

# Het mechanisme van de menging van de grenslaag in een dubbellaagsfilter

## 1. Inleiding

Hoe menging in dubbellaagsfilters tot stand komt als functie van de variabelen die bij dit proces een rol spelen, is nog onvoldoende bestudeerd. Ook dit onderzoek geeft niet het antwoord op alle vragen die er op dit gebied bestaan. Wel is een duidelijk fysisch beeld verkregen van de menging zelf en van de omstandigheden, die daarbij een rol spelen. Ook is de invloed van de menging op belangrijke procesvariabelen als porositeit, bedhoogte en expansie onderzocht. Het inzicht in het



C. A. VAN BENNEKOM  
(KIWA)

mengproces op zich en de gevolgen ervan voor de filtratie is daardoor aanzienlijk vergroot.

## 2. Mengproeven met combinaties van zeef- en handelsfracties schoon zand en hydro-anthraciet N

### 2.1. Apparatuur

Voor het onderzoek naar de menging van een schoon bed bestaande uit twee lagen filtermateriaal is gebruik gemaakt van een in het KIWA-laboratorium te Rijswijk opgestelde installatie (afb. 1).

Deze bestond uit een perspex kolom  $\varnothing 0,29$  m, lengte circa 2,40 m met de nodige meet- en regelapparatuur. Een geperforeerde bodemplaat zorgde daarbij voor een homogene stroomverdeling.

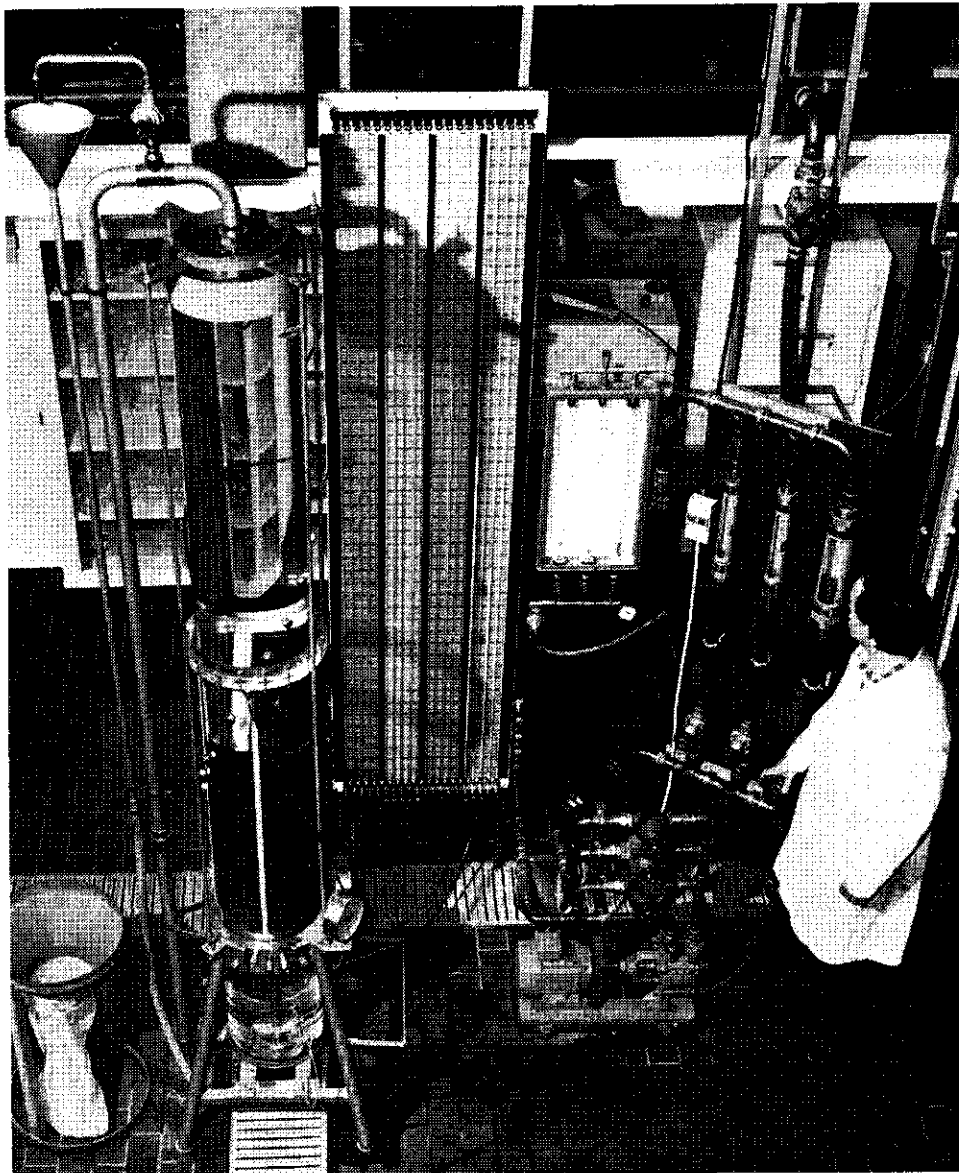
De binnenwand van de kolom is zo glad mogelijk gehouden om verstoringen van het bed te voorkomen. Slechts twee meetpunten zijn gebruikt voor de drukvalmetingen, die nodig waren ter bepaling van de minimum fluïdisatiesnelheid.

Als spoelwater is leidingwater gebruikt. De maximaal toegepaste spoelsnelheid in de kolom is 146 m/h.

De materialen, die voor de proeven zijn gekozen, zijn verschillende zeef- en handelsfracties hydro-anthraciet N ( $s.m = 1,65 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>) en zand ( $s.m = 2,62 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>). Het bed was opgebouwd uit een laag zand met daar boven een laag hydro-anthraciet, met elk in ontmengde toestand een hoogte van circa 40 cm.

