



Deeltjestellers bij de beoordeling van effluentfilters

DR. IR. J. DE KONING, TU DELFT

De techniek van het tellen van deeltjes in water is de laatste jaren sterk in ontwikkeling, mede dankzij het feit dat in allerlei takken van industrie het bepalen van deeltjes in water steeds belangrijker wordt. Eén en ander heeft geleid tot de ontwikkeling van instrumenten waarmee de verwijdering van deeltjes bij de waterbehandeling semi-continu kan worden bepaald.

In de drinkwaterbereiding worden deeltjestellers toegepast bij het ontwerp, de optimalisatie en de bewaking van diverse zuiveringsprocessen. Toepassingen zijn:

- beoordeling van de verwijdering van (pathogene) micro-organismen,
- bewaking van de integriteit van membraanprocessen,
- vaststellen van de vervuulende eigenschappen van (drink)water bij membraanfiltratie en bij opslag en distributie
- en het optimaliseren van de werking van filtratiestappen.

Filtratie van rwzi-effluent wordt op dit moment in Nederland nog niet op praktisch-schaal toegepast. De toepassing van deeltjestellers beperkt zich dan ook tot de toepassing bij experimenteel onderzoek.

Bij de filtratie van rwzi-effluent is het voornaamste doel de verwijdering van zwevende stof (deeltjes). Het is dus van belang om over een goede en betrouwbare methode voor de bepaling van de hoeveelheid zwevende stof te beschikken. Hierbij zijn niet alleen de zwevende stofgehalten in het rwzi-effluent en het filtraat van belang; ook de gehalten in het filterbed kunnen bij onderzoeken van het filtratieproces van belang zijn.

De tot nu toe beschikbare methoden voor de bepaling van zwevende stofgehalten in rwzi-effluent zijn: de analytische bepaling en de troebelheidsmeting. Beide methoden voldoen niet aan de wensen met betrekking tot betrouwbaarheid en snelheid. De analytische bepaling kan betrouwbaar zijn, maar is dan zeer tijdrovend, terwijl troebelheid voornamelijk veroorzaakt wordt door de kleinere deeltjes (< circa 8 µm).

Bij experimenteel onderzoek naar de filtratie van rwzi-effluent door de sectie

Gezondheidstechniek van de TU Delft is een deeltjesteller met een lichtblokkade-sensor toegepast voor het vaststellen van de verwijdering van deeltjes door een effluentfilter en het bepalen van de invloed van voorbehandeling (vlokmiddeldosering) en filtratie op de deeltjesgrootteverdeling.

Deeltjesgrootteverdeling

De gegevens, zoals die door een deeltjesteller worden gegenereerd, kunnen worden weergegeven als een deeltjesgrootteverdeling (DGV of Particle Size Distribution (PSD)). In een DGV wordt het aantal getelde deeltjes uitgezet tegen de deeltjesgrootte. Zie afbeelding 1, waarin een voorbeeld wordt gegeven van een DGV in het effluent van de rwzi Ede en waarin

te zien is dat de deeltjes kleiner dan 10 µm overheersen.

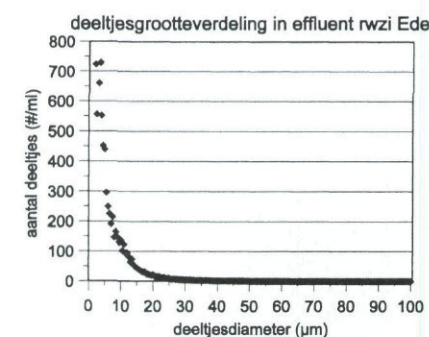
De DGV kan worden omgerekend naar een deeltjesvolumeverdeling, aannemende dat de deeltjes bolvormig zijn (afbeelding 2b). Met deze verdeling kunnen de cumulatieve en de relatieve volumeverdeling worden bepaald (afbeeldingen 2c en 2d). De deeltjesvolumeverdeling laat zien dat met betrekking tot het volume en dus ook de massa de deeltjes tussen 10 µm en 50 µm overheersen.

