

# Enkele aspecten van dubbellaagsfiltratie met zand en anthraciet

## 1. Inleiding

Het filtreren door meerdere boven elkaar gelegen lagen van verschillend materiaal is een techniek die de laatste jaren bijzondere aandacht heeft gekregen en in verschillende landen onderwerp van studie is. De hier gegeven verhandeling blijft beperkt tot de anthraciet-zand-filtratie, waarbij in het bijzonder zal worden ingegaan op het vraagstuk van de menging van deze beide materialen.

Over het mengprobleem was tot dusverre nog slechts weinig bekend en het is dan ook niet



IR. A. DE LATHOUDER

verwonderlijk dat de invloed die de menging van beide filterlagen op de opbouw en de werking van het filter heeft nog steeds een punt van discussie vormt.

Het principe van de grof naar fijn filtratie, waarbij de vloeistof achtereenvolgens een grove bovenlaag van antraciet en een fijnere zandlaag passeert, wordt toegepast om de snelle vervuiling en het snelle dichtslaan van een betrekkelijk dunne bovenlaag te voorkomen en het slib dieper in het bed te doen doordringen. De bergingscapaciteit kan op deze wijze aanzienlijk worden vergroot, terwijl er doorgaans een belangrijke winst kan worden geboekt in hetzij de looptijd, de filtratiesnelheid of het drukverlies.

Toepassingen vindt men niet alleen bij ijzer- en mangaanhoudend grondwater, maar ook bij oppervlaktewater met een hoge, vaak sterk variërende, belasting aan algen en zwevende stoffen.

Het principe is al oud. Baker schreef in zijn boek 'The quest for pure water', dat reeds in het begin van de 19e eeuw octrooien en uitvoeringen werden aangetroffen in Frankrijk en wel voor een combinatie van zand en houtskool, veelal afgedekt met een laag sponzen. In de zestiger jaren kwam het principe weer meer onder de aandacht omdat zowel de toenemende milieuvervuiling als het stijgende waterverbruik aanleiding gaven tot problemen met de weerstand, de looptijd en vuilberging. Vooral na 1965 hebben zich dan ook diverse waterleidingbedrijven en instituten intensiever met het probleem beziggehouden. Het waren vooral het KIWA en de Afdeling Gezondheidstechniek van de TH te Delft die zich met meer algemeen gericht onderzoek naar het mengprobleem gingen bezighouden. Bij het KIWA waren dit in

chronologische volgorde: de auteur, ing. C. A. van Bennekom en ing. J. K. Visser, waarbij de laatste gebruik maakte van de faciliteiten aan de TH. Aan de TH werd onderzoek uitgevoerd door R. H. M. Bos.

## 2. Verschillen tussen gescheiden en gemengde lagen

De verschillen tussen gemengde en gescheiden lagen waren tot voor kort niet zo duidelijk en de uitspraken hieromtrent waren veelal ontleend aan veronderstellingen of conclusies die nauwelijks geschraagd waren door verantwoorde vergelijkingsproeven. Toch vormde zich wel een min of meer gerichte mening die hierop neerkwam dat het discontinu opgebouwde bed met gescheiden lagen redelijk goed reproduceerbaar is en minder gevoelig is voor de spoelprocedure. Verder wordt van de gescheiden zandlaag een zeker polijstend effect verwacht met goede veiligheid tegen doorbraak. Anderzijds is de kans op slibopeenhoping in de fijne zandlaag onder het scheidingsvlak uiteraard groter dan bij een gemengd bed. Het gemengde bed daarentegen is minder gemakkelijk reproduceerbaar en wordt sterk beïnvloed door het spoelregime. Als gevolg van de menging is de opbouw regelmatig, hetgeen een meer continu verloop van het drukverlies en berging tot gevolg heeft.

Uit een inventarisatie van de meningen blijkt dat de meeste onderzoekers enige menging voorstaan, of dat zij zulks althans niet ongunstig achten voor het filtratieproces. Enkelen (onder andere Camp) menen aan gescheiden lagen de voorkeur te moeten geven.

Om tot een wat meer gefundeerde uitspraak te komen wordt in het volgende eerst aandacht geschonken aan de factoren die de menging beïnvloeden en aan de invloed die de menging heeft op de opbouw en de werking van het filterbed.

## 3. Factoren die de menging beïnvloeden

Door de vele factoren die in meerdere of mindere mate van invloed zijn op de menging van de beide lagen filtermateriaal is het probleem nogal complex. De vraag is door welke factoren de menging in hoofdzaak wordt beheerst en of deze in de hand gehouden kunnen worden.

In de eerste plaats speelt het filtermateriaal zelf een belangrijke rol, met name de korrelgrootteverhouding  $D/d$  tussen het grove anthraciet ( $D$ ) en het fijne zand ( $d$ ) dat zich direct boven en onder de scheidingslaag bevindt. Daarnaast zijn de korrelgroottevariatie (ruime of nauwe zeefbegrenzing) en de korrelvorm (hoekigheid) van beide materialen van invloed.

