

Fabriekschema

A. Bastiaanse
Mathenesserdijk 106^e
Rotterdam

T. van Otterloo
Boddantstraat 52
Aken Hleg.

De Fabricage van Chloordioxyde

Toelichting op het fabriesschema door
A. Bastiaanse
en T. van Otterloo.

I Eigenschappen en Toepassingen van Chloordioxyde

Chloordioxyde (ClO_2) is door Davy in 1802 ontdekt door de inwerking van sterk zoutzuur en zwavelzuur op kalium chloraat. Het is een geel-oranje achtig gebleurd gas, en heeft ongeveer dezelfde gewicht als chloor. Het gas is giftig, en de inwerking op de ademingorganen is funest.

De meest opvallende eigenschap van chloordioxyde is zijn explosiviteit. Het gas explodeert bij verhoogde temperatuur, door de inwerking van zonlicht, en als het in contact wordt gebracht met organische stoffen. Zelfs het transporteren van de stof moet vermeden worden. De kracht van de explosie is ongeveer gelijk aan die van een koolgasmengsel. Vloeibaar chloordioxyde is nog in veel hoger mate explosief.

Wirdt het gas echter gemengd met een grote vermaat inert gas, dan is het zonder gevaar te hanteren. Alleen moeten dan nog wel hoge temperaturen vermeden worden.

Voor industriële doeleinden wordt het gas meestal gebruikt als een waterige oplossing, en deze oplossingen zijn volkomen ongevaarlijk.

Een belangrijke eigenschap van chloordioxyde is, dat het niet chemisch reageert met water.

Het is b.v. mogelijk chloordioxyde uit de oplossing te verwijderen door er lucht door te blazen.

De waterige oplossing van chloordioxyde is buitengewoon corrosief. De keuze van materialen is daardoor zeer beperkt. Voor praktisch gebruik lenen zich lood, korbate en saron.

explosieven

Het gebruik van rubber en kunststoffen met
reukmakers moet vermeden worden.

In geen geval mag het chlordionide in contact
komen met olie, vet, suavel of dergelijke stoffen.
De reactiviteit van chlordionide ten opzichte van
deze stoffen is zeer groot. Cellulose is echter veel
minder reactief.

De belangrijkste toepassing van chlordionide is
wel het bleken van papierpulp. Het heeft een
lagere oxydatie-potentiaal dan het gebruikelijke
hypochloriet, waardoor de cellulose vezel minder
beschadigd wordt. Tegelijkertijd is echter de helder-
heid van het met chlordionide gebleekte materiaal
hoger. Namelijk de relatief hoge kosten van chlo-
dionide ten opzichte van hypochloriet, wordt het
alleen in het laatste bleekstadium gebruikt.

Het bleken van sulfaatpulp geschiedt bij een tem-
peratuur van 50 à 60°C, en een pH van 5 à 6.

De opbrengst aan pulp is hoog, omdat ook de hemicel-
lulose intact blijft.

Van de overige toepassingen van het chlordionide
noemen wij het bleken van meel, en het desinfe-
teren van drinkwater. Bij dit laatste heeft chlo-
dionide een belangrijk onderdeel boven chloor; het
veroorzaakt n.l. een minder onaangename smaak.

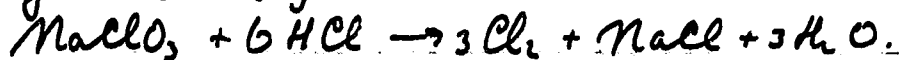
II Kort overzicht van verschillende processen ten bereiding van ClO_2 . Welk van de processen is in gebruik?

A. Het Kesting proces. (1, 2)

Dit proces beruht op de reductie van natriumchloraat
door zwavelzuur, volgens de reactie:



De ingevenste bij reactie:



wordt onderdrukt door de chloraat concentratie
hoog en de zwavelzuur concentratie laag te houden.

separaat?

niet volledig!

geen explosiegevaar
ende het
brandgevaar
wordt niet veroorzaakt
door NaClO_2 dechlorineering?

Rendement?

Het gevormde natriumchloride wordt continue meer electrolytisch gescheiden tot natriumchloraat.

Het chloor-chlondionide mengsel wordt in een absorptie toren met water gescheiden; chlondionide is n.l. veel beter oplosbaar dan chloor. Het vrijgekomen chloor wordt met de waterstof uit de electrolyse cel meer omgezet in zoutzuur.

Het Kesting proces is alleen daar rendabel, waar voldoende elektrische energie voorhanden is.

De in versteringskasten zijn hoog, en de apparatuur is niet eenvoudig te bedienen. Daarentegen is het verbruik aan grondstoffen zeer laag (alleen chloor!).

