

# De invloed van de menging van de grenslaag in een dubbellaagsfilter: een terreinverkenning

## 1. Inleiding

In 1935 werden na proeven in Chicago (Chicago Experiment Plant) in het jaarlijkse rapport het dubbellaagsfilter (zand-anthraciet) sterk afgeraden in verband met verlies aan filtermateriaal (voornamelijk anthraciet) bij het terugspoelen en accumulatie van mud balls bovenin de anthracietlaag [1]. In 1960 kwam Conley [2] tot de conclusie dat na toepassing van een coagulatiemiddel, bezinking en secundaire vlokhelpmiddel-dosering zeer goede resultaten werden verkregen met zand-anthraciet filters. In deze



IR. R. H. M. BOS  
Technische Hogeschool Delft  
Afdeling der Civiele Techniek  
Laboratorium voor Gezondheids-  
techniek

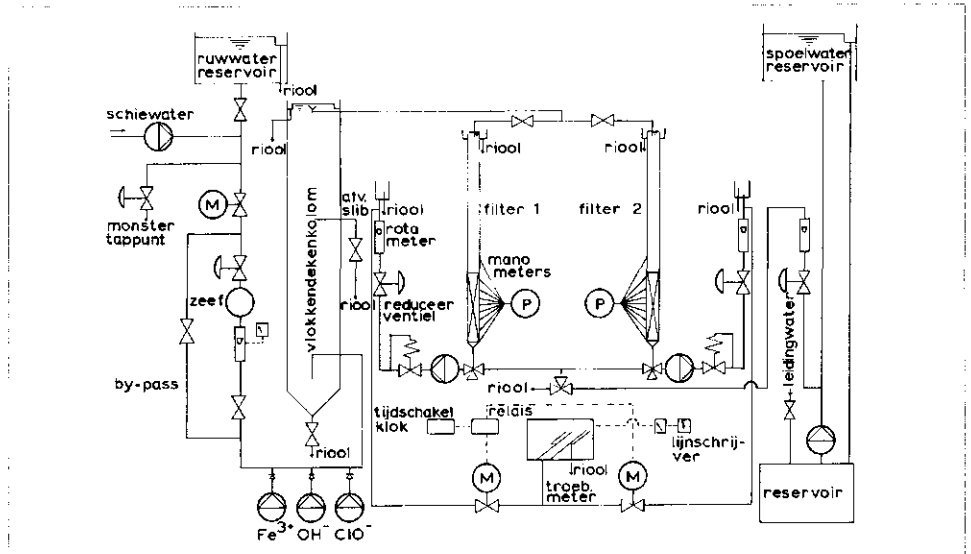
filters was een aanzienlijke menging bij de overgang zand-anthraciet. Conley vond een gecontroleerde menging van de filtermaterialen zeer gunstig. Dat het goede resultaat niet geheel los te zien is van de chemische voorbehandeling, blijkt uit de conclusie dat het effect ervan op de waterkwaliteit en het drukverlies groter is dan die van filterbedsamenstelling of andere procesvariabele. De menglaag veroorzaakt een meer gelijkmatige drukopbouw over de hoogte van het filterbed en een minder snelle drukopbouw gezien in de tijd, zonder dat het filtraat een mindere kwaliteit verkreeg. Door de vlokmiddeldosering te variëren kon Conley zelfs bij snelheden van ongeveer 25 m/h de drukopbouw maatgevend voor de looptijd krijgen.

Camp [3] vindt een mengzone juist een nadeel. Het vermindert het voordeel van het meerlagensysteem. De kleine korrels bovenin het zandbed hebben een essentiële functie en moeten niet opgenomen zijn in een mengzone. Het zandbed moet als veiligheid tegen doorbraak fungeren. Conley stelt de doorbraak veilig met behulp van chemische middelen. Hieraan 'wijkt' Camp ook de goede resultaten van Conley. Ook in meer recente publicaties [4 en 5] blijkt, na onderzoek, dat niet éénduidig te zeggen is of menging in het overgangsgedebied al of niet gunstig is.

