

BIJDRAGE TOT DE KENNIS
VAN HET FILTREEREN

BIJDRAGE TOT DE KENNIS VAN HET FILTREEREN

Proefschrift ter verkrijging van den graad
van doctor in de technische wetenschap
aan de Technische Hoogeschool te Delft,
op Gezag van den Rector Magnificus,
Ir. N. C. Kist, Hoogleeraar in de Afdeeling
der Weg- en Waterbouwkunde, voor een
commissie uit den Senaat te verdedigen
op Vrijdag 2 December 1927,
des namiddags 3 uur,
door

JOHANNES PETRUS MARIA VAN GILSE

Scheikundig Ingenieur
geboren te Roosendaal.



J. C. BOK — DELFT

Wol 5312

Aan mijn Moeder en aan de
nagedachtenis van mijn Vader.

Het verheugt mij, U Hoogleeraren in de afdeeling der Scheikundige Technologie van de Technische Hoogeschool te Delft, diepgevoelden dank te kunnen betuigen voor Uw leiding bij mijn studie.

Steeds heb ik ondervonden, hoe Gij U geheel aan de vorming der studenten geeft en met voortdurende toewijding hunne ontwikkeling volgt.

In het bijzonder geldt mijn dank U, HoogGeleerde Waterman, Hooggeachte Promotor.

Door Uwe bijzondere welwillendheid werd ik in staat gesteld, mijn onderzoek buiten Delft te verrichten.

Uwe hooggeschatte leiding en Uwe werkelijke belangstelling zijn van grooten invloed geweest op dit proefschrift.

Gij, ZeerGeleerde van Ginneken, hebt mij niet alleen wetenschappelijke voorlichting, maar bovendien moreelen steun gegeven bij mijn promotiearbeid.

Wilt daarvoor mijn innigen dank aanvaarden.

HoogGeleerde Bremekamp, voor de hulp, die ook Gij mij verschafte, ben ik U zeer erkentelijk.

INLEIDING.

Het filtreren is een bewerking, die in bijna ieder chemisch bedrijf voorkomt. In de techniek bedient men zich van verschillende hulpmiddelen om deze bewerking tot stand te brengen.

Het filtreren is het afscheiden van een vaste stof uit een vloeistof of uit een gas, met drukverschil als drijvende kracht, door middel van een filtermedium, dat onwrikbaar ondersteund wordt door een filterbasis, welk filtermedium zulke openingen heeft, dat het den doorgang van de vaste stof belet, terwijl het de vloeistof of het gas vrij doorlaat. In het volgende zal echter alleen behandeld worden de scheiding van een vaste stof uit een vloeistof.

Onder filterbasis wordt verstaan de uit hard materiaal vervaardigde en van openingen voorziene ondersteuning van het filtermedium, welke ondersteuning aan den druk volledig weerstand biedt, zonder verandering van aard en van zulke openingen voorzien, dat de vloeistof er nagenoeg zonder weerstand door kan stroomen.

Door de groote vlucht, die de techniek genomen heeft en door het streven naar massa-productie, worden er zoowel quantitatief als kwalitatief steeds hoogere eischen aan de filters gesteld.

Nu eens is het de vaste stof, dan weer de vloeistof, dan weer zijn het beiden, die in zoo zuiver mogelijken toestand verlangd worden.

De techniek heeft zich aan deze eischen aangepast en het aantal goed functioneerende filters is dan ook zeer groot.

De ervaringen, bij vroegere constructievormen opgedaan, hebben er steeds toe bijgedragen, de apparaten voortdurend meer geperfectionneerd te doen worden. Met deze groote ontwikkeling

der techniek hield echter het wetenschappelijk inzicht in deze zoo belangrijke algemeene bewerking geen gelijken tred.

Men bekommerde zich zeer weinig over de physische en chemischen wetten, die de filtratie beheerschen: de kennis van het filtreeren was zuiver experimenteel.

De eerste wetenschappelijke publicatie over dit onderwerp dateert uit het jaar 1908, toen E. Hatschek ¹⁾ een inzicht gaf in den bouw en de structuur van de gevormde koeken. Deze beperkte zich echter alleen tot een mathematische beschouwing over de structuur der koeken.

Uit het groote aantal publicaties, die sindsdien over dit onderwerp zijn verschenen ²⁾, zijn echter nog zeer weinig gegevens te vinden, die voldoende de betrekking aangeven, die er bestaat tusschen de verschillende grootheden, die de filtratie beheerschen. Daarenboven zijn de meeningen over de filtratiewetten dikwijls onderling verschillend.

Aangezien het filtreeren een bewerking is, die zich niet beperkt tot een bepaalden bedrijfstak, doch in de geheele chemische technologie zulk een belangrijke rol speelt, leek het mij van voldoende belang een onderzoek in te stellen naar de betrekkin-

¹⁾ E. Hatschek. The mechanism of filtration, J. Soc. Chem. Ind. 27, 538, (1908).

²⁾ W. K. Lewis and C. Almy. Factors determining the capacity of the filter press. J. Ind. Eng. Chem. 4, 528, (1912).

J. W. Bain and A. E. Wigle. J. Ind. Eng. Chem. 6, 672, (1914).

J. J. Eastick. „Filters and filter presses“. Norman Rodger, pag. 104 (1914). ✓

D. R. Sperry. The principles of filtration. Chem. and metall. Eng. 15, 198, (1916), 17, 161, (1917).

E. A. Alliot. Filter presses. Their construction and use. J. Soc. Chem. Ind. 39, 261, T, (1920).

F. P. Baker. A study of the fundamental laws of filtration with plant scale equipment. J. Ind. Eng. Chem. 13, 610, 1163, (1921).

Munning. A study of the fundamental laws of filtration. Undergraduate thesis M.I.T. 1921.

Woodward and Edmunds. Quantitative study of factors affecting resistance of filter cake. Masters thesis M.I.T. 1922.

Tattersfield. A quantitative study of the filtration of a compressible sludge. Masters thesis M.I.T. 1922.

gen, die er bestaan tusschen de grootheden, die de filtratie beheerschen.

In direct verband hiermede zal getracht worden een formule op te stellen, die in zeer eenvoudige gevallen de capaciteit van een filterpers of van een lagedruk filter aangeeft, waardoor kan worden nagegaan welk tijdsverloop noodig is, om een bepaalde hoeveelheid vloeistof, waarvan de samenstelling bekend is, onder gegeven omstandigheden te filtreren.

Uit de proeven, die verricht zijn, zal tevens blijken, welke omstandigheden voor een bepaald filtratieproces het meest gunstig zijn.

De hieronder volgende beschouwingen zijn echter alleen uitgewerkt bij lage druk filters met maximaal 0,7 K.G./c.M². drukverschil en kunnen derhalve met zekerheid ook alléén tot dit drukverschil worden toegepast.

Omdat er nog zoo weinig omtrent de filtratiewetten definitief vaststaat, zijn alle proeven verricht bij constant drukverschil, aangezien variatie in de factoren, waarvan we den invloed willen bepalen, te veel complicaties zou geven.

Hierop wordt speciaal de aandacht gevestigd, omdat verschil-

Dreid. The theory of filtration. Masters thesis M.I.T. 1923.

M. B. Donald and R. D. Hunneman. Constant rate flow in filter presses. Trans Inst. Chem. Eng. 1923.

C. L. Bryden and G. D. Dickey. A textbook of filtration. Easton P. 1923.

W. H. Walker, W. K. Lewis and W. H. Mc. Adams. Principles of chemical engineering. Mc. Graw Hill Co. (1923).

H. I. Waterman and J. P. M. van Gilse. Determination of the filtration constant for carboraffine and norit. Rec. Trav. Chim. **43**, 757, (1924).

J. W. Hinchley, S. G. M. Ure and B. W. Clarke. Studies of filtration. J. of the Soc. of Chem. Ind. 1 T (1926).

H. I. Waterman and A. Dauvillier. The determination of the filtration constants of various charcoals. Rec. Trav. Chim. **45**, 628, (1926)

H. C. Weber and R. L. Hershey. J. Ind. Eng. Chem. **18**, 341, (1926).

D. R. Sperry. J. Ind. Eng. Chem. 276, (1926). A new method of conducting filtration tests.

E. E. Jewett and R. E. Montonna. Studies on mechanism of filtration. Chem. and Metall. Eng. **34**, 86, (1927).

lende Amerikaansche onderzoekers reeds metingen bij constante stroomsnelheid hebben verricht, voordat zij den invloed kenden van het drukverschil op den weerstand van het filter. Dit moest leiden tot foutieve conclusies. Zie Hoofdstuk IX.

HOOFDSTUK I.

Wij zullen terstond beginnen met de afleiding eener formule, welke, naar onze meening, de filtratie in eenvoudige gevallen beheerscht.

Deze formule is de volgende

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{\gamma (P_1 + P_2)}{r_1 + r_2}$$

De beteekenis der symbolen is aan het einde van dit hoofdstuk vermeld.

Filtreeren vereischt steeds een filterbasis met poreus filtermedium.

In het laboratorium bedient men zich hiertoe gewoonlijk van een glazen of porceleinen trechter met filtreerpapier — in de techniek gebruikt men de meest uiteenloopende soorten filterbases, bedekt met filterdoek of filtergaas.

Een enkelen keer komt het ook wel voor, zoowel in het laboratorium als in de techniek, dat filterbasis en filtermedium gecombineerd zijn, b.v. in de klaringskuipen der brouwerijen, zoodat de filterbasis dan tevens filtermedium is. Dit is echter een uitzonderingsgeval en om onze beschouwing zoo algemeen mogelijk te houden, zullen we dit uitzonderingsgeval verder niet behandelen, daar het op onze beschouwing van geen invloed is.

Een noodzakelijke voorwaarde voor filtratie is de aanwezigheid van een drukverschil tusschen de beide zijden van het filter.

Een speciale en veel toegepaste vorm van filtreeren vindt men

in de centrifuge, waar de centrifugale kracht de drijvende kracht van het filtreren is.

Het gebruik van centrifuges biedt in verschillende gevallen belangrijke voordeelen boven andere filtertypen. Bij het centrifugeeren van suiker, aardappelmeel, ammoniumsulfaat en dgl. geschiedt de verwijdering der moederloog uit de vaste stof, die men wenscht achter te houden, veel eenvoudiger en vollediger dan met andere filtertypen. Bij het centrifugeeren is voor de verwijdering van de moederloog geen verdringingsvloeïstof noodig en indien men wenscht uit te wasschen, is de hoeveelheid waschvloeïstof beperkt.

De centrifugale kracht kan echter ook weer tot een drukverschil herleid worden, zoodat er geen principieel verschil tusschen de centrifuges en de gewone filters bestaat.

Houdt het drukverschil op, dan eindigt ook bij de centrifuges de filtratie.

Het drukverschil, dat op het geheele filtreerende oppervlak werkt, is dus de drijvende kracht.

Behalve bij de reeds genoemde centrifuges wordt het drukverschil gewoonlijk teweeggebracht door den hydrostatischen druk van een vloeïstofkolom, of door een kunstmatigen over- of onderdruk door middel van pompen.

Als gevolg van het drukverschil ontstaat een vloeïstofstroom, die afhankelijk van de verschillende omstandigheden sterker of zwakker zal zijn.

Teneinde echter in onze verdere beschouwingen en ook in het experimenteel gedeelte van het onderzoek onafhankelijk te zijn van de grootte van het filtreerend oppervlak, zullen we in het vervolg steeds spreken over de stroomsnelheid of, wat hetzelfde is, over het gefiltreerde volume per eenheid van oppervlak en per eenheid van tijd, omdat deze grootte het criterium is voor het goed of slecht functioneeren van een filter. Deze grootte kan worden aangeduid door

$$\text{waarin} \quad \frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$$

0 = oppervlak in c.M².

V = gefiltreerd volume in c.M³.

Θ = tijd, noodig om vol. V te filtreren, uitgedrukt in min.¹⁾

Hoe deze grootheid $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta}$ afhangt van het drukverschil en van den aard van het filter, waar de vloeistof door moet stroomen, zullen we nader beschouwen.

Wanneer een lichaam beweegt onder invloed van een constante kracht in de richting van deze kracht, zal de snelheid steeds toenemen.

We zullen dit grafisch voorstellen en als abscis uitzetten de snelheid U , als ordinaat de kracht K . Zie fig. 1.

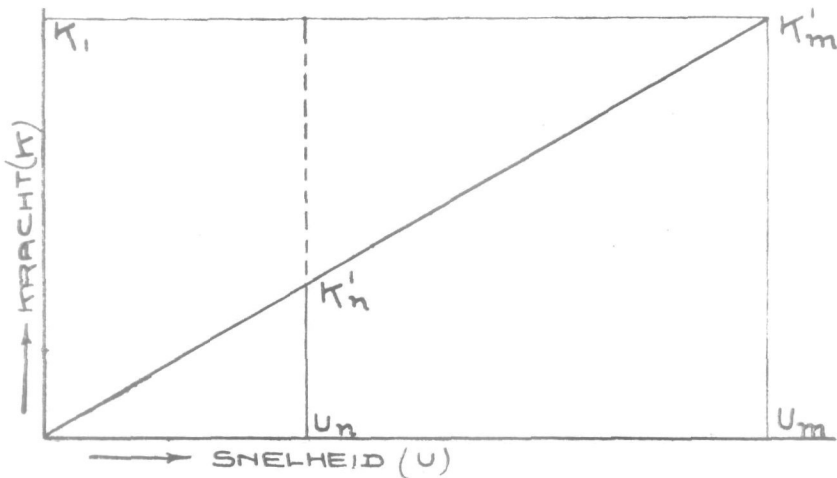


Fig. 1.

Stel de grootte van de constante kracht gelijk aan K_1 , en laten we deze kracht K_1 op een willekeurig lichaam werken, dan zal dit lichaam een versnelde beweging krijgen.

Bij het toenemen van de snelheid U ontwikkelt zich echter een tegenkracht, welke tegenkracht we met K^1 zullen aanduiden.

Wanneer het lichaam een snelheid U_n verkregen heeft, zal de

¹⁾ In het verdere gedeelte zullen we onder de waarnemingen, de waargenomen tijden steeds in sec. uitgedrukt zien. Dit is om redenen van practischen aard gebeurd. Bij de berekening der waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta}$ is hiermede echter steeds rekening gehouden.

tegenkracht b.v. K_n^{-1} zijn. Van de oorspronkelijk werkende kracht K_1 zal dan overblijven de kracht $K_1 - K_n^{-1}$, die nog steeds de snelheid, zij het ook langzamer, zal doen toenemen. De grootte van de overblijvende kracht $K_1 - K_n^{-1}$ is in fig. 1 voorgesteld door de stippellijn.

Nemen wij nu aan, dat de tegenkracht een functie is van de snelheid, dus $K^1 = f(U)$ en laten wij eens het eenvoudigste geval onderstellen, dat de tegenkracht recht evenredig is met de snelheid, dus $K^1 = RU$, dan zal er een oogenblik komen, dat bij een bepaalde snelheid U_m , de tegenkracht K_m^1 gelijk zal zijn aan de oorspronkelijke kracht K_1 .

De versnelling is dan 0 en de toestand is dan stationnair.

Op dat moment hebben we:

$$K_1 = K_m^1 \quad K_m^1 = RU_m \\ \text{dus } K_1 = RU_m$$

R stelt voor den evenredigheidsfactor, die toelaat de tegenkracht K^1 en bij stationnaire toestanden de constante kracht K_1 uit te drukken in U_m , de snelheid. Deze evenredigheidsfactor wordt bepaald door den tangens van ~~het~~ ^{de} hoek die de lijn $K^1 = f(U)$ met de abcis maakt.

De dimensie van R is dus $\frac{\text{kracht}}{\text{snelheid}} = \frac{MLT^{-2}}{LT^{-1}} = MT^{-1}$

Deze zelfde beschouwing kunnen we nu ook op het filtreeren toepassen.

Om den aard van de grootheid R nader te leeren kennen, beschouwen we eens de heele filtreerende laag en vatten in het oog het gedeelte tusschen twee oneindig dicht bij elkaar gelegen platte vlakken evenwijdig aan het filtermedium. Zie fig. 2.

Het drukverschil dP tusschen deze beide vlakken is evenredig met $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$. De evenredigheidsfactor hangt natuurlijk van den aard van de filtreerende laag af en kan ~~evenredig~~ ^{ongeveer} met dl (de dikte der laag) gesteld worden.

Schrijven we hiervoor ρdl dan krijgen we

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{dP}{\rho dl}$$

$$\rho dl = \frac{0 dP}{\frac{dV}{d\theta}}$$

Ook bij de filtratie is, wanneer we een stationnaire toestand gekregen hebben, de stroomsnelheid constant. Dat de stroom-

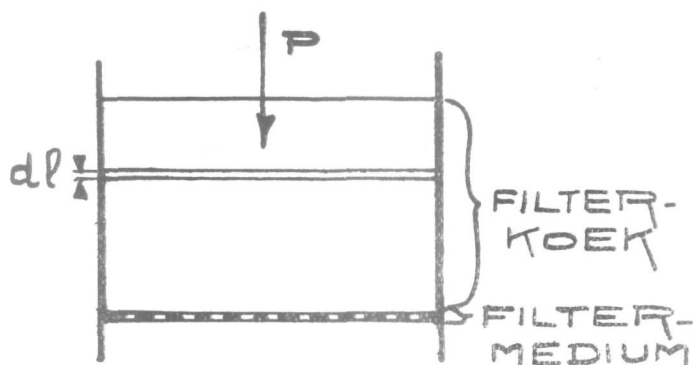


Fig. 2.

snelheid in alle lagen, zoowel van den koek als van het doek even groot is, volgt uit de onsamendrukbaarheid der vloeistof.

We kunnen nu tusschen twee willekeurige grenzen integreeren en vinden dan

$$\int_{l'}^{l''} \rho dl = \frac{0}{\frac{dV}{d\theta}} (P'' - P')$$

$P'' - P'$ stelt dan voor het drukverschil dat er bestaat tusschen de lagen l'' en l' .

De integraal in het linkerlid zullen we (naar analogie van het spraakgebruik bij electriche stroomen) den weerstand per eenheid van oppervlak noemen van het beschouwde gedeelte der filtreerende laag, n.l. tusschen l' en l'' .

Men kan deze beschouwing ook toepassen op het geheele filter. In dat geval zullen we de integraal in het linkerlid voorstellen

door r en hem den weerstand van het filter per eenheid van oppervlak noemen.

$$r = \frac{0}{\frac{dV}{d\theta}} P \text{ of}$$

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r}$$

Het begrip weerstand definiëren wij hier dus als de verhouding tusschen een kracht en een snelheid.

De grootte van het filtreerend oppervlak heeft geen invloed op de stroomsnelheid, die bij een gegeven drukverschil verkregen wordt.

Echter is het duidelijk dat, om over een grootter oppervlak een bepaald drukverschil teweeg te brengen, een grootere kracht noodig is. Om bij een oppervlak 0 de snelheid van het doorstroomen in verband te kunnen brengen met de laatst bedoelde kracht, zullen we een coëfficiënt invoeren $R = r0^1$). Deze R zullen we den weerstand van het geheele oppervlak noemen.

De grootheid $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$, d.i. de stroomsnelheid per eenheid van oppervlak, is van zeer groot belang voor de bestudeering van het filtratievraagstuk.

Is van een bepaald filter het oppervlak, en onder bepaalde omstandigheden $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ eveneens bekend, dan kent men de capaciteit van dat filter.

*Zie Techn. Eng. vellen. no. 1930 bl. 328
D.V.G. = 2.*

Daar deze grootheid $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ dus het criterium is, waarmee in de praktijk verschillende filters onderling vergeleken kunnen worden, zullen we in het vervolg steeds over deze grootheid spreken en er nadere betrekkingen voor afleiden, in verband

1) Hier houdt de analogie met den electrischen stroom in een geleidraad op.

met de verschillende factoren, die op den weerstand invloed hebben.

Gedurende een filtratie wordt aan den vloeistofstroom weerstand geboden:

- 1o. door het filtermedium, waarvan de openingen al dan niet zijn verkleind, doordat de deeltjes er meer of minder zijn binnengedrongen;
- 2o. door den koek, die gevormd wordt. Onder filterkoek wordt verstaan de meer of minder in elkaar geperste vaste stof, afkomstig uit de gefiltreerde vloeistof, **waaromheen en waartusschen** zich vloeistof bevindt, die de ledige ruimten opvult waartusschen bij strooming de vloeistof haar weg vindt;
- 3o. door het apparaat zelf.

Met dit laatste wordt speciaal bedoeld de weerstand in de filterbasis en in de toe- en afvoerleidingen. Teneinde deze weerstand zoo klein mogelijk te maken, moet de vloeistof overal gemakkelijk door kunnen stroomen, wanneer zij eenmaal het filtermedium verlaten heeft. Speciaal dient men er voor te zorgen, dat er geen capillaire weerstanden overwonnen moeten worden tusschen filtermedium en filterbasis. Teneinde deze te vermijden, heeft men in de praktijk de platen van een filterpers geribbeld en gegroefd en in de centrifuges het centrifugegaas van een grover achtergaas voorzien.

Is er echter voldoende op gelet, dat er geen weerstanden van capillaire aard aanwezig zijn, en zijn de toe- en afvoerleidingen van voldoende doorlaat, dan kan de weerstand van het apparaat verwaarloosd worden.

Het beschikbare drukverschil wordt, wanneer de uitstroomende vloeistof nagenoeg geen arbeidsvermogen van beweging meer heeft, geheel verbruikt door de tegenkracht die filtermedium en filterkoek te zamen aan de vloeistof bieden.

Hoe het totale beschikbare drukverschil zich over den koek en het medium verdeelt, zullen we hieronder zien.

Het filtermedium biedt aan de vaste deeltjes een oneindigen weerstand: immers, ze worden niet doorgelaten. Zoodra een vast deeltje, dat aanvankelijk in de vloeistof gesuspenseerd was

en zich vrij kon bewegen, het filtermedium of den reeds gevormden koek bereikt, wordt het hierop gedrukt met een druk, gelijk aan het totale drukverschil. Dit geschiedt zoo met alle vaste deeltjes in alle opeenvolgende lagen, gedurende den geheelen duur van de filtratie.

Op iedere laag werkt dus hetzelfde drukverschil (afgezien van de werking der zwaartekracht) en iedere laag zal derhalve evenveel samengedrukt worden. De graad van samendrukking is derhalve onafhankelijk van het aantal lagen of van de koekdikte.

Een dunne of een dikke koek zijn, onder dezelfde omstandigheden en onder denzelfden druk gevormd, evenveel gecompri-meerd.

Tusschen de vaste deeltjes van den koek onderling bestaat er dus geen drukverval.

Met de vloeistof die zich in den koek bevindt, is het echter anders gesteld.

Doordat iedere koeklaag evenveel samengeperst is, zullen de openingen tusschen de vaste deeltjes ook in alle lagen even groot zijn en zal de vloeistof in iedere koeklaag eenzelfde tegenkracht moeten overwinnen.

Het drukverval van de vloeistof zal derhalve in alle lagen van gelijke dikte in den koek constant zijn.

Wanneer de eigenschappen van het filter over het geheele oppervlak dezelfde zijn, is, blijkens de manier waarop R_1 is ingevoerd, deze grootheid evenredig met het oppervlak (0), en een functie van de koekdikte (d) en van den graad van samendrukking (P), wat we kunnen uitdrukken door

$$R_1 = 0 f(d, P)$$

$$r_1 = f(d, P)$$

Tengevolge van de werking van het drukverschil zal echter de dikte (d) van den koek nog verandering kunnen ondergaan. Vooreerst kunnen de deeltjes ieder op zichzelf een vormverandering ondergaan en vervolgens kunnen alle deeltjes vaster op elkaar geperst worden. Hieromtrent zijn echter nog weinig betrouwbare gegevens bekend en proefnemingen hierover zijn zeer moeilijk. Het is echter waarschijnlijk, dat de koekdikte (d) voor

een bepaalde filtratie dus geen constant getal zal zijn, doch, afhankelijk van het drukverschil, waaronder de proef wordt uitgevoerd, grootere of kleinere waarden zal kunnen verkrijgen.

d is derhalve nog een functie van P dus $d = f_1(P)$. Later zullen we de grootheid d (koekdikte) om praktische redenen dan ook vervangen door een grootheid δ , die onafhankelijk is van P .

δ stelt dan voor de hoeveelheid vaste stof, uitgedrukt in gr., die op elke c.M², van het filtreerend oppervlak aanwezig is en r_1 kan dan voorgesteld worden door $r_1 = F(\delta, P)$, waarin δ en P dan onafhankelijk van elkaar zijn.

Wanneer wij de formule

$$\int_{l'}^{l''} \varrho dl = \frac{0}{\frac{dV}{d\theta}} \int_{P'}^{P''} dP$$

zoowel toepassen op den filterkoek als op het filtermedium, dan krijgen we

$$r_1 = \frac{0}{\frac{dV}{d\theta}} P_1 \quad (\text{formule voor filterkoek})$$

$$r_2 = \frac{0}{\frac{dV}{d\theta}} P_2 \quad (\text{formule voor filterdoek})$$

Hieruit volgt:

$$r_1 + r_2 = \frac{0}{\frac{dV}{d\theta}} (P_1 + P_2) = \frac{0}{\frac{dV}{d\theta}} P.$$

Hieruit zien we, dat een gedeelte van het totale drukverschil noodig is om de vloeistof door den koek heen te drijven en een gedeelte om de vloeistof door het doek heen te drijven; deze gedeelten verhouden zich als r_1 en r_2 (de weerstanden die zij aan den vloeistofstroom bieden).

Het drukverschil in de vaste stof en in de vloeistof, die zich

tusschen de vaste deeltjes bevindt, kunnen we nu graphisch voorstellen als in fig. 3 is aangegeven.

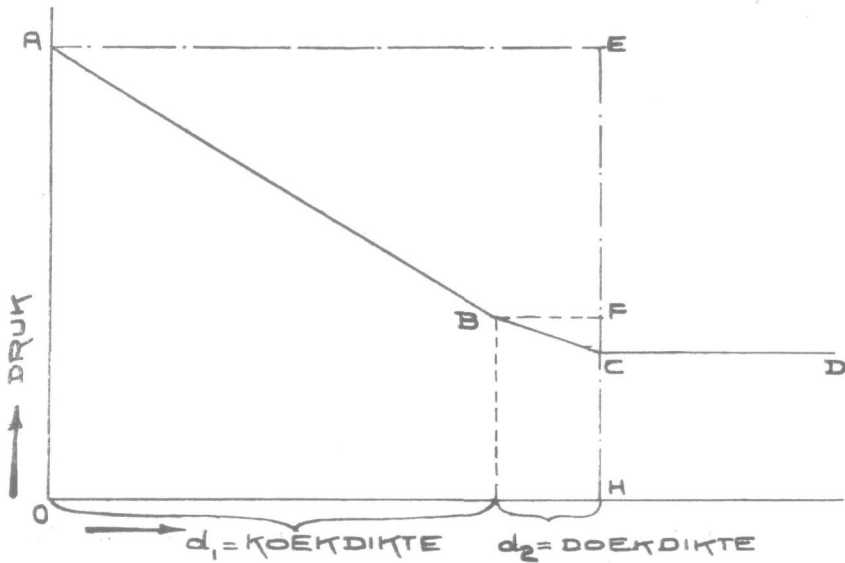


Fig. 3.

OA = druk boven filter

CH = druk onder filter

Totaal beschikbaar drukverschil = OA — CH = P

EF = P_1

FC = P_2

$P_1 + P_2 = P$

Het verloop van het drukverval voor de vaste deeltjes van den koek wordt aangegeven door de lijn AECD. Het verloop van het drukverval voor de vloeistof, die zich tusschen de vaste deeltjes bevindt, wordt aangegeven door de lijn ABCD.

Het drukverval van de vloeistof, die zich tusschen de vaste deeltjes bevindt, is dus per eenheid van lengte in den koek voor te stellen door $\frac{P_1}{d_1}$ in de onderstelling, dat de koek homogeen is, hetgeen later zal blijken juist te zijn.

Bij deze beschouwing is de invloed der zwaartekracht buiten beschouwing gebleven.

Uit vroegere onderzoekingen is gebleken, dat de viscositeit van de te filtereeren vloeistof van zeer grooten invloed is op de filtratiesnelheid. Zie ook wet van Poiseuille pag. 24.

De beide formules zouden moeten zijn:

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta} = \frac{\gamma P_1}{r_1} \quad \frac{1}{\Theta} \frac{dV}{d\Theta} = \frac{\gamma P_2}{r_2}$$

waarin γ dan voorstelt een constante van de vloeistof. We zullen deze constante voor water van 20° C., waarbij al onze proeven zijn verricht, gelijk stellen aan 1, waardoor deze constante dus in alle verdere formules weggelaten mag worden.

Zooals wij gezien hebben is

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta} = \frac{P_1 + P_2}{r_1 + r_2} = \frac{P}{r_1 + r_2}$$

d.w.z. de stroomsnelheid of het gefiltreerde volume per eenheid van oppervlak en per eenheid van tijd is recht evenredig met het beschikbaar drukverschil en omgekeerd evenredig met de som der weerstanden van koek en doek per eenheid van oppervlak.

Gemakshalve geven wij hier een lijst der gebruikte symbolen met hunne beteekenis:

P = totaal drukverschil uitgedrukt in K.G./c.M².

P_1 = drukverschil van de vloeistof in den koek, uitgedrukt in K.G./c.M².

P_2 = drukverschil van de vloeistof in het doek, uitgedrukt in K.G./c.M².

R_1 = totale weerstand van den koek.

R_2 = totale weerstand van het doek.

R = som der weerstanden van den koek en het doek.

r_1 = weerstand van koek per c.M².

r_2 = weerstand van doek per c.M².

0 = filtreerend oppervlak, uitgedrukt in c.M².

V = gefiltreerd volume, uitgedrukt in c.M³.

Θ = tijd, noodig om vol. V te filtereeren, uitgedrukt in minuten.

- γ = constante van de vloeistof, welke voor water van 20° C. gelijk gesteld wordt aan 1.
- α = concentratie d. i. gewicht per eenheid van vol. (gram per c.M³).
-

HOOFDSTUK II.

A. Beschrijving van het toestel, waarmede de proeven werden verricht. Nauwkeurighedsgraad der proeven.

Bij het filtrereen zijn er vele grootheden, die van invloed zijn of althans kunnen zijn op de filtratiesnelheid, zooals drukverschil (P), temperatuur (T), viscositeitsconstante (η), koekdikte (d), concentratie (a), structuur van de vaste stof, enz.

Om tot resultaat te komen bij dit onderzoek, leek het ons een eerste vereischte de opzet der verschillende proeven zoo eenvoudig mogelijk te maken.

Door bij verschillende proeven alle grootheden op één na constant te houden en slechts deze ééne grootheid te varieeren, is het mogelijk den invloed hiervan nauwkeurig te bepalen.

Mijns inziens is het dan ook een fout geweest van verschillende onderzoekers (W. K. Lewis and C. Almy, F. Baker), dat zij hun proeven verrichtten met filterpersen en uit de gevonden waarnemingen algemeene physische wetten wilden afleiden.

Een beschrijving van het filter, waarmede onze proeven zijn verricht, volgt hieronder. Zie fig. 4.

Het filter bestaat uit twee helften A en B. A dient als filterkamer en bestaat uit een zuiver cilindrischen mantel ($\varnothing = 76$ m.M.), aan de onderzijde voorzien van een zware breede flens, met 6 gaten.