Een cumulatieve deeltjesgrootteverdeling ($N(d_p)$) neemt altijd toe als de deeltjesgrootte toeneemt, totdat een maximum is bereikt. De helling van een dergelijke cumulatieve deeltjesgrootteverdeling ($dN(d_p)/dd_p$) is de deeltjesgrootteverdeling ($n(d_p)$). De deeltjesgrootteverdeling kan worden berekend met een machtsfunctie (Lawler, 1997; Neis et al., 1997):

$$n(d_p) = \frac{dN}{d(d_p)} = A d_p^{-\beta} \text{ of } \log n(d_p) = \log A - \beta \log d_p$$

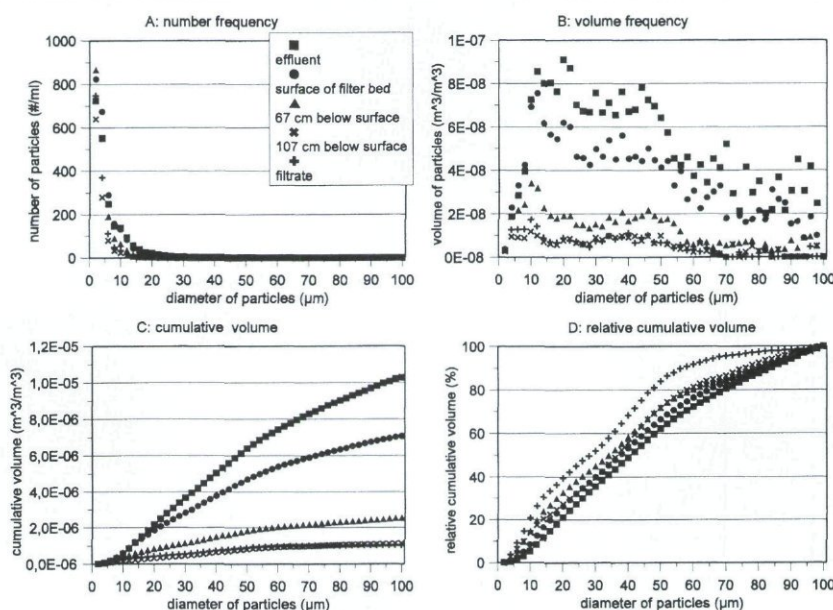
waarin: N = aantal deeltjes in een grootteklasse;

d_p = gemiddelde deeltjesgrootte in een grootteklasse;



Afb. 1. Voorbeeld van een DGV in rwzi-effluent.

Afb. 2. Voorbeelden van deeltjesgrootteverdeling, deeltjesvolumeverdeling, cumulatieve en relatieve volumeverdeling.



A = empirisch bepaalde coëfficiënt, gerelateerd aan de totale hoeveelheid zwevendestof
β = empirisch bepaalde coëfficiënt, voorstellende de helling van de lijn als de verdelingsfunctie dubbellogaritmisch wordt uitgezet.

Over de DGV in effluent van rwzi's is nog maar weinig bekend, dus ook numerieke waarden voor A en β zijn nog nauwelijks bekend. Duits onderzoek op drie rwzi's geeft de volgende waarden: A = 1,3 - 10 en β = 0,8 - 1,0 (Neis et al., 1997).

Filtratie-experimenten
Effluent en pilot-plant

Op de rwzi Ede zijn langeduur filtratie-experimenten met effluent uitgevoerd. In tabel 1 wordt het effluent gekarakteriseerd. De voornaamste onderdelen van de proefinstallatie worden in tabel 2 beschreven. Het supernatantpeil is gehandhaafd op circa 155 cm. Het vlokmiddel is in de voedingsleiding vlak voor een statische menger (mengtijd minder dan één seconde, G= 500-1000 s⁻¹) gedoseerd. Ten behoeve van een optimale vlokvorming is een roerder in het supernatant boven het filterbed

geïnstalleerd (De Koning et al., 1999).

Een set monsterpunten (elke 10 cm verdeeld over de hoogte van het filterbed) is aangebracht voor het nemen van monsters voor troebelheidsmetingen en deeltjestellingen. Een tweede set diende voor drukmetingen.

