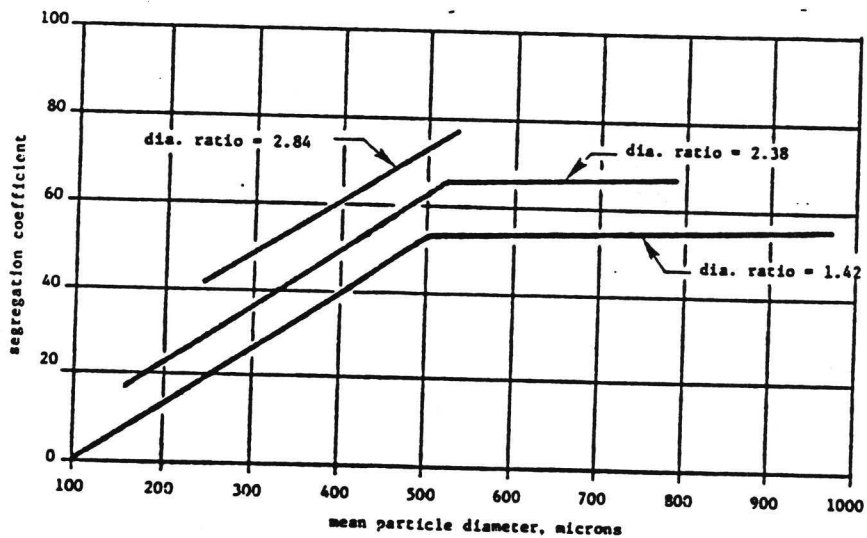
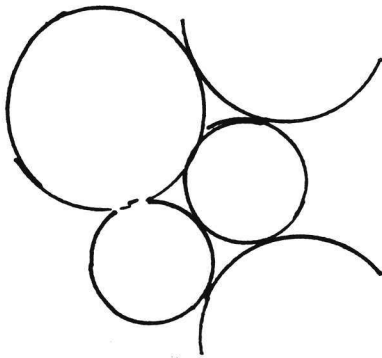


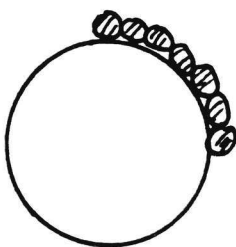
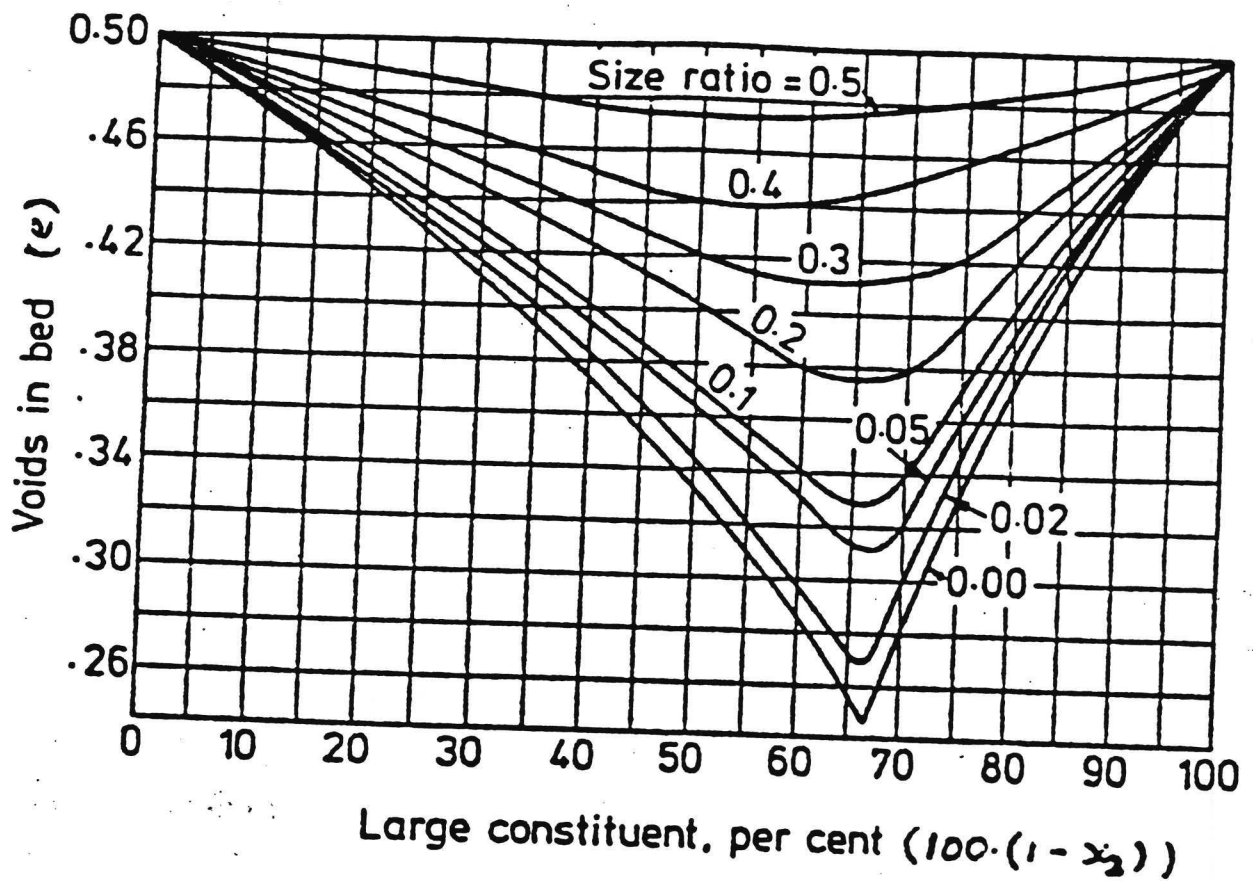
Fig. 2: Variation of coefficient of segregation in binary mixtures having various particle diameter ratios and mean particle diameters [3]

ZELFS KLEINE VERSCHILLEN IN DIAMETER (~10%)
GEVEN AL SEGREGATIE

MIXTURES

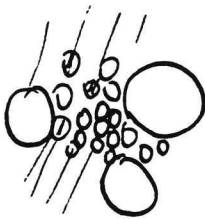


DENSITY IS A FUNCTION OF
SIZE RATIO



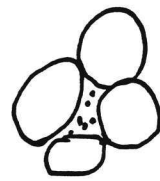
DENSITY APPROX. CONSTANT

WHEN INTERACTION



LARGE PARTICLES
DON'T SEE EACH OTHER

PROPERTIES OF SMALL
PARTICLES DOMINANT



ISOLATED "GROUPS"
OF SMALL PARTICLES

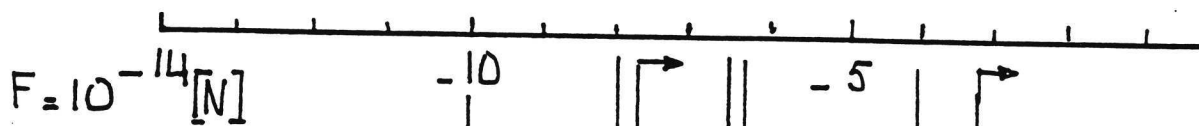
PROPERTIES OF
LARGE PARTICLES
DOMINANT

WANNEER BESTAAT EEN GRANULAAT

ALS DE UITWENDIGE KRACHTEN KLEINER
ZIJN DAN INWENDIGE (INTERPARTICLE) KRACHTEN

INTERPARTICLE KRACHTEN

KWARTS $d = 1 \mu m$



- ELECTR. DUBBELLAAG

- VANDERWAALS
MET DEFORMATIE

- CAPILLAIR
PENDULAR
CAPILLARY

- VISCEUZE VLSTF

- FINES

- VASTE STOF
SINTEREN
KRISTALLISATIE

- INTER LOCKING

$$\sim q^2 d^2 / \pi \epsilon_0 z_0^2$$

$$A d / 12 z_0^2$$

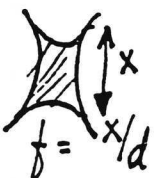
$$A d / 12 z_0^2 [1 + \text{CONST} \frac{N}{G_y d}]$$

$$\frac{n d \alpha (1 - 1/2)}{G d \gamma}$$

$$6 n \eta d^2 v / x^*$$

$$\frac{\pi}{96} \frac{1 - e_f}{e_f} d_f^2 \frac{A}{z_0^2 d_f} **$$

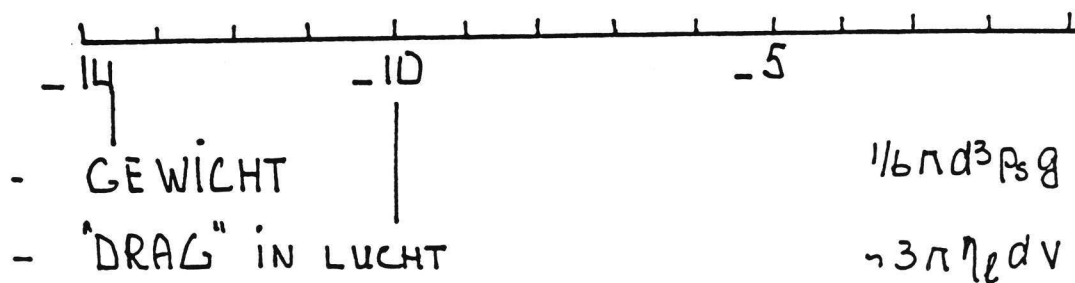
$$\sim d_f^2 T_{\text{ZOUT}}$$



$$* 1 \text{ cP } 1 \text{ cm/s } x/d \sim 10^{-2}$$

$$** d/d_f \sim 500$$

UITWENDIGE KRACHTEN



VANDER WAALS KRACHTEN VOOR MENGSELS

$$F = \frac{\bar{A} d_1 d_2}{24 (d_1 + d_2) z_0^2}$$

KWARTS

$$d_1 = d_2 = 10 \mu m$$

$$A = 10^{-19} J$$

$$F^* = A \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}$$

$$= 10^{-18}$$

$$\frac{F^*}{d^3} \sim 10^{-21}$$

WAX

$$d_1 = d_2 = 1 \mu m$$

$$A = 10^{-20} J$$

$$F^* = 10^{-20}$$

$$\frac{F^*}{d^3} \sim 10^{-20}$$

$$d_1 = 10 \quad d_2 = 1 \mu m$$

$$\bar{A} \approx \sqrt{A_1 A_2} \approx 3 \cdot 10^{-20}$$

$$F^* \sim 3 \cdot 10^{-20}$$

$$\frac{F^*}{d^3} \sim 3 \cdot 10^{-20}$$



STABILITEITS CRITERIUM: $\frac{F^*}{\text{GEWICHT}} \sim \frac{F^*}{d^3}$

DUS: - WAX HECHT GOED AAN KWARTS DEELTJES

- WAX ZAL OOK AAN ZICHZELF HECHTEN $\rightarrow$ AGGL.

- KWARTS DOET 'NIETS'

SIZE ENLARGEMENT

GAS PHASE

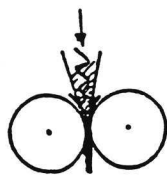
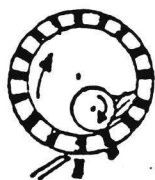
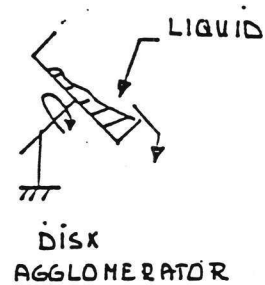
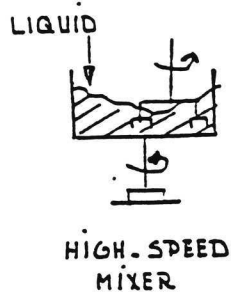
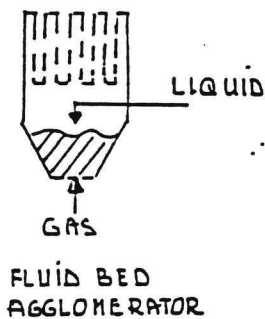
- SUBLIMATION

LIQUID PHASE

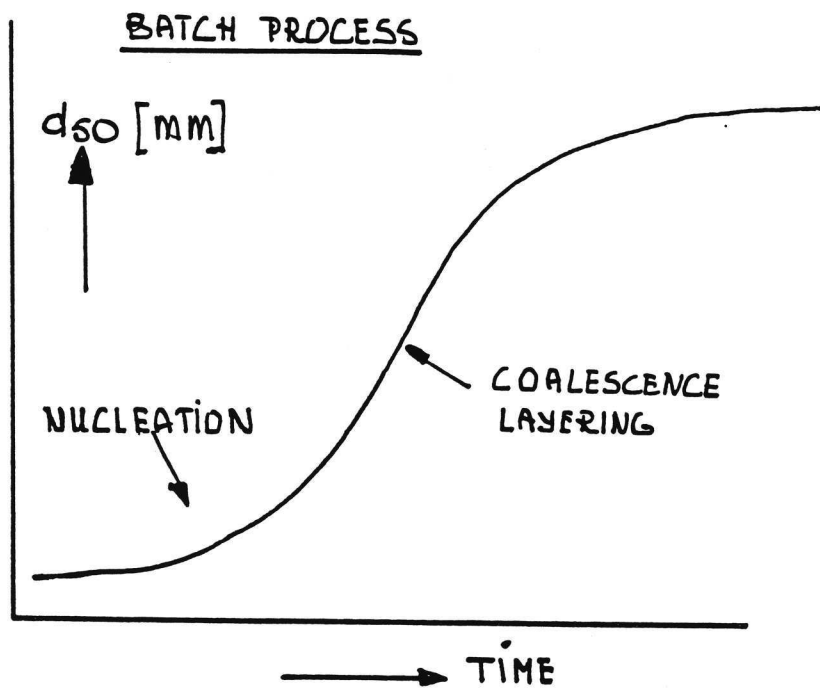
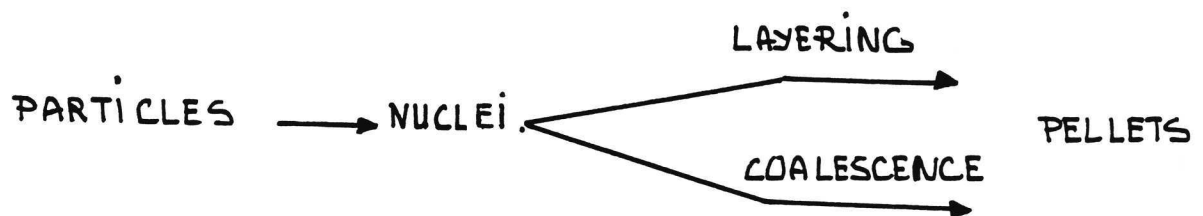
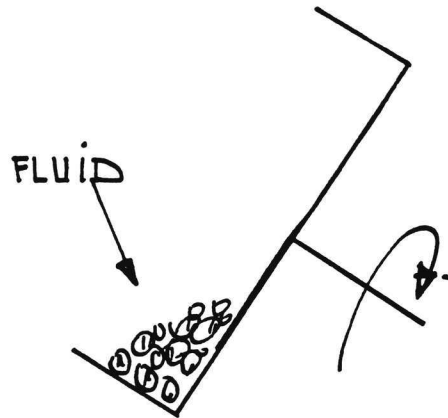
- FLAKING, CRYSTALLISATION,
PRILLING, SPRAY-DRYING, ETC.

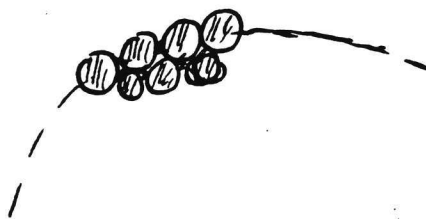
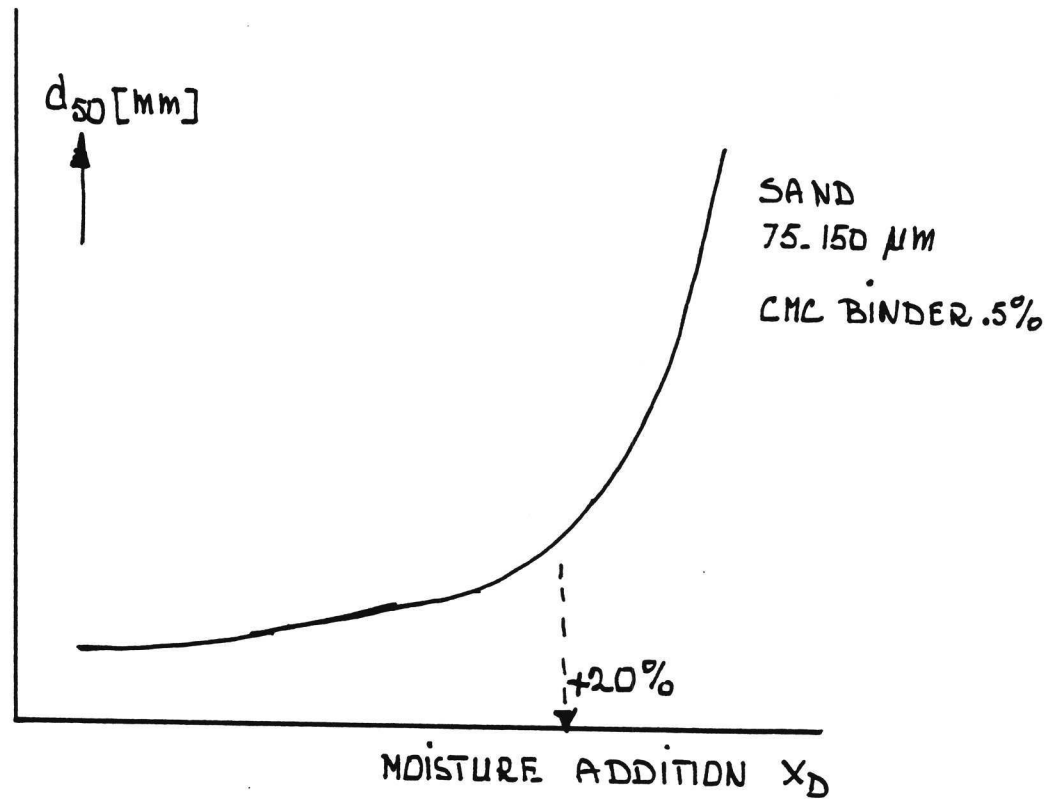
SOLID PHASE

SIZE ENLARGEMENT APPARATUS



PELLETIZATION



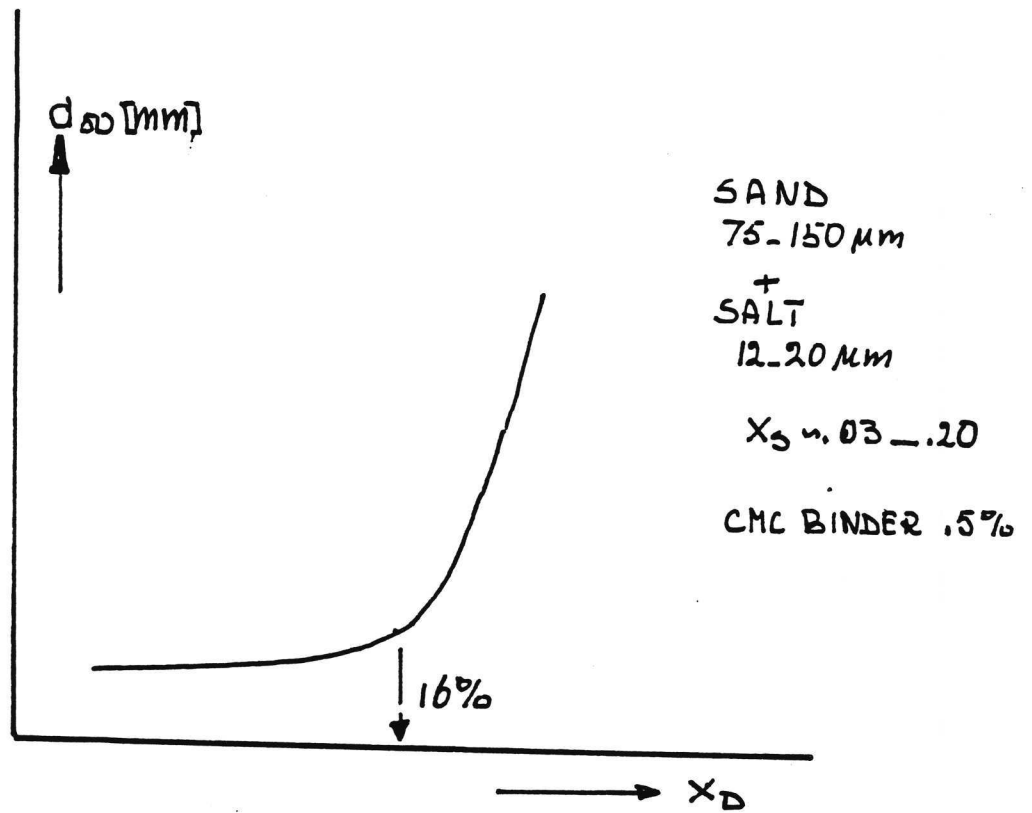


GROWTH OCCURS WHEN
SATURATION DEGREE

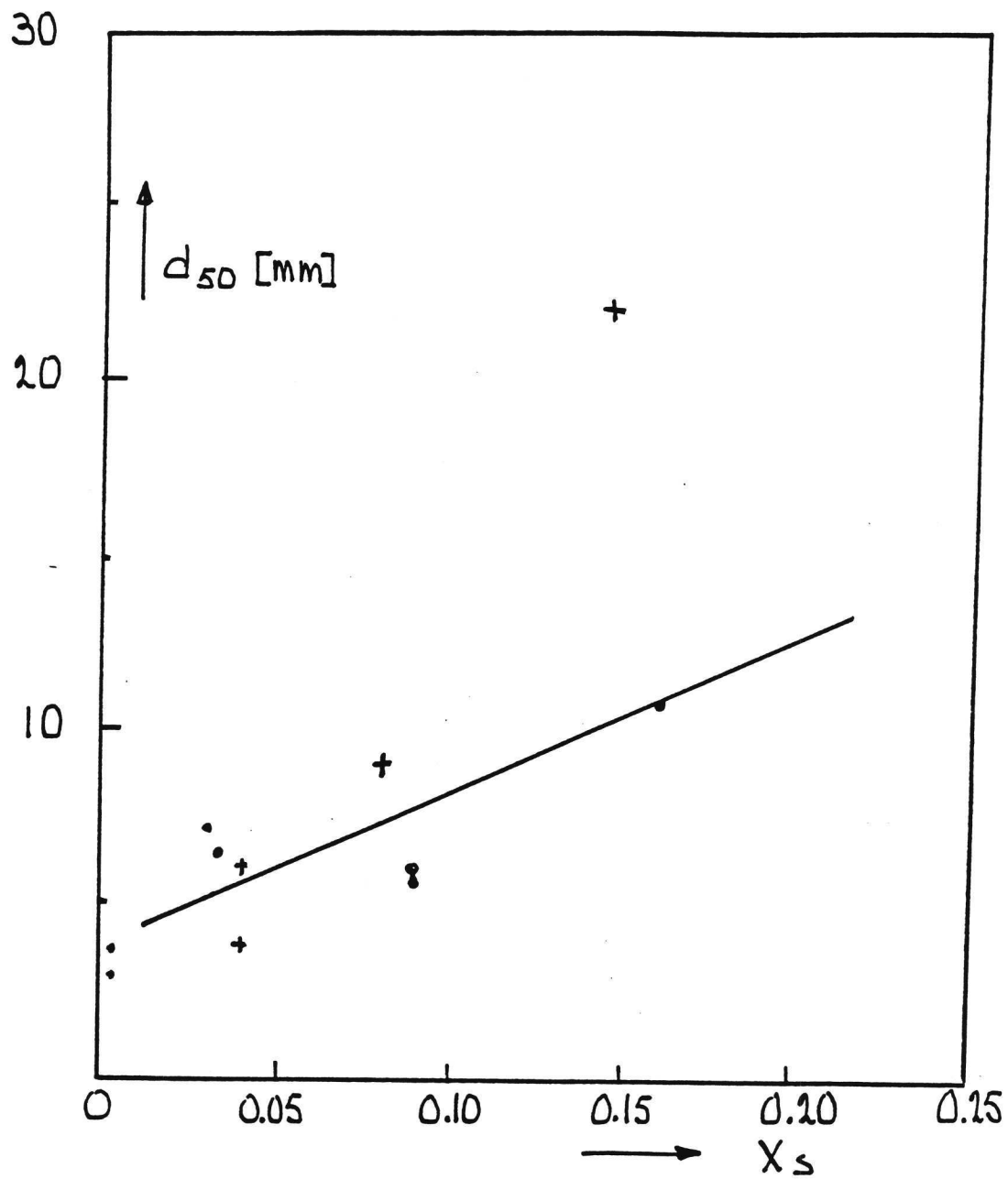
$$S \sim 0.8-0.95$$

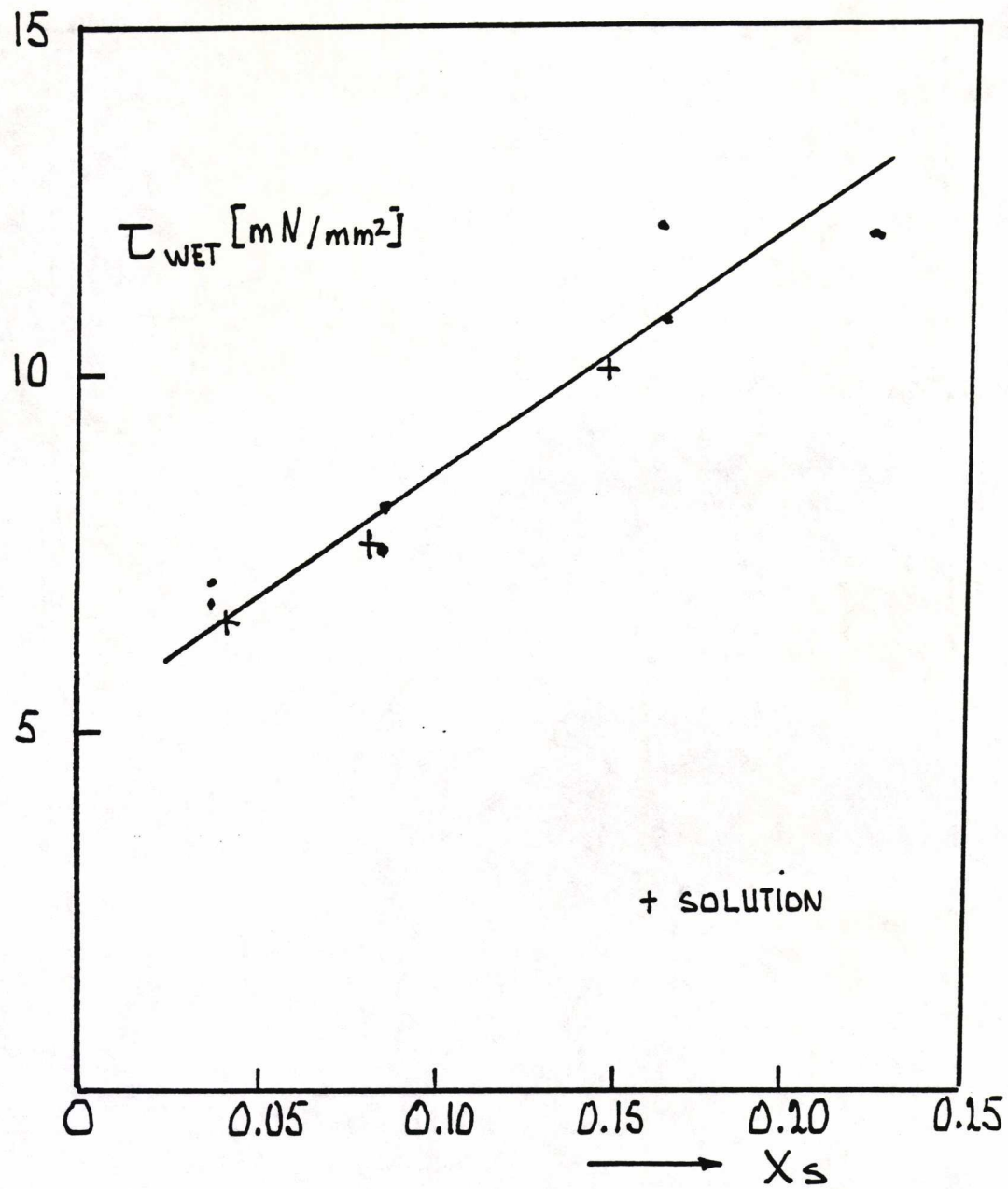
→ WET SURFACE

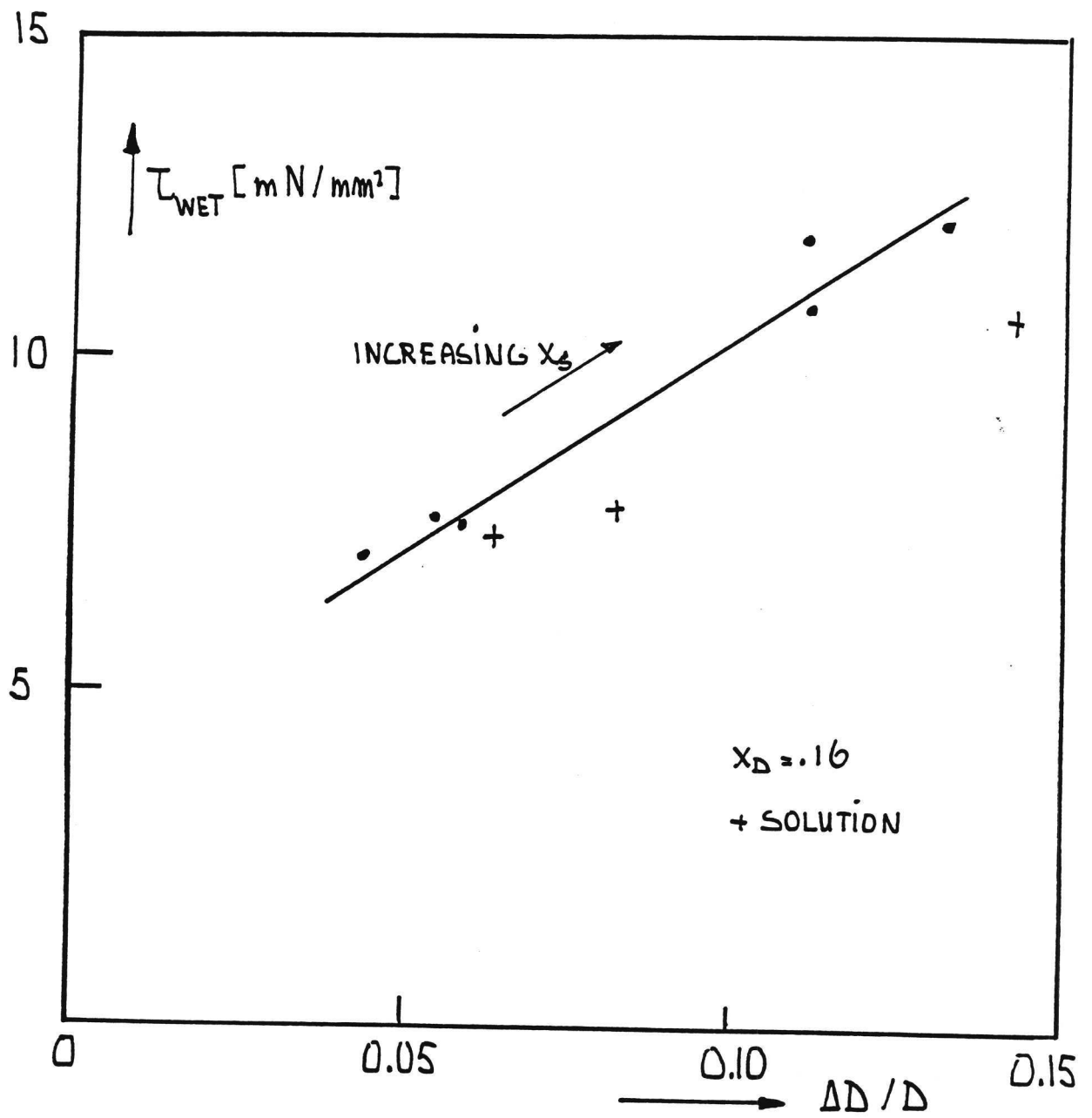
$$S \equiv X_D \frac{1-e}{e} \frac{P_s}{A_w}$$