Als filterbasis wordt B gebruikt. Deze bestaat uit

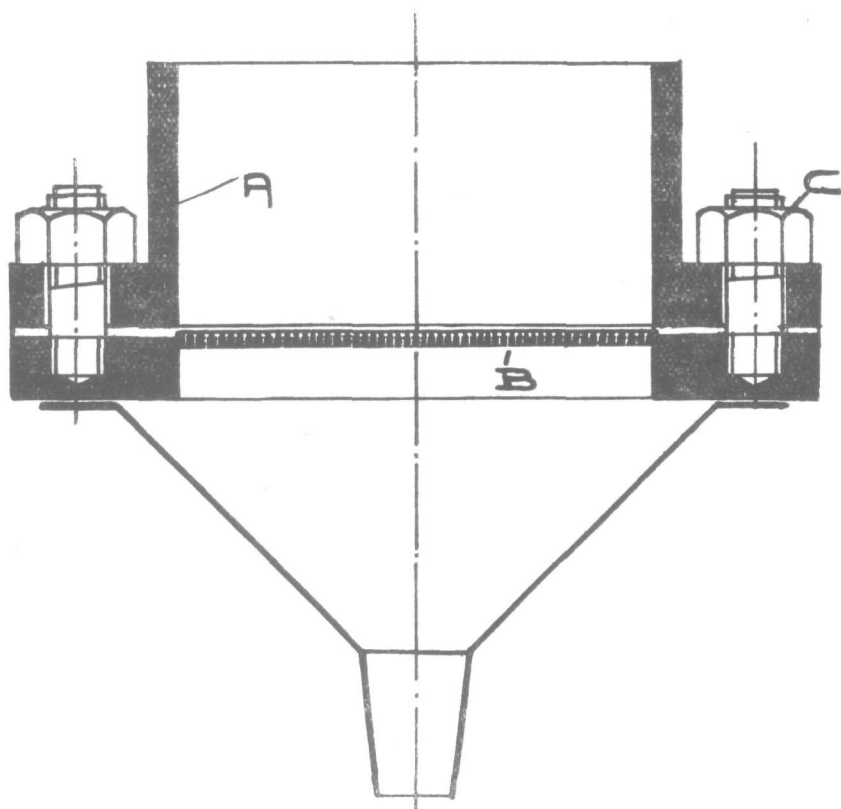


Fig. 4.

een ronde koperen plaat, ter dikte van 2 m.M. ($\varnothing = 76$ m.M.), die over het geheele oppervlak voorzien is van loodrecht op elkaar staande groeven. In de snijpunten van deze groeven zijn afvloeioopeningen aangebracht. Deze koperen plaat heeft eveneens een zware breede flens met 6 gaten, corresponderend op die van A.

In de 6 gaten van de onderste flens zijn 6 tapbouten bevestigd. Het filtermedium krijgt denzelfden diameter als de flenzen en is voorzien van 6 overeenkomstige gaten.

Door het filtermedium nu tusschen de twee helften A en B te leggen en deze helften vast op elkaar te klemmen, door de

moeren C aan te draaien, wordt een lucht- en waterdichte verbinding tusschen de twee helften verkregen.

We hebben dan een filter, waarvan het filtreerend oppervlak nauwkeurig bekend is

$$O = \pi \cdot 3,8^2 = 45,34 \text{ c.M}^2.$$

Dit filter sluit dan ook zoo dicht mogelijk aan bij een veel voorkomend geval uit de praktijk, waar in de filterpersen het doek ook vastgeklemd wordt tusschen twee platen, terwijl tevens de filterbasis van groeven is voorzien. De groeven, die over het geheele oppervlak zijn aangebracht, hebben een diepte van 1,5 m.M. In ieder snijpunt van deze groeven is een afvoergaatje geboord, zooals blijkt uit fig. 5.

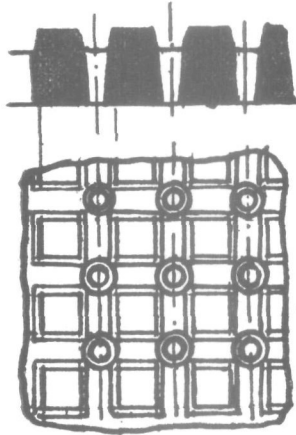


fig. 5.

Het filtermedium wordt dus ondersteund door een groot aantal vierkantjes, waartusschen de vloeistof ruimschoots gelegenheid heeft weg te stroomen.

We kunnen dus verzekerd zijn, dat de weerstand van de afvoerkanalen te verwaarlozen is.

Aan de koperen flens van B is een afvoertrechter gesoldeerd, die met behulp van een gummistop wordt bevestigd op het reservoir, waar we den gewenschten onderdruk kunnen verkrijgen.

Maakt men gebruik van een Büchner trechter¹⁾, dan is het niet zeker, dat de weerstand in de afvoerkanalen te verwaarlozen is. Bovendien is deze niet over het geheele oppervlak voorzien van gaatjes en de juiste grootte van het filtreerend oppervlak is niet nauwkeurig te bepalen.

Bij de verschillende proeven, met dit filter verricht, is het druktraject, waarover proeven uitgevoerd zijn, beperkt van $P = 0,05 \text{ K.G./c.M}^2$. tot $P = 0,7 \text{ K.G./c.M}^2$.

Alle gewenschte drukverschillen binnen dit druktraject werden verkregen, door met behulp van een pomp de ruimte onder het filter leeg te zuigen. De onderdruk kon practisch niet hoger worden opgevoerd dan overeenkwam met een drukverschil van $0,7 \text{ K.G./c.M}^2$, omdat het bij hoger vacuum te lang duurde, voor de gewenschte onderdruk bereikt was.

Bij de keuze van een vaste stof, waarmede de proeven verricht moesten worden, viel ons oog op de verschillende soorten geactiveerde kool, die tegenwoordig handelsproducten met vrij constante eigenschappen geworden zijn. Deze zijn gemakkelijk en betrekkelijk homogeen te verkrijgen, terwijl er geen voorbewerking aan vooraf behoeft te gaan.

Willen we onderzoekingen verrichten met een neerslag als CaCO_3 e.d., dan is het zeer moeilijk dit neerslag steeds met dezelfde eigenschappen te verkrijgen, daar temperatuur, concentratie, zuiverheid der oplossing en andere factoren van invloed zijn op de vorming en de structuur der vaste deeltjes en derhalve ook op de uitkomsten der proeven.

Bovendien zijn de poedervormige geactiveerde koolsoorten zoodanig in de techniek der ontkleuring en der klaring ingeburgerd, dat het van belang is, hen ten opzichte van hun filtratie-eigenschappen met elkaar te vergelijken.

Als vloeistof werd steeds leidingwater gebruikt.

Er werd zoo nauwkeurig mogelijk bij 20° C . gewerkt, teneinde den invloed der viscositeitsverandering van het water te ontgaan.

Een noodzakelijke voorwaarde voor goede resultaten is verder een stevige bevestiging van het filter. Dit mag niet aan trillingen

¹⁾ Rec. Trav. Chim. 43, 757, (1924)

Rec. Trav. Chim. 45, 628 (1926)

zijn blootgesteld. De reden hiervoor zal later blijken.

Teneinde schommelingen in den druk zooveel mogelijk te vermijden, werd gebruik gemaakt van een drukregulateur, zooals door Rutten ¹⁾ beschreven is.

Als filtermedium werd, in aansluiting met de praktijk, filterdoek gebruikt, dat reeds in een fabriek dienst gedaan had voor filtratie van suikersappen over kool.

Dit filterdoek was na gebruik zorgvuldig uitgewasschen en diende nu voor de bepalingen, die zullen volgen.

Het is logisch, gebruikt filterdoek te bezigen, omdat men in de praktijk steeds hiermede werkt.

Nieuw filterdoek gebruikt men in de praktijk om economische redenen alleen ter aanvulling van versleten doek. Het filterdoek kan in verschillende industrieën maanden en maanden dienst doen. Ten slotte moet het door nieuw worden vervangen, wanneer het niet meer voldoende dicht is, te veel is vervuild of mechanisch te veel is verzwakt. Daarom is het voor ons van meer belang de eigenschappen van een goede kwaliteit gebruikt filterdoek te kennen, dan om proefnemingen met nieuw filterdoek uit te voeren.

Ook in verband met vroegere onderzoekingen, verdient gebruikt filterdoek meer aanbeveling dan nieuw, omdat gebruikt filterdoek beter reproduceerbare waarden geeft. ²⁾

Een volledige opstelling van het gebruikte toestel is gegeven in fig. 6.

1 stelt voor een reservoir van ± 10 L., verbonden aan de vacuümleiding en aan het toestel. Dit reservoir kan voor den aanvang der proef op hoog vacuum worden gebracht door

2 de driewegkraan gesloten te houden. Deze driewegkraan geeft zoowel aansluiting op de vacuümleiding, als op de afvoerleiding voor de gefiltreerde vloeistof.

In de vacuümleiding is aangebracht:

3 de drukregulateur, die gedurende de geheele proef het drukverschil constant moet houden in

¹⁾. Rutten Verslag Akad. Wetensch. A'dam 12, 793, (1903)

²⁾. Rec. Trav. Chim. 43, 757, (1924).

- 4 het reservoir, waarin de filtratie plaats heeft. Op dit reservoir is luchtdicht bevestigd
- 5 het filter, dat hiervoor is beschreven.
- De toevoer van de homogene koolsuspensie vindt plaats vanuit
- 6 het roervat, waarin een roerder snel ronddraait, ten einde bezinking te voorkomen. Door middel van
- 7 een hevel, die door een klemkraantje intermitterend bediend kan worden, wordt het filter steeds vol gehouden.

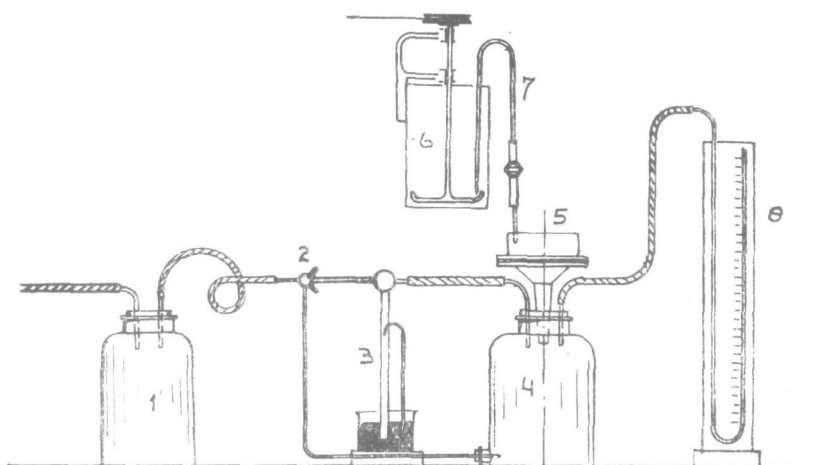


fig. 6.

Aan de buitenzijde van het roervat is een peilglas met schaalverdeling aangebracht, zoodat op ieder oogenblik het volume, dat reeds gefiltreerd is, afgelezen kan worden.

Het reservoir, waarin de gefiltreerde vloeistof stroomt, is verbonden met een open kwikmanometer (8), zoodat de onderdruk steeds gecontroleerd kan worden.

In het filter bevindt zich een vlotter, die nagenoeg het geheele oppervlak bedekt, teneinde te voorkomen, dat de vloeistof, die geregeld op het filter stroomt, door haar beweging de regelmatige vorming van den koek zou beletten.

Gevolgde werkmethode.

Wanneer de koalsuspensie, die gefiltreerd moet worden, gereed is, wordt de drukreguleator zoo ingesteld, dat deze gedurende de proef den gewenschten onderdruk zal onderhouden. Het reservoir (1) wordt dan op hoog vacuum gebracht door de driewegkraan (2) gesloten te houden. Nu wordt op het filter (5) zuiver water van 20° C. gebracht en de driewegkraan in verbinding gesteld met de vacuümleiding. Het kwik in den open manometer begint dan te stijgen. Gedurende deze stijging laat men zuiver water door het filter stroomen, tot de gewenschte onderdruk bereikt is.

Op dat oogenblik wordt de vloeistof, die gefiltreerd moet worden, op het filter gebracht en gelijktijdig het begin der proef genoteerd. Dit geschiedt met een chronometer. De tijden, die achtereenvolgens noodig zijn, om verschillende volumina te filtreren, kunnen dan zeer nauwkeurig bepaald worden.

Deze methode, om eerst den gewenschten onderdruk in het toestel te hebben, alvorens met de eigenlijke filtratie aan te vangen, kan echter bij drukverschillen van 0,5 K.G./c.M². en hooger niet volgehouden worden, omdat de stroomsnelheid van het water bij die drukverschillen zóó groot wordt, dat het filter droog gezogen wordt. Bij deze betrekkelijk groote onderdrukken wordt dan ook een aanvang gemaakt met het filtreren van de diverse koalsuspensie's bij een drukverschil van 0,4—0,5 K.G./c.M². Na een zeer kort tijdsverloop wordt de gewenschte onderdruk dan toch bereikt. Dit duurt gewoonlijk 10—30 sec. Het spreekt dus vanzelf, dat er in de waarnemingen, die bij drukverschillen boven 0,4 K.G./c.M². aan het begin der proefnemingen verricht worden, een fout schuilt. Deze wordt echter ten opzichte van de totale waarnemingstijden spoedig zóó klein, dat ze gerust verwaarloosd kan worden.

Tijdens de filtratie mag er natuurlijk geen lucht in den filterkoek binnendringen, daar we dan onder geheel andere omstandigheden zouden werken. Om dit te voorkomen, wordt het filter steeds voldoende vol gehouden, d. w. z. er blijft steeds een laag ongefiltreerde vloeistof van 1—2 c.M. boven den gevormden koek staan.

Behalve den kunstmatigen onderdruk, die we op den manometer aflezen, hebben we dus bij alle proeven een hydrostatischen overdruk van 1—2 c.M. water. In het verdere gedeelte zullen we echter zien, dat we dezen overdruk buiten beschouwing mogen laten.

Door verschillende onderzoekers (Lewis and Almy, Bryden and Dickey, Weber and Hershey e. a.) wordt de strooming door een filterkoek vergeleken met de strooming van vloeistoffen door capillaire buizen, waarvoor de wet van Poiseuille geldt.

Deze wet van Poiseuille luidt:

$$Q = \frac{\pi (P_A - P_B) \varrho_1^4}{8 L \eta} \quad 1)$$

Q voorstelt de hoeveelheid vloeistof, die in de sec. door de doorsnede der buis stroomt.

$P_A - P_B$ drukverschil tusschen de beide zijden van de buis.
 ϱ_1 straal der capillaire buis.
 L lengte der capillaire buis.
 η coëfficiënt van inwendige wrijving of viscositeitsconstante.

In hoeverre deze vergelijking waarde heeft bij de bestudeering van het filtratievraagstuk, zullen we hier voor het oogenblik buiten beschouwing laten. We zullen ons slechts bepalen tot de wijze, waarop de viscositeitsconstante haar invloed doet gelden.

Volgens Poiseuille is de stroomsnelheid omgekeerd evenredig met de viscositeitsconstante. Het is eveneens een bekend feit uit de practijk, dat de viscositeitsconstante bij filtratie een zeer grooten invloed heeft.

Ofschoon ons geen definitieve gegevens daaromtrent ter beschikking staan, meenden wij toch de veronderstelling te mogen maken, dat bij filtratie de viscositeitsconstante denzelfden invloed heeft als bij strooming door capillaire buizen.

Aangezien de viscositeitsconstante η sterk afhankelijk is van

1). Bosscha. Leerboek der natuurkunde, pag. 90.

de temperatuur, is het noodzakelijk voor betrouwbare waarnemingen de temperatuur constant te houden, zooals uit het onderstaande zal blijken.

Grafiek van de viscositeitsconstante van water. ¹⁾

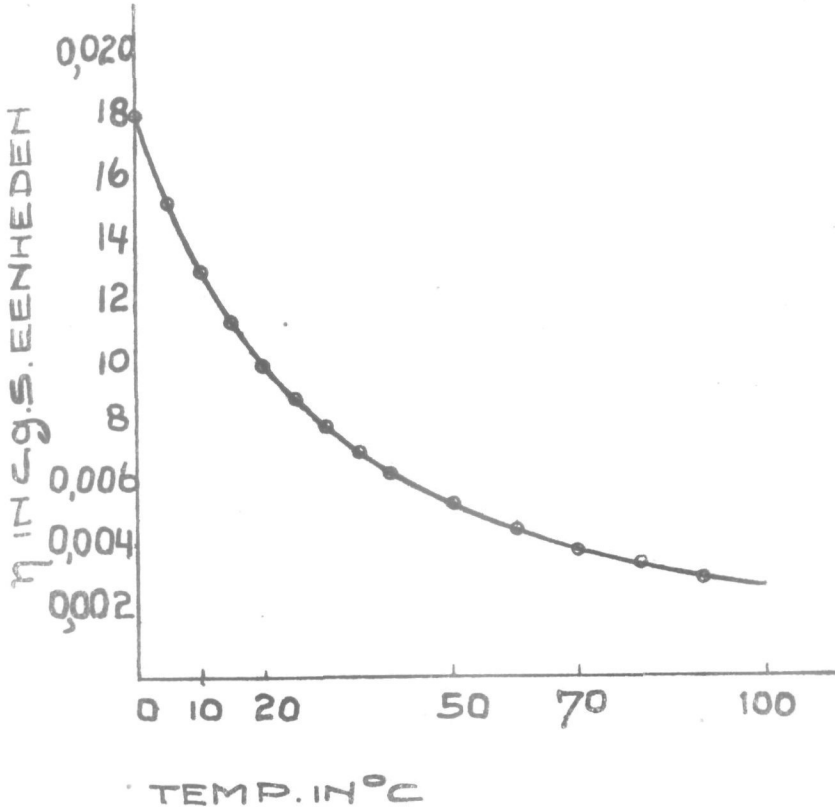


Fig. 7.

Uit de grafiek blijkt bij benadering:

Temp. 16° $\eta = 0,011$

Temp. 20° $\eta = 0,010$

Temp. 24° $\eta = 0,009$

¹⁾ Walker, Lewis and Mc. Adams. Principles of Chem. Eng. p. 81.

vier graden temperatuursverhoging of verlaging bij 20° geven een afwijking in de viscositeitsconstante van 10 %.

één graad temperatuursafwijking bij een temp. van 20° C. geeft dus bij benadering een afwijking in de viscositeitsconstante van 2½ %. Daar de stroomsnelheid omgekeerd evenredig is met de viscositeitsconstante, zal de stroomsnelheid bij 1° temperatuurverschil ook 2—3 % afwijken.

Bij de proeven moet dus nauwkeurig op de temperatuur gelet worden.

Er zijn echter nog meer factoren, die van invloed zijn op de nauwkeurigheid der proefnemingen. Voor de overzichtelijkheid zullen wij ze alle hieronder rangschikken.

10. De temperatuur van de vloeistof. In ons geval heeft, zoals boven vermeld, een afwijking in de temperatuur van 1° C. ongeveer een fout van 2½ % tengevolge. De temperatuur werd zoo nauwkeurig mogelijk constant gehouden, doch varieerde wel eens tusschen 19° en 21°. De maximale afwijking tusschen twee duplo bepalingen kan dus 5 % bedragen.

20. Het drukverschil. Ofschoon er een drukreguleur in de vacuümleiding was aangebracht, was de druk op niet meer dan ½ m.M. Hg constant te houden. De onderlinge afwijking in den druk tusschen twee duplo bepalingen kan dus 1 m.M. Hg bedragen. Bij kleinere drukkingen is deze fout betrekkelijk groot. Deze fout bedraagt in %

P in K.G./c.M ² .	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
Fout in %	3	1	< 1			

Bovendien wordt de hydrostatische overdruk van de vloeistof, die op den koek staat, buiten rekening gelaten. De dikte dezer vloeistoflaag bedraagt maximaal 2 c.M. water. Ook deze fout is bij geringe drukverschillen weer betrekkelijk groot.

P in K.G./c.M ² .	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
Fout in %	4	2	1	< 1		

30. De concentratie. Deze werd zoo nauwkeurig mogelijk constant gehouden door een intensieve beweging van de

vloeistof in het vat, waaruit de vloeistof gedurende de filtratie bijgevoegd werd. Quantitatief werd een afgewogen hoeveelheid vaste stof in een afgemeten hoeveelheid water gebracht. De fout, die bij deze bewerkingen gemaakt werd, is van geen beteekenis. Steekproeven toonden aan, dat de vloeistof die bijgevoegd werd, werkelijk homogeen was. Bij het waarnemen der tijden, die noodig zijn om een bepaald volume te filtreren, is ook steeds een fout in de waarneming mogelijk. Deze bedraagt volgens schatting ongeveer 10 sec., doch wordt door de volgende waarnemingen grootendeels weer geëlimineerd.

Uit het voorgaande is het duidelijk, dat onze proeven geen grooter aanspraak op nauwkeurigheid kunnen maken dan 5 %. Bij een drukverschil van 0,05 K.G./c.M², is de nauwkeurigheid zelfs aanzienlijk minder; daarom zijn deze proeven ook niet vermeld. In het vervolg van dit werk zullen we echter zien, dat de afwijkingen bij duplobepalingen in het algemeen kleiner zijn dan 5 %, hetgeen op grond van het bovenstaande ook verwacht kan worden.

B. Beschrijving der onderzochte koolsoorten.

Om eenige redenen, die wij hiervoor reeds hebben medegedeeld, hebben wij onze filtratieproeven uitgevoerd met verschillende soorten geactiveerde kool. Deze waren: *carboraffine*, *eponit*, *norit* en *nobrac*.

Van de drie eerstgenoemde koolsoorten namen wij groote monsters uit handelspartijen, terwijl het nobrac een speciaal monster was.¹⁾

Deze monsters werden bewaard in goed gesloten flesschen, teneinde gedurende de proefnemingen verandering in de samenstelling te voorkomen.

Een eenvoudige analyse dezer koolsoorten gaf de volgende cijfers:

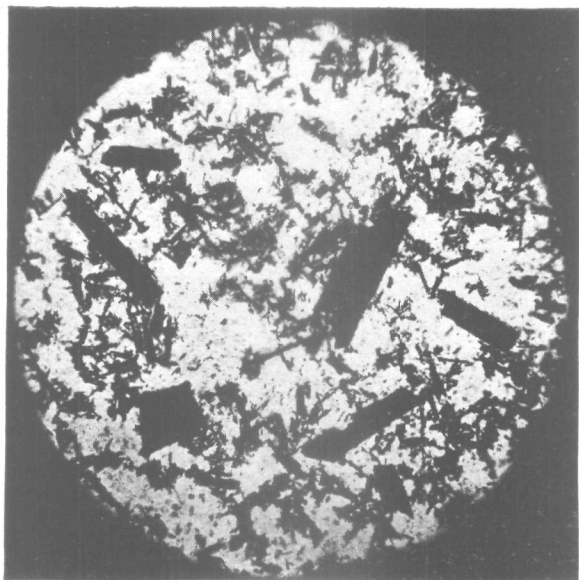
	Water	Asch
Carboraffine	8,80	3,55
Eponit	9,00	4,45
Norit	10,18	4,81
Nobrac	24,95	3,15

Het watergehalte werd bepaald door droging der kool bij 110° C. tot constant gewicht. Uit het onderzoek van P. Honig²⁾ is gebleken, dat de gassen, die bij verhitting van dergelijke koolsoorten ontwijken, tot 180° nagenoeg geheel uit waterdamp bestaan.

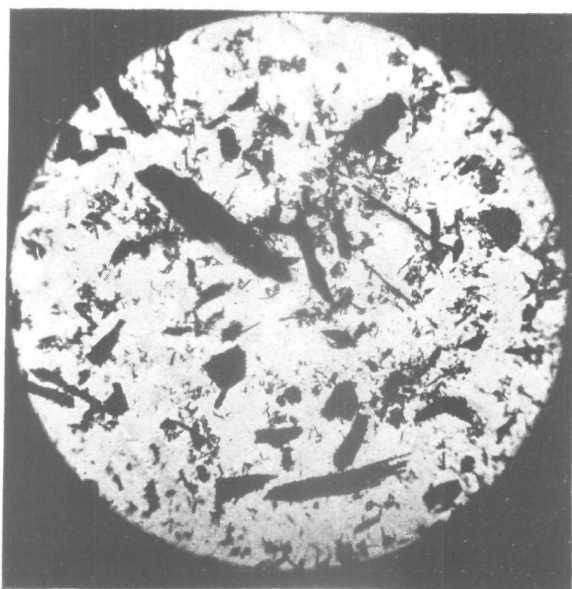
Om althans een oppervlakkig inzicht te geven in de structuur van de gebruikte koolsoorten, hebben wij nevenstaande mikrofoto's gemaakt (vergrooting 39 X).

¹⁾ Decolorising and absorption charcoal Sutcliffe, Speakman & Co. Ltd. Leigh, Lancashire.

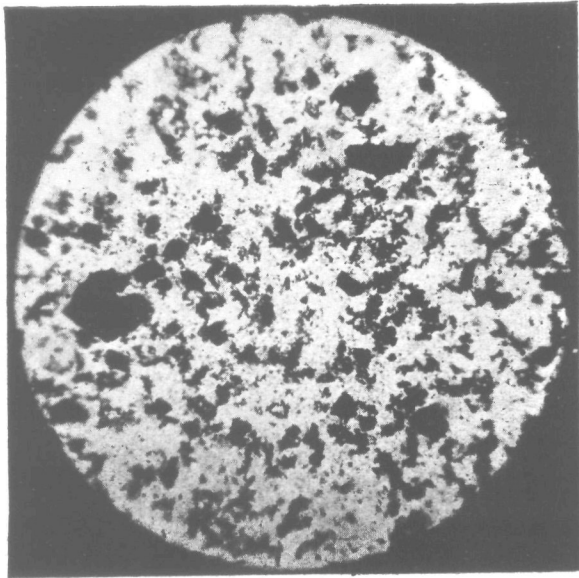
²⁾ P. Honig, Vergelijkend onderzoek van adsorptiekoolen, p. 29, A'dam 1925.



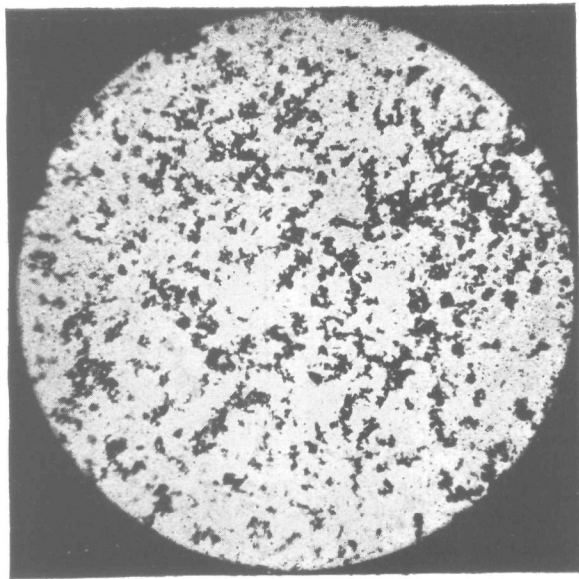
Eponit



Norit



NOBRAC



CARBORAFFINE

Uit deze foto's zien we, dat norit en eponit groote onregelmatigheden vertoonen in de afmetingen der deeltjes. Bovendien vertoonen zeer veel deeltjes een langgerekten vorm, hetgeen een typisch verschil doet ontstaan met de ontkleuringskolen carboraffine en nobrac.

In het verdere gedeelte van dit onderzoek zal blijken, dat norit en eponit in hun filtratieeigenschappen ongeveer hetzelfde karakter vertoonen. Dit behoeft geen verwondering te wekken, aangezien uit de mikrofoto's blijkt, dat beide koolsoorten nagenoeg identiek zijn. ¹⁾

Carboraffine vertoont de grootste regelmatigheden in zijn structuur en de afmetingen der deeltjes; terwijl nobrac meer deeltjes van zeer uiteenlopende grootte bevat.

Wanneer wij de koolsoorten op het oog indeelen naar de gemiddelde grootte der deeltjes, krijgen we de volgende rangschikking (Zie bijgaande mikrofoto's).

- 1o. eponit en norit.
- 2o. nobrac.
- 3o. carboraffine.

¹⁾ Na de voltooiing van ons onderzoek vonden wij hiervan een bevestiging. O. Wohryzek. Tagesfragen aus der Zuckerindustrie, Heft no. 5. Magdeburg 1927.



HOOFDSTUK III.

BEPALING VAN r_1 EN r_2 .

A. Directe bepaling van den weerstand van het filtermedium.

Wanneer wij een filtratie verrichten met een ongebruikt filterdoek en een koolsuspensie, zal de eerste laag met kooldeeltjes, die op het filtermedium terecht komt, daarin meer of minder doordringen, al naar gelang de verschillende omstandigheden.

Wasschen wij na zoo'n filtratie een dergelijk filterdoek af, dan blijkt het praktisch onmogelijk, de laatste kooldeeltjes te verwijderen. Een dergelijk filterdoek heeft derhalve een aantal poriën, die inactief geworden zijn en is, wat wij noemen, min of meer verstopt. Het is duidelijk, dat wij in de practijk altijd met een dergelijk verstopt filtermedium werken. Bij iedere filtratie die wij uitvoeren, hebben wij derhalve ook met een verstopt filtermedium te maken. De eenvoudigste methode ter bepaling van den weerstand van een dergelijk filtermedium zou zijn de directe meting van den weerstand, dien het aan den vloeistofstroom biedt. Dit zou op de volgende manier uitgevoerd kunnen worden.

Eerst bepaalt men den weerstand, die door filterkoek en filtermedium aan den vloeistofstroom geboden wordt. Daarna verwijdert men den filterkoek en bepaalt den weerstand van het verstopt filtermedium afzonderlijk.

Aan deze bepalingmethode is echter een groot bezwaar verbonden. De manier, waarop de filterkoek verwijderd wordt, is namelijk van invloed op de waarde, die voor den weerstand van het filtermedium gevonden wordt. Het is derhalve onmogelijk op deze manier exacte waarden voor r_2 te vinden. Wordt

het filtermedium oppervlakkig schoongemaakt, dan vindt men hogere waarden voor r_2 , dan wanneer men het filtermedium zorgvuldig reinigt. Hoe ver het uitwasschen van het filtermedium moet geschieden, is niet aan te geven. Maar al is deze methode niet exact, toch zullen wij een dergelijke bepaling vermelden, om althans een denkbeeld te kunnen geven van de verhouding, die er bestaat tusschen den weerstand van den koek en dien van het filtermedium.

Het is daarbij duidelijk, dat de weerstand van het filtermedium (r_2) procentisch een grooteren invloed zal hebben, naarmate de koekdikte, en derhalve ook r_1 geringer is.

Om dit nader te onderzoeken, werden een reeks filtratieproeven met wisselende hoeveelheden carboraffine uitgevoerd, onder overigens gelijke omstandigheden.

Op deze manier ontstonden koeken van diverse dikten en konden we ons een idee vormen van den procentischen invloed van den weerstand van het filtermedium.

De vloeistoffen, die gefiltreerd werden, bevatten achtereenvolgens 0,025 0,1 0,25 0,5 1 1,5 2 3 en 5 gr. carboraffine per liter water.

Het drukverschil bedroeg 0,2 K.G./c.M². en de temp. was 20° C. Telkens nadat een bepaald volume gefiltreerd was, werd de tijd opgenomen, die daarvoor sedert den aanvang der proef benooidigd was geweest. Door dit gedurende den geheelen duur der filtratie te doen, kregen we een reeks waarden voor V en Θ

Zetten we deze waarden voor V en Θ graphisch uit, dan verkrijgen we een kromme lijn.

Naderhand zal blijken, dat de stroomsnelheid $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta}$

onafhankelijk is van het volume, waaruit een bepaalde koek is ontstaan, en alleen afhankelijk is van de hoeveelheid kool, die op het filter aanwezig is.

Omdat wij bij de filtratie echter steeds volumina en tijden waarnemen, is het om practische redenen gewenscht $V - \Theta$ grafieken te maken, waarin we V derhalve moeten beschouwen als een uitdrukking voor de hoeveelheid kool, die op het filter aanwezig is.

