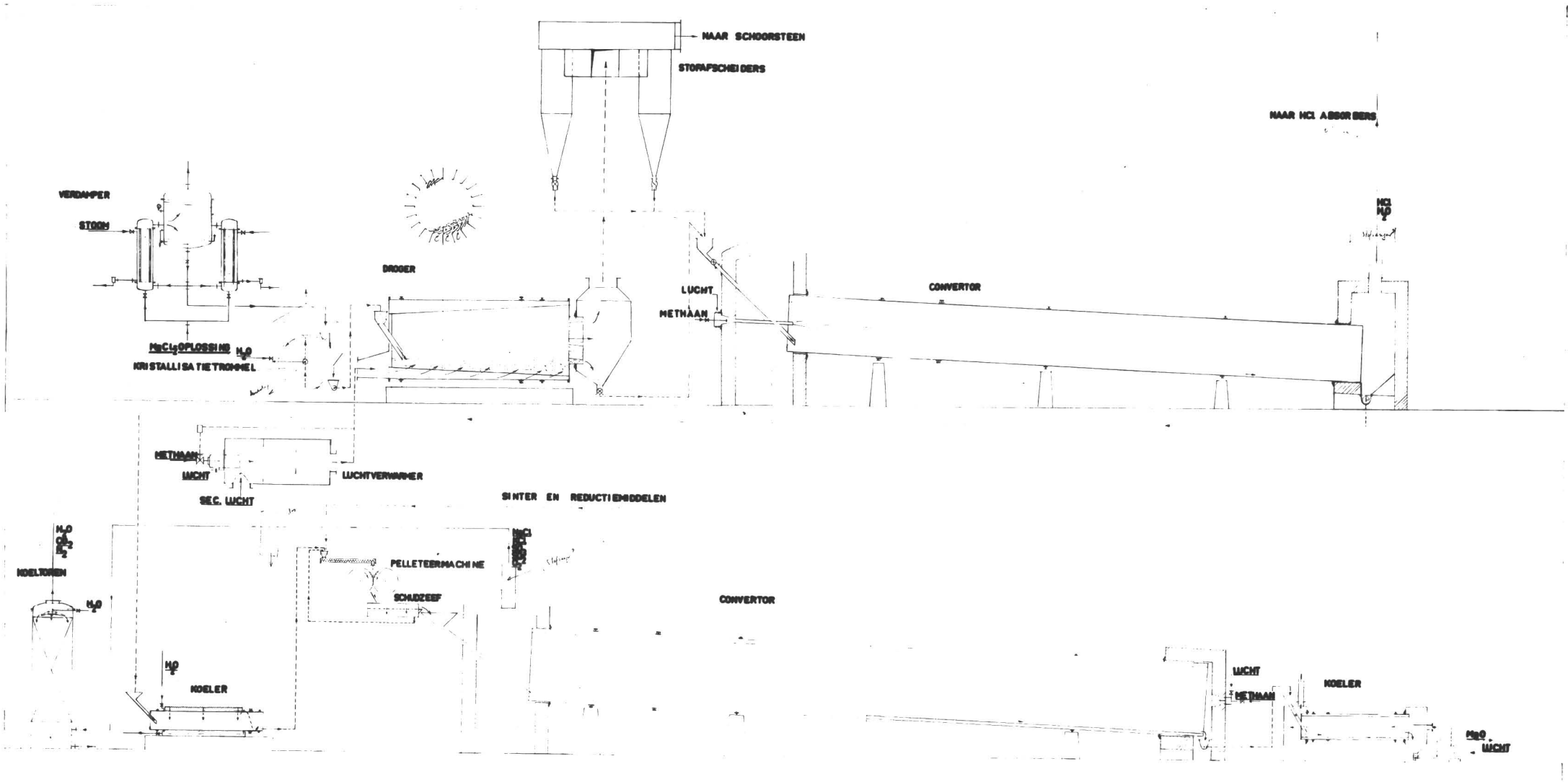
M. L. M. Kwaaitaal.

1710



(1)

MgO UIT 'N $MgCl_2$ - OPLOSSING.

MCM. KWAATAAL

SEPTEMBER 1960
SCHAAL 1:50

17/11

M.C.M. Kwaaitzel.
MgO.

Met ondergrondig van opzet. Heeft de gegevens goed verwerkt.
Weergave in 't algemeen duidelijk; hier en daar wordt te veel voorkennis van de lezer verondersteld. (bv pag 3)
Enkele opmerkingen:

pag: Sub D: H_2O en warmte zijn gekoppeld. Hoe kan dat door extra warmte geëxpanseerd worden? Zie de beide reactiewarmtes.

p 8: Ontwijkende water is een conclusie, afh. van kristall. temp? Het fasendiagram bekoort uitgangspunt te zijn. opslag is onjuist. / stolen kristall." idem.

p 9. als pag 8.

p 10. temperatuur bevriezen wat

p 12. fout. Moet zijn: per kg CH_4 ... 14 kg lucht.

Ber. Cyclon: Zo moeilijk. Weergave van gedachtengang niet overzichtelijk. Op pag 21 onjuist gradeneerd. Zie aldaar.

C M

TECHNISCHE FABRICAGE VAN MAGNESIUMOXYDE UIT 'N MAGNESIUMCHLORIDE - OPLOSSING.

Oktober 1958.

M.C.M. Kwaaitaal,
Essenburgsingel 133a,
Rotterdam.

I Inleiding : (1).

Magnesiumoxyde (magnesia) onstaat als eindproduct bij de thermische ontleding van talrijke magnesium-verbindingen en mineralen.
In de natuur komt het als het mineraal periclaas in kleine hoeveelheden voor.
De physische eigenschappen van magnesiumoxyde variëren zeer sterk; deze hangen n.l. af van het uitgangsmateriaal, de tijd en temperatuur van ontleding en de aard en hoeveelheid onzuiverheden. Zo vertoont het soortelijk gewicht van magnesiumoxyde, door verhitting van neergeslagen magnesium-hydroxyde verkregen bij verschillende temperaturen het volgende beeld:

temp. °C	600	710	850	1000	1200	1400	1800
s.g.gr/cm3	2,94	3,04	3,22	3,39	3,48	3,52	3,57

De toename van het s.g. met toenemende ontledingstemperatuur loopt parallel met een afname in reactiviteit.
Het smeltpunt van zuiver magnesiumoxyde bedraagt 2800° ± 13°C, het kookpunt in een inerte atmosfeer bij 760 mm kwik ligt tussen 2800° en 2850°C.
De oxyden bereidt tussen 400° en 900°C (uit magnesiumhydroxyde of het basisch carbonaat) zijn goed oplosbaar in verdunde zuren en reageren snel met water (zelfs koud water) tot het hydroxyde, de gesmolten oxyden zijn onoplosbaar in geconcentreerde zuren en indifferent t.o.v. water tenzij in zeer fijn verdeelde vorm.
Bij lage temperaturen is magnesiumoxyde een slechte geleider voor electriciteit maar bij hoge temparaturen neemt de geleidbaarheid zeer snel toe.
Aan de lucht neemt magnesiumoxyde vocht en koolzuur op.

II Technische bereidingswijzen (1, 2, 3).

a Roosten van magnesiumcarbonaat of magnesiumhydroxyde. Als alles bij lage temperatuur (900°C of lager) gecalcineerd wordt, ontstaat de lichte magnesia en bij hoge temperatuur (ongeveer 1400°C) de zware magnesia; de laatste schijnt uit polymeren te bestaan van de moleculen van de lichte soort, maar beide worden voorgesteld door MgO. Zij kunnen door ventileren gescheiden worden.
Aanderfen?
De zware magnesia is de grondstof voor belangrijke vuurvaste stenen.
Gemengd met asbest en gips (als bindmiddel) dient ze evenals $MgCO_3$ voor isolering van stoomleidingen.
De grondstoffen zijn: magnesiet ($MgCO_3$), dolomiet ($MgCO_3 . CaCO_3$) en $MgCL_2$ - houdende zout oplossingen (hiervan is zeewater de belangrijkste vertegenwoordiger).
Uit $Mg\ CL_2$-houdende oplossingen wordt $Mg(OH)_2$ neergeslagen door toevoeging van kalk (ook gecalcineerd dolomiet wordt gebruikt). Het neergeslagen $Mg\ (OH)_2$ wordt ingedikt, geconcentreerd (in vacuum filters) en gecalcineerd.

$$CaO + Mg\ CL_2 + H_2O \rightarrow Ca\ CL_2 + Mg\ (OH)_2$$

Ook het neerslaan van Magnesium als carbonaat met CO_2 onder druk (5-6 atm.) wordt toegepast.
b Verhitting van magnesiumsulfaat met fijn vermalen kooks.

$$2\ Mg\ SO_4 + C \rightarrow 2\ MgO + 2SO_2 + CO_2$$

Deze bereidingswijze wordt vooral in Duitsland toegepast omdat men daar over grote hoeveelheden afval magnesiumsulfaat beschikt.

c. Uit magnesiumchloride houdende oplossingen waarbij $MgCL_2$ door stoom ontleed wordt in magnesiumchloride en zoutzuur:

$$MgCL_2 + H_2O \rightarrow MgO + 2\ HCL - 20{,}7\ kcal/mol\ MgCL_2.$$

Deze reactie begint bij ongeveer 500°C en is zeer snel bij 650°C of hogere temperaturen.
Deze methode is pas in de laatste jaren tot een commerciële toepassing gekomen.

d Voor zeer speciale doeleinden waarbij 100% MgO is vereist bereidt men MgO door het verbranden van magnesium met zuurstof.