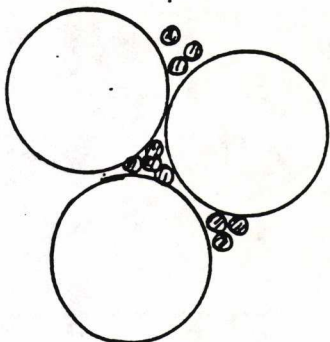
$S \sim 0.6-0.7$



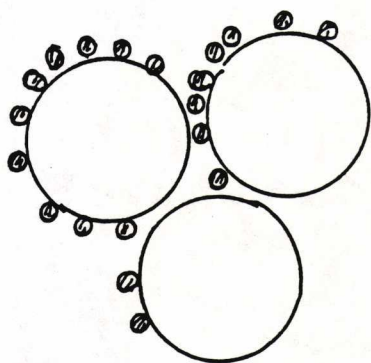




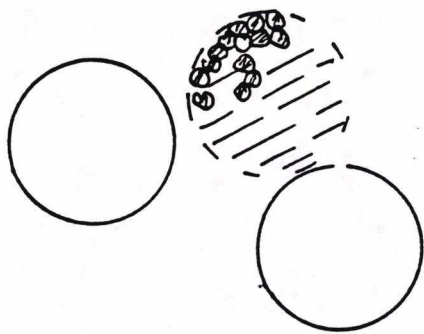
POSSIBILITIES



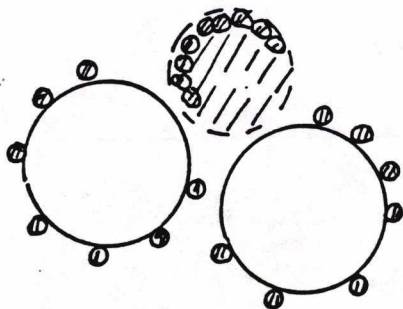
VOIDS FILLED WITH SALT



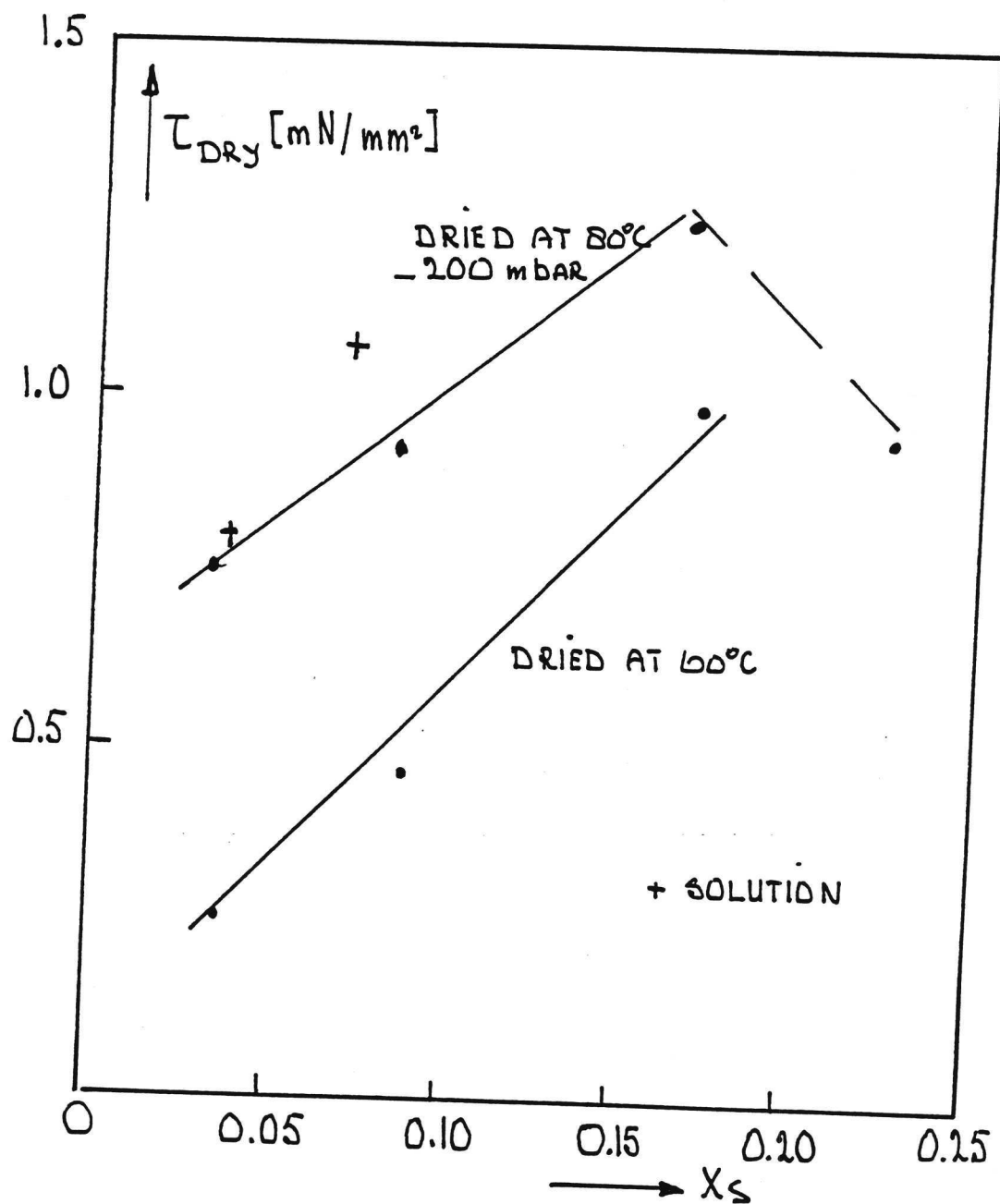
PARTICLES 'COATED'
WITH SALT



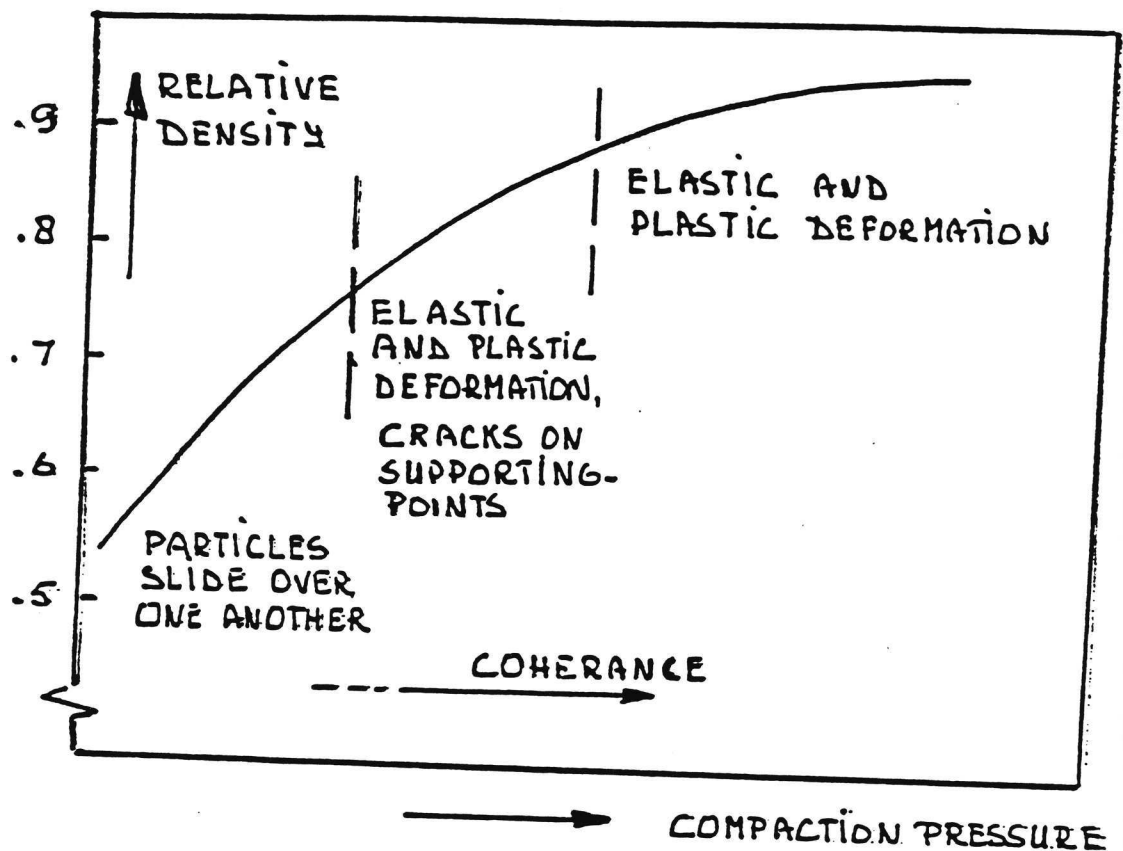
SALT PARTICLES FORM
SEPARATE
AGGLOMERATES



AGGLOMERATION AND
'COATING' LAYER



COMPRESSION

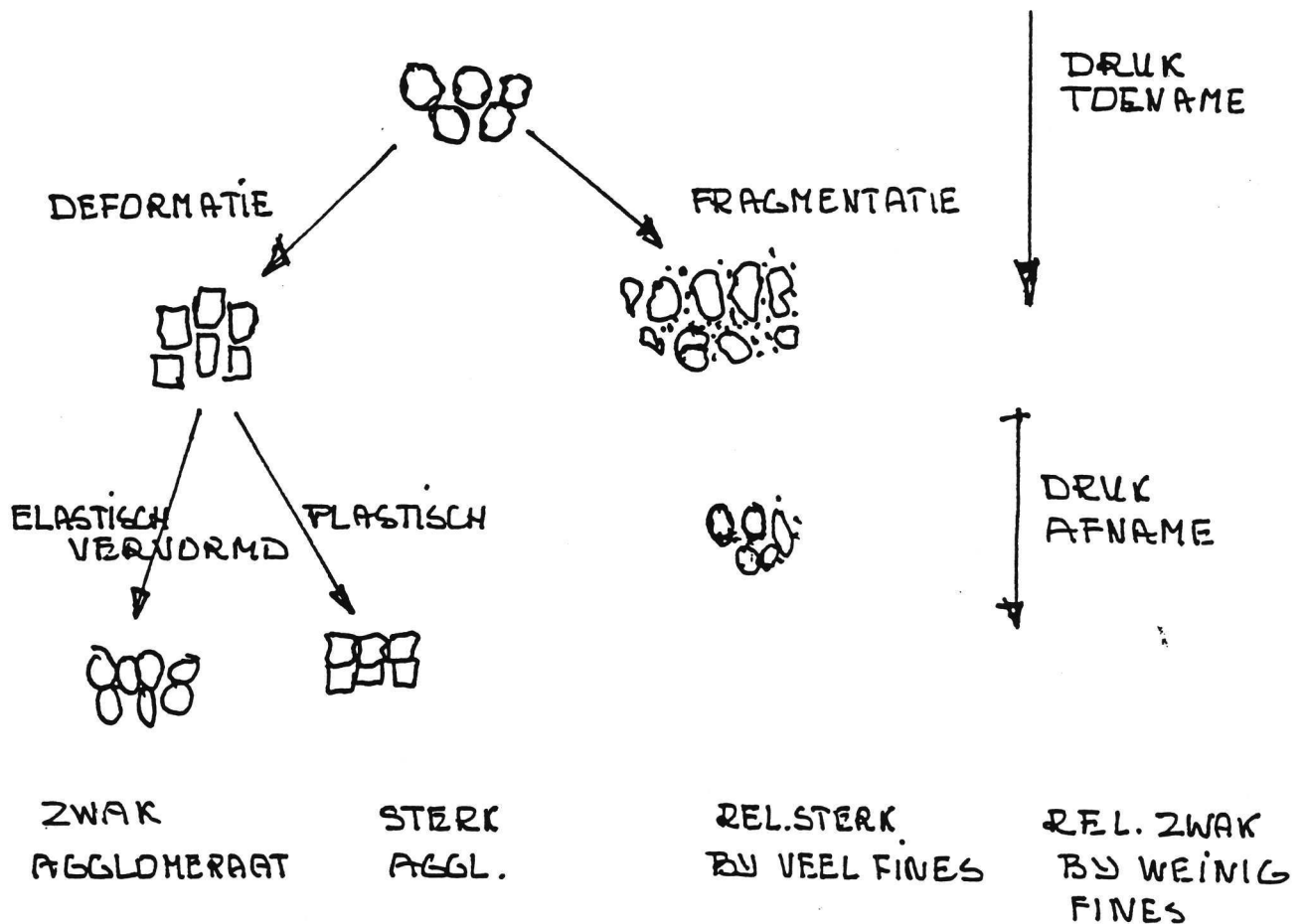


PROBLEM AT TABLETTING:

WHEN THE PRESSURE DROPS ELASTICITY
CAUSES JAMMING IN THE DIE

—————→ LUBRICANT

VERSCHIL IN STERKTE PLASTIC vs BRITTLE MATERIAAL



BY OPTREDEN VAN FRAGMENTATIE
BINDER OM DEELTJES TE PLAKKEN



GOED DEFORMEERBARE (PLASTISCHE) BINDER.

MIXTURE PLASTIC - BRITTLE MATERIALS

- SMALL AMOUNT OF BRITTLE MAT.

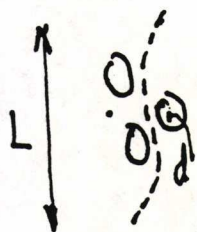


VOIDS PARTLY FILLED WITH FRAGMENTED MATERIAL

- SMALL AMOUNT OF PLASTIC MATERIAL



PLASTIC PARTICLES DO NOT TOUCH EACH OTHER



BREAKING PATH BECOMES LARGER WITH CONC. PLASTIC MAT.

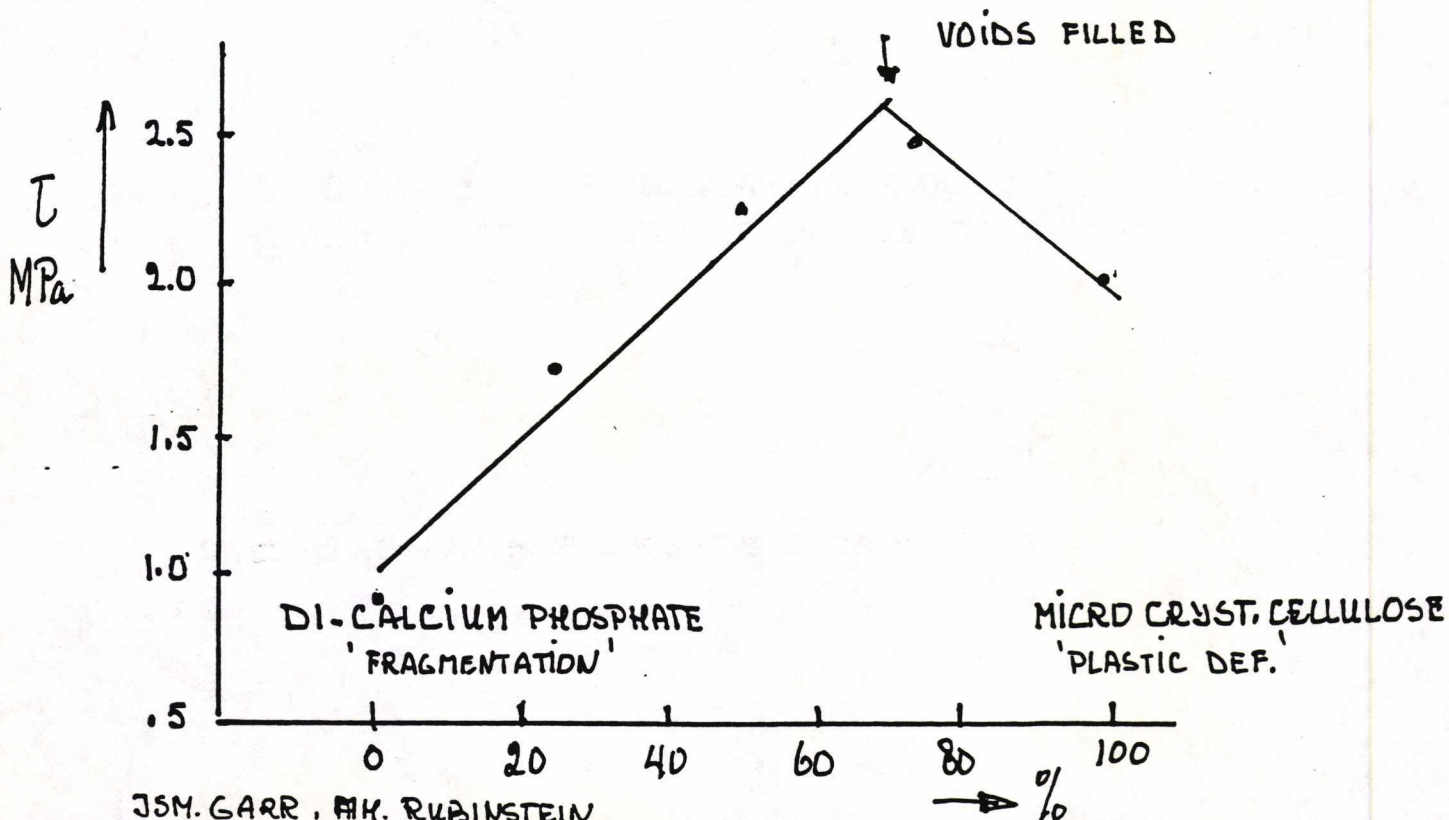
$$L^* = N\pi d + (L - Nd)$$

$$\frac{Nd}{L} = \text{conc.}$$

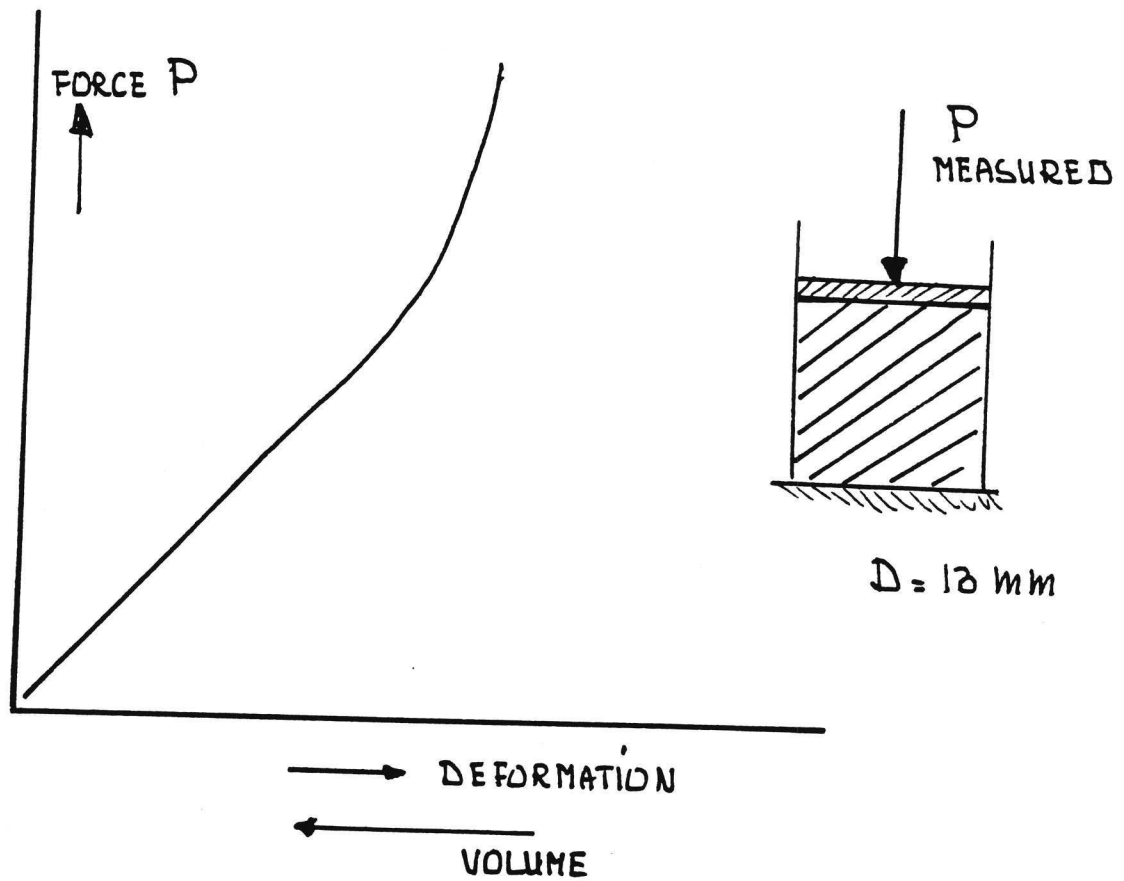
$$\rightarrow \frac{L^*}{L} = 1 + 2.1 c.$$

$$\bar{L} = \bar{L}_0 (1 + 2.1 c)$$

$$\uparrow c=0$$

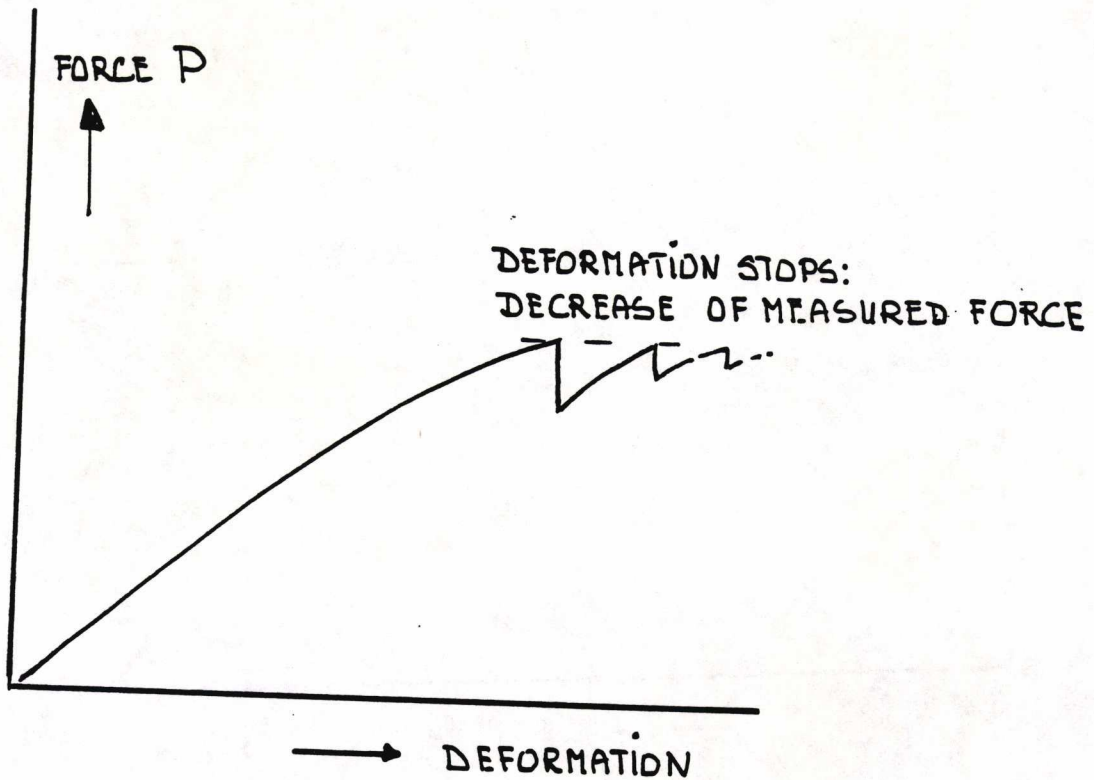


COMPRESSION 'HARD' MATERIAL

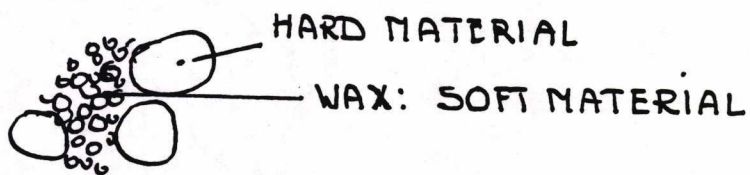


$$P = a_1 + a_2 \ln P$$

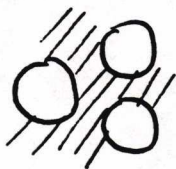
COMPRESSION 'HARD' + 'SOFT' MATERIAL



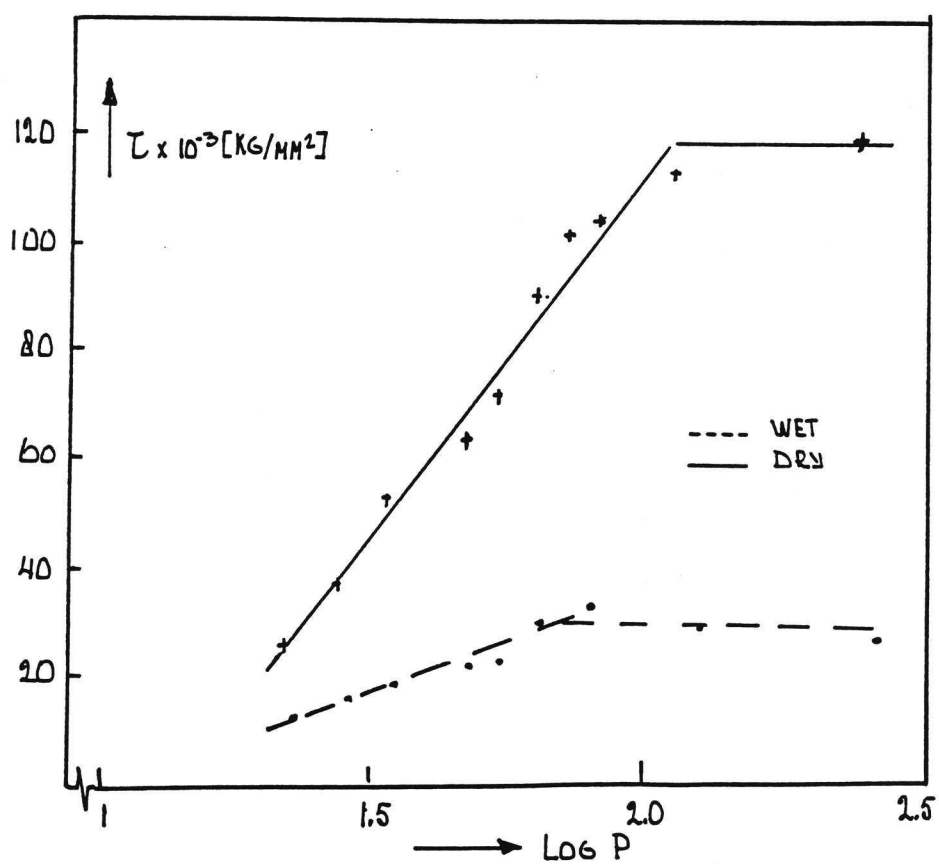
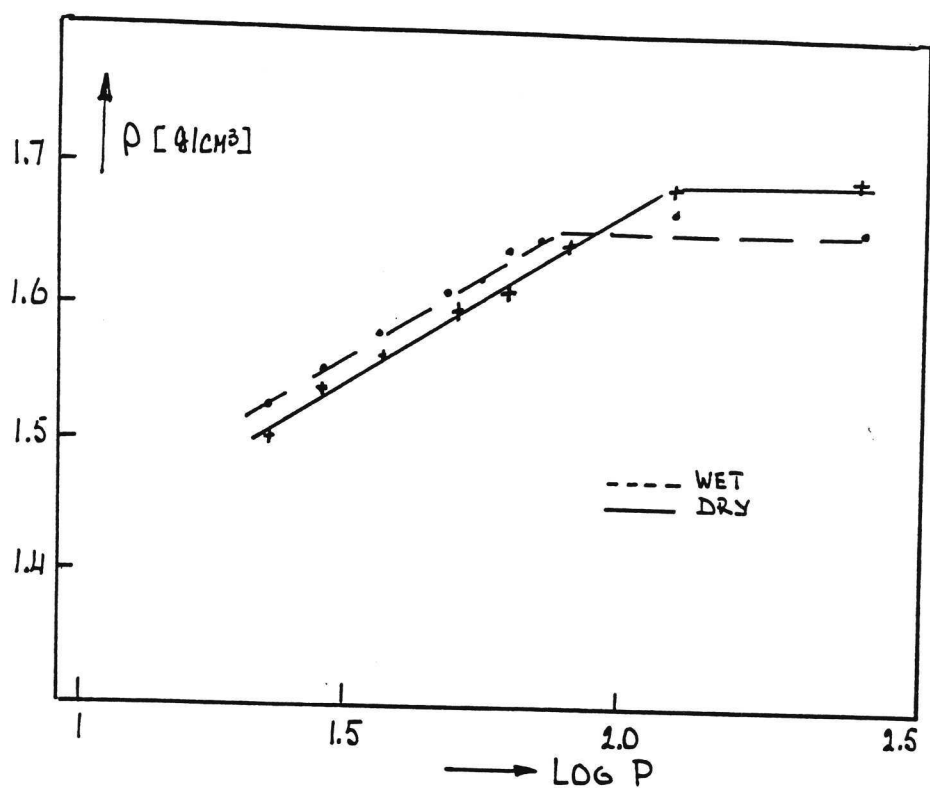
DEFORMATION



VOL. FRACTION 'HARD' < VOL. FRACTION 'SOFT'



HARD MATERIAL IN A "SEA" OF SOFT DEFORMED MATERIAL



WAX $\approx$ 60.70 VOL %
 K₂SO₄ $\approx$ 30 VOL %

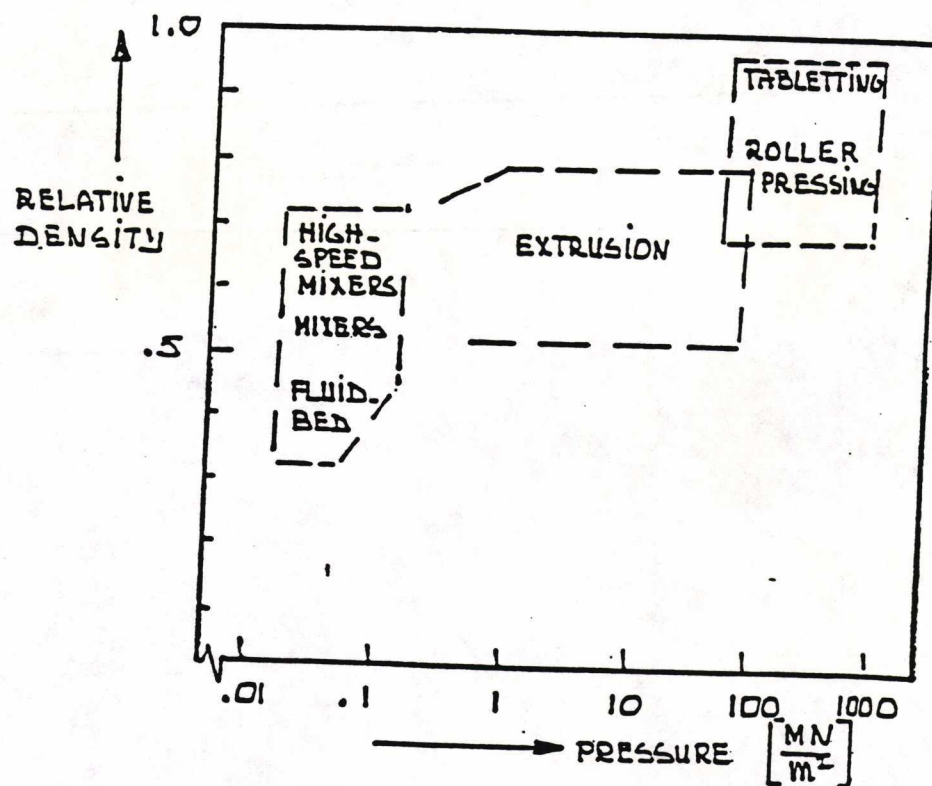


Fig. 4.1 Relative density as a function of the compaction pressure for some size enlargement operations

E.G. Senior (NIRO Nederland bv)

titel : Agglomeration using a spray dryer

There are many reasons for the production of dry solids in granular or agglomerated form, like improvement in transportation, storage and dosing, reduction of problems associated with dust, and improvement in redispersion / resolution properties.