Onder verschillende omstandigheden, variërende filtersnelheden en verschillende vlokmiddelen, zijn proeven uitgevoerd (zie tabel 3).

Elke proef is begonnen met een schoon filter en heeft meerdere dagen geduurd. Terugspoelen gebeurde na 24 uur of eerder als de drukval over het filter te groot werd. Tijdens een filtratierun zijn op regelmatige tijdstippen deeltjestellingen uitgevoerd.

Tabel 1: Gemiddelde effluentsamenstelling rwzi Ede (1998).

debiet 35.000 m³/d									
CZV	40	mg O ₂ /l	Kj-N	3,1	mgN/l	pH	7,7		
BZV	2,9	mg O ₂ /l	NO ₃ -N	3,0	mgN/l	chloride	98	mg/l	
totaal-P	0,6	mg P/l	zwevende stof	4,0	mg/l	sulfaat	51	mg/l	

Tabel 2: Kenmerken van de proefinstallatie.

type	diepbedfilter
diameter	800 mm
hydraulische capaciteit	2,5 - 15,1 m³/h
filtratiesnelheid	5 - 30 m/h
filterbed:	
- bovenlaag	770 mm antraciet, 2 - 4 mm, 1.400 kg/m³
- middenlaag	400 mm kwartsand, 1,7 - 2,5 mm, 2.600 kg/m³
- onderlaag	300 mm granaatzand, 0,7 - 1,25 mm, 3.500 kg/m³
terugspoelsnelheid	lucht: max. 100 m/h, water: 50 m/h

Tabel 3: De proeven (november 1998 - februari 1999).

proef	filtratie-snelheid (m/h)	vlok-middel	dosering (mg/l)	proef	filtratie-snelheid (m/h)	vlok-middel	dosering (mg/l)
1	10	--	--	6	10	AlCl ₃	1 (Al ³⁺)
2	15	--	--	7	15	AlCl ₃	1 (Al ³⁺)
3	20	--	--	8	20	AlCl ₃	1 (Al ³⁺)
4	10	FeCl ₃	1 (Fe ³⁺)	9	10	AlCl ₃	2 (Al ³⁺)
5	10	FeCl ₃	2 (Fe ³⁺)				

Tabel 4: Algemene waarnemingen gedurende de experimenten.

experiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
troebelheid									
• effluent	2,2	2,7	2,7	1,3	0,9	1,4	1,1	1,2	0,9
• vlak boven filterbed	2,0	2,4	2,4	1,3	1,1	1,5	1,2	1,3	0,8
• filtraat	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,3
drukval over het gehele filterbed (in cm)									
• na 1 uur	40,2	57,1	76,6	30,0	39,0	35,9	45,4	69,2	40,7
• na 6 uur	42,3	60,2	80,1	31,6	41,5	43,9	68,5		43,6

Resultaten

Enige algemene waarnemingen zijn samengevat in tabel 4. Uit deze tabel zou kunnen worden geconcludeerd dat met de dosering van vlokmiddelen (experiment 4 t/m 9) de beste resultaten worden verkregen, want de troebelheid bereikt in die gevallen de laagste waarden en de drukval na zes uur is lager. De verderop in dit artikel gepresenteerde berekeningen, gebaseerd op de deeltjestellingen, laten echter wat anders zien.

Voortgang van filtratieproces

Uit de metingen tijdens de experimenten is naar voren gekomen dat na een korte opstartperiode van ongeveer 15 minuten de kwaliteit van het filtraat redelijk constant is. Na vier uur filtreren is de kwaliteit van het filtraat (gemeten naar het totale volume aan deeltjes in het filtraat) gelijk aan de kwaliteit na één uur. Op basis hiervan is aangenomen dat conclusies, gebaseerd op de metingen na één uur, geldig zijn voor de gehele duur van een filtratierun.

Vlokmiddelen

Alleen een lage vlokmiddeldosering (Fe³⁺, Al³⁺) is effectief gebleken. Tot een dosering van 2 mg/l heeft de dosering geresulteerd in een verlaging van de troebelheid. Een hogere dosering heeft geleid tot een toename van de troebelheid ten gevolge van een onvolledige flocculatie.