## 2. Onderzoek

In dit onderzoek zijn vergelijkende filtratieproeven gedaan om na te gaan of menging van de grenslaag zand-hydro anthraciet gunstig is voor het verloop van het filtratieproces.

De proefopstelling (zie afb. 1) bestond uit twee perspex filters met een inwendige



Afb. 1 - Schema proefopstelling.

Afb. 2 - Resultaten spoelproef. Zandfraktie 0,5 - 1,0 mm, hydro-anthraciet-fraktie 1,6 - 2,5 mm.

terugspoel-snelheid in m/h	totale bedhoogte in cm	expansie hoogte in cm	expansie in %	hoogte * zandlaag in cm	opmerkingen
136	153,5	65,5	74,0		h.-anhr.korrels tot op bodem
121	140,0	52,0	59,0		" " " " "
114	133,5	45,5	51,7		" " " " "
105	126,5	38,5	43,8		" " " " "
98	121,0	33,0	37,5	±40	minder geleidelijke overgang
88	115,0	27,0	30,7	±40	minder menging
79	109,0	21,0	23,9	±36	geen h.-a.korrels in zandlaag
71	103,0	15,0	17,1	±32	" " " " "
63	97,5	9,5	10,8	±29	indringing zandk. in h.-a.laag
58	93,5	5,5	6,3	±25	" " " " "
44	88,0	0,0	0,0	±22	h.-a.korrels in rust

\* Hoogte zandlaag d.w.z. die hoogte boven de filterbodem, waarbeneden zichtbaar geen hydro-anthracietkorrels aanwezig zijn.

diameter van 11 cm. Als infiltraat werd water uit de Schie gebruikt, dat vooraf aan een coagulatieproces werd onderworpen. Als vlokmiddel diende ijzer (III) chloride ( $\text{FeCl}_3$ ), waarvan de dosering 7,5 mg/l bedroeg. Om de pH op een juiste waarde (7,5 - 7,9) te brengen, hetgeen noodzakelijk is voor een goed coagulatieproces, werd natronloog ( $\text{NaOH}$ ) gedoseerd. Tenslotte werd chloorbleekloog ( $\text{HClO}$ ) gedoseerd om biologische werking in de filters tegen te gaan. De dosering werd zodanig afgestemd dat het filtraat 0,5 tot 1,0 mg/l zuiver chloor bevatte.

De verwijdering van de vlokken vond plaats door het water een stalen cilinder te laten doorstromen. De opwaartse snelheid bedroeg 3 m/h. Met een doorstroombengete van 6 m betekende dit een gemiddelde verblijftijd van 2 uur.

Het drukverlies van het filterbed kon worden gevolgd door het aflezen van manometers, die met slangetjes aan de filterkolom bevestigd waren.

Om een goed gelijkmatige aanstroming te verkrijgen bij het terugspoelen waren beide filters uitgerust met een filterbodem (een

geperforeerde plaat), waarvan de weerstand ongeveer 50 cm bedroeg bij de gebruikelijke terugspoelsnelheden.

De filtraatkwaliteit werd continu gevolgd door troebelingsmeting. Het ijzergehalte van het filtraat werd regelmatig bepaald. Als filtermateriaal werd zand ( $\rho = 2630 \text{ kg/m}^3$ ) en hydro-anthraciet ( $\rho = 1660 \text{ kg/m}^3$ ) gebruikt.

De filtratiesnelheid bedroeg 15 m/h.

## 3. Spoelproeven

Om enigszins een indruk te krijgen van het menggedrag tijdens het terugspoelen van een dubbellaagsfilter, zijn enkele spoelproeven uitgevoerd.

Afb. 2 geeft de resultaten weer van een dubbellaagsfilter dat met afnemende snelheid werd teruggespoeld. Bij hoge spoelsnelheden ( $> 100 \text{ m/h}$ ) vindt een geleidelijke overgang plaats van de zandlaag naar de hydro-anthracietlaag. Door turbulentie bevinden zich zelfs enkele hydro-anthracietkorrels vlak bij de filterbodem. Het aantal hydro-anthracietkorrels neemt met de hoogte van het filterbed toe. Bij spoelsnelheden

kleiner dan 100 m/h neemt de menging in het overgangsgedrag aanzienlijk af. De zwaarste hydro-anthracietkorrels bevinden zich op een hoogte van 40 cm boven de filterbodem. Beneden dit niveau zijn geen hydro-anthracietkorrels waarneembaar. Het fluidisatiegedrag van het hele filterbed is nu homogener van karakter. Bij afnemende spoelsnelheid dringen zich zandkorrels in de hydro-anthracietlaag. Met andere woorden de menging neemt toe. Echter er blijft een niveau waar beneden geen hydro-anthracietkorrels zijn.