Such demand are often met in the production of a wide range of materials such as foodstuffs, pharmaceuticals, chemicals and ceramics.

This lecture gives an introduction to granulation and agglomeration processes frequently applied in these industries based on spray and fluid bed drying technology.

The main emphasis is on integrated granulation using a spray dryer.

A survey of the various processes starting with the conventional spray dryer with fines return to more recent developements utilizing integrated spray dryer / fluid bed techniques.

In concluding the survey a brief introduction to using the spray dryer and tumble agglomerator blender in a continious mode for the detergent industry.

DEFINITION

SPRAY DRYING

Spray drying is the transformation of a pumpable fluid bed (solution, slurry or paste) into a particulate dried product in a single drying process unit. Rapid evaporation occurs due to the extensive surface created by the spray.

AGGLOMERATION

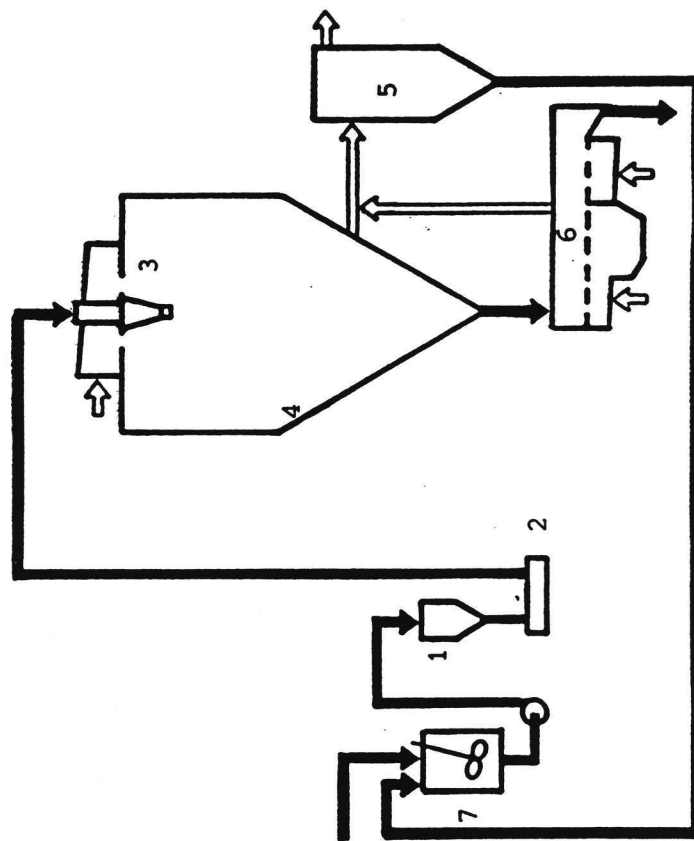
According to a technical dictionary agglomeration is defined as sticking or balling of very (often very fine) particles due to short range physical forces. These forces become active only if the individual particles (forming the agglomerates) are brought closely together by external effects.

Table 1

**Review of Granulation and Agglomeration
by Fluidized Bed and Spray Drying Techniques**

Feed	Particle Formation	Drying/ Cooling	Classification	Average Process	Particle Size,mm
Powder	Spray onto solids suspended in gas stream:				
	- dilute phase	Vibrating fluid bed	Fluidization/ Sieving	Rewet agglomeration	0.25-1.0
	- fluidized	Stationary (or vibrating fluid bed	Fluidization/ sieving	Fluid bed agglomeration	0.25-1.0
	Spray onto solids in tumbling layer	Vibrating fluid bed	Fluidization Sieving	PK-NA Zig-Zag	0.5-3.0
Wet cake/ paste	Mixing Milling Extrusion	Vibrating or stationary fluid bed	Fluidization/ Sieving		0.25-5
Liquid	Spray onto solids suspended in gas stream:		Fluidization/ Sieving	Fluid bed granulation (Spray Fluidizer)	0.5-5
	- fluidized	Stationary fluid bed			
	- dilute phase	Dilute phase fluid bed	Process parameters - fluidization	Fluidized Spray Dryer	0.2-0.4

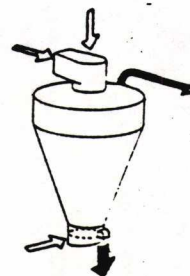
Spray Dryer with Rotary Atomizer and Fluid Bed
Post Dryer/Cooler and Fines Return to the Feed



1. Feed tank
2. Feed pump
3. Rotary atomizer
4. Drying chamber
5. Fines separator
6. Fluid bed dryer/cooler
7. Fines reslurry tank



Co-current, with integrated fluid bed, rotary or nozzle atomizer, for dairy/food products.



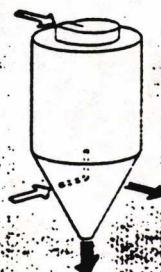
Mixed flow, with integrated fluid bed, rotary or nozzle atomizer, for non-dusty, free-flowing products.



Co-current, conical base, with rotary atomizer, for both heat sensitive and stable products.



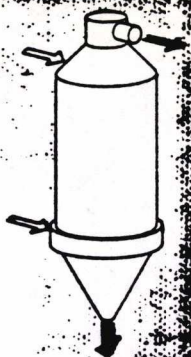
Co-current, flat base, with rotary atomizer, for special products. Also suitable for spray cooling.



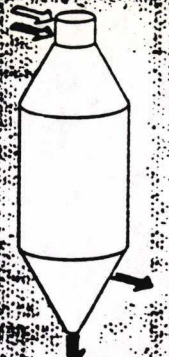
Mixed flow, with nozzle atomizer, for coarse powders of heat stable products.



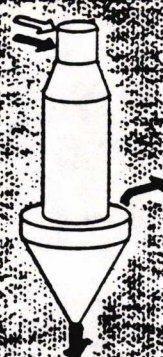
Mixed flow, with nozzle atomizer, for ceramic products.



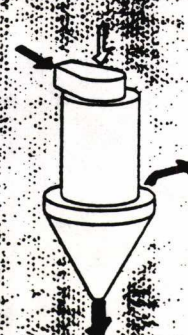
Counter-current, with nozzle atomizer, for products requiring heat treatment.



Co-current, with nozzle atomizer, for chemicals.



Co-current, with nozzle atomizer, for instant coffee.



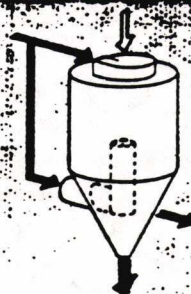
Co-current, with nozzle atomizer, for dairy/food products.



Co-current, with rotary atomizer, for drying chemicals at high inlet air temperatures.

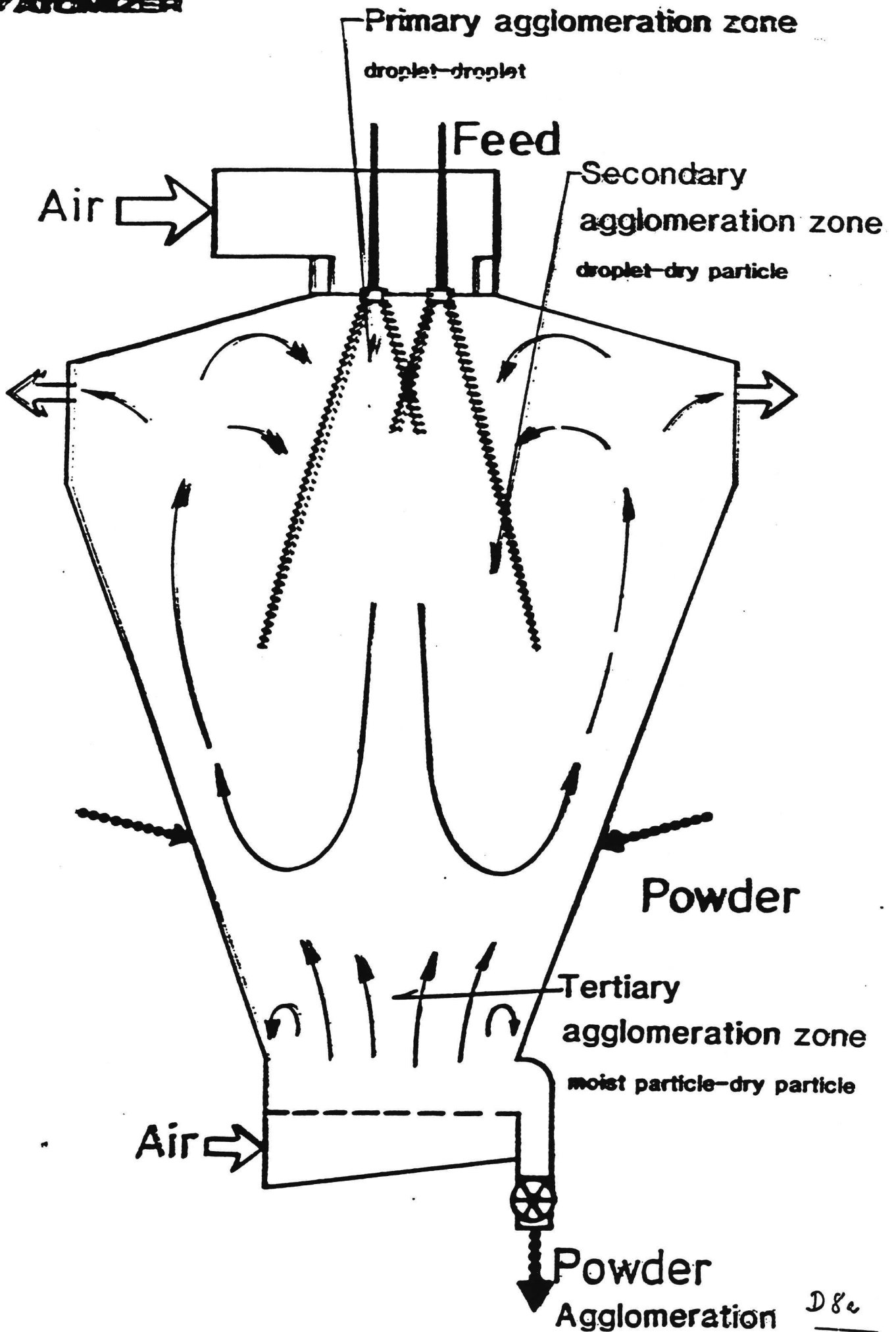


Co-current, with rotary atomizer, for drying mineral concentrates at ultra-high inlet air temperatures.

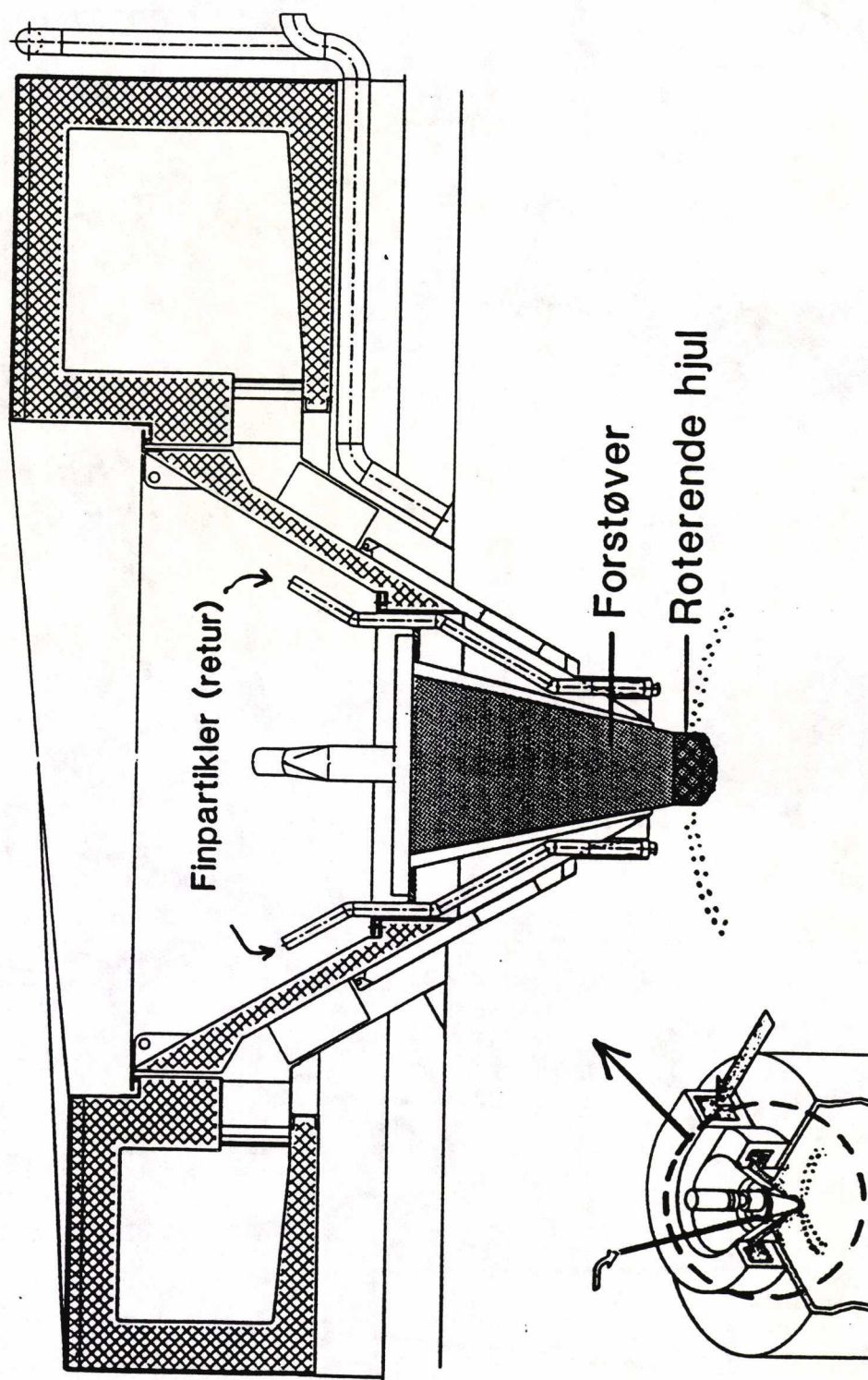


Co-current, compound air disperser with rotary atomizer, for very large volumes of low inlet air temperatures.

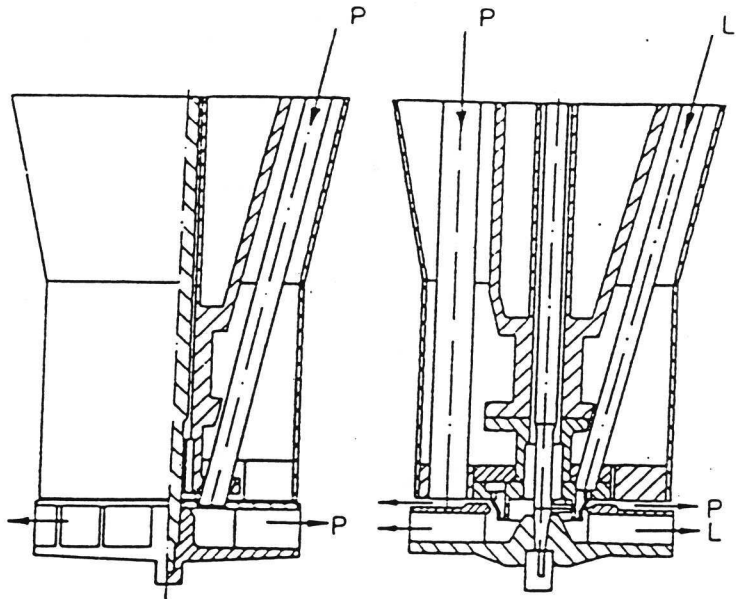
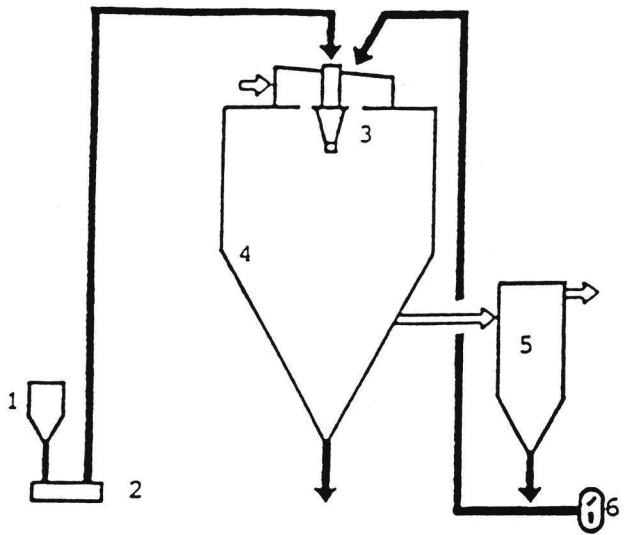
- ☐ Drying air
- ▢ Feed to atomizer
- ▣ Powder discharge
- ▤ Exhaust air



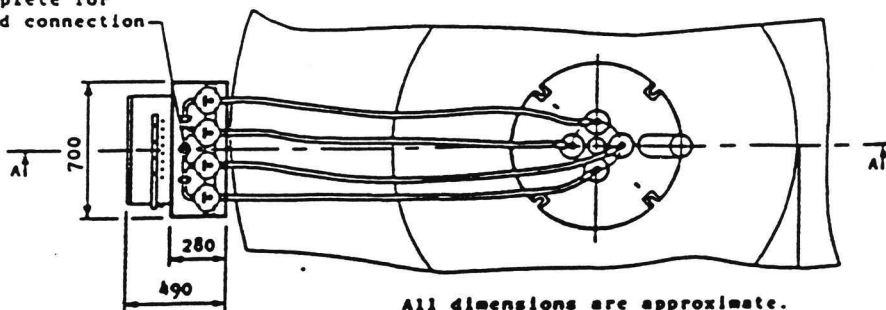
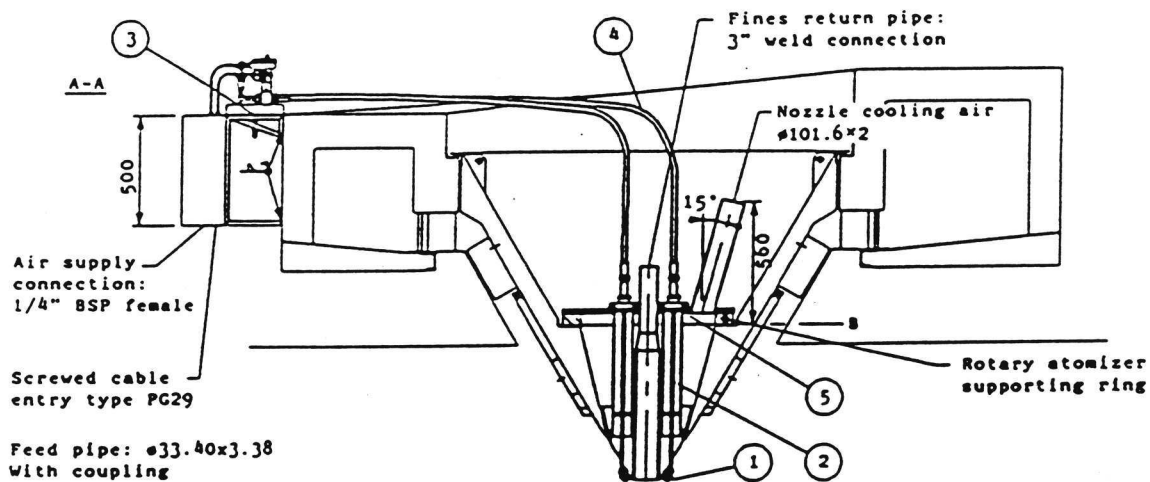
Fines Return Air Disperser (FRAD-System)



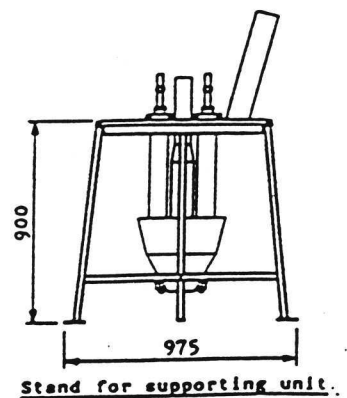
Spray Drier with Rotary Atomizer and
Fines Recycle to the Atomization Zone



L - LIQUID FLOW
P - POWDER FLOW



All dimensions are approximate.



Liquid and powder processing

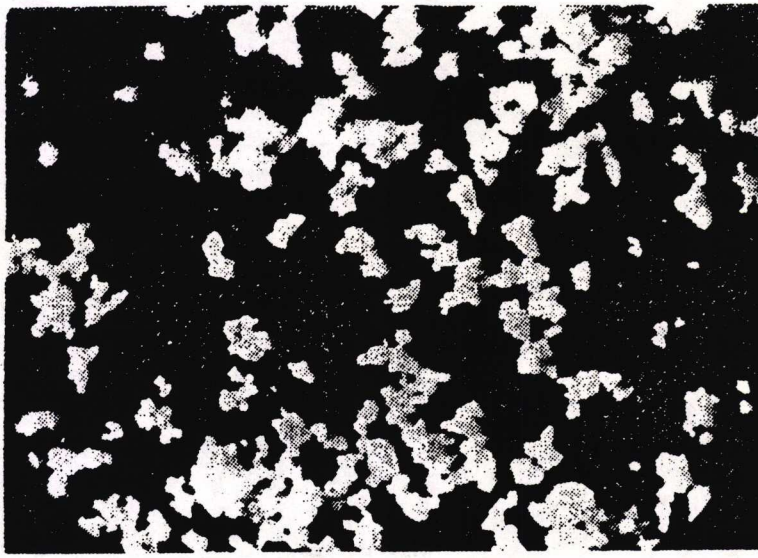


Fig. Micro-photo of agglomerated skim milk powder

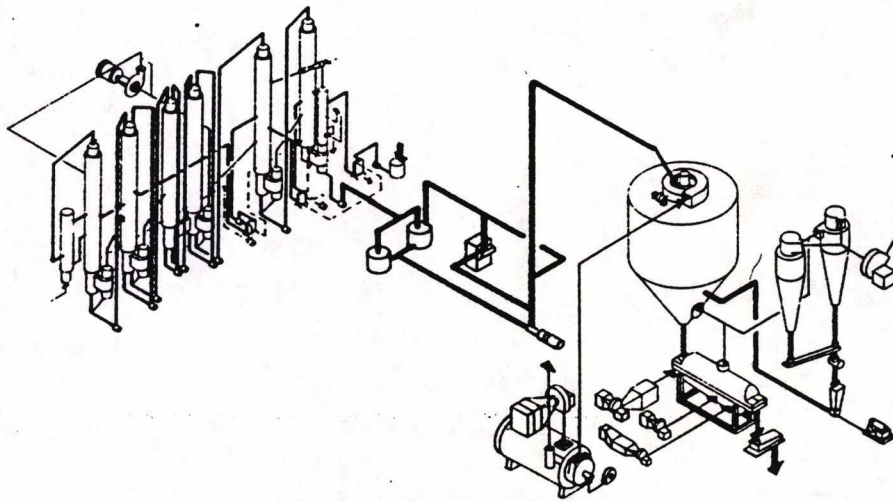


Fig. Spray dryer with Vibro-Fluidizer as agglomerator/instantizer, type SDI

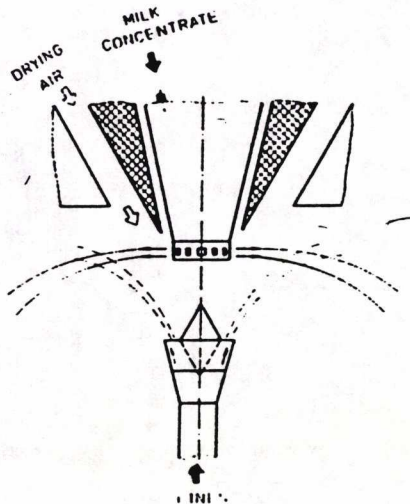


Fig. Fines return rotary atomizer

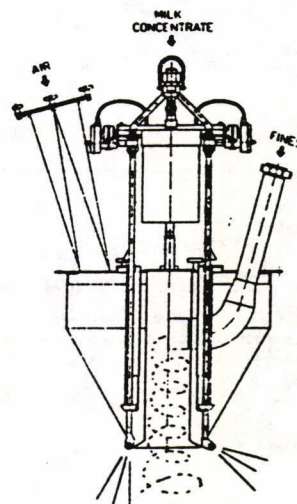
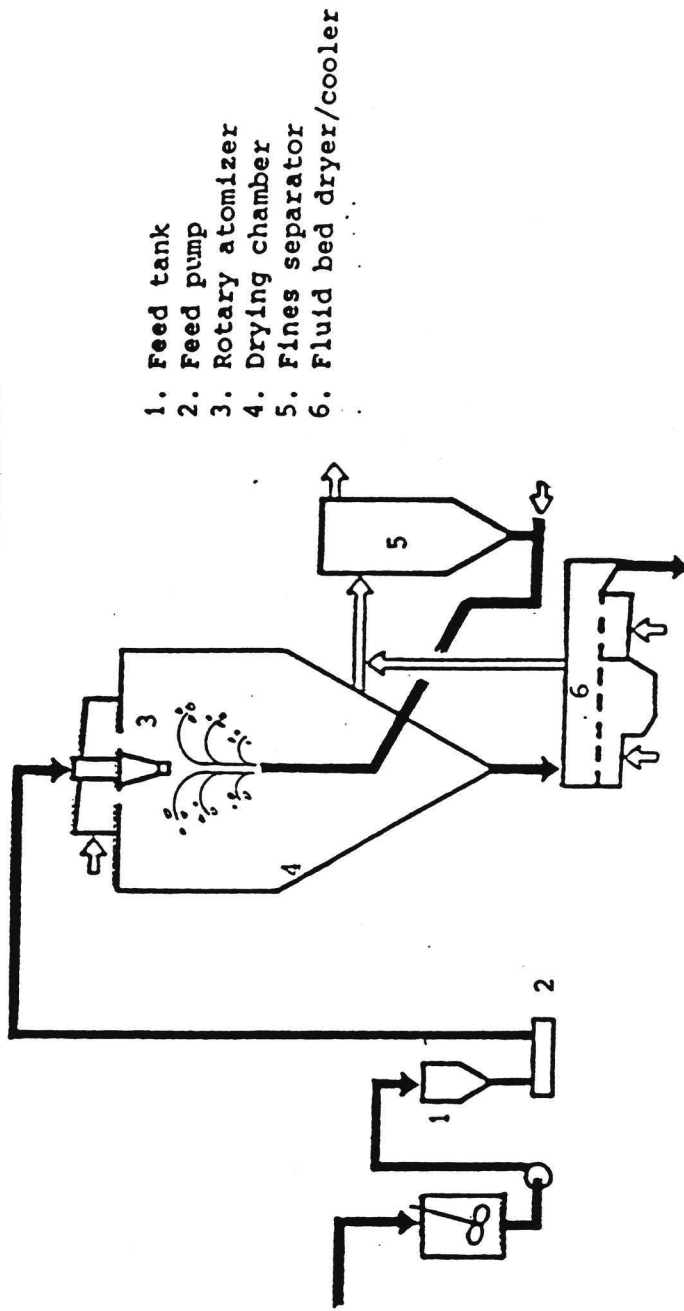
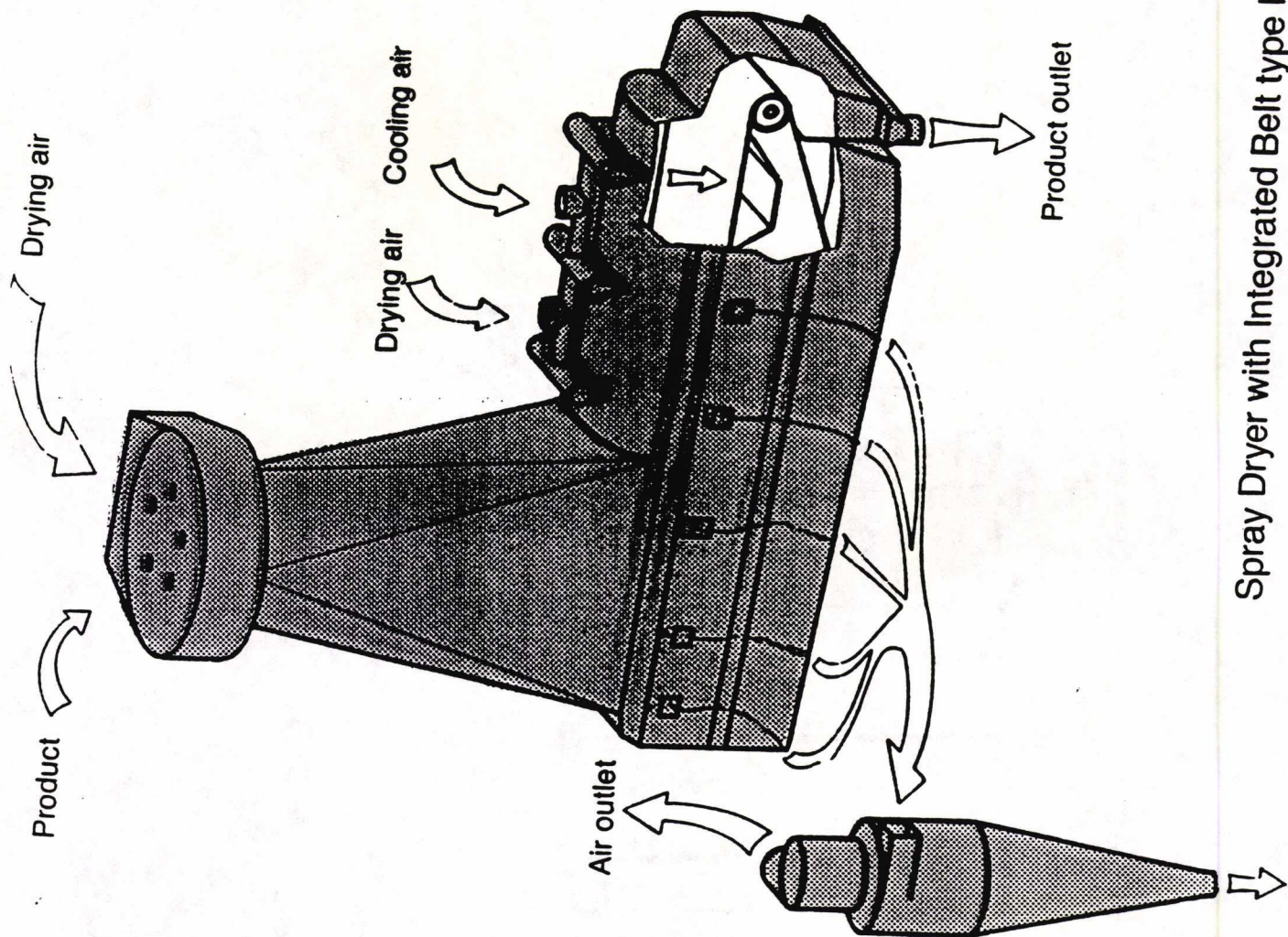


