

958

FABRIEKSSHEMA

K. M. KNIP.



KLEMA-MAP No. 10
Ned. Octrooi 37978

AETHYLEENDIBROMIDE

K.M.Knip.

Inhoud.

	blz.
<u>I. Inleiding.</u>	2
<u>II. Broom.</u>	3
A. Europeesche broomindustrie.	3
B. Amerikaansche broomindustrie.	6
<u>III. Aethyleen.</u>	19
<u>IV. Aethyleendibromide.</u>	20
A. Bereiding.	20
B. Zuivering.	23
<u>V. Beschrijving van het schema.</u>	26
<u>VI. Enkele berekeningen.</u>	30
<u>VII. Literatuurlijst.</u>	35

I. Inleiding.

Aethyleendibromide (1-2 dibroomaethaan) wordt technisch gemaakt uit broom en aethyleen (aetheen).

Het wordt, in combinatie met loodtetra-aethyl, gebruikt voor "ethyl-fluid"

"Ethyl-fluid" bestaat b.v. uit:

54,5 % loodtetra-aethyl

36,5 % aethyleendibromide

9,0 % monochloornaphtaline, en wordt toegevoegd aan sommige benzines, ter verhoging van het octaangetal; in Europa voornamelijk aan vliegtuigbenzine, in Amerika ook aan autobenzine.

De broomverbinding dient om met het lood vluchtig loodbromide te vormen, hetgeen met de verbrandingsgassen uit de motor ontwijkt.

Het "ethyl fluid" gehalte van benzine is gemiddeld ongeveer $6 \text{ cm}^3/\text{gallon} = \text{ca. } 0,13 \text{ vol. procent.}$

*Volte loog
Aardolie men de
ca. 123 cm³*

II. Broom.

Broom wordt in de techniek gemaakt uit:

- Zeewater, 60 -70 mg/l.
- Ingedampt zeewater, (salinen, brines, zoutmeeren), 2 - 5 g/l.
- Drooggedampt zeewater, (zoutvelden, bitterns.)

A. Europeesche broomindustrie: (5.)(20.)(22.)

Broom wordt in Europa uitsluitend afgescheiden uit geconcentreerde oplossingen, b.v.:

Duitschland: Staszfurter Endlauge, 2 -5 g/l, Urlauge, 3,5 g/l.

Frankrijk: Zoutmeer van Mellah de Zarzis, (N.Af.), 2 g/l.

Engeland: Doodenzee, 5 g/l.

Als voorbeeld volgt de samenstelling van een Staszfurter Endlauge:

MgCl ₂	318 g/l.
MgSO ₄	50 g/l.
KCl	14 g/l.
NaCl	12 g/l.
Broom	2-5 g/l, als MgBr ₂ .

Korte beschrijving van de gevolgde methode: (Zie fig. 1)

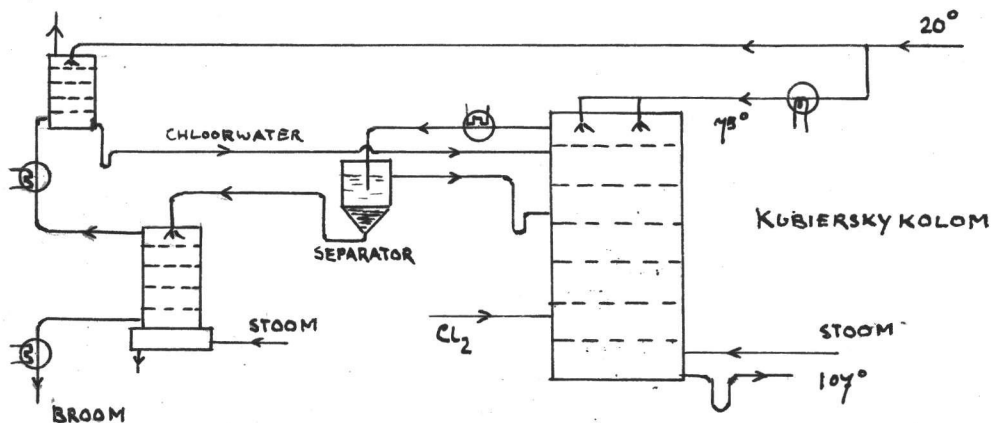


fig.1.

Broomhoudend water van ca. 75°C . wordt boven in een Kubierskykolom ingevoerd. Beneden in de kolom wordt stoom ingeblazen, deze verwarmt het water tot 107 à 114°C . Beneden in de kolom wordt chloor ingeleid, waardoor het broom vrijkomt:



Het is ook mogelijk het broom op een andere wijze vrij te maken, b.v. electrolytisch. Dit is echter duurder.

Het vrijgemaakte broom ontwijkt met de stoom in dampvorm, (kookpunt van $\text{Br}_2 = 59^{\circ}\text{C}$.) en wordt gecondenseerd.

In een separator (fig.2.) wordt het broom van broomwater gescheiden, het laatste wordt in de kolom teruggevoerd.

Het broom doorloopt een raffinagekolom, waarin het tot 55°C . verwarmd wordt, het opgeloste chloor komt grootendeels vrij en wordt in een kleine toren met koud water geabsorbeerd; het chloorwater wordt in de kolom teruggevoerd.

Het broom (ca. $0,1\%$ Cl_2) wordt, na koelen, ter verwijdering van laatste sporen organische stof, met geconcentreerd zwavelzuur, daarna met water, gewasschen. (fig.3.)

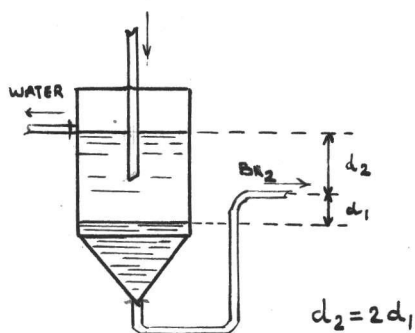


fig.2.

$$\frac{d_{\text{BROOM}}}{d_{\text{BROOMWATER}}} = \frac{3}{1}$$

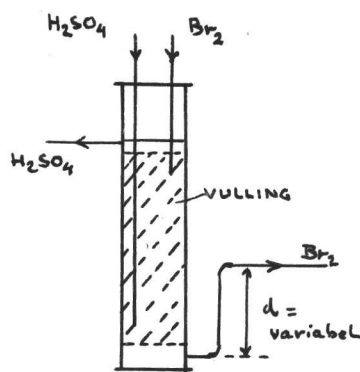


fig.3.

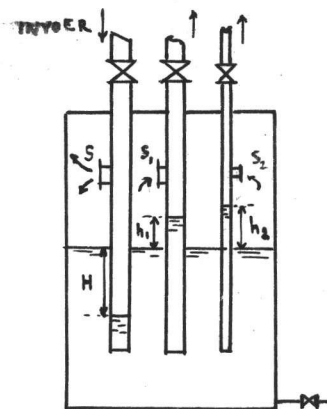


fig.4.

Warmteregeneratie van het broomhoudende water wordt meestal niet toegepast, omdat de broomwinning vóór de kristallisatie plaats heeft.

Het theoretische chloorverbruik is $0,445 \text{ kg Cl}_2/\text{kg Br}_2$.

Onzuiver water verbruikt 1 à $1,1 \text{ kg Cl}_2/\text{kg Br}_2$

Staszfurt : $0,6 \text{ kg chloor/ kg broom}$.

Broomraffinage:

De broomdampen worden afgekoeld, waarbij chloor gelegenheid heeft om op te lossen. Daarna moet opnieuw verwarmd worden, om het chloor uit te drijven. Kaltenbach vermeldt daarom terecht, dat het logischer is, het broom - watermengsel niet verder af te koelen dan tot 55°C . (5.)

Dit moet evenwel zeer voorzichtig geschieden, opdat het broom in de separator niet gaat koken.

Chloordoseering:

Methode, beschreven door Kaltenbach. (5.) (fig.4.)

$$V = KS \sqrt{2g.H}$$

V = volume van het in of uit stroomende chloor.

K = constante.

H = hoogteverschil van de afsluitvloeistof in de buis met het vloeistof niveau, te regelen met de afsluiter.

S = doorsnede van de zijopening in de buis.

Water dient als afsluitvloeistof.

We kunnen een willekeurig aantal buizen op het apparaat aan sluiten, ieder met een bepaalde zijopening.

Op deze wijze kunnen we een aantal nauwkeurig gedoseerde chloorstromen verkrijgen, die een constante druk bezitten.

Stoom en waterhoeveelheden moeten eveneens nauwkeurig gedoseerd worden.

Broom kan van de laatste hoeveelheden chloor gezuiverd worden door wasschen met een KBr oplossing, waarbij iets KBr oplost. (0,01%)

Dit laatste wordt verwijderd door een destillatie.

Moderne methode om broom van de laatste sporen chloor en tevens van kleine hoeveelheden water te zuiveren: (17.)

Het broom wordt in een kolom over een laag vast KBr of BaBr₂ geleid.

*Onduidelijk?
ook bromjoden*

Voorbeeld:

Broom, 0,1% chloor, bevat na leiden over 25 cm KBr:

0,015% Cl_2 en 0,01% KBr.

Het KBr moet vernieuwd worden, als het 1,0 à 1,3 aeq. chloor/aeq. Br_2 bevat.

Het afgewerkte KBr kan naar de broomwinning terug gevoerd worden, of het kan gefractionneerd gekristalliseerd worden.

Broomverbruik in Europa vóór 1925:

60% broomzouten,

25% in organische kleurstoffen,

15% diversen.

Na 1925 is ook in Europa het broomverbruik gestegen door de fabricage van aethyleendibromide.