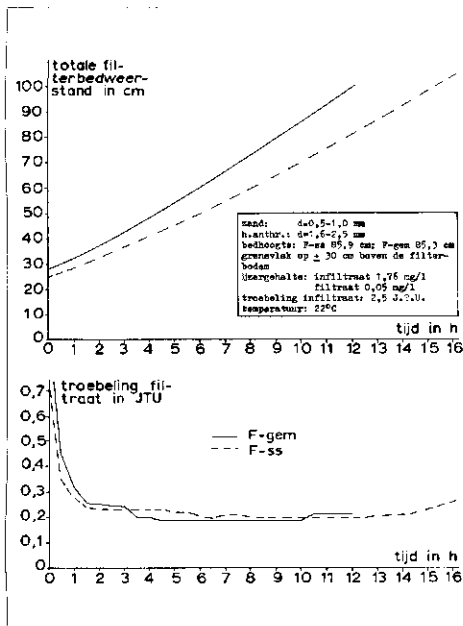
Menging van de twee lagen bleek niet alleen afhankelijk van de spoelsnelheid, maar ook van de spoeltijd. Dit speelde voornamelijk een rol bij lage spoelsnelheden. Bij spoelsnelheden kleiner dan 44 m/h — bij deze snelheid fluidiseerden de grootste hydro-anthracietkorrels niet meer — was duidelijk waarneembaar dat kleine zandkorrels zich in de hydro-anthracietlaag probeerden te dringen. Deze indringing zette zich voort met de tijd. Dit werd duidelijk gedemonstreerd door het tweede filter 5 minuten langer te spoelen met een snelheid van 44 m/h. In dit filter was na afloop 4 cm zandhoogte extra in de hydro-anthracietlaag gemengd. Dit is 13,8 % van de oorspronkelijke zandbedhoogte.

Hieruit laat zich raden dat de menging ook afhankelijk is van de tijd waarin de spoelstroom gestopt wordt. Werd de spoelafsluiter bij hoge spoelsnelheid dichtgedraaid dan was er duidelijk een ander mengpatroon wanneer dat langzaam gebeurde. Bij het snel dichtdraaien van de afsluiter bevonden zich hydro-anthracietkorrels vlak bij de filterbodem. De reproduceerbaarheid liet echter te wensen over.

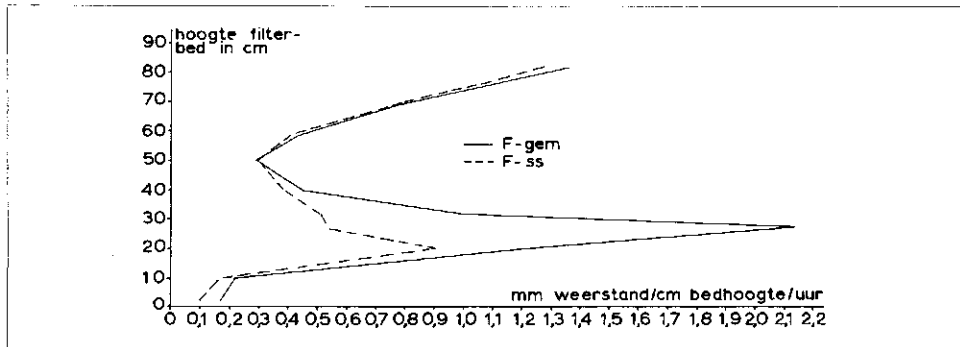
Door de volgende spoelprocedure was het eveneens mogelijk een mengzone te creëren. Nadat het filterbed een normaal spoelproces ondergaan had, werd het filterbed opnieuw krachtig gespoeld. Hierdoor ging het filterbed in zijn geheel omhoog. Deze zogenaamde zuiger brokkelde langzaam af. Op het moment dat nog een ongeveer 10 cm hoge zandlaag aan de zuiger kleefde en wanneer de zuiger op voldoende hoogte was, werd de spoeling plotseling beëindigd. Door turbulente bezinking en wervelingen mengde deze 10 cm hoge zandlaag zich met het onderste gedeelte van de hydro-anthracietlaag. Zo ontstond op het oog een behoorlijk homogene menglaag.

