



Bereiding van isopropylbenzeen.

Isopropylbenzeen (cumeen) is een product, dat in de tweede wereldoorlog belangrijk is geworden als "blending agent" van vliegtuigbenzines. Toevoegen van cumeen aan een benzine verhoogt nl. de prestaties van een motor sterk bij gebruik van rijk mengsel, wat speciaal in oorlogstijd van belang is bij gevechtshandelingen van vliegtuigen.

In 1942 kwam de eerste cumeenfabriek in werking. Aanvankelijk maakte men een mengsel van isopropylbenzeen en di-isopropylbenzeen, maar later werden de eisen hoger gesteld en werden deze twee nog gescheiden.

Bereidingsmethoden.

Alkyleren van benzeen onder invloed van een katalysator is het principe van vrijwel alle bereidingsmethoden.

We kunnen de volgende indeling maken:

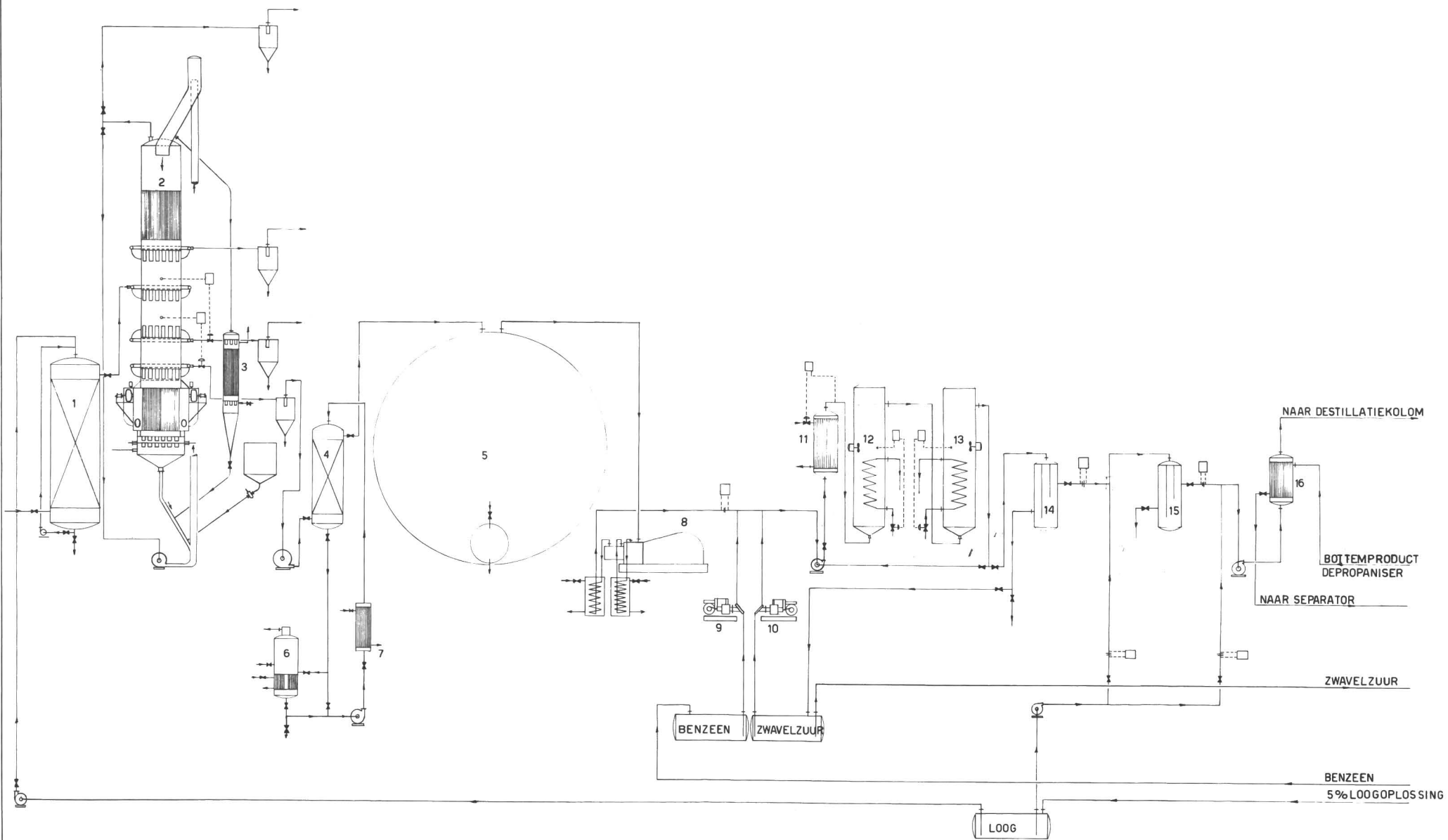
- 1) benzeen alkyleren met propeen en als katalysator bijv. H_2SO_4 , $H_3PO_4 + H_2SO_4$, H_3PO_4 , $AlCl_3$, BF_3 , HF , $BF_3 + HF$, $AlCl_3 + ZnCl_2$, $FeCl_3$. Men werkt zowel in damp- als in vloeistof-fase.
- 2) benzeen alkyleren met isopropylchloride en $AlCl_3$ als kat.
- 3) alkyleren van benzeen met isopropylalcohol en $FeCl_3$ of $AlCl_3$ als kat.
- 4) methoden, die gebruik maken van benzeen en aethers, esters of Grignard reacties.