B. Het Persson proces (1)

In dit proces worden natriumchloraat en zwavel-dionide gebruikt. Het NaClO_3 wordt echter niet direct gereduceerd, maar het SO_2 reageert met chromazuur tot chromsulfaat, en dit reduceert het NaClO_3 tot ClO_2 . Deze methode voorkomt bijreacties, die ontstaan wanneer SO_2 wordt gebruikt om direct het NaClO_3 te reduceren. Daardoor ontstaat een hoog rendement aan chlondionide.

De kapitaals in vestering is vrij hoog, en de bediening van de apparatuur is vrij ingewikkeld. Een nadeel van dit proces is voorts nog de relatief hoge reactie temperatuur (ong 70°C), hetgeen het explosiegevaar groter maakt.

C. Het Gholst proces (2)

In dit proces wordt een natriumchloraat oplossing met zwavelzuur gemengd, en dan wordt een SO_2 -lucht mengsel doorgeleid totdat er geen ClO_2 meer ontstaat. Mede door de hoge concentratie van het NaClO_3 is de vorming van enig chloor onvermijdelijk. Het rendement is dus niet zeer hoog.

Voordelen van dit proces zijn de eenvoudige apparatuur en de dito bediening daarvan. Een nadeel

het is geen nevenreacties?

Rendement?

welke?

grondstoffen

ClO_2 overbodig?

hoe hoog?

is dat het proces discontinu is.

D. Het Solvay proces. (1)

De reductie van natrium chloraat geschiedt hier door middel van methanol. Deze reductie gaat echter veel langzamer dan met SO_2 , waardoor lange verblijftijden in de reactoren noodzakelijk zijn. Wesenlijke voordelen van dit proces boven andere processen zijn er niet, temeer daar methanol duurder is dan SO_2 . Bovendien is het explosiegevaar ook groter.

E. Het Mathieson proces. (1, 3, 4).

Het Mathieson proces berust, evenals het Solvay proces, op de reductie van NaClO_3 in zwavelzure oplossing met SO_2 . De chloraat concentratie wordt hier echter laag, en de H_2SO_4 concentratie hoog gehouden, waardoor ClO_2 ontstaat met een minimaal gehalte aan chloor, en waardoor tervens een continu proces mogelijk is.

Het Mathieson proces ~~en~~ heeft de volgende voordelen:

- betrekkelijk lage kapitaals-investering
- eenvoudige bediening van de apparatuur
- hoog rendement aan ClO_2
- geen explosie-gevaar door de lage reactietemperatuur ($\pm 31^\circ\text{C}$).
- de continuïteit van het proces.

Op grond hiervan hebben wij het Mathieson-proces gekozen als basis voor ons fabrieksschema.

III

Toelichting op de tekening van het fabrieksschema

De reactor is een met lood beklede, gesloten stalen tank. Hieraan is toegevoegd een warmtewisselaar, gemaakt van korbate, waardoor de reactor in hand continu wordt doorgepompt.

Hierdoor wordt ^{de} reactie ~~de~~ warmte continu afgeleverd, en de temperatuur op ong 32°C gehouden.

De NaClO_3 oplossing wordt betrokken uit een opslag-tank van ong 35 m³ inhoud. In deze tank wordt de oplossing door oplossen van vast NaClO_3 op de juiste concentratie gebracht (450 kg NaClO_3 op 1 m³ water) de tank in hand is voldoende voor ong. 9 dagen.

Tijdens het oplossen van het NaClO_3 kan de oplossing betrokken worden uit een buffervat. De toe te voeren hoeveelheid chlooraat oplossing wordt gecontroleerd met een rotameter.

Het 96% zwavelzuur beïndt zich in een stalen voorraad van ong 17 m³ inhoud, en wordt vandaan via een doseerpomp naar de reactor gevoerd.

Vloeibaar SO_2 wordt betrokken uit een stalen cylinder, en komt via een film verdampers in de reactor, gemengd met lucht. Dit mengsel door een geperforeerde ringleiding onder in de reactor geblazen. De hoeveelheid vloeibare SO_2 wordt voor de verdampers d.m.v. een rotameter gemeten, en de hoeveelheid lucht met een meetflens. De verhouding SO_2 -lucht moet ong 1:30 zijn.

De chlooraat oplossing en het zwavelzuur worden door een centrifugaal pomp in de reactor gepompt via de harbati warmte wisselaar. Deze centrifugaal pomp (eveneens van harbati) dient tevens voor het rondpompen van de reactorinhoud.

Het gevormde chloordioxyde-lucht mengsel ontwijkt boven uit de reactor, en wordt gevoerd in een met Raschig ringen gevulde absorptietoren, alwaar het ClO_2 wordt opgelost in water.