B. Amerikaanse broomindustrie. (3.)(4.)(7.)(8.)(9.)

Vóór 1925 werd in de U.S.A. broom gemaakt uit water van zoutmeeren en zoutvelden. De grootst producent in de U.S.A. is de Dow Chem. Cy., deze maakte broom door oxydatie met chloor en uitblazen van het vrijgemaakte broom door een volumineuze luchttegenstroom. ("Blowing method") Het broom werd daarna geabsorbeerd in een oplossing van NaOH of Na_2CO_3 . Bij groote hoeveelheden broom was het niet noodig de oplossing te verwarmen. Bij kleine hoeveelheden kon verwarming onder warmteregeneratie worden toegepast. (9.)(fig.5.)

Het broom wordt geabsorbeerd als $\text{NaBr}-\text{NaBrO}_3$ en wordt vrijgemaakt door aanzuren en uitstoomen.

Deze methode berust dus op een broomconcentratie zonder warmteverbruik.

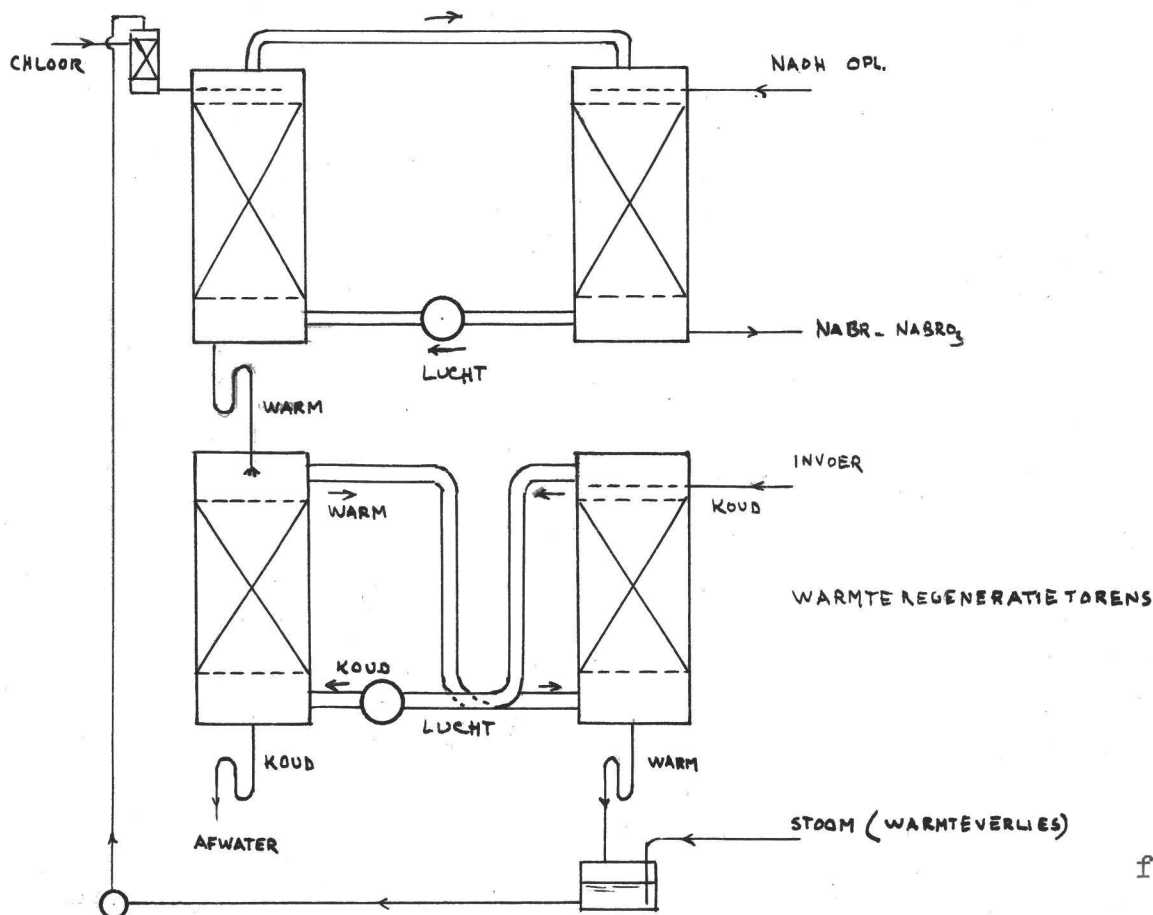


fig.5.

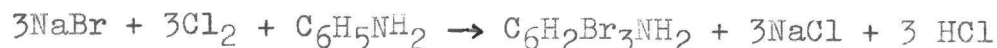
Het is niet bekend of de warmteregeneratie methode toegepast werd. De warmteregeneratietorens van zuurbestendig materiaal zullen waarschijnlijk zeer kostbaar zijn.

Na 1925 steeg de vraag naar broom zeer sterk, in verband met het gebruik voor ethyl fluid. Daarom was het noodig om nieuwe bronnen te vinden.

Broomverbruik in de U.S.A.:(2.)

1924	2 000 000 lbs (907 kgton)
1929	6 500 000 lbs (2948 kgton)
1938	32 000 000 lbs (14515 kgton)

In 1924 begon de "Ethyl Gasoline Corporation" een onderzoek om broom uit zeewater te isoleeren. In een kleine fabriek werd broom uit zeewater door chloor vrijgemaakt en met aniline gebonden tot tribroomaniline:



Eenige maanden later begon het bekende oceaanonderzoek van het S.S.Ethyl.

(3.)

In 1931 ontstond de "Ethyl Dow Chem. Co.", met het doel om broom uit zeewater te isoleren.

Het broomgehalte van zeewater is echter ongeveer even groot als dat van het afwater van de vroegere fabrieken, die broom uit zoutmeerwater afscheiden. Er moest dus een uitgebreid onderzoek plaats hebben om het broom vollediger uit het water te verwijderen:

Verwarmen van het zeewater bleek door het kleine broomgehalte economisch onmogelijk, precipitatie- of extractiemethoden bleken eveneens niet uitvoerbaar, het tribroomanilineproces is b.v. niet rendabel.(zie verder)

Zeewater heeft een pH 7,2 en is dus alkalisch. Zelfs in neutrale oplossing is broom niet volledig vrij te maken, door de groote verdunning treedt hydrolyse op:



HBrO_3 is door chloor niet te ontleden.

De broomopbrengst is te vergrooten door toevoegen van zuur of vergrooten van de chloorhoeveelheid. Deze laatste methode is waarschijnlijk kostbaarder dan de eerste. (Zie de grafieken 1 en 2 op het schema.)

De patenten (10.) en (12.) vermelden dat de pH van de oplossing tussen 3,5 en 6 moet liggen, in verband met broomopbrengst en zuurkosten.

(Zie de grafieken 1 en 2 op het schema en fig.6.)

Zetten we echter de broomopbrengst uit tegen de zuurkosten (hoeveelheden), dan blijkt, dat een pH 3,5 waarschijnlijk het gunstigst is.(fig.7)

De helling van de lijn in grafiek 7.(deze is geconstrueerd uit de beide andere grafieken en is niet geheel zuiver.)verandert bij pH 6 bijna niet, neemt later zelfs nog iets toe.

Voor een geheel juiste berekening moet de chloorhoeveelheid ook beschouwd worden.

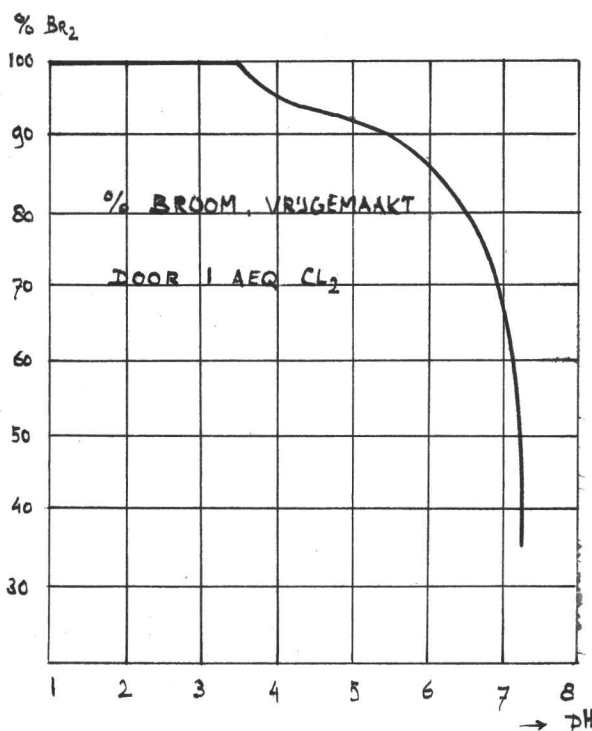


fig.6.

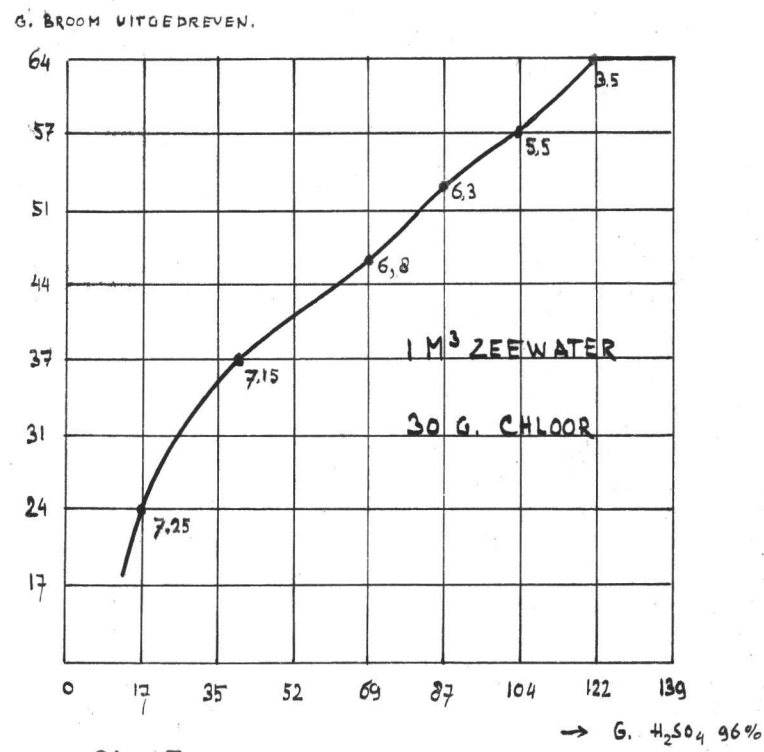


fig.7.