Tabel 1.
 $P = 0,2 \text{ K.G./c.M}^2.$ $T = 20^\circ \text{ C.}$

Gefiltr.	0,025gr.	0,1 gr.	0,25gr.	0,5 gr.	1 gr.	1.5 gr.	2 gr.	3 gr.	5 gr.
Vol.	p.Liter	p.Liter	p.Liter	p.Liter	p.Liter	p.Liter	p.Liter	p.Liter	p.Liter
	Tijd in seconden								
500	—	18	33	33	49	47	52	68	84
1000	35	47	76	79	117	145	164	234	319
1500	59	83	129	156	234	300	354	485	708
2000	86	120	193	246	373	485	595	820	1190
2500	119	166	269	355	557	750	905	1254	1860
3000	156	215	357	495	770	1030	1250	1750	2610
3500	194	271	457	631	1010	1340	1655	2310	3480
4000	235	332	554	790	1285	1715	2125	3045	4410
4500	—	395	672	975	1565	2115	2625	3655	5550
5000	327	468	798	1160	1890	2570	3190	4500	6960
5500	378	—	928	1376	2245	3040	3800	5325	8460
6000	428	621	1069	1594	2630	3540	4450	6210	9990

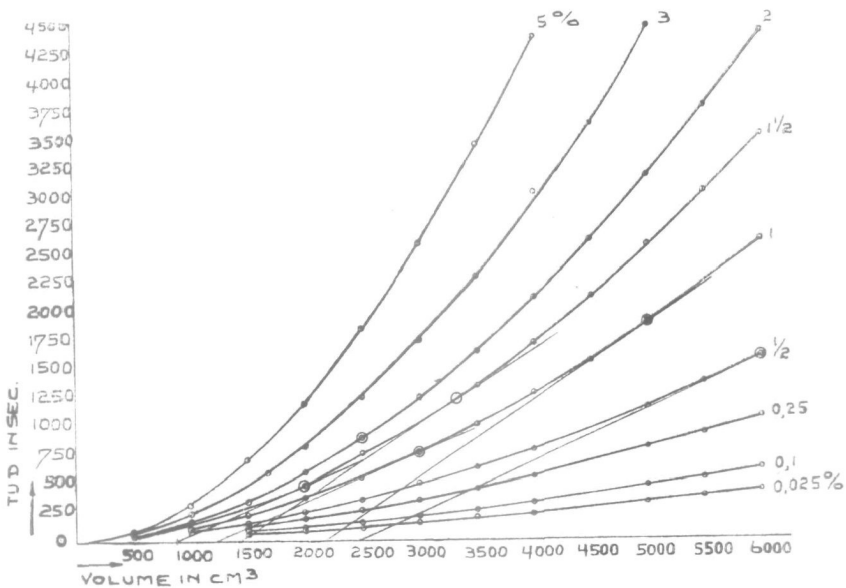


Fig. 8.

Een grafische voorstelling van deze waarnemingen vindt men in fig. 8.

Nadat bij iedere proef een volume van 6000 c.M³. der carboraffinesuspensie gefiltreerd was, werd de proef nog niet beëindigd, doch werd over den gevormden koek zuiver water van dezelfde temp. gefiltreerd. De tijden, die noodig waren om telkens 250 c.M³. te filtreren, werden wederom opgenomen en zijn vereenigd in tabel 2. De reden, waarom deze proef verricht werd, zal uit het volgende blijken.

Tabel 2.

Gefiltr. volrme	0,15g. op filt.	0,6 op filt.	1,5 op filt.	3 op filt.	6 op filt.	9 op filt.	12 op filt.	18 op filt.	30 op filt.
Tijd in seconden.									
250	30	44	71	123	205	265	340	495	780
250	27	48	85	121	200	275	345	485	785
250	29	48	85	126	205	285	350	500	820
250	30	49	90	125	200	280	345	490	820
1000	116	189	331	495	810	1105	1380	1970	3205

Na afloop van deze proeven, die alle met hetzelfde filtermedium en onder hetzelfde drukverschil waren uitgevoerd, werd het filterdoek oppervlakkig afgewasschen en werden de tijden bepaald, die noodig waren, om over dit verstopt filtermedium telkens 1000 c.M³. water te filtreren bij hetzelfde drukverschil van 0,2 K.G./c.M².

Deze tijden bedroegen voor:

1000 c.M ³.	.....	16 sec.
2000 "	.....	32 "
4000 "	.....	66 "

Zooals wij reeds gezien hebben, bedraagt het opp. van het filter 45,34 c.M². We kunnen dus de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$

berekenen (uitgedrukt in c.M³. per c.M². per minuut).

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{60}{66} \times \frac{4000}{45,34} = 80,2$$

Bovendien weten we:

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta} = \frac{P}{r_3}$$

Het drukverschil gedurende deze filtratie bedroeg
0,2 K.G./c.M², dus

$$80,2 = \frac{0,2}{r_3}$$

$$r_3 = 0,0025$$

Uit de waarnemingen van tabel 2 blijkt, dat de stroomsnelheid, nadat de koek zich onder bepaalde omstandigheden gevormd heeft, bij het verder filtreren constant blijft. (De afwijkingen zijn te wijten aan waarnemings- en werkfouten).

Uit de cijfers van tabel 2 kunnen we dus, omdat de waarnemingen nagenoeg constant zijn, de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta}$ berekenen aan het einde der proef (in c.M³. per c.M². per minuut).

z. o. z.

De berekeningen voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ volgen hieronder.

Hoeveelheid Carboraffine op filter in grammen	0,15	0,6	1,5	3	6	9	12	18	30
	$\frac{60}{116} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{189} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{331} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{495} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{810} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{1105} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{1380} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{1970} \times \frac{1000}{45,34}$	$\frac{60}{3205} \times \frac{1000}{45,34}$
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	11,41	7,00	4,00	2,67	1,63	1,20	0,96	0,67	0,41

Nu we voor r_2 een benaderingswaarde gevonden hebben, is het mogelijk met behulp van de formule

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P_1 + P_2}{r_1 + r_3} = \frac{P}{r_1 + r_3}$$

benaderingswaarden te vinden voor r_1 en derhalve ook voor P_1 en P_2 want:

Substitueeren we de waarden, die we voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ berekend hebben, in deze formule, dan is r_1 de eenige onbekende.

Verder weten we ook

$$\frac{P_1}{r_1} = \frac{P_2}{r_3}$$

De som van $P_1 + P_2$ is bekend, r_1 en r_2 zijn eveneens bekend, dus kunnen we ook P_1 en P_2 afzonderlijk berekenen.

De waarden voor de verschillende grootheden zijn uitgerekend en vereenigd in tabel 3.

Tabel 3.

Gramkool opfilter(g)	$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	r_3	r_1	$r_1 + r_2$	P_2	P_1	$P_1 + P_2$	$\frac{r_1}{g} \times 10^4$	Procent. invloed van r_2 op ($r_1 + r_2$)
0	80.20	0.0025	—	0.0025	0.200	—	0.2	—	—
0,15	11.41	0.0025	0.0150	0.0175	0.029	0.171	0.2	1000	16.6
0,60	7.00	0.0025	0.0261	0.0286	0.017	0.183	0.2	435	9.6
1,50	4.00	0.0025	0.0475	0.0500	0.010	0.190	0.2	317	5.3
3	2.67	0.0025	0.0725	0.0750	0.007	0.193	0.2	242	3.4
6	1.63	0.0025	0.1205	0.123	0.004	0.196	0.2	201	2.0
9	1.20	0.0025	0.1645	0.167	0.003	0.197	0.2	183	1.5
12	0.96	0.0025	0.2055	0.208	0.002	0.198	0.2	171	1.2
18	0.67	0.0025	0.2955	0.298	0.002	0.198	0.2	164	0.8
30	0.41	0.0025	0.4855	0.488	0.001	0.199	0.2	162	0.5

Uit de berekende waarden van r_1 en r_2 blijkt, dat bij een hoeveelheid van 6 gram carboraffine, verdeeld over een oppervlakte van 45 c.M²., hetgeen ongeveer overeenkomt met een koekdikte van 4 m.M., (wat in de praktijk een dunne koek is), 98 % van den weerstand veroorzaakt wordt door den koek en slechts 2 % door het filterdoek.

Bij een koekdikte, die twee maal zoo groot is, zijn deze cijfers resp. 99 % en 1 %, om bij steeds grootere koekdikte's te naderen tot 100 % en 0 %.

In tabel 3 is verder nog een kolom ingelascht $\frac{r_1}{g} \times 10^4$ waarin g voorstelt het gewicht van de kool, die op het filter aanwezig is.

Zetten we $\frac{r_1}{g} \times 10^4$ uit als functie van g dan is $\frac{r_1}{g}$ over een grooten afstand nagenoeg een rechte lijn, als de druk constant is en wel nagenoeg een horizontale lijn. Zie fig. 9.

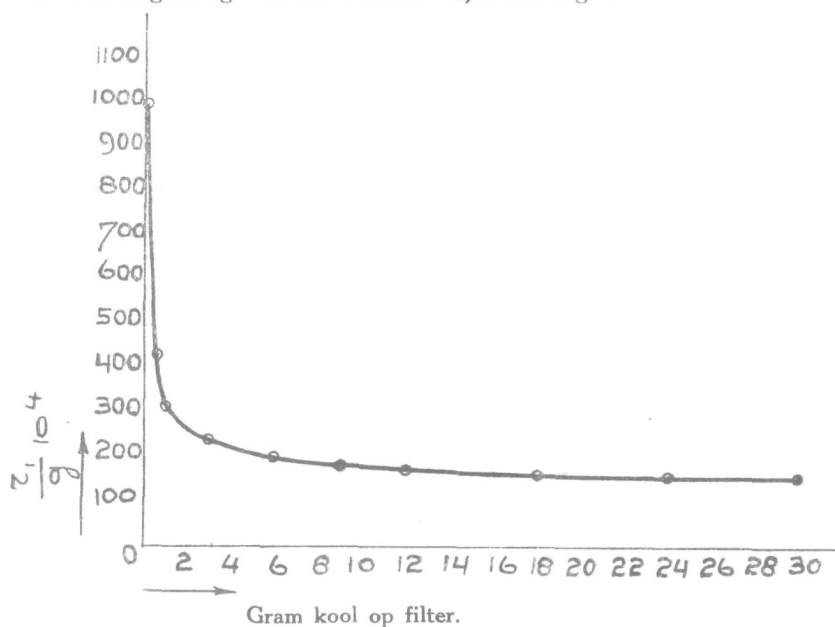


Fig. 9.

Hieruit volgt dus (in de veronderstelling, dat de waarde van r_2 niet al te onjuist is)

$$\frac{r_1}{g} = \text{Constant.}$$

$$r_1 = \text{Constant} \times g$$

met andere woorden, de weerstand van den gevormden koek is recht evenredig met het gewicht der vaste stof, waaruit de koek ontstaan is. Later zullen wij dit nog bevestigd zien.

B. Indirecte methode ter bepaling van den weerstand van het filtermedium.

Zooals wij in het voorgaande gezien hebben, is de directe methode, om de waarde van r_2 te bepalen, niet exact, omdat de wijze van schoonmaken van het doek, van invloed is op de daarna verrichte bepalingen. We hebben daarom getracht, langs indirecten weg den weerstand van het filtermedium te bepalen op de volgende manier.

We voeren eenzelfde reeks filtratieproeven uit als in het voorgaande hoofdstuk beschreven zijn, en berekenen weer de waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ aan het einde van iedere filtratie, zooals dit in het vorige hoofdstuk is geschied.

Filtratie van opschuddingen van carboraffine in water.

$$P = 0,3 \text{ K.G./c.M}^2. \quad T = 20^\circ \text{ C.}$$

Tabel 4.

Gefiltr. volume	0,1 gr./L.	0,25 gr./L.	0,50 gr./L.	1 gr./L.	1,5 gr./L.	2 gr./L.	3 gr./L.	5 gr./L.
Tijd in seconden								
500	—	17	24	30	35	50	—	80
1000	—	44	60	95	111	150	137	255
1500	60	75	111	185	230	316	316	540
2000	92	119	176	295	380	511	525	900
2500	118	160	256	430	560	746	812	1380
3000	155	206	350	590	795	1032	1150	1935
3500	193	267	447	765	1025	1380	1560	2550
4000	235	334	567	975	1315	1710	1975	3240
4500	283	406	690	1190	1605	2095	2495	4080
5000	336	480	823	1430	1935	2500	3007	5160
5500	391	563	968	1700	2305	2970	3585	6360
6000	449	644	1121	1980	2690	3490	4250	7540

Hierna werd water zonder kool gefiltreerd over de gevormde filterkoeken. De tijden die hiervoor noodig waren zijn weer vereenigd in tabel 5.

Tabel 5.

Gefiltr. volume	0,6 gr. op filt.	1,5 gr. op filt.	3 gr. op filt.	6 gr. op filt.	9 gr. op filt.	12 gr. op filt.	18 gr. op filt.	30 gr. op filt.
Tijd in seconden								
250	34	46	81	135	220	265	330	640
250	33	49	84	145	210	260	330	645
250	34	47	82	145	220	265	345	640
250	35	48	83	145	220	270	347	655
1000	136	190	330	570	870	1060	1352	2580

Uit deze waarnemingen kunnen we weer $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ bepalen aan het einde der proef in c.M³. per c.M². per minuut.

$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	9,74	6,96	4,02	2,32	1,52	1,24	0,98	0,51
----------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

De waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ kunnen we nu uitzetten als functie van de hoeveelheid kool, die op het filter aanwezig is. Zie fig. 10.

In fig. 10 zijn zoowel de waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$, die in dit, alsook in het vorige hoofdstuk bepaald zijn, uitgezet als functie van de hoeveelheid kool, die op het filter aanwezig is.

Indien we door extrapolatie de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ konden bepalen bij een koekdikte 0, wanneer er geen kool op het filter was, hadden we ook exacte waarden voor r_2 , want $r_1 = 0$ dus

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r_1 + r_2} = \frac{P}{r_2}$$

r_2 zou dan de eenige onbekende zijn.

Uit figuur 10 blijkt echter, dat de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ door

extrapolatie nooit nauwkeurig bepaald kan worden, omdat de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ te sterk toeneemt, bij vermindering der hoeveelheid kool.

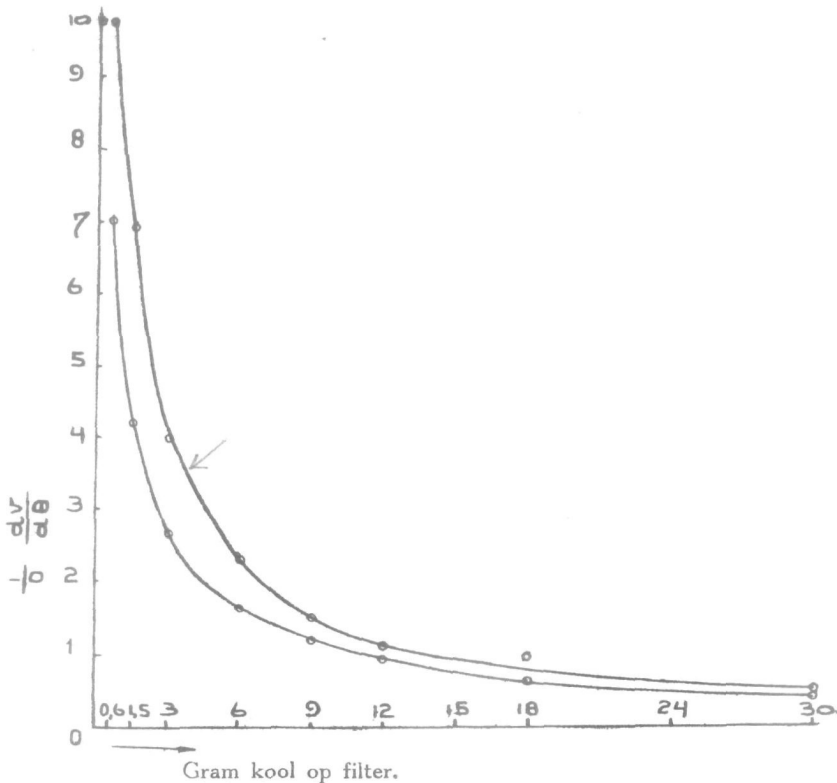


Fig. 10.

Wanneer we echter een $V-\theta$ kromme verkregen hebben, door de waarnemingen van θ en V grafisch uit te zetten is het mogelijk de waarde van $\frac{dV}{d\theta}$ op ieder punt der $V-\theta$ lijn te bepalen.

Veronderstellen we, dat we op een bepaald oogenblik een volume V_1 gefiltreerd hebben.

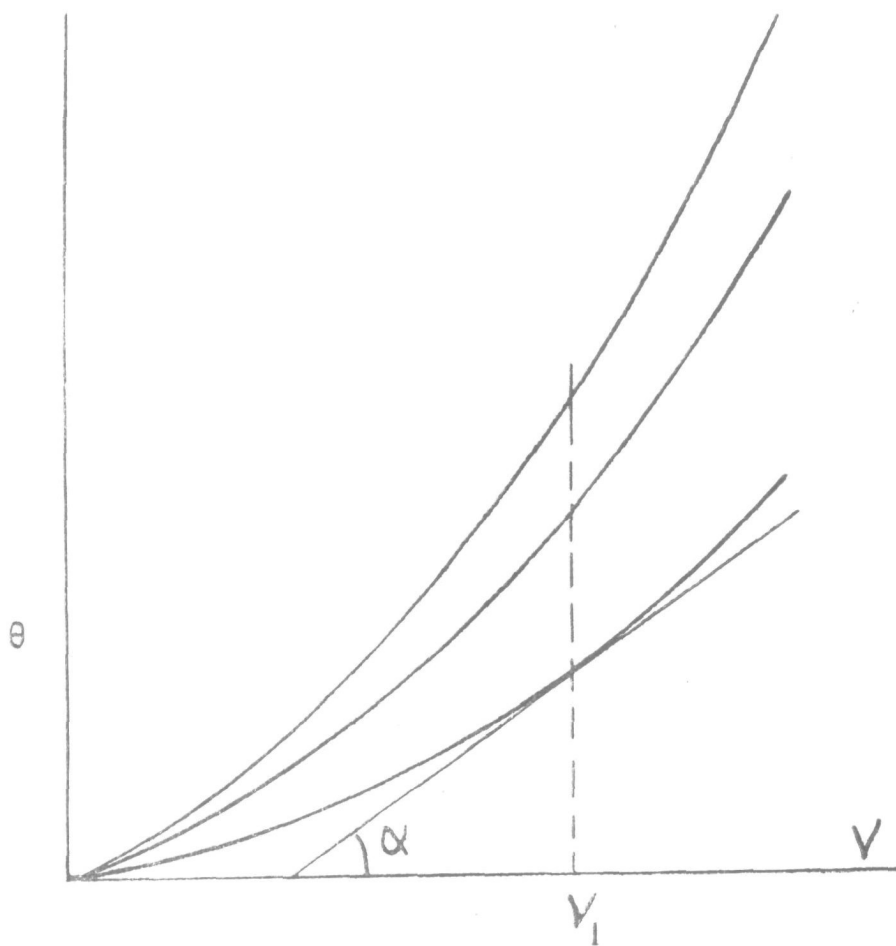
In het punt der $V-\theta$ lijn, waar $V = V_1$ trekken we dan zoo

nauwkeurig mogelijk de raaklijn. Dan is

$$\cot \alpha = \frac{dV}{d\theta} \text{ Zie fig 11.}$$

d. w. z. de hoeveelheid vloeistof die per eenheid van tijd door het geheele filtreerend oppervlak stroomt, wordt bepaald door den cotangens van den hoek, die gevormd wordt door de raaklijn, aan de $V-\theta$ kromme getrokken en de abcis.

Door de waarde van $\frac{dV}{d\theta}$ te deelen door 45,34 ($= 0$), verkrijgen we de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$



We weten echter ook

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P_1 + P_2}{r_1 + r_2} = \frac{P}{r_1 + r_2}$$

Het is dus mogelijk de waarde van $r_1 + r_2$ te bepalen. Zetten we deze waarden van $r_1 + r_2$ nu weer uit als functie van het gefiltreerd volume, dan blijkt, dat voor iedere filtratie, die bij constant drukverschil is uitgevoerd, de waarden van $r_1 + r_2$ nagenoeg op een rechte lijn liggen. Deze rechte lijnen loopen bij verlenging alle nagenoeg door O. Zie fig. 12.

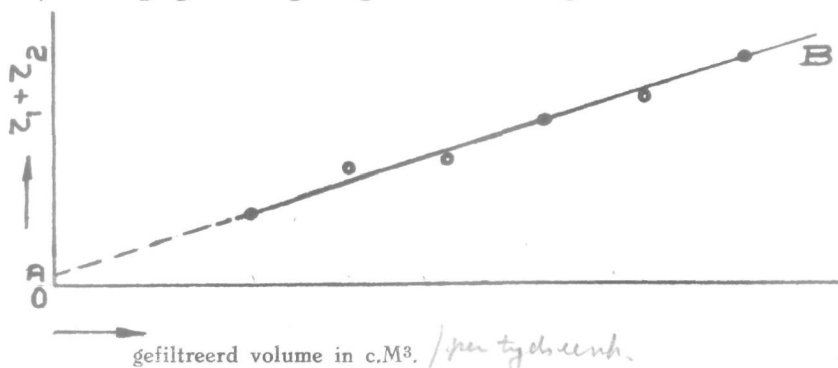


Fig. 12.

Het snijpunt van de rechte lijn AB met de ordinaat heeft een speciale beteekenis.

Immers, de weerstand van den koek is in dat punt gelijk aan nul, daar er geen koek aanwezig is.

Het stuk OA dat door de rechte lijn AB van de ordinaat wordt afgesneden, geeft dus aan, de grootte van r_2 bij het drukverschil, waaronder de filtratie is uitgevoerd.

Het is echter onze bedoeling nauwkeurig de waarde van r_2 te leeren kennen. Uit het feit, dat alle lijnen nagenoeg door O gaan, volgt reeds, dat we kleine waarden voor r_2 zullen vinden. Bij het teekenen der rechte lijnen door de punten, die we gevonden hebben voor de waarden van $(r_1 + r_2)$, is een zekere willekeur nooit uitgesloten, en zouden de waarden, die we voor r_2 graphisch bepaalden, ook tamelijk willekeurig zijn.

Ten einde van deze willekeur onafhankelijk te zijn, zullen we derhalve voor de berekening van r_2 de methode der kleinste quadraten toepassen.

Deze methode om de waarde van r_2 te berekenen hebben we bij verschillende drukverschillen toegepast op filtratieproeven met de ontkleuringskool eponit, teneinde den weerstand van het filtermedium bij verschillende drukverschillen te bepalen.

De vloeistof, die wij filtreerden, bevatte 7 gram eponit per liter water en had een temp. van 20° C. De waarnemingstijden van deze filtratieproeven bij verschillende drukverschillen zijn verenigd in tabel 6.

Tabel 6.

Gefiltr. volumen	Gr. eponit op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,4	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
500	3,5	—	—	—	—	—	—	—
1000	7	142	81	53	45	56	35	42
1500	10,5	312	189	138	110	116	85	97
2000	14	542	342	252	—	210	170	171
2500	17,5	—	—	—	330	—	275	—
3000	21	1201	765	572	490	468	—	387
3500	24,5	1627	1047	783	675	636	565	529
4000	28	2134	1366	1026	895	831	740	690
4500	31,5	—	—	—	—	—	935	—
5000	35	3335	2129	1607	1400	1305	1165	1073
5500	38,5	4046	2579	1950	1700	1584	1410	1301
6000	42	4815	3067	2333	2025	1889	1680	1548

Deze waarnemingen zijn graphisch voorgesteld in fig. 13.

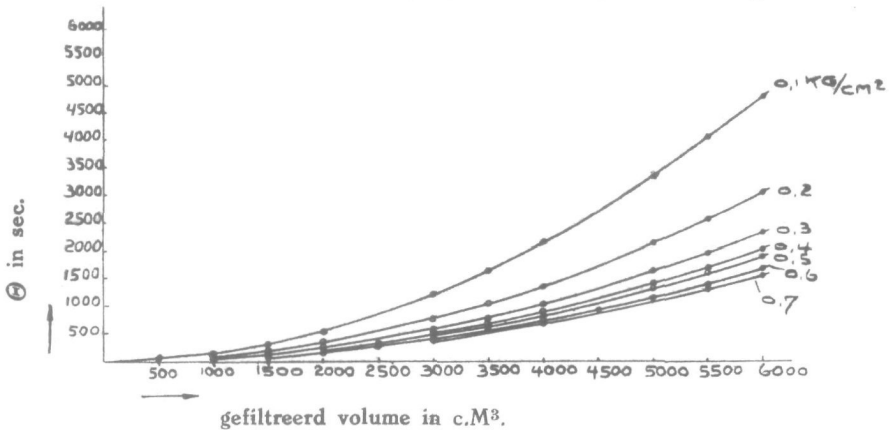


Fig. 13.

Na afloop van de filtratie van deze 6000 c.M³. werd geen kool-suspensie meer toegevoegd, doch zonder de proef te stoppen, werd zuiver water van 20° C. over de gevormde koeken gefiltreerd en werden de tijden opgenomen, die noodig waren om telkens 250 c.M³. door te laten stroomen. Deze tijden zijn vereenigd in onderstaande tabel 7.

Tabel 7.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,4	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
250	42	401	256	192	165	159	145	129
250	42	407	260	191	170	158	140	131
250	42	406	253	200		164		132
250	42	409	254	197		161		131

Uit deze laatste cijfers is het mogelijk, de juiste waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ te bepalen bij diverse drukverschillen, op het oogenblik, dat 42 gr. eponit op het filter aanwezig is.

	P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	0,82	1,29	1,70	1,98	2,06	2,32	2,53

Tabel der waarden van cotg α .

Tabel 8.

Gefiltr. vol.	Gr. eponit op filter	cotg α P=0,1	cotg α P=0,2	cotg α P=0,3	cotg α P=0,4	cotg α P=0,5	cotg α P=0,6	cotg α P=0,7
1000	7	—	—	—	—	—	—	—
2000	14	$\frac{41}{11}$	$\frac{38}{7}$	$\frac{40}{5}$	$\frac{40}{45}$	$\frac{40}{4}$	$\frac{30}{3,5}$	$\frac{41}{3,5}$
3000	21	$\frac{60}{24}$	$\frac{59}{15}$	$\frac{61}{11,5}$	$\frac{59}{10}$	$\frac{61}{9}$	$\frac{59}{8,5}$	$\frac{59}{7,5}$
4000	28	$\frac{81}{43}$	$\frac{80}{27}$	$\frac{80}{21,5}$	$\frac{80}{18}$	$\frac{79}{16}$	$\frac{80}{15}$	$\frac{80}{14}$
5000	35	$\frac{100}{67}$	$\frac{100}{42,5}$	$\frac{99}{32}$	$\frac{101}{28}$	$\frac{99}{26}$	$\frac{101}{23}$	$\frac{99}{20,5}$
6000	42	$\frac{120}{96}$	$\frac{120}{61}$	$\frac{121}{47}$	$\frac{121}{41}$	$\frac{120}{38}$	$\frac{121}{34}$	$\frac{119}{31}$

We trekken vervolgens zoo nauwkeurig mogelijk raaklijnen aan de $V-\theta$ kromme, op de punten, waar $V = 1000, 2000, 3000, 4000, 5000$ en 6000 c.M^3 , en bepalen de waarde van $\cotg \alpha$ op die bepaalde punten. Zie tabel 8.

Om de juiste waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ te kennen in c.M^3 . per c.M^2 . per min. moeten al deze waarden vermenigvuldigd worden met

$$\frac{25}{50} \times \frac{60}{45,34} = 0,6617.$$

want de eenheid van de abscis = 25 c.M^3 .

de eenheid van de ordinaat = 50 sec .

Deze waarden voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn berekend en vereenigd in tabel 9.

Tabel 9.

Waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ in c.M^3 per c.M^2 per min.

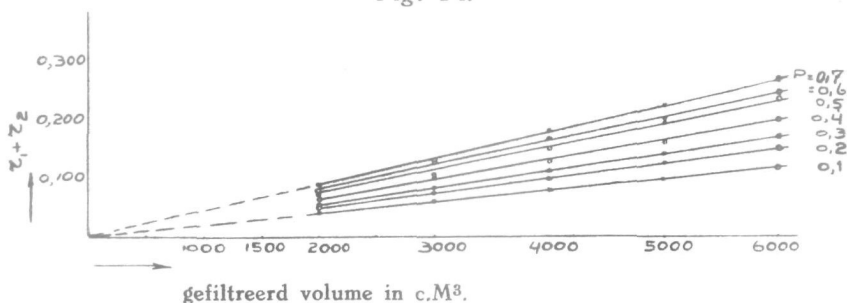
Gefiltr. vol.	Gr. eponit op filter	$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ in c.M^2 per c.M^2 per minuut.						
		P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
1000	7	—	—	—	—	—	—	—
2000	14	2.47	3.60	5.30	5.88	6.62	7.37	7.75
3000	21	1.65	2.60	3.65	3.90	4.49	4.59	5.20
4000	28	1.24	1.96	2.58	2.94	3.27	3.53	3.78
5000	35	0.99	1.56	2.05	2.39	2.52	2.90	3.04
6000	42	0.83	1.30	1.70	1.96	2.09	2.37	2.55

$$\text{We weten } \frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r_1 + r_2} \text{ dus}$$

$$r_1 + r_2 = \frac{P}{\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}}$$

Derhalve is het nu mogelijk de waarden van $r_1 + r_2$ uit te rekenen. Deze waarden van $r_1 + r_2$ zijn vereenigd in tabel 10 en graphisch voorgesteld in fig. 14.

Fig. 14.



Tabel 10.

Gefiltr. vol.	Gr. eponit op filter	P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
1000	7	—	—	—	—	—	—	—
2000	14	0,041	0,056	0,057	0,068	0,076	0,081	0,090
3000	21	0,060	0,077	0,085	0,103	0,111	0,131	0,134
4000	28	0,080	0,102	0,116	0,136	0,153	0,170	0,185
5000	35	0,101	0,130	0,146	0,167	0,198	0,207	0,230
6000	42	0,121	0,154	0,176	0,205	0,239	0,253	0,276

In Hoofdstuk I hebben we gezien, dat alle lagen van den koek aan hetzelfde drukverschil onderworpen zijn en derhalve evenveel worden samengedrukt. De weerstand van den koek zal dus in alle lagen van gelijke dikte even groot zijn.

Noemen we nu den weerstand van een koeklaag, die gevormd wordt uit 7 gram eponit, (verdeeld over een oppervlak van $45,34 c.M^2$.) x_1 , dan is de weerstand van den koek en van den doek na filtratie van 1000 cc. $x_1 + r_2$
 " " " 2000 cc. $2 x_1 + r_2$
 " " " 3000 cc. $3 x_1 + r_2$.

De waarden voor $(x_1 + r_2)$, $(2 x_1 + r_2)$, $(3 x_1 + r_2)$ enz. zijn ons nu bekend. Deze zijn vereenigd in tabel 10.

Deze waarden zullen we gemakshalve aanduiden met W . Met behulp van deze waarden kunnen we r_2 gaan berekenen bij verschillende drukverschillen met de methode der kleinste quadraten. ¹⁾

¹⁾ Kohlrausch. Lehrbuch der practischen Chemie, 1901.

Berekening van r_2 voor $P = 0,1$ $\frac{\text{K.G.}}{\text{c.M}^2}$.

