




Herkomst en gedrag van deeltjes in drinkwaterleidingnetten

JAN VREEBURG, KIWA WATER RESEARCH /TU DELFT
CHRISTIAN KIVIT, KIWA WATER RESEARCH
HANS VAN DIJK, TU DELFT / KIWA WATER RESEARCH
JASPER VERBERK, TU DELFT

In ieder drinkwaterleidingnet waar ook ter wereld treedt van tijd tot tijd bruin water op. Deeltjes spelen hierbij een belangrijke rol, omdat het bruine water wordt veroorzaakt door opwervelende deeltjes in het leidingnet. Traditioneel wordt het optreden van bruin water in relatie gebracht met de aanwezigheid van onbeklede gietijzeren leidingen. Er zijn echter meer bronnen van deeltjes, want bruin water komt ook voor in leidingnetten zonder gietijzer. Metingen van troebelheid in combinatie met deeltjestellingen laten zien dat het water af pompstation een belangrijke bron vormt voor deeltjes. Een leidingnet is echter een complex systeem, waarin meerdere processen optreden die invloed hebben op de aanwezigheid en mobiliteit van deeltjes. Om dit systematisch in beeld te brengen, is een massabalansmodel ontwikkeld en zijn metingen verricht om meer inzicht te krijgen in de herkomst en gedrag van deeltjes in het leidingnet. Met behulp van de deeltjestellingen in het distributiesysteem is het proces van bezinking en opwerveling aangetoond met als netto resultaat een accumulatie van deeltjes in het leidingnet. Het belang van een goede en constant presterende zuivering is daarmee evident.

In een leidingnet spelen meerdere processen een rol die invloed hebben op het aantal en de mobiliteit van deeltjes. Om dit systematisch in beeld te brengen, wordt gebruik gemaakt van een massabalansmodel (zie afbeelding 1). De berging van massa of deeltjes in het leidingnet wordt bepaald door het verschil van de ingaande en uitgaande massa plus de netto productie van massa. De berging en het transport van deeltjes door het leidingnet zijn afhankelijk van de aard en het gewicht van de deeltjes in combinatie met de hydraulische omstandigheden in het leidingnet. Door wisselende snelheden zal in rustige periodes bezinking plaatsvinden, terwijl in tijden van hoger verbruik en dus hogere snelheid deeltjes weer kunnen worden opgewerveld en afgevoerd.

De ingaande massa in het leidingnet bestaat uit gesuspendeerde deeltjes in het water af pompstation, terwijl de uitgaande massa bestaat uit gesuspendeerde deeltjes in het water dat de leiding verlaat samen met eventueel over de bodem rollend materiaal. De groei van biomassa in een biofilm in het leidingnet kan een bijdrage leveren aan de totale hoeveelheid massa in de leiding. Ook het corrosieproces van onbekleed gietijzeren leidingen vormt een bijdrage aan de totale hoeveelheid massa. Deze processen zullen gesuspendeerde deeltjes direct aan het water af kunnen geven, maar ook zal een gedeelte bezinken in het leidingnet en als los sediment in de leiding accumuleren.

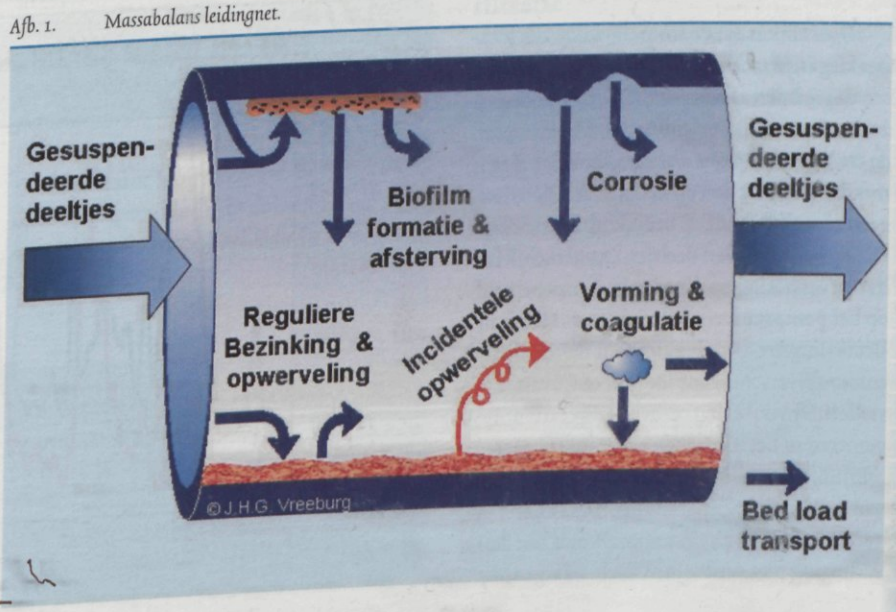
Een belangrijke doelstelling van dit BTO-project is om de bijdragen aan de massabalans van de verschillende processen te kwantificeren, om daarmee te bepalen welke maatregelen het meest efficiënt zijn om bruin water en eventuele andere kwaliteitsproblemen in het leidingnet te voorkomen.