**4. Vergelijkende proeven menging-scherpe scheiding**

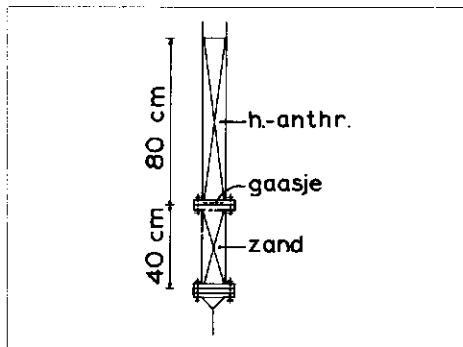
Bij deze proeven is ernaar gestreefd om in één filter een bepaalde mengzone te creëren (F-gem) en in het andere filter een zo scherp mogelijke scheiding tussen de twee soorten filtermaterialen te krijgen (F-ss).



Afb. 3 - Het verloop van de totale drukval en filtraattroebeling met de tijd.



Afb. 4 - Het verloop van de druktoename met de hoogte van het filterbed.



Afb. 5 - De twee soorten filtermaterialen gescheiden door een gaasje.

Alle andere procesvariabelen waren voor beide filters gelijk.

De resultaten zijn verwerkt in grafieken waarin de totale drukval van het filterbed en de filtraattroebeling is uitgezet tegen de tijd. De waarnemingen van het weerstandsverloop zijn zodanig verwerkt dat de toename van de weerstand in mm waterkolom per cm bedhoogte per uur is uitgezet tegen

de filterbedhoogte. Het verschil in menging werd op diverse manieren bereikt.

**4.1. Verschil in spoelwijze**

Het verschil in terugspoelen bestond hierin dat het ene filter (F-ss) normaal teruggespoeld werd en het andere filter (F-gem) menging werd verkregen door te spoelen zoals beschreven in de laatste alinea van 3. Uit de resultaten (zie afb. 3 en 4) is te zien dat als een maximum weerstand wordt aangehouden van 1 m, filter F-ss een looptijd van 15 uur en filter F-gem een looptijd van 12 uur heeft. De druktoename is in filter F-gem in het grensvlak duidelijk groter dan in filter F-ss.

**4.2. Verschil door een gaasje in het filtermateriaal**

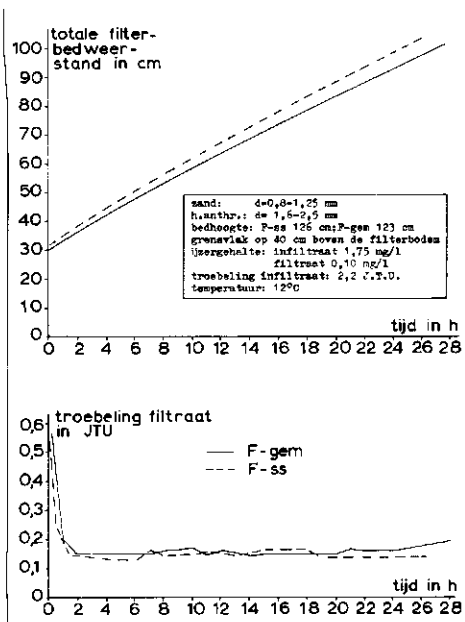
Het filtermateriaal werd zodanig afgewogen dat de zandlaag een hoogte van 40 cm had. De hoogte van de hydro-anthracietlaag bedroeg ca. 80 cm. De hoogte van het zand-

bed was even groot als de lengte van het onderste stuk filterbuis, dat met het oog op deze proeven was geconstrueerd. Daar dit stuk filterbuis los te koppelen was, bestond er de mogelijkheid een scheiding aan te brengen (zie afb. 5). De scheiding was een fijnmazig roestvrij stalen gaasje. Het monteren van dit gaasje was, vooral bij herhaling van de proef, nogal gecompliceerd.