III Toepassingen van magnesiumoxyde (1, 2, 3, 4).

De belangrijkste toepassingen van magnesiumoxyde zijn:vuurvaste stenen, als grondstof voor de productie van magnesium-metaal en oxychloride cementen (Sorelcement).
Onzuiver magnesiumoxyde wordt ook gebruikt als component van kunstmeststoffen (Magnesium neemt de 5e plaats in als element bij de plantenvoeding en is essentiëel voor de vorming van chlorophyll.)
Gezuiverd magnesiumoxyde is de grondstof voor de bereiding van talloze magnesiumzouten. Aanzienlijke hoeveelheden worden gebruikt als ontkleuringsmiddel voor oplosmiddelen.
Reactieve magnesiumoyden vinden toepassing als neutralisatiemiddelen en katalysatoren bij de vulcanisering in de rubberindustrie,
Zeer vele katalysatoren voor de bereiding van organische stoffen bevatten magnesiumoxyde. Ook in de pharmaceutische en cosmetische industrie vindt het magnesiumoxyde veelvuldig toepassing zij het niet in grote hoeveelheden.
Als laatste vermelden wij het gebruik van magnesiumoxyde bij de ontkiezeling, van water.

IV Het gekozen proces. (4, 5, 6).

De opdracht was het bereiden van magnesiumoxyde door thermische ontleding van magnesiumchloride.
Na onderzoek van de literatuur over deze methode ter bereiding van magnesiumoxyde werd besloten het proces te volgen zoals dat door International Minerals and Chemical Corporation, Carlsbad, New Mexico, U.S.A., wordt toegepast sinds 1954.
De reden voor bovengenoemd besluit zijn:

1 Eer wordt een zeer zuiver magnesiumoxyde verkregen (99,40-99,70%) waardoor het aantal toepassingen veel groter is, vooral voor speciale doeleinden.

2 Als grondstof kan een vloeistof die chloriden en sulfaten van magnesium, kalium en natrium bevatten gebruikt worden.

3 Als bijprodukt wordt een 31,5%- zoutzuur oplossing (handelssterkte) verkregen.
Het percentage van ongeveer 20 gew.% HCL van de ontledings- en verbrandingsgassen maakt dit economisch verantwoord. Dit in tegenstelling met andere uitvoeringswijzen waar het verkregen zoutzuurgas te verdund is.

4 Men is er in geslaagd een ontleding van het magnesiumchloride tijdens het verdampen en drogen en het vastkitten van het magnesiumchloride tijdens de ontleding te voorkomen.

5 Deze methode is de eerste en tot nu toe de enige commerciële toepassing van de bereiding van magnesiumoxyde door thermische ontleding van magnesiumchloride, terwijl men reeds lang de technische mogelijkheden van deze bereidingswijze heeft bestudeerd.

6. De meeste **gegevens** waren beschikbaar over de methode van de I.M.C.C.
7. Geen gebruik **van stoom**. Het water is afkomstig van de dehydratie van $MgCL_2$ en van de verbranding van methaan.
Opm.: Over de gegevens van de pilot plant in Groot-Brittannië is nog niets bekend.
Over andere uitvoeringswijzen zijn enkele patenten verschenen.
We zullen na heel in het kort enkele belangrijke punten uit deze patenten noemen.

A. In dit patent wordt een methode aangegevan ter verkrijging van magnesiumoxyde uit een zuivere magnesiumchloride oplossing.
Men beschrijft hierin hoe men begonnen is met te pogen magnesiumoxyde te bereiden uit een magnesiumchloride-oplossing (ook $MgCL_2 . 6H_2O$).
Deze pogingen faalden wegens de volgende redenen:

1 De zeer grote warmtetoevoer.

2 De beperkte mogelijke tijd van behandeling.

3 Het verkregen zoutzuurgas was zeer verdund.

4 De geringe omzetting.

Men is er toen toe overgegaan de magnesiumchloride-oplossing te concentreren, te drogen en daarna het magnesiumchloridehydraat thermisch te ontleden.
Bij het indampen van de magnesiumchloride oplossing voegt men magnesiumoxyde toe om het vrijkomende zoutzuur te binden. Bovendien behandelt men niet zuiver magnesiumchloride met in tegenstroom stoom of eventueel lucht waarbij de volgende reatie optreedt:

$$2\ MgCL_2 + O_2 \rightarrow 2\ MgO + 2CL_2 - 5{,}6\ kcal/mol\ MgCL_2.$$

maar een mengsel van magnesiumoxyde en magnesiumchloride om vastkitten aan de wand tegen te gaan.
In dit patent wordt een verticale oven met schoepen beschreven om een zo goed mogelijk contact tussen de vaste stof en het stoom te bewerkstelligen. Dit om warmteverlies en verdunning van het ontstane HCL (of CL_2) gas te voorkomen.

B. In dit patent wordt een methode aangegeven om met behulp van een " spray dryer" een geconcentreerde waterige oplossing te dehydrateren tot een product dat gemiddeld 1,8 mol H20 per mol $MgCL_2$ bevat.
$MgCL_2 . 6H_2O$, dat kristalliseert bij het afkoelen van een verzadigde $MgCL_2$-oplossing, is n.l. zeer hygroscopisch, en lost op in het geabsorbeerde water zodat dit in veel gevallen niet bruikbaar is.
De temperatuur van de drooggassen in de droger ligt tussen 400°-500°C.
De temperatuur van de uitgaande gassen is niet hoger dan 180°C.
Door de korte contacttijd wordt de ontleding van magnesiumchloride vermeden. Het product wordt o.a. gebruik als grondstof voor het maken van magnesium langs electrolytische weg.

C. Dit patent handelt over de winning van zoutzuur uit chloriden waarbij chloriden worden verhit met SiO_2 of AL_2O3 om de ontstane oxyden tot silicaten resp. aluminaten te binden.
Hierbij wordt een mengsel van stoom en indifferent gas (CO_2,N_2) gebruikt om verdunning van het vrijkomende zoutzuurgas tegen te gaan. Men komt hiertoe omdat de reactiesnelheid bijna onafhankelijk van de gebruikte stoom is daar de snelheid bepaald wordt door de diffusie van waterdamp en zoutzuur in de vaste stof.

Ook hete verbrandingsgassen kunnen gebruikt worden daar deze ook water bevatten.

D. Men dehydrateert hier het magnesiumchloride met een zeker percentage magnesiumoxyde (1 deel MgO op 5-6 delen $MgCL_2$) in een direct verhitte oven om ontleding tegen te gaan. Dit mengsel vormt n.l. een zacht, poreus en niet hygroscopisch product.
De hydrolyse wordt uitgevoerd in een indirect verhitte oven terwijl tevens waterstof met een ondermaat lucht in de oven verbrandt wordt. Dit geeft dus water terwijl tevens de nevenreactie:

$$2\ MgCL_2 + O_2 \rightarrow 2\ MgO + CL_2$$

niet kan verlopen.

Is de gevormde hoeveelheid H_2O wel zo overmeer van deze reactie?

Hoe kan hierbij zo veel extra warmte nodig zijn?