Een latere beschrijving van een fabriek vermeldt een pH van 3,5. Door aanzuren is het "blowing out proces" dus voor zeewater rendabel geworden. Dit aanzuren geschiedt dus niet bij het verwerken van geconcentreerde oplossingen.

De 2. M. krijgt er alleen brom uit of het rendabel is, hangt hoop af van opbrengsten hang.

Zoals reeds vermeld is, is het tribroomanilineproces niet rendabel, de oorzaken hiervan zijn:

- a) Het zuurverbruik is hooger
- b) Per aeq. broom zijn noodig 2 aeq. chloor
- c) aniline is duurder dan aethyleen
- d) Tribroomaniline is direct te gebruiken in ethyl fluid, het bevat echter 73% broom, tegen aethyleendibromide 85%.

Door de Ethyl Dow Chem. Co. werd verder een methode, om de vrijmaking van het broom snel te controleren, gepatenteerd.(13.)

Dit is noodig, omdat bij eventueele fouten, groote hoeveelheden zuur en chloor verloren gaan, in de tijd, die vroeger voor een normale broom-analyse noodig was.

KALOMELECTRODE

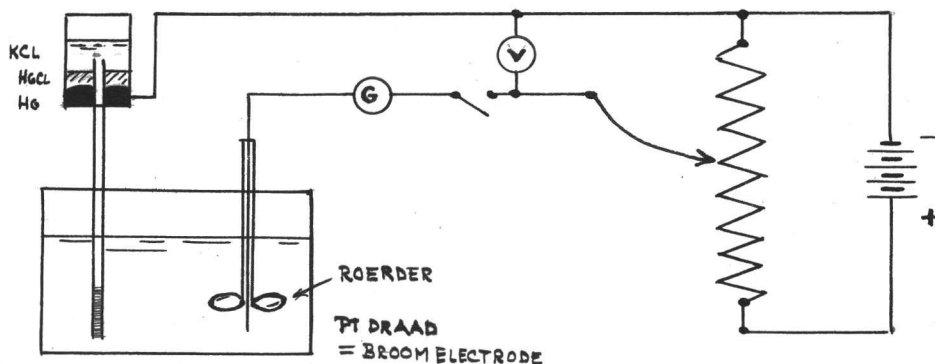


fig.8.

Een oplossing van Br_2 en Br' heeft een karakteristieke oxydatiepotentiaal, die echter beïnvloed wordt door andere ionen. (Zie grafiek 3 op het schema). De grafiek geldt alleen voor zeewater met 3,5% vaste stof, 60 - 70 mg broom per liter, pH 3 - 4 en een bepaalde temperatuur.

(Dit laatste werd in een beschrijving van de fabriek(4.) niet vermeld.)

Indien al het broom is vrijgemaakt, veroorzaakt vrij chloor een verdere toename van de E.M.K., omdat $\text{Cl}_2-\text{Cl}'$ een hogere oxydatiepotentiaal heeft. De karakteristieke potentiaal ligt tussen 0,88 en 0,97 V.

De kromme moet echter voor elk soort oplossing apart bepaald worden.

Voor de apparatuur, zie fig.8.

Een Russische mededeeling vermeldt het gebruik van een antimoonelectrode.

(6.)

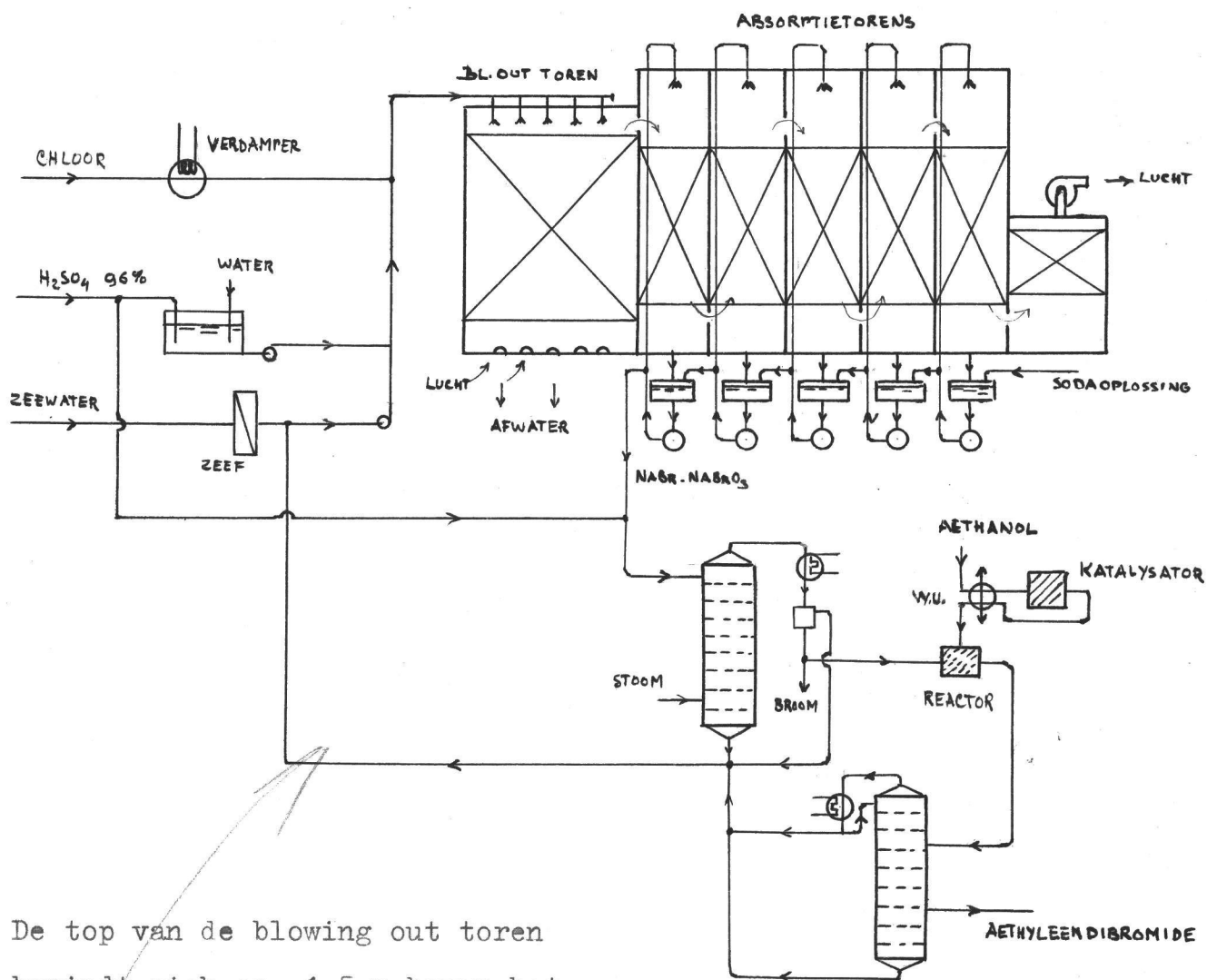
Als resultaat van dit vooronderzoek is het mogelijk het broom uit zeewater door de blowing methode te verwijderen tot 3 à 5 mg/l.

Afscheiding van broom uit lucht:

- 1) Met een oplossing van NaOH of Na_2CO_3 .
- 2) Met actieve kool.
- 3) Met silicagel.
- 4) Met aethyleen.

1) Een sodaoplossing verwijdert het broom effectief en vormt een NaBr-NaBrO_3 oplossing.

Deze methode wordt toegepast door de groote fabriek van de Ethyl Dow Chem. Co. in Wilmington (N.C.), capaciteit in 1934: 5 500 000 lbs (2500 kgton)broom, in 1939: 22 000 000 lbs (10 000 kgton) broom.(1.)(4.)



De top van de blowing out toren bevindt zich ca. 1,5 m boven het zeewaterniveau. Oppervlakte van het torencomplex is ca. 60 - 25 m.

fig.9.

Beschrijving van de fabriek:(4.)(fig.9.)

Zeewater stroomt door een kanaal in een afzetbassin, 30-20-3,5 m, aan het eind waarvan zich een roteerend filter bevindt.

In het pomphuis bevinden zich twee 30" centrifugaalpomp, van 300P.K. elk, met een capaciteit van 29000 gallon/min. ($132 \text{ m}^3/\text{min.}$), welke het water door een 72" (183 cm) buis pompen. Het water wordt door een open goot naar de fabriek gevoerd, hierdoor wordt het s'zomers extra verwarmd en levert dan een grotere broomopbrengst.

De fabriek bestaat uit twee gelijke eenheden, ieder bestaande uit een blowing out toren en eenige absorptietorens, in serie geschakeld.

Het water wordt omhoog gepompt door een 42" (107 cm) buis met zuurbestendige bekleeding, beneden in de buis wordt zwavelzuur van 10% ingevoerd door een groep van kleine geëmailleerde buizen, iets hoger wordt het benodigde chloor op dezelfde wijze ingevoerd.

Het water stroomt in de blowing out toren door een serie verdeeldoozen in 3200 smalle stroompjes. De blowing out toren is in een aantal kleine kamers verdeeld, om een goed vloeistof-lucht contact te verkrijgen.

De kamers zijn gevuld met zuurbestendige vulling en parallel geschakeld. Het afgewerkte water stroomt in een rivier, ver van de waterinvoer verwijderd.