De eerste methode heeft als voordeel boven de andere, dat de grondstof propeen goedkoop te krijgen is uit kraakgassen, terwijl isopropylalcohol, isopropylchloride, enz. hieruit gemaakt worden. Gebruikt men de laatste stoffen, dan maakt men dus eigenlijk ^{via} een omweg de isopropylbenzeen.

Wat de katalysatoren betreft, heeft het zwavelzuur zekere voordelen, maar ook nadelen.

Voordelen van H_2SO_4 zijn:

- 1) goedkoop
- 2) geeft een volledige reactie, in tegenstelling met $AlCl_3$ enz.
- 3) geeft een zuiver product (geen polymerisatie)
- 4) weinig zwavelgevoelig.



BEREIDING ISOPROPYLBENZEEN
 H.v. VEEN 16_2_49

Nadelen van H_2SO_4 zijn:

- 1) meer verlies aan katalysator.
- 2) het reactie product moet geneutraliseerd worden met loog wat extra kosten meebrengt.

De voordelen wegen echter wel tegen de nadelen op.

Op grond van het bovenstaande hebben we besloten tot het alkyleringsproces van benzeen met propeen en zwavelzuur als kat.

Als grondstof nemen we kraakgassen, die we gaan scheiden in verschillende fracties, nl. in ^{een} H_2 , CH_4 , C_2 en $C_3 + C_4$ fractie. De $C_3 + C_4$ fractie bevat dan propeen, propaan, buteen en butaan. Hiervan zullen bij het alkyleren alleen de propeen en buteen reageren. We kunnen deze fractie wel verder scheiden tot bijv. propeen + propaan en buteen + butaan, maar dit vraagt extra apparatuur, terwijl de buteen gemakkelijk isobutylbenzeen vormt, dat in de motor ongeveer dezelfde eigenschappen vertoont als cumeen en dus een waardevol product is. Door destillatie zijn isopropyl- en isobutyl-benzeen gemakkelijk te scheiden.

Voor ^{een} goed verlopen van de reactie is nodig:

- 1) overmaat benzeen, want anders vormen zich veel poly-alkyl-verbindingen.
- 2) veel zwavelzuur, want dit vormt met de alkenen sulfaten, die tijdens de reactie ^{weer} ~~wel~~ ^{ontleden} ontleden. 88% Zuur geeft max. rendement, nl. 99% van het propeen omgezet. 96% H_2SO_4 geeft teveel sulfonering.
- 3) betrekkelijk lage temp. 35-40°C. Bij deze temperatuur ontstaan weinig poly-alkylverbindingen. Hogere temp. geeft ook sterk toenemende sulfonering.

Kort overzicht van het bedrijf.

- a) Uitwassen van H_2S uit de kraakgassen.
- b) Het ^{af} scheiden van een $C_3 + C_4$ fractie uit de kraakgassen d.m.v. adsorptie en desorptie aan kool.
- c) Het drogen van deze kraakgasfractie met een $CaCl_2$ opl. en het brengen in de gashouder.
- d) Het comprimeren van deze fractie tot 170 lbs./sq.in.
- e) Het mengen er van met benzeen en zwavelzuur.

*H₂SO₄ wordt
beschouwd als Kat.*

- f) Verblijf van het mengsel in de zg. time-tanks ($\frac{1}{2}$ uur in elk).
- g) Het scheiden van zwavelzuur en reactieproduct in een separator.
- h) Het neutraliseren van het reactieproduct met loog, en het scheiden er van in een separator.
- i) Het toevoegen van loog en het afdestilleren van de propaan en butaan onder 200 lbs./sq.in. druk.
- j) Het afscheiden van de loog uit het "bottomproduct" van de dest.kolom. Deze loog wordt weer voor trap a, i, ~~h~~ en o gebruikt.
- k) Het afdestilleren van de overmaat benzeen, die daarna gedroogd wordt en weer teruggevoerd wordt naar trap e en naar trap n gaat. Destillatie onder een druk van 25 lbs./sq.in.
- l) Het afdestilleren van de isopropylbenzeen uit het bottomproduct van k bij gewone druk.
- m) Het afdestilleren van isobutylbenzeen uit het bottomproduct van l.
- n) Het toevoegen van zwavelzuur en benzeen aan het bottomproduct van m om de poly-alkylbenzenen, die er in zitten, om te zetten in mono-alkylverbindingen. in de "reformer".
- o) Het afscheiden van zwavelzuur uit het mengsel van trap n en daarna het neutraliseren van het reactieproduct met loog, en het scheiden ervan in een separator. Vervolgens gaat het reactieproduct naar trap i.

Het proces tot en met h wordt hieronder aan de hand van de tekening uitvoeriger besproken.

We hebben een kraakgas genomen van de volgende samenstelling:

66,5 % H_2 , CH_4 , C_2H_6 en C_2H_4 .

10,0 % C_3H_6 .

20,0 % C_3H_8 .

1,0 % C_4H_8 .

2,0 % C_4H_{10} .

0,5 % H_2S .

De fabriek verwerkt per uur 8500 kg. kraakgas ($4250 m^3$).

Dit bevat dus: 5653 kg. H_2 , CH_4 , C_2H_4 en C_2H_6 .

850 kg. C_3H_6 .

1700 kg. C_3H_8 .

85 kg. C_4H_8 .

170 kg. C_4H_{10} .

42 kg. H_2S .

De H_2S moet eerst uit het gas verwijderd worden, want:

1) het wordt geadsorbeerd door de actieve kool en maakt deze minder werkzaam.

2) het vermindert de activiteit van de katalysator iets.

De verwijdering kan verschillend geschieden.

De belangrijkste methoden zijn:

1) met behulp van ijzeraarde (luxmassa).