Een overloop aan de reactor vernijdt continu de reactor in hand. Resten ClO_2 daarin nog opgelost ronden in een strippen met lucht vernijdt.

De overlopende vloeistof, die van ClO_2 nu bereij is, wordt in een neutralisatie vat met soda geneutraliseerd, omdat het bezwaren oplevert de sterke oplossing af te voeren.

hoe groot is de?

metrisch?

zonder toewijzing?

hoe lang duurt dat dan?

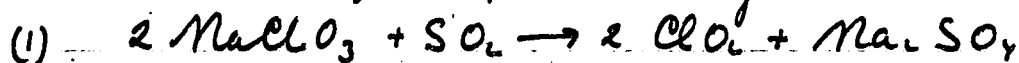
wat voor steel?

in het schema is dit mengsel en hoeveel?

beachery

IV Berekening van de hoeveelheden der benodigde grondstoffen

Bij de berekening hebben wij ons voorgesteld een fabriek die ongeveer een ton per dag ClO_2 aflevert. De reacties, die optreden zijn:



Indien wij in de reactor een oplossing hebben van 0.2 mol NaClO_3 per liter 8N H_2SO_4 is het overal rendement 90%. (Zie Paper Trade J. Aug 21, 1953 blz 26 e.v.). Uitgaande van 1600 kg/dag NaClO_3 ontstaat dus $\frac{1600}{M_{\text{NaClO}_3}} \times M_{\text{ClO}_2} \times 90\% = 912 \text{ kg ClO}_2$

Verens ontstaat er ong. 20 kg Cl_2 (n.l. 2% van het ClO_2). Dit is volgens (2) ontstaan uit 60 kg NaClO_3 .

Van de 1600 kg NaClO_3 wordt dus 1440 kg (90%) omgezet in ClO_2 , 60 kg in Cl_2 ; 100 kg/dag verlaat dus ongezuurd de reactor. De reactie vloeistof bevat 0.2 mol d.i. 21.3 g/l NaClO_3 ; de overloop is dus $\frac{100}{21.3} \times 1000 = 4700 \text{ l/dag}$.

Aan Na_2SO_4 ontstaat: $\frac{1}{2} \times \frac{(1440 + 60)}{M_{\text{NaClO}_3}} \times M_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 1000 \text{ kg}$.

Volgens (2) ontstaat nog wat H_2SO_4 n.l. $2 \times \frac{60}{M_{\text{NaClO}_3}} \times M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 110 \text{ kg}$.

De hoeveelheid H_2SO_4 die de reactor verlaat is $\frac{4700 \times \frac{8}{2} \times M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{1000} = 1845 \text{ kg/dag}$ (de oplossing is 8N).

Er moet dus ingevoerd worden: $1845 - 110 = 1735 \text{ kg H}_2\text{SO}_4$, dit is 1800 kg 96% H_2SO_4 /dag.

Het eventuele gewicht van de reactie vloeistof, die water, H_2SO_4 , Na_2SO_4 en NaClO_3 bevat, is door ons experimenteel bepaald op 1.37.

De overloop, welke 4700 l/dag was is dus $4700 \times 1.37 = 6450 \text{ kg}$. Het gewicht van de in het water opgeloste stoffen is: $1845(\text{H}_2\text{SO}_4) + 100(\text{NaClO}_3) + 1000(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2945 \text{ kg}$.

De rest is water, dus $6450 - 2945 = 3505$ kg water.

Volgens (2) wordt nog wat water verbruikt, n.l.

$$2 \times \frac{60}{M_{NaClO_3}} \times M_{H_2O} = 20 \text{ kg.}$$

Er moet dus ingevoerd worden $3505 + 20 = 3525$ kg water.

Reactie (1) verbruikt $\frac{1}{2} \times \frac{1440}{M_{NaClO_3}} \times M_{SO_2} = 433$ kg SO_2 ?

Reactie (2) verbruikt $\frac{5}{2} \times \frac{60}{M_{NaClO_3}} \times M_{SO_2} = 90$ kg.

Totaal dus $433 + 90 = 523$ kg SO_2 .

Resumé Materiaal balans:

stof	In de reactor kg/dag	gewonnen kg/dag	verbruikt kg/dag	Mit de reactor kg/dag
$NaClO_3$	1600	—	1500	100
SO_2	523	—	523	—
H_2O	3525	—	20	3505
H_2SO_4	1735	110	—	1845
Na_2SO_4	—	1000	—	1000
ClO_2	—	912	—	912
Cl_2	—	20	—	20
	7383	2042	2043	7382

De ClO_2 -oplossing, die de absorptietoren verlaat moet ong. 8 g ClO_2 per l bevatten (Bij deze concentratie n.l. kan de oplossing veilig opgeslagen worden, en naar de blekerij verpompt worden). Hier is dus $\frac{912}{8} \times 1000 =$

$= 114.000$ kg water van nodig.