Fig. Fines return nozzle atomizer

Spray Dryer with Rotary Atomizer and Fluid Bed
Post Dryer/Cooler and Fines Return to the Atomizer



1. Feed tank
2. Feed pump
3. Rotary atomizer
4. Drying chamber
5. Fines separator
6. Fluid bed dryer/cooler

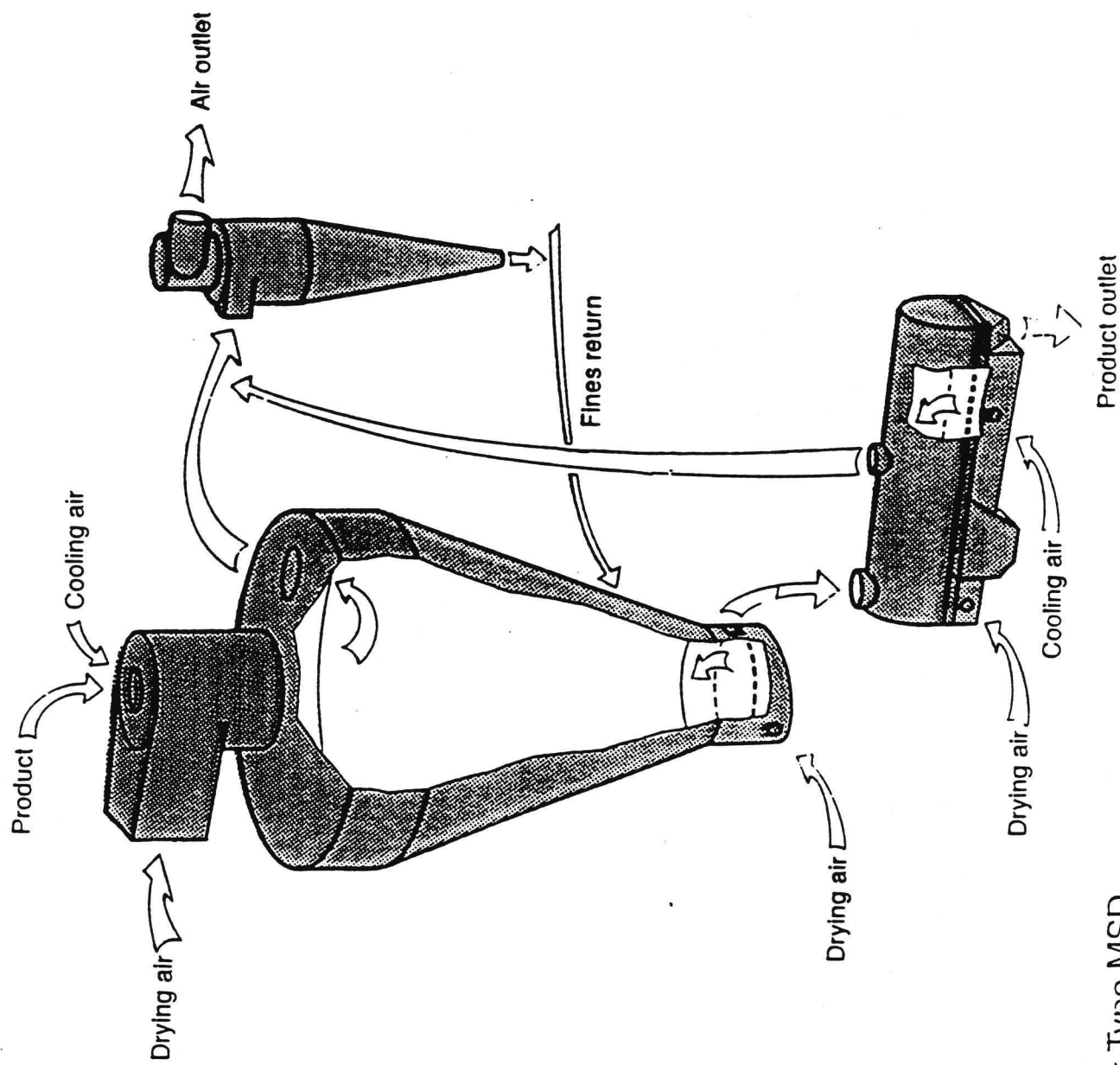


Spray Dryer with Integrated Belt type IBD

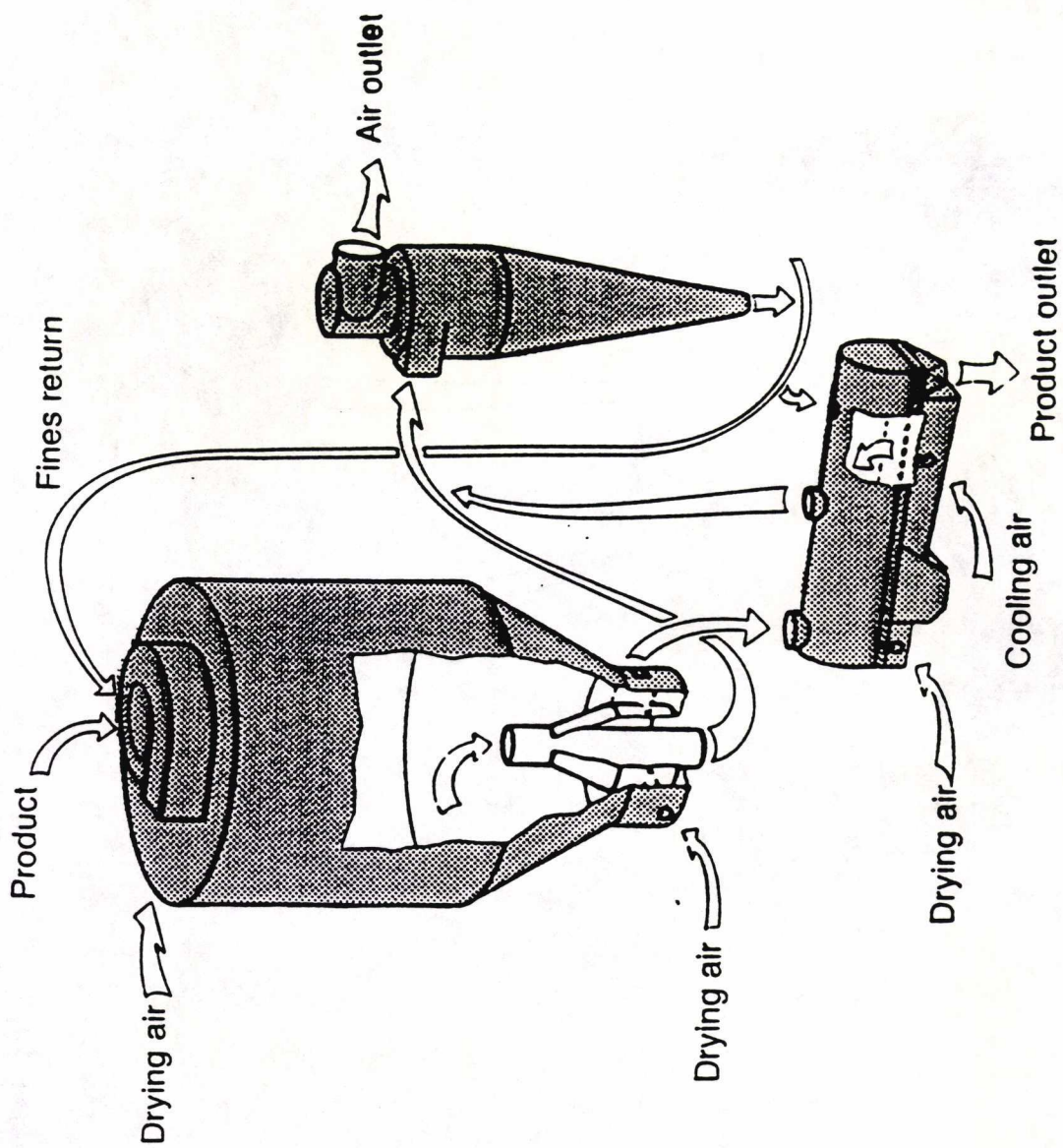


NIRO

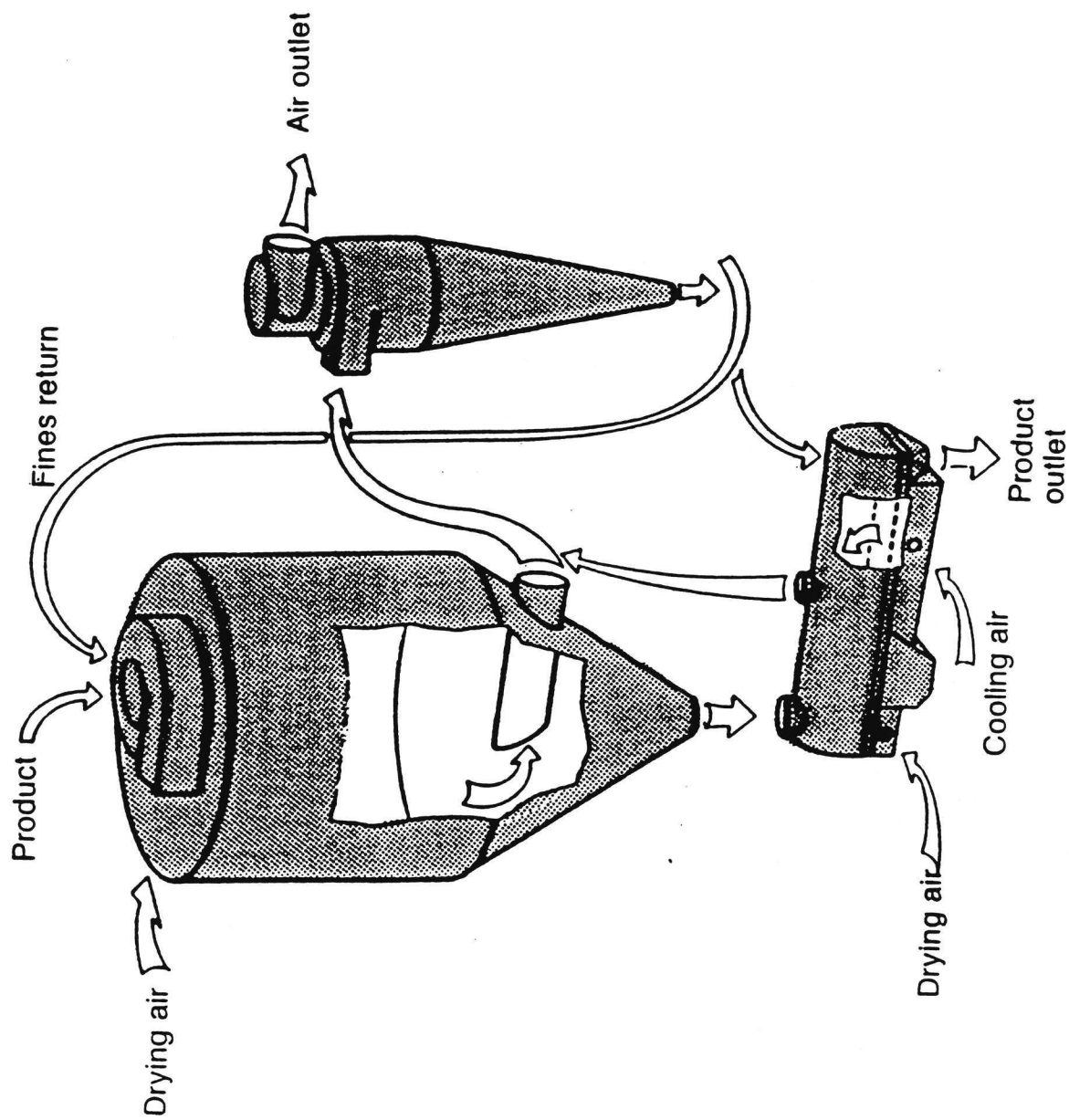
DANISCO



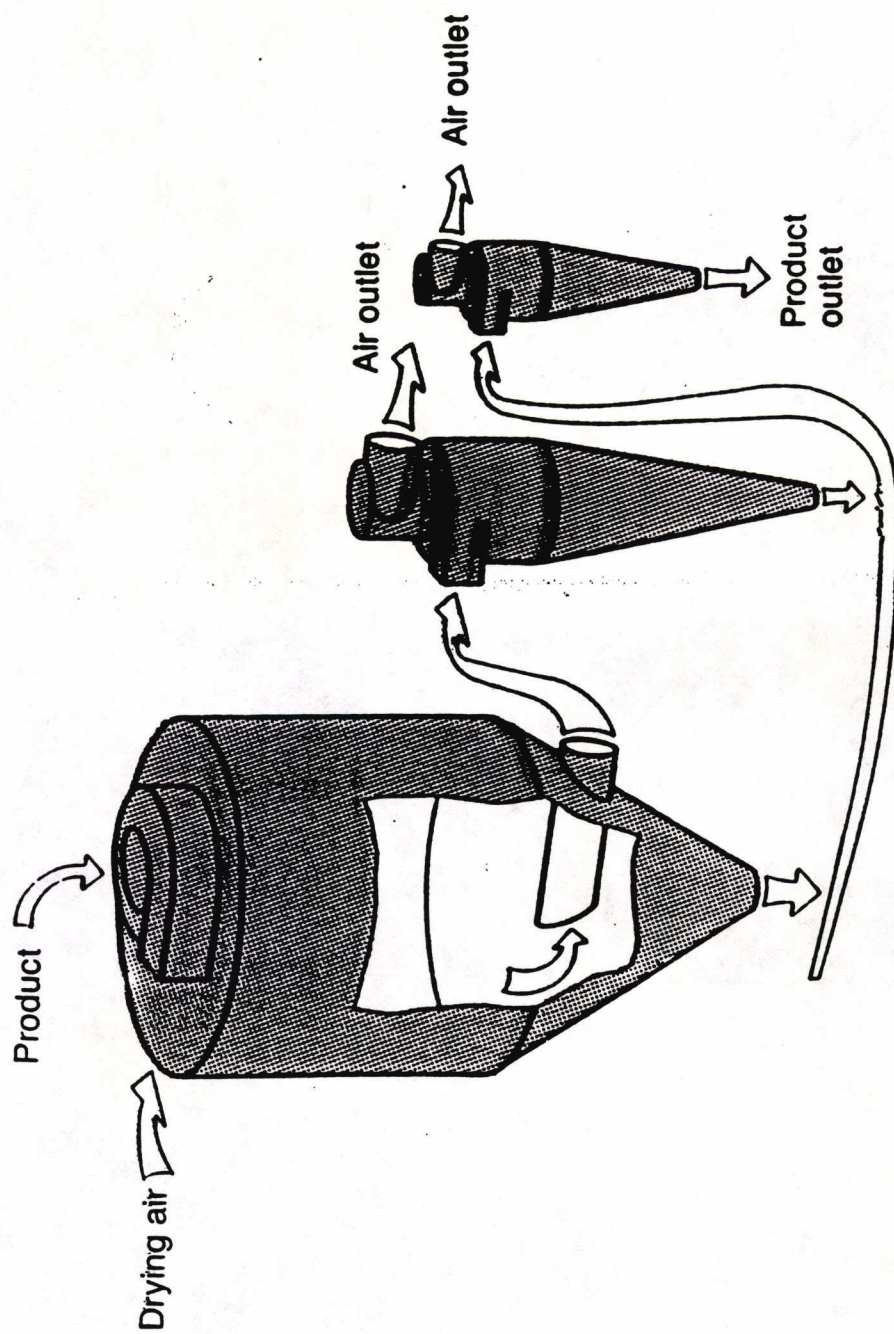
Multi-Stage Spray Dryer Type MSD
with Integrated Fluid Bed and Vibro-F lucilizer



Spray Dryer type CDI with
Integrated Fluid Bed and Vibro-Fluidizer

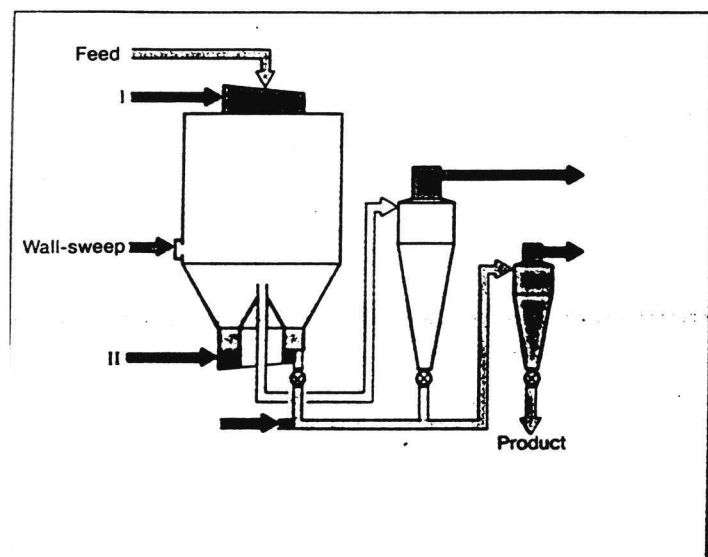


Spray Dryer Type SDI
with Vibro-Fluidizer



Spray Dryer Type SDP
with Pneumatic Conveying System

*Two plant versions based upon
the integrated fluid bed spray dryer concept*



Compact Dryer (CDP)

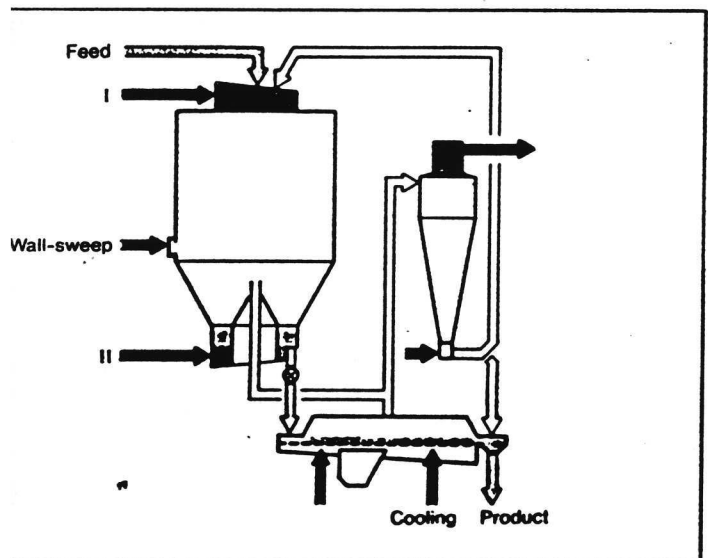
(with pneumatic conveying system)

Featuring:

Drying chamber with inverted base cone, wall-sweep, and integrated fluid bed. Roof air disperser with built-in vane adjustment. Rotary atomizer (interchangeable with nozzle assembly). Base air exhaust. Pneumatic transport system. Cyclones. Scrubber/bag filter (optional).

Producing:

Non-agglomerated powders.



Compact Dryer (CDC/CDI)

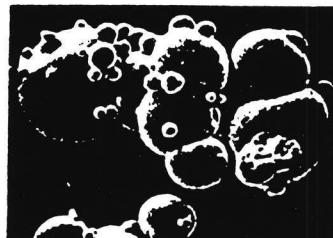
(with Vibro-Fluidizer as cooler or instantizer)

Featuring:

Drying chamber with inverted base cone, wall-sweep and integrated fluid bed. Roof air disperser with built-in vane adjustment. Rotary atomizer (interchangeable with nozzle assembly). Base air exhaust. Vibro-Fluidizer attachment for final product conditioning. Cyclones. Scrubber/bag filter and fines return system (optional).

Producing:

Agglomerated and non-agglomerated powders.



Opmerkingen bij de voordracht van de hr Senior

Uit het publiek kwam de vraag wat het verschil in kwaliteit van agglomeratie bepaald : de oplosbaarheidssnelheid en de wetability. Om een poreus materiaal te krijgen moet daarom langzaam gedroogd worden.

Agglomereren en vormen van veevoeders, B. Vooijs

AGGLOMEREREN EN VORMEN

VAN VEEVOEDERS

NRLO - THEMADAG 10 DEC. '91

BERTUS VODIJS



DOEL VAN PELLETEREN:

**GUNSTIGER BULKEIGENSCHAPPEN
T.B.V. OPBLAG, TRANSPORT, ENZ.**

- **STROMINGSIGENSCHAPPEN**
- **GROTERE DICHTHEID**
- **VERMINDERING STOFVORMING**

VERMINDERING ONTMENGING

VEREENVOUDIGEN DOSERING

VORMGEVEN

TOEPASSINGEN PELLETEREN

- VEEVOEDERS
- HUISVUIL
- KUNSTMEST
- PHARMACEUTICA
- HAGELSLAG
- DIVERSEN o.a. FLY BAIT ①
HOUTAFVAL

KENTALLEN

JAARPRODUCTIE VEEVOER 14 Mton

$$4 < P < 300 \text{ kW}$$

$$10 < E_{sp} < 100 \text{ kWh/ton}$$

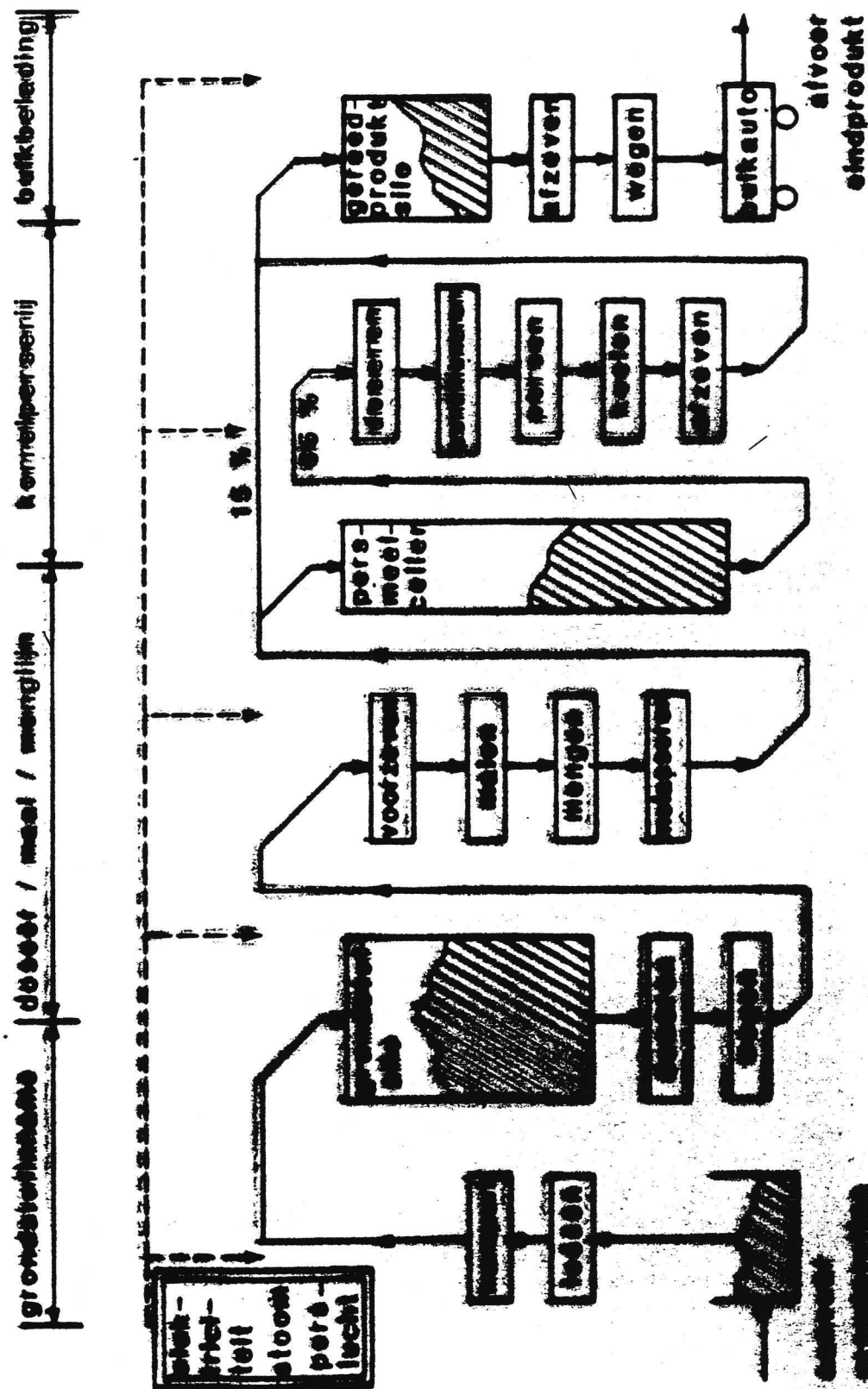
$$0,2 < \phi_m < 2 \text{ ton/h} \quad (12 \text{ kW})$$

$$13 < D < 80 \text{ cm}$$

$$1,0 < d < 30 \text{ mm}$$

$$2 < l/d < 25 \text{ -}$$

$$30 < \text{gat} < 50 \text{ \%}$$



Schema mengvoederfabricage

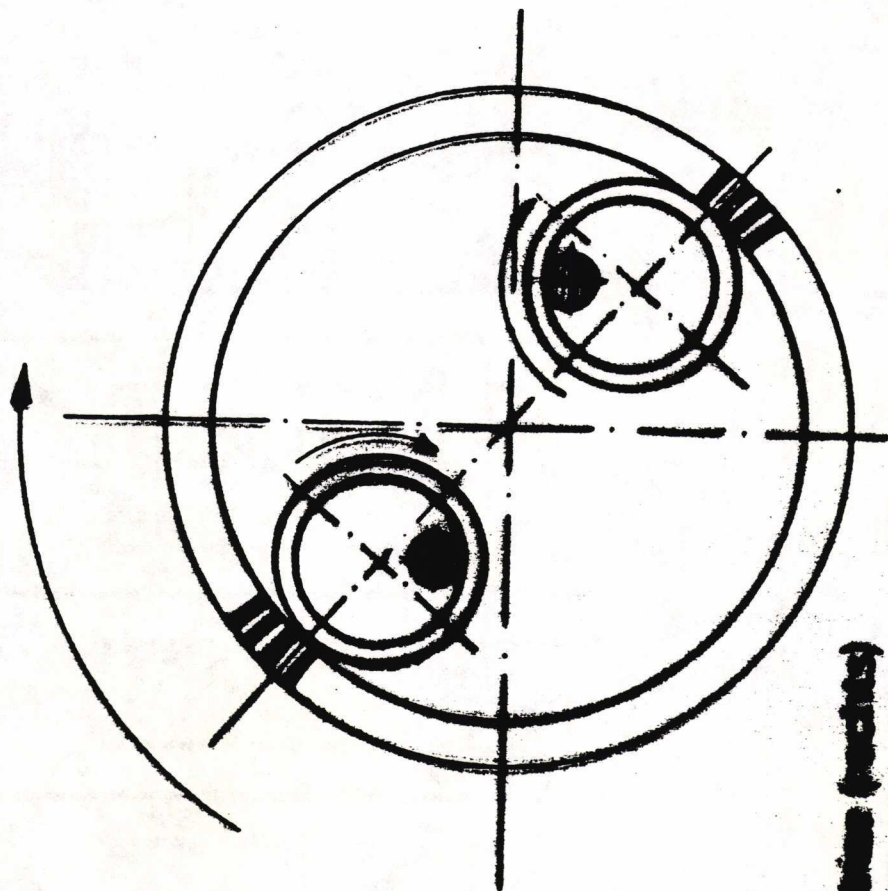
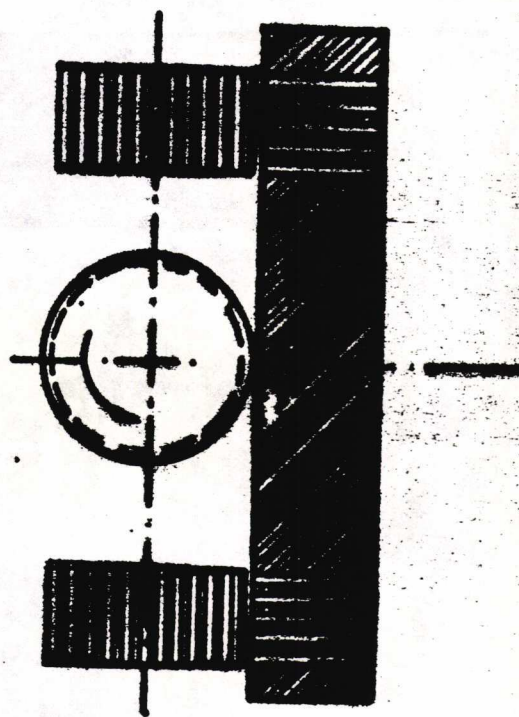


Abb. 1: Schublager (links) und Ringlager (rechts)