Om de mengverhouding op verschillende hoogten in de kolom te bepalen is gebruik gemaakt van een hevel, die in hoogte-richting verstelbaar op de bovenzijde van de kolom rust.

Hiermee wordt het filterbed laagsgewijs



Afb. 1 - Filteropstelling in het spuurwerk-laboratorium van het KIWA.

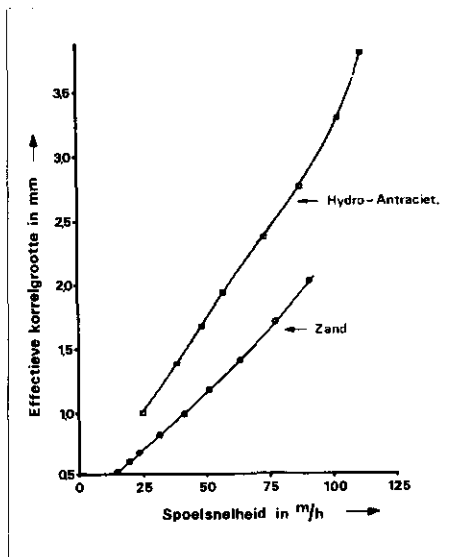
(dikte per laag 2 cm) afgeheveld. Na drogen van het materiaal kan dan van elk laagje het gehalte aan zand en hydro-anthraciet worden bepaald. Daardoor is het mogelijk een vrij nauwkeurig beeld van de mengverhouding afhankelijk van de bedhoogte te verkrijgen.

### 2.2. Opzet van de proeven

Menging door fluïdatie vindt voornamelijk plaats in het grensvlak van de twee fluïdiserende lagen. Ten gevolge van stratificatie ontmoeten daar de grofste korrels van het bovenste en de fijnste korrels van het onderste materiaal elkaar. Het lijkt dan heel goed mogelijk dat de menging voornamelijk ontstaat tussen deze fracties. Daarom is voorafgaande aan de mengproeven met handelsfracties (wijde korrelgroottebegrenzing) eerst de menging die tussen zeeffracties (nauwe begrenzing)

van beide materialen optreedt, onderzocht. Alvorens over te gaan tot de mengproeven zijn deze zeeffracties afzonderlijk in de kolom gebracht om enkele parameters van deze materialen te bepalen.

Zo zijn de minimum fluïdisatiesnelheid en de expansiehoogte afhankelijk van de spoelsnelheid gemeten en is nagegaan of de bedhoogte na spoelen en dus de porositeit van het filterbed afhankelijk is van de ingestelde spoelsnelheid. Pas daarna zijn met de zeeffracties mengproeven verricht. De zeeffracties zijn aangeduid met de ASTM-maten, de handelsfracties met de begrenzing volgens de leverancier. Tenslotte zijn de filtermaterialen gemengd in de kolom gebracht om de situatie, die ontstaat door luchtspoeling, na te bootsen. Door verhogen van de spoelsnelheid ont-mengen deze materialen en uiteindelijk kan de spoelsnelheid worden bepaald, waarbij



Afb. 2 - Minimum fluïdisatiesnelheid van zeeffracties zand en hydro-anthraciet.

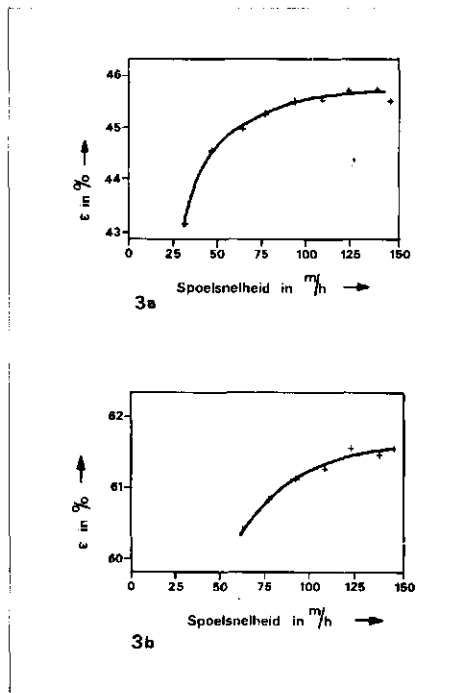
het filterbed weer optimaal gescheiden is.

### 2.3. Bepaling van enkele parameters van zeeffracties

In afb. 2 is de minimum fluïdisatiesnelheid van zeeffracties zand en hydro-anthraciet uitgezet tegen de effectieve korrelgrootte ( $d_{10}$ ) van de fracties. Uit deze metingen kan direct worden geconcludeerd dat voor volledige fluïdisatie van een filterbed met de handelsfracties zand (0,8 - 1,2 mm) en hydro-anthraciet (1,6 - 2,5 mm), de meest gebruikelijke fracties in meerlaagsfilters, een spoelsnelheid van minimaal 65 à 75 m/h vereist is. Bij deze snelheid beginnen de grootste korrels hydro-anthraciet uit deze fractie ook te fluïdiseren. Het zand fluïdiseert al volledig bij lagere snelheden. Bijzonder interessant zijn de resultaten van de bedhoogtemetingen. Het is namelijk gebleken, dat, mits snelheden boven de minimum fluïdisatiesnelheid worden toegepast, de bedhoogte na spoelen groter is naarmate er met een hogere snelheid wordt gespoeld.