De afsluiters van de chloor- en zwavelzuurleidingen worden uit het laboratorium bediend, hier wordt ook de E.M.K. en de pH van het water gecontroleerd. Er zijn plannen gemaakt om het bedienen van de afsluiters automatisch te doen geschieden.

Het chloor bevindt zich in 32 cilindres van 1 ton, in een ruimte van 21°C . en stroomt door een stoomverwarmde ijzeren buis naar de waterinvoerleiding.

Het zwavelzuur wordt verdund tot 10% in twee geëmailleerde tanks van 5 m diameter en 3 m hoogte.

In elk van de twee eenheden wordt de lucht doorgezogen door 3 ventilatoren, een kleine kamer met pakking vangt de spatten sodaoplossing op.

Waterzuivering

In de absorptietorens wordt het broom geabsorbeerd:



De absorptietorens bevinden zich op een verhooging, zoodat de vloeistof door de zwaartekracht in tanks eronder stroomt. Elke toren bestaat uit 9 kamers in serie, waar delucht achtereenvolgens doorstroomt; een sodaoplossing circuleert continu in elke kamer.

Bij tusschenpozen wordt de sterke NaBr-NaBrO₃ oplossing, het dichtst bij de blowing out toren, naar een opslagtank gepompt. De charges van gedeeltelijk gebroomeerde sodaoplossing worden dan achtereenvolgens naar de volgende kamer gepompt. Als de verst verwijderde tank gelegeed is, wordt deze gevuld met een versche sodaoplossing.

De NaBr-NaBrO₃ oplossing wordt vervolgens aangezuurd, daarna wordt het broom met stoom uitgeblazen. Waarschijnlijk gebeurt dit dus in een Kubierskykolom. Het broom en stoom mengsel wordt, na condenseeren, in een separator gescheiden; het broomwater wordt teruggevoerd naar het beginreservoir.

Het stoomverbruik van deze fabriek, met inbegrip van de aethyleendi-bromide fabricage, is 15 000 pounds/uur, 150 lbs/sq.inch. (6800 kg/u, 10a)

Von's notulen:

Bespreking:

- 1) Er is extra zuur noodig om het broom uit de bromide- bromaat oplossing weer vrij te maken.
- 2) Voor het absorptiesysteem is een groote ruimte noodig.
- 3) Voor de vloeistofcirculatie zijn veel pompen noodig.
- 4) Het is misschien beter het broomwater in een aparte kolom uit te stoomen. (zie later.)

2) Absorptie van broom met actieve kool. (10.)

Cl₂ wat doet dat?

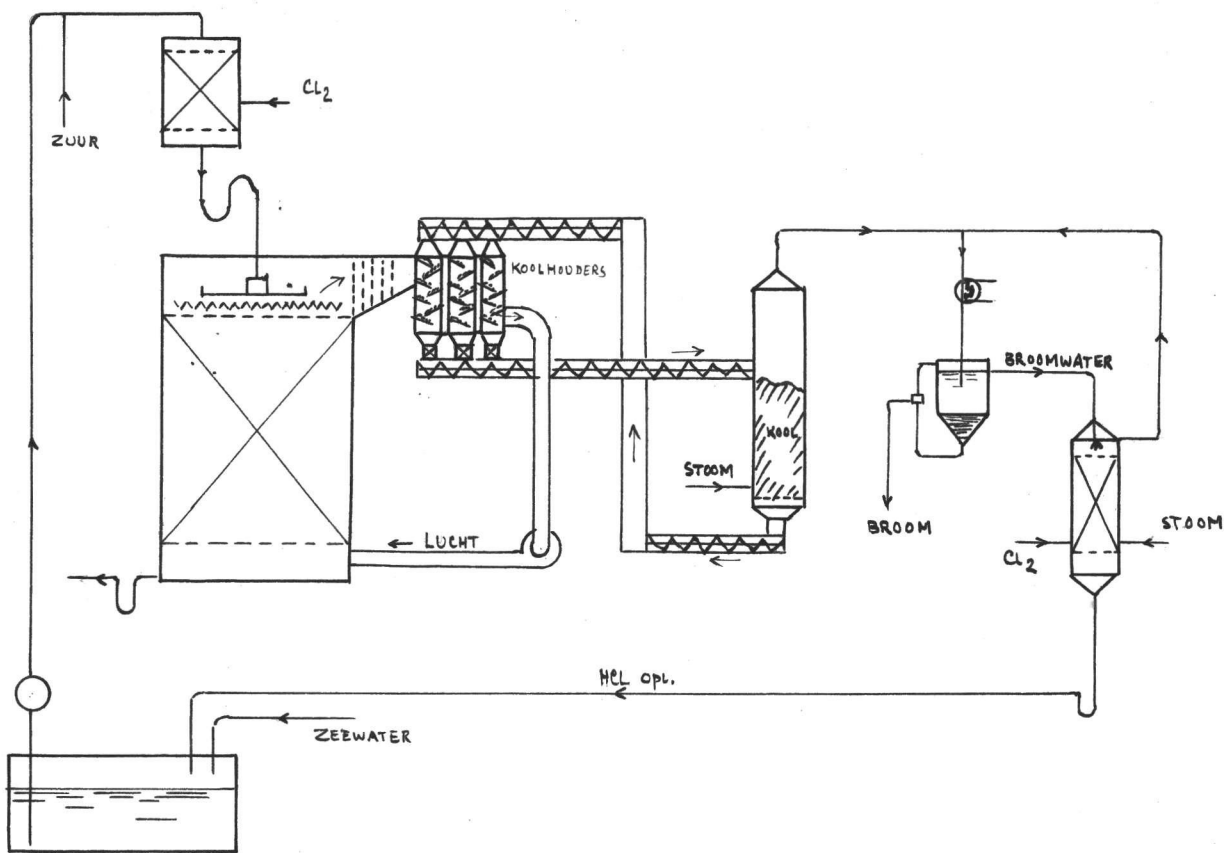


fig. 10.

Beschrijving van de installatie:

Broom wordt uit zeewater vrijgemaakt door aanzuren met H_2SO_4 , HCl of HNO_3 tot een pH 6 en chloreeren in een toren, gevuld met pakking. Een chloorovermaat van ca. 30% , dus 0,6 kg Cl_2 /kg Br_2 , is noodig. Deze overmaat is te verminderen door juiste contrôle. Een grootere overmaat chloor is ongunstig, want de overmaat lost op in het broom. Het broom bevat minder dan 1% chloor, afhankelijk van de contrôle.

Het broom wordt op de bekende wijze door een "grootte" hoeveelheid lucht van 2-8" (5-20 cm) waterdruk uitgeblazen. Door regelen van vloeistof en luchtsnelheid is het broom te verwijderen tot 1 à 5 mg/l.

De lucht bevindt zich hier in een kringloop, dit is gunstiger, dan

Stet probleem is toch hier om broom uit lucht te winnen, patent
Probleem dan bij vrijmaken van broom uit zeewater met H₂SO₄ is dat het broom met H₂SO₄ in oplossing gaat en het broom met H₂SO₄ in oplossing gaat en het broom met H₂SO₄ in oplossing gaat
 1) bij vrijmaken van broom uit zeewater met H₂SO₄ is dat het broom met H₂SO₄ in oplossing gaat en het broom met H₂SO₄ in oplossing gaat
 2) absorptie van broom met lucht
 Niet door elkaar halen!

in de methode, onder 1) beschreven, daar eventueel niet gebonden broom niet verloren gaat.

Het broom - lucht mengsel verlaat de toren door een serie geperforeerde platen, die spatten water tegenhouden. Het broom wordt door actieve kool geabsorbeerd. De kool absorbeert 15-30% broom en bevindt zich in een aantal absorbers, die schuine platen bevatten. Door veranderen van de helling van de platen is de inhoud van een absorber te wijzigen.

In elke koolhouder wordt de kool boven ingevoerd, en na verzadigen met broom, naar een broomwinningstoren getransporteerd. Na het transport moet de kool van stof gezuiverd worden, b.v. door flotatie of zeven. Twee of meer absorbers maken het proces continu.

Het broom wordt uit de kool door 3 à 4 gewichtsdeelen verzadigde stoom uitgedreven, (ook heete lucht is mogelijk), de dampen worden gekoeld in een condensor, waarna zich in een separator broom afscheidt van een broomwaterlaag, welke HBr bevat.

Het broomwater wordt in een kleine toren met een aequivalente hoeveelheid chloor behandeld, het broom wordt met stoom uitgedreven en in de eerder vermelde condensor teruggevoerd. Het afwater van deze toren, dat HCl bevat, wordt naar het beginreservoir teruggevoerd.

Versche kool absorbeert 20 - 40% van het broom als HBr, de oorzaak hiervan is waarschijnlijk het waterstofgehalte van versche kool. Na eenige malen gebruiken neemt de HBr vorming sterk af.

Actieve kool heeft boven silicagel het voordeel, dat het bijna geen water opneemt, silicagel doet dit zeer sterk, waarbij het broomabsorberend vermogen sterk daalt.

Bespreking van het patent:

- 1) Het chloreeren van het water in een aparte toren is niet noodig, (zie 1.) Menging in de opvoerbuiss is voldoende.

23

- 2) Aanzuren van het water met HNO_3 is waarschijnlijk te kostbaar. Een pH 6 is niet economisch.
- 3) Het terugvoeren van broom en waterdamp uit twee torens door één condensor kan zeer gemakkelijk tot complicaties leiden bij verschil van stoomdruk.
- 4) De methode van het kooltransport is niet aantrekkelijk, de kool moet mechanisch zeer sterk zijn en het transport is duur.
- 5) Het patent vermeldt niets over de reactivering van de kool. Mogelijk is hiervoor oververhitte stoom nodig. Dit volgt evenwel niet uit de mededeeling dat de kool na eenige malen gebruiken geen HBr meer ontwikkeld.