Waar
steet
het
fabriek?

IV Literatuur over de bereiding van chloor di oxyde.

1. W. Howard Rapson:
T.A.P.P.I 37 (April 1954), 129
A Comparison of Processes for the Generation of
Chlorine Dioxide in Pulp Mills.
2. E. Kesting:
Das Papier 6 (1952) 155
Eigenschaften und Herstellung von Chlordi oxyd.
3. V. Wordside & H. S. McLeod:
Paper Trade J. August 21, 1953 p. 26
Chlorine Dioxide for Pulp Bleaching.
4. H. B. Gleitman:
T.A.P.P.I 36 (1953) No 9, 419
Chlorine Dioxide Generation by Reduction of
Sodium Chlorate with Sulphur Dioxide.

naarom mit 2 kolies gebruikt, een voor circulatiedruk
en een voor zwavelzuur. ClO_2 oplossing uit reactor
wordt nu in de menger verwarmd door het zwavelzuur en
kan gas afgeven.

Berekening van de karbate warmtemisselaar

T. van Otterloo.

De warmte, die afgevoerd moet worden is:

- 1) De mengwarmte van het zwavelzuur met de reactievloeistof.
- 2) De reactiewarmte door de reductie van het natriumchloraat.

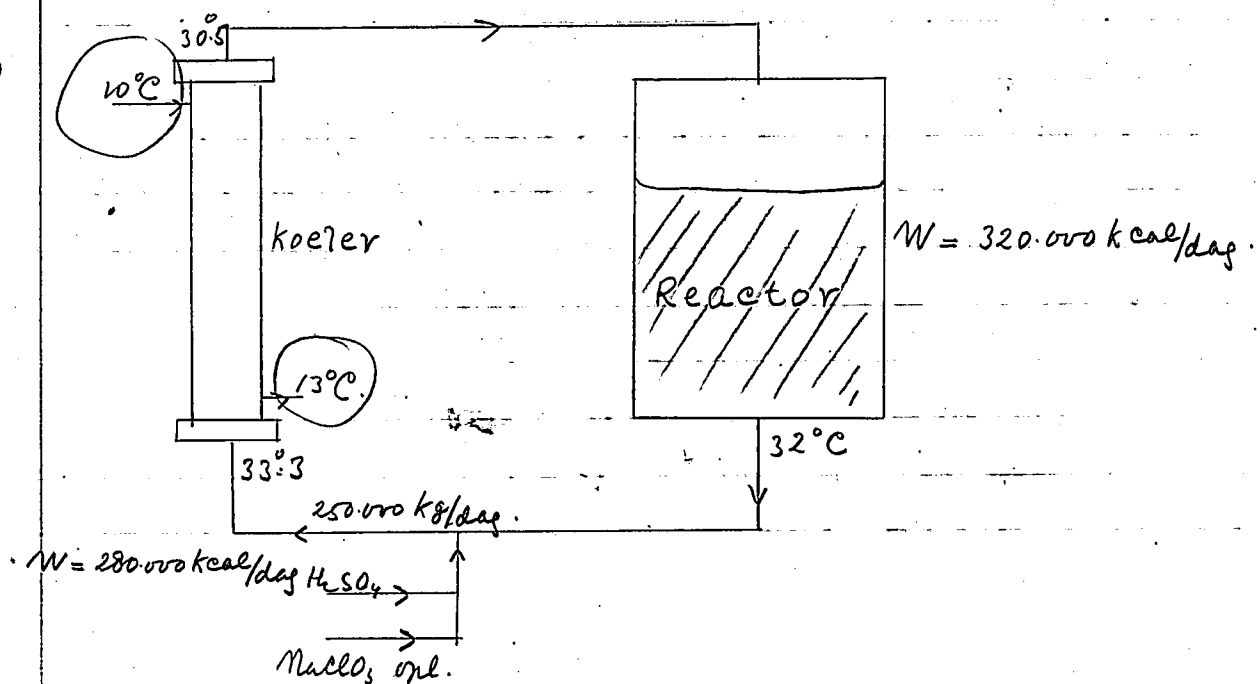
ad 1) Er wordt ingevoerd 3525 kg/dag water, d.i. 196 kmol., en 1735 kg H_2SO_4 , d.i. 17.7 kmol.
De molverhouding H_2O/H_2SO_4 is dus $196/17.7 = 11.1$
Bij deze verhouding is de mengwarmte $16.3 \text{ kcal/mol } H_2SO_4$

dus totaal $17.7 \times 16.3 \times 1000 = 280.000 \text{ kcal/dag}$.
De invloed van de in het water opgeloste stoffen is buiten beschouwing gelaten.

ad 2) De reactiewarmte is ongeveer 640 B.t.u./lb ClO_2 ,
(zie T.A.P.P.I. Sept 1951 p. 421).
dus in ons geval $\frac{9.12}{0.454} \times 640 = 1290.000 \text{ B.t.u.}$
 $= 320.000 \text{ kcal/dag}$.