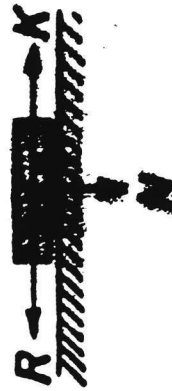
Materialteppich

Materialteppich

Koller

Matrize

- R = Reibkraft (N)
- μ = Reibwert (-)
- P_s = Seitendruck (N/m²)
- u = Bohrungsumfang (m)
- l = Kanallänge (m)
- N = Normalkraft (N)
- K = Zug-/Druckkraft (N)



$$R = \mu N = K$$

$$R = \mu \cdot P_s \cdot u \cdot l < |K|$$

F8-114

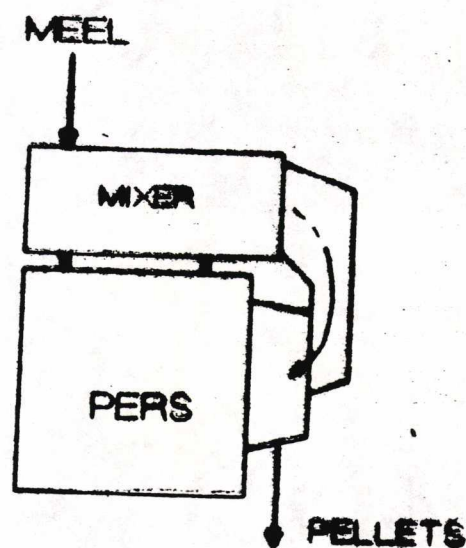
Abb. 10: Kräfte an einem Pfropfenelement

REDENEN ONDERZOEK:

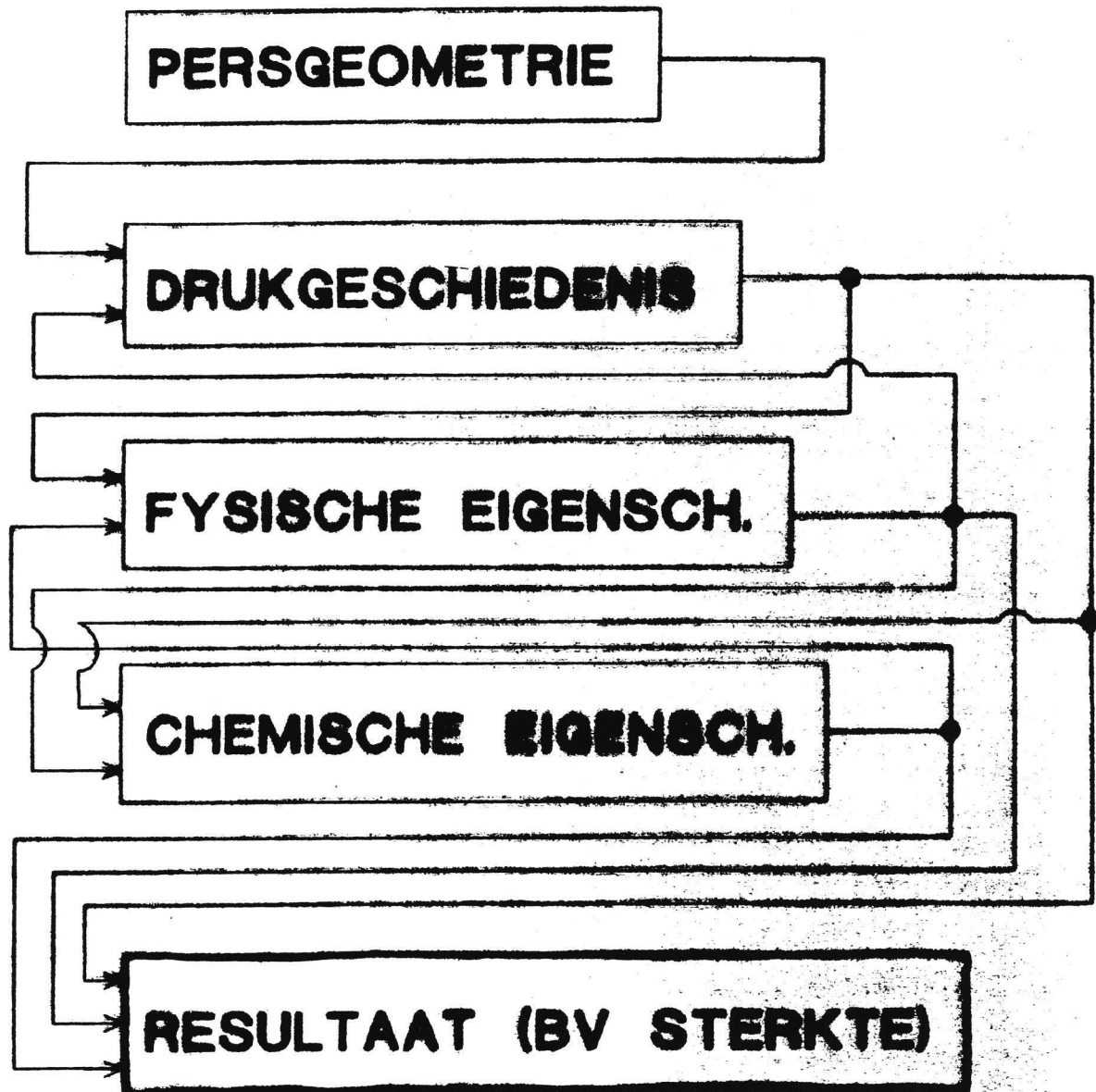
**VERBETEREN VAN DE VOORSPEL-
BAARHEID V.H. RESULTAAT**

INZICHT T.B.V. VERBETEREN

INZICHT T.B.V. STURING



WAT BEPAALT HET RESULTAAT?



ANALYSE V.H. PELLETEERPROCES:

(ASPECTEN)

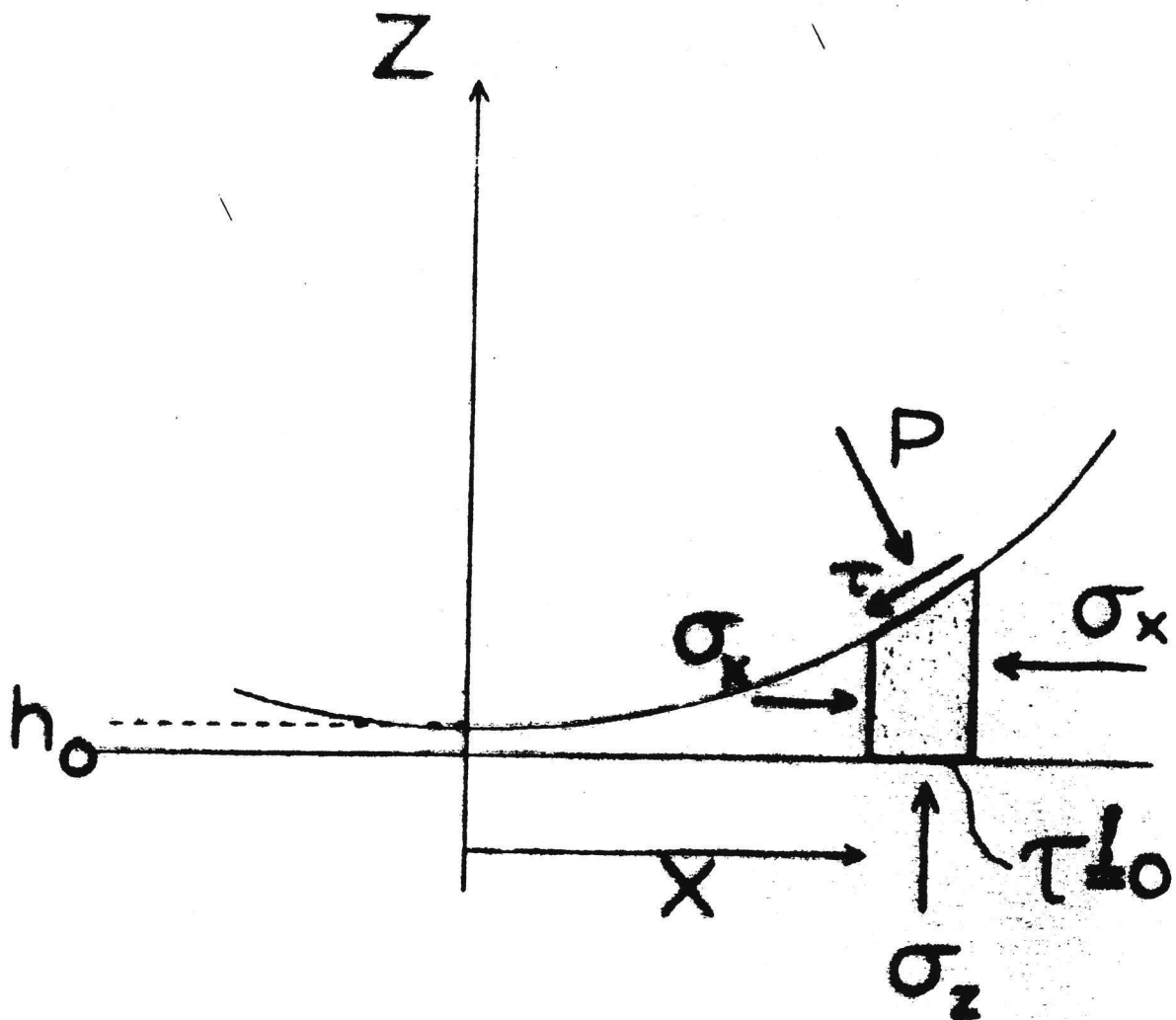
DRUKOPBOUW TUSSEN MATRIJS EN ROL

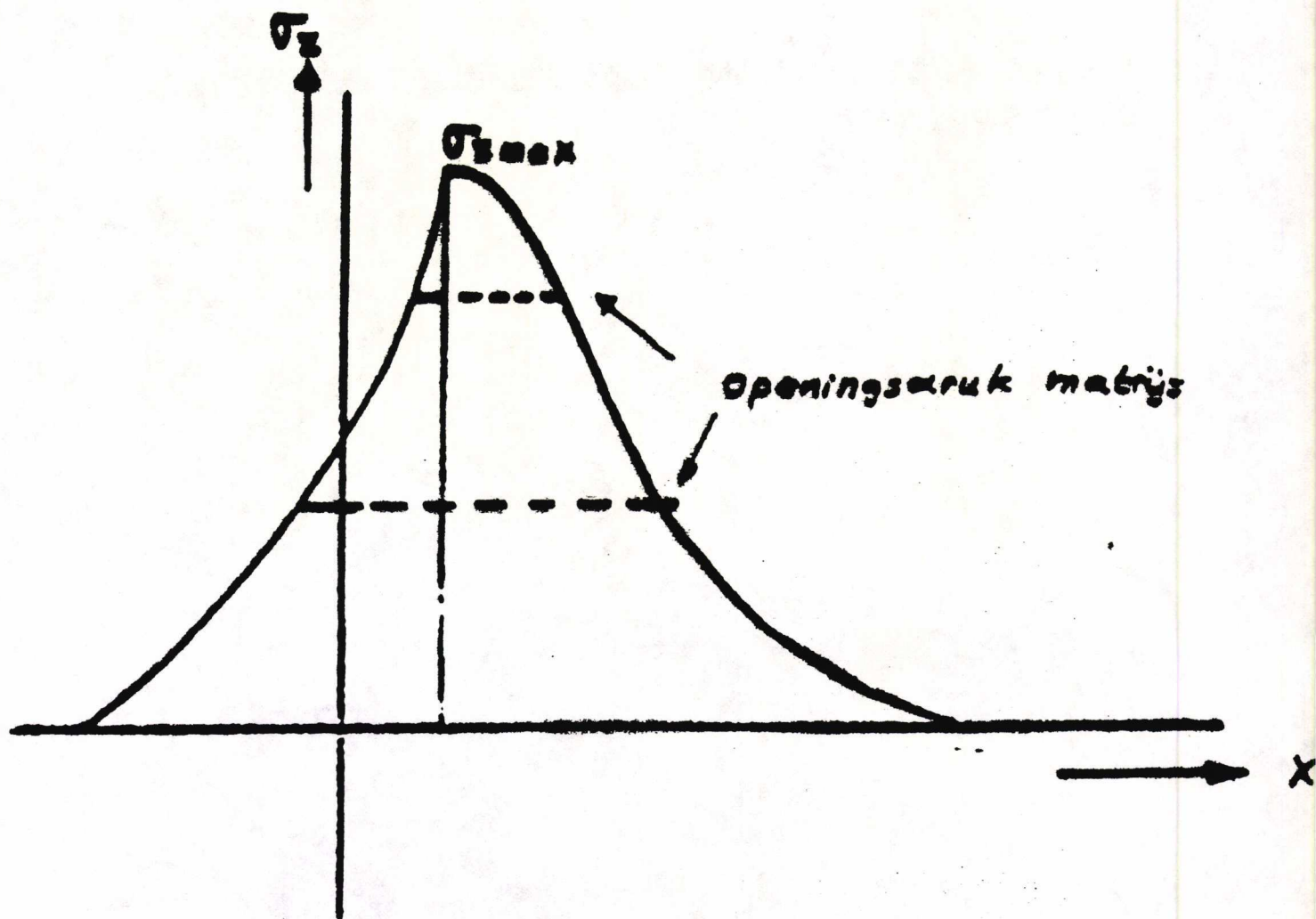
DRUKVAL BIJ INTREDE PEROKANALEN

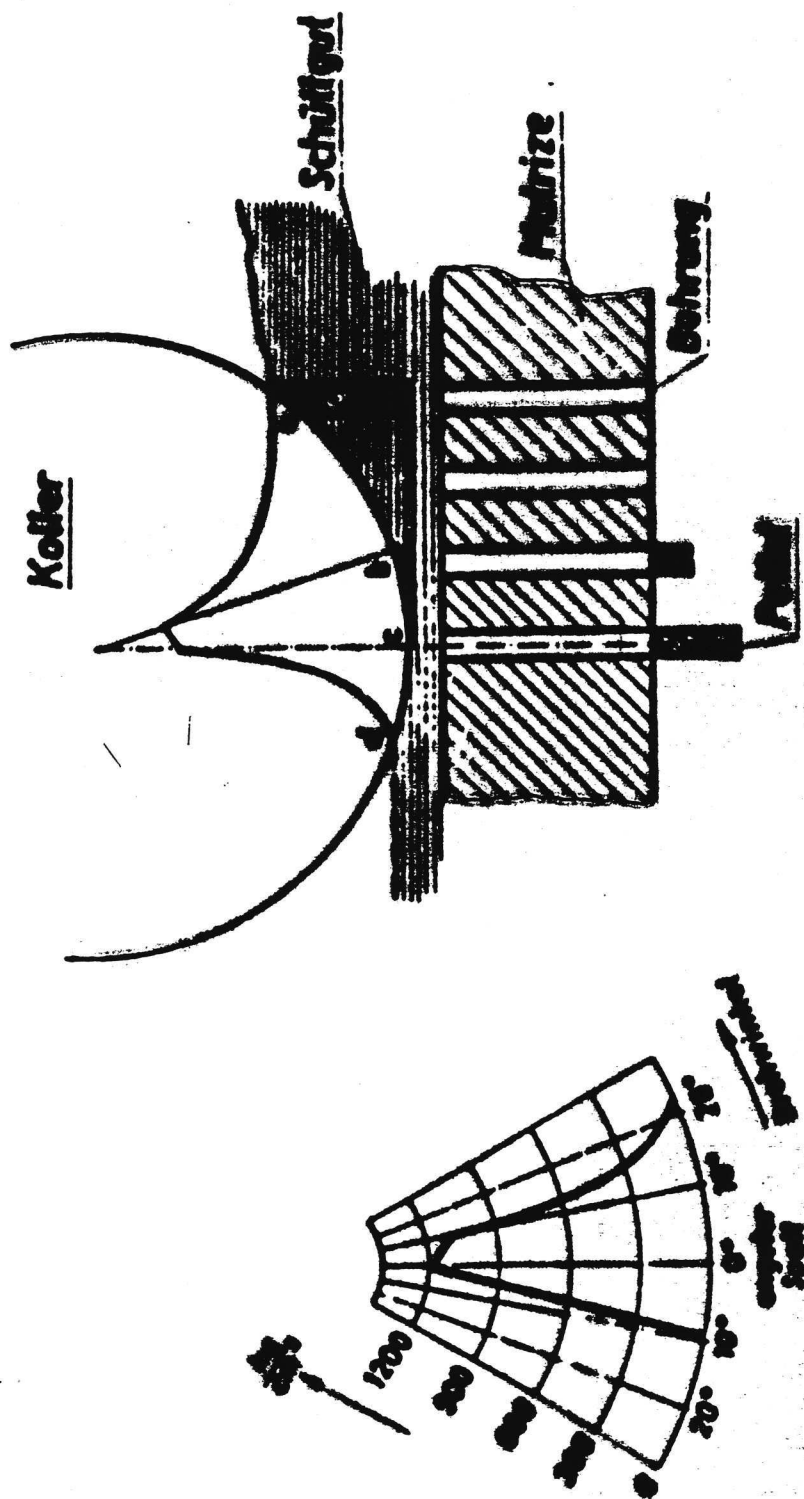
DRUKVAL OVER EEN MATRIJSBORING

DRUKOPBOUW TUSSEN MATRIJS EN ROL

1. KRACHTENBALANS OVER PLAKJE MATERIAAL
2. INTEGREREN







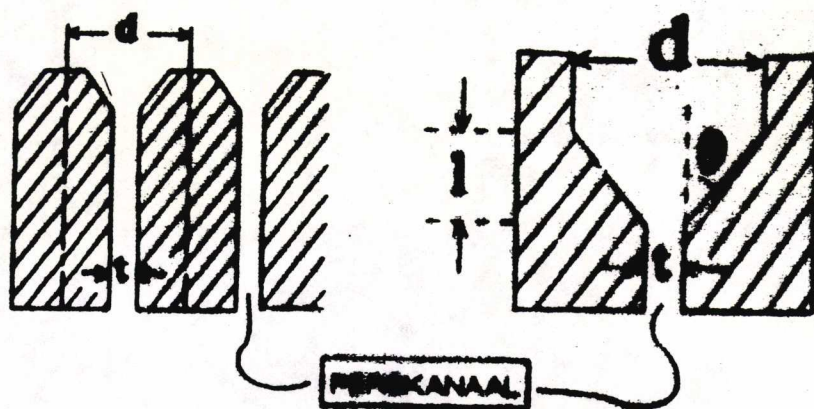
Druckverlauf über dem Koller in
Abhängigkeit vom Drehwinkel

F8 - 115

DRUKVAL BIJ INTREDE PERSKANALEN

PRAKTIJK

HULPSTUK

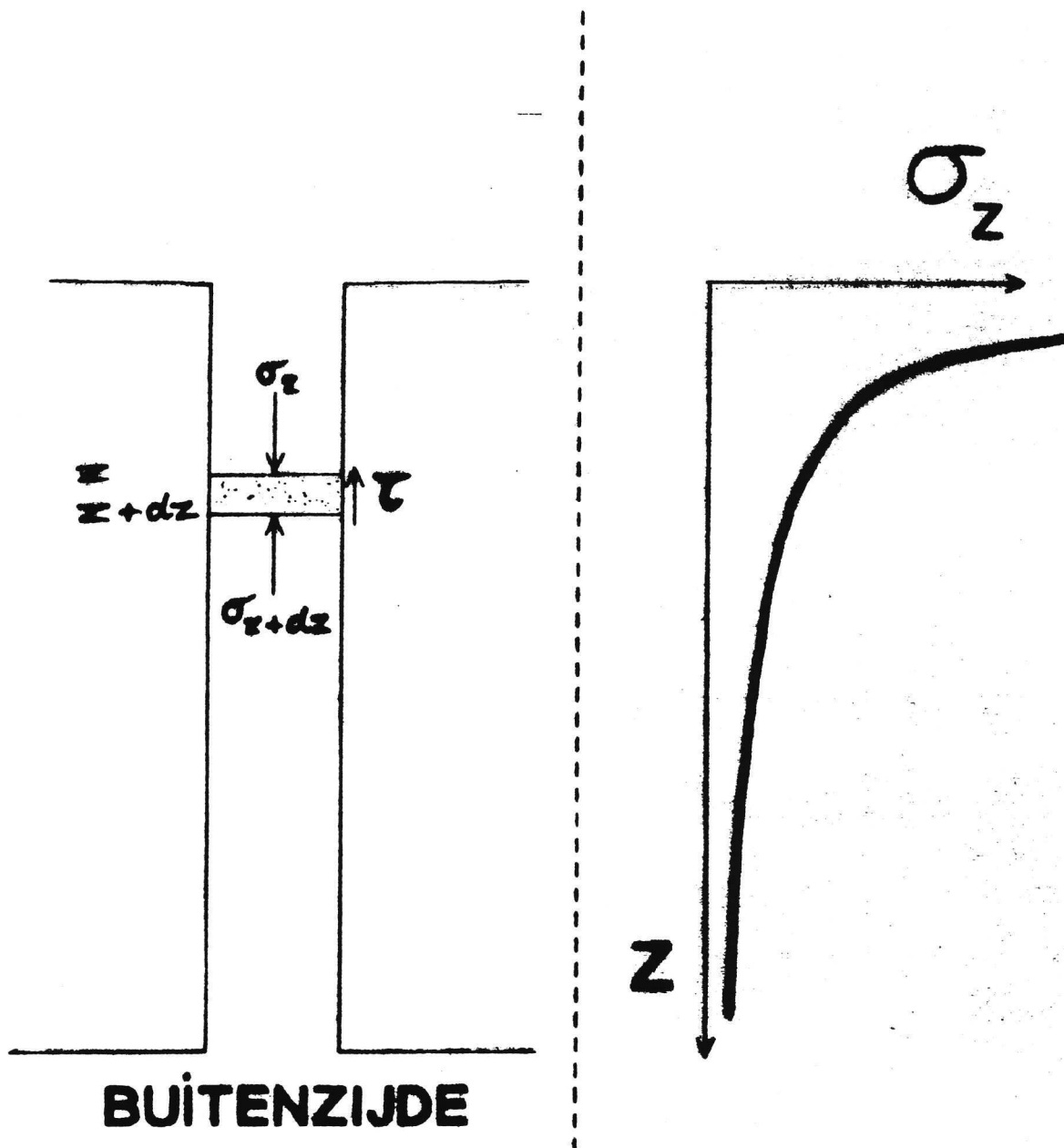


THEORIE

$$\Delta P = F(P, \theta, \% \text{open opp.})$$

Drukval over een matrijsboring

1. Krachtenbalans over plakje materiaal
2. Integreren



INVLOED PROCESVARIABELEN:

- **maalfijnheid**
- **vochtgehalte**
- **oediteren**
- **perhulpatoffen**
- **voorverdrochten**

OP:

- **pelletkwaliteit**
- **energieverbruik**
- **voederwaarde**
- **hygienische gesteldheid**

MAALFIJNHEID

- RESULTATEN DIVERS (SAMENSTELLING?)
- GROVER MALEN ->
 - ENERGIEVERBRUK PERG = ↑
 - PELLETKWALITEIT ↓
 - TOTAAL ENERGIEVERBRUK ↓
 - BESPARING 0 - 16%
- ALGEMENE RICHTLIJN: CA. 90% < 1 MM
CA. 25% < 0,25 MM

VOCHT (water, stoom)

- oppervlak -> • smerende werking
• binding
- inwendig -> • vervormbaarheid ↑
(plastiliteit ↑)
(elastiliteit ↓)
• zwellen
- droge stoom -> • energieverbruik pers ↓
• totaal energieverbruik ↑
• capaciteit ↑
• ell/jage ↓
• Pelletkwaliteit ↑

CONDITIONEREN

- **absorptie van vocht**
- **vereffening vochtgradienten**
- **optimale oond. omstandigheden zijn samenstelling afhankelijk**
- **met name voordeel bij hoge percentages melasse/ vinasse
(gecombineerd met stoominjectie!)**

PERSHULPSTOFFEN

- BINDMIDDELEN

- bentoniet (mineraal)
- Lignosulfonaten (papierfabr.)
- melasse (suikerwinning)
- vinasse (alcoholbereiding)

(- FREE FLOWING AGENTS)

STUURMOGELIJKHEDEN

ON-LINE

- MATERIAAL EIG.

VOCHT (l/g)

BINDMIDD.

DGV

CONDITION.

- CAPACITEIT

- SLEETWIJDE

OFF-LINE

- MATRIJS ϕ , l, vorm

Opmerkingen bij de voordracht van de hr Vooijs

De heer Laarhuis vraagt wat het verschil is in het gebruik van vocht en van droge stoom. Met het gebruik van droge stoom wordt gezorgd voor een goede egale verdeling op het oppervlak.

Ir. D.J. van Zuilichem, Inleiding Blok 3, Scheiden en verkleinen

CLASSIFICEREN

- vaste stof
- gas
- deeltjes grootte
- scheiding

→ Scheiding vast / gas: meestal { weinig solids
veel gas

- b.v.: pneumatisch transport eínoligt in scheiding
idem: pneumatisch drogen.

- algemeen: scheiden van delen $> 0,5 \text{ à } 1 \text{ mm}$ is
gemakkelijk. Practijk situatie
bemoeit zich met $10 \mu\text{m} < d_p < 100 \mu\text{m}$
Moeite blijft stofafscheiding $\approx 1 \mu\text{m}$
technologische hulpmiddelen:

bezinking (mg of mg m^{-2})

botsing

filtratie

electrisch (Cottrell)

- stofvangpers: partiële vangstcijfers: hoeveel
vang ik van een bepaalde fractie??

Scheiding vast/gas door sedimentatie:

Stel $\rho_B \approx 2000 \text{ kg/m}^3$; dan geldt voor deeltjes
van $3 \mu\text{m} - 1000 \mu\text{m}$ WET VAN STOKES
> $100 \mu\text{m}$, mustal WET VAN NEWTON

VOORBEELD: STOFKAMER

L = Lengte

B = breedte

H = hoogte

v_L = Luchtsnelheid

Q = Luchtdebiet m^3/s

- verbleef tijd Lucht $t = t = \frac{L}{v_L}$ s.

$$\text{dus } t = \frac{H \cdot t}{Q} \text{ s.}$$

- als v_s = val snelheid deeltje, geldt $t = \frac{H}{v_s}$, voor
afscheiding v.t. deeltje met zekere grootte

$$\text{dan: } \frac{L}{v_L} = \frac{H}{v_s} \Rightarrow \frac{H}{L} = \frac{v_s}{v_L}$$

$$\text{voor juist vangen geldt } v_s = \frac{H}{L} v_L = \frac{Q}{B \cdot L}$$

$$\text{STOKES: } d_{\min} = \sqrt{\frac{18 \eta H v_L}{L (\rho_v - \rho_L) g}} \Rightarrow \sqrt{\frac{18 \eta Q}{B \cdot L \cdot (\rho_v - \rho_L) g}}$$

- Gegeven: $H = 2 \text{ m}$, $v_L = 10^{-1} \text{ m/s}$, $L = 2.5 \text{ m}$, $\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$\rho_L \approx 0, \eta = 18 \cdot 10^{-6} \text{ N.s/m}^2 \Rightarrow d_{\min} = 50 \mu\text{m}$$

$$\text{Val snelheid} \approx 7.5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} \Rightarrow t \approx 26 \text{ s.}$$

$$\text{Debiet } Q = B \cdot H \cdot v_L = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ook volgt criterium dat deeltjes met val snelheid
 v_s juist gevangen worden als $\frac{L \cdot v_s}{H \cdot v_L} = \frac{B \cdot L \cdot v_s}{Q} > 1$

Wat leren we ??

$$- d_{\min} \propto \sqrt{Q}$$

Stel $Q^* = 20 Q$, dan vang ik nog
juist $d_{\min} = \sqrt{20} \cdot 50 \mu\text{m} = 220 \mu\text{m}$

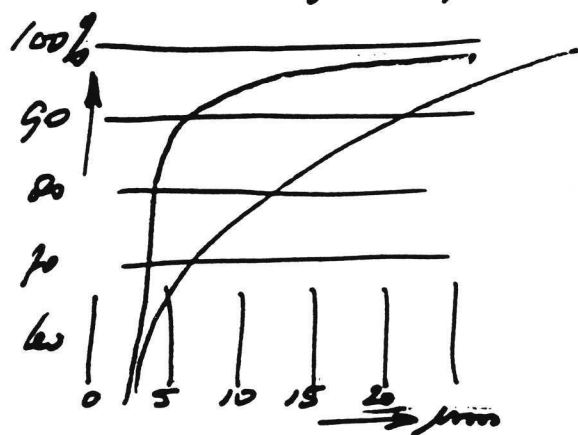
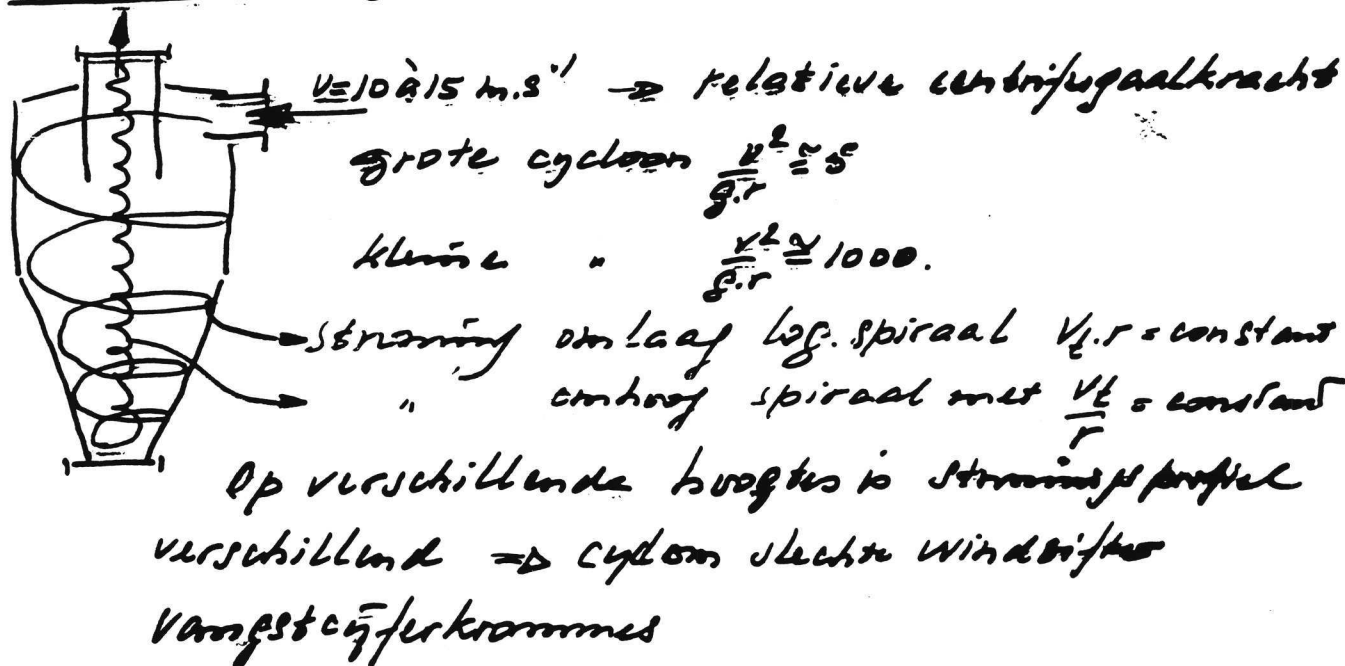
$$- \text{Als } Q = \text{constant}, v_s = f(B \cdot L) \text{ en dan } d_{\min} = f(B \cdot L)$$

$$- L = \text{const}; v_L = \text{const}, d_{\min} = f(H)$$

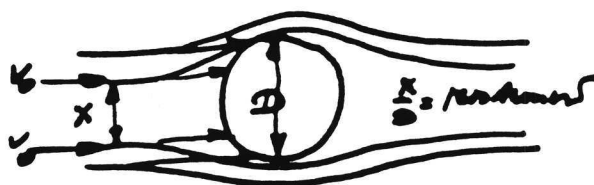
H kleiner maken door hulpchotten aan te brengen
 Stel $Q = 8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow d_{\min} = \frac{220}{\sqrt{Q}} = 50 \mu\text{m}$

Toepassing centrifugaalkracht

VOORBEELD: CYCLOON.



weerstand (200-100) Pa



- Scheiding vast/gas door botsing. $x = f. \frac{v_x \cdot v_o}{g \cdot D}$

- " " door filtratie.