Essentieel is het verschil in massadichtheid tussen de beide materialen. Voor zand bedraagt deze ca.  $2650 \text{ kg/m}^3$ , voor anthraciet varieert deze meestal tussen 1400 en  $1750 \text{ kg/m}^3$ .

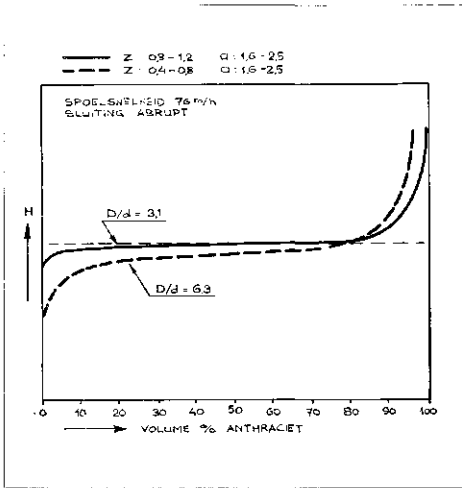
Van veel belang is het spoelregime. Dit betreft niet alleen de spoelwater- en spoel-luchtsnelheid maar ook de spoeltijd en de verdeling van het spoelmedium via de spoelorganen in de bodem, de steunlaag en het filterbed. Vooral ook is de tijd waarin de spoelwatertoevoer van maximale snelheid tot nul wordt teruggebracht — dus de sluit-tijd van de spoelafsluiter — van grote invloed op de menging van beide lagen. Tenslotte hebben ook de hoogte van het filterbed, de verhouding tussen de hoogten van anthraciet- en zandlaag en de temperatuur van het water invloed op het mengen. De belangrijkste factoren die beslissend zijn voor het al dan niet optreden van menging bij zand en anthraciet zijn de volgende.

a. De korrelgrootteverhouding tussen de grootste anthracietkorrels ( $D$ ) en de kleinste zandkorrels ( $d$ ) die zich bij een gestratificeerd bed in de grenslaag anthraciet/zand bevinden.

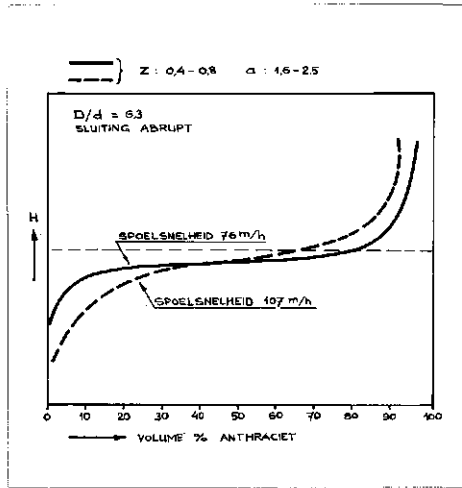
b. De spoelprocedure, met name de maximale spoelsnelheid en de sluittijd bij de beëindiging van het spoelproces.

Wordt de korrelgrootteverhouding  $D/d < 3$  gekozen dan treedt geen of weinig menging op. De kans op menging is kleiner naarmate  $D/d$  afneemt, terwijl bij deze lage verhoudingen weinig invloed van de spoelprocedure wordt ondervonden.

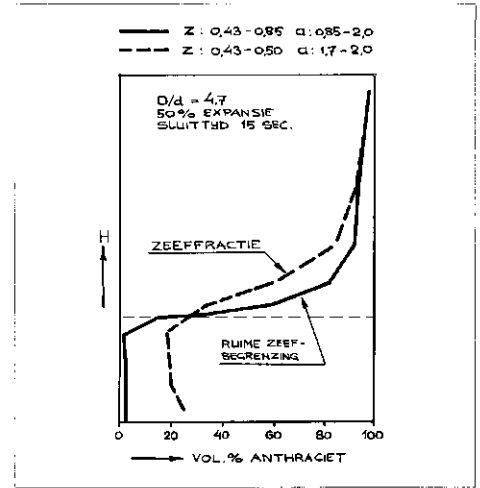
Wordt de verhouding  $D/d > 4$  gekozen dan treedt, afhankelijk van de spoelprocedure, weinig tot veel menging op, waarbij de kans op menging groter is naarmate  $D/d$  toeneemt. De spoelprocedure is bij deze grotere verhoudingen van grote invloed op de menging. De beide lagen zullen zich meer vermengen naarmate de spoelsnelheid groter is en de tijd waarin de spoelperiode wordt beëindigd korter is (sluittijd korter). De oorzaak is gelegen in de intensievere menging die bij grotere expansie van het bed (hogere spoelsnelheid) optreedt. Wordt nu de spoelafsluiter bij deze mengtoestand plotseling dichtgedraaid, dan krijgen de beide filtermaterialen bij het dalen geen gelegenheid tot ontmenging en zal het bed dus in gemengde toestand tot rust komen. Wat betreft de ontmenging of het gescheiden blijven van twee soorten filtermateriaal na het spoelen blijkt uit de praktijk dat de lagen bij de gebruikelijke korrelgrootteverhoudingen nooit volledig gescheiden zijn. Dit is onder andere het gevolg van de aanwezigheid van zekere hoeveelheden bovenmaat anthraciet (te grof) en ondermaat



Afb. 1 - Invloed van de korrelgrootteverhouding op de menging.