De spoelkraan moet snel worden gesloten. De porositeit van het bed is dan groter. Omdat dit verschijnsel ook bij handelsfracties optreedt zijn ook daaraan porositeitsmetingen verricht. In afb. 3 zijn de porositeiten na spoelen van de handelsfracties zand (0,8 - 1,2 mm) en hydro-anthraciet (1,6 - 2,5 mm) uitgezet tegen de spoelsnelheid. Opvallend is ook, dat de porositeit van het hydro-anthraciet na spoelen aanzienlijk hoger is dan die van zand, namelijk 60 % tegenover 45 % van zand.

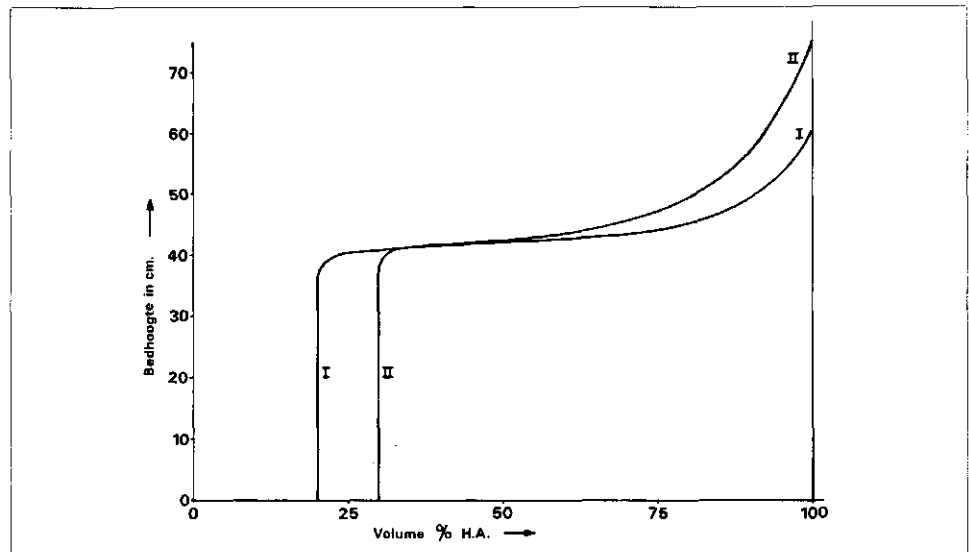
Dit betekent dus, dat in het dubbellaagsfilter niet alleen sprake is van een verschil in poriegrootte, maar dat er tevens een groot porositeitsverschil optreedt.



Afb. 3 - Porositeit na spoelen van de handelsfracties zand 0,8 - 1,2 mm (3a) en hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm (3b), afhankelijk van de spoelsnelheid.

Expansiemetingen zijn verricht om de expansiehoogte tijdens het spoelen te kunnen vergelijken met die van dezelfde hoeveelheden materiaal in een dubbellaagsfilter.

Afb. 4 - Algemeen beeld van de mengverdeling van de onderzochte zeeffractie-combinaties: I. lage spoelsnelheid; II. hoge spoelsnelheid.



TABEL I - Overzicht van de met verschillende hydro-anthracietfracties gecombineerde zandfracties.

Zandfractie	hydro-anthracietfractie			begrenzing
0,71 - 0,85 mm	4,00 - 4,76 mm	3,36 - 4,00 mm	2,83 - 3,36 mm	nauw
0,60 - 0,71 mm	2,83 - 3,36 mm	2,38 - 2,83 mm	2,00 - 2,38 mm	(zeeffracties)
0,50 - 0,60 mm	2,38 - 2,83 mm	2,00 - 2,38 mm		
0,8 - 1,2 mm	1,6 - 2,5 mm			(wijd)
0,4 - 0,8 mm	1,6 - 2,5 mm			(handelsfracties)

### 2.4. Menging

Aan de zeeffracties, die voor de mengproeven zijn gebruikt, is de eis gesteld, dat zij tijdens fluïdisatie in het grensvlak moeten mengen. Als de korreldiameterverhouding tussen de korrels hydro-anthraciet en zand klein is, ontstaat er geen menging, hoe hoog de spoelsnelheid ook wordt gekozen.

Zo is gebleken, dat de fracties zand 0,71 - 0,85 mm en hydro-anthraciet 2,0 - 2,38 mm, dat wil zeggen de korrelfracties die elkaar in een bedrijfsfilter met zand 0,8 - 1,2 mm en hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm in het grensvlak ontmoeten, tijdens fluïdisatie nagenoeg niet mengen. Bij volgende proeven is daarom de korreldiameterverhouding vergroot. Van de in tabel I gegeven combinaties is de korrelverdeling over de hoogte van het filterbed na diverse spoelsnelheden bepaald.

Het algemene beeld van de mengcurve van zeeffracties, dat ontstaat als de hoeveelheid hydro-anthraciet als volumepercentage van de totale hoeveelheid filtermateriaal wordt uitgezet tegen de hoogte van het bed, is weergegeven in afb. 4.

Deze verdeling kan in twee delen worden gesplitst, namelijk:

- een overgangslaag;
- een laag met constant percentage hydro-anthraciet in overwegend zand.

ad a.

Een overgangslaag van zand naar hydro-anthraciet ontstaat altijd, ook tussen zeef-fracties waarvan de korreldiameterverhouding klein is. De hoogte waarover het percentage hydro-anthraciet van 0 tot 100 % toeneemt is dan echter klein en wordt door verhoging van de spoelsnelheid nauwelijks beïnvloed (afb. 5, lijn I).

Bij fracties met grotere korreldiameter-verhouding is de overgangslaag groter (afb. 5, lijn II).

Een hogere spoelsnelheid doet de grootte van de overgangslaag dan verder toenemen (afb. 4, lijn III).