E. In dit patent worden enige bezwaren opgenoemd van andere methoden. Men beschrijft hierin een methode waarbij gebruik wordt gemaakt van een " Spray dryer". Als voordelen worden genoemd:

1 Hoge warmte efficiency.

2 Snelle omzetting.

3 Weinig last van corrosie.

Men beperkt zich niet tot magnesiumchloride maar betrekt hierin ook de de ontleding van calciumchloride, ferrichloride, ferrochloride, magnesiumsulfaat, ferrosulfaat en ferrisulfaat:

$$MgCL_2 + H_2O \rightarrow MgO + 2\ HCl. \quad (\ 650^{o}C \text{ en hoger }\ )$$

$$Ca\ Cl_2 + H_2O \rightarrow CaO + 2\ HCl. \quad (\ 700^{o}C \text{ en hoger }\ )$$

$$Fe_2Cl_6 + 3\ H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 6\ HCl.$$

$$12\ FeCl_2 + 3O_2 \rightarrow 2\ Fe_2O_3 + 8\ FeCl_3$$

$$3\ Fe\ Cl_2 + 4\ H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6\ HCl + H_2$$

$$MgSO_4 \rightarrow MgO + SO_3$$

$$SO_3 \rightarrow SO_2 + \frac{1}{2}\ O_2$$

$$2\ Fe\ SO_4 + \frac{1}{2}\ O_2 \rightarrow Fe_2\ O_3 + 2\ SO_3$$

$$Fe_2\ (\ SO_4)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3\ SO_3$$

Deze processen kunnen in de toekomst een belangrijke rol gaan spelen Het zoeken is naar een economische uitvoeringswijze.

Voor een thermodynamische beschouwing over de dehydratatie en ontleding van magnesiumchloridehydraten wordt verwezen naar (7) .

We moeten verder nog wijzen op het zeer corrosieve karakter van deze methode zodat aan de constructie-materialen zeer hoge eisen worden gesteld. Wij kunnen verder nog als bijkomstigheid opmerken dat dit proces in sommige gevallen een oplossing geeft voor het waterverontreinigings probleem.

= afvalwater

V Plaats en grootte van de fabriek (1, 2, 3, 4, 5, 6).

Het aantal gegevens over de productie-cijfers van magnesiumoxyde in de literatuur is zeer gering. In Kirk-Othmer worden enkele gegevens vermeld, maar deze cijfers zijn voor ons echter niet van veel belang omdat de grootte van een magnesiumoxyde-fabriek o.a. afhangt van de zuiverheid en reactiviteit van het geproduceerde magnesiumoxyde en bovendien deze cijfers niet recent zijn, terwijl juist het aantal toepassingsmogelijkheden, speciaal voor zuiver MgO, de laatste jaren zeer sterk zijn toegenomen.
Van deze nieuwe toepassingsmogelijkheden noemen wij o.a. :

1 Als alkalisch precipitatiemiddel voor reacties bij een bepaald pH (bijv. in de atoomindustrie toegepast).
Het voordeel van het gebruik van zuiver magnesiumoxyde is nu dat een gemakkelijk filtreerbaar en uitwasbaar precipitaat wordt verkregen.

2 Als grondstof in de keramische industrie voor de vervaardiging van speciale glazen en vuurvaste stenen.

3 Voor de bereiding van zuivere magnesiumverbindingen.

4 Voor het mengen van verschillende soorten magnesiumoxyden. ← doel?

5 Als katalysator met een laag sulfaatgehalte.

6 Voor de vervaardiging van electrische isolatiemiddelen.

De plaats van de fabriek wordt bepaald door het beschikbaar zijn van grote hoeveelheden afval $MgCL_2$- oplossing (eventueel zeewater) terwijl de grootte van de fabriek wordt bepaald door de hoeveelheid en het percentage aan magnesiumchloride.
In Carlsbad (New Mexico V.S.) bevinden zich, evenals in Staszfurt (Duitsland) grote afzettingen van kalium, natrium en magnesium bevattende zoutgesteenten.
Opm: In Staszfurt gaat ongeveer 1 millioen ton $MgCL_2$ per jaar verloren.

De belangrijkste zoutgesteenten zijn:
Carnalliet ($KCL.MgCL_2.6H_2O$), schöniet ($MgSO_4.K_2SO_4.H_2O$), Kainiet ($K\ CL.MgSO_4.3H_2O$) en kieseriet ($MgSO_4.\ H_2O$).

Ook in Israël aan de Dode Zee zou een geschikte plaats zijn voor onze fabriek. (de Dode Zee bevat 135g/lit. $MgCL_2$ terwijl, zeewater 4,6g/lit.$MgCL_2$ en 2,6g/lit.$MgSO_4$ bevat.)

In ieder geval moet onze fabriek in een sterk geïndustrialiseerd land neergezet worden, omdat daar het aantal toepassingsmogelijkheden het grootst zijn, dus de markt het gunstigst.
We kunnen verder nog opmerken dat onze fabriek in de meeste gevallen een deel zal uitmaken van een complex fabrieken zoals bijv. de fabriek van de International Minerals and Chemical Corporation.
Besloten werd tenslotte een middelgrote fabriek te vestigen met een productie van 10000 ton 99,5% MgO per jaar.

VI Beschrijving van het proces (4,zie ook de tekening).

Zoals reeds vermeld passen wij het proces toe van de I.M.C.C.
Deze maatschappij verwerkt in Carlsbad sylviniet (NaCL. KCL) en langbeiniet ($K_2 SO_4 . Mg SO_4$).
Een gedeelte van het langbeiniet wordt verkocht als kunstmeststof en een ander gedeelte laat men reageren met een kaliumchloride-oplossing. Hieruit verkrijgt men kaliumsulfaat (verkocht als kunstmeststof) en een onzuivere magnesiumchloride-oplossing. Dit laatste is nu de grondstof voor het proces.
Wegens de grote uitgebreidheid van het I.M.C.-proces werd hiervan maar een gedeelte beschouwd n.l. de productie van 99,5% MgO uit een 32,6% $MgCL_2$- oplossing.*)
De samenstelling van onze grondstof is:

32,6%	$MgCL_2$
2,3%	$MgSO_4$
1,1%	KCL
0,7%	Na CL
63,3%	H_2O
100 %	

De productie is 10000 ton 99,5% MgO per jaar dus:

$$\frac{10000 \times 1000 \times 0,995}{365 \times 24} = 1136 \text{ kg MgO per uur.}$$

Uit 95,23 kg $MgCL_2$ ontstaat 40,32 kg MgO en uit 120,38 kg $MgSO_4$ onstaat eveneens 40,32 kg MgO

(Mol. gew. $MgCL_2$ = 95,32)
(" " $MgSO_4$ = 120,38)
(" " MgO = 40,32)

dus 1 kg MgO uit $\frac{95,32}{40,32}$ = 2,36 kg $MgCL_2$ en

1 kg MgO uit $\frac{120,38}{40,32}$ = 2,99 kg $MgSO_4$

Hoeveelheid voeding is dus : (de omzetting is volledig)

$$\frac{113600}{\frac{32,6}{2,36} + \frac{2,3}{2,99}} = \frac{113600}{14,58} = 7792 \text{ kg per uur.}$$

*) Door gebrek aan gegevens over het systeem $MgCl_2$-$MgSO_4$-NaCl-KCl-H_2O was het niet mogelijk een groter gedeelte van het proces te beschouwen.

Deze voeding bestaat uit:

$MgCL_2$	:	$\frac{32,6}{100}$	x	7792	=	2450	kg per uur.
$MgSO_4$	:	$\frac{2,3}{100}$	x	7792	=	179	kg per uur.
KCL	:	$\frac{1,1}{100}$	x	7792	=	86	kg per uur.
NaCL	:	0,7/100	x	7792	=	55	kg per uur.
H_2O	:	63,3/100	x	7792	=	4932	kg per uur.

en het verwarmen afgezet?

Het gehalte aan $MgCL_2$ wordt nu in een verdamper van 32,60% op 49,50% gebracht. Deze verdamper is bekleed met zuurvaste steen.
De vloeistof wordt bij een temperatuur van ongeveer 50°C de verdamper ingevoerd en verlaat deze bij een temperatuur van ongeveer 180°C.
In de literatuur is over de kookpunten van ons systeem niets bekend.
Alleen de kookpunten van magnesiumchloride-oplossingen zijn gegeven en deze gaan nog maar tot een oplossing die 85,5 gram magnesiumchloride per 100 gram water bevat (zie Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie System-nummer 27 teil B p.128).
Voor onze voeding naar de verdamper komen we voor het kookpunt tot ongeveer 130°C en voor het kookpunt van de vloeistof uit de verdamper tot een geschatte waarde van ongeveer 180°C.
Dit is dus een soort controle op de flowsheet van de I.M.C.C. waar een temperatuur van 130° - 182°C bij de verdamper is aangegeven.
De vloeistof (32,6% $MgCL_2$) kookt dus bij 130°C en de vloeistof (49,50% $MgCL_2$) uit de verdamper is dus een kokende vloeistof bij een temperatuur van 182°C.
De hoeveelheid benodigde warmte voor deze verdamping werd als volgt berekend:
Omdat alleen water uit de oplossing wordt verwijderd kunen we zeggen dat de hoeveelheid zoutoplossing uit de verdamper gelijk is aan:

$$\frac{32,60}{49,50} \times 7792 = 5132 \text{ kg/uur.}$$

Aan water is er dus verdampt:

7792 kg/uur
5132 kg/uur
2660 kg/uur.