2) met behulp van alkalische vloeistoffen.

De laatste methode heeft het voordeel, dat door de gebruikte waterige oplossing ook meteen de aminen uitgewassen worden.

Men neemt er wel Na_2CO_3 , NH_4OH , of $NaOH$ -opl. voor. We hebben de laatste genomen, aangezien in het bedrijf al veel verdunde loog gebruikt wordt.

Het kraakgas leiden we dus eerst door een scrubber (1), waar het van beneden naar boven doorstroomt, terwijl van boven naar beneden een 5 % $NaOH$ opl. over vulmateriaal vloeit. Deze loog kan "gerecycled" worden en geheel of gedeeltelijk afgetapt worden, nadat het door de water gevloeid is.

In de scrubber wordt dus 42 kg. H_2S (+ aminen) weggenomen, maar het gas komt er verzadigd met waterdamp weer uit. Bij $20^\circ C$ kan het 20 g. H_2O per m^3 bevatten, dus 10 g. per kg. 8500 kg. kraakgas bevat dan dus 85 kg. waterdamp. Naar de adsorptiekolom (2) gaat dus 8585 kg. gas.

Het scheiden van de kraakgassen kan verschillend gebeuren:

1) door samenpersen en koelen en daarna fractionneren.

2) kraakgassen leiden door een middelolie. H_2 gaat er onveranderd door en de rest wordt geabsorbeerd. Door gefr. destillatie worden de ^{gas}koolwaterstoffen uit de olie verwijderd.

3) door adsorptie aan actieve kool en er op volgende ^{selectieve} desorptie.

met vul.

*alle kool wordt
al het koolen los
wordt weggevoerd*

*hoe verzadigd?
t.o.v. $NaOH$*

kanat iets loog

De laatste methode heeft de volgende voordelen:

- 1) het gas behoeft ~~niet~~ gecomp^{re}meerd en gekoeld te worden.

Dit punt is in ons geval geen erg groot voordeel, aangezien het gas toch nog samengeperst moet worden tijdens ~~het proces~~.
de verdere gang door de fabriek.

- 2) een laag stoomverbruik (10-15 kg. per ton kool, die circuleert)
- 3) weinig koolverliezen. (0,0005%)
- 4) zeer geschikt voor het afscheiden van kleine hoeveelheden propeen enz., die op de andere manieren niet economisch gewonnen kunnen worden.

Op grond van deze voordelen hebben we besloten de ~~kolom~~ adsorptie-kolom (2), gevuld met actieve kool, voor de kraakgasscheiding te gebruiken. (Litt. no. 7)

De kool beweegt ^{langzaam} van boven naar beneden door een grote kolom (12 m. hoog). ~~langzaam~~. Boven wordt de kool gekoeld en onder met stoom gestripped. Deze kolom is dus te vergelijken met een destillatie-colonne. Men noemt hem wel "hypersorber".

In het midden komen de kraakgassen in en worden daar verspreid door een verdeelplaat met pijpjes. De lichtste componenten, CH_4 en H_2 worden vlak onder de koeler verwijderd, terwijl een deel van de H_2 door de koeler gaat en hier de kool koelt.

Tussen de voedingplaat en deze koeler worden de zwaardere gassen geadsorbeerd (adsorptie-sectie) en deze gaan met de kool naar beneden en komen in de zg. rectificeer-sectie, waar de kool in contact komt met een reflux van zware gassen. De C_2 fractie verlaat hier de kolom.

Onderin de kolom wordt stoom geblazen, waardoor vanaf de rectificeer-sectie naar beneden de temp. toeneemt. Juist boven de stripperbuizen gaat de $\text{C}_3 + \text{C}_4$ fractie uit de kolom.

De kool, die onder uit de kolom komt, ^{bevat} ~~is~~ vrijwel geen koolwaterstoffen meer.

Met behulp van een speciale schuif onder in de hypersorber wordt de snelheid van de kool geregeld. Een blower zuigt gas boven uit de kolom aan en hiermee wordt de kool door een speciale leiding

naar de bunker boven op de kolom geblazen.

Een klein deel van de kool laat men door een kolommetje (3) vallen, waar deze met oververhitte stoom geactiveerd wordt.

Uit een bunker beneden naast de kolom kan kool gesupleerd worden. Aangezien de adsorptie van kraakgassen op actieve kool exotherm verloopt, en de adsorptie afhankelijk is van de temp., moet deze in de kolom gecontrôleerd worden. Er zijn daarom automatisch temp. regulateurs aangebracht, die de stand van de kranen in de afvoerleidingen van de C_2 -en $C_3 + C_4$ -fractie regelen en daarmee dus de temp. in de kolom.

Alle gassen, die uit de hypersorber komen, worden door een cycloon geleid om ze te bevrijden van eventueel meegenomen fijne kooldeeltjes.

Met de hypersorber krijgt men de $C_3 + C_4$ fractie er voor 99-100 % uit en met een zuiverheid van 99-100 %.

We mogen dus aannemen, dat er 2800 kg. $C_3 + C_4$ fractie uitkomt. Deze zal echter wel waterdamp bevatten. Stel dat dit zoveel is, dat het gas bij $25^\circ C$ juist verzadigd is met waterdamp, dan gaat er 32 kg. mee. Totaal weegt dus de $C_3 + C_4$ fractie 2832 kg.