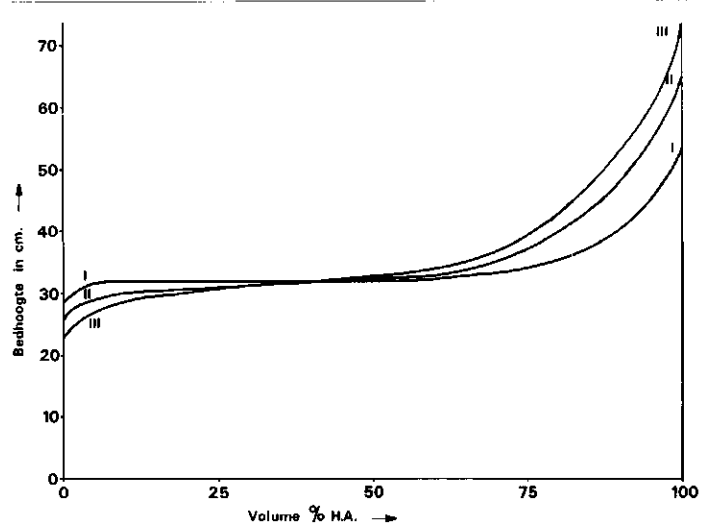
ad b.

Bij fracties, waarvan de overgangslaag bij hogere spoelsnelheden in grootte toeneemt, dringt in het zandgedeelte onder de overgangslaag hydro-anthraciet door, vaak in aanzienlijke mate en tot onderin het zandbed. In feite verlaten deze korrels de overgangslaag. Onderin ontstaat dan een menglaag met het zand met een bij toenemende diepte vaak constant blijvend percentage hydro-anthraciet.

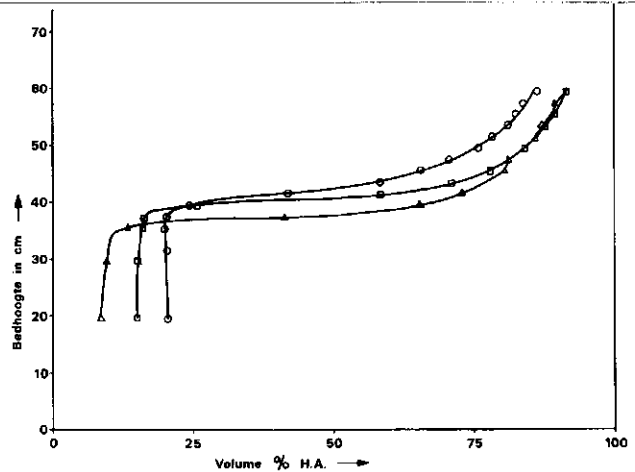
Bij hogere spoelsnelheden neemt dit percentage toe. De curven hebben daarom niet de in afb. 5 gegeven gedaante, maar vertonen een verloop weergegeven in afb. 4. In afb. 6 zijn de verdelingscurven getekend van de zeeffracties zand 0,71 - 0,85 mm en hydro-anthraciet 3,36 - 4,00 mm na spoelsnelheden van 107, 122 en 138 m/h.

Bij deze combinatie komt de constante mengverhouding in het onder de overgangslaag gelegen zandbed duidelijk tot uitdrukking. In een bedrijfsfilter wordt echter gewerkt met handelsfracties, die een tussen ruime grenzen variërende korrelgrootte hebben. Er ontstaat in dat geval wel een overgangslaag, doch geen laag met constante mengverhouding. Zoals gezegd verloopt de menging bij kleinere korreldiameterverhouding steeds slechter.

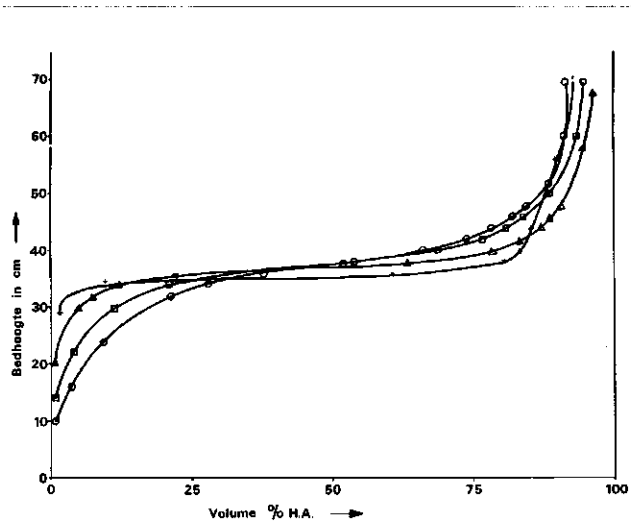
Als grove korrels uit de onderste laag van het hydro-anthraciet tijdens het spoelen de overgangslaag met het zand passeren en verder naar beneden doordringen, ontmoeten zij ten gevolge van de stratificatie steeds grovere zandkorrels. De korreldiameterverhouding wordt dan kleiner en de mengverhouding neemt af. De gevormde mengkromme lijkt dan weer op de overgangslaag die in afb. 5 voor kleine korreldiameterverhoudingen is gegeven. Voorbeelden hiervan zijn de mengverdelingen in afb. 7 van de handelsfracties zand 0,4 - 0,8 mm en hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm na spoelsnelheden van 62, 76, 91 en 107 m/h. Voor een deel van deze combinaties komen nog betrekkelijk grote korreldiameterverhoudingen voor. Afb. 8 toont de mengverdeling van de meest gebruikte