De totaal af te voeren warmte is dus $280.000 + 320.000 = 600.000 \text{ kcal/dag}$.

Wij zullen nu nu het volgende beeld van de hoelen opstellen:



De in- en uitlaat temperatuur van het hoelwater hebben wij aangenomen resp. 10° en 13°C te zijn.
De circulatie snelheid van de af te koelen vloeistof hebben wij op 250.000 kg/dag gesteld.

De temperatuursverhoging na het toevoegen van H_2SO_4 is nu dus:

$$\frac{280.000 \text{ (kcal/dag)}}{250.000 \text{ (kg/dag)}} \times \frac{1}{0.85 \text{ (kcal/kg}^{\circ}\text{C)}} = 1.3^{\circ}\text{C}$$

(de spec. warmte van de reactie vloeistof is 0.85)

Als de vloeistof de reactor verlaat met een temperatuur van 32°C (dit is het ongunstigste geval van de koeling, want de reactie temperatuur mag variëren van 32° - 40°), is de temperatuur van de koeler dus $32^{\circ} + 1.3 = 33.3$.

Berekening houdende met de ontwikkelde warmte in de reactor, moet de vloeistof de koeler verlaten met een temperatuur van

$$32^{\circ} - \frac{320.000}{250.000} \times \frac{1}{0.85} = 30.5$$

Het logaritmisch temperatuurgemiddelde van de koeler is nu $\frac{(30.5 - 10.0) - (33.3 - 13.0)}{\ln \frac{30.5 - 10.0}{33.3 - 13.0}} = 20.4$

De overalcoëfficiënt U ($\text{g/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{sec}$) kan variëren van 200 - 1000 van dit geval. Van een globale berekening zullen wij U eerst op 500 stellen.

Het benodigde koelingsoppervlak $A(\text{m}^2)$ is nu te berekenen uit: $\Phi_w = U \times A \times \Delta T$

$U = 500 \text{ g/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{sec}$
 $\Phi_w = 600.000 \text{ kcal/dag}$
 $= 29000 \text{ g/sec}$
 $\Delta T = 20.4$

Dit geeft: $A = 2.84 \text{ m}^2$.

Wij stellen ons nu voor karbide pijpen te nemen van de volgende afmetingen: diam. $\frac{7}{8}$ " - $1\frac{1}{4}$ "
lengte 9 ft.

of: inwendige diam.: 0.0222 m
 uitwendige diam.: 0.0318 m
 gemiddelde diam.: 0.0270 m
 lengte: 2.754 m

Het gemiddelde uitwendige oppervlak van een pijp

overloop
van
reactor
naar koeler

waarde?

is $\pi \times 0.0270 \times 2.754 = 0.234 \text{ m}^2$

Het aantal benodigde rijpen is dus $\frac{2.84}{0.234} = 12$.

De lineaire snelheid v in de rijpen kunnen wij nu a.n. berekenen:

$$\Phi_m = 250.000 \text{ kg/dag} \rightarrow \Phi_v = 250.000/1370 = 182 \text{ m}^3/\text{dag} = 2.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$$

Het totale inwendige dwars oppervlak der rijpen is:

$$12 \times \pi/4 \times (0.0222)^2 = 4.65 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Dus } v = \frac{2.11 \times 10^{-3}}{4.65 \times 10^{-3}} = 0.454 \text{ m/sec}$$

$$Re_v = \frac{v D_i}{\nu}$$

$$v = 0.454 \text{ m/sec}$$

$$D_i = 0.0222 \text{ m}$$

$$\nu = 2.234 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$$

(Bereald door Mr. J. Cornelisse).

$$\rightarrow \boxed{Re_v = 4500}$$

De hoeveelheid benodigd heetwater is $\frac{600.000 (\text{kcal/dag})}{(13-10)^\circ\text{C} \times 1 (\text{kcal/kg}^\circ\text{C})}$
 $= 200.000 \text{ kg/dag}$, d.i. $2.32 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$.