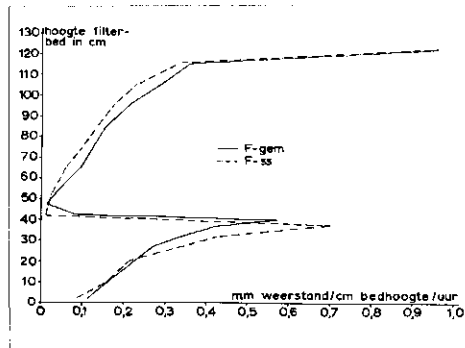
De resultaten (zie afb. 6 en 7) laten niet een duidelijk verschil zien tussen het filtratieverloop van beide filters. Filter F-gem bereikt na 28 uur en filter F-ss na 25 uur een weerstand van 1 m. Het geringe verschil tussen het filtratieverloop is ten dele te wijten aan de lage temperatuur. Hierdoor was de vlokvorming niet optimaal.

**4.3. Verschil door een extra filterbodem**

In het ene filter (F-ss) werd op een hoogte van 40 cm boven de filterbodem, nadat het filter met een ongeveer 30 cm hoge zandlaag gevuld was, een extra filterbodem aangebracht. Hierdoor had het zand voldoende

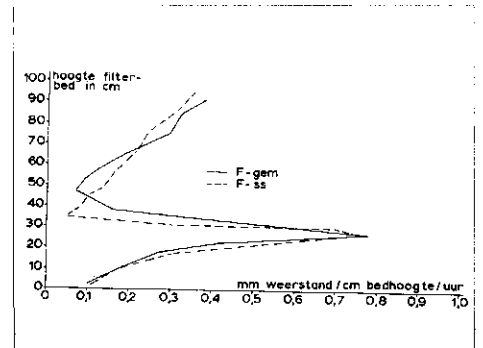


Afb. 6 - Het verloop van de totale drukval en filtraattoebeling met de tijd.



Afb. 9 - Het verloop van de druktoename met de hoogte van het filterbed.

ruimte om tijdens het spoelen te expanderen. F-gem werd normaal teruggespoeld. De resultaten (zie afb. 8 en 9) laten ook hier geen duidelijk verschil in filtratieverloop zien. Beide filters hadden een looptijd van 38 uur. Hierbij is alleen uitgegaan van de weerstand van de filters. Zowel de lage temperatuur als de slechte



Afb. 11 - Het verloop van de druktoename met de hoogte van het filterbed.

kwiteit van het infiltraat waren de oorzaak van een minder goed verlopen van het filtratieproces.

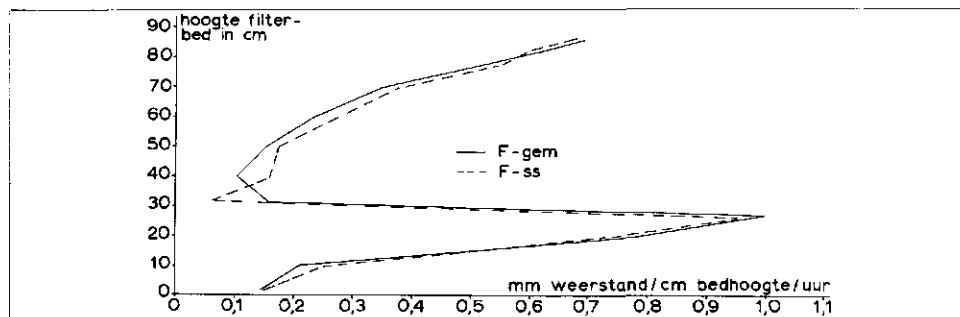
4.4. Verschil door gestratificeerd inbrengen van de hydro-anthracietlaag

De scherpe scheiding werd verkregen door, nadat het zand reeds in het filter was en teruggespoeld, de hydro-anthracietlaag in te brengen. De hydro-anthracietlaag werd niet teruggespoeld. Zo ontstond een zeer scherpe scheiding tussen het zand en het hydro-anthraciet. Vooraf was echter de hydro-anthracietlaag naar korrelgrootte geselecteerd. Dit gebeurde door het hydro-anthraciet tijdens het spoelen, zonder zandlaag, in segmenten af te hevelen. Deze segmenten werden daarna op de zandlaag gebracht.