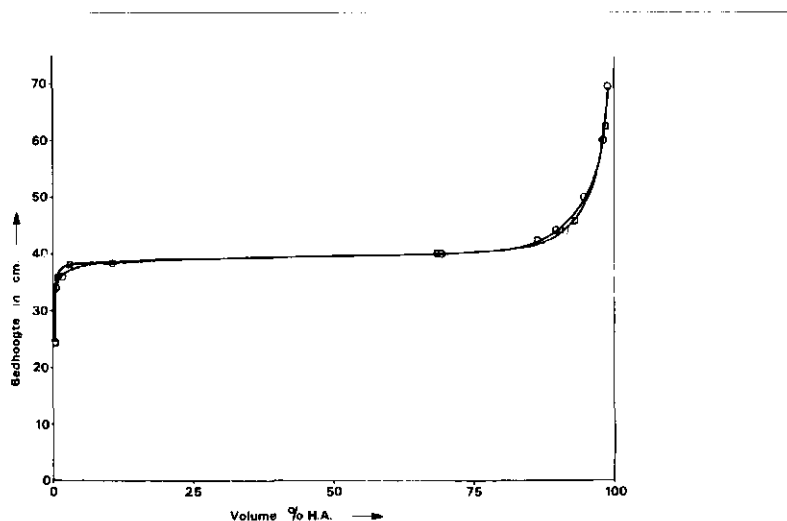
Afb. 5 - Overgangslaag: I. Korreldiameterverhouding zeer klein; II. Korreldiameterverhouding groter; III. Korreldiameterverhouding als II, spoelsnelheid hoger.



Afb. 6 - Mengverdeling van zand 0,71 - 0,85 mm en hydro-anthraciet 3,36 - 4,00 mm na spoelsnelheden: O 138 m/h; □ 122 m/h; Δ 107 m/h.



Afb. 7 - Mengverdeling van zand 0,4 - 0,8 mm en hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm na spoelsnelheden: O 107 m/h; □ 91 m/h; Δ 76 m/h; + 62 m/h.



Afb. 8 - Mengverdeling voor de handelsfracties zand 0,8 - 1,2 mm en hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm en voor de zeeffracties 0,71 - 0,85 mm en hydro-anthraciet 2,00 - 2,38 mm na spoeling met 76 m/h.

lijke handelsfracties zand (0,8 - 1,2 mm) en hydro-anthraciet (1,6 - 2,5 mm) na spoeling met een snelheid van 76 m/h.

In deze afbeelding is ook uitgezet de mengverdeling na dezelfde spoelsnelheid van de zeeffracties zand 0,71 - 0,85 mm en hydro-anthraciet 2,00 - 2,38 mm, de combinatie met de grootste korreldiameterverhouding. Zoals verwacht zijn deze mengkrommen

praktisch gelijk. De kleine overgangslaag die bij de handelsfracties ontstaat wordt volledig gevormd door deze fijnste fractie zand en grofste fractie hydro-anthraciet. Verhoging van de spoelsnelheid beïnvloedt de mengkromme niet of nauwelijks.

Het geheel van mogelijke filterbedformaties wordt nog eens duidelijk geïllustreerd door de foto's van afb. 9. Afb. 9a toont het beeld

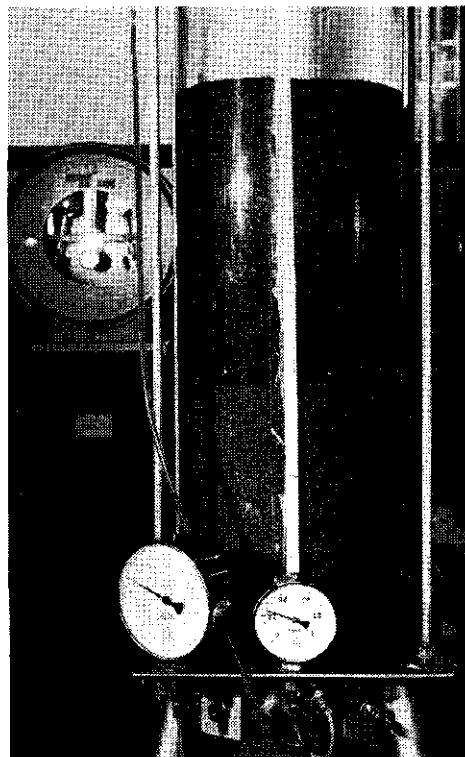
van de hierboven genoemde handelsfracties 0,8 - 1,2 mm zand en 1,6 - 2,5 mm hydro-anthraciet na een spoeling met een snelheid van 76 m/h. De scheiding van de materialen is zoals op de afbeelding is te zien vrij scherp. Bij gedeeltelijke menging is er een verloop van boven hydro-anthraciet naar onder zand met nog een hoeveelheid hydro-anthraciet. Als de korreldiameterverhouding erg groot is, kan het filtermateriaal vrijwel volledig mengen. Afb. 9b laat de situatie zien die is ontstaan na spoelen van de zeeffractie zand 0,50 - 0,60 mm en hydro-anthraciet 2,83 - 3,36 mm met een spoelsnelheid van ca. 115 m/h. Verhoging van de snelheid tot ca. 150 m/h heeft weer meer ontmenging tot gevolg, met dien verstande dat nu het zand grotendeels boven ligt en het hydro-anthraciet beneden. Er treedt dan 'gedeeltelijke inversie' op (afb. 9c).