Dit gas gaan we in de scrubber (4) drogen met een 40 Bé $CaCl_2$ opl., die meteen het gas ook nog koelt. Dit wordt door een blower van beneden naar boven door de gevulde kolom geblazen, waarin de calciumchloride opl. naar beneden stroomt. Na het verlaten van de scrubber gaat deze opl. gedeeltelijk naar de verdamper (6) en hieruit met het andere deel via de koeler (7) weer boven in de scrubber. I.p.v. door de verdamper, zoals deze getekend is, leidt men de $CaCl_2$ opl. ook wel over horizontale, met stoom verhitte buizen.

Het gas komt uit de scrubber in de gashouder (5). Hiervoor hebben we een sigaarvormige tank gedacht met een inhoud van $3000 m^3$. Er is een stoomspiraal in aangebracht om te voorkomen, dat bij koud weer de inhoud gedeeltelijk vloeibaar wordt. In de gashouder komt per uur 2800 kg. gas ($1400 m^3$).

Vervolgens wordt het gas in 2 trappen door de compressor (8) samengeperst tot 170 lbs./sq.in. en na elke trap gekoeld, zodat alles dan vloeibaar is.

Deze vloeistof stroomt naar de reactor (12). In de leiding is een snelheidsmeter aangebracht en hierachter wordt met behulp van ruwe doseerpompen (9 en 10) benzeen en zwavelzuur toegevoegd. Het mengsel wordt door een mengpomp via een koeler(11) in de reactor(12) gepompt.

Bij de 2800 kg. $C_3 + C_4$ fractie wordt per uur 5500 kg. thiopheen-vrije benzeen en 16500 kg. 88 % zwavelzuur ^{gevoegd} In de "time-tank"(12) komt ^{dus} 24800 kg. vers mengsel en 6200 kg. recycle, ~~dat~~ er $\frac{1}{2}$ uur in verblijft en dan naar "timetank 13" gaat, waar het mengsel ook een half uur in blijft.

In de reactoren wordt geroerd om te voorkomen, dat de emulsie uitzakt en verder is nog een koelspiraal aangebracht om de temp. op 35-40 °C te kunnen houden. Een autom. temp. regelaar zorgt, dat er de juiste hoeveelheid koelwater doorvloeit.

Inplaats van 2 tanks zouden we ook 1 grotere tank hebben kunnen nemen. 2 Bieden echter het voordeel, dat als een deeltje vlug door de eerste tank schiet, het al heel toevallig is, als het ook vlug door de tweede gaat. Men is op deze manier dus zekerder van een goede verblijftijd. Bovendien wordt nog een deel van het mengsel, dat uit tank 13 komt weer gerecycled naar tank 12.

Het ander deel gaat naar de separator 14, waar het zwavelzuur van de koolwaterstoffen wordt gescheiden. De apparatuur 10 t.m. 14 moet, evenals de leidingen er tussen, ^{moeten} van zuurbesendigt materiaal zijn gemaakt, of er mee zijn bekleed.

Als separator hebben we een tank getekend, waarbij de vloeistof in het midden boven binnenkomt tussen 2 schotten van verschillende lengte. De H_2SO_4 zakt vlug naar beneden, gaat onder de langste wand door en wordt links afgevoerd. De koolwaterstoffen gaan onder de korte wand door naar rechts. De grenslaag tussen de beide lagen moet zich midden tussen de onderkanten van beide tussenschotten bevinden. De stand van deze grenslaag is met behulp van de kranen in de afvoerleidingen te regelen.

Ook is goed als separator een grote platte doos, ^{de gebruiken} waarbij het mengsel aan de ene kant in het midden wordt aangevoerd en aan de tegenovergestelde kant beneden het H_2SO_4 en boven het reactieproduct afgevoerd wordt. Het koolwaterstofmengsel zal ongeveer 8300 kg. wegen. Hierbij wordt een 5% loogopl. gevoegd om het nog aanwezige vrije zuur te neutraliseren, en daarna worden de koolwaterstoffen en de loog in ^{de}separator (15) gescheiden. De hieruit verkregen afvalloog wordt niet weer in het bedrijf gebruikt.

Bij het koolwaterstofmengsel wordt nog eens ^{een} 5% loogopl. gevoegd en het verkregen mengsel gaat via de warmteuitwisselaar (16) naar de "depropaniser". Doordat in de leidingen, waardoor de koolwaterstoffen stromen, en in de loogleidingen snelheidsmeters aangebracht zijn, is met behulp van kranen in de loogleidingen de snelheid van de loog gemakkelijk op de juiste waarde in te stellen.

Doordat in de "depropaniser" het mengsel op $170^\circ C$ verhit wordt, ontleden hier alle gevormde esters tot alkeen en Na_2SO_4 . Het bottomproduct van deze kolom gaat via de warmteuitwisselaar (16) naar een separator, waar de loog wordt afgescheiden. Deze loog gaat terug in het bedrijf en wordt tezamen met suppletie gebruikt voor de neutralisatie van het koolwaterstofmengsel voor de separator 15, voor het wassen van de kraakgassen in scrubber 1, voor het ontleden van de esters en voor het neutraliseren van het mengsel, dat uit de "reformer" komt.

In de "depropaniser" wordt 1885 kg. propaan, butaan en iets propeen en buteen afgevoerd.

In de volgende destillatiekolom wordt na drogen 3975 kg. droge benzeen verwijderd, die gedeeltelijk naar de "reformer" en naar de doseerpomp 9 gaat.

Vervolgens wordt 2370 kg. cumeen afgedestilleerd, en daarna 197 kg. isobutylbenzeen. Het bottomproduct van de laatste kolom (54 kg.) wordt gemengd met 150 kg. benzeen en 400 kg. H_2SO_4 en in de "reformer" gebracht. Na de "reformer" wordt hier ^{uit} de H_2SO_4 afgescheiden, volgt een loogbehandeling en wordt een deel van het mengsel afgevoerd (23 kg.). De rest gaat weer naar de "depropaniser".