Troebelheid en deeltjes

Om het gedrag van de deeltjes in kaart te brengen, zijn op verschillende pompstations metingen van de troebelheid en deeltjestellingen uitgevoerd in combinatie met metingen in het leidingnet. De troebelheid is een verzamelwaarde voor de hoeveelheid vertroebelende deeltjes in het water, terwijl met deeltjestellers een meer compleet beeld van het aantal en de afmeting van de deeltjes wordt gegeven. De relatie tussen de troebelheid en deeltjestellingen is specifiek voor elke watersoort en deeltjesverdeling. Dit betekent dat de troebelheid van twee watersoorten kan overeenkomen, maar dat het aantal en de grootte van de deeltjes kunnen verschillen.

Deeltjestellingen worden gepresenteerd in aantallen per deeltjesgrootteklassen. Per meting wordt dus een aantal gegevens geproduceerd, namelijk per klasse het aantal deeltjes en het totaal aantal deeltjes. In principe zullen tijdens het transport door het leidingnet eerst de grotere en zwaardere deeltjes bezinken, terwijl de lichtere en kleinere deeltjes langer in suspensie zullen blijven. Tijdens het transport door het leidingnet zal dus de samenstelling van de deeltjes veranderen; de fractie grote en zware deeltjes zal relatief sneller afnemen dan de fractie kleinere en lichtere deeltjes.

Afb. 1. Massabalans leidingnet.



Opwerveling van sediment zal het omgekeerde effect hebben op de samenstelling van de deeltjes: de grotere en zwaardere deeltjes die zijn bezonken, zullen worden opgewerveld, waardoor het aandeel grotere en zwaardere deeltjes zal toenemen. Het beoordelen van de verhouding tussen de hoeveelheid kleine en de hoeveelheid grote deeltjes zal dus inzicht geven in de mate van bezinking en opwerveling. Om dit te kunnen doen wordt de dimensieloze Extreme Ranges Factor (ERF) geïntroduceerd als de verhouding tussen het aantal kleine en grote deeltjes:

$$ERF = \frac{\text{kleine deeltjes (2-3 µm/ml)}}{\text{grote deeltjes (> 15 µm/ml)}}$$

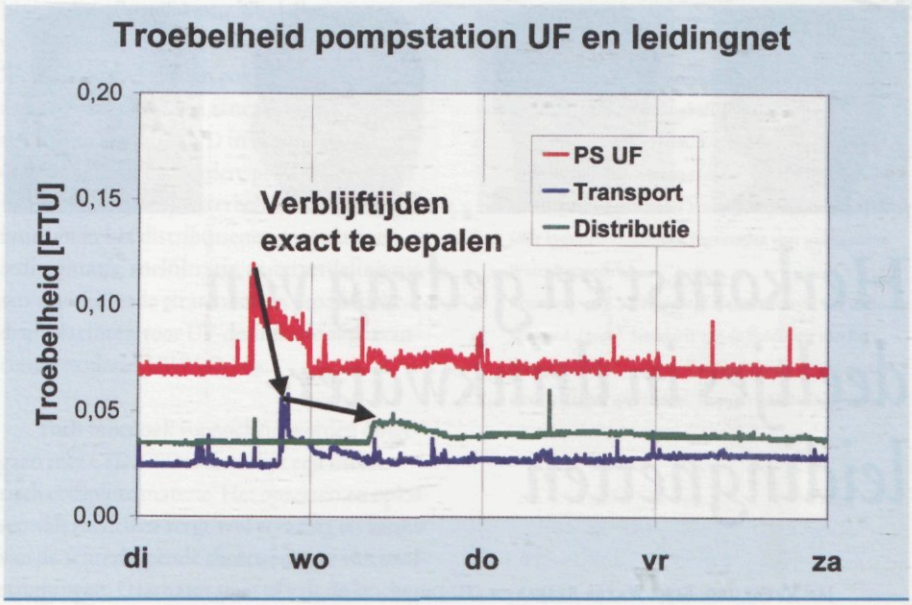
In termen van de massabalans in afbeelding 1 wordt gekeken naar de gesuspendeerde deeltjes die de leiding inkomen en de deeltjes die de leiding weer verlaten. De invloed van de reguliere bezinking en opwerveling wordt bekeken met de ERF. Het bodemtransport heeft voornamelijk effect op de totale hoeveelheid deeltjes die in de leiding zal accumuleren. De hoeveelheid aanwezig sediment wordt in dit onderzoek echter niet bepaald.