Afb. 2 - Invloed van de spoelsnelheid op de menging.



Afb. 5 - Invloed van de korrelgroottevariatie op de menging.

zand (te fijn) die buiten de begrenzen- de zeefmaten liggen. Dit materiaal heeft een grote D/d verhouding en mengt dus eerder dan volgens de nominale korrelgrootte- aanduiding zou worden verwacht. Daarnaast treden er ongewilde vermen- gingen op door onregelmatigheden in de steunlaag en het filterbed, onregelmatige verdeling van spoelwater en spoellicht en door wandeffecten.

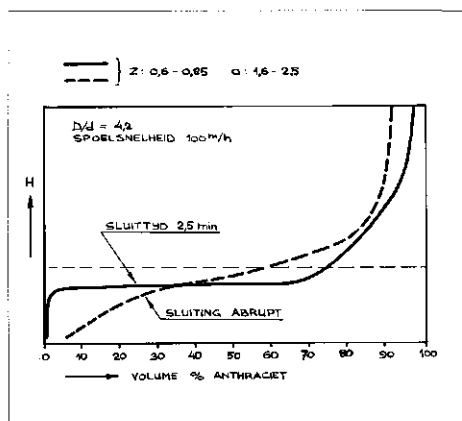
In de afbeeldingen 1 t/m 5 wordt de invloed van een aantal variabelen op de menging gedemonstreerd. In deze afbeeldingen is telkens het aantal volumepercenten anthra- ciet uitgezet als functie van de hoogte H van het filterbed.

In afb. 1 is door vergelijking van verschil- lende zand/anthracietcombinaties de invloed van D/d uitgebeeld. In het gemengde bed (D/d = 6,3) dringt het anthraciet tot bijna halverwege het zandbed door, terwijl zich boven in het anthracietbed nog ca. 5 % zand bevindt. Bij een verhouding D/d = 3,1 wordt zelfs bij abrupte sluiting nog een redelijke scheiding verkregen.

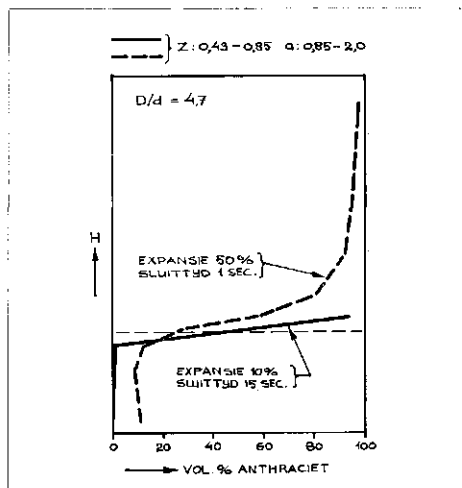
Afb. 2 toont de invloed van het verschil in spoelsnelheid. De hogere spoelsnelheid van 107 m/h geeft meer menging, waarbij boven in het anthracietbed zelfs tot 10 % zand aanwezig is.

Afb. 3 laat zien dat een abrupte sluiting van de spoelafsluiter aanzienlijk meer menging geeft dan een langzame sluiting in 2,5 minuut. Bij de plotselinge sluiting is de vermenging zo groot dat onder en boven nog resp. 10 % anthraciet en 10 % zand aanwezig is.

In afb. 4 is het effect van de combinatie van grote spoelsnelheid en korte sluittijd ver- geleken met dat van een kleine snelheid gecombineerd met een langere sluittijd. In het laatste geval krijgen we een goede



Afb. 3 - Invloed van de sluitsnelheid na spoelen op de menging.



Afb. 4 - Invloed van spoelsnelheid en sluittijd op de menging.

scheiding terwijl zich in het gemengde bed 10 % anthraciet in het zand bevindt.

Afb. 5 toont voor gelijkblijvende verhou- ding D/d het verschil in effect tussen toepassing van een nauwe en een ruime zeefbegrenzing. De combinatie van zeef-

fracties zand en anthraciet (nauwe zeef- grenzen) geeft een menging waarbij het zandbed over de gehele hoogte met ca. 20 % anthraciet vermengd is. Wordt aan deze zeeffracties fijn anthraciet en grof zand toegevoegd, zodat ruime zeefbegrenzen ontstaan en de combinatie overeenstem- ming verkrijgt met handelsmaten, dan ver- mindert de menging onder overigens dezelfde condities sterk en verdwijnt vrijwel alle anthraciet uit het zand. Dit grote verschil maant tot voorzichtigheid bij de toepassing van conclusies die ontleend zijn aan proeven met zeeffracties die nauwe begrenzen hebben.