Volgens McBain (21.) verbindt teervrije kool zich zoo sterk met broom, dat verhitten gedurende 1 uur op 600° geen merkbare hoeveelheden broom verwijderd. Later vermeldt hij evenwel dat broom uit te drijven is door verhitten boven $100^\circ\text{C}.$, mogelijk betreft dit een ander soort kool.

Het uitdrijven van broom door lucht heeft het nadeel dat het broom weer afgescheiden moet worden.

- 6) Het broomwater uit de separator wordt niet naar het beginreservoir teruggevoerd, zoals onder 1) beschreven, maar in een aparte kolom behandeld. Hieruit zou kunnen volgen dat broom uit geconcentreerde oplossingen goedkoper met stoom is uit te drijven.

Broomwater:

Temp.	:	0°	20°	60°	80°	$100^\circ\text{C}.$
Br_2 , g/l:	:	42	36	28	11	0,0

- 7) Terugvoeren van afgewerkte oplossingen naar het beginreservoir:

a) Broomhoudende oplossingen:

Indien deze minder dan 3 mg/l bevatten niet terugvoeren.

Indien deze meer dan 67 mg/l bevatten, altijd terugvoeren. (Mogelijk tot een bepaalde concentratie, waarbij het goedkoper is het broom met stoom uit te drijven.)

*dat hangt af
van de concentratie*

Indien broomhoudende oplossingen een broomgehalte hebben tusschen 3 en 67 mg/l, moet berekend worden of het economisch is deze oplossing terug te voeren.

b) Chloor en zuurbevattende oplossingen:

Hierbij moet in aanmerking genomen worden, dat hierin broom oplost tot 3 mg/l en verloren gaat.

3) Absorptie van broom met silicagel.(16.):

Volgens dit patent heeft silicagel voordeelen boven actieve kool:

Actieve kool absorbeert broom zeer goed, het is echter zeer moeilijk het broom weer uit te drijven, zelfs bij roodgloei-hitte gelukt dit nog niet geheel, terwijl de kool dan gedeeltelijk vernietigd wordt.

Indien sporen water aanwezig zijn, wordt het meeste broom in HBr omgezet. Silicagel heeft deze nadeelen niet, het moet echter met droog broom in contact gebracht worden, anders wordt veel water en veel minder broom geabsorbeerd.

De apparatuur wordt dus ongeveer als beschreven onder 2), met dit verschil dat het vochtige broom eerst een aantal droogtorens met CaCl_2 , Na_2SO_4 , etc. passeert.

Het uitdrijven van het broom geschiedt door verhitten op 400° à $500^\circ\text{C}.$, hierdoor wordt het silicagel tevens weer geactiveerd.

Silicagel absorbeert 11 - 12 gewichtsprocent broom.

Bespreking:

De bezwaren, in dit patent tegen actieve kool aangevoerd, lijken over-dreven.

De conclusie dat de HBr vorming door water veroorzaakt wordt, (bij $20^\circ\text{C}.$ dus,) is waarschijnlijk fout.

Nadeelen zijn:

*waaronder
brom 3 mg altijd*

- 1) Silicagel absorbeert minder broom dan kool.
- 2) Droogtorens zijn noodig.
- 3) Voor de regeneratie is lucht van hoge temperatuur noodig, de apparatuur zal dus vrij kostbaar zijn, bovendien moet het broom weer afgescheiden worden.

4) De mogelijkheid bestaat broom uit lucht met aethyleen te laten reageeren of vrijgemaakt broom in water met aethyleen te binden.
Hierover zijn geen verdere gegevens bekend.

*Lijkt te veel de
meest b m de
hand liggen de
oplossing.*

III. Aethyleen

Aethyleenbronnen:

- a) Cokesovengas.
- b) Kraakgassen.
- c) Synthetische aethyleen.

De Ethyl Dow Chem. Co. verwerkt aethyleen, dat verkregen is door aethanoldamp over verhit kaolin te leiden.(1.)(4.)(fig9.)

Voor de bereiding van aethyleendibromide kan ook verdund aethyleen gebruikt worden, mits dit geen gassen bevat, die schadelijke stoffen kunnen vormen.(15.)

Cokesovengas is de belangrijkste aetheen bron van Nederland en bevat gemiddeld 1,7% C_2H_4 .

Samenstelling van de aethyleenfractie van cokesovengas in volumeprocenten, opgegeven door de N.V. Kon. Ned. Hoogovenbedrijf te IJmuiden:

Aetheen:	45 %
Propeen:	5 %
Methaan:	14 %
Aethaan:	26 %
Propaan:	3 %
Butanen + Butinen:	0,5 %
Waterstof:	5 %
Koolmonoxyde:	0,3 %
Stikstof:	1 %
Zuurstof:	0,2 %

IV. Aethyleendibromide

A. Technische bereiding:

a) Aethyleendibromide werd vroeger gemaakt door aethyleen in broom te leiden. Dit gaf moeilijkheden bij het regelen van de reactiesnelheid, zoodat veel aethyleen verloren ging, vooral indien het verdund was.

b) Later werd aethyleendibromide gemaakt volgens een continue methode:
(20.) Zie fig. 11.

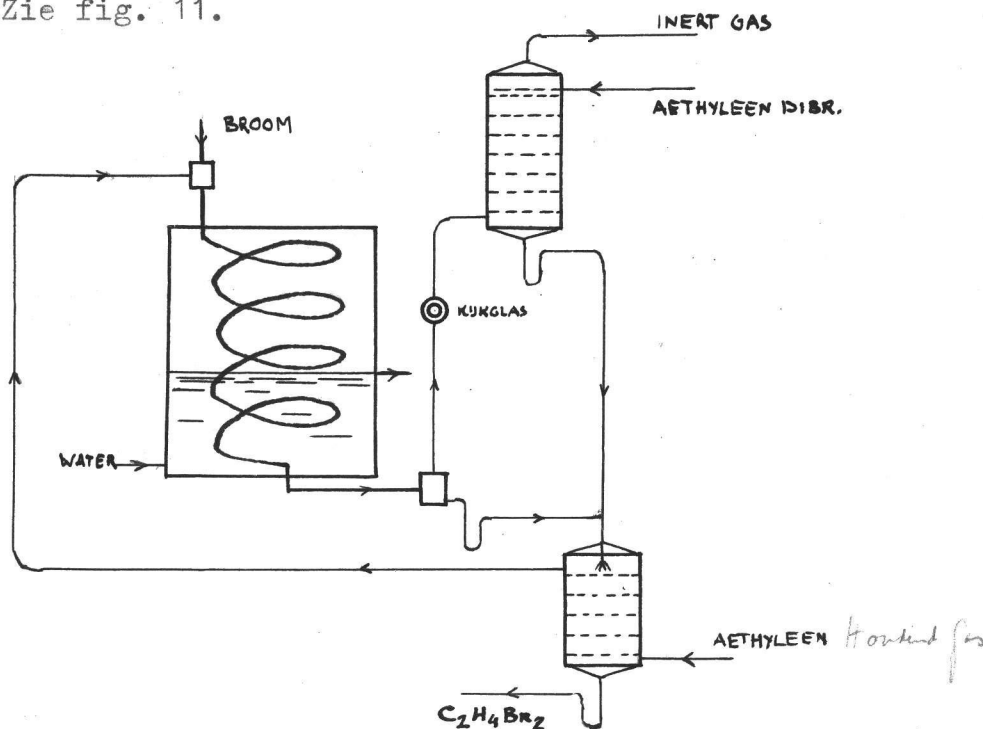


fig.11.

Broom en aethyleenhoudende gassen stroomen in gelijkstroom door een spiraal, die gedeeltelijk met water gekoeld wordt. Het gevormde vloeibare aethyleendibromide bevat nog broom en wordt in een toren met het versche aethyleenhoudende gas gewasschen.

De inerte gassen, die een kleine overmaat broom moeten bevatten, worden in een toren met aethyleendibromide gewasschen. Bij deze methode is het dikwijls noodig het broom te drogen met geconcentreerd zwavelzuur.

c) Een verdere ontwikkeling van deze methode is beschreven in een recent patent van de Ethyl Dow Chem. Co. (15.)

Voor een uniforme reactiesnelheid is het noodig, dat de reactie in de gasphase plaats vindt, hierdoor is ook een zuivere temperatuurconstrôle mogelijk. (Zie fig. 12.)