De metingen zijn uitgevoerd op een aantal verschillende locaties in Nederland, waarbij een selectie verricht is in productieproces en de daarbij verwachte concentratie aan gesuspendeerde deeltjes. De productieprocessen worden gekarakteriseerd met de laatste stap in de zuivering: een ultrafiltratie, een langzame zandfiltratie en een snelle zandfiltratie.

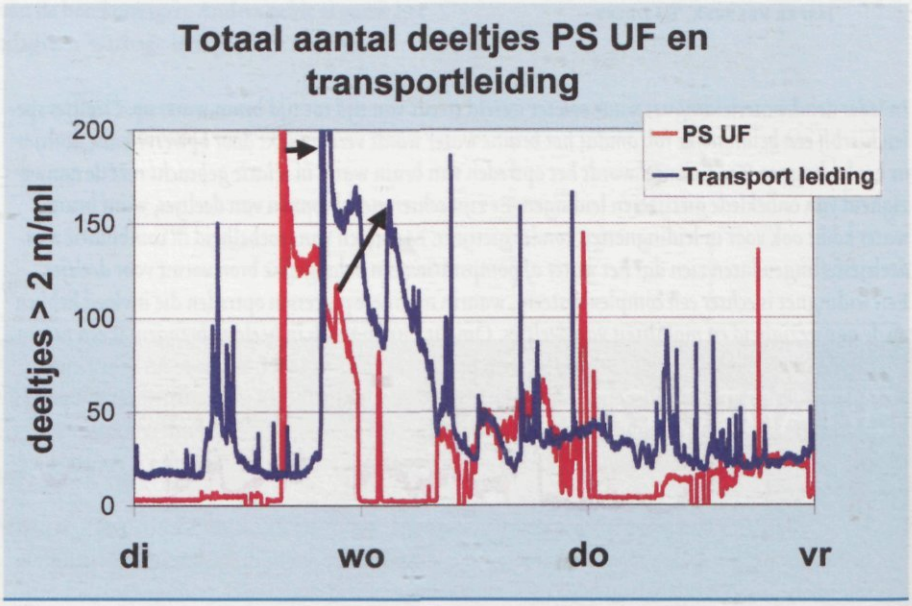
Pompstation met ultrafiltratie

De troebelheidsmetingen zijn uitgevoerd op drie locaties: het uitgaande water van het pompstation direct achter de reinwaterpompen, op een transportleiding enkele kilometers van het pompstation verwijderd en een distributieleiding weer enkele honderden meters verder. Afbeelding 2 geeft de troebelheid op de locaties weer.

Duidelijk is dat de troebelheid op alle locaties laag is, maar dat toch verschil bestaat tussen de waarden af pompstation en de onderzochte locaties in het leidingnet. Met name in de transportleiding is de troebelheid lager en minder constant dan op het pompstation, hetgeen mogelijk duidt op bezinking en incidentele opwerveling van deeltjes. Opmerkelijk is dat de verstoring op dinsdag in de troebelheid op het pompstation goed terug te vinden is in het leidingnet. Uit dit patroon is de verblijftijd tussen de verschillende locaties exact vast te stellen. De verstoring op het pompstation, gemeten in het uitgaande water, heeft waarschijnlijk niet te maken met disfunctioneren van de ultrafiltratie. Als de doorbraak het gevolg zou zijn van rietjesbreuk, dan zou de verhoging niet verdwijnen zoals waargeno-