De onderlinge afstand van de rijpen zullen wij op $3/8"$, d.i. 0.0095 m stellen. Maar het aantal rijpen 12 bedraagt, kan de uitwendige diameter van de hoelen $7 1/2"$ zijn, d.i. 0.190 m .

Het oppervlak van de doorstroomde dwarsdoorsnede wordt nu:

$$\pi/4 \times 0.190^2 - 12 \times \pi \times 0.0318^2 = 0.0188 \text{ m}^2$$

De lineaire snelheid v van het heetwater is

$$\frac{2.32 \times 10^{-3}}{0.0188} = 0.123 \text{ m/sec}$$

De vereischte trek van de dwarsdoorsnede is

$$\pi \times 0.190 + 12 \times \pi \times 0.0318 = 0.718 \text{ m}$$

De hydraulische diam. De wordt dus $\frac{4 \times 0.0188}{0.718} = 0.105 \text{ m}$

$$Re_w = \frac{\rho v D_e}{\eta}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 0.123 \text{ m/sec}$$

$$D_e = 0.105 \text{ m}$$

$$\eta = 1.2 \times 10^{-3} \text{ Nsec/m}^2$$

$$\rightarrow \boxed{Re_w = 10700}$$

Thans zullen wij de overal-coëfficiënt U berekenen, gebruik makende van de correlatie $Nu = 0.027 Re^{0.8} Pr^{1/3}$.
 Voor de vloeistof is $Pr_v = \frac{\eta C_p}{\lambda} = \frac{(2.234 \times 10^{-6} \times 1370)}{0.52} = 5.8$

$$= 21, \text{ dus } Nu_v = 0.027 \times 4500^{0.8} \times 21^{1/3} = 62.4$$

$$\text{dus } \alpha_v = 62.4 \times \frac{\lambda}{D_c} = \frac{62.4 \times 0.52}{0.0222} = 1460 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C sec}$$

$$\text{Voor het heetwater is } Pr_w = \frac{\eta C_p}{\lambda} = \frac{(1.2 \times 10^{-3}) \times 4190}{0.59} = 8.5$$

$$\text{dus } Nu_w = 0.027 \times 10700^{0.8} \times 8.5^{1/3} = 92.2$$

$$\text{dus } \alpha_w = 92.2 \times \frac{\lambda}{D_e} = \frac{92.2 \times 0.59}{0.105} = 520 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C sec}$$

Het warmtegeleidingsvermogen van karbide is 65 B.t.u./hr (sq. ft.) ($^{\circ}\text{F}/\text{ft}$) = $112 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C sec}$. De dikte van de buis is $3/8" = 0.0095 \text{ m}$

De warmte weerstand van het karbide is dus $\frac{0.0095}{112}$

(Dit is te verwaarlozen t.o.v. de andere weerstanden)

U is nu te berekenen uit $\frac{1}{U} = \frac{1}{1460} + \frac{1}{520}$

Hieruit volgt $U = 382$.

De U , die wij aangenomen hadden (n.l. 500) was dus niet juist.

Indien wij nu i.p.v. 12 buizen er 14 nemen, wordt $Re_v = 12/14 \times 4500 = 3860$. (dus nog wel turbulente stroming).
 Daarmede wordt $Nu_v = 0.027 \times 3860^{0.8} \times 21^{1/3} = 55.1$
 en $\alpha_v = 1290$

Wat betreft het heetwater, wordt het oppervlak van de doorstroomde dwars doorsnede: $\pi/4 \times 0.190^2 - 14 \times \pi/4 \times 0.0318^2 = 0.0172 \text{ m}^2$ (de diam. van de buiten draantel kan gelijk blijven), en de snelheid van het heetwater $\frac{2.32 \times 10^{-3}}{0.0172} =$

$$= 0.135 \text{ m/sec.}$$

De hydraulische diam wordt $\frac{4 \times 0.0172}{\pi \times 0.190 + 14 \times \pi \times 0.0318} = 0.0934 \text{ m}$

$$\text{en } Re_w = \frac{1000 \times 0.135 \times 0.0934}{1.2 \times 10^{-3}} = 10500$$

$$\text{Daarmede wordt } Nu_w = 0.027 \times 10500^{0.8} \times 8.5^{1/3} = 91.0$$

$$\text{dus } \alpha_w = \frac{91.0 \times 0.59}{0.0934} = \underline{575}$$

De overall coëfficiënt wordt nu dus:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{1290} + \frac{1}{575} \rightarrow K = 398.$$

Het warmte uitwisselende oppervlak met 14 i.p.v. 12 pijpen is $14 \times \pi \times 0.0270 \times 2.754 = 0.327 \text{ m}^2$