Berekening van de grootte van de koeler voor de CaCl_2 opl.

Dit is apparaat no.7 in de tekening.

We hebben aangenomen, dat uit het synthesegas per uur 32kg. water verwijderd moet worden met behulp van een CaCl_2 opl. Men laat deze opl. gewoonlijk zoveel water opnemen, dat de sterkte afneemt van 40°Bé . tot 37°Bé .

Deze opl. hebben resp. het soortelijk gewicht 1,381 en $1,343 \text{ g/cm}^3$ en bevatten bij 25°C resp. 39,0 en 35,5 % CaCl_2 .

Stel, dat er per uur X kg. calciumchloride opl. nodig is voor het drogen van het gas, dan is:

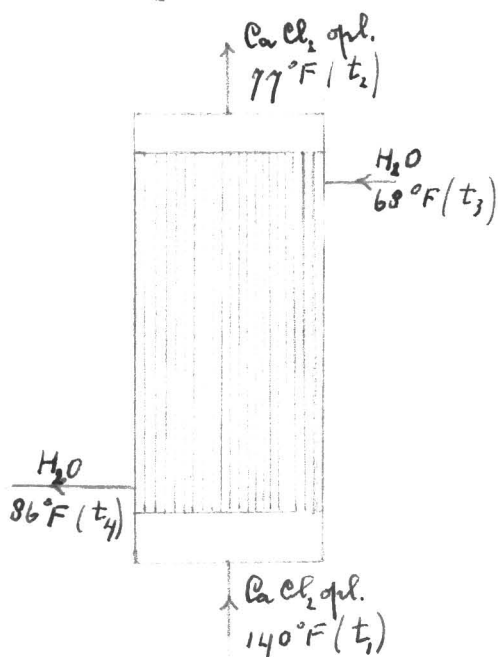
$$X \times 39,0 = (X + 32) \times 35,5$$

$$X = 325 \text{ kg. of } 805 \text{ lbs.}$$

Er is dus per uur 325 kg. CaCl_2 opl. nodig.

Voor de berekening van de koeler nemen we aan, dat per uur 350 kg. opl. er door gepompt wordt.

Na het verlaten van de scrubber gaat een deel van de opl. via een verdamper en een deel rechtstreeks naar de koeler. We nemen aan, dat de gemiddelde temp. bij het binnentreden in de koeler 140°F is en dat de uittreetemp. 77°F is. Deze temp. zijn bij het koelwater, dat in tegenstroom met de CaCl_2 opl. vloeit, resp. 68 en 86°F .



De hoeveelheid warmte, die per uur van de CaCl_2 opl. afgevoerd moet worden, wordt weergegeven door de volgende vergelijking:

$$q = w_1 \times c \times (t_1 - t_2)$$

$$w_1 = 350 \times 2,2 \text{ lbs.}$$

$$c = 0,625 \text{ B.t.u./lb.}^\circ\text{F. (nie grafiek)}$$

$$t_1 = 140^\circ\text{F.}$$

$$t_2 = 77^\circ\text{F.}$$

$$q = 350 \times 2,2 \times 0,625 \times 63$$

$$q = \underline{30319} \text{ B.t.u./hr.}$$

Deze worden opgenomen door het koelwater, waarvoor dezelfde vergelijking geldt: $q = w_2 \times c \times (t_4 - t_3)$

$$t_4 - t_3 = 18^\circ \text{F.}$$

$$c = 1,0 \text{ B.t.u./lb.}^\circ \text{F.}$$

$$30319 = w_2 \times 2,2 \times 1,0 \times 18$$

$$w_2 = \frac{766 \text{ kg. (1685 lbs.)}}{2,2}$$

$$1685 \text{ lbs.} (= 766 \text{ kg.})$$

Er is dus per uur 766 kg. koelwater nodig.

Om een eerste indruk van de grootte van de koeler te krijgen stellen we de overall-coëff. $U = 200 \text{ B.t.u./hr. sq.ft.}^\circ \text{F.}$ voor het hele apparaat.

$$q = U \times A \times \Delta t_m$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_A - \Delta t_B}{\ln \frac{\Delta t_A}{\Delta t_B}} = \frac{54 - 9}{2,3 \log \frac{54}{9}} = 25^\circ \text{F.}$$

$$30319 = 200 \times A \times 25$$

$$A = 6,06 \text{ sq.ft.}$$

Het koelend oppervlak moet dus 6,06 sq.ft. zijn.

Stel, dat we een 1" stalen buis nemen. Deze heeft per ft. een opp. van 0,344 sq.ft. Nemen we de buizen 5 ft. lang, dan moeten we $\frac{6,06}{5 \times 0,344} = 4$ buizen gebruiken. Volgens Downington heeft een koeler met 4 buizen van 1" met 4 "tube-passes" een mantel met een diameter van 5".