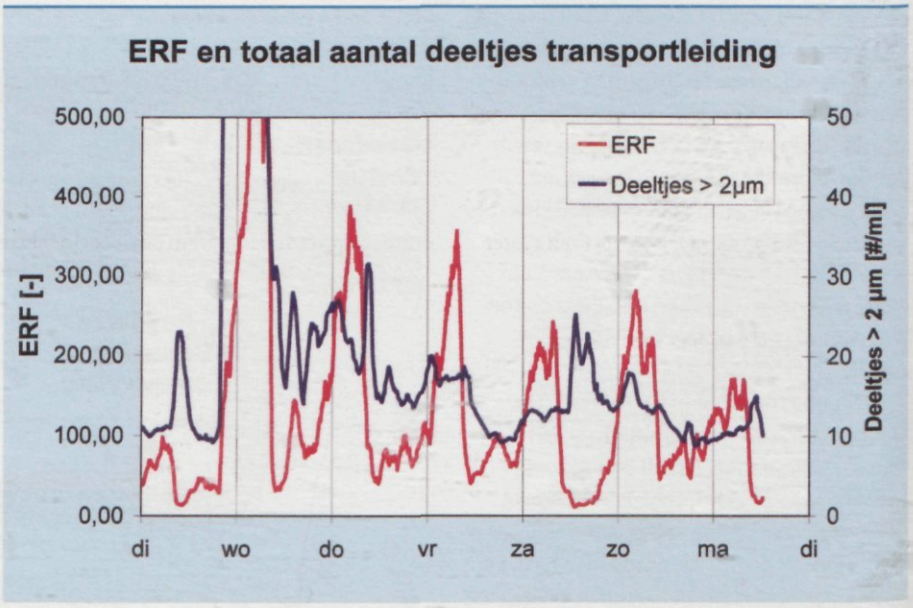


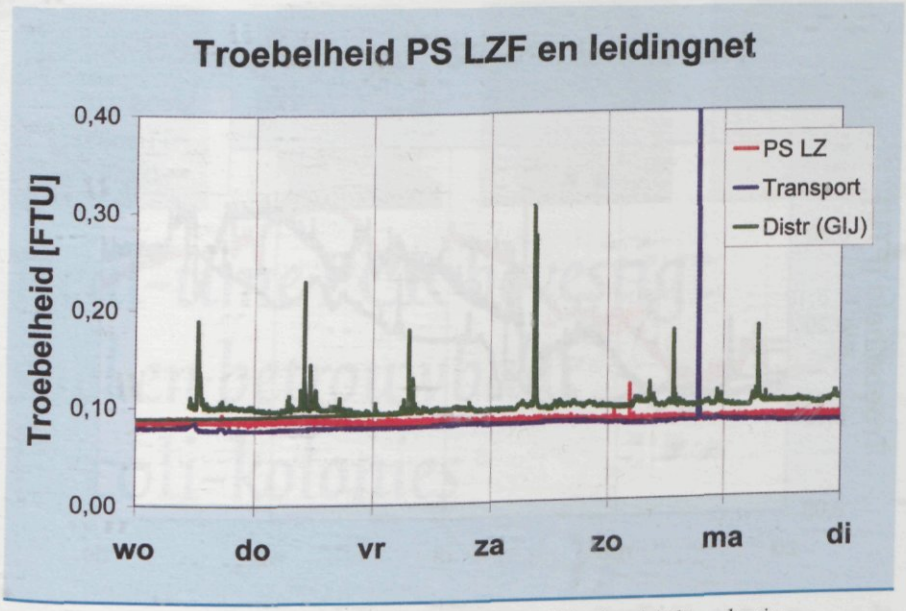
Afb. 2: Troebelheid op het pompstation met ultrafiltratie en in het leidingnet.