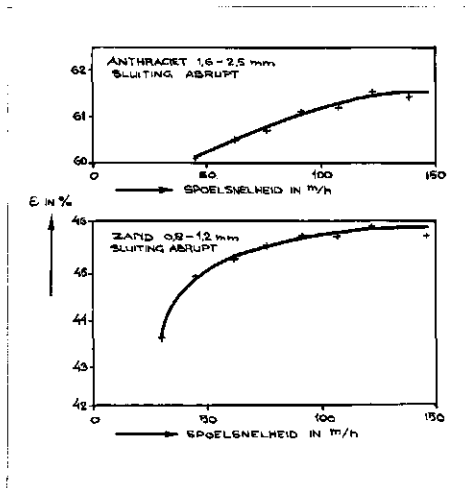
#### 4. Invloed van de menging op de opbouw van het bed

##### 4.1. Verloop van het poriënvolume (porositeit $\epsilon$ )

Het poriënvolume of de porositeit van het filtermateriaal is afhankelijk van diverse factoren, die in hoofdzaak onder de volgende drie groepen vallen.

a. De hoekigheid van het materiaal. Zand komt voor in diverse variëteiten van vrij scherp en hoekig tot afgerond. Als gemiddelde waarde van het poriënvolume kan een porositeit van 40 à 45 % worden aangehouden. Anthraciet is door- gaans hoekiger en voor het in Nederland vaak gebruikte hydro-anthraciet werd een porositeit van 55 à 60 % gemeten.

b. De pakking of inklinking van het materiaal. Ter illustratie van de invloed van een meer of minder dichte pakking zij vermeld dat voor de ruimste en dichtste stapeling voor bollen resp. geldt  $\epsilon$  ca. 48 % en  $\epsilon$  ca. 26 %. In het filterbed wordt de pakking beïnvloed door:  
— de belasting door het er boven liggende materiaal;



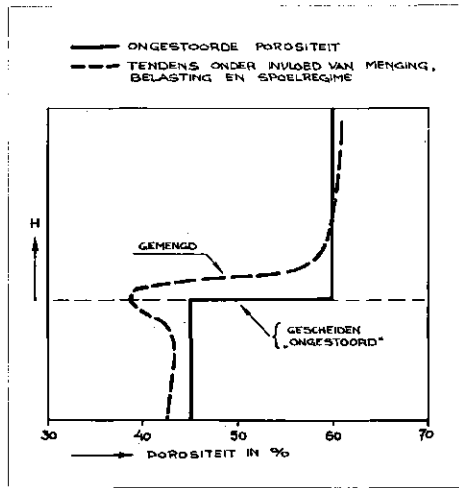
Afb. 6 - Porositeit van het bed na spoelen als functie van de spoelsnelheid voor enkellaags bedden.

- de spoelprocedure, met name de spoelsnelheid en de sluittijd;
- de luchtspoeling die een verkleining van  $\varepsilon$  teweeg brengt;
- de blijvende vervuiling waardoor de poriën ten dele worden opgevuld en  $\varepsilon$  dus verkleint.

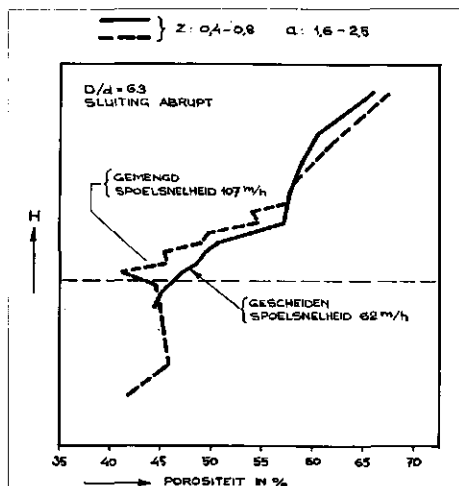
c. Vermenging van beide filtermaterialen. De in de praktijk toegepaste afmetingen van anthraciet en zand zijn zodanig dat de fijne zandkorrels een deel van de poriën van het anthraciet kunnen opvullen. In de zone waar menging optreedt geschiedt dit dan ook, als gevolg waarvan het poriënvolume kleiner wordt.

In de afbeeldingen 6 t/m 9 wordt het verloop van de porositeit nader gezien. Afb. 6 toont de porositeit van een enkellaags anthracietbed en een enkellaags zandbed als functie van de spoelsnelheid (bij abrupte sluiting van de spoelafsluiter). In beide gevallen blijkt  $\varepsilon$  toe te nemen bij vergroting van de spoelsnelheid. De grotere spoelsnelheid veroorzaakt blijkbaar een grotere ongeordendheid, die bij plotselinge sluiting gehandhaafd blijft en resulteert in een iets ruimere pakking. Overigens blijkt hier de veel grotere porositeit van het anthraciet duidelijk.