#### 2.5. Invloed van de menging op de expansie en de bedhoogte

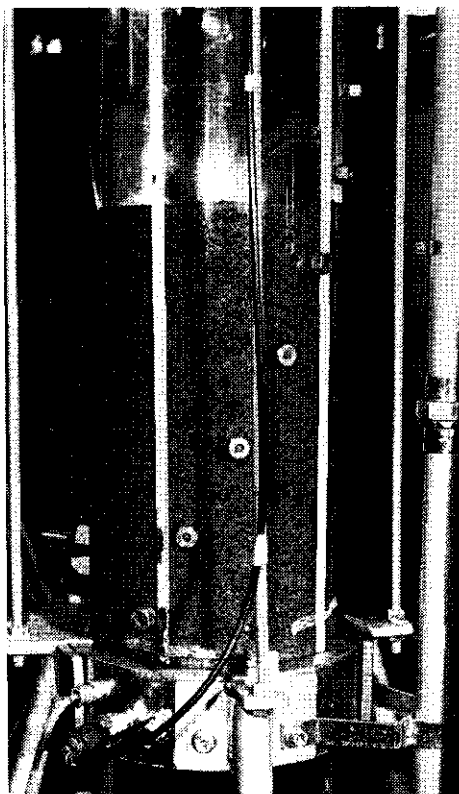
Door de menging veranderen enkele parameters, die gelden voor een uit de afzonderlijke fracties opgebouwd bed, dus voor het enkellaagsfilter. Bij volledige scheiding zou de expansiehoogte van het dubbellaagsfilter tijdens spoelen in principe gelijk moeten zijn aan de som van de expansiehoogten van de beide fracties afzonderlijk. Hetzelfde geldt voor de bedhoogte. Bij de proeven is

Afb. 9 - Mengbeelden.

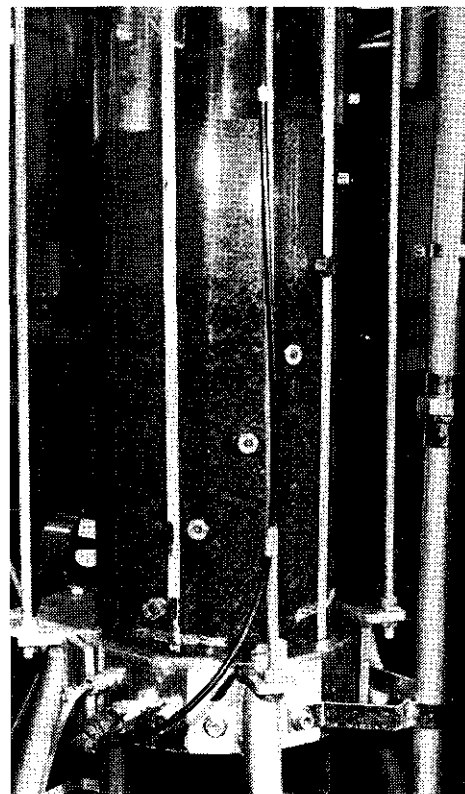
9a - Mengbeeld na spoelen met een snelheid van 76 m/h van de handelsfracties zand 0,8 - 1,2 mm en hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm.



9b - Mengbeeld na spoelen met een snelheid van ca. 115 m/h van de zeeffracties zand 0,50 - 0,60 mm en hydro-anthraciet 2,83 - 3,36 mm.



9c - Mengbeeld na spoelen met een snelheid van ca. 150 m/h van de zeeffracties zand 0,50 - 0,60 mm en hydro-anthraciet 2,83 - 3,36 mm.



gebleken, dat in geval van menging zowel de expansiehoogte tijdens als de bedhoogte na het spoelen kleiner is dan de bovengenoemde som bij volledige scheiding. In afb. 10 is de hoogte B van het dubbellaagsfilterbed na spoelen uitgezet tegen de spoelsnelheid en wel als percentage van de som van de bedhoogten ( $B_{som}$ ) van de afzonderlijke materialen. De krommen gelden voor de zandfracties 0,4 - 0,8 mm en 0,8 - 1,2 mm, elk in combinatie met de hydro-anthracietfractie 1,6 - 2,5 mm. Hetzelfde verloop vertoont afb. 11 waarin de expansiehoogte van het bed tijdens spoelen E in % van de som van de afzonderlijke expansies ( $E_{som}$ ) is uitgezet als functie van de spoelsnelheid.

2.6. Gevolgen voor het filtratieproces

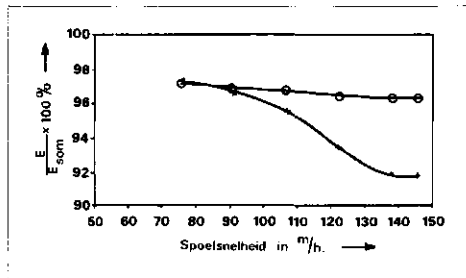
Uit de waarnemingen viel op te maken, dat het percentage hydro-anthraciet boven in het filterbed tot de overgangslaag niet terugloopt door uitwisseling van een hoeveelheid hydro-anthraciet in die laag tegen zand, maar doordat zich bij het hydro-anthraciet een steeds grotere hoeveelheid zand voegt.

In feite betekent dit dat de poriën tussen de hydro-anthracietkorrels meer en meer worden opgevuld met zand.