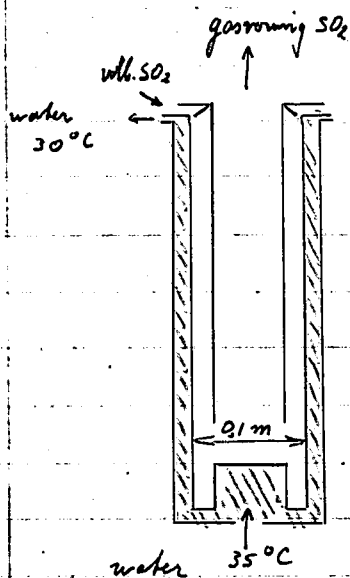
De warmte, die nu afgevoerd wordt is:

$$\begin{aligned} \Phi_w &= K \times A \times \Delta T \\ &= 398 \times 0.327 \times 20.4 \\ &= 26500 \text{ W/sec.} \end{aligned}$$

De warmte, die afgevoerd moest worden was 29000 W/sec. Als gevolg hiervan zal de temperatuur in de reactor ongeveer 33.5 i.p.v. 32°C worden.

Dit is geen bezwaar, daar de reactie temperatuur mag variëren van $32-40^\circ\text{C}$.

Resumerende kunnen wij dus volstaan met een karbate warmte wisselaar (one pass) met 14 pijpen ($7/8"-1\frac{1}{4}"$) van 9 ft lengte.

Berekening filmverdamper.

Om zijn eenvoudige constructie en door de geringe grootte van het apparaat werd een filmverdamper gekozen.

Bij de berekening wordt aangenomen dat al het ingewide SO_2 langs de buitenwand vloeit en dat het als een samen gestoten film

De berekening bestaat hieruit dat de lengte van het apparaat bepaald zal worden. De diameter van de binnenvaart zal aangenomen worden. Hier 0,1 m. De dikte van deze binnenvaart zal op 3 mm gesteld worden, het constructie materiaal van deze wand wordt verondersteld roestvrij staal te zijn. De ruimte tussen binnenvaart van de buitenmantel en de buitenkant van de binnenvaart wordt op 0,01 m gesteld.

Verder wordt aangenomen dat de temp van het binnenvaart vlb. SO_2 20°C zal zijn (3,36 atm.)

De druk valt tijdens het binnenvaart tot 2 atm. (hierbij komende kook temp $5,6^\circ\text{C}$). Door deze druk vermindering zal de vloeistof afkoelen en wel tot $5,6^\circ\text{C}$ en zal er natuurlijk ook een gedeelte verdampen; dit gedeelte wordt als volgt berekend.

Enthalpie vlb SO_2 (3,36 atm, 20°) = enthalpie vlb SO_2 ($5,6^\circ\text{C}$ en 2 atm) + enthalpie gasvormig SO_2 ($5,6^\circ\text{C}$ 2 atm.)

Stel er verdampt een fractie x , dan is er dus $1-x$ nog als vloeistof aanwezig

$$1 \times 19,9 = x \times 10,3 + (1-x) \times 14,9$$

$$19,9 = 10,3x + 14,9 - 14,9x$$

$$x = \frac{5,0}{9,9} = 0,057$$

Dus 5,7% verdampt.

Per dag moet er 523 kg SO_2 verdampt worden, hiervan verdampt $5,7 \times 5,23$ kg spontaan.

Het S.g van vloeibaar SO_2 bij $5,6^\circ\text{C}$ is 1420 kg/m^3

Er stroomt dus per seconde $\frac{523 - 5,7 \times 5,23}{1420 \cdot 0,06400} = 4,02 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{se}$ naar beneden.

Omtrek van de film.

$$\pi D = 3,14 \times 0,1 = 0,314 \text{ m.}$$

de film dikte boven aan wordt nu.

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3 \nu F_m}{\rho g}}$$

F_m = vloeistof stroom in kg/sec

ν = kinematische viscositeit van de vloeistof

ρ = S.G van de vloeistof.

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3 \times 34 \cdot 10^{-6} \times 120 \times 10^{-5}}{1420}} = \sqrt[3]{9,2 \times 10^{-13}}$$

$$\delta = 0,97 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Bemden aan de verdampers is $\delta \approx 0$.