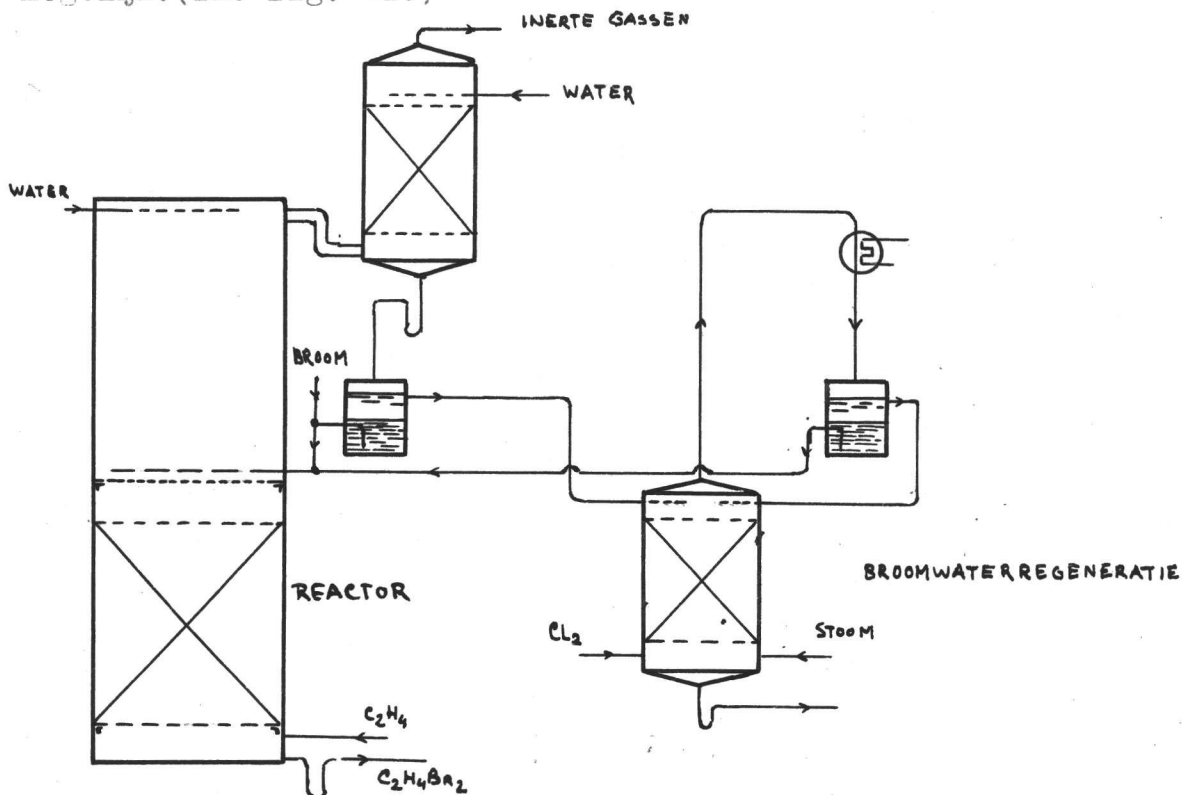


fig.12.

De reactor, uit staal met zuurbestendige bekleding, is verdeeld in 2 even groote compartimenten; de onderste afdeeling is gevuld met een zuurvaste vulling, b.v. Raschig ringen, waarboven zich een geperforeerde verdeelplaat bevindt. Aethyleenhoudende gassen worden onder ingevoerd en broom wordt op de verdeelplaat gebracht. Beneden in de reactor reageren deze met elkaar, waarbij voldoende warmte ontstaat om het broom te vervluchtigen. De reactie loopt af in de leege bovenruimte in de gasphase. De snelheid van het aethyleen en het broom moet zoo geregeld worden, dat de temperatuur hooger dan 59° (Kpt. van Br₂), en lager dan 132°

(Kpt. van aethyleendibromide) is, daardoor condenseert het aethyleendibromide en stroomt naar beneden in contact met versch aethyleen, dat de laatste sporen broom verwijdert. Om de temperatuur te helpen regelen kan een kleine hoeveelheid water worden ingespoten, echter zoo weinig, dat het geheel verdampt, en het aethyleendibromide dus droog blijft.

Door de tegenstroom krijgen we dus:

- 1) De verlangde reactieomstandigheid,
- 2) Een zuiver broomvrij product.

Een overmaat broom van 3 à 5 % is voldoende om al het aethyleen te laten reageeren. Deze overmaat, te controleeren door een kijkglas, is gemakkelijk terug te winnen door wasschen met water. Hierbij condenseert $C_2H_4Br_2$ en lost HBr in het broomwater op.

In een separator scheidt zich aethyleenbromide, met iets broom, af van broomwater met HBr. De waterlaag wordt in een toren op de bekende wijze geregenereerd.

Voorbeeld:

Een aethyleenhoudend gas met 45 % C_2H_4 levert op deze wijze een product met een s.g. 2,185 en een kooktraject van $1,3^{\circ}C$.

Constanten van zuiver aethyleendibromide: (23.)

Smeltpunt: $9,5^{\circ}C$.

Kookpunt: $132^{\circ}C$.

d_4^{20} : 2,181.

Het rendement is 98,8%, berekend op broom en 99,2%, berekend op aethyleen:

0,7% Br_2 gaat verloren met de inerte gassen,

0,5% Br_2 gaat verloren in het afwater,

0,8% C_2H_4 gaat verloren in de afgassen.

Bespreking van het patent:

- 1) Dit patent is dus een verbetering van methode 2), het bevat echter de volgende fout:

Aethyleen reageert met zuiver chloorvrij broom, in de regeneratietoren ontstaat echter een hoeveelheid chloorhoudend broom, dat teruggevoerd wordt en dus het product verontreinigt.

2) Het is natuurlijk ook mogelijk de inerte gassen met aethyleendibromide te wasschen. Broom lost hier zeer goed in op, het eenige nadeel is dat kostbaar aethyleendibromide verloren kan gaan met de inerte gassen.

B. Zuivering van aethyleendibromide:

Het op de methode A.a) gemaakte aethyleenbromide bevatte nog broom en werd daarom met een soda oplossing gewasschen, dit is tegenwoordig niet meer noodig.

Het volgens de twee andere methoden gemaakte $C_2H_4Br_2$ bevat nog:

C_2H_4BrCl , C_2H_5Br , C_2H_3Br etc.

Het werd gezuiverd door een stoomdestillatie, (goedkooper dan een vacuumdestillatie) afgescheiden van water en gedroogd. Op deze wijze bevatte het aethyleenbromide nog steeds vluchtige bestanddeelen, die een verkleuring van het handelsproduct veroorzaakten. Daarom was nog een fractionatie noodig.

In een patent van de Ethyl Dow Chem. Co. (14.) zijn deze twee laatste zuiveringen gecombineerd: (fig.13.)

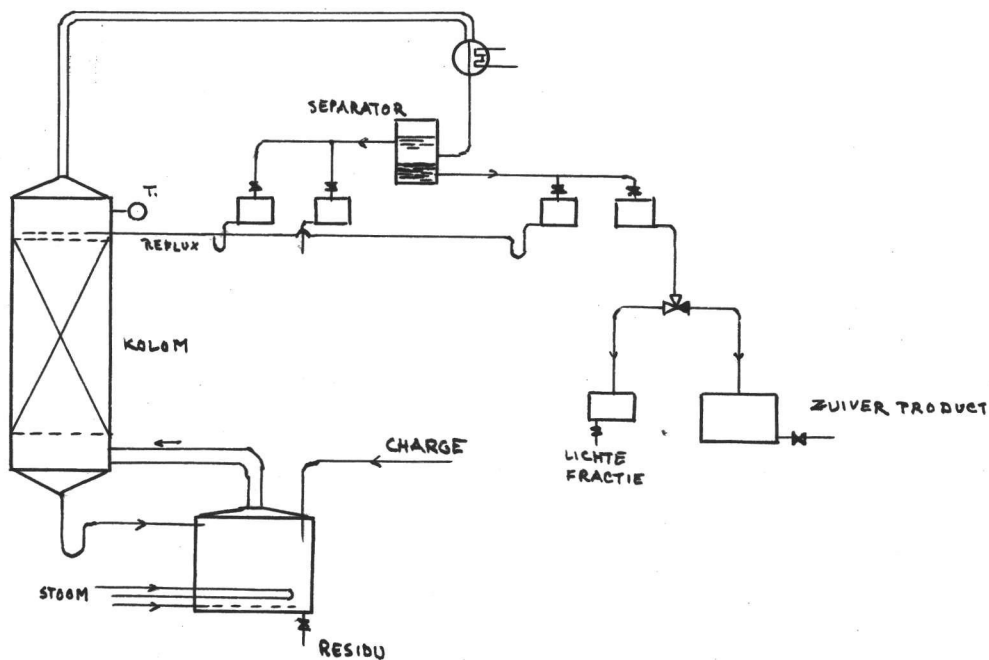


fig.13.

*Het laatste
hoofdstuk
kan op
de methode
zijn*

Een zeer zuiver product wordt direct uit het ruwe product verkregen door fractionneerende stoomdestillatie.

Het ruwe $C_2H_4Br_2$ wordt met indirecte stoom voorverwarmd tot kooktemperatuur en daarna met directe stoom gedestilleerd in een hoge kolom, gevuld met Raschig ringen.

De dampen uit de kolom worden gecondenseerd en komen in een separator. De water en "niet water" laag worden afgevoerd óf teruggevoerd in de kolom door middel van refluxregelaars (zie schema).

Voorbeeld van een destillatie:

Bij het begin van de destillatie stijgt de temperatuur tot $90^{\circ}C.$, maar daalt tot $85^{\circ}C.$ als de fractionnatie begint.

Het water wordt afgevoerd, het "niet water" wordt teruggevoerd in de kolom tot de temperatuur constant blijft. Vervolgens wordt een kleine hoeveelheid van de niet waterlaag afgevoerd als voorloop, de rest wordt steeds teruggevoerd.

Als de destillatie verder gaat, ontwijkt de lichte fractie voornamelijk in de niet water laag, hoewel enkele lichtkokende componenten in water oplosbaar zijn en met de waterafvoer verwijderd worden.

Gedurende deze tijd stijgt de damp temperatuur tot $90,5$ à $90,8^{\circ}C.$, het s.g. van de "niet water" laag is dan $2,168 - 2,175$. (In de praktijk wordt de destillatie steeds gevolgd door meting van d_4^{20} .) Er destilleert nu een zeer zuiver product over, dat door omschakelen van de driewegkraan apart opgevangen wordt tot de temperatuur gestegen is tot $91,2$ à $91,5^{\circ}C.$

De destillatie wordt dan gestopt en de ketelinhoud wordt verwijderd.

Het product wordt met $CaCl_2$ gedroogd en heeft dan de volgende constanten:

Kookpunt: $130,7 - 132,9^{\circ}C.$

Meer dan 95% kookt tusschen $131,0$ en $132,0^{\circ}C.$

Het zuivere product is ongeveer 90% van het ruwe.

Tijdens het fractionneeren kan een gedeelte van het water teruggevoerd worden om een goede temperatuurcontrole te verkrijgen.

Bespreking:

- 1) Een beschrijving van de aethyleenbromidefabriek in de U.S.A. (fig.9.) vermeldt voor de zuivering alleen een destillatie.(1.)
- 2) Zooals vroeger reeds vermeld is, bevat de aethyleenfractie van cokesovengas, behalve aetheen, nog de reactieve gassen propeen en butinen. (butadiënderivaten).