Hierbij moet worden bedacht dat een dosering van 1 mg/l vlokmiddel theoretisch leidt tot een vorming 2-3 mg/l vaste stof, hetgeen van dezelfde orde van grootte is als het zwevende stofgehalte in het ongefiltreerde effluent (ongeveer 4 mg/l). Ook het lage fosfaatgehalte in het effluent (ongeveer 0,15 mg/l totaal P) draagt niet bij aan een goede vlokvorming.

Dichtheid

Aan de hand van het gemiddelde totale deeltjesvolume en het gemiddelde zwevende stofgehalte in het ongefiltreerde effluent kan de 'dichtheid' van de deeltjes worden bepaald. Het gemiddelde totale deeltjesvolume is 5,90 maal $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$, bij een gemiddeld zwevende stofgehalte van 4 mg/l is de 'dichtheid' dan 680 kg/m^3 .

Deeltjesverwijdering in de verschillende filterbedlagen

De verwijdering van deeltjes in de verschillende filterbedlagen is bepaald aan de hand van het totale deeltjesvolume na een bepaalde filterbedlaag ten opzichte van het totale deeltjesvolume in het water vlak boven het filterbed, dus na de vlokformingszone.

De verschillen zijn opvallend. Zonder een vlokmiddeldosering werkt het filter als een diepbedfilter met een verwijdering van circa 60 à 65 procent in de antracietlaag, 15 à 20 procent in de kwartszandlaag en een laatste 5 à 10 procent in de granaatzandlaag. De verschillen bij variërende filtratiesnelheden zijn gering.

Met een vlokmiddeldosering het beeld is totaal anders; de grootste verwijdering (70 à 75 procent) vindt plaats in de antracietlaag en dan met name in het bovenste gedeelte van deze laag. Van diepbedfiltratie is geen sprake. De totale verwijdering zonder vlokmiddel is uiteindelijk circa 85 procent.

Voorbehandeling

Voordat het effluent wordt gefiltreerd, passeert het een aantal processtappen, die van invloed kunnen zijn op de eigenschappen van de deeltjes in het effluent. Achtereenvolgens passeert het effluent de voedingspomp en een statische menger, waar vlokmiddel kan worden gedoseerd, waarna het via een overstort (met hoge turbulentie) in een waterlaag van circa 155 cm stroomt. Door voor de voedingspomp en vlak boven het filterbed de deeltjesgrootteverdeling te meten, kan een indruk worden verkregen van de invloed van

de diverse processen op de eigenschappen van de deeltjes in het effluent. In tabel 5 worden de totale deeltjesvolumes en de zwevende stofgehaltes bij de verschillende experimenten gegeven. De zwevende stofgehaltes in het effluent zijn berekend uit de totale deeltjesvolumes, met als 'dichtheid' 680 kg/m^3 . In het geval dat vlokmiddel wordt gedoseerd, leidt de dosering van respectievelijk 1 mg Fe en 1 mg Al tot de vorming van respectievelijk 1,9 mg en 3,0 mg aan zwevendestof.

Uit de getallen in tabel 5 wordt duidelijk dat het doseren van vlokmiddelen (experiment 4 t/m 9) logischerwijs leidt tot een toename van de hoeveelheid zwevende stof in het water vlak boven het filterbed. Tegelijkertijd neemt het totale deeltjesvolume echter sterk af. Als gevolg van de dosering van vlokmiddelen neemt de 'dichtheid' toe tot circa 2770 kg/m^3 . Deze dosering leidt dus tot een ineenkrimpen van de vlokken veroorzaakt door het verlies van de waterbindende eigenschappen door de neutralisatie van het negatief geladen oppervlak.

Bovendien leidt doseren van vlokmiddelen tot een hoger zwevende stofgehalte in het filtraat. Het gebruik van vlokmiddelen is dus ongunstig indien gestreefd wordt naar een zo laag mogelijk zwevende stofgehalte in het filtraat.