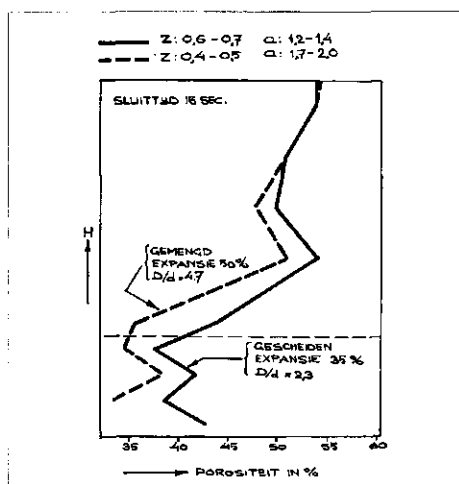
In afb. 7 is getracht het verloop van de porositeit met de hoogte in het bed te karakteriseren. Daarbij is uitgegaan van de veronderstelling dat de gescheiden ongestoorte lagen anthraciet en zand een poriënvolume van 60 % resp. 45 % hebben (getrokken lijn). Uitgaande van deze situatie is het verloop van de porositeit gekarakteriseerd voor een toestand waarbij een mengzone optreedt en het poriënvolume wordt beïnvloed door het spoelregime, de belasting van bovenliggend



Afb. 7 - Verloop van de porositeit als functie van de hoogte van het bed.



Afb. 8 - Verloop van de porositeit als functie van de hoogte van het bed.



Afb. 9 - Verloop van de porositeit als functie van de hoogte van het bed.

materiaal en de menging. Wordt de menging verkregen door toepassing van een hoge spoelsnelheid en een korte sluittijd dan kan

boven in het bed vergroting van de porositeit optreden (vergelijk afb. 6). Verder neemt de porositeit van boven tot onder in het filter af als gevolg van de toenemende belasting door de hoger gelegen lagen. En de menging tenslotte doet  $\varepsilon$  in de mengzone afnemen door het opvullen van de anthracietporiën met zand. Deze factoren in aanmerking genomen mag een tendens verwacht worden zoals die in afb. 7 is aangegeven door de streeplijn (gemengd). In de afb. 8 en 9 is te zien hoe dit verloop zich in de praktijk manifesteert.

Afb. 8, die ontleend is aan een Nederlands onderzoek, laat de invloed op de porositeit zien door verschil in menging, teweeg gebracht door verschillende spoelsnelheden. De hogere spoelsnelheid blijkt ook hier weer een grotere porositeit boven in het bed te geven, terwijl het gemengde bed in de mengzone een duidelijke piek toont, die wijst op een verlaagd poriënvolume (tot circa 40 %). De porositeit verloopt van rond 65 % boven in het bed tot ongeveer 45 % onderin.

In afb. 9 is het verloop van de porositeit gegeven voor verschillende mate van menging bij verschillende korelgrooteverhoudingen  $D/d$ . Ook hier heeft het gemengde bed, dus met de grootste verhouding  $D/d$ , de laagste porositeit, die in dit geval tot 35 % is teruggelopen. De porositeit varieert volgens deze, uit een Amerikaans onderzoek afkomstige resultaten, van  $\varepsilon = 50$  à 55 % boven in het bed tot  $\varepsilon = 35$  à 40 % onderin. Vooral uit deze laatste afbeelding komt het in afb. 7 gegeven karakter duidelijk naar voren.

Als algemene conclusie kan gesteld worden dat het poriënvolume in een zand/anthracietbed van boven naar beneden sterk kan afnemen (bijv. van 60 tot 40 %) en dat in de mengzone een extra verkleining van het poriënvolume kan optreden. Dit betekent dat de bergingscapaciteit van het filter door menging wordt verkleind.

#### 4.2. Verloop van de poriëngroote

In tegenstelling tot de porositeit die onafhankelijk is van de korrelgrootte, hangt de grootte van de poriën direct samen met de korrelgrootte. De afmetingen van het filtermateriaal geven dus een eerste indicatie omtrent de afmetingen van de poriën. Verder is de onderlinge afstand van de korrels uiteraard van invloed op de poriëngroote. Daarbij spelen dezelfde factoren als bij de porositeit een rol, te weten de hoekigheid, de pakking en de menging. Naarmate de hoekigheid kleiner, de pakking dichter en de menging groter is, liggen de korrels dichter aaneengesloten en zal de grootte van de poriën dus kleiner zijn.

In afb. 10 is getracht het karakter van het verloop van de poriëngrootte te schetsen door uit te gaan van het korrelgrootteverloop als functie van de hoogte. De stippe lijnen geven het ongestoorde korrelgrootteverloop voor gescheiden gestratificeerde lagen anthraciet en zand met in de grenslaag het fijne zand en het grove anthraciet.