Op een bepaald moment zijn deze poriën optimaal bezet door de fijnere zandkorrels, waardoor in feite het aanvankelijke poriën-

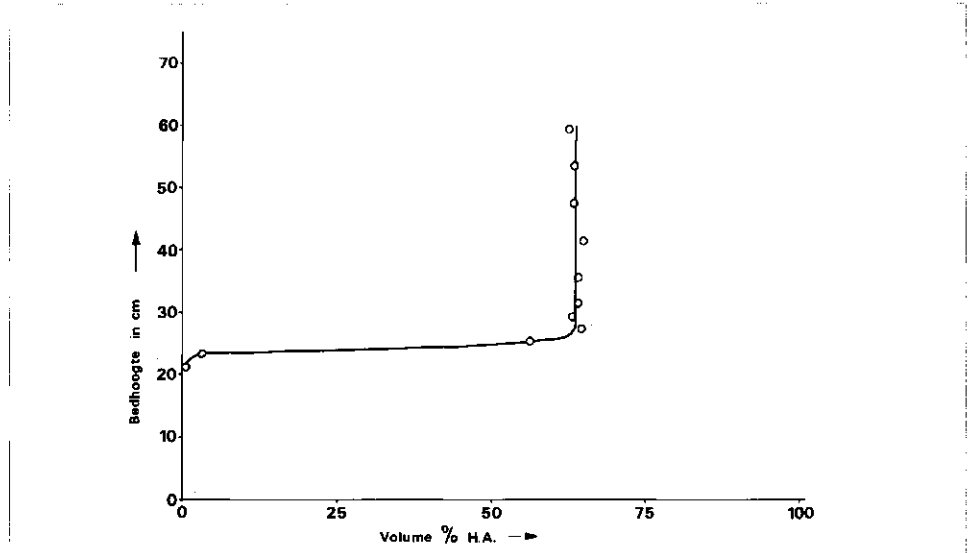
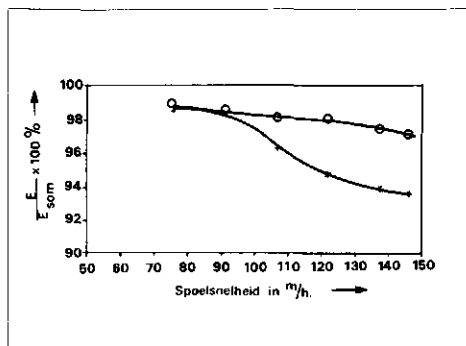
Afb. 10 - Hoogte van het filterbed in een dubbellaagsfilter na het spoelen met verschillende snelheden:

O zand 0,8 - 1,2 mm hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm;  
 X zand 0,4 - 0,8 mm hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm.



Afb. 11 - Expansiehoogte in een dubbellaagsfilter als functie van de spoelsnelheid:

O zand 0,8 - 1,2 mm hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm;  
 X zand 0,4 - 0,8 mm hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm.



Afb. 12 - Onvoldoende ontmengd bed als gevolg van een te lage spoelsnelheid.

volume (circa 60 %) maar ook de poriegrootte van het hydro-anthraciet verminderd is. Door een verdergaande vermenging met zand (normale porositeit circa 45 %) zullen de hydro-anthracietkorrels door zand worden vervangen en kan de porositeit weer toenemen tot maximaal 45 % als er zich geen hydro-anthraciet meer tussen het zand bevindt.

Een indruk van de gevolgen van het opvullen van de anthracietporiën door fijn zand geeft de volgende zuiver theoretische beschouwing. Indien de 60 % poriëruimte tussen de hydro-anthracietkorrels optimaal door zand met een porositeit van 45 % zou worden opgevuld, is de volumeverhouding hydro-anthraciet : zand = 40 : 0,55 x 60 = 40 : 33. Dit betekent een percentage hydro-anthraciet van 55 % terwijl de porositeit van 60 % gedaald zou zijn tot 0,45 x 60 % = 27 %.

Het is niet aannemelijk, dat de menging beneden deze 55 volumeprocenten hydro-anthraciet-grens voordelen biedt voor de filtratie. De hydro-anthracietkorrels raken elkaar dan niet meer en nemen de plaats in van een aantal zandkorrels en hun poreuze ruimte. Bij afwezigheid zou de vuilbergingscapaciteit en de porositeit dus groter zijn geweest. Door de vermindering van het poriënvolume als gevolg van de menging neemt ook de totale bedhoogte af, waardoor de vermindering van de vuilbergingscapaciteit duidelijk wordt gedemonstreerd. Als ondanks deze nadelen een gedeeltelijk gemengd bed toch tot betere filterprestaties leidt, kan dit de volgende oorzaken hebben.

1. In de mengzone met een hydro-anthracietpercentage > 55 % vindt de afname van porositeit en poriegrootte naar beneden geleidelijker plaats. Het af te vangen slib

wordt over een groter gebied verdeeld en de drukval neemt naarmate het filtratieproces vordert minder snel toe.

2. Indien de grotere menging is verkregen door het toepassen van een hogere spoelsnelheid (zie punt 2.4) dan gaat daarmee een vergroting van het poriënvolume gepaard (zie punt 2.3). In de toplaag van het hydro-anthraciet neemt de vuilbergingscapaciteit daardoor toe, hetgeen een ontlasting van de onderliggende lagen tot gevolg kan hebben.

2.7. Ontmenging

Luchtspoeling veroorzaakt doorgaans een ongeordende menging van de filtermaterialen. Menging ontstaan door luchtspoeling die aan de laatste waterspoeling voorafgaat, biedt dan ook geen voordelen. Er treedt geen geleidelijke overgang op omdat de menging volkomen willekeurig is en er zal ook geen hogere porositeit in de toplaag ontstaan. Integendeel zelfs, door de luchtspoeling klinkt het bed in en wordt de vuilbergingscapaciteit kleiner. Door de ongeordende menging is het verloop van het poriënvolume en van de poriegrootte in hoogterichting onregelmatig. Voor optimale filterprestaties zullen de ontstane menging en de vermindering in porositeit door een uiteindelijke waterspoeling zonder lucht teniet gedaan moeten worden. Tijdens fluïdisatie wordt de ongecontroleerde menging in ieder geval weggewerkt. Immers alle korrels bewegen dan en krijgen de gelegenheid zich te verplaatsen tot de bij die spoelsnelheid behorende evenwichtstoestand is bereikt. Ook de gevolgen van het inklinken en restanten in de poriën achtergebleven lucht verdwijnen daardoor.