No.	V	W	V^2	VW
1	2	$41 \cdot 10^{-3}$	4	$82 \cdot 10^{-3}$
2	3	$60 \cdot 10^{-3}$	9	$180 \cdot 10^{-3}$
3	4	$80 \cdot 10^{-3}$	16	$320 \cdot 10^{-3}$
4	5	$101 \cdot 10^{-3}$	25	$505 \cdot 10^{-3}$
5	6	$121 \cdot 10^{-3}$	36	$726 \cdot 10^{-3}$
$\Sigma V = 20$		$\Sigma W = 403 \cdot 10^{-3}$	$\Sigma V^2 = 90$	$\Sigma VW = 1813 \cdot 10^{-3}$

$$r_2 = \frac{20 \cdot 1813 \cdot 10^{-3} - 403 \cdot 10^{-3} \cdot 90}{20^2 - 5 \cdot 90} \quad x_1 = \frac{20 \cdot 403 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 1813 \cdot 10^{-3}}{20^2 - 5 \cdot 90}$$

$$r_2 = \frac{10}{50} 10^{-3} \quad x_1 = \frac{1005}{50} 10^{-3}$$

$$r_2 = 0,0002 \quad x_1 = 0,0201$$

Op dezelfde manier kunnen we r_2 en x_1 berekenen voor andere drukverschillen.

De uitkomsten van deze berekeningen bij diverse drukverschillen hebben wij voor de overzichtelijkheid in onderstaande tabel gerangschikt.

$P = 0,1$ K.G./c.M ² .	$r_2 =$	$x_1 =$
$P = 0,2$ "	$r_2 = 0,0042$	$x_1 = 0,0249$
$P = 0,3$ "	$r_2 = - 0,0036$	$x_1 = 0,0299$
$P = 0,4$ "	$r_2 = 0,0006$	$x_1 = 0,0338$
$P = 0,5$ "	$r_2 = - 0,0098$	$x_1 = 0,0413$
$P = 0,6$ "	$r_2 = - 0,0001$	$x_1 = 0,0420$
$P = 0,7$ "	$r_2 = - 0,0042$	$x_1 = 0,0468$

Het is natuurlijk niet mogelijk, dat r_2 werkelijk een negatieve waarde bezit. Dat wij toch negatieve waarden vinden, heeft zijn oorzaak in werkfouten, b.v. bij het teekenen der raaklijnen.

We zien echter, dat de waarde van r_2 , ook in de gevallen, waar we voor r_2 een positieve waarde vinden, altijd zeer klein blijft ten opzichte van de waarde, die gevonden wordt voor den weerstand van den koek.

Bij de directe meting van den weerstand van het filterdoek hebben we bij een drukverschil van $0,2 \text{ K.G./c.M}^2$. met hetzelfde filterdoek voor r_2 gevonden $0,0025$.

We zien dus dat in beide gevallen de waarde van r_2 van dezelfde orde van grootheid is en zonder noemenswaardige fout verwaarloosd kan worden ten opzichte van r_1 .

Toen dus gebleken was, dat de weerstand van het filtermedium bij alle onderzochte drukverschillen verwaarloosd kon worden, hebben we nagegaan, of de weerstand van het filtermedium onder bijzondere omstandigheden grooter gemaakt kon worden.

Het filterdoek, dat reeds bij de vorige filtraties dienst had gedaan, hebben wij opzettelijk verstopt, door er bij een, voor onze proeven hoogen druk ($0,9 \text{ K.G./c.M}^2$), een koolsuspensie door te filtreeren en door gedurende deze filtratie voortdurend op het filtermedium te wrijven. Nadat dit eenigen tijd was geschied, werd de koollaag weer verwijderd en werd met dit opzettelijk verstopt filterdoek een filtratie uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn vereenigd in tabel 12 en grafisch voorgesteld in fig. 15.

Tabel 12.

$P = 0,2 \text{ KG/cM}^2$ $T = 20^0$ 7 gram eponit per Liter

Gefiltreerd volume	Gram eponit op filter	Tijd in sec.
0	0	0
500	3,5	128
1000	7	278
1500	10,5	455
2000	14	715
2500	17,5	977
3000	21	1240
3500	24,5	1575
4000	28	1952
4500	31,5	2376
5000	35	2836
5500	38,5	3366
6000	42	3899

Zonder de proef te stoppen werd hierna water van dezelfde temperatuur over deze koollaag van constante dikte gefiltreerd

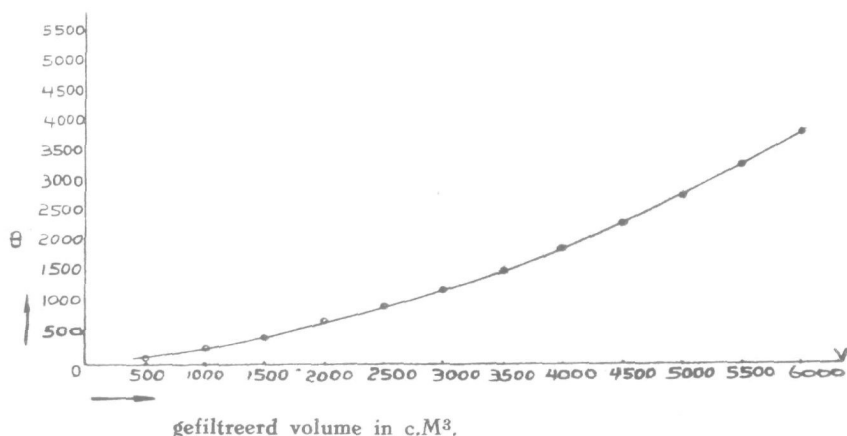


Fig. 15.

er werden de tijden waargenomen, die noodig waren om telkens 250 c.M³. water door te laten lopen.

Gefiltreerd volume	Gram eponit op filter	Tijd in sec.	
250	42	314	} gem. 307 sec.
250	42	307	
250	42	300	
250	42	307	
250	42	308	

$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ aan het einde der proef bedroeg dus

$$\frac{60}{307} \times \frac{250}{45,34} = 1,08 \text{ (c.M}^3 \text{ per c.M}^2 \text{ per minuut).}$$

Wanneer we, op de punten waar V gelijk is aan 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 en 6000 c.M³. op het oog zoo goed mogelijk raaklijnen trekken aan de V-θ kromme, dan vinden we voor cot α

bij $V = 1000$	$\cot \alpha = \frac{32}{14}$	waaruit volgt	$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} =$	3,78
$V = 2000$	$\cot \alpha = \frac{58}{36}$	" "	" "	= 2,66
$V = 3000$	$\cot \alpha = \frac{82}{63}$	" "	" "	= 2,15
$V = 4000$	$\cot \alpha = \frac{97}{97}$	" "	" "	= 1,65
$V = 5000$	$\cot \alpha = \frac{115}{142}$	" "	" "	= 1,34
$V = 6000$	$\cot \alpha = \frac{130}{195}$	" "	" "	= 1,10

Experimenteel hebben we bij $V = 6000$ voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ gevonden 1,08. Het verschil tusschen de experimenteel en de grafisch bepaalde waarde bedraagt dus 2 %, hetgeen binnen de nauwkeurigheidsgrens der proef valt.

Uit de waarden voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ kunnen we nu ook weer de waarden van $r_1 + r_2$ bepalen bij de overeenkomstige punten

$$\text{want } \frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r_1 + r_2}$$

$$V = 1000 \quad r_1 + r_2 = 0,053$$

$$V = 2000 \quad r_1 + r_2 = 0,075$$

$$V = 3000 \quad r_1 + r_2 = 0,093$$

$$V = 4000 \quad r_1 + r_2 = 0,121$$

$$V = 5000 \quad r_1 + r_2 = 0,149$$

$$V = 6000 \quad r_1 + r_2 = 0,182$$

Op dezelfde manier als hiervoor is aangegeven berekenen we ook hier met behulp van de methode der kleinste quadraten de waarde van r_2 en vinden dan

$$r_2 = 0,023.$$

Deze waarden van $r_1 + r_2$ zijn grafisch voorgesteld in fig. 16.

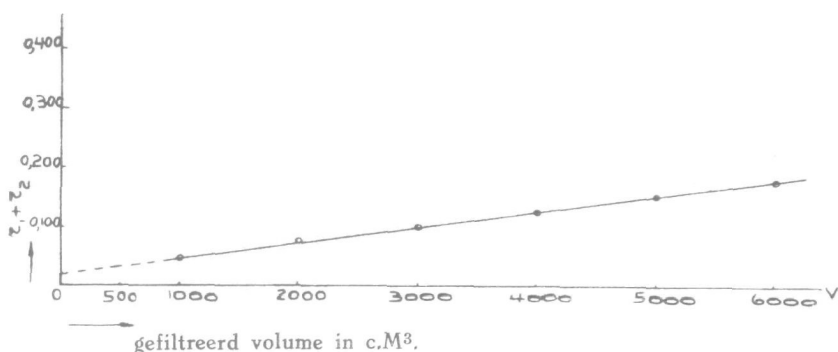


Fig. 16.

We zien derhalve dat de weerstand van het filtermedium door de speciale behandeling die het heeft ondergaan, meer dan tien maal zoo groot is geworden.

Nu we de meest waarschijnlijke waarde van r_2 bepaald hebben, kunnen we ook de waarden van de andere grootheden berekenen. Dit zullen we doen, omdat het een speciaal geval betreft. De waarden van deze grootheden, die wij berekend hebben, zijn vereenigd in tabel 14.

TABEL 14.

Gr. eponit op filter	$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta}$	$r_1 + r_2$ grafisch bepaald	$r_1 + r_2$ berek. met kl. quad.	r_2 berek.	r_1 berek.	P_1 berek.	P_2 berek.	r_2 in $\frac{0}{0}$ van $r_1 + r_2$	$\frac{r_1}{g} \times 10^6$
7	3,78	0,053	0,049	0,023	0,025	0,104	0,096	47	357
14	2,66	0,075	0,074	0,023	0,051	0,138	0,062	31	364
21	2,15	0,093	0,100	0,023	0,076	0,153	0,047	23	362
28	1,65	0,121	0,125	0,023	0,102	0,163	0,037	18	364
35	1,34	0,149	0,151	0,023	0,127	0,169	0,031	15	362
42	1,01	0,181	0,177	0,023	0,152	0,173	0,027	13	362

Ook hier zien we weer, dat $\frac{r_1}{g}$ constant is. Dit is, ook in dit bijzondere geval, een bevestiging van onze onderstelling, dat de koek in alle deelen homogeen is.

C. Berekeningen en afleidingen, uit het voorafgaande volgend.

In het voorgaande hebben we gezien, hoe we langs graphischen weg de som van $r_1 + r_2$ voor ieder willekeurig punt van een $V-\theta$ kromme kunnen bepalen, wanneer V en θ bekend zijn.

Uit de diverse bepalingen is gebleken dat de waarde van r_2 zóó klein is, dat zij ten opzichte van de waarde van r_1 verwaarloosd mag worden.

Onze algemeene formule

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P_1 + P_2}{r_1 + r_2}$$

kan derhalve vereenvoudigd worden en luidt dan

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P_1 + P_2}{r_1} = \frac{P}{r_1}$$

Uit het voorgaande is echter ook gebleken, dat r_1 recht evenredig is met de hoeveelheid vaste stof die op het filter is gebracht. Dit is niet te verwonderen, want alle lagen hebben denzelfden weerstand, omdat zij denzelfden graad van samendrukking hebben.

Noemen wij R_1' den weerstand van den koek die gevormd wordt uit 1 c.M³. der vloeistof, die gefiltreerd is bij een drukverschil van P K.G./c.M²., dan is

$$r_1 = \frac{R_1' V}{0}$$

Substitueeren we deze waarde voor r_1 in $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r_1}$

dan krijgen we

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{\frac{R_1' V}{0}} = \frac{P0}{R_1' V}$$

$$V dV = \frac{P_0^2}{R_1'} d\theta$$

$$\int_0^V V dV = \frac{P_0^2}{R_1'} \int_0^\theta d\theta$$

$$\frac{V^2}{2} = \frac{P_0^2}{R_1'} \theta + C_1$$

Voor $V = \text{nul}$ is $\theta = \text{nul}$ dus $C_1 = \text{nul}$

$$V^2 = \frac{2P_0^2}{R_1'} \theta \quad \left(\frac{V}{\theta}\right)^2 = \frac{2P_0^2}{R_1'}$$

Dit stelt voor de vergelijking van een parabool, waarvan V en θ de variabelen zijn.

Zooals uit het nader onderzoek zal blijken, voldoen de $V-\theta$ lijnen ook werkelijk aan de vergelijking van een parabool.

Dit is dus een bevestiging voor het feit, dat de waarde van r_2 zóó gering is, dat r_2 in de formule verwaarloosd kan worden, want anders kon de $V-\theta$ lijn niet aan de vergelijking van de parabool voldoen.

Bovendien weten we

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P_0}{R_1' V}$$

$$V \left(\frac{1}{V} \frac{dV}{d\theta} \right) = \frac{P_0}{R_1'}$$

Beschouwen we nu V en $\frac{1}{V} \frac{dV}{d\theta}$ als variabelen, dan stelt deze formule voor de vergelijking van een gelijkzijdige hyperbool, waarvan V en $\frac{1}{V} \frac{dV}{d\theta}$ de asymptoten zijn, want $\frac{P_0}{R_1'}$ is bij een filtratie, die bij constant drukverschil wordt uitgevoerd, constant.

Uit de fig. 8 en 13 komt ook reeds de paraboolvorm ($V-\theta$ lijnen) tot uiting en uit fig. 10 de gelijkzijdige hyperboolvorm.

Nu we weten, dat wanneer $r_2 = \text{nul}$ of nagenoeg gelijk is aan nul, de $V-\theta$ lijnen parabolen moeten zijn, kunnen we nagaan, of onze waarnemingen hieraan ook voldoen.

Het verband tusschen V en θ moet dan voor iedere filtratie voorgesteld kunnen worden door $V^2 = 2a \theta$, waarin $2a$ dan de parameter is. Dat dit werkelijk het geval is, blijkt uit tabel 15, waar voor iedere kolom van tabel 6 het verband tusschen V^2 en θ is aangegeven.

TABEL 15.

V^2	$P = 0,1$		$P = 0,2$		$P = 0,3$		$P = 0,4$		$P = 0,5$		$P = 0,6$		$P = 0,7$	
	θ	$2a$	θ	$2a$	θ	$2a$	θ	$2a$	θ	$2a$	θ	$2a$	θ	$2a$
1.10^6	142	71.10^3	81	123.10^3	53	188.10^3	45	222.10^3	56	178.10^3	35	285.10^3	42	238.10^3
4.10^6	542	74.10^3	342	117	252	159	—	—	210	190	170	235	171	233
9.10^6	1201	75.10^3	765	117	572	157	490	184	468	192	—	—	387	233
16.10^6	2134	75.10^3	1366	117	1026	156	895	179	831	192	740	216	690	232
25.10^6	3335	75.10^3	2129	117	1607	156	1400	178	1305	192	1165	214	1073	233
36.10^6	4815	75.10^3	3067	117	2333	155	2025	178	1889	190	1680	214	1548	232

Uit deze tabel blijkt, dat de waarden voor θ bij $V = 1000 \text{ c.M}^3$, niet aan den paraboolvorm voldoen. Dit vindt zijn oorzaak in het feit, dat bij deze waarnemingstijden een kleine afwijking in den tijd θ — hetzij door waarneming, hetzij door andere oorzaken — een groote fout beteekent ten opzichte van den totaal tijd θ .

Gedurende den korten tijdsduur der filtratie, heeft alle kool, die in het filter gebracht is, waarschijnlijk nog niet aan de koekvorming deelgenomen, doch blijft nog gedeeltelijk gesuspendeerd. Bij geringe koekdikten veroorzaakt deze hoeveelheid procentisch een groote afwijking, om bij dikker wordende koeken tenslotte geheel verwaarloosd te kunnen worden. Aanvankelijk zijn dus de waarden voor θ iets te gering, wat tengevolge heeft, dat de waarden van $2a$ te groot gevonden worden.

Overigens blijken alle waarden van θ ten opzichte van V te voldoen aan de vergelijking van de parabool, hetgeen duidelijk uit tabel 15 blijkt.

Nu we weten, dat alle $V-\theta$ lijnen nagenoeg parabolen zijn, behoeven we geen raaklijnen meer aan de diverse $V-\theta$ krommen te trekken om de waarde van $\cot \alpha$ te bepalen, want het is een eigenschap van een parabool die voldoet aan de vergelijking $V^2 = 2a\theta$, dat een raaklijn aan deze parabool, op een afstand V^1 van de ordinaat getrokken, de abcis snijdt in een punt, waarvan de afstand tot O gelijk is aan $\frac{V^1}{2}$. Zie fig. 17.

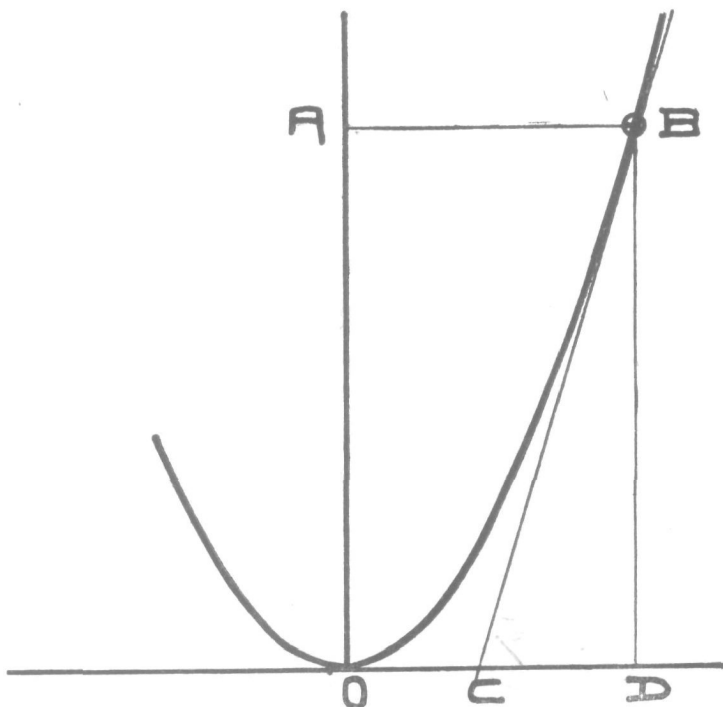


Fig. 17.

Parabool: $V^2 = 2a\theta$
 $AB = V^1$
 $DC = \frac{V^1}{2} = 0C$

De waarde van $\cot \alpha$ kunnen we derhalve direct bepalen en met behulp hiervan corresponderende waarden voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$

en $r_1 + r_2$ berekenen.

Deze waarden zullen dan nauwkeuriger zijn dan de waarden, die we bepaald hebben door langs grafischen weg de waarde van $\cot \alpha$ te bepalen, daar een zekere willekeur bij het teekenen der raaklijnen aan de $V-\theta$ krommen nooit uitgesloten is.

Deze nauwkeurigere waarden voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en $r_1 + r_2$ zijn vereenigd in tabel 16 en tabel 17.

TABEL 16.

Waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ (uitgedrukt in c.M.³ per c.M.² per min.)

Gefiltr. Volume	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,4	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
1000				14,7		18,9	
2000	2,44	3,85	5,25	—	6,30	7,50	7,74
3000	1,65	2,59	3,46	4,05	4,23	—	5,12
4000	1,24	1,93	2,58	2,95	3,19	3,57	3,84
5000	0,99	1,55	2,06	2,36	2,54	2,84	3,08
6000	0,82	1,29	1,70	1,96	2,10	2,36	2,56

Deze waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn als functie van V grafisch voorgesteld in fig. 18.

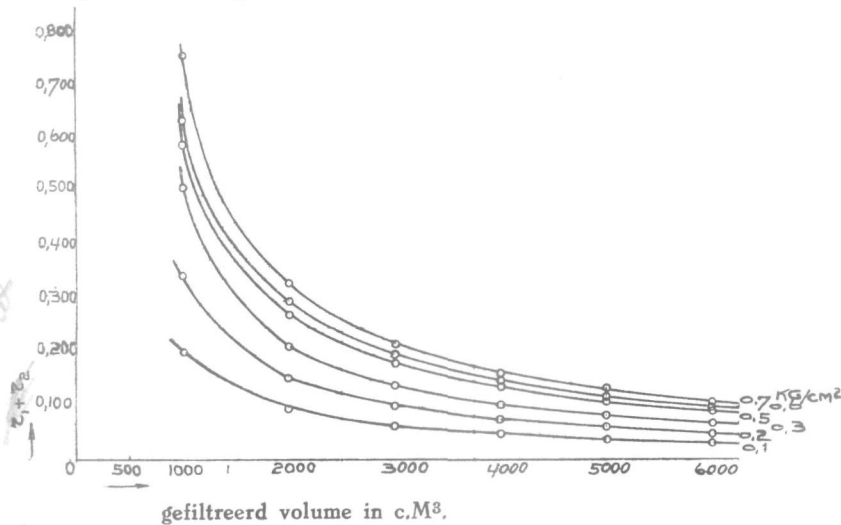


Fig. 18.

Uit deze waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ kunnen we weer de correspondeerende waarden voor $r_1 + r_2$ berekenen

Deze waarden van $r_1 + r_2$ zijn vereenigd in Tabel 17.

TABEL 17.

Gefiltr. volume	P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
1000	—	—	—	—	—	—	—
2000	0,041	0,052	0,057	—	0,079	0,077	0,090
3000	0,061	0,077	0,087	0,100	0,118	—	0,138
4000	0,081	0,104	0,116	0,136	0,157	0,168	0,182
5000	0,101	0,129	0,146	0,169	0,197	0,211	0,227
6000	0,122	0,155	0,176	0,204	0,238	0,254	0,273

Bij een nauwkeurige beschouwing van deze waarden met de waarden van $r_1 + r_2$, die door het teekenen der raaklijnen zijn verkregen, blijkt, dat er practisch geen verschil bestaat.

(c.f. pag. 47).

HOOFDSTUK IV.

BEPALING VAN DEN INVLOED DER KOEKDIKTE.

A. De weerstand is onafhankelijk van de concentratie.

Gedurende de vorige proeven, die verricht zijn en waaruit we waarden voor $r_1 + r_2$ bepaald hebben, is de concentratie steeds even groot geweest.

Men zou nu echter kunnen denken, dat ook de concentratie van invloed zou kunnen zijn op den weerstand, die de koek in een bepaald geval zal krijgen.

Uit het volgende zal echter blijken, dat dit geenszins het geval is, doch dat het alléén de hoeveelheid kool is, die bij een bepaald drukverschil, den weerstand van den koek bepaalt en dat het feit, of een koek van bepaalde dikte ontstaat uit een vloeistof met een groote of kleine concentratie aan vaste stof geen rol speelt.

Teneinde inzicht in dit vraagstuk te krijgen, werden verschillende suspensies gemaakt van carboraffine in water. De temp. bedroeg 20° C.

Als filtermedium werd weer gebruik gemaakt van filterdoek, dat in een fabriek reeds dienst gedaan had voor de filtratie van suikersappen over carboraffine en dat daarna goed was uitgewasschen.

De suspensies bevatten achtereenvolgens:

0,05 0,1 0,25 0,5 1,0 1,5 2 3 5 gr. carboraffine/Liter water en werden gefiltreerd bij een drukverschil van 0,2 K.G./c.M².

De waarnemingen zijn vereenigd in tabel 1 en grafisch voorgesteld in fig. 8.

Aan deze diverse krommen zijn op verschillende punten raaklijnen getrokken, zooals we dit reeds meer gedaan hebben. De cotangens van den hoek tusschen de raaklijn en de abcis is dan gelijk aan $\frac{dV}{d\theta}$ voor het geheele filtreerend oppervlak in het punt waar de raaklijn getrokken is.

We hebben aan elk van deze krommen, die alle $V-\theta$ lijnen bij eenzelfde drukverschil voorstellen, één raaklijn getrokken en wel zóó, dat in alle punten, waar we de raaklijnen teekenden, de hoeveelheid kool op het filter even groot was.

B.v. Na filtratie van 6000 c.M.³ met 0,5 gr. carboraffine per Liter is er op het filter 3 gram en bedraagt $\cot a \frac{141}{61} = 2,20$.

Na filtratie van 3000 c.c. met 1 gr. eponit per Liter is er op ~~er~~ op het filter 3 gram en bedraagt $\cot a \frac{71}{31} = 2,29$ enz.

Om een juist overzicht te krijgen, zullen we eenige waarden voor $\cot a$ die wij bepaald hebben, in onderstaande tabellen vereenigen.

TABEL 18.

Gefiltreerd volume	Concentratie	Gram carboraff. op filter	Cotangens a
6000	0,05 %	3 gram	$\frac{141}{61} = 2,20$
3000	0,1 %	„	$\frac{71}{31} = 2,29$
2000	0,15 %	„	$\frac{45}{20} = 2,25$
1500	0,2 %	„	$\frac{32}{14} = 2,28$
1000	0,3 %	„	$\frac{20}{9} = 2,22$

TABEL 19.

5000	0,1 %	5 gram	$\frac{113}{75} = 1,46$
3333	0,15 %	„	$\frac{76}{49} = 1,55$
2500	0,2 %	„	$\frac{56}{36} = 1,57$
1666	0,3 %	„	$\frac{36}{23,5} = 1,53$
1000	0,5 %	„	$\frac{20}{13} = 1,54$

Deze co tangenten, bepaald bij de diverse krommen op punten, waar de koekdikte onderling gelijk is, vertoonen onderling zoo weinig afwijkingen, dat zij als constant beschouwd mogen worden. De grootste afwijking bedraagt ongeveer 5 %, hetgeen nog juist binnen de nauwkeurigheidsgrens der proef valt. Uit deze waarnemingen mogen we dus de conclusie trekken, dat, binnen de grenzen van druk en filtratiesnelheid bij onze proeven, het volume, waaruit een koek ontstaat, geen invloed heeft op de structuur en derhalve op den weerstand van den koek en dat het alleen de *hoeveelheid* vaste stof is, die bepalend is voor den weerstand van den koek bij filtratie onder constanten druk.

Een bevestiging hiervan vinden we ook bij Hinchley.¹⁾

Deze maakte van $MgCO_3$, $CaCO_3$ en $Ba_3(PO_4)_2$ opschuddingen met verschillende concentraties vaste stof en filtreerde deze opschuddingen onder constanten druk.

Was de filtratie afgelopen, dan bepaalde hij de hoeveelheid vaste stof, die in den gevormden koek aanwezig was.

Het resultaat van zijn onderzoek volgt hieronder.

frail
 purisme
 ↓
 waarom
 dan niet
 spreken over
 „middelen“

¹⁾ Studies in filtration: J. of the Soc. of Chem. Ind. 45, 1 T, (1926).

$MgCO_3$		$CaCO_3$		$Ba_3(PO_4)_2$	
% vaste stof		% vaste stof		% vaste stof	
In vloeistof	In koek	In vloeistof	In koek	In vloeistof	In koek
15	28,6	—	—	18,7	64,2
12,5	27,6	11,4	54,5	16,2	64,4
9,5	29,6	—	—	12,3	64,0
7,0	26,6	4,2	54,6	7,0	64,4
5,0	27,9	—	—	5,5	63,2
3,0	27,8	3,1	54,1	4,5	63,7
2,0	27,4	—	—	3,0	63,8
1,0	27,2	1,1	53,8	2,1	65,2

De concentratie bleek dus, volgens zijne onderzoekingen, geen invloed hebben op het % vaste stof in den koek (en derhalve op de structuur van den koek). Dit stemt volkomen overeen met hetgeen wij hierboven gevonden hebben.

Wij hebben gevonden, dat de concentratie der vaste stof in de vloeistof van geen invloed is op den weerstand van een koek, wanneer hij steeds onder hetzelfde drukverschil gevormd wordt.

Dit sluit in zich, dat dan de structuur ook dezelfde is, daar we anders een grooteren of kleineren weerstand zouden moeten vinden.

Hieruit volgt ook dat de kooldeeltjes, wanneer zij eenmaal deel uitmaken van den koek, die onder constanten druk staat, hun vaste plaats behouden. Zij dringen ook niet bij langere filtratie dieper in het filterdoek door. Was dit wel het geval, dan zou een koek van een bepaalde dikte, die gevormd is uit een groot volume vloeistof met een kleine concentratie aan vaste stof, een grooteren weerstand moeten hebben dan een zelfde koek, die gevormd is uit een klein volume vloeistof met een groote concentratie aan vaste stof. Dit is niet het geval; dus de deeltjes dringen ook niet dieper door.

Dit geldt natuurlijk alleen voor filters en koeken, die volkomen vaststaan en aan geen trillingen onderhevig zijn en voor de vloeistofsnelheden, waarmede wij gewerkt hebben.

B. Invoering der grootheid δ ,

In Hoofdstuk I hebben we gezien, dat de graad van samendrukking van een filterkoek onafhankelijk is van de dikte hiervan. Hieruit is de conclusie gemaakt, dat de weerstand r_1 van den koek recht evenredig is met de hoeveelheid vaste stof, waaruit de koek ontstaan is. Deze conclusie bleek juist te zijn, daar dit feit door alle proeven bevestigd is.

Wanneer we nu een formule willen opstellen over de filtratiesnelheid, is het noodzakelijk hierin de koekdikte of de hoeveelheid vaste stof te vermelden.

Het bepalen der juiste koekdikte (d) in c.M. of m.M. is echter praktisch niet uitvoerbaar.

Immers, wanneer men de dikte wil bepalen van een koek, die onder een bepaald drukverschil gevormd is, moet men eerst het drukverschil opheffen, alvorens men tot meting kan overgaan. De mogelijkheid is hierbij niet uitgesloten, dat, wanneer de koek tengevolge van het drukverschil eenigszins samengedrukt is, de koek zich weer meer of minder ontspant en dat we derhalve niet de juiste koekdikte vinden, die bij een bepaald drukverschil behoort. (Overigens is uit enkele oriënteringsproeven gebleken, dat de samendrukking tengevolge van een betrekkelijk groot drukverschil slechts zéér gering is.) Bovendien zouden wij over zeer nauwkeurige instrumenten moeten beschikken, om de kleine afwijkingen, die door drukverschil veroorzaakt worden, te bepalen. Dat de weerstand, niettegenstaande deze geringe samendrukking, toch zeer veel grooter wordt, kunnen we ons goed indenken, wanneer we filtratie vergelijken met streaming door Poiseuille'sche buizen. Hiervoor geldt (zie pag. 26).

$$Q = \frac{\pi (P_A - P_B) \rho_1^4}{8 L \eta}$$

Wanneer dus, tengevolge van de samendrukking, de gemiddelde openingen tusschen de vaste deeltjes, die we als capillaire buizen kunnen beschouwen, slechts zéér weinig worden verkleind, heeft dit op de stroomsnelheid toch reeds een grooten invloed, daar de stroomsnelheid verandert met de 4e macht van de straal van deze openingen.

De graad van samendrukking is echter afhankelijk van den aard en de structuur van de vaste stof en van de grootte van het drukverschil.

Onafhankelijk van de structuur der vaste stof en onafhankelijk van het drukverschil is echter de hoeveelheid vaste stof, die per c.M². op het filtreerend medium aanwezig is. Deze grootte zullen we aanduiden met δ

Een voordeel, dat aan het invoeren van deze grootte verbonden is, bestaat hierin, dat deze zeer goed aansluit bij feiten, die in de praktijk dikwijls voorkomen, b.v.:

We beschikken over een lagedrukfilter met een filtreerend oppervlak van 40 M². Hierin brengen we eerst, gemengd met water of met suikersap, een hoeveelheid kool, die in drogen toestand 160 K.G. weegt. Er vormt zich dan op het filter een koek en over dezen koek gaat men vervolgens suikersappen filtreren.

Hoe groot de werkelijke dikte van den koek bedraagt, behoeven we nu niet te weten, want

$$\delta = \frac{160.000}{400.000} = 0,4$$

in de veronderstelling dat de kool zich regelmatig over het geheele filter verdeeld heeft.

Onafhankelijk van het drukverschil, waar we nu mede gaan werken, blijft δ steeds gelijk aan 0,4.