$\Rightarrow$ zakfilter weerstand (20-150) Pa.

cap $\in 1,2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{min}$

- jetschubbers / cyclonschubbers $\Rightarrow 2 \text{ à } 5 \text{ mm}$.

- Cottrell filters $\Rightarrow 2 \text{ à } 3 \text{ mm}$.

- Sortieren von Grundstoffen - $\frac{\text{Sortieren}}{\text{Sortieren}} / \frac{\text{Zerkleinern}}{\text{Verarbeiten}}$
- reifen v. Grundstoffen - $\frac{\text{mikroorganismen}}{\text{beständige / fermentieren}}$
- $\frac{\text{Wärmemaschinen}}{\text{Verfahren Bestandteile}}$

→ Welke 4e eigenschappen kan het beest
geïmitat worden??

Voorbeeld 1: kleur = SORTEX-machines

Diagramm zur Aufgabe 10: Ein Teilchen (Punktsystem) bewegt sich auf einer gekrümmten Bahn. Die Bahn ist in zwei Abschnitte unterteilt: A (gerader Abschnitt) und B (gebogener Abschnitt). Die Geschwindigkeit v ist in beiden Abschnitten gleich. Die Bahnkrümmung ist in B größer als in A. Die Bahngeschwindigkeit v ist in beiden Abschnitten gleich. Die Bahnkrümmung ist in B größer als in A.

$$\ln w^2 r = \ln f \sin y - \ln g / \cos y$$

Wegweisungszeichen $\rightarrow$ Paritätstafel (Bodenplan)
Glasblock $\rightarrow$ Magneten $\rightarrow$ 920 Punkte?

ZEVEN → has of drugs

Drog zuw $\bar{d}_g \geq 752100 \mu m$

Not even $\sigma_8 \geq (2-15) \mu m$

ZEVEN:

Standaard zeven: in de wijk de MREK 12.
dus opp f almer 2

→ mogelijkheid: spontane agglomeratie op de zif

→ Luftstrahlzif of nat zeven (grote platen)

na de afmeting

zetten uit

Conditie zeven: gief zelfde beweging naar zif!

totale zeven
(brommende zeven)

vlakte zeven

gief/permanente stroom
zelfgead

tijdelijk contact
(intermittend)

voortdurend contact
met zelfgead

componde zeven

A20-zif
met binnenroter
 $d \leq 20 \mu m$

Schud zeven

TRSL zeven

Ampl: cm's Ampl: mm's

+ lucht & door te combi-
neren met pneumatische
classificatie (verminderd)

Vlakdraaiende
zeven.

Plansievers.

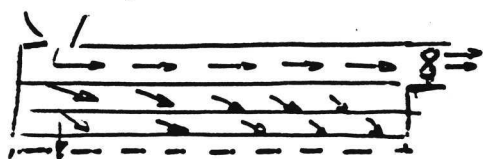
Alf schieden van
diefje met uit-
en loopende vorm

NAT ZEVEN: Zifbochten - zifwerk f stikende
- kool zelfgead

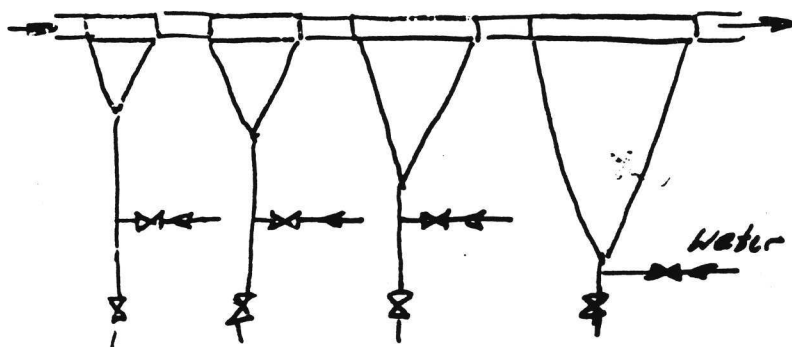
1000 zeven

- zifwerk f holle schuiven
- kool f met zelfgead

goed scheiding als fluidumstroom horizontaal en verticaal gelijktijdig is $\rightarrow$ bijv. Wan



of hydraulisch, combineren van stroomtrek en ziften met opstroom



Centrifugale kracht

STOKES: $v_s' = \frac{p_v - p_f}{18 \rho_f} \cdot \frac{\omega_r^2 r d^2}{2}$

ω_r = hoekwiskheid

Door gepompte lucht: balans $v_r \cdot r = \int v \cdot \frac{1}{2\pi} \rightarrow v_r = \text{luchtsnelheid op plaats}$

$$v_r = \frac{F_v}{2\pi r}$$

Platte doors zifter:

Bolletje in evenwicht als op straal r : $v_r = v_s'$

dus: $\frac{p_v - p_f}{\rho_f} \cdot 2\pi \frac{\omega_r^2 r^2 d^2}{2} = 18$

logarithmische spiraal $\omega_r r^2 \propto \frac{1}{r}$ $\left\{ \frac{p_v - p_f \cdot 2\pi \omega_r^2 d^2}{\rho_f \cdot 2\pi r} = 18 \right.$

Scherpere scheiding als $\omega_r r = \text{constant} \Rightarrow \omega_r^2 r^2 = \text{const!}$

d.i. = bijv. Archimedes' spiraal

Platte doors zifter: $D = 30 \text{ cm}$, $H = 5 \text{ cm}$, $H_{\text{boer}} = 5 \text{ cm}$, $D_{\text{af}} = 5 \text{ cm}$
 $Q_v = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \rightarrow v_{\text{lucht}} = 1 \text{ m s}^{-1}$
 $\rho = 1.3 \text{ kg m}^{-3}$, $v = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; $\rho_s = 2000 \text{ kg m}^{-3}$

STOKES: $\bar{v}_v = \frac{Q_v}{A}$ en $\omega r = \bar{v}_v / r \Rightarrow d_0 = \sqrt{\frac{18 \cdot \rho_f \cdot v \cdot p_f}{\rho_s \cdot Q_v^2}}$

$$d_0 = \sqrt{\frac{9}{\pi} \cdot \frac{H^2}{Q_v} \cdot \frac{v \rho_f}{\rho_s}} = 29 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 29 \mu\text{m}$$

- Walther zifter

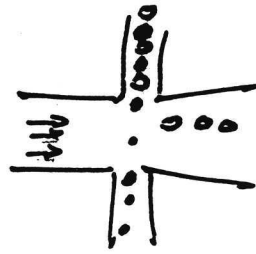
- Van Tongeren zifter

- Alpino windzifter

} maar ook Hydrocyclonen!

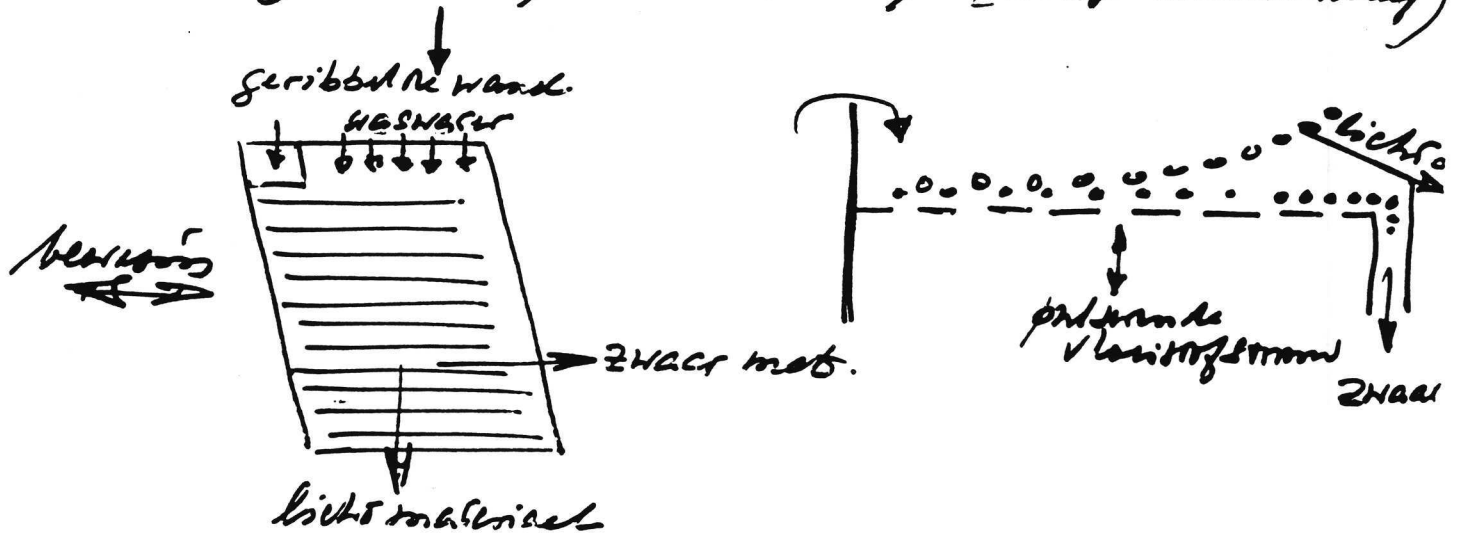
Verdeling van de vrije val
 ook wel dwarsstromsifting

aspirateurs (Mumba.)



zig-zag - sifting (ALPINE)

Rekening TABLING en DIGGING (Suspendiescheiding)



Conclusies:

- STROKING i/d onderscheidene app mogelijk te beschrijven (compromissen).
- Afh. v/d inventiviteit v/d ontwerper!
- Soms sterk branchesafhankelijk.
 (z.a. maaldorren)
- Niet veel nieuws onder de zon.

Opmerkingen bij de voordracht van de hr van Zuilichem

De heer Rademacher vraagt of er bij het opschalen van gascyclonen met kentallen gewerkt kan worden. Het antwoord van de heer van Zuilichem luidt dat dit gebeurt voor hydrocyclonen maar (nog) niet voor gascyclonen omdat er in dit proces teveel vrijheidsgraden zijn. Een van de problemen hierbij is het gedrag van de vortex onderin de cycloon. Deze kan de neerwaartse stroming langs de wand beïnvloeden. De heer Rademacher vraagt of het zinvol is om de ingang van de gasuitgangscilinder door te trekken tot vlak boven de stofuitlaat van de cycloon. De heer van Zuilichem antwoordt hierop dat dit wordt toegepast bij kleine cyclonen maar dat opschalen, opnieuw, moeilijk is.

SCHEIDEN VAN DEELTJES

In deze voordracht zullen methoden behandeld worden om deeltjes te scheiden op grond van hun afmetingen. Scheidingen zijn ook mogelijk op grond van andere grootheden, zoals korrelvorm, dichtheid, magnetische eigenschappen e.d.; deze worden niet behandeld.

Voor scheiden op deeltjesgrootte komen in principe twee methoden in aanmerking: zeven en ziften.

Bij het zeven worden de afmetingen van elke korrel vergeleken met de afmetingen van de openingen in een zeefgaas. De korrels die kleiner zijn dan deze openingen vallen door en worden zodoende gescheiden van de grovere deeltjes.

Ziften is een heel ander proces. Hierbij worden op het deeltje twee krachten uitgeoefend, n.l. een massakracht (zwaartekracht of centrifugaalkracht) en in een andere richting een weerstandskracht t.g.v. langsstromende lucht. Voor kleine deeltjes overheerst de weerstandskracht, zodat ze met de lucht mee bewegen. Grotere deeltjes bewegen in de richting van de massakracht en worden dus van de kleine gescheiden. De scheiding vindt dus eigenlijk niet plaats op grond van de afmetingen van het deeltje, maar op grond van de kracht die de lucht erop uitoefent en deze hangt mede van de vorm van het deeltje af.

Zeven kan worden toegepast voor scheidingsgrenzen groter dan ongeveer 20 μm , tot afmetingen van vele cm. Hoe kleiner deze zeefmaat, hoe moeilijker het wordt. In de praktijk is het zeven beneden 100 μm meestal niet aantrekkelijk, hoewel pneumatische zeven hier nog wel toepasbaar zijn. Ziften is geschikt voor scheidingsgrenzen tussen 1 en ca 300 μm ; voor sommige specifieke toepassingen ligt de bovengrens nog hoger. Op grond van deze verschillen in scheidingsgrens is de keuze tussen zeven en ziften meestal niet moeilijk. De keuze uit het grote aantal verschillende typen zeven en zifters is echter veel minder eenduidig.

Zeven en ziften zijn processtappen die al vele eeuwen worden toegepast. Industriële machines voor toepassing in de proces-technologie zijn de laatste 100 jaar in tientallen varianten ontwikkeld. De mathematische beschrijving van de plaatsvindende processen is, zeker wat het zeven betreft, nog nauwelijks van de grond gekomen. De keuze uit de op de markt beschikbare zeef- en ziftertypen moet daarom nog altijd op grond van experimenten gemaakt worden. Belangrijke punten voor de beoordeling van experimentele resultaten zijn:

1. de scheidingsscherpte in relatie tot te doorzet,
2. de snelheid waarmee de scheidingsscherpte in de tijd achteruitgaat door vervuiling.

Voor de karakterisering van de scheidingsscherpte is de Tromp-curve de beste methode. Helaas wordt deze door zeefabrikanten nooit gebruikt, omdat de bepaling hiervan niet eenvoudig is.

In de voordracht zullen verder de meest voorkomende zeef- en zifertypen en hun toepassingsmogelijkheden worden behandeld.

SCHEIDEN VAN DEELTJES

H. Slangen

Sektor Procestechnologie

DSM-Research



SCHEIDEN OP GROOTTE

* Zeven

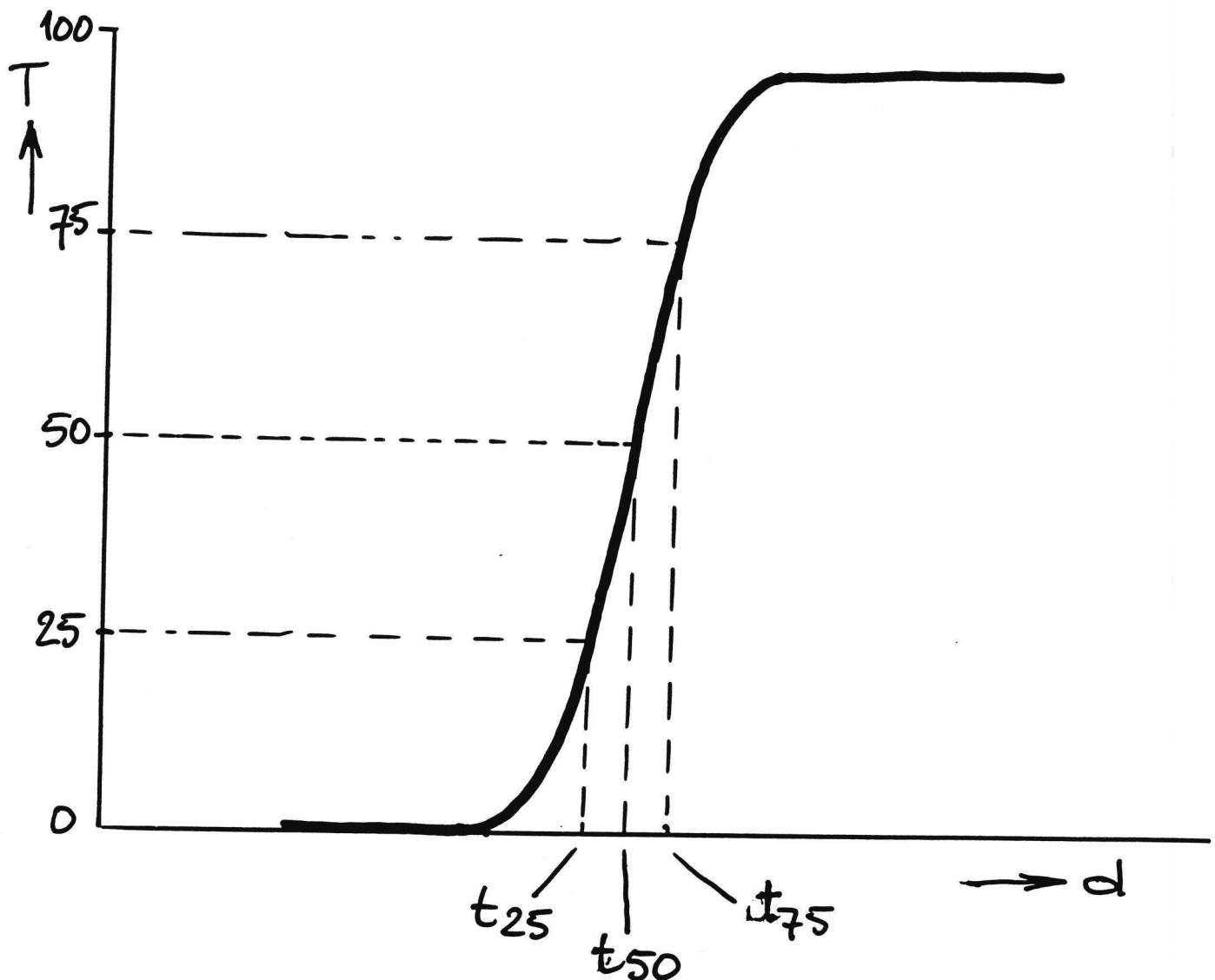
Vergelijking korrel-afmetingen met openingen in zeefgaas

* Ziften

Scheiden op basis van verschil in valsnelheid

* Karakterisering scheidingsproces

TROMP-KURVE



Tromp-kurve geeft de kans voor een korrel om in de groffractie te komen als functie van de diameter.

Scheidingsgrens: t_{50}

Scheidingsscherpte: t_{75}/t_{25}

KARAKTERISERING SCHEIDING

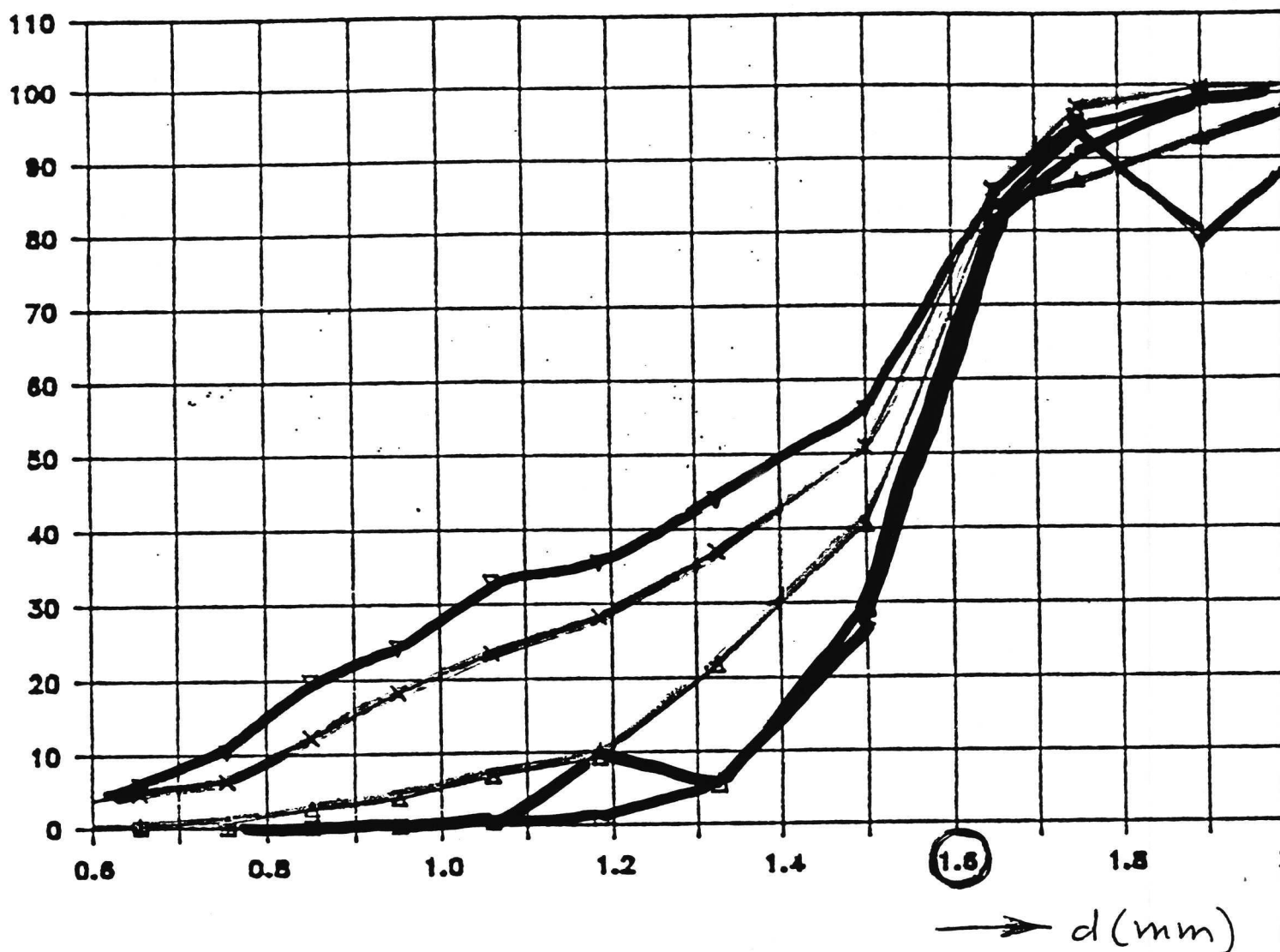
* Scheidingsscherpte

- Tromp-kurve
- $t_{75} / t_{25} (= K)$
- oversnijding

* Scheidingsresultaat

- rendement
b.v. $\frac{\text{grof afvoer}}{\text{grof in toevoer}}$
- % foutkorrel

SCHEIDINGSSCHERPTE versus DOORZET



$\square$ 4 $t/m^2 \cdot h$

$+$ 8 $t/m^2 \cdot h$

$\triangle$ 12 $t/m^2 \cdot h$

$\times$ 14 $t/m^2 \cdot h$

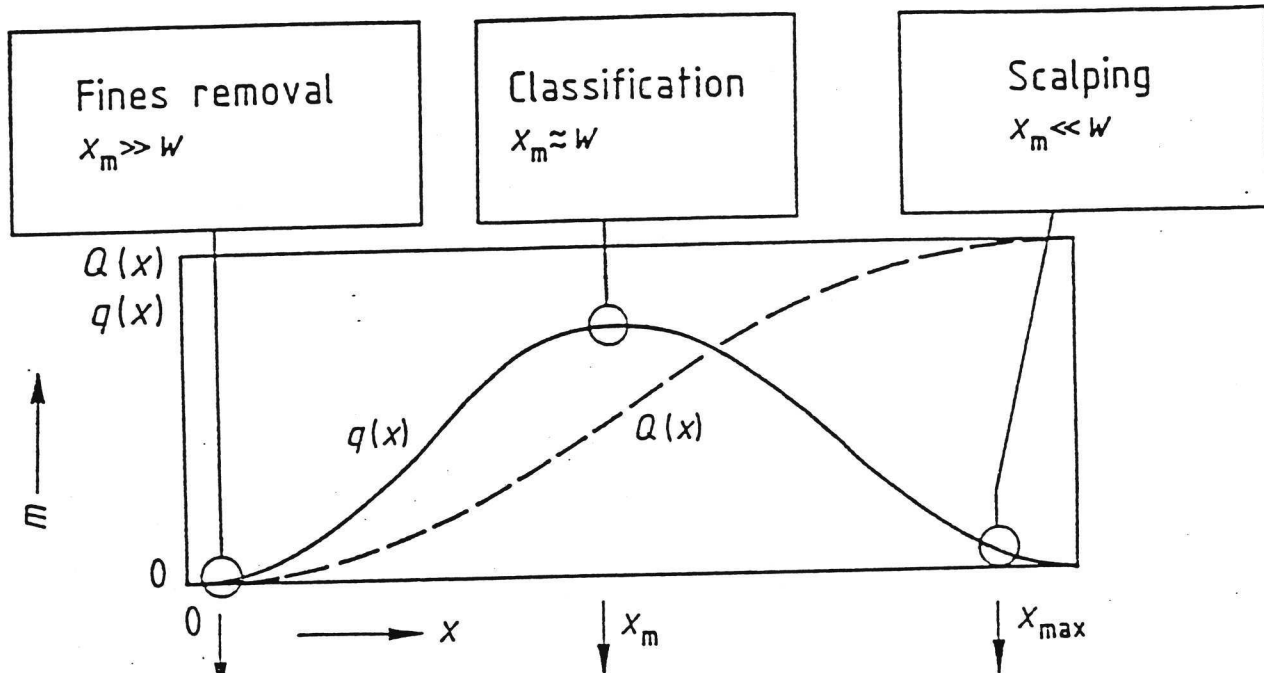
∇ 16 $t/m^2 \cdot h$

DSM



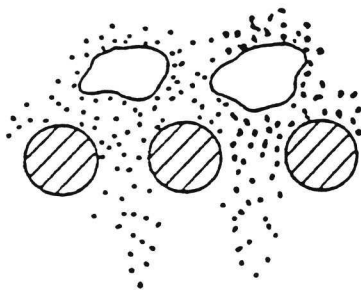
SOORTEN SCHEIDING

Task:

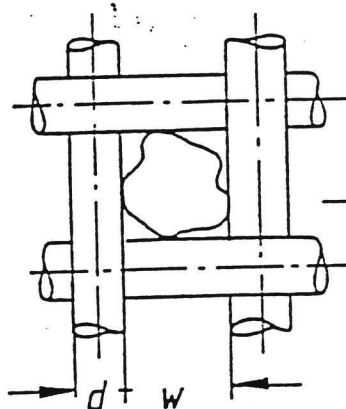


Problem:

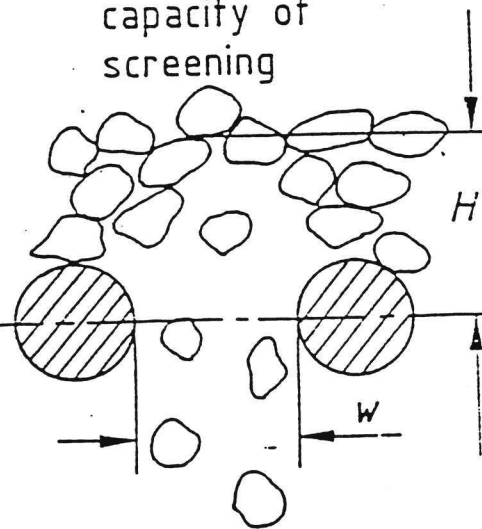
Bonding forces,
deagglomeration



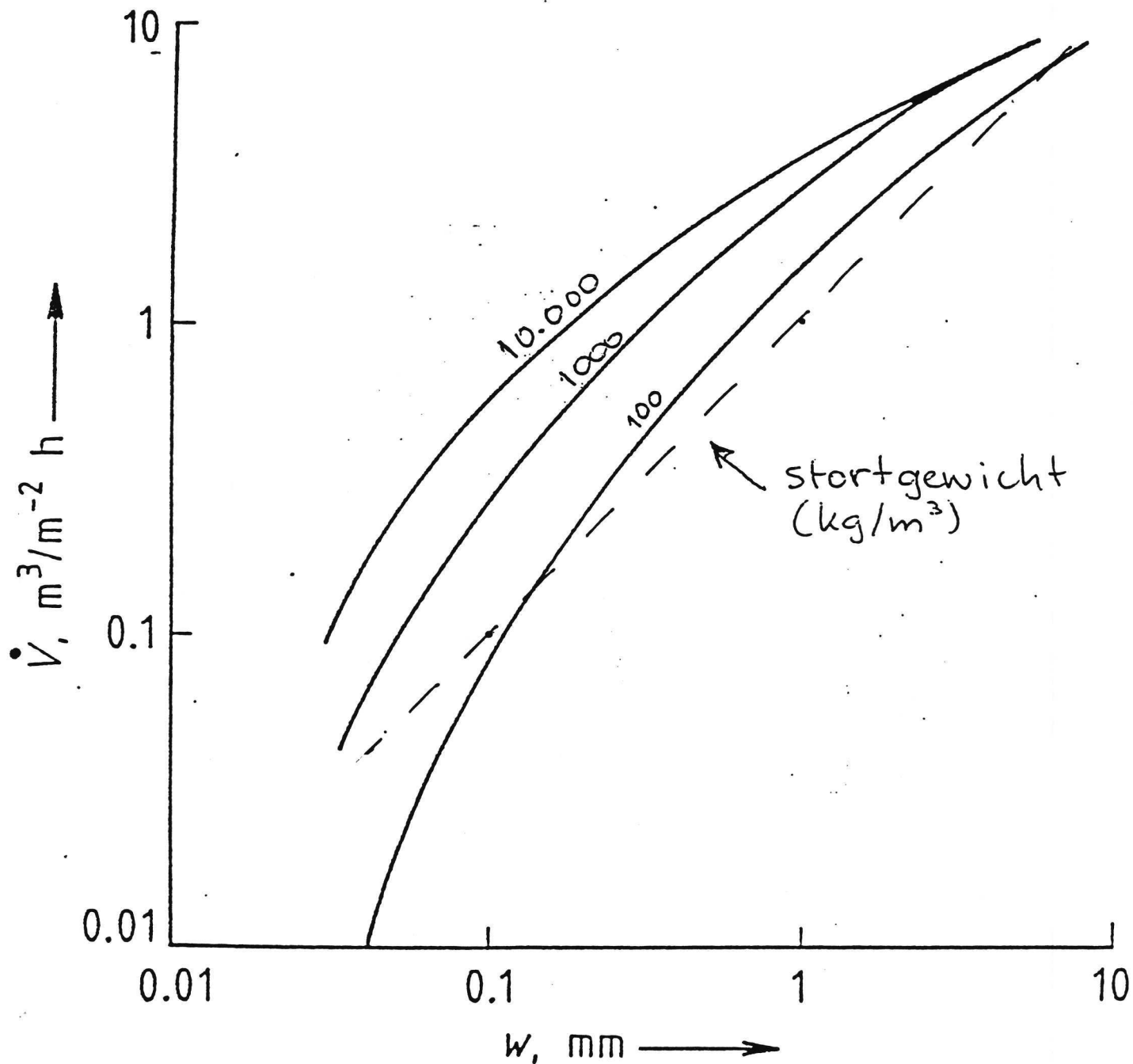
Plugging,
sharpness
of cut



Friction,
capacity of
screening

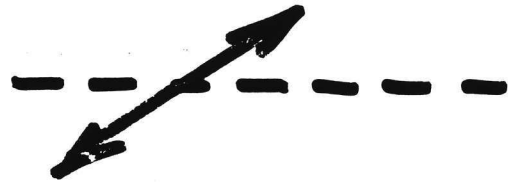


KAPACITEIT ZEVEN

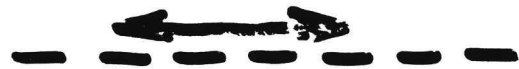


INDELING ZEVEN

- * Wurfsieb
(Vibratory screen)



- * Plansieb
(Sifter screen)



- * Trommel zeef
- * Mogensen - zeef
- * Pneumatisch zeef

~ 100 leveranciers

Overzicht Duitse leveranciers:

Chem.-Ing.-Tech.