De warmte benodigd voor de verwarming van 50°C tot 130°C =
0,64 x 7792 x 80 = 398950 kcal/uur.
waarbij dus de soortelijke warmte op 0,64 kcal/kg.graad is gesteld (zie Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie System-nummer 27 teil B p.129).
De warmte benodigd om 2660 kg water per uur te verdampen = 2660 x 540= 1436400 kcal/uur.

De warmte die nodig is om de vloeistof van 130°C tot 182°C op te warmen =
0,55 x 6500 x 52 = 185900 kcal/uur.
waarbij de soortelijke warmte op 0,55 kcal/kg.graad is gesteld (zie Gmelin p. 129) en 6500 kg/uur als hoeveelheid is genomen.

t=?

De totale benodigde hoeveelheid warmte bedraagt dus: 398950 kcal/uur.
1436400 " "
185900 " "
2021250 kcal/uur.

De samenstelling van de kokende vloeistof, die naar 3 stalen kristallisatie-trommels wordt gevoerd, ziet er als volgt uit: ? Chloriden!

$MgCL_2$	:	49,50 %	-	2540	kg/uur
$MgSO_4$	:	3,49 %	-	179	kg/uur
KCL	:	1,67 %	-	86	kg/uur
NaCL	:	1,06 %	-	55	kg/uur
H_2O	:	44,28 %	-	2272	kg/uur
Totaal	:	100 %		5132	kg/uur.

Het mengsel van vaste stoffen, in de vorm van vlokken van de kristallisatie-trommels, wordt nu via transportaurs en een opslagtank in een Roto-Louvre-droger met hete lucht gedroogd.
De waterdamp wordt via een batterij van twaalf cyclonen (parallel?), waarin het mee-gevoerde stof wordt afgescheiden dat teruggevoerd wordt, naar de schoorsteen gevoerd.
Het mengsel van vaste stoffen, dat naar de droger wordt gevoerd, bavat hy-draten van magnesiumsulfaat en magnesiumchloride n.l.:
$MgSO_4.H_2O$, $MgCL_2.6H_2O$ en $MgCL_2.4H_2O$.
We zullen nu de hoeveelheden 6 en 4 aq berekenen: ?
De hoeveelheid water ~~dat~~ die per uur tijdens de kristallisatie ontwijkt stellen ? we op 100 kg/uur.

$$179 \text{ kg } MgSO_4/\text{uur} = \frac{179}{120,38} = 1,5 \text{ kmol } MgSO_4/\text{ uur.}$$

hoe kan men hier van uitgaan?

$$2272 - 100 = 2172 \text{ kg } H_2O/\text{ uur} = \frac{2272}{18} = 120,6 \text{kmol/ uur.}$$

Stel nu x kmol $MgCL_2.4H_2O$ en y kmol $MgCL_2.6H_2O$ dan is:

$$x + y = \frac{2540}{95,23} = 26,7$$

$$4x + 6y = 120,6-1,5 = 119,1$$

$$x = 6,2$$
$$y = 20,5$$

dus = 20,5 kmol $MgCL_2.4H_2O$ (77%) en 6,2 kmol $MgCL_2.6H_2O$ (23%).

De gedroogde massa uit de Roto-Louvre droger wordt via een opslagtank en een schroeftransporteur naar een convertor gevoerd.
De samenstelling van deze voeding wordt als volgt berekend:

plakken van de massa.

Totale voeding : $\frac{32,6}{63} \times 7792 = 4032$ kg/uur.

(Het percentage $MgCL_2$ (63%) is gegeven).

Samenstelling:

$MgCL_2$	:	2540 kg/uur	-	63,0 %
$MgSO_4$	:	179 " "	-	4,4 %
KCL	:	86 " "	-	2,1 %
NaCL	:	55 " "	-	1,4 %
H_2O	:	1172 " "	-	29,1 %
Totaal	:	4032 kg/uur	-	100%

De hoeveelheid water ~~dat~~ die per uur uit de Roto-Louvre droger wordt verwijderd is dus:

$$5032 - 4032 = 1000 \text{ kg/uur.}$$

Dit mengsel bevat nu hydraten van magnesiumsulfaat en magnesiumchloride n.l.: $MgSO_4.H_2O$, $MgCL_2.4H_2O$ en $MgCL_2.2H_2O$. De percentages $MgCL_2.4H_2O$ en $.2H_2O$ berekenen we weer als volgt:

$$179 \text{ kg } MgSO_4 = \frac{179}{120,38} = 1,5 \text{ kmol } MgSO_4$$

$$1172 \text{ kg } H_2O = \frac{1172}{18} = 65 \text{ kmol. } H_2O$$

Stel x kmol $MgCL_2.2H_2O$ en y kmol $MgCL_2.4H_2O$, dan geldt dus:

andersom rekenen

$$x + y = 26,7$$
$$2x + 4y = 65 - 1,5 = 63,5$$

dus:

$$x = 21,6$$
$$y = 5,1$$

dus 21,6 kmol $MgCL_2.2H_2O$ (80%) en 5,1 kmol $MgCL_2.4H_2O$ (20%) aanwezig in de voeding naar de convertor.

Het aantal mol. H_2O per mol $MgCL_2$ bedraagt $\frac{63,5}{26,7} = 2,4.$ ← bis! zie pag 10

In onderstaand tabelletje zijn de temperatuurgebieden aangegeven waarbij de overgangen van de verschillende hydraten van magnesiumchloride plaats vinden:

$MgCL_2.6H_2O$	→	$MgCL_2.4H_2O$	: 95° - 115°C.
$MgCL_2.4H_2O$	→	$MgCL_2.2H_2O$ (ook Mg(OH)CL)	: 135° - 180°C.
$MgCL_2.2H_2O$	→	$MgCL_2H_2O$ (" ")	: 185° - 230°C.
$MgCL_2.H_2O$	→	$Mg.CL_2$ (" ")	: boven 230°C.

M.b.v. bovenstaande berekeningen en gegevens werd de temperatuur van de hete lucht, waarmee in de Roto-Louvre droger wordt gedroogd op 175°C gesteld.

D.m.v. de gecontroleerde droging in de Roto-Louvre droger wordt nu een ontleding van het magnesiumchloridehydraat tegengegaan.
In de roterende convertor (lengte = 21,35m, inwendige diameter = 1,83 m) treedt de thermische ontleding van magnesiumchloridehydraat op bij een temperatuur van ongeveer 650°C.
De oven roteert met een snelheid van 40 omwentelingen per uur terwijl de helling ongeveer 2° bedraagt. De verblijftijd in de oven is ongeveer 100 minuten.
Om smelting en het vastkitten aan de wand te voorkomen past men gelijkstroom van voeding en verbrandingsgassen toe. De voeding wordt direct bij het invoeren in de oven verhit.
Deze snelle opwarming verhindert evenwichtsinstelling tussen de verschillende hydraten.
De voeding mag niet meer dan 6 gew.% aan alkalichloriden bevatten daar deze anders de smelttemperatuur verlagen. te veel
De voeding moet bestaan uit vnl. $MgCL_2.2H_2O$ met een klein gedeelte $MgCL_2.4H_2O$ (tussen 2 en 2,6 molen H_2O per mol. $MgCL_2$).
De gehalten aan $MgCL_2.6H_2O$ en $MgCL_2$ mogen niet meer dan 10 resp.20 gew.% bedragen,(liefst 5 resp. 10 gew.%). Deze stoffen hebben n.l. relatief lage smeltpunten (resp. 117°C en 716°C), nog verlaagt door de aanwezigheid van alkalichloriden en sulfaatverbindingen, zodat ze aanleiding geven tot samensmelting van het reactiemengsel.
Dit is door de gecontroleerde droging in de Roto-Louvre droger mogelijk.
Een gehalte van meer dan 30 gew.% H_2O in het gas maakt de productie van 31,5 gew.% zoutzuur uit dit gas oneconomisch.
Met onze methode is het echter mogelijk om het gehalte aan water in het gas op minstens 10 gew.% en het gehalte aan zoutzuur beneden de 20 gew.% te houden.
Opm.:

Bovenstaande gegevens zijn (via laboratorium - proeffabriek - commerciële fabriek) experimenteel verkregen.