De waarde van β in het ongefiltreerde effluent is redelijk constant en bedraagt gemiddeld 2,75. Na vlokmiddeldosering neemt de waarde toe tot gemiddeld 3,04.

Dit betekent dat de deeltjesgrootteverdeling verschuift naar de kleinere afmetingen. Ook zonder vlokmiddeldosering verschuift de deeltjesgrootteverdeling naar de kleinere afmetingen, echter niet zover als met een vlok-middeldosering (β gemiddeld 2,96).

Waarschijnlijk breken de vlokken in de voedingspomp. Dit wordt bevestigd door de deeltjestellingen; het totaal aantal deeltjes is na de voedingspomp groter dan voor de pomp.

Tijdens filtratie neemt β verder toe, tot gemiddeld 3,57 bij filtratie zonder vlokmiddel en gemiddeld 3,26 bij filtratie met vlokmiddel. Deze toename van β in het filtraat ten opzichte van het water vlak boven het filterbed geeft aan dat alleen de grotere deeltjes worden verwijderd in het filter, de kleinere deeltjes passeren gedeeltelijk het filterbed.

Conclusies

- De resultaten van de experimenten zijn kenmerkend voor het effluent van een moderne rwzi, zoals die in Ede. Als gevolg van de zeer lage gehalten aan zwevende stof en aan precipiteerbare stoffen (orthofosfaat) is vlokvorming slechts in beperkte mate mogelijk. De verschillen met ervaringen elders zijn groot.
- Een deeltjesteller is een nuttig instrument gebleken voor het volgen van het filtratieproces. Op basis van deeltjesgrootteverdelingen konden lage zwevende stofgehalten (lager dan 5 mg/l) worden berekend.
- Met een drielaagsfilter is bij filtratiesnelheden tot 20 m/h een goed verwijderingsrendement (tot 90 procent) gevonden. De invloed van de filtratiesnelheid op het verwijderingsrendement was beperkt.
- Hoewel de troebelheid van het filtraat verlaagd werd, had het doseren van vlok-middelen (Fe en Al) een negatief effect, zelfs bij een lage dosering van 1 mg/l. De vlokmiddeldosering leidde tot een afname van de waterbindende eigenschappen van de vlokken, met als gevolg kleinere vlokken echter met een hogere 'dichtheid', waardoor de hoeveelheid zwevende stof in het filtraat toenam.
- De waarde van β nam tijdens filtratie toe, hetgeen betekent dat de deeltjesgrootteverdeling verschuift naar de kleinere afmetingen.

Tabel 5: Totaal deeltjesvolume en zwevende stofgehalte in oorspronkelijk effluent en in het water vlak boven het filterbed.

experiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
totaal deeltjesvolume in $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$									
effluent	6,55	10,28	8,40	5,22	4,33	4,76	3,51	3,63	6,41
vlak boven filterbed	5,11	7,06	6,26	2,31	2,70	2,86	2,16	1,81	2,40
filtraat	0,72	0,60	0,54	0,35	0,46	0,34	0,33	0,37	0,38
zwevende stofgehalte (berekend) in mgds/l									
effluent	4,4	7,0	5,7	3,5	2,9	3,2	2,4	2,5	4,3
vlak boven filterbed	4,4	7,0	5,7	5,4	6,7	6,2	5,4	5,5	10,3
filtraat	0,5	0,4	0,4	1,0	1,3	0,9	0,9	1,0	1,1

LITERATUUR

- Kaminski L., N. Vescan en A. Adin (1997). Particle size distribution and waste water filter performance, *Water Science & Technology*, 36(4), p. 217-224.
- De Koning J. en A. van Nieuwenhuijzen (1999). Optimal combination of flocculating filtration and ultra filtration for advanced effluent treatment in the Netherlands, *Water Science & Technology*, 40(4-5), p. 285-292.
- Lawler D. (1997). Particle size distribution in treatment processes: theory and practise. *Water Science & Technology*, 36(4), p. 15-23.
- Neis U. en A. Tiehm (1997). Particle size analyses in primary and secondary wastewater effluents, *Water Science & Technology*, 36(4), p. 151-158.