63 (1991), A 562-571

WURFSIEB

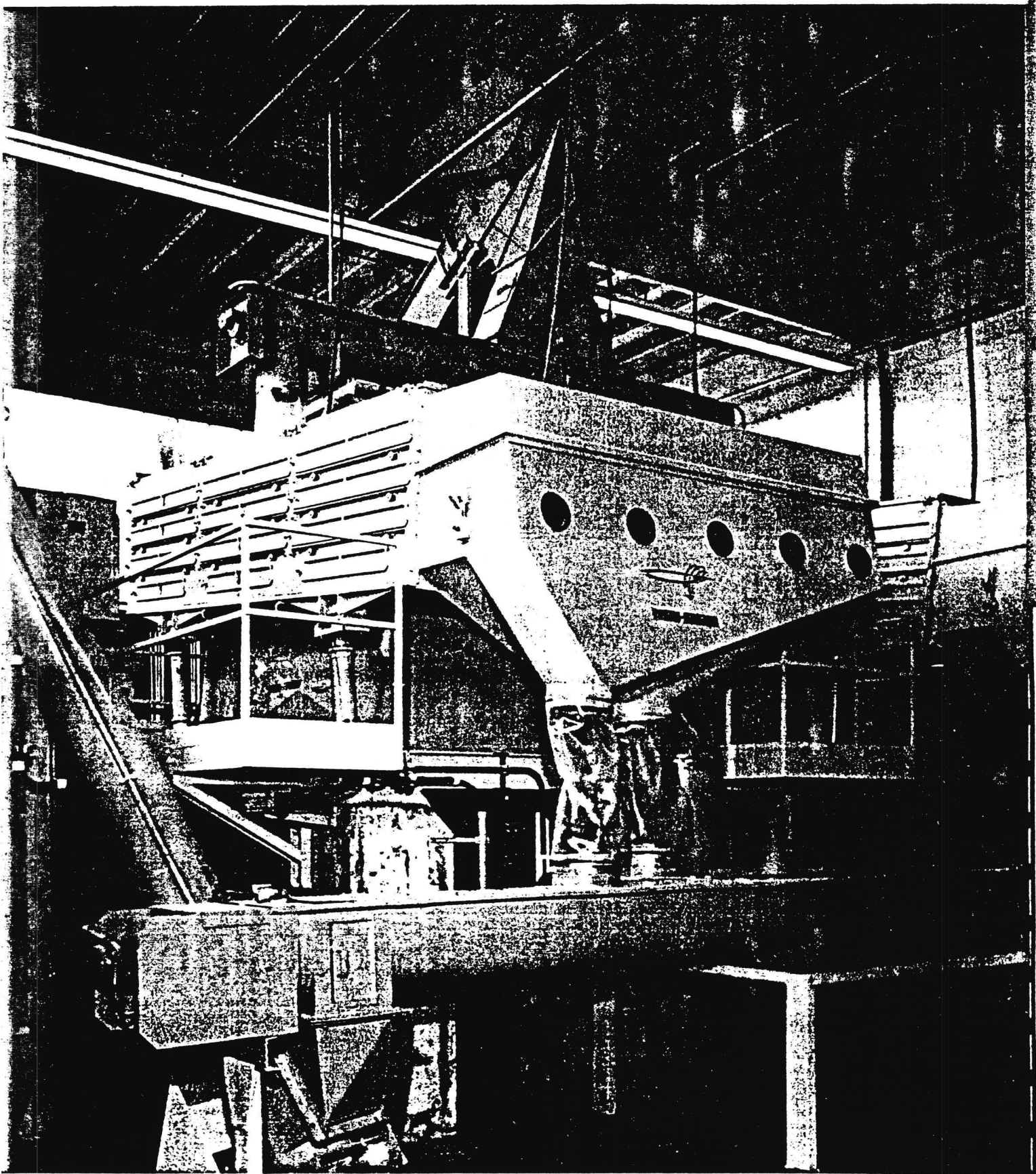
* Horizontaal

- lage frekwentie, grote amplitude
- scherp scheiding
- relatief lage doorzet
- vooral scheidingen $> 1\text{mm}$

* Hellend (tot ca 30°)

- hoge frekwentie, kleine amplitude
- hoge doorzet
- minder scherpe scheiding

Oppervlak tot ca 50m^2





UP

SUPERIEURE



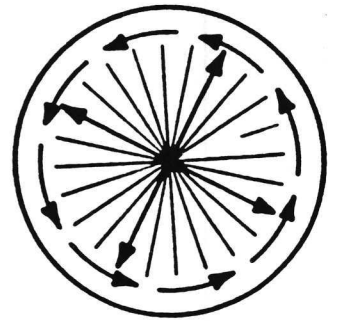
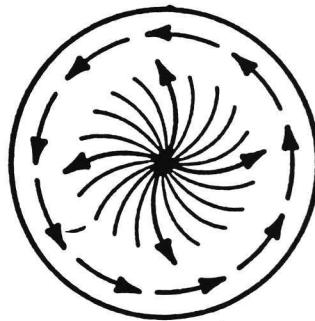
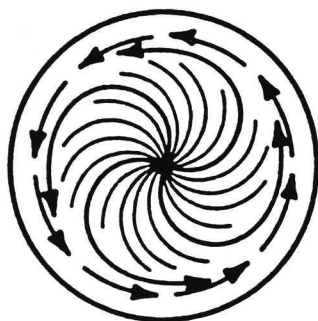
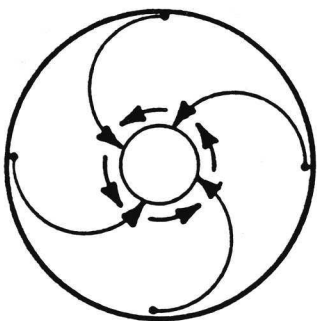
OBEN

おもて

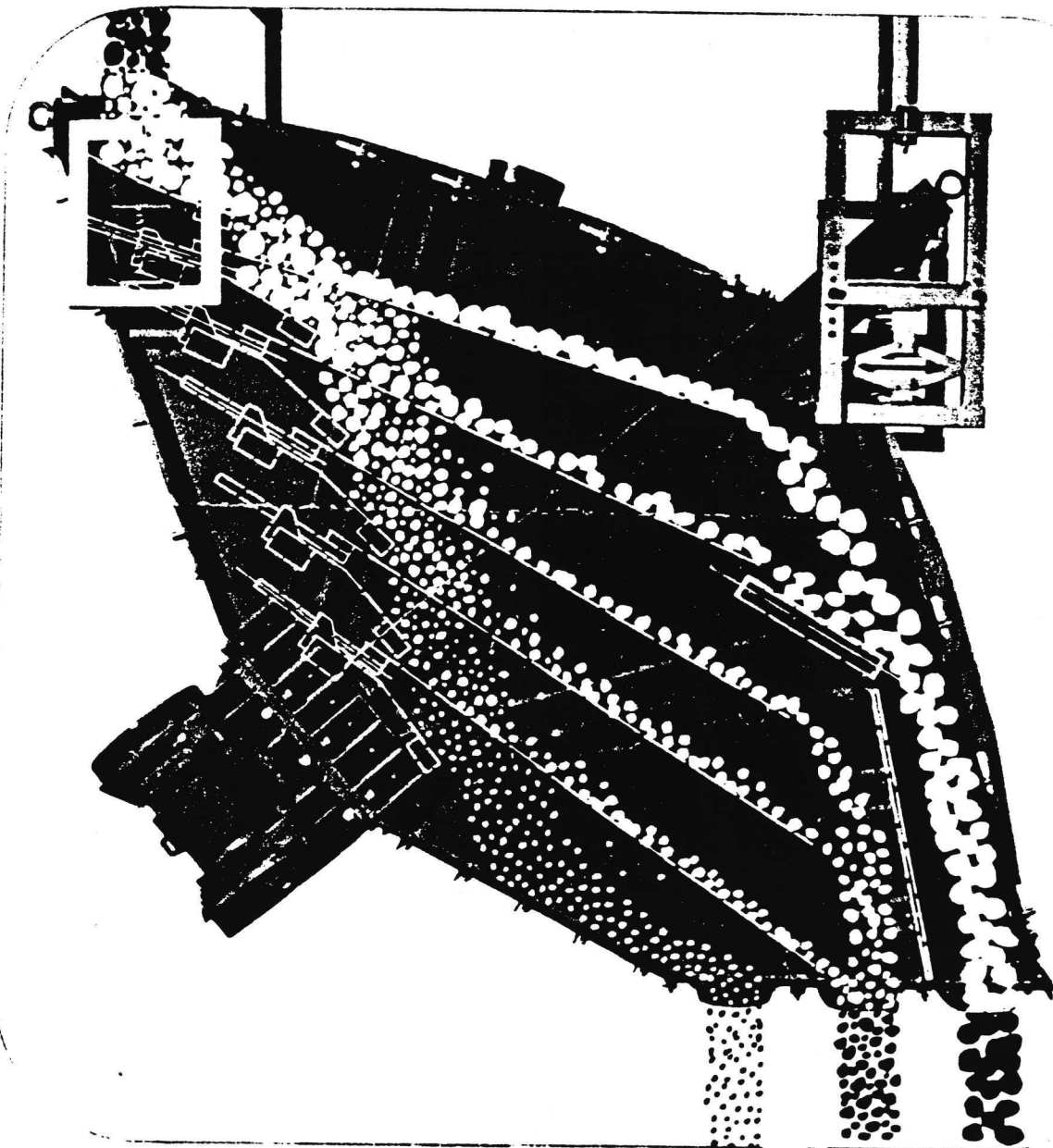


PLANSIEB / TUIMELZEEF

- * Voor kleine maaswijdten ($< 1\text{ mm}$)
- * Grootte tot $2,5\text{ m } \phi$ (6 m^2)
- * Bewegingspatroon produkt kritisch

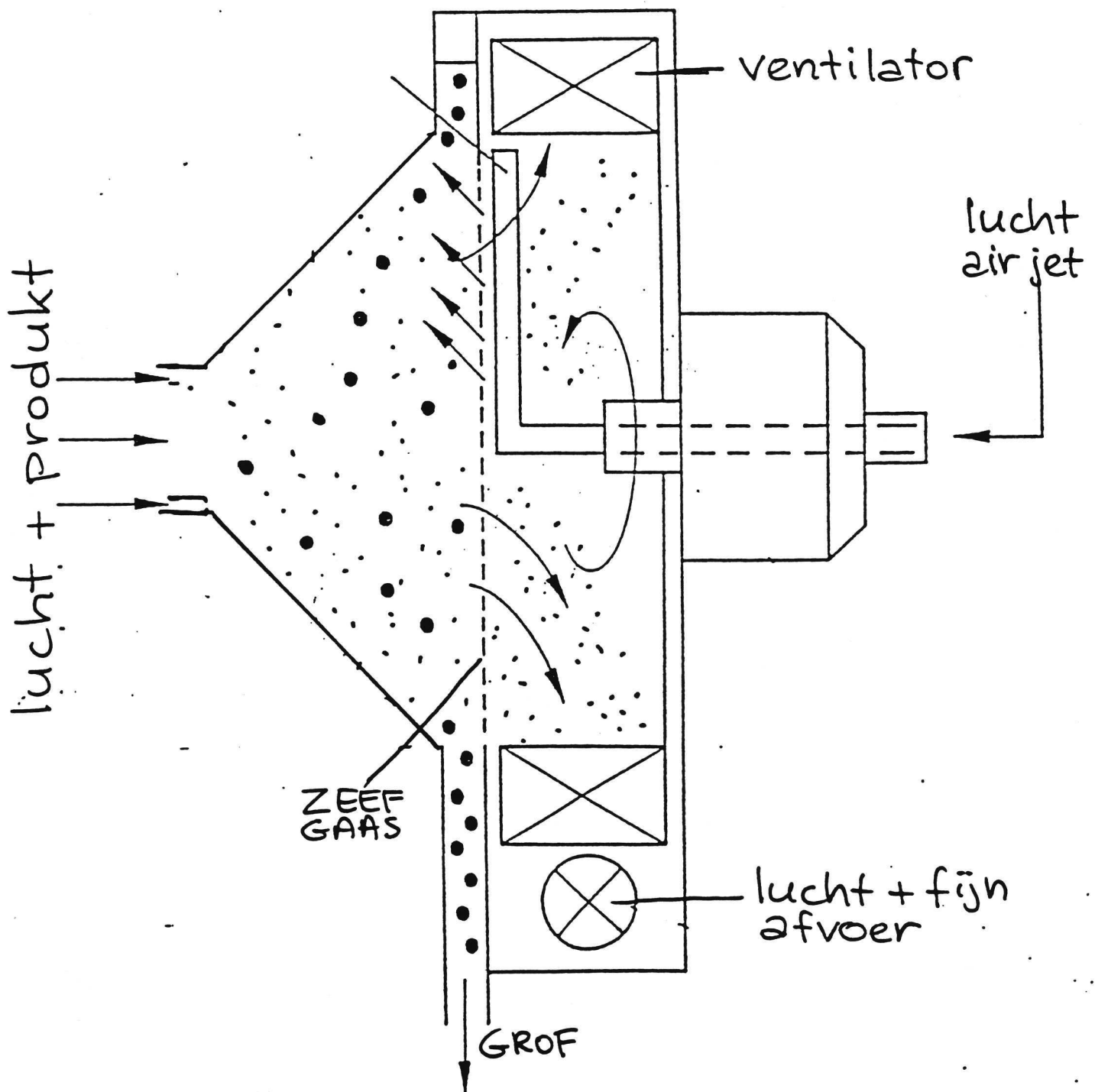


MOGENSEN-ZEEF



- * zeer hoge doorzet
- * vrij lage scheidingscherpte
- * geen verstoppingen van zeefgaas

PNEUMATISCH ZEEF



PNEUMATISCH ZEEF

VERVUILING ZEEFGAAS

* Klemkorrels

- vooral bij ronde en rechthoekige korrels
- vooral als weinig grof ($> 2\text{ w}$) aanwezig is

* Aangroei stof

- aan onderkant
- aan bovenkant

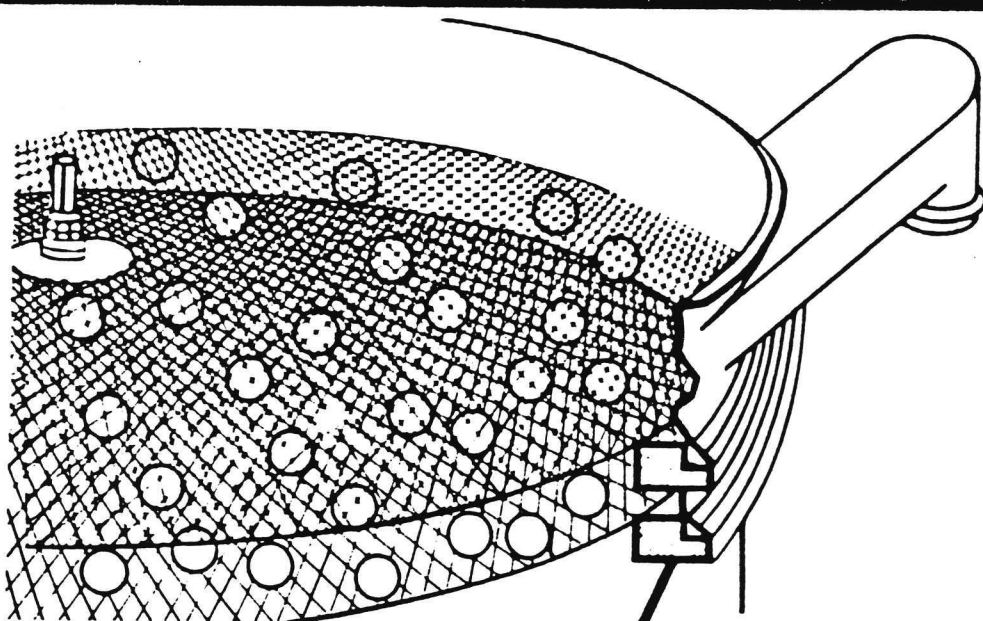
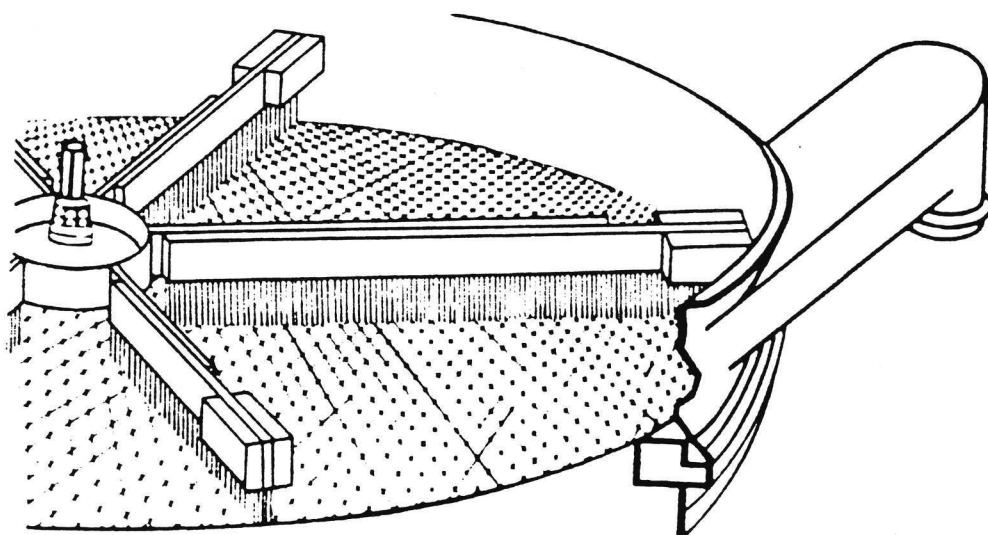
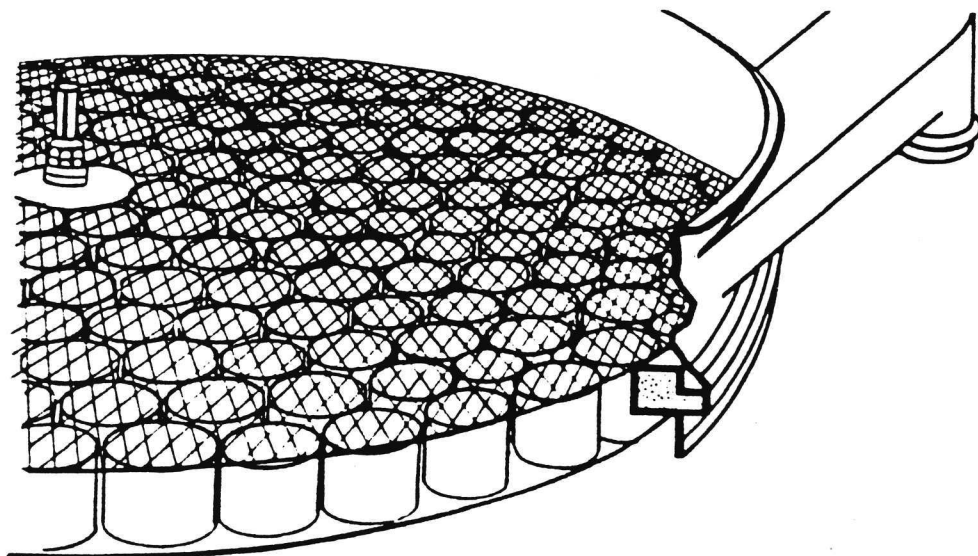
* Elektrostatische oplading

* Harige, vasthakende deeltjes

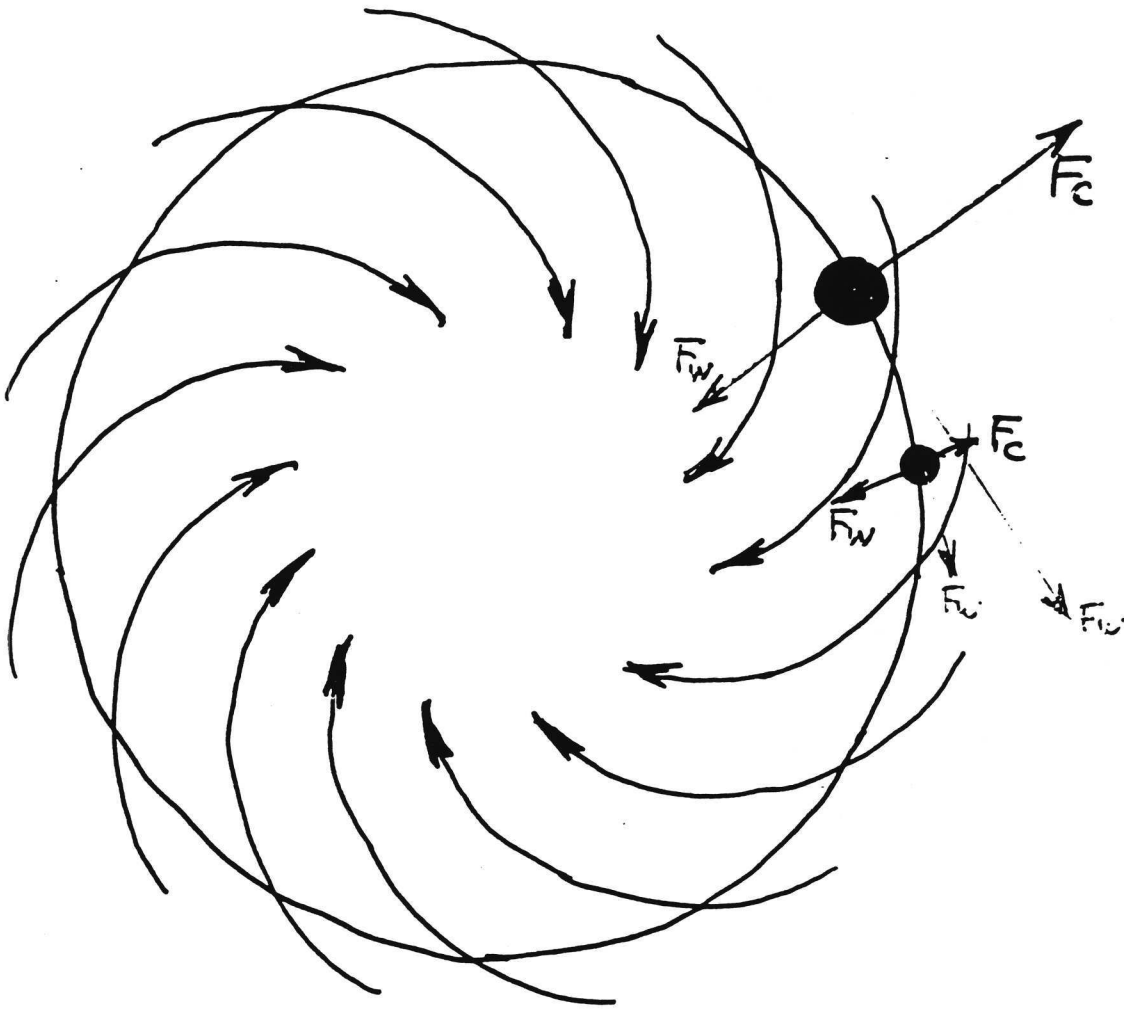
* Plakkerig, vochtig materiaal

BESTRIJDEN VERVUILING

- * ballen of ringen onder zeef
- * roterende borstels onder zeef
- * borstels op zeef
- * pneumatische reiniging
- * ultrasone trilling
- * langwerpige mazen (harp)
- * materiaalkeuze zeefgaas



PRINCIPE ZIFTER



$$F_{\text{centrifugaal}} = m\omega^2 R \cong d^3$$

$$F_{\text{luchtweerstand}} = C_w \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\rho}{2} v^2 \cong d^2 \text{ of } d$$

SOORTEN ZIFTERS

* Zwaartekracht

- stijgzifter
- zig-zag-zifter

* Centrifugaal kracht

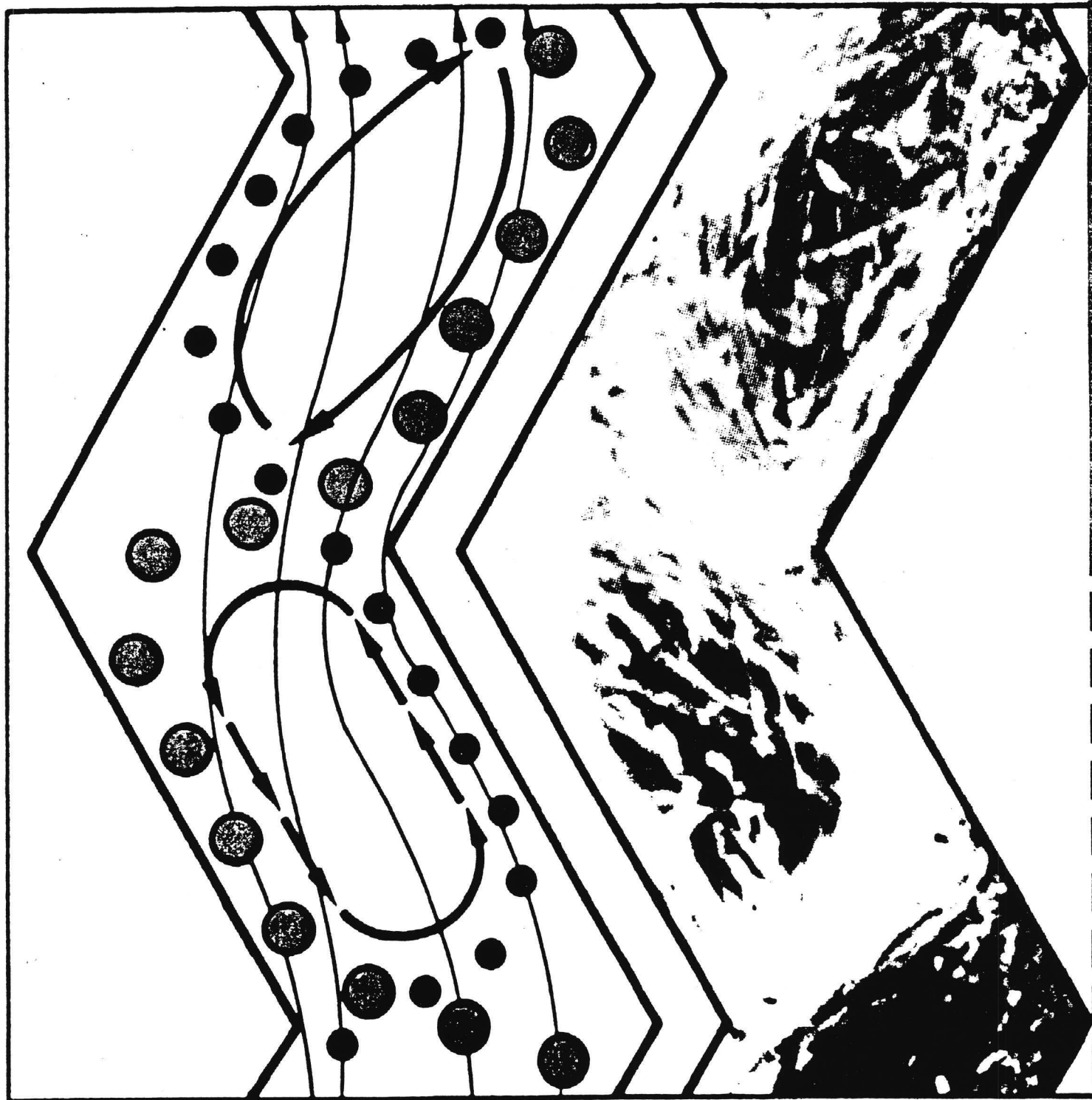
- spiraalwindzifter
- idem met rotor
- Abweiserad (deflector wheel)
- Streutellersichter

Scheidingsbereik varieert

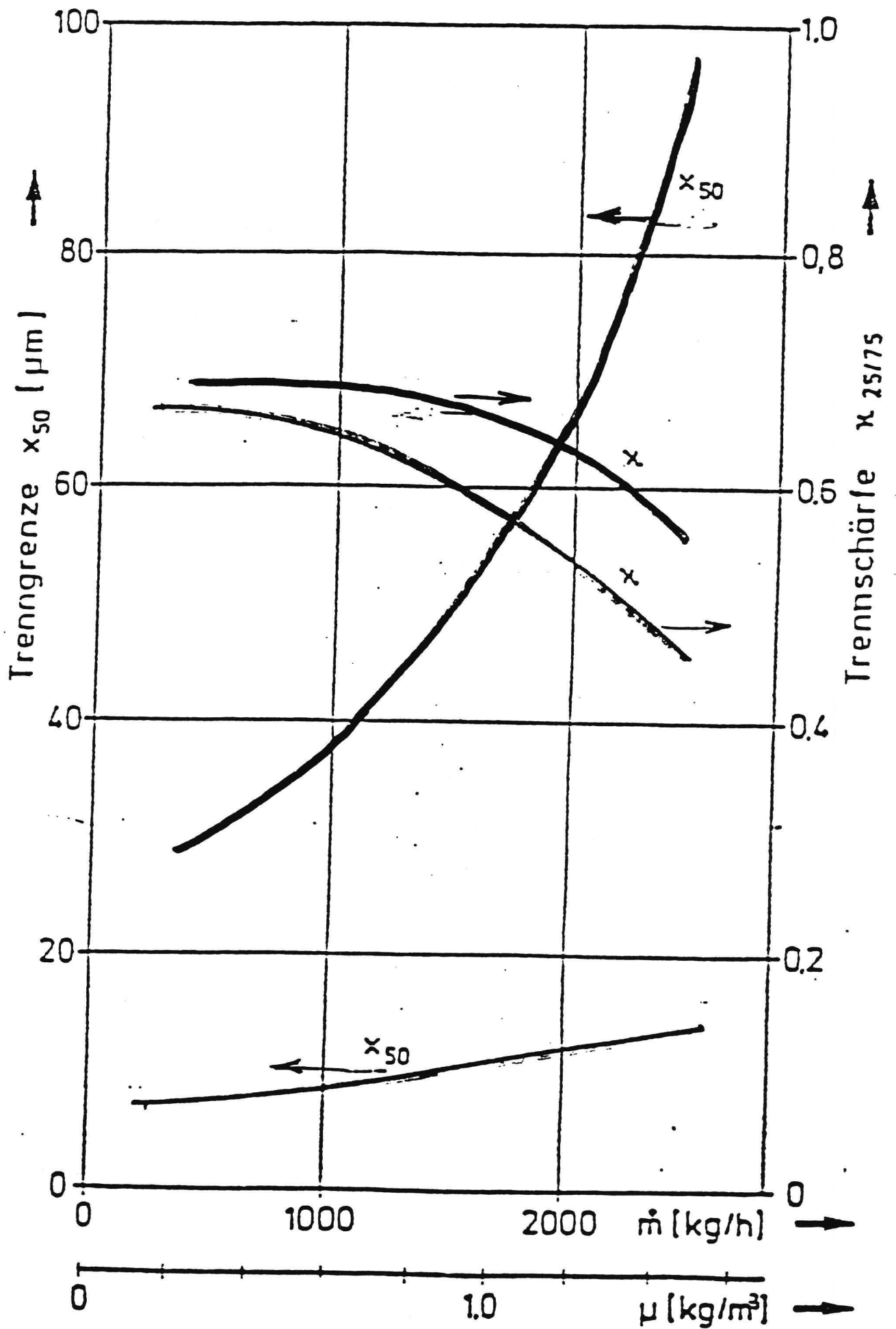
van 1-10 μ
tot 30-600 μ

Kapaciteit maximaal
(afh. type 5-50 t/h),
sommige tot 500 t/h.