We moeten nu eerst nagaan of de vloeistoffen in deze koeler ~~werkelijk~~ turbulent stromen. Daarvoor moet het Reynoldsgetal,

$$Re = \frac{D_{inw} v}{\mu}, \text{ groter dan } 3200 \text{ zijn. } D_{inw} = 0,873 \text{ ft. en } A = 0,0060 \text{ sq.ft.}$$

$$v_{\text{CaCl}_2} = \frac{350 \times 2,2}{1,38 \times 62,43 \times 0,0060} = 1572 \text{ ft./hr. (nl. } v = \frac{w}{s \times A} \text{)}$$

$$s = 1,38 \times 62,43 = 86,1 \text{ lb./cu.ft.}$$

$$\mu = 0,012 \text{ poise} = 0,012 \times 242 = 2,904 \text{ lb./ft.hr.}$$

$$Re = \frac{0,873 \times 1572 \times 86,1}{2,904} = 4070.$$

Nu de stroom om de pijpen.

$$\text{Manteldiam. inw.} = 0,421 \text{ ft.}$$

$$\text{Inw. opp. van de doorsnede} = 0,1390 \text{ sq.ft.}$$

$$\text{Uitw. opp. van de 4 1" buizen} = 4 \times \frac{\pi}{4} \left(\frac{1,315}{12} \right)^2 = 0,0375 \text{ sq.ft.}$$

$$\text{Verschil} = 0,1390 - 0,0375 = 0,1015 \text{ sq.ft.}$$

$$\text{De binnenomtrek van de 5" buis} = \pi \times 0,421 = 1,320 \text{ ft.}$$

$$\text{De } \textit{buiten} \text{ binnenomtrek van 4 1" buizen} = 4\pi \times 0,1095 = 1,38 \text{ ft.}$$

$$\text{Totale omtrek} = 2,70 \text{ ft.}$$

Stel dat we een 1" stalen buis nemen. Deze heeft per ft. een opp. van 0,344 sq.ft. Nemen we de buizen 5 ft. lang, dan moeten we 4 buizen gebruiken. Volgens Downington heeft een koeler met 4 buizen van 1" met 4 "tube-passes" een mantel met een diameter van 5".

alles d om te doen is

$$r_H = \frac{0,1015}{2,70} = 0,037 \text{ ft.}$$

$$v = \frac{766 \times 2,2}{1,0 \times 62,43 \times 0,1015} = 2,663 \text{ ft/hr.}$$

$$\mu = 0,009 \times 242 = 2,178 \text{ lb./ft.hr.}$$

$$s = 62,43 \text{ ~~lb./cu.ft.~~ lb./cu.ft.}$$

$$Re = \frac{4 \times 0,037 \times 26,63 \times 62,43}{2,178} = 1100.$$

De vloeistof stroomt dus wel turbulent door de pijpen, maar het water er laminair om.

We kunnen echter nauwere pijpen nemen, bijv. $\frac{1}{2}$ " buis.

Deze heeft een uitw. opp. 0,220 sq.ft./ft.

Nemen we de buizen 4 ft. lang, dan moet de koeler 7 pijpen bevatten met 7 "tube-passes". Deze 7 buizen zijn in een cirkel te leggen met één in het middelpunt. Er om kan een mantel van $3\frac{1}{2}$ ", indien de onderlinge afstand van de harten van de buizen $1\frac{1}{4}$ " is. In een 1" buis was $Re = 4000$. In een $\frac{1}{2}$ " buis dus $4000 \times \frac{1,049}{0,662} = 6350$.

De binnenomtrek van een $3\frac{1}{2}$ " buis is $\pi \times 0,296 = 0,960$ ft.

De buitenomtrek van 7 $\frac{1}{2}$ " buizen is $7 \times \pi \times 0,070 = 1,540$ ft.

$$Re = \frac{\frac{4 \times A}{2,500} \times \frac{766 \times 2,2}{62,43 \times A} \times 62,43}{2,178} \left\{ \begin{array}{l} \text{Totaal } 2,500 \text{ ft.} \\ = 1280. \end{array} \right.$$

Dus ook hier geen turbulente stroom om de buizen.

Aangezien deze bouw met 7 buizen en 7 passes wel de meest compacte is, zullen we een ander model koeler moeten gebruiken, bijv. een regenkoeler of een koeler bestaande uit 2 concentrische buizen, waarbij door de binnenste de CaCl_2 opl. stroomt en tussen deze en de buitenste buis het koelwater in tegenstroom.

We nemen deze laatste soort koeler.

Is de binnenbuis een 1" pijp van 5 ft. lengte, dan moeten we

nemen $\frac{6,06}{5 \times 0,344} = 4$ buizen.

Stel de diam. van de koelmantel X ". De omtrek is dan $\frac{\pi X}{12}$ ft.

De omtrek van de 1" buis is $\frac{\pi \times 1,315}{12} = 0,344$ ft.