Propeendibromide heeft een kookpunt van $140^{\circ}\text{C}.$, maar vormt met aethyleendibromide een azeotropisch mengsel, en is dus niet door destillatie te scheiden.

hier typt dat?
 Volgens deskundigen van de "Bataafsche Petroleum Maatschappij" is propeendibromide in ethyl fluid niet schadelijk, het nadeel is echter het geringere broomgehalte. Het zal waarschijnlijk niet loonend zijn het propeen van het aetheen door destillatie te scheiden.

Kpt. van $\text{C}_2\text{H}_4 = - 102^{\circ}\text{C}.$

Kpt. van $\text{C}_3\text{H}_6 = - 48^{\circ}\text{C}.$

De bromiden van de hogere^{on} verzadigde koolwaterstoffen hebben een veel hoger kookpunt dan aethyleenbromide en zijn gemakkelijk af te scheiden.

V. Beschrijving van het schema.

waarom roteerend?

*bedrukt wordt
> draait de
cilinder*

Zeewater stroomt door een roteerend filter in een reservoir. Vandaar wordt het door een centrifugaalpomp van 350 P.K. in de blowing out toren gepompt. Als waterhoeveelheid is gekozen $100\ 000\ m^3/dag$. De benodigde pompenergie is veel in vergelijking met de broomfabriek in Amerika, kan echter verminderd worden door de fabriek lager te plaatsen, indien de waterafvoer dit toelaat. (Zie de berekening.)

De waterhoeveelheid wordt gemeten met een Venturimeter, deze is kostbaarder dan een meetflens, maar geeft minder drukverlies.

Na de pomp wordt door een stel buizen (in het schema is er slechts één geteekend) in de leiding 10 %ig zwavelzuur gepompt. Voor een pH 3,5 is nodig $122,5\ g\ 96\%$ zwavelzuur per ton zeewater, dus $12556\ kg = 6,8\ m^3/dag$. Het zwavelzuur wordt verdund met zeewater in de afwisselend werkende verdunningsbuis. Per dag is nodig $108\ m^3$ (zeewater). Door het verdunnen is het zuur beter te doseeren.

Op het schema is geen rekening gehouden met de eisch om de zuigleiding van een centrifugaalpomp zoo kort mogelijk te maken.

Boven de zwavelzuurtoevoer wordt het benodigde chloor toegevoegd. De theoretische hoeveelheid chloor is $35,5/80 \cdot 6700 = 2970\ kg/dag$.

Voor een overmaat van 30% is dus nodig $3860\ kg/dag$.

De chloorcilinders koelen bij chloor leveren sterk af en bevinden zich daarom in een verwarmde ruimte. Het ~~vloeibare~~ ^{gast} chloor wordt ~~verdamp~~ in een stoomverhitte ijzeren buis.

Door de turbulente strooming in de invoerbuis treedt een voldoende menging op, om het broom vrij te maken.

Door meting van de temperatuur, pH en E.M.K. wordt op de bekende wijze het vrijmaken van het broom gecontroleerd. De meetinstrumenten zullen zich dus, in afwijking van het schema, dicht bij de invoer in de blowing out toren bevinden.

*Subst:
als er kloof
wordt geleerd
koolde cilinder
niet afwisselend
wordt geleerd
behoort te zijn
verwarmt
te worden*

*Waarom de
getekend?
(teerbesparing)*

Het water wordt ingevoerd in de toren door een serie verdeeldoozen en buizen, de methode op het schema geteekend, geeft teveel drukverlies.

Door middel van een luchttegenstroom wordt het broom verwijderd van 67 tot 3 mg per liter. Het broom wordt uit de lucht geabsorbeerd met actieve kool in twee, om beurten in bedrijf zijnde, absorptietorens.

*luchttoeflette?
tegen wind
(uitpersoon
zee water)*

De lucht circuleert door de blowing out en de absorptie torens door middel van een blower van 40 P.K. (zie berekening.) Hierbij gaat dus nooit broom verloren.

Een spatvanger houdt sporen meegevoerd water tegen.

Het vroeger beschreven systeem van kooltransport is hier niet toegepast in verband met de beschreven nadeelen. Opgemerkt moet worden, dat het op het schema geteekende systeem waarschijnlijk nog te veel weerstand aan de lucht biedt. (zie berekening.)

Het geabsorbeerde broom wordt door stoom uitgedreven. Per dag ontwijkt 6400 kg broom en 19000 kg stoom, vermengd met een hoeveelheid lucht en chloor.

De damp wordt gekoeld tot een temperatuur, even onder het kookpunt van broom. Hierdoor heeft het chloor geen gelegenheid om op te lossen.

De oncondenseerbare gassen ontwijken boven uit de condensor, het chloor wordt uitgewasschen in een kleine toren met koud zeewater of een soda-oplossing. Het chloorhoudende water kan teruggevoerd worden naar het beginreservoir, hierbij moet in aanmerking worden genomen, dat dit alleen mogelijk is als de pomp zuur en halogeenbestendig is.

Uit de condensor komt het vloeistofmengsel in een separator, waar zich broom afscheidt van een waterlaag, welke broom en HBr bevat. Het broom uit de separator wordt snel afgekoeld.

De HBr en Br₂ houdende waterlaag wordt in de broomregeneratietorens met een aequivalente hoeveelheid chloor behandeld, het broom wordt door stoom uitgedreven en in een aparte condensor gecondenseerd. Dit is dus een verandering van de vroeger beschreven methode, waar de dampen uit de

→ buislijst in stroom rond

regeneratietoren en uit de absorptietoren door dezelfde condensor gekoeld werden.

Het broom en broomwatermengsel wordt weer in de separator teruggevoerd.

Het afwater uit de regeneratietoren, dat HCl bevat, kan teruggevoerd worden naar het beginreservoir. Het is dus ook mogelijk het broomwater direct in het beginreservoir terug te voeren, hierbij spelen de verwerkingskosten een rol.

Het broom uit de separator heeft een chloorgehalte van 0,1 à 0,5 %, afhankelijk van de temperatuur in de separator. Het is dus niet nodig het broom door een raffinagetoren te leiden.

Het broom wordt op de vroeger beschreven wijze verder gezuiverd door het over een laag vast bromide te leiden. Hiervoor is gekozen CaBr_2 , waardoor tevens sporen water uit het broom worden vastgelegd. (Dit is voor de aethyleenbromide fabricage niet noodzakelijk.) Twee torens maken het proces weer continu, indien een toren teveel CaCl_2 bevat, wordt omgeschakeld en de afgewerkte inhoud van de toren opgelost in water. De oplossing wordt dan teruggevoerd naar het beginreservoir. Het broom bevat sporen CaBr_2 , dit is voor de verdere verwerking onbelangrijk, omdat het aethyleendibromide toch gedestilleerd wordt.

Het zuivere broom reageert met een aethyleenhoudend gas, dat 45% C_2H_4 bevat in een reactor, als beschreven onder IV A c.

6400 kg broom verbruikt 1120 kg aethyleen.

$1 \text{ m}^3 \text{ gas} = 0,45 \cdot 1,26 = 0,57 \text{ kg } \text{C}_2\text{H}_4$. Ingevoerd wordt $1965 \text{ m}^3 \text{ gas}$, bevattende $1080 \text{ m}^3 \text{ aethaan}$ etc.

Een overmaat broom van 5% wordt toegevoegd en ontwijkt met de inerte gassen. Deze worden met weinig water gewassen, waarbij het broom teruggewonnen wordt. Het broomwater, dat HBr bevat wordt nu teruggevoerd naar de separator achter de koelabsorptietorens en doorloopt nu dus weer de chloorzuivering.

broomwater
afwater

broomwater
afwater
Totaal
H₂O
water
afwater

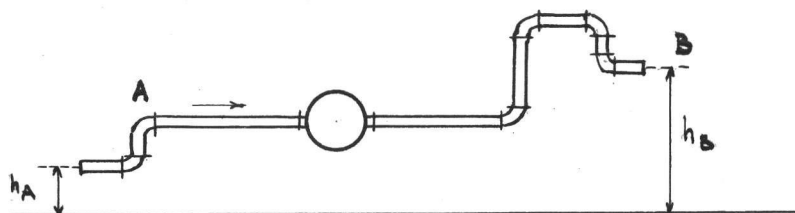
Geschiedt de
waterstof Cl-ke
ook in zijn
toestand?
In de buislijst
(Volgens patent
boek).

De inerte gassen, welke nog ca. 0,7% broom bevatten, worden met een overmaat water, of met een loog- of sodaoplossing, gewasschen en naar een gashouder gepompt. Zij kunnen b.v. voor verwarming gebruikt worden. 6400 kg broom levert 7505 kg aethyleendibromide. (rendement 98,8%)

Het verkregen onzuivere aethyleenbromide wordt gedestilleerd als beschreven onder IV.B. Het rendement is 90%. 7505 kg onzuiver product leveren 6750 kg zuiver aethyleendibromide. Dit is na drogen door twee, afwisselend gebruikte, droogtorens met CaCl_2 , geschikt voor het handelsproduct.

VI. Enkele berekeningen. (19.)

A.) Krachtverbruik van de zeewaterpomp.



Uit de wet van het behoud van arbeidsvermogen volgt:

$$h_A + \frac{c_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} - f + w = h_B + \frac{c_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\gamma}. \quad (\text{Bernoulli})$$

h = hoogte in m. boven een aangenomen horizontaal vlak.

c = snelheid van de vloeistof in m./sec.

P = druk van de vloeistof in kg./m^2 .

f = wrijvingsverliezen in m. vloeistof.

w = drukhoogte van de pomp in m. vloeistof.

γ = s.g. van de vloeistof in kg./m^3 .

g = versnelling van de zwaartekracht.