X De gassen verlaten de oven bij 705°C en de vaste stof bij 540°C.
De samenstelling van het mengsel dat uit de oven komt is gegeven,:

? gelijkstroom en 100 minuten verblijftijd

MgO	:	81%
$MgSO_4$	:	12%
KCL	:	3,3%
NaCL	:	3,2%
Onzuiverheden	:	0,5%
Totaal	:	100 %

dus uit 100 kg. voeding 81 kg MgO en $\frac{12}{2,99}$ = 4 kg MgO, totaal dus 85kg MgO.

De totale hoeveelheid uit de roterende oven is dus:

$$\frac{113600}{85} = 1336 \text{ kg/uur.}$$

dus:

$\frac{81}{100}$ x 1336 = 1082 kg MgO/uur.

$\frac{12}{100}$ x 1336 = 161 " $MgSO_4$/uur.

$\frac{3,3}{100}$ x 1336 = 44,3 " KCL/uur.

$\frac{3,2}{100}$ x 1336 = 43,0 " NaCL/uur.

$\frac{0,5}{100}$ x 1336 = 5,7 " onz./uur.

Uit de roterende oven ontwijkt aan ontledingsgassen: 4032-1336= 2696 kg/uur, waarvan:

KCL : 86-44,3 = 41,7 kg/uur.

NaCL : 55-43,0 = 12 " "

HCL : 26,7 kmol $MgCL_2$ + 26,7 kmol H_2O →

53,4 kmol HCL + 26,7 kmol MgO

dus 53,4 x 36,5 = 1947,5 kg HCL/uur.

H_2O : Totaal 65 kmol H_2O in de voeding naar de oven aanwezig dus:

65 - 26,7 = 38,3 kmol = 38,3 x 18 = 689,4 kg H_2O/uur.

SO_3 (SO_2 en O_2) : Aan $MgSO_4$ ontleed per uur :

179 - 161 = 18 kg/uur: dus $\frac{18}{120,38}$ x 80,06 = 12 kg SO_3 SO_2 en O_2/uur.

Bij deze berekening zijn de verbrandingsgassen niet in beschouwing genomen. Daar de hoeveelheid warmte die aan de oven moet worden toegevoerd gegeven is en als brandstof methaan wordt genomen, kunnen we de hoeveelheid verbrandingsgassen berekenen:

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ + 13250 kcal/kg CH_4

Benodigde hoeveelheid warmte = 2200 B T U/lb voeding =

$\frac{2200 \times 0,252}{0,454}$ = 1221 kcal/kg voeding.

Totale hoeveelheid warmte =

1221 x 4032 = 4923072 kcal/uur.

Nodig $\frac{4923072}{13250}$ = 372 kg CH_4/uur.

Omdat de mol.gew.van methaan = 16 en zuurstof = 32 kunnen we zeggen dat voor 1 kg methaan 4 kg zuurstof nodig is.

Een kmol lucht = $\frac{80}{100}$ x 28 kg. stikstof + $\frac{20}{100}$ x 32 kg.O_2 =

= 22,40 + 6,40 = 28,80 kg.

Nodig voor 1 kg O_2 : $\frac{4}{6,40}$ x 22,40 = 14 kg N_2 dus 18 kg. lucht.

? 5

1+4 = 5

Uit 1 kg methaan, 4 kg O_2 en 14 kg N_2 krijgen we na verbranding:

2,25 kg H_2O, 2,75 kg CO_2 en 14 kg N_2, dus totaal 19 kg. gassen.

Samenstelling van de verbrandingsgassen :

372 x 2,25	=	837	kg	waterdamp/uur.
372 x 2,75	=	1023	"	CO_2/uur.
372 x 14	=	5208	"	N_2/uur.

Het gasmengsel uit de roterende convertor bestaat dus uit:

KCL	:	41,7	kg/uur		
NaCL	:	12	"	"	
HCL	:	1947,5	"	"	
H_2O	:	1526,4	"	"	(= 689,4 + 837)
$SO_3(SO_2,O_2)$	:	12	"	"	
CO_2	:	1023	"	"	
N_2	:	5208	"	"	
Totaal	:	9770,6	kg/uur.		

Gew. % HCL = $\frac{1947,5}{9770,6}$ x 100% = 20 %

Gew. % H_2O = $\frac{1526,4}{9770,6}$ x 100% = 15,6%

Gew. % alkalichloriden in voeding naar convertor = 3,5 %

Gew. % kaliumchloride " " " " = 2,1 %

Het gew. % H_2O, waarbij we het water nodig voor de hydrolyse meerekenen, bedraagt :

$$\frac{1526,4 + 480,6}{9770,6 + 480,6} \times 100\% = 24\ \%$$

Het gew. % HCL, met het water nodig voor de ontleding van magnesiumchloride, is:

$$\frac{1947,5}{10251,2} \times 100\ \% = 19\ \%.$$

Dit mengsel van ontledings- en verbrandingsgassen dat dus v.n.l. uit HCL, H_2O en N_2 bestaat wordt naar een batterij van 5 gepakte kolommen gevoerd, waar een oplossing van 31,5% zoutzuuroplossing wordt geproduceerd. Per jaar wordt hiervan geproduceerd:

$$\frac{1947,5.\ 100 \times 365 \times 24}{31,5 \times 100} = 54160 \text{ ton/jaar.}$$

De kolommen zijn van staal, bekleed met zuurvaste steen, en als pakking wordt Berll'se zadels gebruikt.
Na koeling in een met water uitwendig gekoelde roterende koeler wordt de vaste stof in een schroeftransporteur gemengd met sinter- en reductiemiddelen en vervolgens in een pelleteermachine in bolletjes vorm gebracht. De reden hiervan is dat de massa bij de hoge temperaturen in de oven (waarna het vervolgens wordt gevoerd) niet aan de wanden gaat vastzitten. Voordat deze bolletjes naar de hoge temperatuuroven worden gevoerd passeren ze een zeef.
In de hoge temperatuur-oven (lengte = 50,33 m, diameter = 2,44) vervluchtigt de rest van de alkalichloriden terwijl het magnesiumsulfaat wordt ontleedt. Dit alles geschiedt bij ongeveer 620°C. De oven roteert met een snelheid van 40 omwentelingen per minuut, geïsoleerd met periclaas en heeft twee branders. De gassen verlaten de oven bij 760°C en worden in een gepakte kolom met water gekoeld.
De samenstelling van de gassen uit de oven wordt als volgt berekend:

Invoer	(naar oven) :			1336 kg/uur.
Uitvoer :	1136	+ 5,7	=	1141,7 " "

Hoeveelheid ontledingsgassen uit de oven: 194,3 kg/uur.

Dit bestaat uit 44,3 kg/uur KCL, 43 kg/uur.
NaCL en $\frac{161}{120,38} \times 80,06 = 107$ kg/uur SO_3, SO_2, en O_2.

Gegeven is dat per minuut 350-400 kubieke voet aardgas per minuut wordt verbrandt. Stellen we de verbrandingswarmte hiervan op 1000 B.T.U./kub. voet dan is de totale hoeveelheid toegevoerde warmte :
$375 \times 60 \times 1000 \times 0,252 = 5670000$ kcal/uur.
Hiervoor is nodig $\frac{5670000}{13250} = 428$ kg methaan.

Dit geeft na verbranding:

$2,25 \times 428 = 963$ kg H_2O /uur

$2,75 \times 428 = 1177$ kg CO_2 /uur

$14 \times 428 = 5992$ kg N_2 /uur.

Uit de koeltoren zal dus een mengsel van waterdamp, stikstof en koolzuur ontwijken.
Het magnesiumoxyde wordt in een roterende koeler inwendig met lucht gekoeld waarbij de warme lucht uit deze koeler als verbrandingslucht gebruikt kan worden.

In onderstaande tabel is aangegeven welke zuiverheid van het magnesiumoxyde wordt verkregen:

MgO	:	99,40	-	99,70 %	
Fe_2O_3	:	0,03	-	0,06 %	
CaO	:	0,07	-	0,08 %	
SiO_2	:	0,02	-	0,10 %	
R_2O_3	:	0,04	-	0,09 %	(andere dan Fe_2O_3)
B_2O_3	:	0,0025	-	0,015%	
CL	:	0,02	-	0,08 %	
SO_4	:	0,02	-	0,09 %	
Na + K	:	0,02	-	0,07 %	

Verlies bij gloeiïng : nul

Tot slot geven we nu een overzicht van de opgetreden reacties met de warmte-effecten bij 25°C.