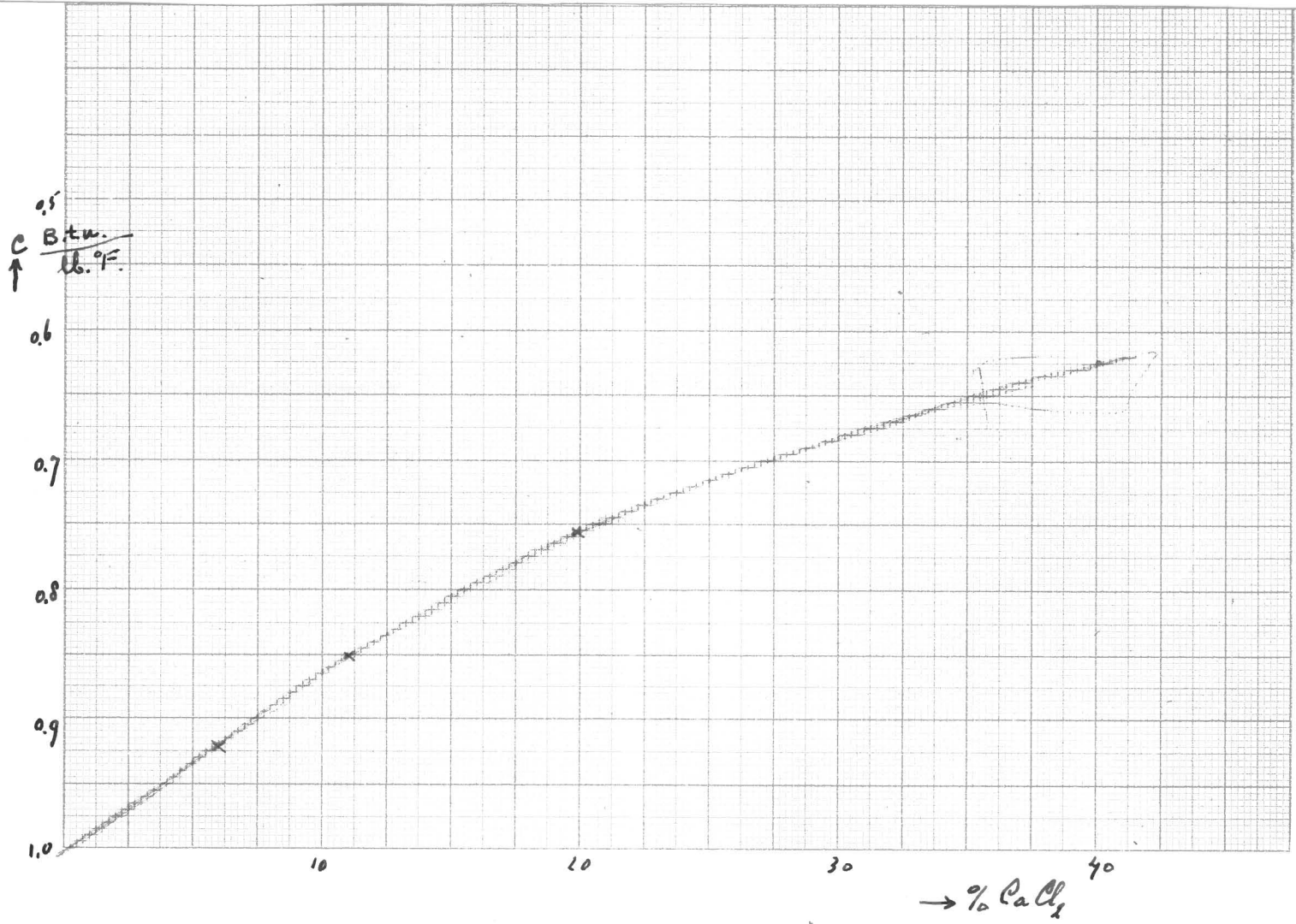
Het opp. tussen de buizen = $\frac{\pi (X^2 - 1,315^2)}{12^2} \times 4 = 0,14 \times X^2$ sq.ft.

stellen we A .sq.ft. en $Re = 3500$

$$Re = \frac{4 \times A \times 12}{\pi X + 0,344} \times \frac{766 \times 2,2}{A \times 62,43} \times 62,43 = 3500$$

$$X = 0,18 \text{ ft.} = 2,14".$$

Er kan dus een 2" buis om de 1" buis aangebracht worden om een turbulente waterstroom te krijgen.



We gaan nu de overall-coëfficiënt van deze koeler berekenen, waarbij we aanemen:

- 1) U is in het gehele apparaat dezelfde.
- 2) de soortelijke warmten variëren niet veel in de koeler.

We mogen dan de volgende vergelijking gebruiken:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{D_1 L}{D_1 k} + \frac{D_1}{D_2 h_2}}$$

Met behulp van de vergelijking volgens Dittus en Boelter bepalen we h :

$$h_1 = 0,0225 \frac{k}{D} \left(\frac{D v_s}{\mu} \right)^{0,8} \left(\frac{c \mu}{k} \right)^{0,3}$$

$$h_2 = 0,0225 \frac{k}{D} \left(\frac{D v_s}{\mu} \right)^{0,8} \left(\frac{c \mu}{k} \right)^{0,4}$$

De calciumchlorideoplossing in de 1" buis.

$$D = 0,0874 \text{ ft.}$$

$$Re = 4070 \text{ (zie voren)}$$

$$c = 0,625 \text{ B.t.u./}^\circ\text{F.lb.}$$

$$k = 0,32 \text{ B.t.u. ft./hr. sq.ft.}^\circ\text{F}$$

$$\mu = 2,904 \text{ lb./ft. hr.}$$

$$Pr. = \frac{c \mu}{k} = \frac{0,625 \times 2,904}{0,32} = 5,672.$$

$$h_1 = \frac{0,0225 \times 0,32 \times 4070^{0,8} \times 5,672^{0,3}}{0,0874} = \underline{107,05} \text{ B.t.u./hr.sq.ft.}^\circ\text{F}$$

Het water tussen beide buizen.