Deze grootte is dus geen functie meer van P en de formule van r_1 , die aanvankelijk voorgesteld werd door $r_1 = f(d,P)$, wordt nu $r_1 = \delta f(P)$. (Zie blz. 13.)

HOOFDSTUK V.

INVLOED VAN HET DRUKVERSCHIL OP DEN WEER- STAND VAN FILTERMEDIUM EN FILTERKOEK.

A. Invloed van het drukverschil op den weerstand van het filtermedium.

Wanneer men een bepaalde filtratie wil uitvoeren, moet er bij de keuze van het filtermedium op gelet worden, dat dit voorzien is van een maximaal aantal zoo groot mogelijke openingen, teneinde de vloeistof met de kleinst mogelijke kracht door het filter te kunnen persen.

De grootte der openingen van het filtermedium wordt echter beperkt door de grootte der vaste deeltjes, die verwijderd moeten worden of die men wenscht achter te houden.

In de praktijk is de keuze van filtermedium dan ook nagenoeg beperkt tot filterdoek of filtergaas, in verschillende vormen van uitvoering.

Zooals we gezien hebben, hebben we het drukverschil tusschen de beide zijden van het filtermedium genoemd P_2 . Alvorens na te gaan, welken invloed dit drukverschil P_2 heeft op den weerstand van het filtermedium, zullen we eerst beschouwen welke wetten er voor de strooming door het filtermedium gelden.

We kunnen ons voorstellen, dat het filtermedium bestaat uit een verzameling zeer kleine openingen, waardoorheen, onder het constante drukverschil P_2 , vloeistof stroomt.

In speciale gevallen is de dikte van het filtermedium echter zeer gering (o.a. bij het gebruik van monel metaal), zoodat er dan aanleiding zou kunnen bestaan de strooming door een dergelijk filtermedium te vergelijken met de strooming van een vloeistof uit een vat, waarin een kleine opening is aangebracht en waarvan de hoogte van de vloeistofkolom tot aan de opening constant is.

In dat speciale geval zou voor de strooming door het filtermedium niet gelden de formule

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta} = \frac{P_2}{r_2}, \text{ doch } \frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta} = \sqrt{\frac{2 P_2}{s}}$$

waarin s dan voorstelt het S. G. der vloeistof. Zie Bosscha.¹⁾ c.f. Bryden and Dickey.²⁾

In het algemeen zal een filtermedium echter altijd wel eenigen weerstand bezitten, al is deze ook zeer gering, en zal de formule

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\Theta} = \sqrt{\frac{2 P_2}{s}}$$

die bekend staat onder den naam van wet van Torricelli, niet toegepast mogen worden.

Met ons toestel was het echter niet mogelijk waarnemingen te verrichten over den invloed van het drukverschil op den weerstand van het filtermedium, omdat de waarnemingstijden zóó gering waren, dat de relatieve fouten een overwegenden invloed hadden op de uitkomsten der proefnemingen. Dit heeft echter geen afbreuk gedaan aan den opzet van ons onderzoek, omdat gebleken is dat de weerstand van het filtermedium toch verwaarloosd kan worden ten opzichte van den weerstand van den filterkoek. Dit is ook nog uit verdere proefnemingen gebleken.

Het is echter mogelijk, dat bij filtratie van andere stoffen, dan die door ons zijn onderzocht, de weerstand van het filtermedium een belangrijker rol gaat spelen, dan tot nu toe het geval is geweest. Het zal dan noodzakelijk zijn een nader onderzoek in te stellen naar de verhouding tusschen P_2 en r_2 .

1) Bosscha, Leerboek der Natuurkunde, Leiden 1901, 46—48.

2) Bryden and Dickey, Filtration Easton P. 1923.

B. Invloed van het drukverschil P op den weerstand van den gevormden koek

$$r_1 = (c + kP) \delta$$

Over de betrekking, die er bestaat tusschen den weerstand van den gevormden koek en het drukverschil, loopen de meeningen der verschillende onderzoekers sterk uiteen. Nu eens wordt de weerstand van den filterkoek als een lineaire, dan weer als een exponentieele functie van het drukverschil aangegeven.

Om echter te weten, of het in bepaalde gevallen economisch is, het drukverschil te verhoogen, is het noodzakelijk het verband te kennen, dat er bestaat tusschen den weerstand van den filterkoek r_1 en het drukverschil P.

Was de weerstand onafhankelijk van het uitgeoefende drukverschil, dan zou de filtratiesnelheid steeds evenredig met het drukverschil toe-of afnemen. Dat dit echter niet het geval is, is uit de praktijk genoegzaam bekend.

Uit de waarnemingen, die verkregen zijn door filtratie van diverse koelsuspensies bij diverse drukverschillen, die gedeeltelijk reeds besproken zijn en in het verdere gedeelte nader zullen worden vermeld, zijn wij er in geslaagd, voor drukverschillen van 0,1 tot 0,7 K.G./c.M², een benaderingsformule op te stellen voor de betrekking, die er bestaat tusschen het drukverschil P en den weerstand van den gevormden filterkoek r_1 .

Deze benaderingsformule voldoet zeer goed voor het druktraject, waarover de proeven zijn verricht. Tevens is het mogelijk een redelijke physische verklaring voor deze formule te geven.

Alle proeven, die verricht zijn, werden onder volkomen identieke omstandigheden van temperatuur en concentratie uitge-

voerd. Het drukverschil was de eenige grootheid, die telkens varieerde, zoodat we, bij vergelijking der proeven onderling, alleen met het drukverschil rekening behoeven te houden.

Uit het voorgaande is bekend, dat filterkoeken, die bij diverse drukverschillen gevormd zijn uit eenzelfde willekeurige hoeveelheid ontkleuringskool, verschillende weerstanden bezitten.

Beschouwen we deze weerstanden met betrekking tot de drukverschillen, waarbij de filterkoeken zijn gevormd, dan blijkt, dat er een eenvoudig verband bestaat tusschen den weerstand, die een dergelijke koek bezit en het drukverschil, waaronder hij gevormd is.

Uit den aard der zaak is het mogelijk dat verband te bepalen voor iedere willekeurige koekdikte. Wij hebben echter steeds voor de verdere bepalingen de maximumkoekdikte, die bereikt werd, gekozen, omdat de fouten, die aan de uitvoering der proefnemingen verbonden zijn, bij groote koekdikten relatief den kleinsten invloed hebben.

Zetten we den weerstand, die een bepaalde koek bezit, grafisch uit als functie van het drukverschil, waaronder de koek ge-

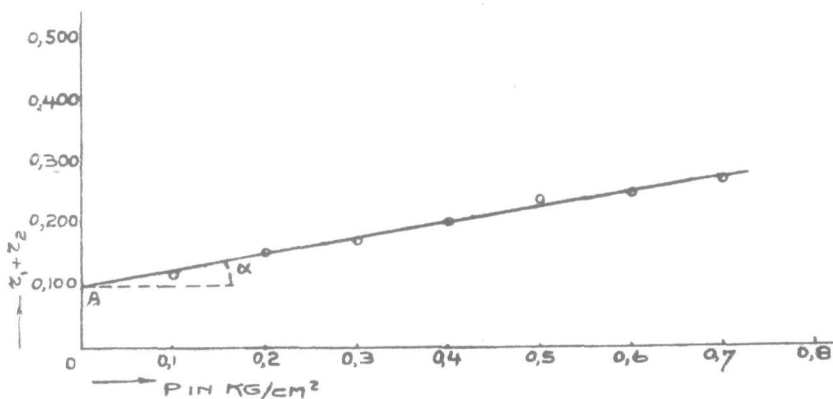


Fig. 19.

1) De gegevens voor deze grafiek vindt men in tabel 10. De waarden van $r_1 + r_2$ die hier zijn uitgezet als functie van P , stellen voor de weerstanden van een koek, die gevormd is uit 42 gr. eponiet.

vormd is, dan blijken de waarden van den weerstand van den koek (r_1) practisch op een rechte lijn te liggen, zooals in fig. 19 is aangegeven. (Zie blz. 47) ¹⁾

Door de fouten, die aan de werkwijze zijn verbonden, liggen de gevonden punten nooit volkomen op een rechte lijn. Teneinde nu onafhankelijk te zijn van een zekere willekeur bij het teekenen der lijn, is steeds gebruik gemaakt van de methode der kleinste quadraten, om de meest waarschijnlijke richting der lijn te bepalen.

Deze rechte lijn voldoet aan de vergelijking

$$r_1 = c_1 + k_1 P$$

waarin c_1 voorstelt het stuk OA, dat door verlenging van de meest waarschijnlijke lijn van de ordinaat wordt afgesneden, terwijl k_1 voorstelt den tangens van den hellingshoek α van de meest waarschijnlijke lijn.

Hadden we bij dezelfde drukverschillen de weerstanden uitgezet van een koek, die tweemaal zoo dik, of tweemaal zoo dun was, dan zouden de resp. waarden voor r_1 ook tweemaal zoo groot of tweemaal zoo klein zijn geweest, want we weten, dat $r_1 = \delta f(P)$, daar de koek in alle deelen homogeen is.

De waarden voor c_1 en k_1 zouden dan ook tweemaal zoo groot of tweemaal zoo klein geworden zijn.

Deze grootheden c_1 en k_1 zijn dus nog geen constanten. Voor iedere koekdikte zouden we een aparte c_1 en k_1 kunnen bepalen.

Uit het bovenstaande blijkt echter, dat

$$c_1 = c \delta \text{ en } k_1 = k \delta$$

waarin c en k dan voorstellen de *constante waarden* der vaste stof voor de eenheid van de koekdikte, die wij hebben aangenomen, d.i. de dikte van een koek, die bij filtratie gevormd wordt uit 1 gram vaste stof, regelmatig verdeeld over een oppervlakte van 1 c.M².

Iedere willekeurige lijn, die we dus voor verschillende koekdikten kunnen bepalen als in fig. 19, kunnen we dus voorstellen door:

$$r_1 = c_1 + k_1 P \text{ of}$$

$$r_1 = (c + k P) \delta$$

waarin c en k dan voor iedere vaste stof *constante waarden bezitten*.

Het zal nu blijken mogelijk te zijn, voor iedere vaste stof van constante samenstelling de waarden van c en k te bepalen en voor altijd vast te leggen. Voor iedere vaste stof zijn deze twee grootheden c en k karakteristiek. Zijn deze grootheden bekend, dan kunnen we te voren bij een filtratie van een vaste stof, die in een vloeistof gesuspendeerd is en waarvan de concentratie bekend is, berekenen, hoe groot de filtratiesnelheid bij een bepaald drukverschil zal zijn, wanneer een zekere hoeveelheid gefiltreerd is.

In het verdere gedeelte, waarin ook de waarden voor c en k uitgerekend zullen worden, zal hiervan een praktische toepassing gegeven worden.

Een inzicht in de physische beteekenis van deze grootheden c en k kunnen we als volgt geven:

c stelt voor de weerstand, die 1 gram der vaste stof (in natten toestand) bezit, wanneer deze hoeveelheid zonder drukverschil op een filtreerend oppervlak van 1 c.M^2 is bezonken.

Het is de weerstand, die de kool (in het algemeen vaste stof) bezit tengevolge van het feit, dat elk deeltje, water aan zijn oppervlak vasthoudt. Deze weerstand zal des te grooter zijn naarmate de gemiddelde grootte der deeltjes kleiner is.

Hoe kleiner de deeltjes immers zijn, des te grooter is de kracht, waarmede het water op het oppervlak wordt vastgehouden. Uit de proeven zal blijken, dat deze kracht bij toenemende fijnheid der deeltjes ook werkelijk grooter wordt, zoodat het experiment niet alleen de formule, maar ook onze verklaring van de physische beteekenis der grootheid c bevestigt.

k (de tangens van den hellingshoek der rechte lijn, die bepaald is voor een hoeveelheid kool van 1 gram per c.M^2 filtreerend oppervlak), stelt voor de coëfficiënt van het drukverschil.

Deze coëfficiënt geeft aan hoe de weerstand van deze hoeveelheid kool zich wijzigt bij verandering van drukverschil.

Deze grootheid heeft betrekking op de veranderingen in de openingen, die er bestaan tusschen de vaste deeltjes.

Hoe grooter de vaste deeltjes zijn, des te grooter zullen ook de openingen tusschen deze deeltjes zijn.

Bij verhooging van drukverschil zullen alle deeltjes vaster op elkaar gedrukt worden en zullen dus de capillaire openingen, die er tusschen de vaste deeltjes bestaan, verkleind worden.

Een kleine absolute verandering in de gemiddelde doorsnede der capillaire openingen, zal echter bij fijnere stoffen procentisch meer invloed hebben op den weerstand dan bij grovere stoffen.

Het zal blijken, dat de grootheid k bij fijnere stoffen weer een grootere waarde bezit dan bij grovere, hetgeen met de boven gegeven verklaring in overeenstemming is.

Ook hier blijkt de grootheid k in laatste instantie weer een functie te zijn van de gemiddelde grootte der deeltjes, want hoe fijner de stof is, hoe grooter k wordt.

In de formule $r_1 = \delta f(P)$ is $f(P)$ dus gelijk aan $c + kP$, waarin c en k beide constanten zijn, die een functie zijn van de gemiddelde fijnheid der stof.

C. Bepaling der waarden van c en k van eponit.

Voor de bepaling van de waarden van c en k beschikken we over een zeer groot cijfermateriaal (Zie tabel 17).

Theoretisch is het mogelijk, uit elke twee waarnemingen, die bij dezelfde koekdikte, doch bij verschillend drukverschil zijn

$$\text{bij drukverschil } P \text{ geldt: } r_1 = (c + kP) \delta$$

$$\text{" " " } P' \text{ " } r_1' = (c + kP') \delta$$

uitgevoerd, de waarde van c en k te bepalen, want

$$r_1 - r_1' = k \delta (P - P')$$

$$k = \frac{r_1 - r_1'}{\delta (P - P')}$$

k is de eenige onbekende en derhalve te berekenen. Substitutie van deze waarde voor k geeft

$$c = \frac{r_1' P - r_1 P'}{\delta (P - P')}$$

c is derhalve ook te berekenen. Zooals wij echter inzien, stuit deze manier practisch op groote moeilijkheeden. Voor de berekening van c en k zullen we derhalve de methode der kleinste quadraten toepassen. We kiezen voor deze bepaling de waarden van r_1 , die bij de diverse drukverschillen bij de grootste koekdikte zijn bepaald, omdat de werkfouten hierbij relatief den kleinsten invloed hebben gehad.

Op pag. 58 hebben we voor de maximum koekdikten bij verschillende drukverschillen de volgende waarden voor r_1 gevonden.

P	$r_1 = (c + kP) \delta$
0,1 K.G./c.M ² .	0,122
0,2	0,155
0,3	0,176
0,4	0,204
0,5	0,238
0,6	0,254
0,7	0,273

Deze waarden van r_1 zijn gevonden bij filtratie door een koek, die gevormd was uit 42 gram eponit en een oppervlak van 45.34 c.M². bezat.

$$\delta \text{ is dus } \frac{42}{45,34} = 0,926$$

Toepassing der kleinste quadraten geeft:

No.	P	(c+kP) δ	P ²	P (c+kP) δ
1	1 $\times 10^{-1}$	122. 10 ⁻²	1 $\times 10^{-2}$	122. 10 ⁻⁴
2	2 "	155 "	4 "	310 "
3	3 "	176 "	9 "	528 "
4	4 "	204 "	16 "	816 "
5	5 "	238 "	25 "	1190 "
6	6 "	254 "	36 "	1524 "
7	7 "	273 "	49 "	1911 "

$$\Sigma P = 28.10^{-1} \quad \Sigma (c+kP) \delta = 1422.10^{-2} \quad \Sigma P^2 = 140.10^{-2} \quad \Sigma P(c+kP) \delta = 6401.10^{-4}$$

$$c\delta = \frac{28.10^{-1} \cdot 6401.10^{-4} - 1422.10^{-2} \cdot 140.10^{-2}}{28^2 \cdot 10^{-2} - 7.140.10^{-2}} \quad k\delta = \frac{28.10^{-1} \cdot 1422.10^{-2} - 7.6401.10^{-4}}{28^2 \cdot 10^{-2} - 7.140.10^{-2}}$$

$$c\delta = \frac{28.6401 - 1422.140}{28^2 - 7.140} 10^{-3} \quad k\delta = \frac{28.1422 - 7.6401}{28^2 - 7.140} 10^{-2}$$

$$c\delta = \frac{19852}{196} 10^{-3} \quad k\delta = \frac{4991}{196} 10^{-2}$$

$$c\delta = 0,101 \quad k\delta = 0,255$$

$$c = \frac{0,101}{0,926} \quad k = \frac{0,255}{0,926}$$

$$c = 0,109 \quad k = 0,275$$

De meest waarschijnlijke lijn, die dus door de gevonden waarden van r_1 getrokken kan worden, wordt dus voorgesteld door:

$$r_1 = 0,101 + 0,255 P.$$

Bij substitutie van P vinden we de volgende waarden.

P in KG/cM ²	$r_1 = (c+kP) \delta$ experimenteel bepaald	$r_1 = (c+kP) \delta$ berekend
0,1	0,122	0,126
0,2	0,155	0,152
0,3	0,176	0,177
0,4	0,204	0,203
0,5	0,238	0,228
0,6	0,254	0,254
0,7	0,273	0,279

D. Invloed van kloppen of schudden.

Bij het filtreren zijn de vaste deeltjes aanvankelijk in de vloeistof gesuspendeerd, waar zij zich vrij kunnen bewegen. Hebben zij het filtermedium of den gevormden koek eenmaal bereikt, dan worden zij door de werking van het drukverschil op het filtermedium of op den reeds gevormden koek gedrukt.

In het algemeen zullen de deeltjes, die onderling verschillen in vorm en grootte, zich niet zóó rangschikken, dat het maximum aantal deeltjes in een gegeven ruimte gaat.

Hiervan hebben we een voorbeeld in de CaCO_3 koeken van een suikerfabriek. Een CaCO_3 -koek die oogenschijnlijk tamelijk droog is, en zich gemakkelijk laat breken, kan door schudden tot een natte brei vervormd worden. De moederloog of het waschwater wordt door het schudden vrijgemaakt uit de openingen, die er tusschen de deeltjes onderling bestaan. De deeltjes rangschikken zich door het schudden zóó, dat zij een veel kleiner volume innemen. Zie ook „De Ingenieur”.¹⁾

Een logisch gevolg hiervan is, dat na het schudden de tusschenruimten waar de vloeistof doorheen moet stroomen, veel kleiner worden en dat een dergelijke koek een veel grooteren weerstand aan de vloeistofstroom zal bieden.

Dit is dus de reden, waarom bij het filtreren de filters — onafhankelijk van het type, dat men gebruikt — volkomen moeten vast staan en aan geen trillingen onderhevig mogen zijn.

Ook op het laboratorium zijn voor de vermelde filtratieproeven geen reproduceerbare waarden te verkrijgen, als het filter niet volkomen vaststaat.

Wanneer we gedurende een filtratie een zeer groote stroomsnelheid hebben, (een z.g. turbulente stroom), zullen de vaste deeltjes een zekere neiging hebben om zich in de stroomlijnen te richten.

¹⁾ Dr. Ir. Versluys. De Ingenieur 45, 589, (1926) Loopzand en drijfzand.

Een daarmee samenhangend verschijnsel vindt men in het feit, dat sommige neerslagen doorloopen, wanneer men bij een hoogen aanvangsdruk begint te filtreeren. Begint men bij een lagen aanvangsdruk en voert men dan den druk langzaam op, dan loopt het filter helder.

Hiervoor kan de volgende verklaring gegeven worden:

Tengevolge van de grootere stroomsnelheid, die de vloeistof bij groot drukverschil heeft, komen de deeltjes eenigszins „gericht” voor de openingen van het filtermedium en gaan door de openingen heen.

Bij klein drukverschil daarentegen bezinken de vaste deeltjes „ongericht” op het filtermedium en maken hiervan de openingen zóóveel kleiner, dat, wanneer de druk wordt opgevoerd, de deeltjes niet meer door de verkleinde openingen van het filtermedium heen kunnen.

Bovenstaande opmerkingen hebben wij hier medegedeeld, ten-einde daarnaar bij de mededeeling der hierna volgende proeven te kunnen verwijzen.

HOOFDSTUK VI.

A. Proeven met Carboraffine.

Ten einde bij carboraffine den invloed van het drukverschil te bepalen, werden met deze stof een reeks bepalingen uitgevoerd, die geheel identiek waren aan de proeven die met eponit zijn verricht, c.f. pag 44

De waarnemingstijden zijn vereenigd in tabel 20.

Tabel 20.

Gefiltr. volume	Gr. carb. op filter	P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
500	3,5	105	61	—	—	25	—	17
1000	7	505	—	—	—	150	—	120
1500	10,5	1185	815	483	355	375	320	290
2000	14	2160	1427	921	700	680	590	550
2500	17,5	—	—	—	—	—	—	—
3000	21	4890	3109	2155	1680	1545	1390	1265
3500	24,5	6885	4215	2955	2310	2100	1905	1755
4000	28	8970	5505	3890	3050	2760	2490	2300
4500	31,5	—	—	—	—	—	—	—
5000	35	13770	8595	6120	4820	4285	3870	3585
5500	38,5	16590	10425	7400	5820	5180	—	4330
6000	42	19740	12390	8875	6940	6160	5710	5155

Nadat telkens bij ieder drukverschil 6000cc. der carboraffine suspensie gefiltreerd was, werd, evenals dat bij eponit is gebeurd,

zuiver water over de gevormde koeken gefiltreerd, zonder aan de lucht gelegenheid te geven in het filter binnen te dringen. De tijden, die noodig waren om bij de verschillende drukverschillen telkens 250 c.M³. water te filtreren, zijn vermeld in tabel 21.

Tabel 21.

Gefiltr. volume	Gr. carb. op filter	P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
250	42	1560	960	725	585	500	465	420
250	42	—	—	735	580	500	470	425

Ten einde na te gaan, in hoeverre deze proeven bij duplo bepalingen corresponderende waarden gaven, werden er eenige nauwkeurig herhaald.

De waarnemingen dezer duplo bepalingen zijn weer vereenigd in onderstaande tabellen.

Tabel 22.

Gefiltr. volume	Gr. carb. op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
500	3,5	105	50	37	27	—
1000	7	520	285	210	156	138
1500	10,5	1220	705	520	372	325
2000	14	2210	1290	940	675	590
2500	17,5	—	—	—	—	—
3000	21	4940	3030	2125	1535	1340
3500	24,5	6750	4120	2910	2110	1825
4000	28	8820	5340	3825	2765	2385
4500	31,5	—	—	—	—	—
5000	35	13660	8220	6040	4325	3710
5500	38,5	16440	9920	7300	5225	4470
6000	42	19500	11775	8635	6225	5310

Tabel 23.

Gefiltr. volume	Gr. carb. op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
250	42	1590	965	715	515	435
250	42	—	970	720	515	440

Bij vergelijking van de cijfers der tabellen 22 en 23 met die van 20 en 21 blijkt, dat deze onderling goed overeenkomen, en dat de proeven, die op deze manier uitgevoerd worden, reproduceerbare waarden geven.

Het zou nu weer mogelijk zijn uit deze waarnemingen langs grafischen weg de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en hieruit weer de waarde van $r_1 + r_2$ te berekenen, zooals wij dit bij eponit hebben gedaan. Beschouwen we echter nu ook weer de waarden van de gevonden tijden (θ), met betrekking tot het afgefiltreerde vol. (V), dan blijken bij onderzoek de waarden van V en θ nagenoeg weer aan de vergelijking van een parabool te voldoen, hetgeen blijkt uit onderstaande tabel, waarin de waarde van den parameter voor ieder drukverschil zijn aangegeven.

Tabel 24.

Waarde van 2a bij verschillende drukverschillen

Gefiltr. vol.	Gr. carb. op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,4	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
1000	7	20.10 ²	—	58.10 ²	—	67.10 ²	80.10 ²	86.10 ²
2000	14	18 „	28.10 ²	43 „	57.10 ²	59. „	68. „	73. „
3000	21	18 „	29 „	42 „	53. „	58. „	65. „	71. „
4000	28	18 „	29 „	41 „	52. „	58. „	64. „	69. „
5000	35	18 „	29 „	41 „	52. „	58. „	64. „	70. „
6000	42	18 „	29 „	41 „	52. „	58. „	63. „	70. „

Het feit, dat de waarde van 2a voor ieder drukverschil nagenoeg constant is, geeft ons het recht de V— θ lijnen te beschouwen als parabolen en de verschillende berekeningen uit te voeren juist alsof de V— θ lijnen zuivere parabolen waren.

De raaklijnen op een willekeurige afstand V¹ aan een V— θ kromme getrokken, zullen dus de abcis weer snijden op een afstand van O, die gelijk is aan $\frac{V^1}{2}$, daar dit een eigenschap der parabool is.

Bij de berekening van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn ook de tijden der duplo

bepalingen in rekening gebracht voor de berekening van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$

Deze waarden voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn vereenigd in onderstaande tabel 25.

Tabel 25

Gefiltr. volume	Gr. carb. op filter	P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
1000	7	1,29	2,32	3,16	—	4,32	5,29	5,13
2000	14	0,60	0,97	1,42	1,89	1,96	2,24	2,32
3000	21	0,40	0,65	0,93	1,18	1,28	1,43	1,52
4000	28	0,30	0,49	0,69	0,87	0,96	1,06	1,13
5000	35	0,24	0,39	0,54	0,69	0,77	0,85	0,91
6000	42	0,20	0,33	0,45	0,57	0,64	0,70	0,76

Fig. 20.

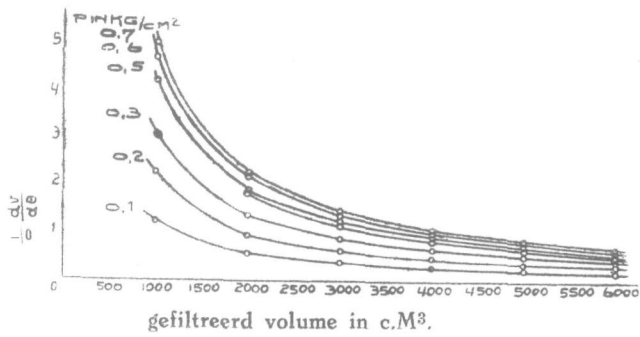
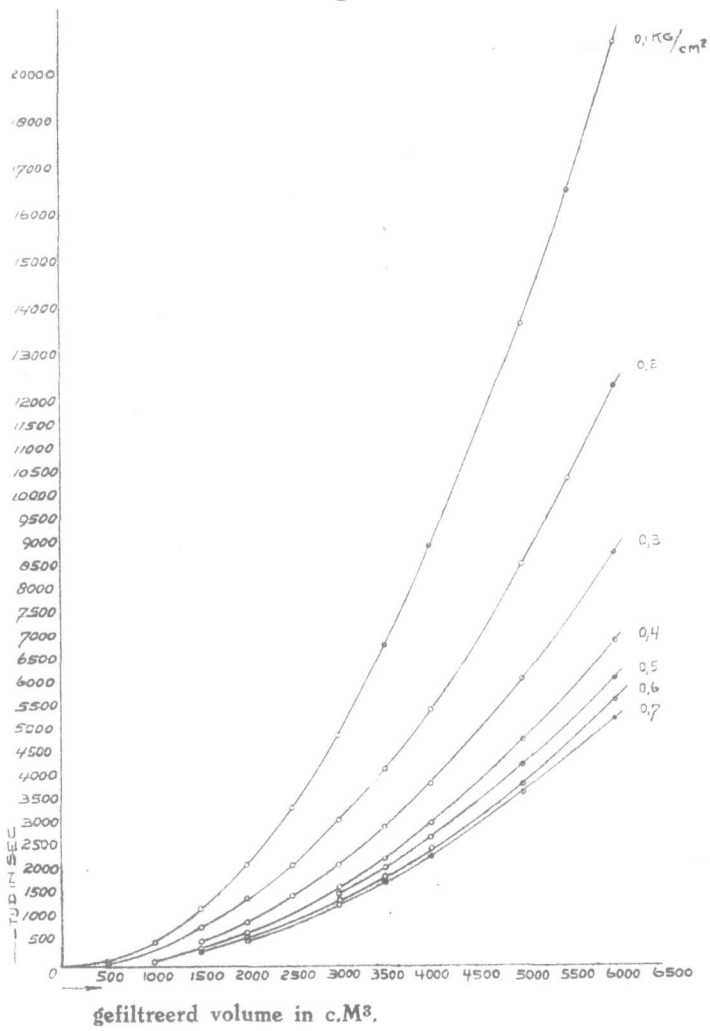


Fig. 21.

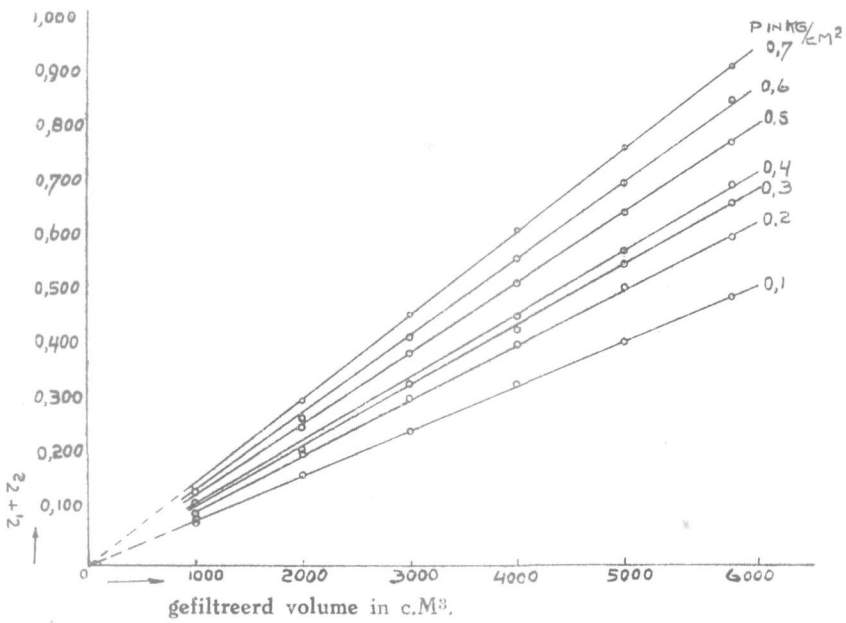


Fig. 22.

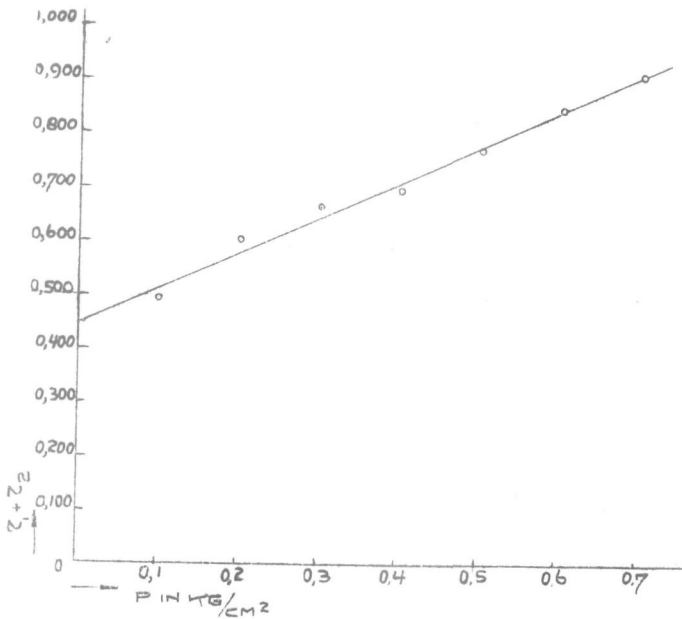


Fig. 23.