A <u>Roto - Louvre droger</u>

$$MgCL_2.6H_2O \rightarrow MgCL_2.4H_2O + 2H_2O$$
$$-597,42 \qquad -454,00 \qquad 2x - 68,32$$

2 · - 68,32

Opm. : Het getal onder de formule geeft de grootte van de vormingsenthalpie aan bij 25°C.

Warmte-effect = - 6,78 kcal/mol. $MgCL_2.6H_2O$

$$MgCL_2.4H_2O \rightarrow MgCL_2.2H_2O + 2H_2O$$
$$-454,00 \qquad -305,99 \qquad 2x - 68,32$$

Warmte-effect = - 11,37 kcal/mol. $MgCL_2.4H_2O$.

B <u>Convertor</u> :

$$MgCL_2.4H_2O \rightarrow MgCL_2.2H_2O + 2H_2O$$
$$-454,00 \qquad -305,99 \qquad 2 \times 68,32$$

Warmte-effect = 11,37 kcal/mol $MgCL_2.4H_2O$

$$MgCL_2.2H_2O \rightarrow MgCL_2.H_2O + H_2O$$
$$-305,99 \qquad -231,15 \qquad -68,32$$

Warmte-effect = - 6,52 kcal/mol. $MgCL_2.2H_2O$.

$$MgCL_2.2H_2O \rightarrow Mg(OH)CL + HCL + H_2O$$
$$-305,99 \qquad -191,30 \qquad -22,06 \qquad -68,32$$

Warmte-effect = - 24,31 kcal/mol. $MgCL_2.2H_2O$

$$MgCL_2.H_2O \rightarrow MgCL_2 + H_2O$$
$$-231,15 \qquad -153,40 \qquad -68,32$$

Warmte-effect = - 9,43 kcal/mol $MgCL_2.H_2O$

$MgCL_2.H_2O \rightarrow Mg(OH)CL + HCL$

-231,15 -191,30 -22,06

Warmte-effect = - 17,79 kcal/mol $MgCL_2.H_2O$

$MgCL_2 + H_2O \rightarrow Mg(OH)CL + HCL$

-153,40 -68,32 -191,30 -22,06

Warmte-effect = - 7,36 kcal/mol $MgCL_2$

$Mg(OH)CL \rightarrow MgO + HCL$

-191,30 -143,84 -22,06

Warmte-effect = - 25,40 kcal/mol Mg(OH)CL

$MgCL_2 + H_2O \rightarrow MgO + 2HCL$

-153,40 -68,32 143,84 2x - 22,06

Warmte-effect = - 33,76 kcal/mol. $MgCL_2$

$MgSO_4.H_2O \rightarrow MgSO_4 + H_2O$

- 343,7 -305,50 -68,32

Warmte-effect = + 30,1 kcal/mol $MgSO_4H_2O$.

C . Hoge temperatuur oven :

$MgSO_4 \rightarrow MgO + SO_3$

-305,50 -143,84 -94,45

Warmte-effect = - 67,21 kcal/mol $MgSO_4$

$SO_3 \rightarrow SO_2 + \frac{1}{2} O_2$ (deze reactie verloopt gedeeltelijk)

-94,45 -70,96

Warmte-effect = - 23,49 kcal/mol SO_3.

$KCL_{vast} \rightarrow KCL_{gas}$

-104,2 -51,6

Warmte-effect = - 52,6 kcal/mol KCL

$NaCL_{vast} \rightarrow NaCL_{gas}$

-98,23 -43,50

Warmte-effect = - 54,73 kcal/mol NaCL

Opm.1 : Al deze reacties verlopen ook voor een deel in de convertor.

Opm.2 : M.b.v. de soortelijke warmten en bovenstaande gegevens kwamen we voor de totale toegevoerde warmten naar de beide ovens tot ± 25% lagere waarden.

[illegible] zonder effecten te bereiken?

VII Berekening van de cycloon, die de stofdeeltjes welke door de gassen uit de Roto Louvre droger worden afgevoerd, weer afscheidt (10,11,12,13).

In een cycloon, welke een van de beste vertegenwoordigers van de z.g. " centrifugaalvangers " is, worden de gassen met de stofdeeltjes in een roterende beweging gebracht waardoor de stof naar buiten wordt geslingerd en de min of meer gereinigde gassen de cycloon in het midden verlaten.
De cycloon als zodanig is reeds meer dan honderd jaar bekend en wordt in velerlei industrieën toegepast.In de praktijk komt men echter een groot aantal cycloon-vormen tegen omdat de werking van dit apparaat nog steeds niet geheel bekend is. In de literatuur treft men dan ook vele theoriën aan die dikwijls met elkaar in strijd zijn.
De afdeling voor warmte- en stoftechniek van de Technische Hogeschool Delft is sinds 1935 o.l.v. Prof. Ter Linden bezig met een onderzoek over cyclonen. Onderzocht werden de invloeden van een verandering van elk der hoofdafmetingen, de gassnelheid en de grootte van de cycloon op het vangscijfer.
Een van de conclusies van dit onderzoek was dat men de aankomende gassen zoveel mogelijk tangentiaal moet invoeren, zodat de rotatie van de gassen om de uitlaatpijp zo min mogelijk wordt gestoord. Het gunstigste is een over de halve omtrek van de cycloon verdeelde gasinvoer (zie pag. 22 fig.1).
Een andere conclusie was dat een gelijkmatige vergroting van een cycloon het vangstcijfer doet dalen. Kleine cyclonen werken dus beter dan grote.
Speciale inrichtingen zoals geleidschoepen voor de gassen, omloopkanalen enz. veroorzaken, integenstelling tot de verwachtingen, een daling van het vangstcijfer.

Om de cycloon te dimensioneren, is het allereerst noodzakelijk de hoeveelheid gassen per seconde welke uit de droger komen te berekenen.
Afgevoerd : 1000 kg H_2O/uur (uit massabalans)

$= \frac{1000}{3600}$ kg H_2O/sec. = 0,278 kg H_2O/sec.

Verschil in watergehalte per kg. droge lucht = 0,0114 (uit mollier-diagram).

Hoeveelheid droge lucht per seconde $= \frac{0,278}{0,0114} = 24,4$ kg.

Partiaal druk van de waterdamp = 34 mm Hg
" " " " lucht = 760-34 = 726 mm. Hg

(Bovenstaande gegevens eveneens uit Mollier-diagram).

We nemen nu aan dat de gassen de cycloon bij een temperatuur van 150°C binnentreden en de cycloon isothermisch doorlopen.

Volume van de droge lucht =

$$\frac{24,4}{29} \times \frac{423}{273} \times \frac{760}{726} \times 22,4 = 30,6 \text{ m3 / sec.}$$

Volume van de waterdamp =

$$\frac{0,278}{18} \times \frac{423}{273} \times \frac{760}{34} \times 22,4 = 12,0 \text{ m3 / sec.}$$

Totale volume per seconde = 30,6
12,0
42,6 m3/sec.

Deze hoeveelheid gassen is nu bepalend voor de afmetingen van de inlaat-opening (welke vierkant is) van de cycloon.
Immers uit proefnemingen van Prof. Ter Linden blijkt dat de meeste gunstige invoersnelheid der gassen in het gebied ligt van 8 - 15 m/sec.(zie fig.2 pag.22)
Met de gegevens van de afdeling voor warmte- en stoftechniek der Technische Hogeschool Delft, kwamen we tot de volgende dimensionering:

Aantal cyclonen = 12

Invoersnelheid der gassen = 15 m/sec.

Totale hoeveelheid = 42,6 m3/sec.

Inlaat-oppervlak per cycloon is dus : $\frac{42,6}{12 \times 15}$ = 0,23 m2 .

Afmetingen van de inlaat = 0,48 x 0,48 m.

Diameter van de uitlaat = 0,54 m.

Dimensies van de cycloon (zie fig. 3) :

a_i = hoogte inlaat cycloon = 48×10^{-2} m.

b_i = breedte " " = 48×10^{-2} m.

d_u = diameter uitlaat " = 54×10^{-2} m.

s_c = insteekdiepte uitlaat = 50×10^{-2} m.

d_c = diameter cycloon = 130×10^{-2} m.

l_c = lengte cylinder cycloon = 130×10^{-2} m.

Z_c = lengte conische deel cycloon = 150×10^{-2} m.

i_e = diameter stofuitlaat = 25×10^{-2} m.