Als gemiddelde filmdikte wordt nu $\frac{1}{2} \delta$ aangenomen

$$\bar{\delta} = \frac{1}{2} \delta = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

verder geldt:

$$\bar{L} = \frac{\lambda_v}{\bar{\delta}}$$

$\bar{L}$ is de gemiddelde warmte overdrachts coëff van de film

λ_v is het warmte geleidings vermogen van vlb. SO_2 bij $5,6^\circ\text{C}$.

$$\lambda_v = 0,16 \text{ kcal/m hr } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{L} = \frac{0,16}{0,48 \times 10^{-4}} = 3300 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C} = \underline{3040} \text{ J/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C sec.}$$

Warmte geleidings vermogen van roestvrij staal: $100 \text{ J/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C sec}$
wanddikte $3 \times 10^{-3} \text{ m.}$

$$L_{\text{wand}} = \frac{100}{3 \times 10^{-3}} = \underline{34000} \text{ J/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C sec.}$$

Voor de waterkant geldt de volgende formule:

$$Nu = 1,06 \left[Re \times Pr \right]^{1/3} \times \left(\frac{\eta}{\eta_w} \right)^{0,14} \times \left[\frac{D_i}{L} \right]^{1/3}$$

$$\frac{L D}{\lambda} = 1,06 \left(\frac{\rho \nu D}{\eta} \right)^{1/3} \times \left(\frac{c_p \eta}{\lambda} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\eta}{\eta_w} \right)^{0,14} \times \left(\frac{D_i}{L} \right)^{1/3}$$

aangezien hier met zeer kleine temperatuur verschillen gewerkt wordt zal de factor $\left(\frac{\eta}{\eta_w} \right)^{0,14}$ verwaarloosd worden.

Verdampingswarmte SO_2 (bij $5,6^\circ\text{C}$) = 00 kcal/kg
verdampt moet worden:

$$(523 - 20) = 495 \text{ kg/dag.}$$

nodig dus

$$495 \times 00 = 43500 \text{ kcal/dag}$$

Het water heeft 5°C af dus nodig:

$$\frac{43500}{5} = 8700 \text{ kg water/dag}$$

$$\frac{0,7}{0,6400} = 1,005 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Doorstroomd doors opp:

$$\pi(R_2^2 - R_1^2) = \frac{1}{4} \pi(D_2^2 - D_1^2) = 0,705(0,126^2 - 0,106^2) = 1,65 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Inthuid van het water

$$v = \frac{1,005 \times 10^{-4}}{0,165 \times 10^{-2}} = 6,1 \times 10^{-2} \text{ m/sec.}$$

De hydraulische diameter is;

$$D = 4 \text{ m} = 4 \cdot \frac{\text{doorstroomde doorsdoormide}}{\text{bevochtigde omtrek}}$$

$$D = 4 \text{ m} = 4 \cdot \frac{\frac{1}{4} \pi(D_2^2 - D_1^2)}{\pi(D_2 + D_1)} = \frac{\pi(D_2 - D_1)(D_2 + D_1)}{\pi(D_2 + D_1)} = D_2 - D_1$$

$$D = 4 \text{ m} = D_2 - D_1 = 0,126 - 0,106 = 0,02 \text{ m.}$$

$$Re = \frac{1000 \times 6,1 \times 10^{-2} \times 0,02}{0,0004} = 1525$$

$\rightarrow$ is η water.

$$\lambda_{\text{water}} = 0,61 \text{ J/m}^{\circ}\text{C sec.}$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} = \frac{4200 \times 0,0004}{0,61} = 5,5$$

$$\frac{d \times 0,02}{0,61} = 1,06 \times 1525^{\frac{1}{3}} \times 5,5^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{D}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$L_w = \frac{1,06 \times 0,61}{0,02} \times 11,5 \times 1,77 \times \left(\frac{D}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$L_w = 1140 \left(\frac{D}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

We nemen nu een bepaalde lengte aan en vergelijken die achteraf met de berekende. Door enkele malen proberen vindt men dat L is $0,0 \text{ m}$ is.

$$\frac{D}{L} = \frac{0,02}{0,0} \left(\frac{D}{L}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,292$$

$$L_{\text{water}} = 1140 \times 0,292 = \underline{\underline{332}} \text{ J/m}^{\circ}\text{C sec.}$$

We hebben nu de volgende warmte weerstanden

$$\frac{1}{3040} + \frac{1}{34000} + \frac{1}{332} = \frac{1}{L_{\text{totaal}}}$$

$$u_{\text{total}} = \underline{\underline{302 \text{ J/m}^2\text{ }^\circ\text{C sec.}}}$$

$$Q_w = u \times A \times \Delta T$$

$$\Delta T = 26^\circ\text{C}$$

$$A = 3,14 \times 0,1 \times L = 0,314 L$$

$$Q_w = 42500 \text{ Kcal/dag} = 2110 \text{ J/sec}$$

$$2110 = 302 \times 0,314 L \times 26$$

$$L = \frac{2110}{302 \times 0,314 \times 26} = 0,05 \text{ m.}$$

De lengte van de verdampers wordt dus 0,05 m.