Wanneer we $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ berekenen uit de tijden die in tabel 21 vereenigd zijn, vinden we hiervoor de navolgende waarden:
 0,21 0,34 0,46 0,57 0,65 0,71 0,77

We zien dus, dat deze waarden V (bij $V = 6000 \text{ c.M}^3$.) goed overeenkomen met die van tabel 25. De afwijkingen zijn niet grooter dan 5 % ($P = 0,1 \text{ K.G./c.M}^2$).

Uit bovenstaande waarden voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ kunnen we overeenkomstige waarden voor $(r_1 + r_2)$ afleiden. Deze zijn vereenigd in tabel 26.

Tabel 26.

Gefiltr. volume	Gr. carb. op filter	P=0,1	P=0,2	P=0,3	P=0,4	P=0,5	P=0,6	P=0,7
1000	7	0,077	0,086	0,095	—	0,116	—	0,136
2000	14	0,165	0,205	0,212	0,212	0,255	0,268	0,302
3000	21	0,247	0,308	0,333	0,339	0,390	0,420	0,459
4000	28	0,336	0,407	0,435	0,460	0,520	0,566	0,618
5000	35	0,413	0,512	0,555	0,580	0,648	0,706	0,768
6000	42	0,495	0,605	0,668	0,702	0,781	0,857	0,920

Uit de $V - \theta$ proef (fig. 20) hebben wij dus de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ berekend (fig. 21). Zie pag. 80 en 81.

Uit deze berekende waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn weer de corresponderende waarden voor $(r_1 + r_2)$ bepaald (fig. 22).

Door de gevonden waarden van $r_1 + r_2$ grafisch uit te zetten als functie van het drukverschil, verkrijgen we een reeks punten, die nagenoeg weer op een rechte lijn liggen (fig. 23).

Door deze vier grafieken is practisch het gedrag van een vaste stof bij filtratie in beeld gebracht.

Bij toepassing van de methode der kleinste quadraten, ter bepaling van de waarden van c en k (c.f. pag. 72) vinden we voor carboraffine

$$c = 0,484$$

$$k = 0,730$$

B. Proeven met norit.

De uitvoering der proeven was identiek met die der proeven, verricht met eponit en carboraffine. De tijden die noodig waren om verschillende volumina eener norit suspensie onder verschillende constante drukverschillen te filtreeren, zijn vereenigd in tabel 27.

Tabel 27.

Gefiltr. volume	Gr. norit op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,68
500	3,5	—	—	—	—
1000	7	130	60	45	41
1500	10,5	295	147	112	99
2000	14	530	275	210	182
2500	17,5	825	435	340	—
3000	21	1180	625	495	410
3500	24,5	—	—	—	560
4000	28	2070	1125	890	730
4500	31,5	2605	1430	1120	—
5000	35	3210	1770	1380	1150
5500	38 5	3865	2140	1660	1390
6000	42	4580	2545	1970	1655

Na afloop van deze filtraties werd, zonder de proef te stoppen of aan de lucht gelegenheid te geven in den koek in te dringen, zuiver water over de gevormde koeken gefiltreerd en werden de tijden opgenomen, die noodig waren om eenige malen 250 c.M⁶. water te filtreern.

De waarnemingen hiervan zijn vereenigd in tabel 28.

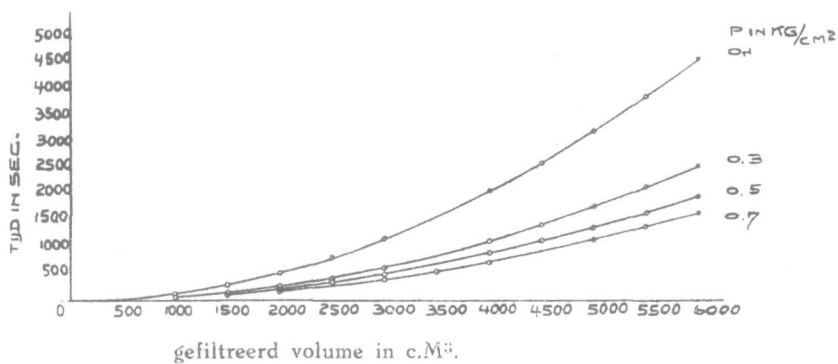


Fig. 24.

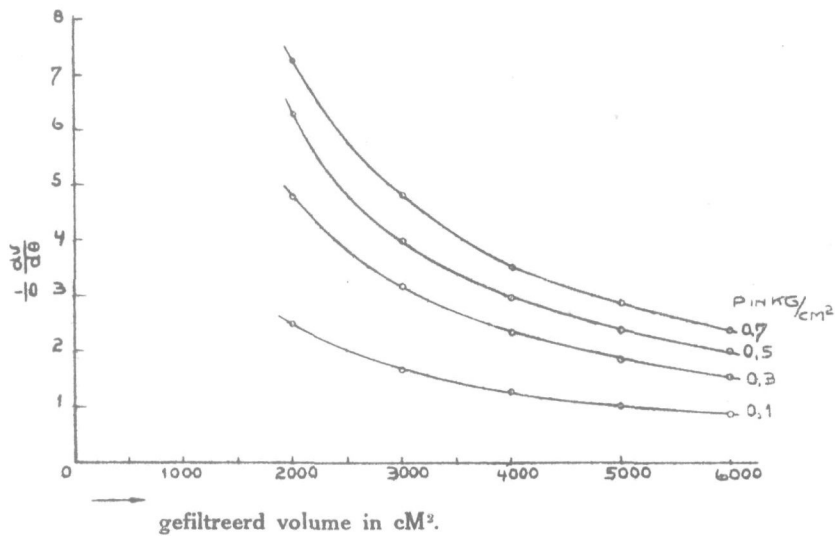


Fig. 25.

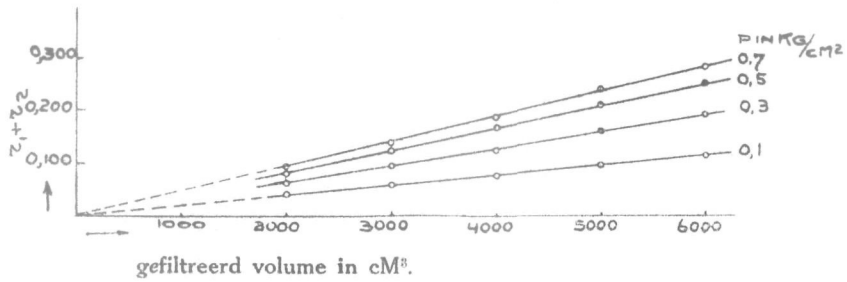


Fig. 26.

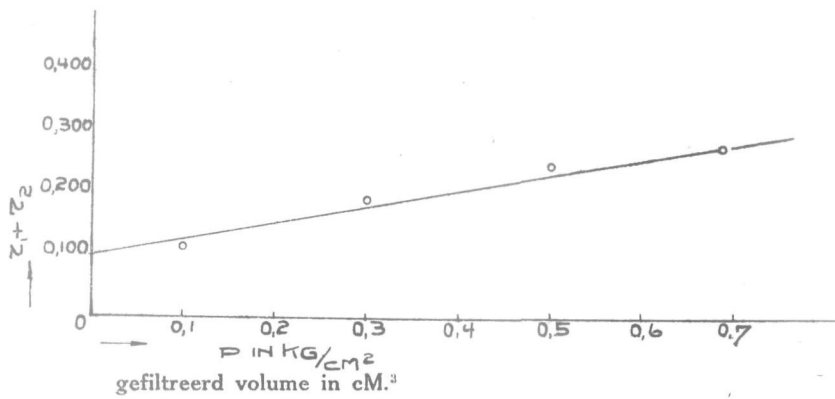


Fig. 27.

Tabel 28.

Gefiltreerd volume	Gr. norit op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,68
250	42	385	220	165	135
250	42	375	220	165	140

Uit de waarnemingen van tabel 28 kunnen we de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ berekenen aan het einde der proef.

Waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ in c.M³. per min. per c.M².

	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,68
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	0,87	1,51	2,00	2,41

Tusschen de waarnemingstijden en de gefiltreerde volumina bestaat er ook bij norit weer een constant verband bij iedere drukverschil, hetgeen we kunnen uitdrukken door

$$V^2 = 2a \theta$$

Zooals uit onderstaande tabel blijkt, is de waarde van 2a 2a voor ieder drukverschil nagenoeg weer constant.

Tabel 29.

Waarden van 2a.

Gefiltreerd volume	Gram norit op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,68
1000	7	77×10^2	167×10^2	222×10^2	244×10^2
2000	14	75×10^2	146×10^2	190×10^2	220×10^2
3000	21	76×10^2	144×10^2	182×10^2	219×10^2
4000	28	77×10^2	142×10^2	180×10^2	219×10^2
5000	35	78×10^2	141×10^2	181×10^2	217×10^2
6000	42	79×10^2	141×10^2	183×10^2	217×10^2

Hieruit zien we dus weer, dat alle V— θ lijnen practisch weer als parabolen beschouwd kunnen worden en dat we derhalve de

berekeningen mogen uitvoeren, juist alsof het parabolen zijn. De fout, die hierdoor zou kunnen worden gemaakt, valt binnen de nauwkeurigheidsgrenzen der proef.

Tabel 30.

Tabel der waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$

Gefiltreerd volume	Gr. norit op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,68
1000	7	—	—	—	—
2000	14	2,50	4,81	6,31	7,28
3000	21	1,68	3,17	4,01	4,83
4000	28	1,28	2,35	2,97	3,63
5000	35	1,03	1,87	2,39	2,87
6000	42	0,87	1,56	2,01	2,40

De waarden die we experimenteel gevonden hebben aan het einde der proef zijn

0,87 1,51 2,00 2,41

zoodat weer blijkt, dat er practisch tusschen deze twee methoden van berekening geen verschil bestaat.

Uit deze waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ kunnen we weer corresponderende waarden van $r_1 + r_2$ vinden. Deze zijn vereenigd in tabel 31.

Tabel 31.

Gefiltreerd vol.	Gr. norit op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,68
1000	7	—	—	—	—
2000	14	0,040	0,062	0,079	0,095
3000	21	0,059	0,095	0,125	0,141
4000	28	0,078	0,127	0,168	0,187
5000	35	0,097	0,160	0,209	0,240
6000	42	0,115	0,192	0,249	0,283

Ook hier kunnen we het gedrag van norit grafisch voorstellen in dezelfde 4 grafieken, die we ook voor eponit en carboraffine gegeven hebben. Zie fig. 24, 25, 26 en 27 c.f. tabel 27, 30 en 31.

Bij toepassing van de methode der kleinste quadraten, ter bepaling van de waarden van c en k (c.f. pag. 72) vinden we voor norit

$$c = 0,103$$

$$k = 0,313$$

C. Proeven met nobrac.

Bij een vroeger onderzoek ¹⁾ had de ontkleuringskool *nobrac* een aanmerkelijk ander gedrag getoond, dan de ontkleuringskolen norit en carboraffine.

Daarom werd ook nu met deze ontkleuringskool een serie proefnemingen gedaan, identiek aan die met eponit, carboraffine en norit, teneinde na te gaan, of deze koolsoort aan dezelfde filtratiewet voldeed, ofwel afwijkingen hiervan vertoonde.

De uitvoering der proeven was weer geheel identiek aan de voorafgaande. De waargenomen tijden zijn vereenigd in tabel 32.

Tabel 32.

Gefiltreerd vol.	Gr.nobrac op filter.	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
500	3,5	—	—	—	—	—	—
1000	7	325	190	128	111	103	87
1500	10,5	765	534	335	266	244	213
2000	14	1365	860	618	481	443	395
2500	17,5	—	—	—	—	—	—
3000	21	3065	1940	1420	1094	1004	900
3500	24,5	4185	2640	1940	—	1369	1230
4000	28	5455	3450	2525	1936	1788	1610
4500	31,5	—	—	—	—	—	—
5000	35	8500	5365	3945	3014	2786	2495
5500	38,5	10260	6480	4765	3629	3364	3005
6000	42	12180	7700	5640	4302	3999	3575

Na afloop van deze filtraties werd de proef niet beëindigd, doch zonder aan de lucht gelegenheid te geven in het filter binnen te dringen, werd zuiver water over de gevormde koeken gefiltreerd en werden de tijden opgenomen, die noodig waren

¹⁾ H. I. Waterman and A. Dauvillier, Rec. Trav. Chim. 45, 628, (1926).

om telkens 250 c.M³. water door den gevormden koek te filtreren. Deze zijn vereenigd in tabel 33.

Tabel 33.

Gefiltreerd volume	Gr.nobrac op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
250	42	1015	630	480	360	327	300
250	42	1015	625	480	355	328	300

Hieruit berekenen we de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ aan het einde der filtratie.

Tabel 34.

	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	0,33	0,53	0,69	0,93	1,01	1,10

Ook bij nobrac blijkt er tusschen de gefiltreerde volumina en de waargenomen tijden voor ieder drukverschil weer een constante verhouding te bestaan, die uitgedrukt kan worden door

$$V^2 = 2a \theta$$

Om dit duidelijk te maken, zijn de benaderde waarden van 2a voor ieder drukverschil in onderstaande tabel vereenigd.

Tabel 35.

Waarde van 2a bij diverse drukverschillen.

Gefiltreerd volume	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
1000	31×10^2	52×10^2	78×10^2	90×10^2	97×10^2	114×10^2
2000	29×10^2	47×10^2	65×10^2	83×10^2	90×10^2	101×10^2
3000	29×10^2	46×10^2	63×10^2	82×10^2	90×10^2	100×10^2
4000	29×10^2	46×10^2	63×10^2	83×10^2	89×10^2	99×10^2
5000	29×10^2	47×10^2	63×10^2	83×10^2	89×10^2	100×10^2
6000	30×10^2	47×10^2	64×10^2	84×10^2	90×10^2	100×10^2

Uit het feit, dat bij ieder constant drukverschil de parameter

Fig. 28.

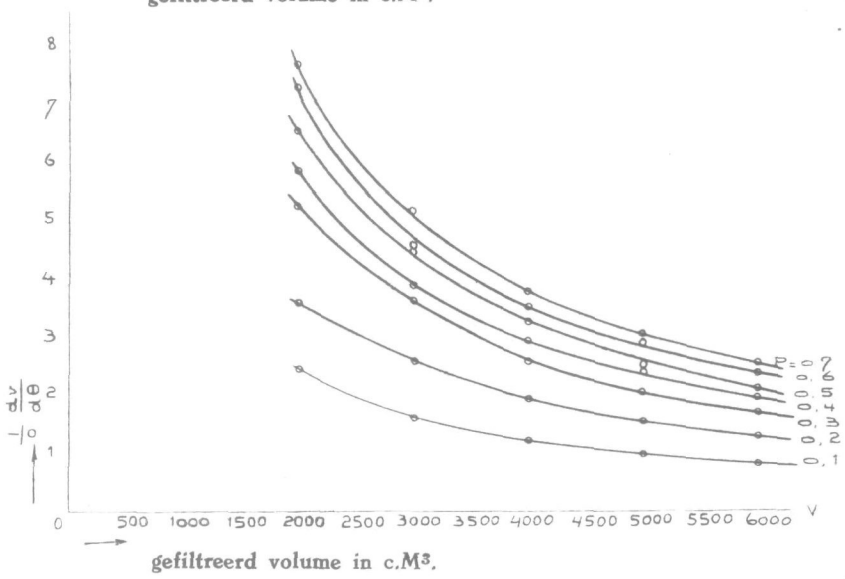
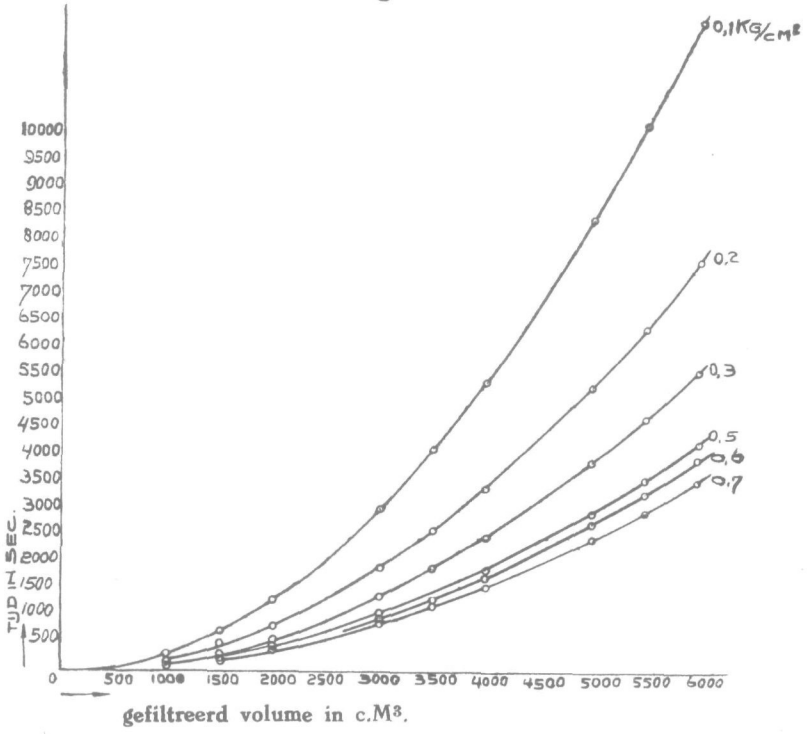


Fig. 29.

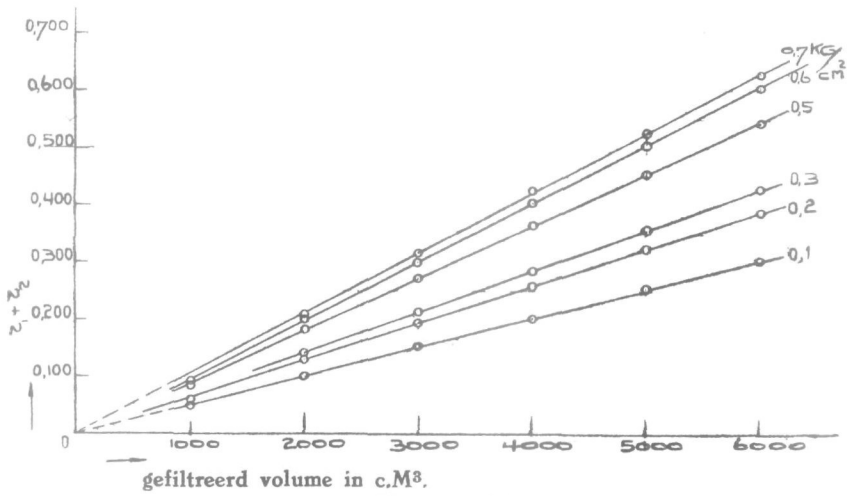


Fig. 29.30.

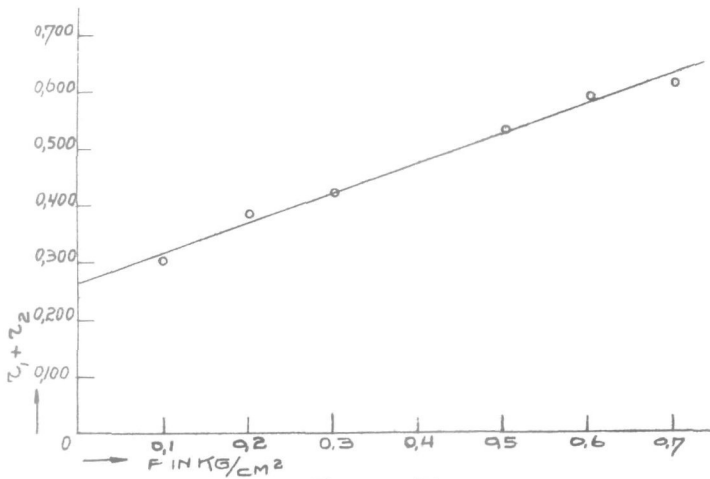


Fig. 30.31.

geen grootere afwijkingen vertoont, dan met den nauwkeurighedsgraad der proeven overeenkomt, mogen we de $V-\theta$ krommen als zuivere parabolen beschouwen en de verdere berekeningen weer in deze veronderstelling uitvoeren.

De waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn vereenigd in tabel 36.

Tabel 36.

Gefiltreerd vol.	Gr.nobrac op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
1000	7	2,04	3,47	5,17	5,96	6,42	7,63
2000	14	0,97	1,54	2,15	2,75	2,99	3,35
3000	21	0,65	1,02	1,40	1,83	1,98	2,21
4000	28	0,49	0,77	1,05	1,37	1,48	1,64
5000	35	0,39	0,62	0,84	1,10	1,19	1,33
6000	42	0,33	0,51	0,70	0,92	0,99	1,11

Vergelijken we de uitkomsten der berekening van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ bij $V = 6000$ met de waarden, die wij vermeld zien in tabel 34, dan blijkt er ook hier geen noemenswaard verschil te bestaan tusschen deze twee bepalingmethoden.

Uit de gegevens van tabel 36 volgen weer overeenkomstige waarden voor $r_1 + r_2$. Deze zijn vereenigd in tabel 37.

Tabel 37.

Geiltreerd volumen	Gr.nobrac op filter	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,6	P = 0,7
1000	7	0,049	0,058	0,058	0,084	0,093	0,092
2000	14	0,103	0,130	0,139	0,182	0,200	0,209
3000	21	0,153	0,196	0,215	0,273	0,303	0,317
4000	28	0,204	0,260	0,286	0,365	0,405	0,426
5000	35	0,256	0,323	0,357	0,455	0,504	0,527
6000	42	0,303	0,392	0,428	0,544	0,605	0,631

Bij toepassing van de methode der kleinste quadraten, ter bepaling van de waarden van c en k, vinden we voor nobrac

$$c = 0,287 \quad k = 0,590$$

Zetten we de waarden van $r_1 + r_2$ grafisch uit als functie van P, dan liggen de uitgezette punten weer op een rechte lijn. (Zie fig. 31).

Het karakter van de ontkleuringskool nobrac bij filtratie, wordt weer aangegeven door bijgaande vier grafieken. Zie fig. 28, 29, 30, 31.

D. Proeven met mengverhoudingen van eponit en carboraffine.

Uit het onderzoek, dat wij met verschillende ontkleuringskolen hebben verricht, is gebleken dat deze in hun filtratie-eigenschappen sterke afwijkingen vertoonen.

Het bleek echter mogelijk, voor iedere ontkleuringskool een empirische formule af te leiden, de betrekkingen aangevende, die er binnen het onderzochte druktraject bestaan tusschen de grootheden, die bij filtratie een rol spelen.

De grootste afwijkingen vertoonden carboraffine en eponit.

Het is nu van belang te weten of het ook mogelijk is, een dergelijke empirische formule op te stellen voor verschillende mengverhoudingen van carboraffine en eponit, m.a.w. te weten of bij mengverhoudingen ook de eigenschappen van de stoffen, waaruit de mengsels zijn samengesteld, behouden blijven.

Om dit na te gaan werden eenige reeksen proeven gedaan, met verschillende mengverhoudingen van carboraffine en eponit.

Ten einde de uitkomsten der proefnemingen goed te kunnen vergelijken met die der voorafgaande, was de concentratie aan vaste stof even groot als in de vorige proeven (dus altijd 7 gram kool per liter water), terwijl de temperatuur weer 20° C. was.

Er werden drie reeksen proeven verricht en wel

Verhouding
carboraffine : eponit.

1e reeks proeven	.....	1	:	3
2e " "	.....	2	:	2
3e " "	.....	3	:	1

1e reeks proeven.

Er werd een suspensie gemaakt, die 7 gr. ontkleuringskool per liter water bevatte, terwijl de verhouding tusschen carboraffine en eponit was 1 : 3.

De suspensie van dit mengsel werd gefiltreerd met hetzelfde filter en dezelfde filterbasis als bij de voorafgaande proeven.

De drukverschillen waarbij gefiltreerd werd bedroegen achtereenvolgens 0,1, 0,3, 0,5 en 0,7 K.G./c.M².

De waargenomen tijden van deze filtraties zijn vereenigd in tabel 38.

Tabel 38.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1.	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
500	3,5	—	—	—	—
1000	7	115	79	60	53
1500	10,5	350	194	145	125
2000	14	680	354	260	230
2500	17,5	1115	559	420	370
3000	21	1635	824	615	545
3500	24,5	—	—	—	—
4000	28	2970	1479	1095	970
4500	31,5	3790	1879	1390	1225
5000	35	4710	2329	1710	1510
5500	38,5	5710	2809	2070	1810
6000	42	6790	3329	2465	2150

Na deze 6000 c.M³. suspensie gefiltreerd te hebben, werden op dezelfde wijze, zooals vroeger is vermeld, de tijden opgenomen, die noodig waren om 250 c.M³. water over de gevormde koeken te filtreren. Deze tijden zijn vermeld in tabel 39.

Tabel 39.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
250	42	575	275	205	180
250	42	580	275	205	180

Uit deze waarnemingen zien we weer, dat de filtratiesnelheid door een koek, bestaande uit een mengsel carboraffine en eponit,

constant is en blijft, zooals we dit bij carboraffine en eponit afzonderlijk ook geconstateerd hebben.

Uit deze cijfers kunnen we weer $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ berekenen aan het einde der proef.

$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
		42	0,57	1,20	1,61	1,84

Ook hier blijkt er tusschen de waargenomen tijden θ en het gefiltreerd volumen V , voor ieder drukverschil weer nagenoeg een constante verhouding te bestaan, die aangegeven kan worden door: $V^2 = 2a \theta$, hetgeen in onderstaande tabel 40 verduidelijkt wordt.

Tabel 40.

Waarde van 2a bij diverse drukverschillen.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	87 × 10 ²	126 × 10 ²	167 × 10 ²	189 × 10 ²
2000	14	59 × 10 ²	113 × 10 ²	154 × 10 ²	174 × 10 ²
3000	21	55 × 10 ²	109 × 10 ²	146 × 10 ²	165 × 10 ²
4000	28	54 × 10 ²	108 × 10 ²	146 × 10 ²	165 × 10 ²
5000	35	53 × 10 ²	107 × 10 ²	146 × 10 ²	166 × 10 ²
6000	42	53 × 10 ²	108 × 10 ²	146 × 10 ²	167 × 10 ²

Hierbij is op te merken, dat de waarden van 2a bij $V = 2000$ iets grootere afwijkingen vertoonen, dan bij de proeven, die vroeger zijn verricht.

Deze afwijkingen zijn echter niet van dien aard, dat we dezelfde methode ter berekening van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en $r_1 + r_2$ niet zouden mogen toepassen.

De verschillende waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn vereenigd in tabel 41.

Tabel 41.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	5,76	8,37	11,03	12,48
2000	14	1,95	3,74	5,09	5,75
3000	21	1,21	2,41	3,23	3,64
4000	28	0,89	1,79	2,42	2,73
5000	35	0,70	1,42	1,93	2,19
6000	42	0,58	1,19	1,61	1,85

Uit de waarden, die voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ bepaald zijn, hebben we

de corresponderende waarden van $r_1 + r_2$ voor ieder drukverschil en volume berekend. Deze waarden van $r_1 + r_2$ zijn in tabel 42 vereenigd.

Tabel 42.

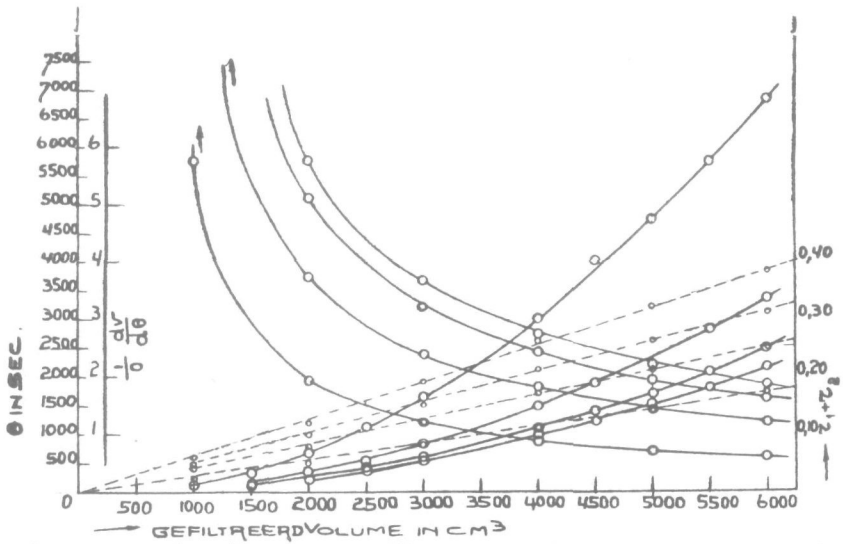
Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	0,02	0,04	0,05	0,06
2000	14	0,05	0,08	0,10	0,12
3000	21	0,08	0,12	0,15	0,19
4000	28	0,11	0,17	0,21	0,26
5000	35	0,14	0,21	0,26	0,32
6000	42	0,17	0,25	0,31	0,38

Zetten we de waarden van $r_1 + r_2$ uit als functie van de koekdikte (gefiltreerd volume), dan blijkt, dat deze lijnen nagenoeg recht zijn en ongeveer door O gaan (zie fig. 35). De weerstand is dus ook bij dit mengsel recht evenredig met de koekdikte en de weerstand van het filtermedium is zóó klein, dat hij verwaarloosd kan worden.

De waargenomen tijden en de waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en $r_1 + r_2$ (zie tabel 38, 41, 42), hebben wij als functie van het gefiltreerde volume grafisch voorgesteld in fig. 32.

Toepassing der methode der kleinste quadraten geeft voor

Fig. 32.



de mengverhouding carboraffine : eponit = 1 : 3 de volgende waarden $c = 0,151$ $k = 0,372$.

2e reeks proeven.

De suspensie bevatte in totaal weer 7 gram kool per liter water, terwijl de verhouding carboraffine : eponit 1 : 1 was. Deze homogene suspensie werd weer gefiltreerd bij een drukverschil van 0,1 — 0,3 — 0,5 en 0,7 K.G./c.M².

De uitkomsten van deze proevenreeks zijn vereenigd in onderstaande tabel.

Tabel 43.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
500	3,5	—	—	—	—
1000	7	240	107	70	61
1500	10,5	585	262	185	161
2000	14	1070	477	340	301
2500	17,5	1680	742	545	481
3000	21	2460	1087	805	706
3500	24,5	—	—	—	—
4000	28	4365	1932	1450	1261
4500	31,5	5550	2442	1850	1601
5000	35	6855	3027	2275	1971
5500	38,5	8295	3662	2770	2381
6000	42	9870	4352	3300	2821

Hierna werd op dezelfde manier als bij 1e reeks proeven water gefiltreerd over de gevormde koeken.

Tabel 44.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
250	42	810	360	275	235
250	42	810	360	275	240

Uit deze laatste waarnemingen berekenen we de grootte van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ aan het einde der proef.

	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	42	0,41	0,92	1,20	1,39

Ook hier zijn de V- θ lijnen nagenoeg weer parabolen, die voldoen aan de vergelijking $V^2 = 2a \theta$.

Tabel 45.

Waarde van 2a bij diverse drukverschillen.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	42 $\times 10^2$	93 $\times 10^2$	143 $\times 10^2$	164 $\times 10^2$
2000	14	37 $\times 10^2$	84 $\times 10^2$	118 $\times 10^2$	133 $\times 10^2$
3000	21	37 $\times 10^2$	83 $\times 10^2$	112 $\times 10^2$	128 $\times 10^2$
4000	28	37 $\times 10^2$	83 $\times 10^2$	110 $\times 10^2$	127 $\times 10^2$
5000	35	36 $\times 10^2$	82 $\times 10^2$	110 $\times 10^2$	127 $\times 10^2$
6000	42	36 $\times 10^2$	82 $\times 10^2$	109 $\times 10^2$	128 $\times 10^2$

Alle berekeningen voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ zijn derhalve weer uitgevoerd, juist alsof de V- θ lijnen zuivere parabolen waren, en vereenigd in tabel 46.