Het drukverval over de cycloon wordt gegeven door :

$$\Delta p_c = \zeta \frac{\gamma}{2g} \cdot v^2 \quad \text{waarin :}$$

grootte? of relatieve dimensionering?

Δp_c = drukverval over de cycloon.

ζ = weerstandsfactor (hier gelijk aan 11 genomen; dit is afh. van de cycloon

γ = soortelijk gewicht der gassen (gelijk 0,9 genomen).

v = snelheid der gassen (gelijk 15m/sec.)

g = versnelling van de zwaartekracht.

$$\Delta p_c = 11 \cdot \frac{0,9}{20} \cdot 225 = 111 \text{ mm } H_2O.$$

Opm. : Voor de dimensionering van de ventilator is bovenstaand gegeven noodzakelijk.

De diameter van het deeltje, dat nog juist wordt afgescheiden, heeft men geprobeerd te berekenen door de banen van de stofdeeltjes te berekenen en dan de stof als afgescheiden te beschouwen als de deeltjes de buitenwand van de cycloon bereiken. Dit is o.a. in de theorieën van Rosin, Rammler en Intelmann uitgewerkt.
Het resultaat van deze berekeningen is echter onbetrouwbaar omdat de zeer ingewikkelde stromingsverschijnselen zeer sterk moeten worden vereenvoudigd.
De methode, zoals deze door Prof. Ter Linden is uitgewerkt, beschouwt slechts de stroming in de nabijheid van de uitlaatleiding van de gassen, omdat hier de definitieve afscheiding plaats vindt.
In fig. 4 is nu het stromingsbeeld bij deze uitlaatleiding weergegeven.
Ter vereenvoudiging van de berekening is dit stromingsbeeld twee-dimensionaal en symmetrisch gedacht.

Op een cirkel met straal OP=r bevindt zich een stofdeeltje P in evenwicht.
Is dit deeltje rond en mogen we de wet van Stokes toepassen dan geldt :

$$v_s = \frac{D^2.g.(\rho_d - \rho_g)}{18\eta}$$

zie pag 20

Omdat we ρ_g t.o.v. ρ_d kunen verwaarlozen gaat bovenstaande formule over in:

$$v_s = \frac{D^2.g.\rho_d}{18\eta} \quad (1).$$

Hierin is:

v_s = de valsnelheid van het beschouwde deeltje.

g = de versnelling van de zwaartekracht, 9,81 m/sec^2.

D = de diameter van het beschouwde deeltje.

ρ_d = de dichtheid van de deeltjes, 2.10^3 kg.m3.

ρ_g = de dichtheid van de gassen.

η = de viscositeit van de gassen, 2.10^{-5} kg/m. sec.

De tangentiale snelheid van het beschouwde deeltje is gelijk aan de tangentiale component van de gassnelheid v_t omdat het tesamen met de gassen roteert.
De centrifugale kracht K is dus gelijk aan:

$$K = \frac{m.v^2_t}{r}$$

Hierin stelt m de massa van het deeltje voor.
Deze kracht K is gelijk aan de centripetale kracht F welke een gevolg is van de radiale snelheid V_r van de gassen.

Dus :

$$F=K = \frac{m.v^2_t}{r}.$$

Combinatie met de wet van Stokes geeft:

$$m.g. : v = F : v_r$$

dus:

$$v_s = \frac{g.r.v_r}{v^2_t} \quad (2)$$

Combinatie van (1) en (2) geeft als resultaat:

$$\frac{g.r_u.v_r}{v_t^2} = \frac{D^2.g.\rho d.}{18\eta}$$

Als het deeltje zich in evenwicht bevindt op de cirkel rond de uitlaatleiding ($r_u = \frac{1}{2} d_u$) dan zal dit deeltje de cycloon juist niet verlaten. De diameter van dit deeltje is nu:

$$D^2 = \frac{9.d_u . v_r.\eta}{v^2_t.\ \rho d} \qquad (3).$$

Om D te berekenen moeten we v_t en v_r uitrekenen.

Volgens (12) pag. 6 geldt :

v.r. = constant, dus :

$$v_i . r_i = v_u . r_u$$

Opm.: de indices i en u slaan resp. op inlaat en uitlaat.

$$v_i = 15 \text{ m/sec.}$$
$$r_i = \tfrac{1}{2} d_c = 65.10^{-2} \text{m.}$$
$$r_u = \tfrac{1}{2} d_u = 27.10^{-2} \text{m.}$$
$$V_u = \frac{15.65.10^{-2}}{27.10^{-2}} = 36 \text{ m/sec.}$$

Door iedere doorsnede (loodrecht op v_r) gaan evenveel gassen, dus:

$$\pi.d_i.v_{ri} = \pi.d_u.v_{ru}$$

Opm. : de hoeveelheid gassen per hoogte-eenheid zijn dus gelijk gesteld.

$$\pi\ d_i.\ v_{r_i} = \frac{42,6}{12.48.10^{-2}} = 7,396$$

$$3,14.\ 54.\ 10^{-2}.\ v_{r_u} = 7,396$$

$$v_{r_u} = v_r = 4,36 \text{ m/sec.}$$

Nu geldt :

$$v^2 = v_r^2 - v_t^2$$

Opm.: de index u is achterwege gelaten.

Dus:

$$v_t^2 = v^2 - v^2_r = 36^2 - 4,36^2 = 1296 - 19 = 1277$$

Vullen we de voor v_r en v_t berekende waarden in (3) in dan krijgen we :

$$D^2 = \frac{9.54.10^{-2}.\ 4,36.\ 2.10^{-5}}{1277\ .2.10^3} = 1,66.10^{-10}$$

$$D = 13.10^{-6} \text{ m} = 13 \text{ micron.}$$

Het getal van Reynolds zal nu kleiner dan één moeten zijn omdat we anders de wet van Stokes niet mogen toepassen.

Als het deeltje bewegend Dan ook voor de wet van kleinste deeltjes Re < 1

$$Re = \frac{\rho g . v_s . D}{\eta}$$

M.b.v. (2) vinden we voor v_s :

$$v_s = \frac{9,81 . 27 . 10^{-2} . 4,36}{1277} = 0,9 . 10^{-2} \text{ m/sec.}$$

$$Re = \frac{0,9 . 0,9.10^{-2} . 13.10^{-6}}{2,3 . 10^{-5}} = 4,6 . 10^{-3}$$

waarbij het soortelijk gewicht van de gassen bij 150°C op 0,9 kg/m3 is gesteld. Volgens (11) mogen we de wet van Stokes toepassen als v_s kleiner dan $5,0.10^{-1}$m/sec en groter dan $1,0.10^{-3}$m/sec. is. Hieraan is dus ook voldaan.

We zullen nu de dimensionering van de cycloon weergeven zoals deze in (12) is aangegeven.
Invoersnelheid 15m/sec. De inlaat der cycloon is hier rechthoekig waarbij $a_i = 2b_i$.
Dus:

$$2b_i^2 = \frac{42,6}{12.15} = 0,237$$

$$b_i = \sqrt{1184.10^{-4}} = 34.10^{-2} \text{ m.}$$

Voor de dimensies van de cycloon vinden we dan :

$a_i = 2\ b_i = 68.10^{-2}$ m
$b_i = b_i = 34.10^{-2}$ m
$d_u = 2\ b_i = 68.10^{-2}$ m
$sc = 1,5b_i = 51.10^{-2}$ m
$d_c = 4\ b_i = 136.10^{-2}$ m
$l_c = 8\ b_i = 272.10^{-2}$ m
$z_c = 8\ b_i = 272.10^{-2}$ m
$i_c = b_i = 34.10^{-2}$ m

Door Rosin, Rammler en Intelmann is een formule aangegeven voor de diameter D van het kleinste deeltje dat nog voor 100% wordt afgescheiden:

$$D^2 = \frac{9.\eta.\ b_i}{\pi.n_t.v_i.\ (\rho d - \rho g\ )}$$

Hierin stelt n_t het aantal omwentelingen dat het gas in de cycloon maakt,

Stellen we n_t op 5 dan vinden we :

Hieruit zijn uit regels afgeleid. Dit is een soort van terugrekenen van de gevonden waarde

$$D^2 = \frac{9.2,3.10^{-5}.34.10^{-2}}{3,14.5.15.2.10^{3}} = 150.10^{-12}\ m.$$

Opm.: Ook hier is ρg t.o.v. ρd verwaarloosd.

$$D = 12.10^{-6}\ m = 12\ micron.$$

Deze waarde komt dus heel goed overeen met de volgens de eerste berekening gevonden waarde.