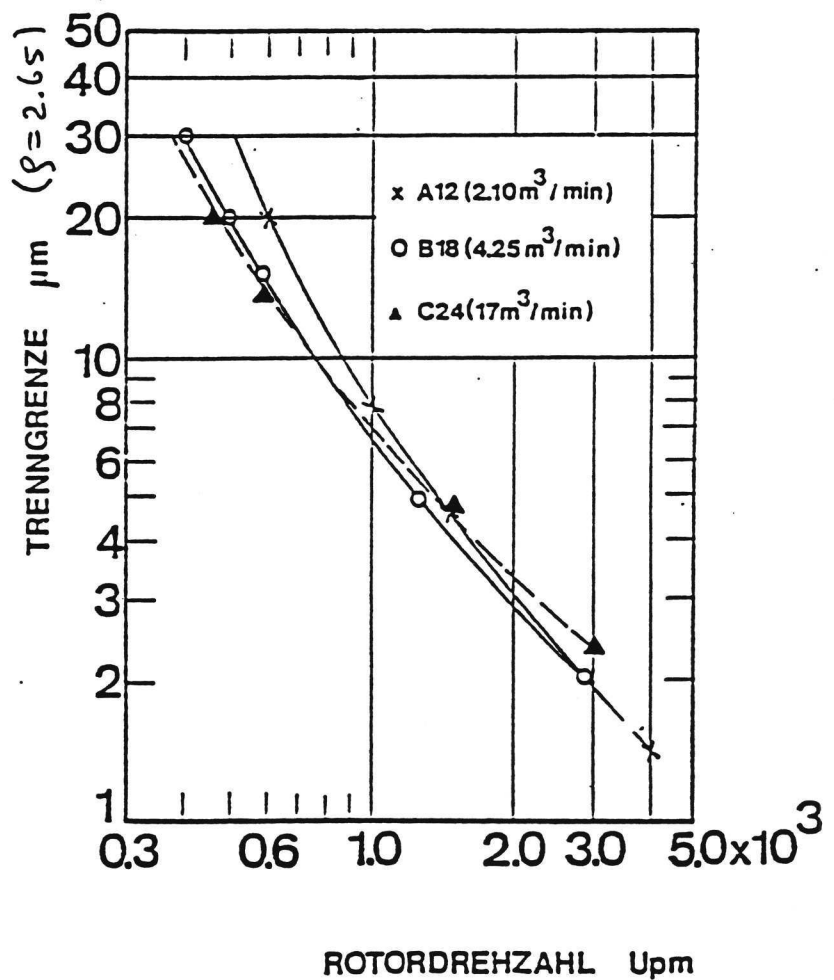
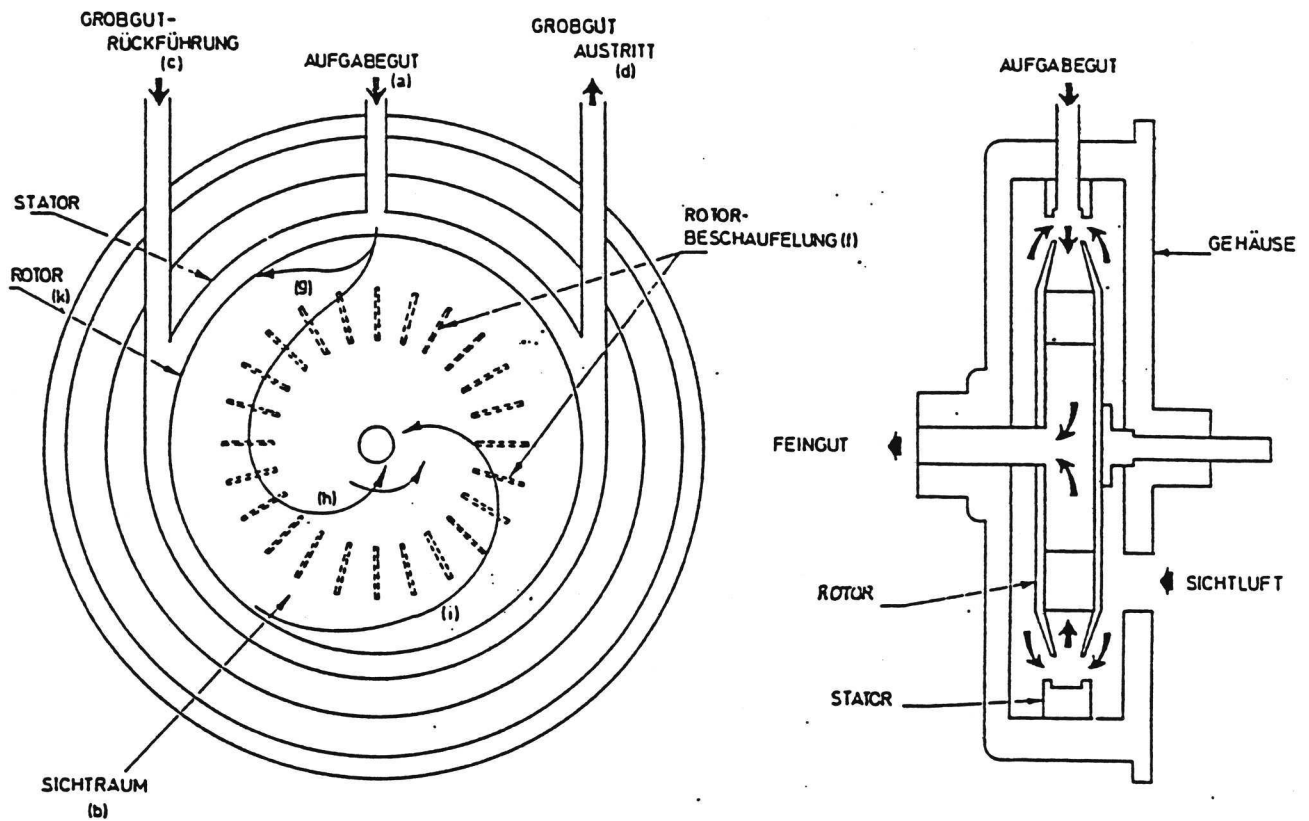
ZIG-ZAG-ZIFTER



SPIRAALZIFTER



SPIRAALZIFTER MET ROTOR



Opmerkingen bij de voordracht van de hr Slangen

De heer Laarhuis vraagt of de keuze tril- of centrifugaalzeef produktafhankelijk is. De heer Slangen antwoordt dat binnen DSM de centrifugaalzeef niet of nauwelijks wordt gebruikt vanwege de optredende slijtage aan het zeefgaas. Voor toepassingen met een kleine capaciteit wordt steeds meer de pneumatische zeven gebruikt.

De heer van Zuilichem vraagt welke zeven toegepast kunnen worden om heel fijne deeltjes ($d_{50} \approx 10 \mu\text{m}$). Het antwoord van de Slangen luidt spiraalwindzifters met rotors. Deze zijn alleen te gebruiken bij kleine doorzetten.

Verkleinen van plantaardige vezels, Ir. E. van der Ent

1000

➤

^

> PAPIER-MACHINE

• • •

>

^

^

 $\wedge$

^

✓
✓
✓
✓

✓
✓
✓
✓

FABRIKAGE VAN PULP, CELLULOSE EN PAPIER
PROCESSEN VAN VERKLEINING

[1]

VERSPANEN VAN HOUT : IN EEN "SNIJBONEN"-MOLEN

PROCES : MECHANISCH SNIJDEN, HALF IN DE LENGTE-RICHTING
PROBLEEM : ER ONTSTAAN FIJNE DEELTJES, "ZAAGSEL"

[2]

HAKSELEN : GAAT GOED MET VERS [OF] DROOG MATERIAAL

PROCES : SNIJDEN MET GUILLOTINE, DRUM MET MESSEN
PROBLEEM : GAAT SLECHT MET BAMBOO, GAAT SLECHT MET
VOCHTIG VEZELIG MATERIAAL

[3]

OUD PAPIER : GAAT GOED

PROCES : "HUISHOUD-MIXER", MET WATER 5 op 100
PROBLEEM : VERVUILING VAN OUD PAPIER [ZAND, IJZERDRAAD,
TOUW, PLASTIC, STENEN ; VOCHT]

[4]

SLIJPEN VAN HOUT : TEGEN EEN ROTERENDE STEEN, 100 BIJ 100 CM
DIAMETER

PROCES : HOUT MET WATER TEGEN ROTERENDE STEEN DRUKKEN
[vocht, temperatuur ; lignine vervloeit, maar
alleen plaatselijk]

PROBLEEM : ENERGIE-VERBRUIK 1800 tot 2400 Kwh PER TON

[5]

KOKEN : DOOR OPLOSSEN VAN LIGNINE [druk, temperatuur]
VALLEN SPAANDERS UITEEN TOT INDIVIDUELE VEZELS

PROCES : CHEMISCH ONTSLUITEN [natronloog, sulfiet, kraft]
IN VLOEISTOF [verhouding 1 op 4, druk, temperatuur]

PROBLEEM : HOGE INVESTERING, ECONOMIES OF SCALE

[6]

MALEN : INDIVIDUELE VEZELS ZO "OPEN LEGGEN", DAT
VEZEL-BINDING KAN ONTSTAAN ZELFS ALS DE
PAPIERBAAN NOG NAT IS

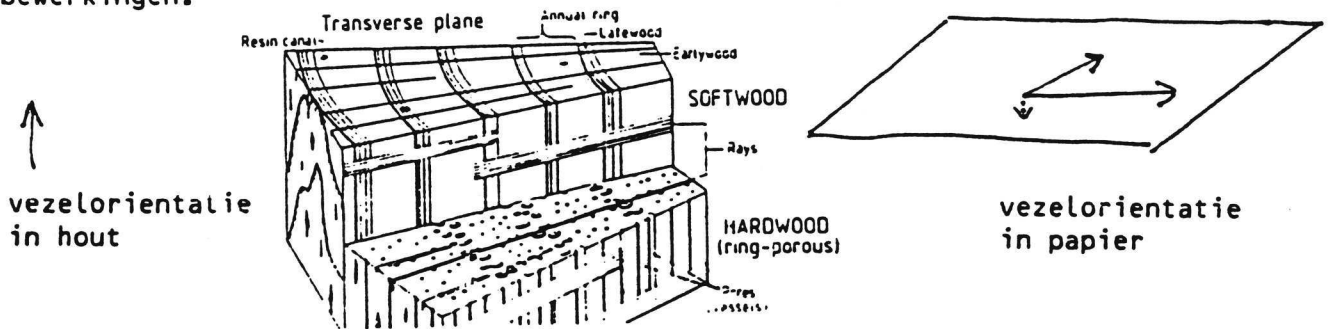
HET MEEST INTERESSANTE EN MINST BEGREPEN
PROCES IN DE PAPIERFABRIEK

VERKLEINEN VAN PLANTAARDIGE VEZELS

ir e j van den ent, consulting engineer [research en ontwikkeling], Verenigde Naties

Papier wordt gemaakt uit plantaardige vezels. De grondstof is hout [naaldhout of loofhout, tegenwoordig veelal uit bos-plantages] ; of het is stro, bagasse [het vezelig afvalprodukt bij suikerriet] of katoenafval ; het kan ook afkomstig zijn van vezelplanten zoals vlas, hennep, kenaf, riet. Welke soort grondstof er wordt gekozen, is vooral afhankelijk van de kostprijs.

De vezelgrondstof is niet zo maar geschikt om het twee-dimensionale papier te maken. De vezels hechten onderling pas voldoende, na een tweetal drastische bewerkingen.



Papier bestaat uit een voornamelijk twee-dimensionaal georiënteerd netwerk van individuele vezels, die - door vezelbinding - genoeg cohesie hebben om als papiervel te bestaan.

De cohesie komt van fysische en fysisch-chemische bindingen tussen macromoleculaire ketens van cellulose [in-direct ook door bindingen tussen cellulose via hemicelluloses]. Er is een gering effect door mechanische binding tussen vezels, dat op zichzelf onvoldoende is om papier te geven, echter wel voldoende in bouw materiaal zoals zachtboard.

De cellulose-ketens liggen, minder of meer georderd in bundels, in de vezels.

In plantaardig materiaal [ook in hout] ligt het vezelmateriaal eveneens in bundels. Deze bundels vezels zijn samen-gekit door een andere plantaardige substantie, lignine. Een tweede substantie, die de cohesie in zowel weefsel als papier bevordert, is hemicellulose.

Om nu uit plantenweefsel een nuttig produkt, zoals papier, te maken, zijn er drie of vier proces-technologische bewerkingen nodig.

We onderscheiden twee hoofdzakelijke processen : het maken van pulp en cellulose, en het maken van papier.

Pulp of cellulose wordt gemaakt door de vezels in het weefsel van planten individueel te bevrijden : macereren.

Papier wordt gemaakt door deze individuele vezels zo te bewerken dat er een nieuwe mogelijkheid van cohesie ontstaat [door "malen"] en vervolgens - op een zeefdoek - een twee-dimensioneel produkt van te maken.

Hout heeft een hechte structuur, en een drastisch proces is nodig om de vezels te macereren. Dat kan op twee manieren : mechanisch of chemisch.

Stro heeft ogenschijnlijk een minder hechte structuur, maar de chemische samenstelling vraagt [net als bij hout] een drastische processtap, voordat de maceratie is voltooid. Zelfs katoenvezels [toch 95 tot 99 percent cellulose] vragen een grote inzet van energie [voor het "malen"], voordat er papier van gemaakt wordt.

Rondhout kan worden geslepen, door het [onder toevoeging van water] tegen een ruwe, roterende steen te drukken. Er ontstaat een vezelbrij, waarin individueel gemacereerde vezels naast vezelklompen en weefselklompen worden aangetroffen. Er wordt geen poging gedaan om de lignine te verwijderen : daarentegen is het proces er op gericht, de lignine juist voldoende te laten "vervloeien", zodat de vezels gemacereerd zijn. De incrusterende substantie vervloeit onder druk en temperatuur

in de slijpzone, de vervloeiing is juist voldoende om de vezelbrij te laten ontstaan. Aan de ruwe, ja niet selectieve aard van het proces is het te wijten dat, naast individueel gemacereerde vezels een grote hoeveelheid weefselklompen ontstaan. Voor ruw en goedkoop papier [voor kranten] is dit een aantrekkelijk proces.

Hogere eisen vanwege het drukken van kranten vragen om een beter gemacereerde grondstof voor dat papier. Dat is tegenwoordig mogelijk door het vervezelen van houtspaanders in het TMP en CTMP proces.

Het hout wordt dan vooraf ge-chipt tot spaanders. De chips worden, eventueel na een impregneerfase [met een chemische stof], vervezeld in een schijvenmolen, onder druk en temperatuur. Het vervezelingsproces gaat gewoonlijk in twee stappen [de tweede is atmosferisch].

Het produceert een uitstekend vervezelde stof [een hoog gehalte aan individueel gemacereerde vezels], die evenwel in chemisch opzicht nog alle componenten hebben van de oorspronkelijke grondstof. Die laatste faktor heeft invloed op de vezelbinding, de kleur en de houdbaarheid van het papier : dat zijn prijs-kwesties bij het gebruik van papier.

Een meer duurzame soort papier wordt gemaakt van chemisch ontsloten celstof. Het hout wordt dan eerst ge-chipt tot spaanders, daarna gekookt [druk, temperatuur] met een reagens zoals natronloog, sulfide of sulfiet. Aan het eind van het koken is het vezelweefsel zo verzwakt dat het met geringe mechanische energie uiteen valt in individueel gemacereerde vezels. Voor bruin papier ["ongebleekt"] is de grondstof klaar om, na malen, tot een papierbaan te worden gevormd.

Voor wit papier zijn tussenstappen nodig, waarin het restant lignine en ander bruin pigment worden opgelost en met het filtraat verwijderd [wat het afvalwater-probleem van celstof-fabrieken veroorzaakt].

verkleining

Er zijn meerdere processen van verkleining in de fabricage van celstof en papier.

[1] Het slijpen van rondhout tegen een slijpsteen, waardoor houtslip wordt gevormd,

[2] Het kappen van rondhout tot spaanders, "chips", een zuiver mechanische verkleining van hout,

[3] Het macereren van weefsel, totdat de individuele vezels zijn bevrijd,

[4] Lignine en hemicelluloses worden verwijderd uit het weefsel en uit de celwand van individuele vezels,

[5] Bij het malen van celstofvezels ["hollander", refiner] gebeuren minstens twee dingen : er worden vezels verkort, er worden vezels "overlangs" gespleten, gefibrileerd.

Het meest intrigerende proces van verkleinen is [5]. Voor het verkleinen als proces-stap is, om te zien van wat in [5] gebeurt, de moeite waard.

Het principieel is om in te zien dat de deeltjes anisotroop zijn op een heel extreme manier, en dat deze anisotropie wezenlijk is voor het maken van papier.

Vezels bestaan uit een spiraal-gewonden structuur, in de lengte uitgerekt. Nog precieser : de vezelwand bestaat uit "schillen" die in orientatie uiteenlopen van dwars op de lengte tot spiralen, in lengterichting georienteerd. De orientatie van de spiralen loopt uiteen, naarmate de fibrillen meer naar buiten of meer naar binnen liggen.

Papier bestaat dankzij de mogelijkheid dat het vezelnetwerk onderling hecht, laten we zeggen voornamelijk door waterstof-bruggen, tussen vezels en vezelfibrillen.

De maling kan zorgen voor de ontwikkeling van dergelijke fibrillen, iets wat de vezelbinding ten goede komt : die maling moet dan wel daarop worden ingesteld.

Maling kan ook zorgen voor vezelverkorting. De maling moet daar dan op worden ingesteld.

Er zijn twee variabelen van instelling : enerzijds de keuze van het maalapparaat en de "messen", aan de andere kant de proces parameters zoals de soort grondstof, de energie-belasting [netto], de consistentie van de stof, temperatuur en allerlei andere factoren.

Het kan voorkomen dat de vezelgrondstof te veel lange vezels bevat, zodat er moeilijkheden ontstaan bij de stappen van reiniging en classificatie, en in de oplooptank van de papiermachine. Het hangt ook van de soort papier af of een korte stofabeteer is dan een "lange" stof : binnen de aanvaarde grenzen, natuurlijk. Een korte stof is niet goed voor pakpapier, maar voor kopieerpapier wordt grondstof met een korte vezellengte gebruikt.

Het maalproces kan ook de effecten van verkorting en fibrillering ["splijten"] in één stap combineren :

[a] door gaandeweg de proces condities te veranderen van "korten" naar "fibrileren" [dat kwam in oude fabrieken, met hollanders, veel voor],

[b] door twee fasen refiners achter elkaar te schakelen, de eerste gezet op korten, de tweede op hydrateren.

Feitelijk heeft bijna iedere papiermachine die tweede mogelijkheid in ieder geval. De machine refiner, in de proceslijn geplaatst op de laatste plek waar nog maling mogelijk is, wordt eigenlijk altijd gebruikt als laatste mogelijkheid om de stof "wat korter te malen" ; het garnituur in de kegelmolen is daarop uitgekozen ; de machine operator heeft de controle over de molen ; de consistentie is al ingesteld in het gebied van verkorten.

bijzondere processtappen van verkleining

Het bijzondere zit in de structuur van de deeltjes [longitudinaal, voorkeur voor splijten, maar met de mogelijkheid tot verkorten] en de opbouw van het netwerk in papier [twee dimensioneel, binding door vnl waterstof-- bruggen], overigens binnen de eisen van de apparatuur [vezels niet te lang en niet te kort].

Deze eisen zijn dwingend en vragen om relatief hoge kosten. De energie-opname, bijvoorbeeld, bij hout slijp en TMP is 1600 tot 2400 kwh per ADMT pulp. De energie-opname bij chemische ontsluiting, die veel minder is, wordt bereikt door een omslachtig en kostbaar fabricage proces [een hoge investering].

De energie efficiëntie bij malen is slecht bekend : er wordt 0.1 tot 2.0 percent opgegeven door onderzoekers [1960 tot 1976].

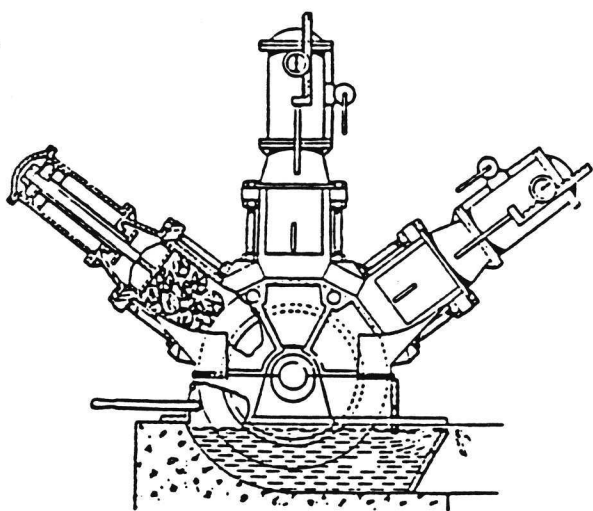
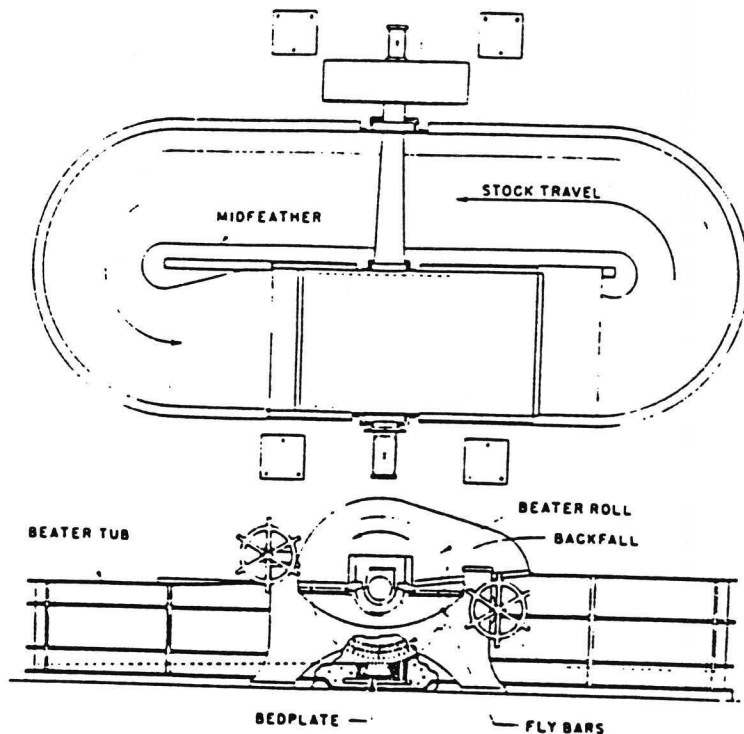
De maling van papier grondstof is een principe dat, in de jaren 1665 tot 1678, door de nederlanders in Zaandam uitgevonden is. Vóór die tijd werden hamermolens gebruikt.

De hollander molen werd ingezet bij de tweede fase van verkleinen van de vezelgrondstof [lumpen, toen ter tijd van linnen, dus vlas, maar ook wel van hennep].

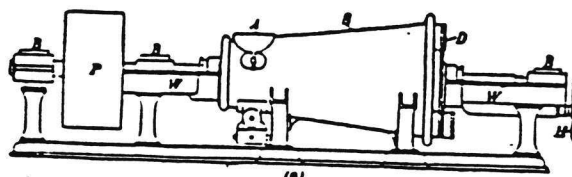
Pas in de jaren 1920 tot 1970 groeide het inzicht dat het maalprincipe van de hollander, en van refiners en tenslotte ook van schijvenmolens, bestond uit het gecombineerde effect van verkleinen van de vezellengte en het splijten van vezels. Al naar de procescondities, gegeven de "messen" van de molen, kon een effect van meer verkorten of meer fibrileren worden bereikt.

De huidige wereldproductie van papier is 260 miljoen ton per jaar. Al dat papier wordt gemaakt van vezelstof die op één of andere manier een processtap van malen heeft doorlopen. De uitvinder van de hollander is niet goed bekend : er wordt gedacht aan een samenloop van veranderingen in meerdere meerkrap molens

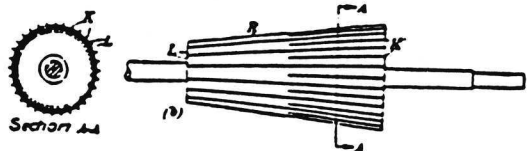
hollander molen →



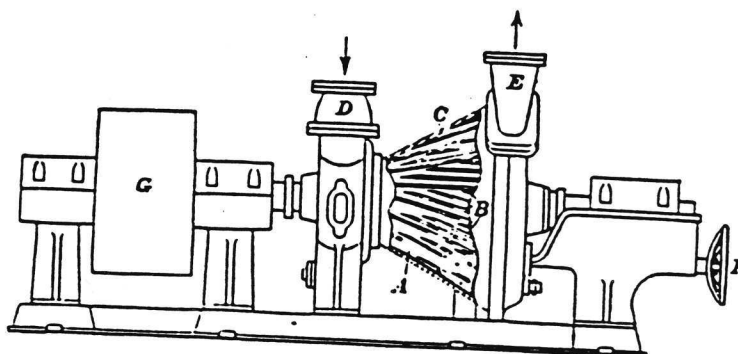
← houtslipper, voor fabricage van houtslip



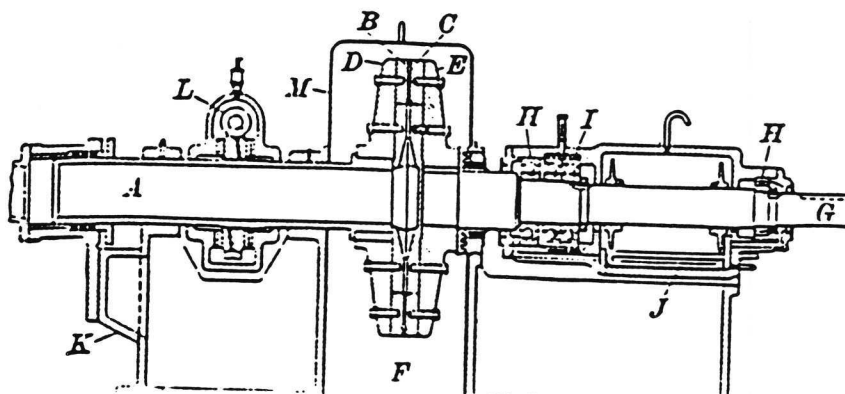
kegelmolen →



steile kegelmolen →

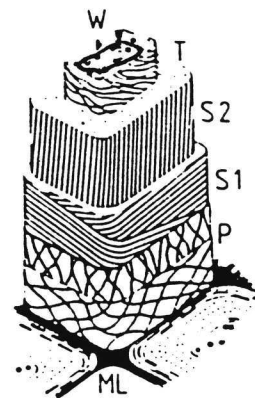


schijvenmolen →



in de Zaan, omstreeks 1665 of later, toen deze op de produktie van papier werden gezet. De molens van Maarten Sevenhuysen en Cornelis van der Ley worden genoemd als de eerste waar hollander molens werden geïnstalleerd. Ze waren vermoedelijk afgeleid van kollergang molens.

opbouw van de vezelwand in hout



chipper voor naalddhout, met 12 messen

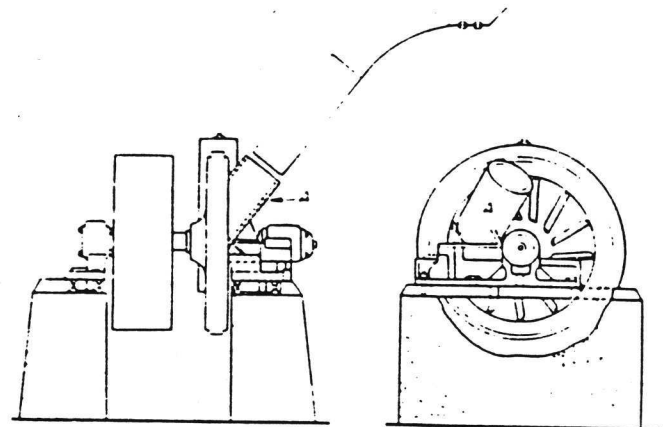
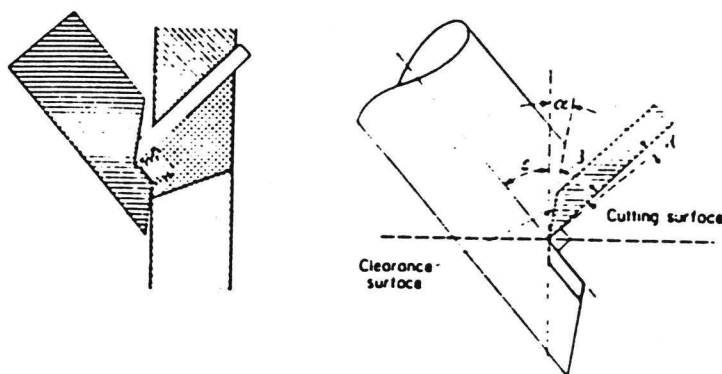


Fig. 5.1. Carthage multiknife chipper

detail van chipper



Den Haag, NRO, 8/92 gratis

Opmerkingen bij de voordracht van de hr van der Ent

Uit het publiek komt de vraag hoeveel kilowatt er nodig is om 1 ton papier te produceren. Volgens de heer van der Ent is dit 600 tot 2700 kW.

De heer Rademacher vraagt of als gevolg van de het stijgende verbruik van de computer het papierverbruik toe- of afneemt. De heer van der Ent antwoordt dat het verbruik van wit papier sterker toeneemt dan het verbruik van pakpapier. De totale toename bedraagt 2 à 4 % per jaar. De grondstof hiervoor bestaat niet alleen uit bomen, maar ook uit hergebruikt oud papier. De recyclerate in Nederland is 80 %, in de USA 40 tot 45 % .