Tabel 46.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	2,76	6,19	9,46	10,85
2000	14	1,24	2,78	3,89	4,40
3000	21	0,81	1,83	2,47	2,81
4000	28	0,61	1,37	1,83	2,10
5000	35	0,48	1,09	1,45	1,68
6000	42	0,40	0,91	1,20	1,41

Hieruit vinden wij weer corresponderende waarden voor $r_1 + r_2$, welke vereenigd zijn in tabel 47.

Tabel 47.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	0,04	0,05	0,05	0,06
2000	14	0,08	0,11	0,13	0,16
3000	21	0,12	0,16	0,20	0,25
4000	28	0,16	0,22	0,27	0,33
5000	35	0,21	0,28	0,34	0,42
6000	42	0,25	0,33	0,42	0,50

De waargenomen tijden en de waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en $r_1 + r_2$ (zie tabel 43, 46, 47) zijn grafisch voorgesteld als functie van het gefiltreerd volume in fig. 33, terwijl in fig. 35 de waarden van $r_1 + r_2$ grafisch zijn uitgezet als functie van P.

Bij berekening van de waarden van c en k met behulp van de methode der kleinste quadraten, vinden wij voor een mengsel carboraffine : eponit = 1 : 1

$$c = 0,223$$

$$k = 0,453.$$

3e Reeks proeven.

Deze reeks proeven was geheel gelijk aan de beide vorige, behalve met dit onderscheid, dat de verhouding carboraffine — eponit nu 3 : 1 bedroeg.

De waarnemingstijden zijn vereenigd in tabel 48.

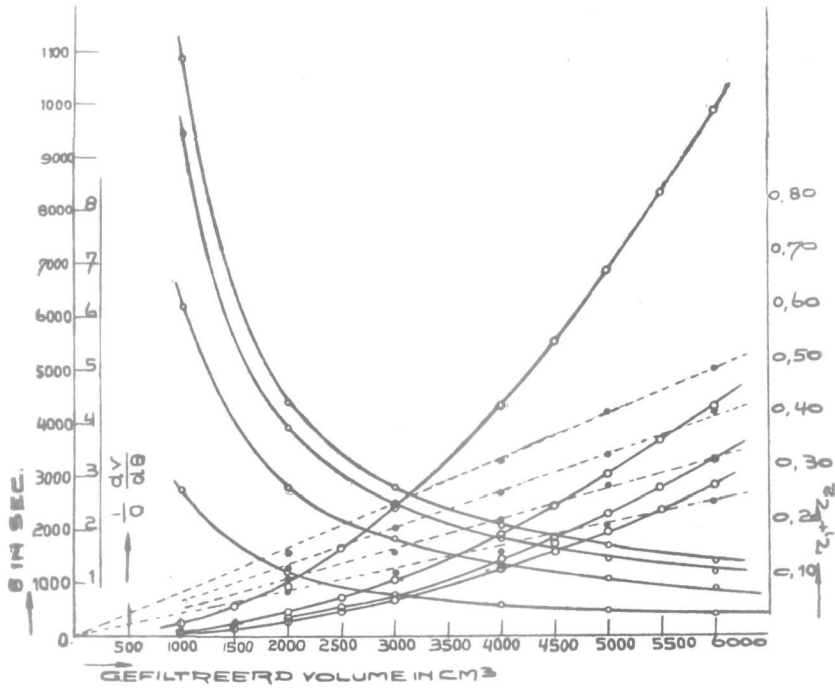


Fig. 33.

Tabel 48.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
500	3,5	—	—	—	—
1000	7	353	150	111	100
1500	10,5	843	360	276	240
2000	14	1538	665	511	445
2500	17,5	2418	1045	811	705
3000	21	3503	1520	1181	1020
3500	24,5	—	—	—	—
4000	28	6218	2725	2121	1825
4500	31,5	7883	3440	2681	2305
5000	35	9748	4245	3306	2835
5500	38,5	11808	5120	3991	3420
6000	42	14058	6085	4736	4055

Bij filtratie van zuiver water van 20° C. over de gevormde koeken bedroegen de tijden:

Tabel 49.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
250	42	1170	505	385	335
250	42	1170	505	380	335

Uit deze waarnemingen berekenen we de waarde van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$
aan het einde der proef.

	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	42	0,28	0,66	0,86	0,99

Bij onderzoek blijken ook hier de waarden van V en θ na-
genoeg aan de vergelijking van de parabool te voldoen, zoals
we dat reeds bij alle voorgaande proeven geconstateerd hebben.

Tabel 50.

$$V^2 = 2a\theta.$$

Waarden van 2a bij diverse drukverschillen.

Gefiltreerd volume	op filter Gram kool	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	28×10^2	67×10^2	90×10^2	100×10^2
2000	14	26×10^2	60×10^2	78×10^2	90×10^2
3000	21	26×10^2	59×10^2	76×10^2	88×10^2
4000	28	26×10^2	59×10^2	75×10^2	88×10^2
5000	35	26×10^2	59×10^2	76×10^2	88×10^2
6000	42	26×10^2	59×10^2	76×10^2	89×10^2

Wij hebben derhalve $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ weer berekend, juist alsof de
V- θ lijnen zuivere parabolen waren en deze waarden veree-
nigd in tabel 51.

Tabel 51.

Gefiltreerd volume	Gram kool op filter	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	1,88	4,42	5,95	6,62
2000	14	0,86	1,99	2,59	2,98
3000	21	0,57	1,31	1,68	1,95
4000	28	0,43	0,97	1,24	1,45
5000	35	0,34	0,78	1,00	1,17
6000	42	0,28	0,65	0,84	0,98

Hieruit hebben wij weer de corresponderende waarden van $r_1 + r_2$ bepaald (zie tabel 52).

Tabel 52.

Gram kool op filter	Gefiltreerd volume	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
1000	7	0,05	0,07	0,08	0,11
2000	14	0,12	0,15	0,19	0,23
3000	21	0,18	0,23	0,30	0,36
4000	28	0,23	0,31	0,40	0,48
5000	35	0,29	0,38	0,50	0,60
6000	42	0,36	0,46	0,60	0,71

De waarnemingstijden en de hieruit berekende waarden voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en $r_1 + r_2$ (zie tabel 48, 51, 52) zijn grafisch voorgesteld

als functie van het gefiltreerd volume in fig. 34, terwijl in fig. 35 de waarden van $r_1 + r_2$ grafisch zijn uitgezet als functie van P.

Bij berekening van de waarden van c en k met behulp van de methode der kleinste quadraten, vinden wij voor een mengsel carboraffine : eponit = 3 : 1.

$$c = 0,318 \quad k = 0,642.$$

Resumeerende blijkt het dat wij langs empirischen weg de volgende waarden vinden voor de constanten c en k van verschillende koolsoorten.

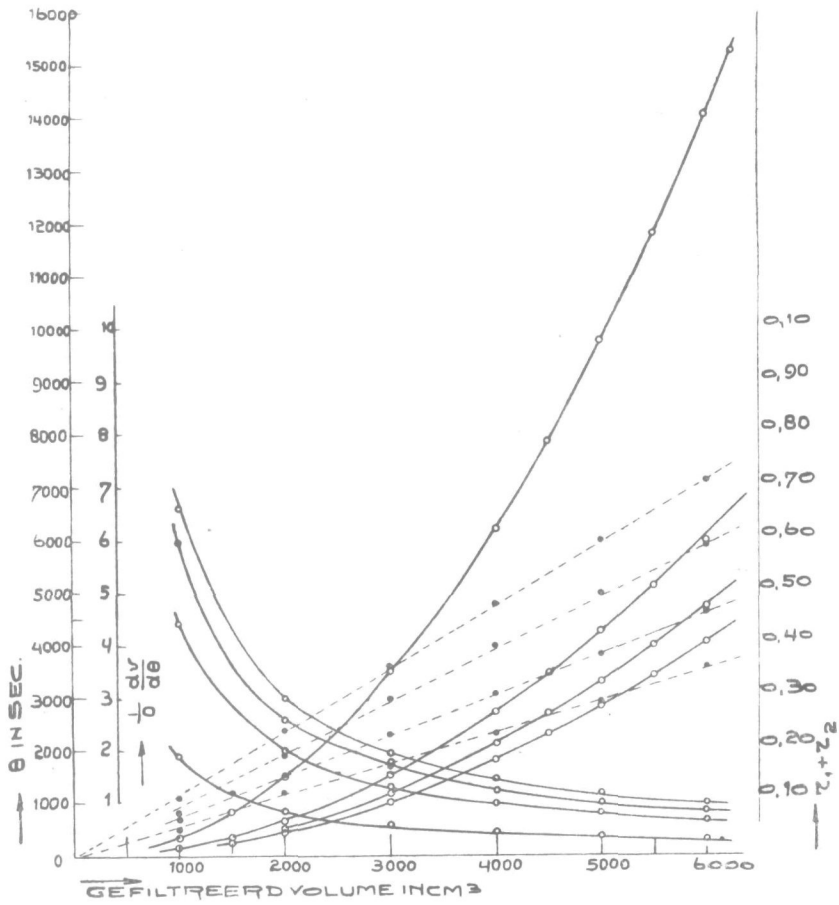


Fig. 34.

	c	k
norit	0,103	0,313
eponit	0,109	0,275
carboraffine : eponit 1 : 3	0,151	0,372
carboraffine : eponit 1 : 1	0,223	0,453
nobrac	0,287	0,590
carboraffine : eponit 3 : 1	0,318	0,642
carboraffine	0,484	0,730

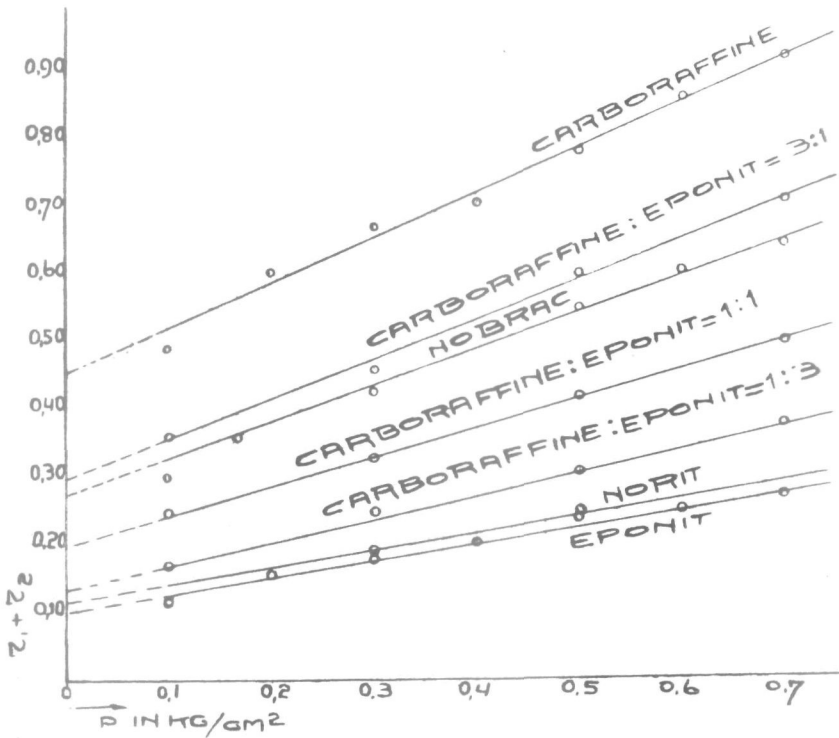


Fig. 35.

Teneinde het onderscheid in filtratie-eigenschappen van verschillende koolsoorten en mengsels hiervan goed te doen uitkomen, hebben wij den weerstand van eenige soorten koeken grafisch voorgesteld als functie van het drukverschil, waaronder zij gevormd zijn. (fig. 35.) Deze koeken zijn alle gevormd uit 42 gr. kool bij een filtreerend opp. van 45,34 c.M².

Het regelmatige verloop der weerstandslijnen doet de veronderstelling rijzen, dat er tusschen c en k een zeker verband bestaat. Wij beschikken echter, vooral bij mengverhoudingen nog over te weinig waarnemingen, om ons hierover een opinie te vormen.

HOOFDSTUK VII.

Al of niet omkeerbaarheid der toestanden bij wisselende drukverschillen.

Uit de proeven, die verricht zijn met suspensies van verschillende soorten ontkleuringskool in water, is gebleken, dat de weerstand van een bepaalde koek steeds grooter wordt, naarmate het drukverschil toeneemt, waaronder de koek gevormd wordt.

Verder is gebleken, dat een koek, ontstaan uit een bepaalde hoeveelheid vaste stof en gevormd onder een zeker constant drukverschil, een weerstand bezit, die te voren reeds bepaald kan worden, op grond van de formule, die wij hebben afgeleid.

Wanneer een koek eenmaal onder een constant drukverschil gevormd is, is het mogelijk en soms om praktische redenen noodzakelijk, het drukverschil weer te verlagen.

Nu weten we echter niet, of de weerstand van den koek bij deze bewerking zal veranderen, en zoo ja, in welken zin.

De mogelijkheid bestaat, dat de koek hierbij weer een gedeelte van zijn weerstand zal verliezen en dat de weerstand bij dit verlaagd drukverschil overeen zal komen met den weerstand, die we op grond van de formule

$$r_1 = (c + kP) \delta$$

bij dit drukverschil mogen verwachten.

Hoe de weerstand zich gedraagt bij verlaging van drukverschil hebben we nagegaan voor verschillende soorten ontkleuringskool.

Om dit na te gaan werd een bepaalde proef, na eerst 6000 c.M³. koalsuspensie en daarna eenige malen 250 c.M³. water gefiltreerd te hebben, niet beëindigd, doch de filtratie van water werd bij lagere drukverschillen voortgezet.

Eenige waarnemingen, die verricht zijn met suspensies van verschillende soorten ontkleuringskool, zijn hier vermeld.

a. Proeven, verricht met eponit.

6000 c.M³. eener eponitsuspensie, die 7 gram kool per liter bevatte, werden gefiltreerd bij een drukverschil van 0,5 K.G./c.M². Hierna werd onder hetzelfde drukverschil over den gevormden koek water gefiltreerd. De tijden, die noodig waren, om eenige malen 250 c.M³. te filtreren, werden opgenomen. Zonder den toevoer van water te onderbreken, werd daarna het drukverschil achtereenvolgens verlaagd op 0,3, 0,2 en 0,1 K.G./c.M². Bij deze verminderde drukverschillen werden eveneens de tijden opgenomen, die noodig waren om 250 c.M³. water over den gevormden koek te filtreren. Al deze waarnemingen hebben wij vereenigd in tabel 53, waarin tevens de hieruit berekende waarden van $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en $r_1 + r_2$, vermeld zijn.

Tabel 53.

	P = 0,5	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1
Tijd noodig om 250 c.M. ³ water te filtr.	160 161	242	375	719
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	2,06	1,37	0,88	0,46
$r_1 + r_2$	0,24	0,24	0,23	0,22

Op dezelfde manier werd een tweede proef verricht, waarvan de uitkomsten zijn vermeld in tabel 54.

Tabel 54.

	P = 0,7	P = 0,5	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1
Tijd noodig om 250 c.M. ³ water te filtr.	131	183	293	435	782
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	2,56	1,81	1,12	0,76	0,42
$r_1 + r_2$	0,27	0,28	0,27	0,26	0,24

De waarden van $r_1 + r_2$, die gevonden zijn bij de vorming van juist denzelfden koek onder diverse drukverschillen, bedragen (zie tabel 17).

	P = 0,7	P = 0,6	P = 0,5	P = 0,4	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1
$r_1 + r_2$	0,27	0,25	0,24	0,20	0,18	0,15	0,12

We hebben deze waarden van $r_1 + r_2$ grafisch uitgezet als functie van het drukverschil (zie fig. 36). De laatste waarden voor $r_1 + r_2$ zijn in fig. 36 door een volle lijn verbonden, terwijl de waarden van $r_1 + r_2$, die in tabel 53 en 54 vermeld staan, door stippellijnen zijn aangegeven.

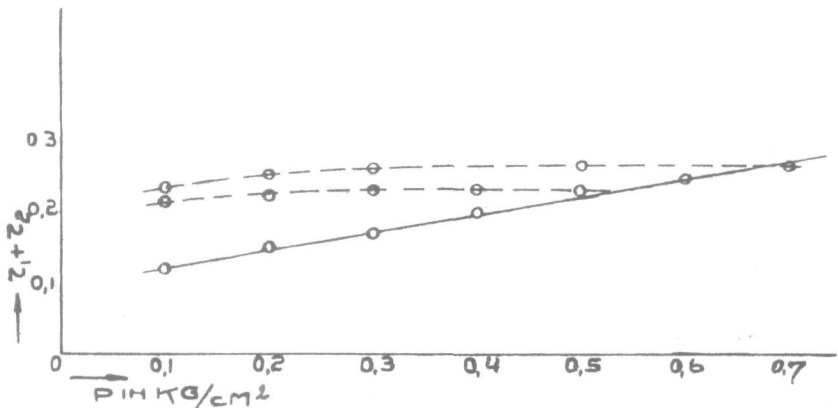


Fig. 36.

b. Proeven, verricht met carboraffine.

De opzet van de eerste proef was geheel aan die met ^{oprit} ~~norit~~ gelijk.

De waarnemingstijden, en de waarden, die hieruit volgen voor $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$ en $r_1 + r_2$, hebben wij vereenigd in tabel 55.

Tabel 55.

	P = 0,5	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1
Tijd noodig om 250 c.M. ³ water te filtr.	500 515	800 810	1165	2160
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	0,64	0,41	0,28	0,15
$r_1 + r_2$	0,78	0,73	0,71	0,67

De volgende proef werd zóó uitgevoerd, dat het drukverschil zeer snel daalde van 0,7 K.G./c.M². op 0,3 K.G./c.M². en daarna op 0,1 K.G./c.M². om na te gaan of de voor drukverlaging benodigde tijdsduur merkbaren invloed heeft op den weerstand van den koek.

De waarnemingen en berekeningen van deze proef zijn vereenigd in tabel 56.

Tabel 56.

	P = 0,7	P = 0,3	P = 0,1
Tijd noodig om 250 c.M. ³ water te filtr.	430	935	2430
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	0,76	0,35	0,14
$r_1 + r_2$	0,92	0,86	0,74

De waarden van $r_1 + r_2$, die gevonden zijn bij de vorming van juist denzelfden koek onder diverse drukverschillen, bedragen (zie tabel 26).

	$P = 0,7$	$P = 0,6$	$P = 0,5$	$P = 0,4$	$P = 0,3$	$P = 0,2$	$P = 0,1$
$r_1 + r_2$	0,92	0,86	0,78	0,70	0,67	0,60	0,59

Zetten we deze waarden van $r_1 + r_2$ en ook die uit tabel 55 en 56 weer grafisch uit, als functie van P (zie fig. 37), dan blijkt

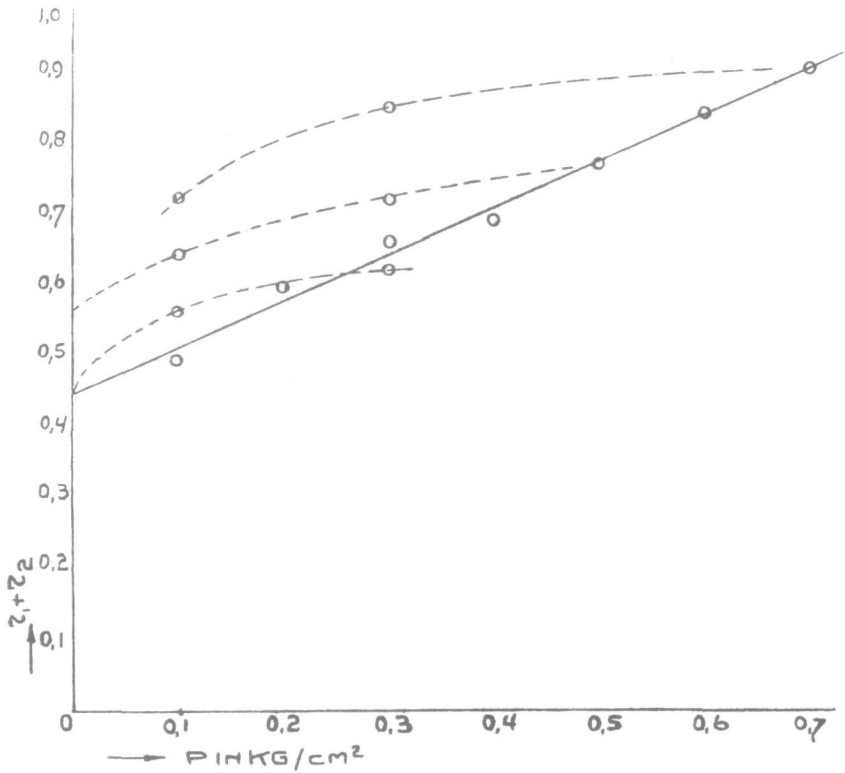


Fig. 37.

duidelijk, zowel bij eponit als bij carboraffine, dat bij afname van drukverschil de weerstand, die in een bepaalden koek achterblijft, aanzienlijk grooter is, dan de weerstand, die ontstaat bij vorming van denzelfden koek onder hetzelfde drukverschil (zie fig. 36 en 37).

De weerstand, die in den koek bij afname van drukverschil

achterblijft, vertoont bij vermindering van drukverschil wel een kleine neiging tot daling, doch het feit, dat bij drukverlaging de weerstand belangrijk grooter blijft, dan men zou verwachten, wijst erop, dat de structuur van den koek, tengevolge van de hogere drukking waaraan hij onderworpen is geweest, anders blijft dan wanneer hij bij een lagere druk gevormd zou zijn. ¹⁾

Het feit, dat de afname niet heel langzaam is kan te wijten zijn aan de blooming van de korrels of verandering van de structuur van de koek.

Om na te gaan of de structuur van den koek zich in zijn oorspronkelijken staat zou herstellen, wanneer de deeltjes weer vrij aan hun lot werden overgelaten, werd de koek, waarmee de laatste proef verricht is, gedurende 24 uur zonder kunstmatigen onderdruk onder water gezet, zonder de lucht evenwel in het filter te laten binnendringen.

Daarna werd weer eenige malen 250 c.M³. water door dezen koek gefiltreerd en werden de tijden opgenomen, die voor deze filtratie noodig waren.

De waarnemingstijden en de berekeningen die hieruit volgen, zijn vereenigd in tabel 57.

Tabel 57.

	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1
Tijd noodig om 250 c.M. ³ water te filtreren.	690	1005	1890
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	0,48	0,33	0,175
$r_1 + r_2$	0,63	0,61	0,57

We zien dat door deze laatste bewerking de weerstanden zóózeer zijn gedaald, dat zij in het gebied der oorspronkelijk bepaalde waarden liggen (zie tabel 26).

¹⁾ Tusschen de gedaanten der twee gestippelde lijnen uit fig. 37 bestaat nagenoeg geen verschil in vorm, zoodat invloed van den tijdsduur niet geconstateerd kon worden. Overigens zouden hiervoor meerdere bepalingen noodig zijn.

Waarschijnlijk hebben de vaste deeltjes, gedurende de 24 uur die zij onder water hebben gestaan, hun oorspronkelijken stand ten opzichte van elkaar weer ingenomen.

Het feit, dat de weerstand van een filterkoek, bij verlaging van druk, aanzienlijk grooter blijft, dan men bij den verminderten druk zou verwachten, is van groot belang voor de praktijk, waar men gewoonlijk groote hoeveelheden vloeistof met beperkte hulpmiddelen wil filtrereen en waar derhalve een groote filtratiesnelheid verlangd wordt.

Wil men snel filtrereen, dan moet men echter niet beginnen met een hoogen aanvangsdruk. Immers, dan vormt zich een koek, die veel weerstand bezit en dezen grooten weerstand bijna geheel behoudt, wanneer de druk soms verlaagd moet worden. Om een groote stroomsnelheid te verkrijgen, moet men derhalve een filter bij een gering drukverschil aanzetten, en daarna het drukverschil geleidelijk opvoeren.

c. Proeven, verricht met nobrac.

De proeven, verricht met nobrac, zijn identiek met de voorgaande, behalve dat hier bij één proef het drukverschil niet alleen werd verlaagd, maar daarna ook evenveel werd verhoogd, zoodat we weer tot den begintoestand terugkeerden.

De waarnemingstijden en de berekeningen, die hieruit volgen, zijn vereenigd in tabel 58 en 59.

Tabel 58.

	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1
Tijd noodig om 250 cM. ³ te filtrereen	480 465	730	1320
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	0,70	0,45	0,25
$r_1 + r_2$	0,43	0,44	0,40

Tabel 59.

	P = 0,7	P = 0,5	P = 0,3	P = 0,1	P = 0,3	P = 0,5	P = 0,7
Tijd noodig om 250 cM ³ te filtreren	300	415	675	1800	665	425	310
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	1,10	0,80	0,49	0,18	0,50	0,78	1,06
$r_1 + r_2$	0,64	0,62	0,61	0,56	0,60	0,64	0,66

De waarden voor $r_1 + r_2$, die gevonden zijn, bij de vorming van juist denzelfden koek onder diverse drukverschillen, be- dragen (zie tabel 37).

	P = 0,7	P = 0,6	P = 0,5	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1
$r_1 + r_2$	0,63	0,60	0,54	0,43	0,39	0,30

Deze laatste waarden van $r_1 + r_2$, alsook die uit de tabellen 58 en 59, zijn grafisch uitgezet als functie van P in fig. 38. Uit deze grafiek blijkt dat nobrac hetzelfde gedrag vertoont als ~~nooit~~ en carboraffine.

eponit

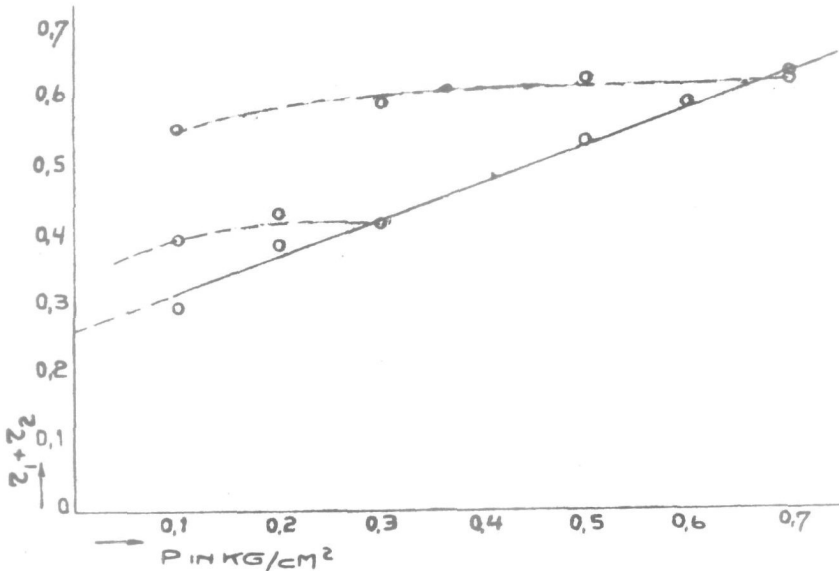


Fig. 38.

Het feit, dat bij vermindering van drukverschil de waarden van $r_1 + r_2$ nagenoeg evenveel dalen, als zij bij verhooging van drukverschil stijgen (zie tabel 59), wijst op het feit, dat de proeven langs de gestippelde lijnen omkeerbaar zijn. Dit zal ook nog bij nadere proeven blijken.

d. Proef, verricht met norit.

De waarnemingstijden en de berekeningen van deze proef, die identiek is aan de voorafgaande, zijn in onderstaande tabellen verenigd.

Tabel 60.

	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3
Tijd in sec, noodig om 250 cm ³ te filtreren	220	315	580	317	225
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	1,50	1,05	0,57	1,04	1,47
$r_1 + r_2$	0,20	0,19	0,18	0,19	0,20

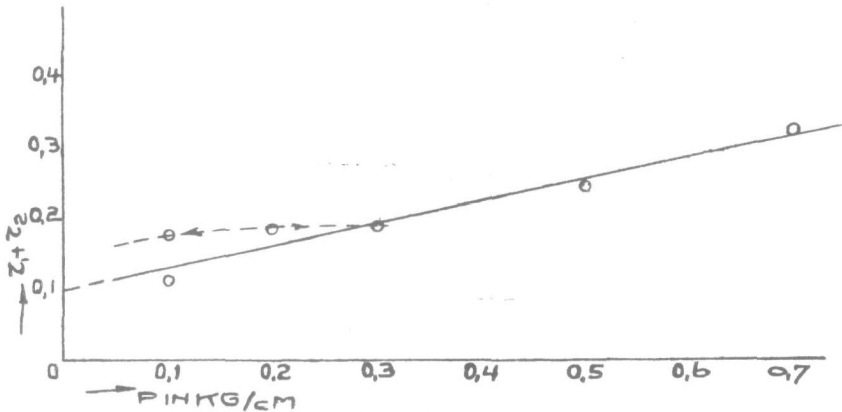


Fig. 39.

In fig. 39 zijn deze waarden voor $r_1 + r_2$ weer aangegeven door een stippellijn, terwijl de waarden voor $r_1 + r_2$, die gevonden zijn bij **vorming** van denzelfden koek onder diverse drukverschillen, met een volle lijn zijn verbonden.

Uit de waarden van tabel 60 blijkt, dat ook bij norit de toe-

standen langs de gestippelde lijn omkeerbaar zijn.

e. Proef, verricht met een mengsel carboraffine en eponit 1 : 1.

De uitvoering van deze proef was weer identiek aan de voorgaande, alleen met dit verschil, dat als vaste stof gebruikt werd een mengsel van gelijke gewichtsverhoudingen carboraffine en eponit.

De waarnemingstijden en de hieruit volgende berekeningen zijn vereenigd in tabel 61.

Tabel 61.

	P = 0,5	P = 0,3	P = 0,2	P = 0,1	P = 0,2	P = 0,3	P = 0,5
Tijd noodig om 250 cM ³ te filtreren	275	430	615	1140	—	435	280
$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta}$	1,20	0,77	0,54	0,29	—	0,76	1,18
$r_1 + r_2$	0,42	0,39	0,37	0,34	—	0,39	0,42

Uit deze cijfers blijkt, dat een mengsel van twee vaste stoffen, bij filtratie, in dit opzicht dezelfde eigenschappen vertoont als de stoffen, waaruit het mengsel is samengesteld.

HOOFDSTUK VIII.

Toepassing der afgeleide formule $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{(c+kP) \delta}$
op een laboratoriumfilterpers.

In de voorafgaande hoofdstukken hebben we gezien, hoe we langs experimenteelen weg gekomen zijn tot de bepaling der constanten c en k voor verschillende soorten ontkleuringskool.

De proeven, die het cijfermateriaal voor deze bepalingen hebben geleverd, zijn echter alle verricht met een filter met $45,34 \text{ c.M}^2$ horizontaal filtreerend oppervlak, dat beschreven is op pag.18.

We wilden echter ook nagaan of de afgeleide formule ook voldeed binnen het onderzochte druktraject (van $0,1$ tot $0,7 \text{ K.G./c.M}^2$ bij toepassing op filterpersen, waarvan het filtreerend oppervlak niet horizontaal, maar vertikaal is aangebracht.

Om dit te onderzoeken werd gebruik gemaakt van een laboratorium filterpers, voorzien van één raam ter dikte van 3 c.M. , en een lengte en breedte van 26 c.M. , zooals in fig. 40 is aangegeven.

De pers was voorzien van een centralen inlaat, waaraan het filterdoek door middel van een moer van 12 c.M^2 oppervlak bevestigd was. Het filtreerend oppervlak van de pers bedroeg derhalve $2 \times 26 \times 26 - 12 = 1340 \text{ c.M}^2$.

Als vaste stof werd bij dit onderzoek gebruik gemaakt van eponit, waarvoor we in het voorgaande de constanten hebben bepaald, n.l. $c = 0,109$ $k = 0,275$.