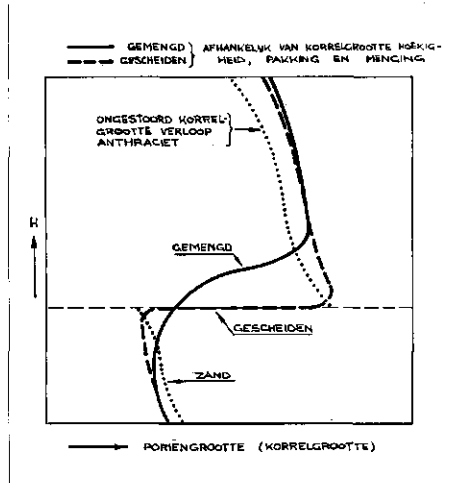
Wordt, uitgaande van het korrelgrootteverloop, het karakter van het poriëngrootteverloop onder invloed van de hoekigheid (voor anthraciet groot, voor zand kleiner) en de inklinking (voor anthraciet klein, voor zand groter) geschat, dan ontstaat het karakter dat in afb. 10 is aangegeven door de gestreepte lijn (gescheiden). Treedt er bovendien menging op dan ontstaat een tendens aangegeven door de getrokken lijn (gemengd).

Uit het verkregen karakter van het poriëngrootteverloop blijkt, dat dit een ruwe benadering is van het grof naar fijn principe en dat deze benadering beter is naarmate er meer menging optreedt. Uit het geschatte karakter volgt ook dat een principiële beter verloop wordt verkregen door toepassing van meer lagen en minder wijde zeefbegrenzings (uniformiteitscoëfficiënt  $C_u$  kleiner) voor elk van de materialen. Overigens bleek uit onderzoeken in Engeland en Amerika dat een kleinere  $C_u$ -waarde geen merkbaar effect bij de filtratie gaf.

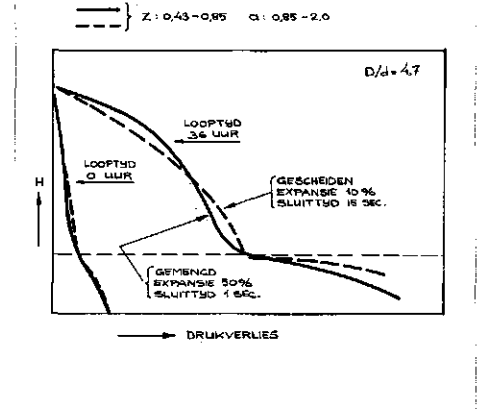
4.3. De hoogte van het filterbed

Wordt op een zandbed een laag anthraciet aangebracht dan zal het zandbed door deze extra belasting inklinken, terwijl bij vermenging nog eens extra zakking plaatsvindt omdat de fijne zandkorrels de poriën van het grove anthraciet opvullen. Dit blijkt duidelijk uit afb. 11 waarin de hoogte van een bed met gescheiden lagen ( $D/d = 3,1$ ) en van een bed met gemengde lagen ( $D/d = 6,3$ ) als functie van de spoelsnelheid is uitgezet. De hoogte  $H$  van het zand/anthracietbed is uitgedrukt in procenten van de som van de hoogten van het afzonderlijke anthracietbed ( $H_a$ ) en het afzonderlijke zandbed ( $H_z$ ). Voor de zand/anthraciet combinatie met gescheiden lagen blijkt de hoogte als gevolg van de extra belasting van het zandbed ongeveer 3% te verminderen en wel onafhankelijk van de spoelsnelheid. Voor de gemengde combinatie treedt als gevolg van de opvulling van anthracietporiën met zand een extra verlaging van de hoogte op, die groter is naarmate de spoelsnelheid — dus de menging — toeneemt en die maximaal 5% bedraagt.

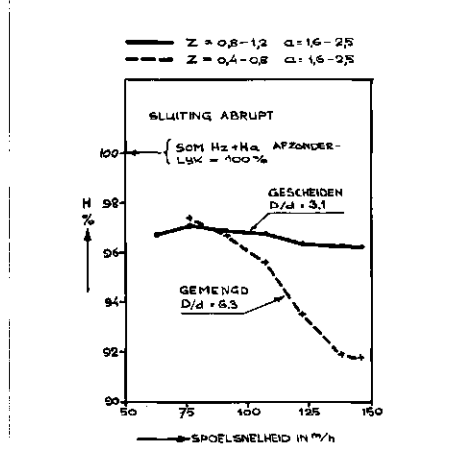
Geconcludeerd kan worden dat de hoogte van het gecombineerde bed kleiner is dan die van de som van de afzonderlijke bedden.