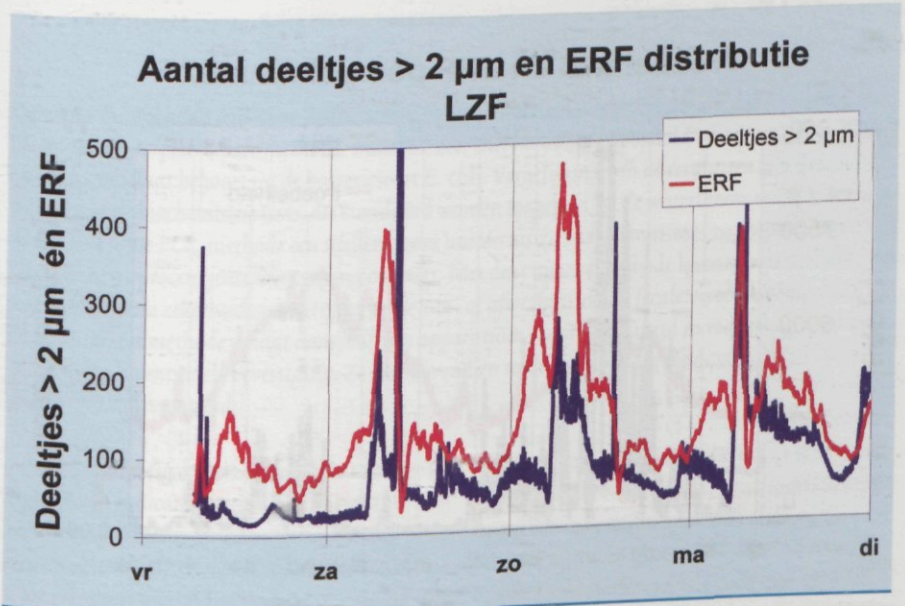
Afb. 3: Totaal aantal deeltjes in het pompstation met ultrafiltratie en in het leidingnet.

Afb. 4: De 'Extreme Range Factor' en het totaal aantal deeltjes in de transportleiding.





Afb. 5: Troebelheidsmetingen op het pompstation met langzame zandfiltratie en de leidingnetlocaties.



Afb. 6: De 'Extreme Range Factor' en het totaal aantal deeltjes in de distributieleiding.

men. De extra deeltjes worden dus 'ergens' tussen het productieproces en de reinwaterpompen opgewerveld.

Naast een troebelheidsmeting is ook een deeltjestelling uitgevoerd op het pompstation en in de transportleiding. De deeltjestellingen geven de deeltjesconcentratie weer in een aantal diameterklassen. In dit geval zijn de klassen ingedeeld als 2-3, 3-5, 5-7, 7-10, 10-15 en groter dan 15 µm. Daarnaast is ook de som van alle deeltjes berekend. In afbeelding 3 is het totaal aantal deeltjes van het pompstation en de transportleiding weergegeven ten tijde van het incident dat ook in de troebelheid was waar te nemen.

Interessant is bijvoorbeeld de verstoring op het pompstation die in de loop van de eerste dinsdag optreedt en zowel in de troebelheid als in het totale aantal deeltjes is te zien. Uit de troebelheid blijkt dat de toename ongeveer 33 procent bedraagt tijdens de eerste piek: van 0,069FTU naar 1,06 FTU. In deeltjesaantallen is de toename veel groter. Bovendien is te zien dat nog meer verhogingen optreden die in het troebelheidsbeeld nauwelijks zijn op te merken. Uit de deeltjestellingen blijkt dat de toename van het aantal deeltjes veel groter is dan de toename van de troebelheid doet vermoeden en de toename van de totale massa dus ook. De gemiddelde meetwaarden tijdens het eerste kwartier van het incident staan in tabel 1. Met deze gegevens is te berekenen dat de toename van het volume van deeltjes tijdens de piek van het incident ruim een factor 40 bedraagt. Een analyse van de drie perioden van verhoogd aantal deeltjes leidt tot de conclusie dat gedurende de ongeveer anderhalve dag die de verhogingen in deeltjestellingen hebben geduurd, net zoveel massa het leidingnet in ging als in 18 dagen normale productie.

Op de locatie in de transportleiding is tevens de ERF berekend, hetgeen is weergegeven in afbeelding 4 samen met het totaal aantal deeltjes groter dan 2 µm.

Uit de ERF blijkt duidelijk dat een regelmatig patroon bestaat in de verhouding tussen kleine en grote deeltjes. Hieruit blijkt dat tijdens de nachturen, met een lage stroomsnelheid, het aantal grote deeltjes relatief afneemt. In de daguren, met hogere stroomsnelheden, neemt het aantal grote deeltjes relatief weer toe, hetgeen duidt op opwerveling van het sediment. Met deze meting is de regelmatige bezinking en opwerveling van deeltjes tijdens de normale dagelijkse bedrijfsvoering aangetoond. Tevens is duidelijk dat zelfs bij deze ultrafiltratie toch nog een meetbare deeltjesbelasting van het leidingnet plaatsvindt.