Om te onderzoeken hoe een bed ontmengt bij spoelsnelheden waarbij het filterbed nog niet geheel fluïdiseert, zijn de materialen gemengd in de kolom gebracht en is de spoelsnelheid daarna stapsgewijs opgevoerd tot het gehele filterbed fluïdiseerde.

Gebleden is, dat bij niet al te grote korrel-diameterverhoudingen bij verhoging van de spoelsnelheid zich steeds meer zand uit het gemengde bed afscheidt en onder het gemengde bed terecht komt. In het nog gemengde deel wordt hierdoor de hoeveelheid zand kleiner, maar de menging blijft over de gehele hoogte homogeen.

Om dit te illustreren is halverwege een ontmengproef een mengkromme bepaald voor de zeeffracties zand 0,71 - 0,85 mm en hydro-antraciet 4,00 - 4,76 mm. De spoelsnelheid was op dat moment opgevoerd van 0 tot 69 m/h, dus tot een snelheid die kleiner was dan de minimum fluïdisatiesnelheid van het gebruikte hydro-anthraciet.

Afb. 12 toont het nog homogeen gemengde bovenste deel van het bed. Hoe verder nu de spoelsnelheid wordt verhoogd des te groter wordt de (al fluïdiserende) zandlaag onder het (nog gepakte) gemengde deel van het filterbed. De meest scherpe scheiding wordt echter pas verkregen als al het filtermateriaal fluïdiseert en dus ook de rest van het zand zich uit het gemengde bed naar beneden kan bewegen.

### 3. Conclusies

1. Indien men een dubbellaagsfilter bij voldoende hoge watersnelheid en volgens een bepaalde spoelprocedure spoelt, zal er ter hoogte van de overgang tussen de beide materialen een zone ontstaan, waarin beide materialen gemengd zijn.

2. De mate van menging hangt af van de spoelwatersnelheid, de manier waarop het spoelproces wordt beëindigd, de korrel-diameterverhouding tussen en de korrel-grootteverdeling van de beide materialen en van het verschil in soortelijke massa.

3. Uit de bestudering van de opbouw van de menglaag blijkt, dat van boven naar beneden de poriën van het hydro-anthraciet in toenemende mate met zand worden gevuld, zodat een geleidelijke afname in poriëngrootte optreedt. Dit vermindert de kans op koekfiltratie ten opzichte van een filterbed waarin de overgang plotseling optreedt.

4. Ten gevolge van de voor menging vereiste hoge spoelsnelheid en de abrupte beëindiging van het spoelproces wordt de vuil-bergingscapaciteit in de laag met praktisch zuiver hydro-anthraciet groter. De menging

in de mengzone veroorzaakt daar echter een zodanige porositeitsverlaging, dat de totale hoogte van het bed van het gedeeltelijk gemengde filter kleiner is dan die van het zoveel mogelijk gescheiden filter. De totale vuilbergingscapaciteit van het gedeeltelijk gemengde filter zal daardoor kleiner zijn dan die van het ontmengde bed.

### Literatuur

- McCabe, W. L. en Smith, J. C.; Unit Operations of Chemical Engineering, 2nd Ed, McGraw-Hill Book Co., New York (1967).
- Conley, W. R. en Hsiung, K; Design and Application of Multimedia Filters, JAWWA 61, pag. 97 (1969).
- Fair, G. M., Geyer, J. C. en Okun, D. A.; Water and Waste Water Engineering, Vol. 2, John Wiley and Sons, New York (1968).
- Spindler, P; Spülung von Mehrschichtfiltern, uit: Veröffentlichungen der Abteilung und des Lehrstuhls für Wasserchemie, Heft 5, Karlsruhe.
- Leclair, B. P.; Two Component Fluidization, Unpublished Masters Thesis, University of British Columbia (1964).
- Furukawa, J. en Ohmae, T.; Fluidlike Properties of Fluidised Systems, Industrial and Engineering Chemistry 50, p. 821 (1958).
- Brosman, D. R. en Malina, J. F.; Intermixing of Dual Media Filters and Effects on Performance Technical Report, University of Texas at Austin (1972).
- Camp, T. R.; Discussion, Experience with Anthracite-Sand filters JAWWA 53, pag. 1478 (1961).
- Verloop, J.; The origin of Bubbles in Fluidised Systems, proefschrift Technische Hogeschool Delft (1971).
- Leva, M.; Fluidization, McGraw Hill Book Co. New York (1959).
- Corstjens, G. H.; Berekening van opwaartse doorstroming en het terugspoelen van filterbedden, H<sub>2</sub>O (5) (1972).
- Huisman, L.; Rapid Filtration part I, pag. 3 - 32, Technische Hogeschool Delft (1974).
- Camp, T., Graber, S. D. en Conklin, G. F.; Backwashing of Granular Water Filters, American Society of Civil Engineers Journal, Proceedings of Sanitary Engineering Division 97, pag. 903 (1971).
- Richardson, J. F. en Zaki, W. N.; Sedimentation and Fluidisation Part I, Transactions of the Institution of Chemical Engineers Vol 32, pag. 35 (1954).
- Conley, W. R., Pitman, R. W.; Test Program for Filter Evaluation at Hanford, Journal AWWA, 52, 205, (1960).
- Dostal, K. A., Robeck, G. G.; Studies of Modifications in Treatment of Lake Erie Water, Journal AWWA, 58, 1489, (1966).
- Van Bennekom, C. A.; Menging in meer-laagsfilters, KIWA S.W.-rapport nr. 143.
- Visser, J. K.; De invloed van een menglaag in een dubbellaagsfilter op het filtratieproces, KIWA S.W.-rapport nr. 144.