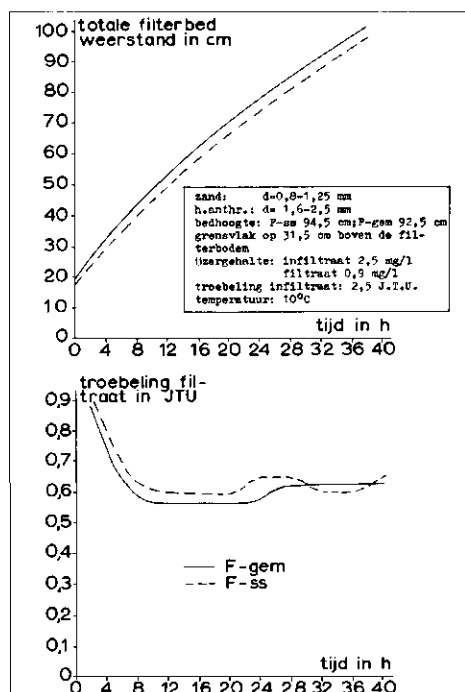
De resultaten (zie afb. 10 en 11) van het filtratieverloop van beide filters komen vrij aardig met elkaar overeen. In dit geval bleek de filtraatkwaliteit maatgevend voor de looptijd. Na 24 uur bereikt de filtraattoebeling hoge waarden. De weerstand op dat moment bedroeg 0,95 m.

5. Verloop van de porositeit in het overgangsgedebied

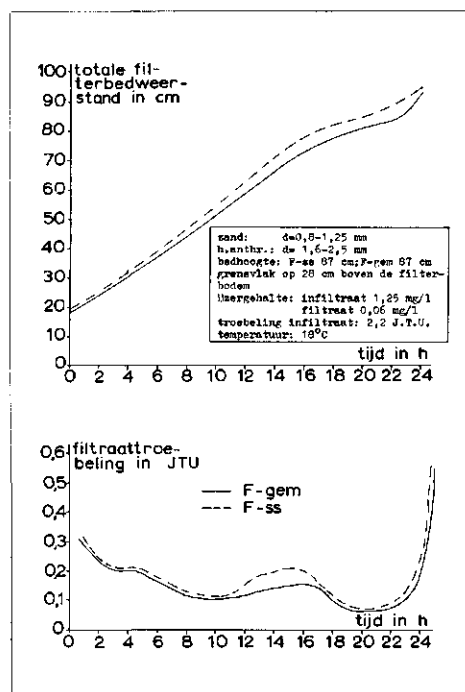
De porositeit heeft een zeer grote invloed op het filtratieproces. Het is makkelijk in te zien dat de porositeit in een mengzone afneemt, immers er kunnen zich kleine zandkorrels nestelen in de holle ruimten tussen de hydro-anthracietkorrels. De afname van de porositeit kan 'koekfiltratie' veroorzaken. Dit is in tegenstelling met de gedachte dat 'koekfiltratie' kan optreden bij een scherpe overgang (plotseling optredende discontinuïteit). De poriegrootte speelt echter ook een rol. Om de porositeit in het overgangsgedebied te onderzoeken zijn enkele proeven gedaan, waarbij na het spoelen het filterbed in segmenten is afgeheveld. Na het drogen en wegen was het mogelijk de porositeit te berekenen. Tevens is het aandeel van de beide soorten filtermateriaal in gewichtspercentage per segment berekend.