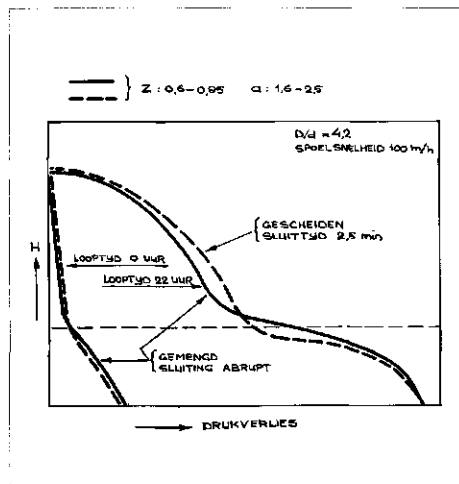
Afb. 10 - Karakter van het poriëngrootte verloop.



Afb. 13 - Invloed van menging op het drukverloop (effect van de spoelsnelheid).



Afb. 11 - Invloed van de menging op de hoogte van het filterbed.



Afb. 12 - Invloed van menging op het drukverloop (effect sluittijd na spoelen).

De hoogte is kleiner naarmate er meer menging optreedt. Ook hier blijkt dat de bergingscapaciteit afneemt naarmate de menging toeneemt.

5. De werking van het filter

Als gevolg van de menging van beide filterlagen ontstaan, zoals uit punt 4 bleek, duidelijke verschillen in de opbouw van het filterbed. In de eerste plaats wordt de anthraciet/zandverhouding over de hoogte van het bed gewijzigd, waardoor onder andere het verloop van de korrelgrootte en van het werkzame korreloppervlak verandert. Bovendien verandert het verloop van het poriënvolume en de bergingscapaciteit, maar ook het verloop van de poriëngrootte. Tenslotte wijzigt in samenhang met het voorgaande ook de hoogte van het bed.

Gezien deze aanmerkelijke verschillen zou men een zekere invloed van de menging op de kwaliteit van het filtraat mogen verwachten. Bezien wij hiertoe eerst het in de afb. 12 en 13 gegeven verloop van het drukverlies over de hoogte van het bed, dat een belangrijke aanwijzing geeft omtrent het verloop van de slibberging en eventuele slibopgehopeningen in de bovenlaag en in het scheidingsvlak. De afb. 12 en 13 zijn ontleend aan resp. Nederlandse en Amerikaanse onderzoeken. In elk van deze gevallen wordt voor de gemengde en gescheiden toestand van een zelfde zand/anthracietcombinatie uitgegaan, resp. met  $D/d = 4,2$  en  $D/d = 4,7$ . Bij het Nederlandse onderzoek werd het verschil in menging uitsluitend door verschil in sluittijd verkregen. Voor het ontmengde bed werd de spoelafsluiter in 2,5 minuut dichtgedraaid waardoor de materialen gelegenheid kregen te ontmengen en tot gescheiden lagen te bezinken. Bij de Amerikaanse proeven werd het verschil verkregen door toepassing van een kleine spoelsnelheid met een niet te korte sluittijd voor de gescheiden lagen en van een grote spoelsnelheid met een korte sluittijd voor de gemengde lagen.

Ondanks de verschillen in apparatuur,

meettechniek en uitvoering van de proef blijken de resultaten redelijk overeen te stemmen. In beide gevallen neemt het drukverlies in het gemengde bed boven en in het scheidingsvlak sneller toe als gevolg van het kleinere poriënvolume in de mengzone. Voor de gescheiden lagen ligt de sterkste toeneming van het drukverlies onder het scheidingsvlak als gevolg van de daar aanwezige fijnere toplaag van het zandbed. Op de totale weerstand maakt de gemengde of gescheiden toestand weinig uit.

Behalve deze resultaten, die aantonen dat de invloed van menging op het drukverloop en de looptijd gering is, hebben diverse onderzoekers geconstateerd dat het al of niet mengen van de beide materialen van geen of slechts weinig invloed is op de kwaliteit van het filtraat.

Uit de bestudeerde onderzoeksresultaten komt verder naar voren dat de opbouw van het bed door beperking van de menging stabiel blijft en de bergingscapaciteit groter is. Daarenboven mag door de beter in tact gehouden onderlaag verwacht worden dat het polijstend effect en de doorbraakveiligheid beter worden gehandhaafd. Tenslotte behoeven er, indien geen menging wordt nagestreefd, geen gecompliceerde spoelprocedures met extra hoge snelheden en korte sluittijden te worden toegepast. Dit laatste heeft uiteraard economische voordelen wegens besparing in spoelwater- en energieverbruik, in pomp- en leidingcapaciteit en in expansiehoogte. Aan de hand van het bovenstaande kunnen enkele belangrijke conclusies worden getrokken.

a. Het toepassen van een mengzone biedt geen voordelen ter verbetering van de drukopbouw en de kwaliteit van het filtraat.

b. Gezien een aantal voordelen dient de voorkeur te worden gegeven aan dubbellaagsfilters waarbij de lagen weinig mengen en waarbij dus slechts een beperkte mengzone optreedt.