$$D = 4 r_H = \frac{\pi(2,067^2 - 1,315^2)}{12 \times \pi(2,067 + 1,315)} = 0,063 \text{ ft.}$$

$$Re = \frac{0,063 \times 766 \times 2,2 \times 62,43}{62,43 \times 0,014 \times 2,178} = 3562$$

$$c = 1,0 \text{ B.t.u./ lb.}^\circ\text{F}$$

$$k = 0,330 \text{ B.t.u.}^\circ\text{F. hr. sq. ft.}$$

$$Pr. = \frac{1,0 \times 2,178}{0,330} = 6,60.$$

$$h_2 = 0,0225 \times \frac{0,330}{0,063} \times (3562)^{0,8} \times (6,60)^{0,4} = \underline{173,6} \text{ B.t.u./hr.sq.ft.}^\circ\text{F}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{D_1 L}{D_g k} + \frac{D_1}{D_2 h_2}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{107,05} + \frac{1,049 \times 0,067}{12 \times 26,2 \times 1,116} + \frac{1,049}{1,315 \times 173,6}}$$

$$= \frac{1}{0,009342 \quad 0,0002013 \quad 0,004584}$$

$$U = \underline{71} \text{ B.t.u./hr.sq.ft. } ^\circ\text{F}$$

De overall-coëfficiënt van de koeler is dus 71 B.t.u./hr.sq. (ft. °F)

$$q = U \times A \times \Delta t_m$$

$$30319 = 71 \times A \times 25$$

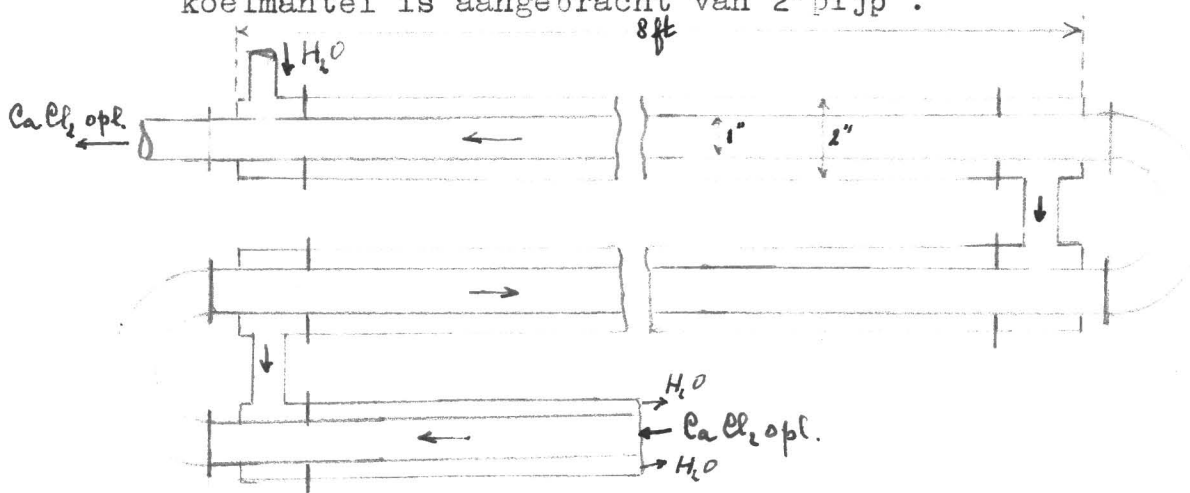
$$A = 17,1 \text{ sq.ft.}$$

Het binnenoppervlak van de 1" koelbuis moet dus 17,1 sq.ft. zijn. Per ft. is hiervan het oppervlak 0,275 sq.ft.

Nemen we de buis 8 ft. lang, dan moet de CaCl_2 opl. door

$$\frac{17,1}{8 \times 0,275} = \underline{8} \text{ buizen stromen.}$$

De koeler bestaat dus uit 8 1" buizen van 8 ft. lengte, waardoor de CaCl_2 opl. achtereenvolgens vloeit en waarom een koelmantel is aangebracht van 2" pijp.



Op te merken valt nog, dat we bij de berekening van de hydraulische straal steeds de hele bevochtigde omtrek hebben genomen en niet, zoals ook wel gebeurt, de bevochtigde omtrek, waarin de beschouwde warmteuitwisseling plaats heeft.

Verklaring van de gebruikte symbolen.

- w_1 = gewicht CaCl_2 opl., dat per uur door de koeler stroomt.
 w_2 = gewicht water, dat per uur door de koeler vloeit.
 c = soortelijke warmte.
 t = temperatuur.
 q = hoeveelheid warmte, die per uur overgedragen wordt.
 U = overall-coëfficiënt.
 A = oppervlak.
 Δt_m = Logarithmisch gemiddeld temperatuurverschil.
 Δt_A = temp.verschil tussen de CaCl_2 opl. en het koelwater bij de inlaat van de CaCl_2 opl.
 Δt_B = temp.verschil bij de uitlaat van de CaCl_2 opl.
 R_e = Reynoldsgetal.
 D = diameter van de buis of $4x r_H$.
 v = lineaire snelheid.
 s = soortelijk gewicht.
 μ = viscositeit.
 r_H = hydraulische straal = $\frac{\text{opp. doorsnede}}{\text{bevochtigde omtrek}}$.
 h_1 = filmcoëfficiënt van de CaCl_2 opl.
 h_2 = filmcoëff. van het water.
 D_1 = inwendige diameter van de koelbuis.
 D_2 = uitwendige diameter van de koelbuis.
 D_g = gemiddelde diameter van de koelbuis.
 $Pr.$ = Prandtlgetal.

Litteratuur.

1. U.S.Pat. 2437828 (1946)
2. Brit.Pat. 579781 (1946)
3. Brit.Pat. 563142 (1944)
4. U.S.Pat. 2405874 (1945)
5. P.H. Groggins, Unit Processes in organic Synthesis,
Blz. 497,527. New York 1938.
6. S.H.McAllister, J. Anderson, F.F. Bullard
Chem. Eng. Progress 43 (1947) 189
7. Anon. Petr. Processing 2 (1947) 300
8. Anon. Oil & Gas J. 38 (1939) 104
9. V.N. Ipatieff, B.B. Corson, H. Pines
J.A.C.S. 58 (1936) 919

43, 189 (1947)

1/2