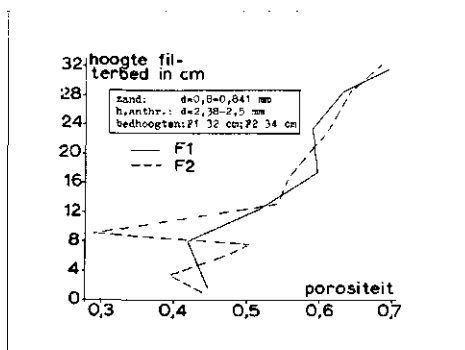
Afb. 7 - Het verloop van de druktoename met de hoogte van het filterbed.



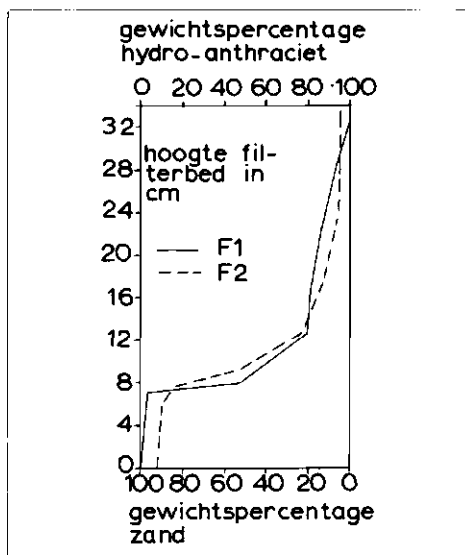
Afb. 8 - Het verloop van de totale drukval en filtraattoebeling met de tijd.



Afb. 10 - Het verloop van de totale drukval en filtraattoebeling met de tijd.



Afb. 12 - Het porositeitsverloop over de hoogte van het filterbed.



Afb. 13 - De verdeling zand-hydro anthraciet over de hoogte van het filterbed.

Afb. 12 en 13 geven de resultaten van een proef weer. Bij dit experiment werd filter F1 gespoeld met een snelheid van 80 m/h. De spoelstroom werd in ca. 1 minuut gestopt. Filter F2 werd teruggespoeld met een snelheid van 140 m/h. De spoelstroom werd ineens gestopt. Afb. 14 laat duidelijk zien dat in filter F2 de porositeit t.p.v. het overgangsgebied sterker afneemt dan in filter F1.

Met behulp van deze grafiek zou men tot een meer grijpbare definitie kunnen komen van de mengzone in een meerlagenfilter:

1. de hoogte van de mengzone: de lengte van het filterbed, waarover de porositeit (plotseling) afneemt.

2. de mate van menging: het porositeitsverschil dat ineens optreedt.

Met deze definitie komt men tot de conclusie dat het filter F1 een grotere mengzone heeft en filter F2 een sterker gemengde overgangszone.

## 6. Conclusies

1. Menging in een meerlagenfilter is behalve

van korrelgrootte en dichtheid van de verschillende soorten filtermateriaal, afhankelijk van de terugspoelsnelheid, de tijd waarin de spoelstroom gestopt wordt en bij lage terugspoelsnelheden van de spoeltijd.

2. In een meerlagenfilter met een mengzone verloopt de weerstand ter plaatse van het overgangsgebied geleidelijker. Bij het gebruikte filtermateriaal en de gebruikte bedhoogten bleek een bepaalde mate van menging in het overgangsgebied van geen noemenswaardige invloed op de filtraatkwaliteit en de totale filterbedweerstand onder de procesomstandigheden zoals deze golden tijdens het uitvoeren van de proeven.

3. De porositeit neemt ter plaatse van de mengzone af.

## Literatuur

1. Baylis, J. R., Filter Evaluation, discussion. Journal AWWA, 52 (1960).
2. Conley, W. R., Pitman, R. W.: Test Program for Filter Evaluation at Hanford. Journal AWWA, 52 (1960).
3. Camp, T. R.: Discussion. Journal AWWA, 53 (1961).
4. Brosman, D. R., Malina, J. F.: Intermixing of Dual Media Filters and Effects on Performance. Technical Report to Environment Protection Agency, University of Texas, may 1972.
5. Cleasby, J. L., Sejkora, G. D.: Effect of Media Intermixing on Dual Media Filtration. Journal of the Environmental Engineering Division, aug. 1975.