## 6. Aanbevelingen

Het is altijd gevaarlijk algemene aanbevelingen aan de hand van cijfers te geven, omdat men dan al gauw geneigd is deze cijfers zonder meer te hanteren. Daarom zij er uitdrukkelijk op gewezen dat de in het volgende vermelde waarden meer als een gemiddelde moeten worden gezien en dat de juiste keuze slechts kan worden gedaan afhankelijk van het watertype in samenhang met de overige stappen van het filtratieproces.

### a. Materiaalkeuze

Met name de korrelgrootteverhouding anthraciet/zand is van groot belang.

Wordt de verhouding  $D/d$  groot gekozen ( $> 4$ ), dan kan het korrelgrootteverschil te groot worden waardoor te veel menging optreedt en het grove anthraciet in het onderliggende zand wegzakt. Bovendien wordt dan de spoelsnelheid, die nodig is voor de fluïdisatie van het grove anthraciet, relatief hoger dan nodig is voor die van het zand.

Wordt de verhouding  $D/d$  klein gekozen ( $< 3$ ), dan is het korrelgrootteverschil klein en ontstaat er een scherpe scheiding. Het naar verhouding vrij grove zand kan dan een zo hoge spoelsnelheid vereisen dat daarbij een onnodig grote expansie van het anthraciet optreedt.

In verband met het voorgaande wordt geadviseerd de diameterverhouding grof anthraciet : fijn zand 3 à 4 te kiezen. Voor gemiddelde Nederlandse omstandigheden kan bij toepassing van de handelsmaat hydro-anthraciet van 1,6 mm - 2,5 mm een zand van 0,8 mm - 1,2 mm worden gekozen.

### b. Spoelsnelheid

De gebruikelijke spoelsnelheden van 40 tot 60 m/h zijn voor dubbellaagsfilters meestal te laag. Voor een goede reiniging en ordening van het bed zijn vrij hoge snelheden nodig omdat:

1. de minimale fluïdatiesnelheid waarbij het anthraciet loskomt moet worden overschreden;

2. de onregelmatigheden die onder andere door de ongecontroleerde menging door de luchtspoeling optreden, moeten worden opgeheven.

Als voorbeeld kan voor toepassing van een maximale anthracietkorrel van 2,5 mm bij circa 15 °C worden gesteld dat een spoelsnelheid van 65 à 75 m/h nodig is.

### c. Hoogte van het bed

De totale hoogte van het bed blijkt sterk te variëren, doch ligt doorgaans tussen 1 en 2 m. Er is een tendens de anthracietlaag dikker te maken dan de zandlaag, omdat het deel onder de fijne zandlaag meestal weinig werkzaam is. De hoogte van het anthraciet kan dan 1,5 à 2 maal zo groot zijn als de hoogte van het zand. Overigens is deze opbouw sterk afhankelijk van watertype en voorbehandeling.

### d. Filtratiesnelheid

Bij dubbellaagsfiltratie worden meestal hogere snelheden toegepast dan bij de normale filtratie. Enerzijds ontbreekt de extra weerstand gevende fijne bovenlaag, anderzijds is de zekerheid tegen doorbraak groter. Hoewel ook hier weer diverse factoren bepalend zijn, kan in het algemeen gesteld worden dat 8 tot 12 m/h gebruikelijk is,

maar dat ook snelheden tot 15 m/h worden gebruikt.

## 7. Slotbeschouwing

Hoewel het gebruik van dubbellaagsfilters meer en meer toeneemt, mag niet worden geconcludeerd dat dubbellaagsfiltratie altijd wel verantwoord is. Men dient er voor te waken dat deze toepassing een modekwestie wordt, temeer omdat de gewone zandfilters het vaak bijzonder goed doen. In bepaalde gevallen, waarbij aan sterk mangaan- en ijzerhoudend grondwater moet worden gedacht of aan oppervlaktewater met een hoog en vaak sterk wisselend gehalte aan zwevende stoffen en algen, kan dit type echter grote voordelen bieden.

Overweegt men toepassing van een dubbellaagsfilter dan zal de keuze altijd moeten worden afgewogen tegen andere mogelijkheden zoals:

— een enkellaagsfilter met, om dichtslaan te voorkomen, bijv. een niet te fijne zandkorrelgrootte en een vrij grote hoogte van het bed;

— twee gescheiden opgestelde zandfilters, grof en fijn als vóór- en nafilter;

— twee gescheiden zandfilters die recht of schuin boven elkaar tot een eenheid zijn samengebouwd.

N.B. In deze beschouwingen is gebruik gemaakt van afbeeldingen die ontleend zijn aan het werk van de volgende onderzoekers:

C. A. van Bennekom: afb. 1, 2, 6, 8 en 11;

J. K. Visser: afb. 3 en 12;

D. R. Brosman en J. F. Malina: afb. 4, 5, 9 en 13.