Pompstation met langzame zandfiltratie

Een ander pompstation waar metingen zijn uitgevoerd, heeft als laatste stap een langzame zandfiltratie. De metingen in het leidingnet zijn gedaan aan het einde van een transportleiding, respectievelijk in een gietijzeren distributieleiding.

Tabel 1. Troebelheidswaarde en deeltjestellingen.

	troebelheid(FTU)	deeltjestellingen (#/ml) 2-3 µm	3-5 µm	5-7 µm	7-10 µm	10-15 µm	> 15 µm	totaal	volume (m^3)
normaal	0,069	1.83	1.81	0.20	0.11	0.02	0.01	3.98	$1.821^{*}10^{-25}$
incident	0,106	85.91	69.68	8.22	5.63	1.50	0.19	171.13	$76.45^{*}10^{-25}$

Zoals verwacht is het niveau van troebelheid hier laag en constant, hetgeen ook bij het pompstation het geval is. In de transportleiding is de troebelheid nagenoeg gelijk aan die op het pompstation, maar in de distributieleiding is wel een aantal pieken te zien die op opwerveling duiden. Dit doet vermoeden dat hier opwervelbaar sediment aanwezig is, dat iedere ochtend tijdens een verbruikspiek wordt opgewerveld.

Ook op het pompstation zijn deeltjestellingen uitgevoerd en daaruit blijkt dat over het algemeen een lage deeltjesbelasting is waar te nemen, maar dat er ook een aantal uitschieters is.

Afbeelding 6 geeft een nadere analyse van de distributieleiding. Het totaal aantal deeltjes laat hetzelfde patroon zien als de troebelheid, maar veel duidelijker. De ERF voor deze locatie laat ook een regelmatig patroon zien dat duidt op bezinking gedurende de nacht en vroege ochtend uren, waardoor aannemelijk is dat ook hier, ondanks de lage belasting, een regelmatige bezinking en opwerveling optreedt. Op deze locatie zal echter ook corrosie een rol spelen, omdat in een gietijzeren leiding wordt gemeten.

Pompstation met snelle zandfiltratie

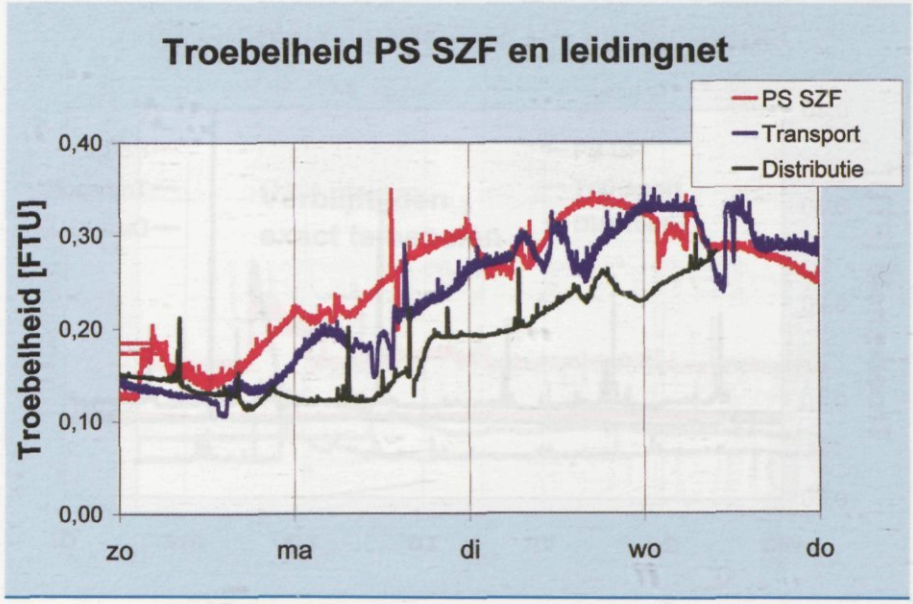
Ook een grondwaterpompstation met een conventionele beluchting en snelle zandfiltratie is bekeken. Zoals te verwachten levert dit pompstation minder stabiele troebelheden als de pompstations met langzame zandfiltratie of ultrafiltratie.

In afbeelding 7 is een gedeelte van de troebelheidsmetingen te zien van het pompstation en de twee leidinglocaties. De troebelheid neemt af in het leidingnet, duidend op een regelmatige bezinking van deeltjes in de leiding.