Alleen bij een bijzonder geval van dimensionering kunnen de methoden van Ter Linden en Rosin enz. betrekkelijk identieke zijn.

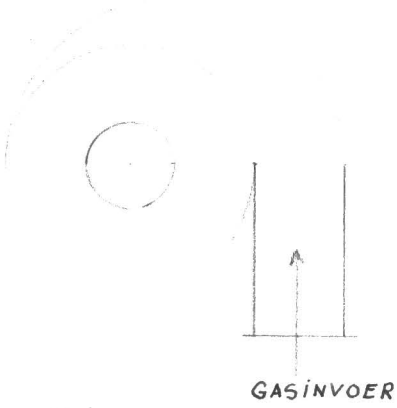


FIG. 1

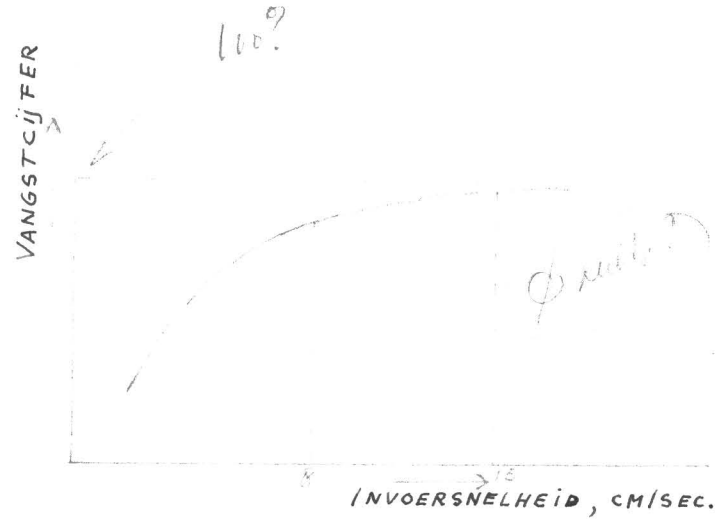


FIG. 2

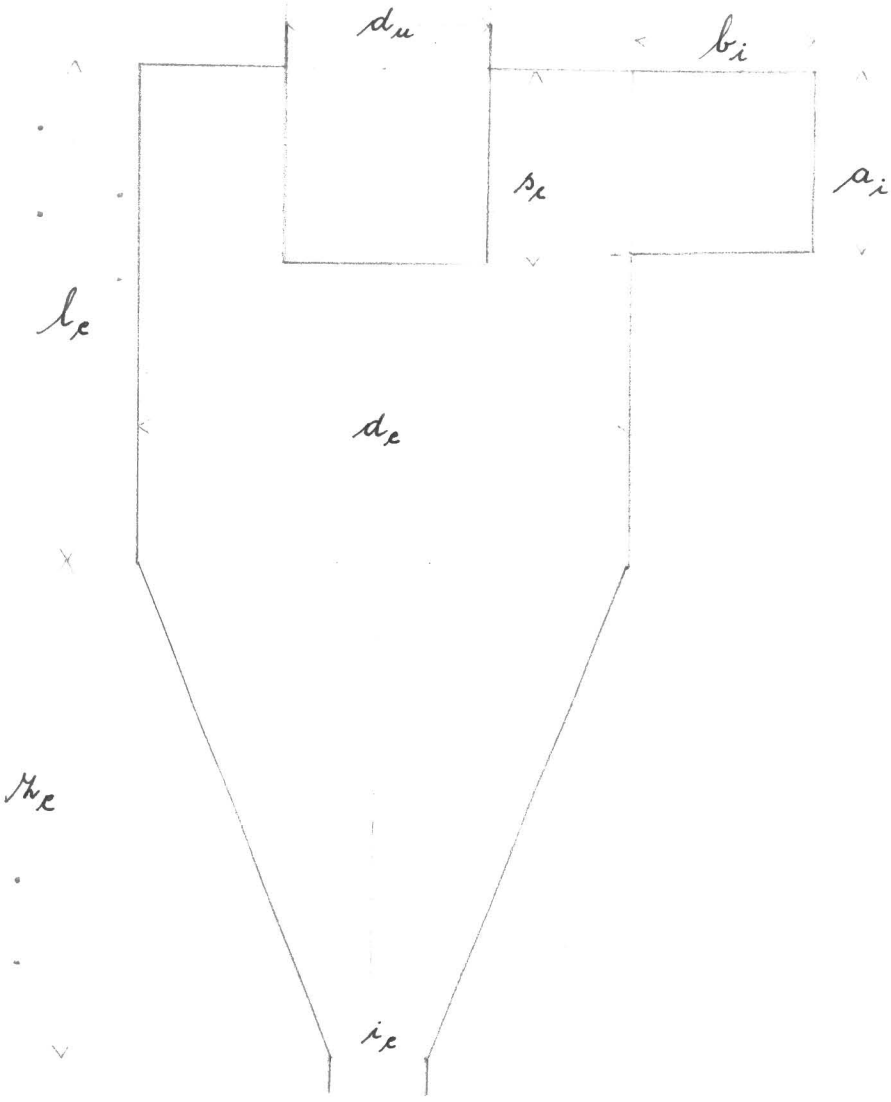


FIG. 3

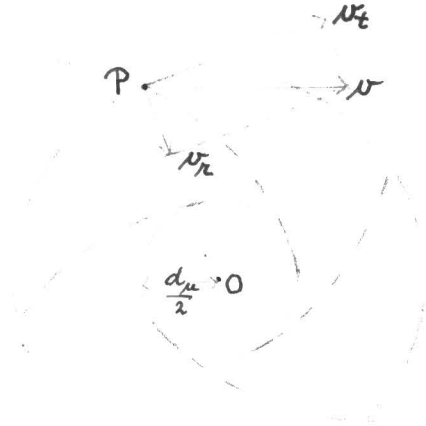


FIG. 4

VIII Literatuur

1. R.E. Kirk en D.F. Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology 8, (1952), 600-612.
2. K. Winnacker en L. Küchler, Chemische Technologie 1, (1958),506.
3. J.F. van Oss en C.J. van Oss, Warenkennis en Technologie (1956), 212,429-431.
4. Chem. Eng. 63, 2, (1956), 142-144, 342-343.
5. Patenten:

A. U.S. Patent 2,413,292
Niels C.Christensen. Recovery and decomposition of $MgCL_2$.

B. U.S. Patent 2,277,827
Sheldom B.Heath and Forest. R. Minger.
Process of dehydrating magnesiumchloride

C. Brit. Patent 734,080
Lewis Reeve. Improvements relating to the production of hydrochloric acid from chlorides.

D. Jap. Patent 273
K. Yokoda en N. Yokoda.
The production method of magnesia and hydrochloric acid from the water contained magnesiumchloride.

E. Isr. Patent 8722
J.J. Aman. A method for the thermal decomposition of metallic chlorides and sulphates to their cerresponding oxides and acids.

6. Symposium on Magnesium compounds. Bull. Res. Counc. of Israel 5 C,(1955), 93-130.
7. Ch.L. Strelez, A.J. Taiz en B.S. Guljanitzki, Metallie des Magnesiums (V.E.B. Verlag Technik Berlin 1953) p. 78 e.v.
8. F.D. Rossini e.a., Selected Values of Chemical Thermodynamic properties (1952).
9. Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie, 27, B, 128-9.
10. A.J. Ter Linden, Tijdschr. Vlaamse Ing. Ver. 6, (1937),96.
11. A.J. Ter Linden, Proc. Inst.Mech.Eng. 160, (1949),233.
12. J.H. Perry, Chemical Engineers Handbook (1950) 371,1026.
13. H. Kramers, Collegedictaat Ph. W.W. (1953).

Door Rosin, Rammler en Intelmann is een formule aangegeven voor de diameter D van het kleinste deeltje dat nog voor 100% wordt afgescheiden:

$$D^2 = \frac{9. \quad . b_i}{.n_t.v_i.\ (\ d - g\ )}$$

Hierin stelt n_t het aantal omwentelingen dat het gas in de cycloon maakt,

Stellen we n_t op 5 dan vinden we :

$$D^2 = \frac{9.2,3.10^{-5}.34.10^{-2}}{3,14.5.15.2.10^{3}} = 150.10^{-12}\ m.$$

Opm.: Ook hier is g t.o.v. d verwaarloosd.

$$D = 12.10^{-6}\ m = 12 \text{ micron.}$$

Deze waarde komt dus heel goed overeen met de volgens de eerste berekening gevonden waarde.