Berekening van de wrijvingsverliezen:

1) Drukverlies van een stroomende vloeistof door een pijp.

Hiervoor is af te leiden:

$$\Delta h = \frac{Lc^2}{D} \phi' \left(\frac{Dc\gamma}{Z} \right)$$

$$\Delta h = \text{drukverlies in m. vloeistof} = \frac{\text{drukverlies in kg/m}^2}{\text{s.g. van de vloeistof}}$$

L = buislengte in m.

c = gemiddelde vloeistofsnelheid in m./sec.

D = binnendiameter van de buis in cm.

Z = viscositeit van de vloeistof in centipoisen.

$\phi' \left(\frac{Dc\gamma}{Z} \right)$ is uit een tabel af te lezen.

2) Drukverlies in vormstukken, meetflenzen etc.

Tabellen geven de drukverliezen, uitgedrukt in pijplengten met hetzelfde

drukverlies.voor turbulente stroom.

3) Drukverlies door verkleining van de buisdoorsnede.

Hiervoor geldt de formule:

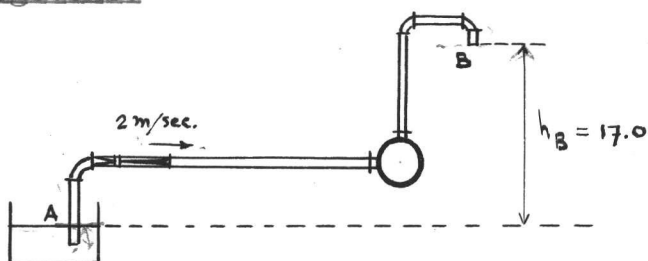
$$\Delta h = K \cdot \frac{c_2^2}{2g}$$

K = constante, afhankelijk van de verhouding van de buisdiameters.

c_2 = snelheid in de nauwe buis in m./sec.

g = versnelling van de zwaartekracht.

Gegevens:



Hoeveelheid water = 100 000 m³/dag.

Soortelijk gewicht van zeewater = 1025 kg/m³.

Lengte van de buis = 36,0 m.

Vloeistofsnelheid = 2 m./sec.

Viscositeit van zeewater = 1,000 (aangenomen.)

Opvoerhoogte = 17,0 m.

3 90° bochten met straal = buisdiameter.

Venturibuis 1:2.

De vergelijking van Bernoulli wordt:

$$-f + w = h_B + \frac{c_B^2}{2g}, \text{ want:}$$

$$h_A = 0$$

$$P_A = P_B$$

$$c_A = 0, \text{ dus:}$$

$$w = 17,0 + \frac{4}{2 \cdot 9,81} + f.$$

hoe wordt dit!

(aangenomen) verhouding van uitkomst tot formule

Berekening van de wrijvingsverliezen:

$$100\ 000\ \text{m}^3\ \text{water per dag} = 1,1574\ \text{m}^3/\text{sec.}$$

$$\text{Lineaire snelheid} = 2\ \text{m./sec.}$$

$$\text{Buisoppervlak} = 0,5787\ \text{m}^2. \quad \gamma$$

$$\text{Buisdiameter} = 0,86\ \text{m.}$$

1) Verliezen in buis en vormstukken:

$$\text{Buislengte} = 36,0\ \text{m.}$$

$$\text{Drie } 90^\circ \text{ bochten} = 3 \cdot 20 \cdot 0,86 = 51,6\ \text{m.}$$

$$\text{Venturibuis } 1 : 2 = 80 \cdot 0,86 = 68,8\ \text{m. (18.)}$$

$$\text{Lengte van een rechte buis met dezelfde weerstand} = 156,4\ \text{m.}$$

$$\frac{Dc\gamma}{Z} = 86 \cdot 2 \cdot 1025 = 176300, \text{ dus turbulente strooming.}$$

$$\phi! \left(\frac{Dc\gamma}{Z}\right) = 0,08$$

$$\Delta h = \frac{156,4 \cdot 2^2 \cdot 0,08}{86} = 0,6\ \text{m. vloeistof.}$$

2) Intredeverlies:

$$\frac{c_1}{c_2} = 0, \text{ hieruit volgt:}$$

$$K = 0,5$$

$$\Delta h = \frac{0,5 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,1\ \text{m. vloeistof.}$$

Het totale wrijvingsverlies = 0,7 m. vloeistof.

De drukhoogte van de pomp is dus:

$$w = 17,0 + 0,7 + \frac{4}{2 \cdot 9,81} = 17,9\ \text{m. vloeistof.}$$

$$\text{De druk in kg/m}^2 = w \cdot \gamma = 17,9 \cdot 1025 = 18348\ \text{kg/m}^2.$$

$$\text{Pompcapaciteit} = \text{volume/sec.} \times \text{druk} = 1,1574 \cdot 18348 = 21236\ \text{kgm/sec.}$$

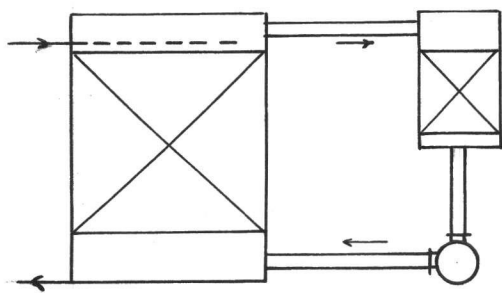
$$75\ \text{kgm/sec.} = 1\ \text{P.K.}$$

$$\text{Pompcapaciteit} = 283\ \text{P.K. Stel het nuttig effect van de pomp} = 80\%.$$

$$\text{Toe te voeren energie} = 350\ \text{P.K.}$$

*Heeft de buis
binnendijk
lang te plaatsen*

B.) Krachtverbruik van de blower.



De weerstand van de torenvullingen is zoo groot, ten opzichte van de leidingweerstand, dat we de laatste kunnen verwaarloozen.

Voor de wrijving in een toren is af te leiden:

$$\Delta p = \frac{\zeta \cdot H \cdot V^2}{F^2}$$

V = volume gas, dat per minuut door de toren stroomt, in m³.

H = hoogte van de torenvulling in m.

F = doorsnede van de leege toren in m².

ζ = constante, beïnvloed door de vloeistofhoeveelheid, die over de torenvulling stroomt.

Δ p = drukverlies in mm water.

Gegevens:

1) "Blowing out" toren:

Vloeistofhoeveelheid = 100 000 m³/dag = 69,4 m³/min.

Luchthoeveelheid = 500 000 m³/dag = 347 m³/min. = 5,8 m³/sec.

(aangenomen.)

Hoogte van de vulling = 12 m. (aangenomen.)

Vloeistofsnelheid = 0,5 m³/m²/min. (aangenomen.)

Het torenoppervlak is dus = $\frac{69,4}{0,5} = 139 \text{ m}^2$.

$$300 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-3}$$

De vulling van de toren is zoodanig, dat $\zeta = 0,003$ (b.v. Raschig ringen van 30 cm.)

$$\Delta p = \frac{0,003 \cdot 12 \cdot 347^2}{139^2} = 0,22 \text{ mm water.}$$

*dat is de
wrijving*

De wrijving

0,22 / sec

2) Absorptietoren:

100 000 m³ water per dag levert 100 000.(67 - 4) = 6400 kg broom.

Actieve kool absorbeert 20 % broom.

Per dag is dus noodig 32000 kg actieve kool. Indien we aannemen, dat de absorptietorens om de 3 uur omgeschakeld worden, is de koolinhoud van een toren = 4000 kg. Het vulgewicht van actieve kool = 0,15. (23.)

Inhoud van de toren = 27 m³.

Diameter van de toren = 3 m. (aangenomen.)

Oppervlak van de toren = 7,1 m².

Hoogte van de vulling = 3,8 m.

$\gamma = 0,06$.

$$\Delta p = \frac{0,06 \cdot 3,8 \cdot 347^2}{7,1^2} = 545 \text{ mm water.}$$

De totale weerstand is dus = 545 mm water = 545 kg/m².

Blowercapaciteit = 5,8. 545 = 3161 kgm/sec, = 42 P.K.

Indien we de doorsnede van de toren 2 maal zoo groot maken en de hoogte van de vulling tot op $\frac{1}{2}$ verminderen, wordt de pompcapaciteit 8 maal zoo klein, dus = 5 P.K.

=====

VII. Literatuurlijst.

- Anon. - Chem. and Met. Eng. 46. 771 (1939) (1.)
- " " " " " 46. 578 (1939) (2.)
- Stine - Ind. Eng. Chem. 21. 434 (1929) (3.)
- Steward - Ind. Eng. Chem. 26. 361 (1934) (4.)
- Kaltenbach - Chimie et Industrie 25. 543 (1931) (5.)
- Anon. - J. Appl. Chem. (U.S.S.R.) 10. 1421 (1937) (6.)
- A.P. 714160 (1900) - Dow. (7.)
- A.P. 733466 (1903) - " (8.)
- A.P. 1614663 (1924) - Dow, Barstow. (9.)
- U.S.P. 1885255 (1929) - Grebe, Boundy. (10.)
- U.S.P. 1891888 (1933) - " " (11.)
- U.S.P. 1917762 (1933) - " " (12.)
- U.S.P. 1944738 (1934) - " " (13.)
- U.S.P. 1921157 (1934) - Heath, Keller. (14.)
- U.S.P. 2108011 (1938) - Dressel, Short. (15.)
- U.S.P. 1844563 (1928) - Curtin. (16.)
- Fr.P. 811389 (1937) - Kaltenbach. (17.)
- Perry-- Chemical Engineer's Handbook. (18.)
- Badger, McCabe, Kutzner - Elemente der Chemie-Ingenieur-Technik. (19.)
- Ullmann - Enzyklopädie der Technischen Chemie. (20.)
- McBain - The Sorption of Gases and Vapours by Solids. (21.)
- Kubiersky - Die Deutsche Kali Industrie. (22.)
- Chemisch Jaarboekje. (23.)
-