Het water was van dezelfde temperatuur en het filterdoek van dezelfde samenstelling als bij de voorafgaande proeven.

Teneinde gedurende de filtratie een constant drukverschil in de pers te behouden, werd de suspensie van de ontkleurings-

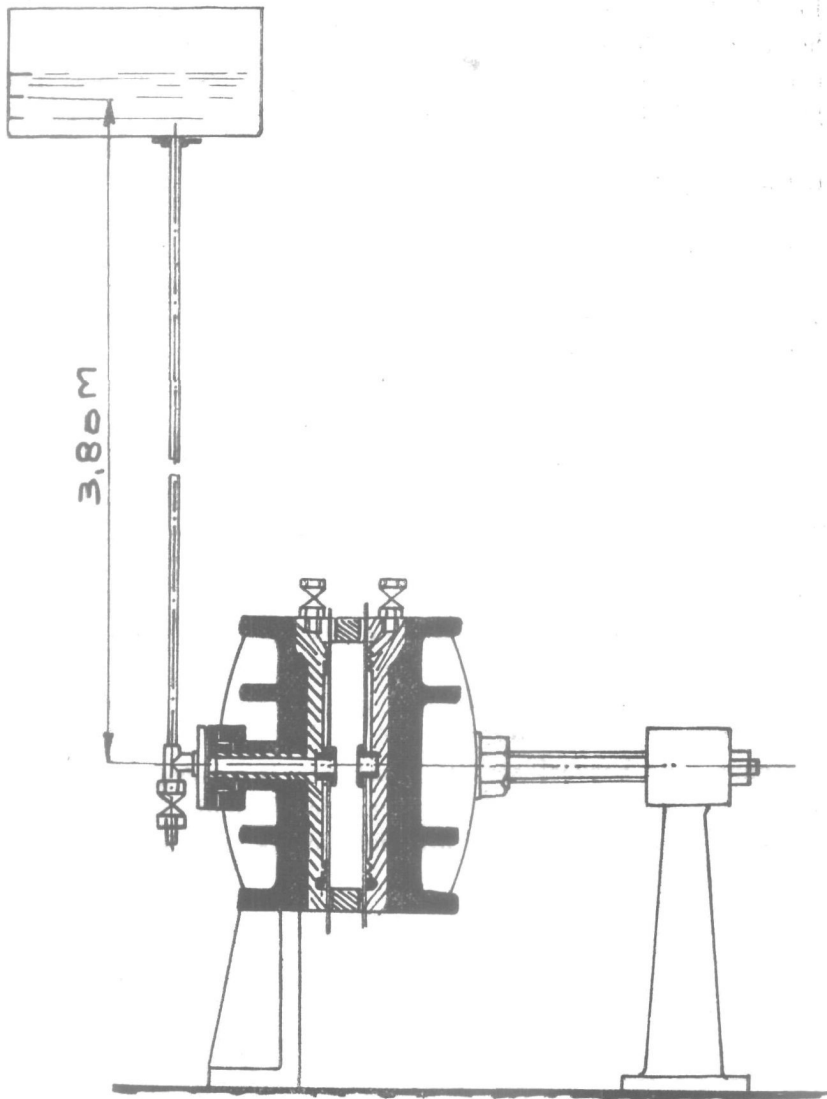


Fig. 40.

kool aangevoerd uit een reservoir, waarvan het gemiddelde niveau 3,8 M. boven den centralen inlaat van de pers gelegen was.

Het gemiddelde drukverschil bedroeg derhalve gedurende de geheele proef 0,38 K.G./c.M².

In het reservoir waren 3 merkstreepen aangebracht, die onderling juist een verschil van 5 liter aangaven. Was het niveau in het reservoir tot de onderste merkstreep gezakt, dan werd weer een nieuwe hoeveelheid suspensie van 10 L. in het reservoir gebracht, die te voren reeds was klaargemaakt.

Op deze manier konden we met behulp van een chronometer nauwkeurig den tijd opnemen, die noodig was om telkens 5 Liter te filtreren.

Door een voortdurende roering in het reservoir werd er zorg voor gedragen, dat de vloeistof, die in de pers stroomde, een werkelijk homogene eponitsuspensie was.

Na eenige noodzakelijk gebleken verbeteringen aan toe- en afvoerleidingen, werd een hoeveelheid van 600 gr. eponit, homogeen verdeeld over 100 Liter water, door deze pers gefiltreerd. Deze hoeveelheid van 600 gr. was zóó bepaald, dat de kamer met deze hoeveelheid nog juist niet vol was. Er bleef tusschen de beide koeken, die zich uit deze hoeveelheid eponit tegen de doeken vormden, nog een opening van enkele m.M. voor vloeistof over. Dit geschiedde met het oog op de mogelijkheid, dat, bij een grootere hoeveelheid eponit, niet alleen de kamer-ruimte gevuld zou worden met een massieven koek, doch dat zich ook in de toevoerleiding kool zou afzetten, wat natuurlijk afwijkende resultaten zou geven.

Wanneer de hoeveelheid, die hierboven is aangegeven, gefiltreerd is, kunnen we met behulp van de afgeleide formule van te voren bepalen, welke filtratiesnelheid we op dat oogenblik zullen hebben, want

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{(c+kP)\delta} \quad \text{Substitueeren we voor } \begin{array}{l} c \dots 0,109 \\ k \dots 0,275 \end{array}$$

$$\text{en voor } \delta \dots \frac{600}{1340} = 0,448, \text{ dan krijgen we}$$

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{0,38}{(0,109 + 0,275 \times 0,38)0,448} = 3,95 \text{ c.M.}^3/\text{min/c.M.}^2$$

Dit is dus de filtratiesnelheid, die we aan het einde der proef zullen moeten vinden.

De waarnemingen der uitgevoerde filtratie zijn vereenigd in tabel 62.

Na afloop van de filtratie der 100 L. eponitsuspensie werd zuiver water van 20° C. over de gevormde koeken gefiltreerd en werden wederom de tijden bepaald, die noodig waren om telkens 5 Liter te filtreren. Deze waarnemingen zijn vereenigd in tabel 63.

Uit deze waarnemingen kunnen we de juiste snelheid aan het einde der proef bepalen. Voor de filtratie van de laatste 30 L. is in totaal noodig geweest 356 sec., dus

Tabel 62

Gefiltreerd volume in Liters	Gram eponit op filter	Tijd in sec. $P=0,38K.G./c.M.^2$
5	30	17
10	60	32
15	90	53
20	120	75
25	150	99
30	180	124
35	210	153
40	240	181
45	270	214
50	300	246
55	330	284
60	360	317
65	390	359
70	420	400
75	450	442
80	480	486
85	510	535
90	540	584
95	570	635
100	600	689

Tabel 63

Gefiltreerd volume in Liters	Gram eponit op filter	Tijd in sec. P = 0,38 K.G./c.M. ²
5	600	55
10	600	58
15	600	62
20	600	61
25	600	60
30	600	60

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{60}{356} \times \frac{30000}{1340} = 3,77 \text{ cM}^3/\text{min}/\text{cM}^2.$$

Experimenteel bepaald: $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = 3,77$

Theoretisch bepaald: $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = 3,95$

Vershil = 0,18

Het verschil tusschen de experimenteel en de theoretisch bepaalde filtratiesnelheid is kleiner dan 5 % van de waarde.

In Hoofdstuk II A hebben we gezien, dat de nauwkeurigheidsgraad der proeven niet grooter is dan 5 %.

Het feit, dat de thans gevonden afwijking binnen deze grens valt, bewijst dat de afgeleide formule binnen het onderzochte druktraject voldoet en met succes toegepast kan worden op berekeningen voor filterpersen.

Bij het onderzoek naar de betrekking tusschen de waarden van V en θ blijken deze niet aan de vergelijking van de parabool te voldoen. Dit vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in het feit, dat de hoeveelheid eponit, die gedurende de filtratie op het filter aanwezig is, steeds kleiner is, dan de hoeveelheid, die men zou verwachten. De oorzaak hiervan schuilt in de betrekkelijke groote hoeveelheid vloeistof en derhalve ook vaste stof, die steeds in de toevoerleidingen onderweg is en dus niet actief aan de filtratie deelneemt. Dit bezwaar was met de bestaande apparatuur niet te ondervangen en derhalve had het geen betekenis de filtratiesnelheid te bepalen, behalve aan het einde der proef. Alle kool is dan op het filter gebracht, en de berekening der eindsnelheid, die ook over een volume van 30 Liter is uitgevoerd, om zeker te zijn, dat alle kool op het filter aanwezig is, is dan volkomen juist.

HOOFDSTUK IX.

Literatuuroverzicht.

Uit den aard der zaak is het onmogelijk, hier een volledig overzicht te geven van alle onderzoekingen, die er op het gebied der filtratie gepubliceerd zijn.

We zullen ons daarom voornamelijk beperken tot de verschillende opvattingen, die van veel invloed zijn geweest op de richting, waarin zich de studie van het filtratievraagstuk bewogen heeft en tevens nagaan, in hoeverre, in het licht onzer proeven, deze opvattingen juist zijn.

In de periodieken en handboeken, waarin de verschillende onderzoekingen gepubliceerd zijn, hebben de schrijvers zich niet steeds aan dezelfde nomenclatuur gehouden.

Teneinde nu verwarring te voorkomen, zullen we in dit hoofdstuk, in afwijking van de origineele artikelen, alle grootheden met dezelfde letterteekens, die in het voorgaande zijn gebruikt, aanduiden.

In het algemeen bestaat er een neiging om filtratie te vergelijken met strooming door capillaire buizen, waarvoor de wet van Poiseuille geldt. De openingen tusschen de vaste deeltjes van den gevormden koek worden dan vergeleken met een groot aantal capillaire buizen. Als gevolg hiervan ontstaat het streven, in de wet van Poiseuille zoodanige ~~aanwijzingen~~ ^{Wijzigingen} aan te brengen, dat zij toepasselijk wordt als filtratieformule.

Ofschoon niet ontkend kan worden, dat er een zekere analogie bestaat tusschen strooming door capillaire buizen en filtratie, lijkt mij het filtratievraagstuk te ingewikkeld, om aan dit streven veel waarde toe te kennen.

In 1908 publiceerde E. Hatschek ¹⁾ een beschouwing over den stereometrischen bouw van koeken, die gevormd worden uit deeltjes, die regelmatig van grootte en structuur zijn. Zijne beschouwing is echter zuiver mathematisch en heeft weinig invloed gehad op de richting, waarin zich het experiment bewogen heeft.

De eerste wetenschappelijke proeven zijn verricht door W. K. Lewis en C. Almy. ²⁾

Tot dan toe heerschte algemeen de opvatting, dat de stroomsnelheid tot een bepaald punt recht evenredig zou zijn met het drukverschil en omgekeerd evenredig met de *dikte* van den koek. Dit is met de noodige beperkingen wel ongeveer juist.

Uit het onderzoek, dat wij verricht hebben, is gebleken dat de stroomsnelheid evenredig is met het *drukverschil* en omgekeerd evenredig met den *weerstand* van den koek

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r_1}$$

Het drukverschil P is echter nog van invloed op den weerstand van den koek, hetgeen blijkt uit de formule

$$r_1 = (c + kP) \delta,$$

en de formule voor de filtratiesnelheid wordt dus:

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{(c + kP) \delta}, \text{ waaruit blijkt,}$$

dat de stroomsnelheid niet eenvoudig recht evenredig is met het drukverschil.

De grootheid δ , die wij in deze formule ingevoerd hebben, is een uitdrukking voor de hoeveelheid vaste stof, die op het filter per eenheid van opp. aanwezig is.

Deze grootheid is niet meer afhankelijk van P , evenmin als c en k , die voor de eenheid van vaste stof, constante waarden bezitten.

W. K. Lewis en C. Almy stelden zich ten doel, een juiste formuleering te geven van de betrekkingen, die er bestaan tusschen stroomsnelheid, drukverschil en dikte van den koek.

Om dit nader te onderzoeken, maakten zij gebruik van een laboratoriumfilterpers, waarmede zij bij verschillende druk-

¹⁾ J. Soc. Chem. Ind. 27, 538, (1908).

²⁾ J. Ind. Eng. Chem. 4, 528, (1912).

verschillen, een reeks filtraties uitvoerden. Zij filtreerden een homogene suspensie van chromhydroxyde, die verkregen was door reductie van bichromaat met glucose en praecipitatie met Na_2CO_3 . Zij stelden vervolgens de dikte van den koek evenredig met het gefiltreerde volume en vervingen, zoowel in de grafieken als in de formules de koekdikten door V , met invoering van een constante. Dit is echter zonder zeer speciale beperkingen niet juist, want zooals wij gezien hebben, is niet de koekdikte, doch alléén het gewicht van den koek recht evenredig met den weerstand, want de koekdikte kan immers nog veranderen tengevolge van variatie in drukverschil.

Na verschillende volumina gefiltreerd te hebben, namen zij telkens de tijden op, die voor de filtratie noodig waren geweest. Door deze waarden van V en θ grafisch uit te zetten, verkregen zij V en θ krommen bij constant drukverschil. Grafisch bepaalden zij hieruit de stroomsnelheid op verschillende punten der lijn en zetten de gevonden waarden voor de stroomsnelheid weer grafisch uit als functie van het gefiltreerd volume. A priori werd verondersteld, dat de stroomsnelheid zoowel een functie zou zijn van het drukverschil als van het gefiltreerde volume.

Op de volgende manier werd door hen onderzocht, in welke betrekking de stroomsnelheid tot het gefiltreerde volume stond.

In de veronderstelling, dat de stroomsnelheid een machtsfunctie zou zijn van het gefiltreerd volume, stelden zij

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{f(P)}{V^m}$$

Bij constant drukverschil konden zij hiervoor schrijven

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{K_2}{V^m}$$

$$\log \frac{dV}{d\theta} = K_3 - m \log V$$

De experimenteel gevonden waarden van $\frac{dV}{d\theta}$ en V werden nu op logaritmisch papier uitgezet, en uit het feit, dat er dan nagenoeg rechte lijnen ontstonden, werd de conclusie getrokken, dat $\frac{dV}{d\theta}$ werkelijk een machtsfunctie van het gefiltreerde volume was.

Uit de tabellen, die zij in hun publicatie vermeld hebben, blijkt echter, dat de $V-\Theta$ krommen nagenoeg volledig aan de paraboolvergelijking voldoen, hetgeen wij kunnen voorstellen door

$$V^3 = 2a\Theta \quad (2a = \text{parameter})$$

Hieruit volgt

$$2VdV = 2a d\Theta$$

$$\frac{dV}{d\Theta} = \frac{a}{V}$$

De stroomsnelheid blijkt derhalve niet een machtsfunctie van V te zijn, doch omgekeerd evenredig te zijn met V , d. w. z. omgekeerd evenredig met de hoeveelheid kool, die op het filter aanwezig is.

De $\frac{dV}{d\Theta} - V$ lijnen zijn dus ook bij hen nagenoeg gelijkzijdige hyperbolen, waarvan V en $\frac{dV}{d\Theta}$ de asymptoten zijn.

Op dezelfde wijze gingen zij te werk ten opzichte van het drukverschil en de stroomsnelheid.

Indien $\frac{dV}{d\Theta}$ gelijk zou zijn aan een machtsfunctie van P , konden zij schrijven:

$$\frac{dV}{d\Theta} = K_4 \frac{P^n}{V_m}$$

Wanneer nu P varieert en V blijft constant, dan is

$$\frac{dV}{d\Theta} = K_5 P^n$$

$$\log \frac{dV}{d\Theta} = K_6 + n \log P.$$

Door de gevonden waarden van $\log \frac{dV}{d\Theta}$ bij constant volume uit te zetten als functie van $\log P$, kregen zij weer nagenoeg rechte lijnen en concludeerden hieruit dat $\frac{dV}{d\Theta}$ een machtsfunctie van het drukverschil zou zijn.

Als fundamenteele filtratieformule werd toen door hen voorgesteld de formule:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{K_1 P^n}{V_m}$$

waarin

K_1 voorstelt een constante, afhankelijk van de grootte van het filter en den aard der vloeistof,

n een constante van de vaste stof

m " " " " " "

Uit een reeks proeven was het mogelijk experimenteel de waarden van K_1 , m en n te bepalen.

In eenigszins gewijzigden vorm is het werk van Lewis en Almy voortgezet door F. B. Baker ¹⁾. Op grond van vroegere onderzoekingen neemt hij aan, dat de stroomsnelheid recht evenredig is met het filtreerend oppervlak O , recht evenredig met een machtsfunctie van het drukverschil P en omgekeerd evenredig met de dikte van den koek.

Ook hij maakt dus in zijn opzet de foutieve veronderstelling, dat de dikte van den koek niet meer afhankelijk is van het drukverschil. Hij is echter, waarschijnlijk om praktische redenen, genoodzaakt te concluderen, dat de stroomsnelheid bovendien een machtsfunctie van het gefiltreerde volume is. Zijne formule luidt dan

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{K_7 O^3 P^n}{V_m}$$

waarin K_7 , m en n weer constanten voorstellen.

In wezen komt deze formule geheel overeen met die van W. K. Lewis en C. Almy. F. Baker verrichtte al zijne onderzoekingen met een gedefecerd suikersap en een Sweetlandfilterpers en bepaalde verschillende waarden voor m , n en K_7 .

In dezelfde richting zijn verder verschillende proefnemingen verricht, die allen ten doel hadden voor verschillende vaste stoffen de waarden van m en n , en voor het geheele complex de waarde van K_7 te bepalen. ²⁾

¹⁾ J. Ind. Eng. Chem. 13, 610, 1163, (1921).

²⁾ H. I. Waterman and J. P. M. van Gilse, Rec. Trav. Chim. 43, 757, (1924).

H. I. Waterman and A. Dauvillier, Rec. Trav. Chim. 45, 628, (1926).

H. C. Weber and R. L. Hershey, J. Ind. Eng. Chem. 18, 341, (1926).

E. E. Jewett and R. E. Montonna, Chem. and Metall. Eng. 34, 86, (1927).

De waarden, die op deze manier voor m , n en K_7 bepaald kunnen worden, zijn echter niet steeds onaanvechtbaar, hetgeen ook begrijpelijk is, want aan deze formule ligt geen logische argumentatie ten grondslag. Bij nadere beschouwing lijkt het echter niet vreemd, dat door de invoering van drie grootheden K_7 , m en n , in een vrij willekeurige formule, binnen een tamelijk klein druktraject, waarden voor K_7 , m en n kunnen gevonden worden, die ongeveer constante waarden geven. De toepassing en de nadere bestudeering van zulk een formule en de bepaling der daarin voorkomende, voor elke stof specifieke grootheden, brengt echter de oplossing van het vraagstuk maar matig vooruit. Wat noodig is en wat wij getracht hebben te bereiken, is het opstellen eener formule, welke op logische grondslagen opgebouwd is, en welke dan gelegenheid geeft na te gaan, in hoeverre en tot zekere hoogte waarom, de werkelijkheid met onze inzichten in strijd of in overeenstemming is.

Ondertusschen had Sperry ¹⁾ een andere methode aangegeven om het filtratievraagstuk te bestudeeren.

Hij stelde de stroomsnelheid recht evenredig met het drukverschil en omgekeerd evenredig met den weerstand, die aan den vloeistofstroom wordt geboden. Deze weerstand wordt gevormd door de som der weerstanden van apparaat, filtermedium en filterkoek. Door deze opvatting ontstond een polemiek tusschen Sperry en Baker over het feit, of de stroomsnelheid een machtsfunctie van het drukverschil, dan wel recht evenredig met het drukverschil zou zijn, zonder dat men evenwel tot klaarheid kwam.

Ofschoon Sperry's principieele opvatting juist is, maakte hij een fout in de formuleering van zijn opzet, door de afleiding van de formule

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r} = \frac{P}{r_1 + r_2} \dots \dots (1)$$

want, zooals wij uitvoerig hebben gezien in Hoofdstuk I, moet deze formule zijn

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r} = \frac{P}{r_1 + r_2} \dots (2)$$

¹⁾ D. R. Sperry Chem. and Metall. Eng. 15, 198, (1916), 17, 161, (1917).

Deze fundamenteele formule ¹⁾ heeft hij verder uitgewerkt. Door invoering van een nieuwe grootheid Q, de z.g. bezinkingsfactor, kwam hij tot de volgende eindformule

$$V = \sqrt{\left(\frac{Q r_2}{r a}\right)^2 + \frac{2 P Q \theta}{r a} - \frac{Q r_2}{r a}} \quad 1)$$

Deze formule heeft, afgezien van de dimensie, het groote bezwaar, dat de grootheden r en r₂ daarin onveranderd voorkomen. Zij geeft hoegenaamd niet aan, in welke betrekking de weerstand staat tot de grootheden, die op den weerstand invloed hebben. In de literatuur worden dan ook nooit exacte waarden voor r of r₂ gegeven. De opzet van Sperry heeft ook verschillende navolgers getrokken, die de formule van Sperry met grootere of kleinere wijzigingen meer toepasselijk wilden maken, zonder er evenwel in geslaagd te zijn. Zij maken in hun publicaties allen dezelfde dimensionale fout, die Sperry ook gemaakt heeft. ²⁾

H. Weber en R. Hershey gaan uit van den opzet van de proeven van Sperry en komen door invoering van een nieuwe grootheid — de weerstandcoëfficiënt — die volgens hun veronderstelling zoowel een machtsfunctie van het drukverschil als van het gefiltreerde volume is, weer op de formule van Almy, Lewis en Baker terecht.

Resumeerende kunnen we dus zeggen, dat geen der filtratieformules, die tot heden als zoodanig gepubliceerd zijn, geheel voldoen.

Aan de formule van W. K. Lewis en C. Almy en F. Baker is het bezwaar verbonden, dat zij niet juist is en voldoende wetenschappelijke ondergrond mist.

Binnen een bepaald druktraject is het echter natuurlijk mogelijk voor de ingevoerde constanten bepaalde waarden te vinden,

1) C. L. Bryden and G. D. Dickey. A textbook of filtration, Easton P. 1923.

2) W. H. Walker, W. K. Lewis and Mc. Adams. Principles of chemical engineering, Mc. Graw Hill Co., 1923.

M. B. Donald and R. D. Hunneman, Trans. Inst. Chem. Eng. 1923.

E. A. Alliot, J. Soc. Chem. Ind. 39, 261, T (1920).

J. Hinchley, S. Ure and B. Clark, J. Soc. Chem. Ind. 45, 1, T (1926).

H. C. Weber and R. L. Hershey, J. Ind. Eng. Chem 18, 341, (1926).

die redelijke resultaten geven. De formules, afgeleid door Sperry en met kleine wijzigingen door anderen omgewerkt, zijn dimensionaal niet juist en bovendien alle zeer ingewikkeld, zoodat zij voor practische toepassing groote moeilijkheden opleveren, vooral daar de grootheden r en r_2 er niet nader gedefinieerd in voorkomen.

Zonder in bijzonderheden te treden over de practische uitvoering der diverse proefnemingen, moeten wij toch een opmerking van algemeenen aard maken. Een zeer groot gedeelte der proefnemingen, die geciteerd zijn (op pag. 2 en 3), zijn verricht met fabrieksinstallaties. Zonder aan de waarde van deze technische proefnemingen iets af te doen, lijkt mij echter het filtratievraagstuk in zijn wezen nog veel te ingewikkeld en nog te weinig bestudeerd, om uit technische proefnemingen met vloeistoffen van wisselende samenstelling, wetten voor de filtratie te kunnen afleiden.

In den aanvang van dit werk hebben wij een principieele uiteenzetting gegeven van onze grondformule

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{\gamma (P_1 + P_2)}{r_1 + r_2} = \frac{\gamma P}{r_1 + r_2}$$

Doordat wij γ voor water van 20° C. gelijk stelden aan 1 werd de formule

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{r_1 + r_2}$$

Over den invloed der viscositeit zijn geen onderzoekingen verricht, doch op grond van onderzoekingen van anderen hebben we aangenomen, dat de stroomsnelheid omgekeerd evenredig is met de viscositeitsconstante. Overigens komt deze vraag in aanmerking voor een speciaal onderzoek.

Uit de experimenten, die wij verricht hebben, is gebleken, dat r_2 in alle gevallen, die wij onderzochten, practisch gelijk was aan nul en dat r_1 vervangen kon worden door de uitdrukking

$$(c + kP) \delta.$$

zoodat onze formule wordt

$$\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{(c + kP) \delta}$$

Voor zoover wij zien, zijn de bezwaren, die aan vroegere filtratieformules verbonden waren, in deze formule vervallen. In de eerste plaats is zij gebaseerd op een logische, dus te controleren gedachtengang, zoodat er ook een physische verklaring voor de verschillende grootheden, die in de formule voorkomen, kan gegeven worden.

Vervolgens is gebleken, dat zij bij technische toepassing binnen het onderzochte druktraject resultaten oplevert, die met de werkelijkheid in overeenstemming zijn.

De uitdrukking $r_1 = (c + kP) \delta$ geeft aan, dat de weerstand recht evenredig is met de hoeveelheid vaste stof, die per eenheid van opp. op het filtreerend medium aanwezig is, en bovendien evenredig met een term $c + kP$, waardoor de eigenschappen der vaste stof verdisconteerd worden. c is een constant van de vaste stof (per eenheid van gewicht) en is een uitdrukking voor den weerstand, die de stof van nature bezit, ten gevolge van de adhaesie der vloeistof aan haar oppervlak.

k is eveneens een constante van de stof per eenheid van gewicht, die aangeeft hoe de weerstand van de vaste stof verandert bij verhooging of verlaging van drukverschil (drukcoëfficiënt).

Terwijl c betrekking heeft op de gemiddelde grootte der vaste deeltjes, staat k in verband met de grootte der capillaire openingen, die er tusschen de vaste deeltjes bestaan.

Een sterk argument voor deze opvatting vinden we in het feit, dat c en k bij toenemende fijnheid der stof in waarde stijgen, daar zoowel de adhaesie aan het oppervlak alsook de weerstand der kleiner wordende capillaire openingen bij toenemende fijnheid grooter worden. De formule, die wij hebben afgeleid, voldoet dus binnen het onderzochte druktraject, voor zoover onze kennis nu reikt, aan de eischen, die wij kunnen stellen. In ieder geval kan zij met succes als werkformule worden gebruikt, zonder gevaar te loopen een formule toe te passen, waarvoor geen redelijke verklaring gegeven kan worden.

INHOUD.

Inleiding	1
Hoofdstuk I. Afleiding der formule $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{\gamma (P_1 + P_2)}{r_1 + r_2}$	5
Hoofdstuk II.	
A. Beschrijving van het gebruikte toestel en van de gevolgde werkwijze. Bepaling van den nauwkeurighedsgraad der proeven	17
B. Beschrijving van de onderzochte koolsoorten	28
Hoofdstuk III. Bepaling van r_1 en r_2	
A. Directe bepaling van r_2	31
B. Indirecte bepaling van r_2	39
C. Berekeningen en afleidingen, uit het voorafgaande volgend	53
Hoofdstuk IV. Bepaling van den invloed der koekdikte.	
A. De weerstand is onafhankelijk van de concentratie	59
B. Invoering van de grootheid	63
Hoofdstuk V. Invloed van het drukverschil P op $r_1 + r_2$	
A. Invloed van het drukverschil op r_2	65
B. Invloed van het drukverschil op r_1	67
$r_1 = (c + kP) \delta$	
C. Berekening der grootheden c en k van eponit	72
D. Invloed van kloppen en schudden	74

Hoofdstuk VI. Bepaling der grootheden c en k van verschillende soorten ontkleuringskool	
A. Proeven met carboraffine	76
B. Proeven met norit	83
C. Proeven met nobrac	88
D. Proeven met mengverhoudingen van eponit en carboraffine	94
Hoofdstuk VII. Al of niet omkeerbaarheid der toe- standen bij wisselende drukverschillen. . .	106
Hoofdstuk VIII. Practische toepassing der afgeleide formule $\frac{1}{0} \frac{dV}{d\theta} = \frac{\gamma P}{(c+kP)\delta}$ op een laborato- riumfilterpers	116
Hoofdstuk IX. Literatuuroverzicht	121



STELLINGEN.

1. Bij het bepalen van de P_H van verschillende vloeistoffen, verdient, vooral in de praktijk, de electrometrische methode, met gebruikmaking der waterstofelectrode voor stroomende vloeistoffen volgens Aten en van Ginneken, de voorkeur boven de colorimetrische bepalingsmethode.
Rec. Trav. Chim. 44, 1012, (1925).
Tijdschr. der Alg. Techn. Ver. van Beetwortelsuikerfabr. pag 223, (1925).
2. De opvatting van Fischer en Schrader, dat alleen de lignine, en niet de cellulose der planten als grondstof voor de steenkolenvorming heeft gediend, is onjuist.
Fischer u. Schrader.. Entstehung und chemische Structur der Kohle. W. Girardet, Essen (1922).
3. Het feit, dat cellulose in ammoniakale koperoplossing (volgens de wet der massawerking) zóó met het Cu reageert, dat het schijnt, alsof de cellulose tot de moleculaire grootte $C_6 H_{10} O_5$ is opgelost, mag niet leiden tot de conclusie, dat de moleculaire structuur van cellulose voorgesteld kan worden door $C_6 H_{10} O_5$.
K. Hess. Zeitschr. für Angew. Chemie. 37, 993, (1924).
4. Aangezien door aanwezigheid van Ca verbindingen in oplossingen, waarvan we de hoeveelheid reduceerende suiker volgens Schoorl willen bepalen, een storenden invloed wordt uitgeoefend op het resultaat, kan deze methode zonder

speciale voorzorgsmaatregelen niet worden toegepast ter bepaling van de hoeveelheid reduceerende suikers in melasse.

Frühling. Untersuchung der Rohmaterialen der Zuckerindustrie. Braunschweig (1926), pag. 203.

5. De eisch, vervat in art. 13 sub 7 van het meelbesluit (*Staatsblad* 313), dat alle meelsoorten na aan de schimmelproef onderworpen te zijn geweest, noch schimmelig, noch op andere wijze bedorven of ontleed mogen zijn, is te streng.
6. K. Hess is in gebreke gebleven afdoende te bewijzen, dat cellobiose niet als splitsingsproduct van cellulose beschouwd mag worden.
Zeitschr. für Angew. Chemie, 37, 993, (1924).
7. Voor iedere vaste stof zijn twee constanten c en k te bepalen, die aangeven, hoe deze vaste stof zich bij filtratie zal gedragen. Deze constanten staan in direct verband met de gemiddelde grootte der vaste deeltjes.
8. De methode, waarop de chemische Technologie behandeld wordt in het „Lehrbuch der Chemischen Technologie“ van K. Ost, staat wetenschappelijk ten achter bij de methode, die uit het boek „Principles of chemical engineering“ van W. H. Walker, W. K. Lewis en W. H. Mc Adams blijkt.
9. De koudwatermethode van Pellet, ter bepaling van het suikergehalte in suikerbieten geeft geen exacte waarden.
10. Handhaving van de bestaande handelspolitiek van Nederland is, onder de geldende economische omstandigheden, niet in 's lands belang.

11. Bij het streven naar een maximale economie in ketelhuisbedrijven, is het noodzakelijk, zijn aandacht te wijden aan het vraagstuk, hoe door doelmatige veranderingen aan de stookinstallatie, die soort van brandstof gebruikt kan worden, die per warmte-eenheid het goedkoopste is.
12. Bij het propaedeutisch laboratoriumwerk verdient het aanbeveling, eerst kwalitatief en daarna kwantitatief onderzoek te verrichten.
13. Een juiste regeling van arbeidsvoorwaarden is alléén verkrijgbaar, wanneer deze regeling uitgaat van het bedrijf, beschouwd als de groep van ondernemingen in een bepaalden tak van productie.
14. Het is gewenscht, dat aan de Technische Hoogeschool elke Afdeeling een studie- en examenregeling heeft, zooveel mogelijk gelijkende op die der Afdeeling der Scheikundige Technologie.