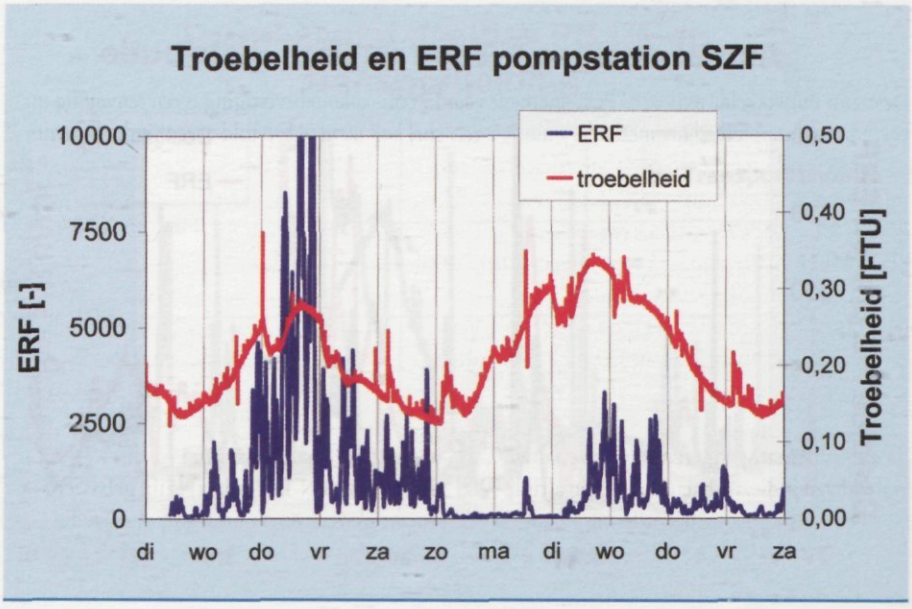
Opmerkelijk aan de meting op het pompstation is dat een periodiciteit te zien is in het troebelheidspatroon met een cyclus van vijf dagen. De ERF voor het water van het pompstation is berekend (zie afbeelding 8) en laat zien dat de samenstelling van de deeltjes verandert met de troebelheid. Bij de hogere troebelheden is een relatief hogere fractie van kleine deeltjes aanwezig; bij de lagere troebelheden is het aandeel kleine deeltjes relatief kleiner. Het absolute aantal deeltjes is laag en in de orde van de langzame zandfiltratie en de ultrafiltratie. Het aantal incidenten is echter talrijker.

Discussie

De continue troebelheidsmetingen worden al geruime tijd toegepast om het gedrag van deeltjes in een leidingnet te analyseren en om een indruk te krijgen van de vervuiling van het leidingnet. De deeltjestellingen geven een extra dimensie aan deze metingen, doordat de veranderingen in de samenstelling van de troebelheid hiermee in beeld gebracht kunnen worden. Het laat zien dat de zuiveringsprocessen in veel gevallen toch deeltjes doorlaten en dat een gedeelte van die deeltjes daadwerkelijk tot bezinking komt in het leidingnet. Ook met ultrafiltratie, dat theoretisch deeltjesvrij water moet kunnen leveren, blijkt nog steeds een deeltjesbelasting aan het net geleverd te worden, hoewel niet duidelijk is wat de herkomst is van de deeltjes: historisch sediment 'ergens' tussen het effluent van de filters en de reinwaterpompen of toch een partieel falen van de installatie? Met de deeltjestellers is nu aangetoond dat het proces van bezinking en opwerveling daadwerkelijk plaatsvindt. Dit is een belangrijke aanwijzing voor het controleren van de accumulatie van sediment in het leidingnet. Incidenten in de zuivering blijken ook een belangrijke rol te spelen in de belasting van het leidingnet. Dit levert een aanwijzing op dat het zorgvuldig sturen en constant en laag houden van de deeltjesconcentratie van het water af pompstation een belangrijk bijdrage kan leveren aan het verlagen van de deeltjesaccumulatie in het leidingnet en daarmee het verlagen van de kans op incidenten met bruin water en mogelijke bevordering van biofilmvorming in datzelfde leidingnet. ¶



Afb. 7: Troebelheid op het pompstation met snelle zandfiltratie en in het leidingnet.



Afb. 8: Troebelheid en ERF af pompstation met snelle zandfiltratie.

LITERATUUR

Kivit C. (2004). *Origin and behavior of particles in drinkwater networks. Afstudeerverslag Technische Universiteit Delft.*