

Grenzen verleggen in distributie

Jan Vreeburg

Inleiding

De publieke drinkwatervoorziening in Nederland staat in de wereld op een zeer hoog niveau. Er wordt drinkwater gedistribueerd van een zeer hoge kwaliteit, biologisch stabiel zonder restdesinfectie, weinig problemen in het leidingnet en een zeer hoge klantperceptie. Er wordt internationaal zelfs wel eens getwijfeld aan de juistheid van alle cijfers die over de prestaties worden gepubliceerd: "It is almost too good to be true." Zo werd in een Engelse publicatie enige jaren geleden gesproken over de Nederlandse cijfers voor lekverlies als "Suspiciously low". Dat de cijfers toch robuust zijn is nu in nauwe samenwerking met UKWIR vastgesteld. Het lekverlies in Nederland is daadwerkelijk maar een paar procent bedraagt, wat tot voor kort in Engeland fysiek onmogelijk werd geacht.

Toch is de situatie in het leidingnet niet altijd even rooskleurig: er treden op jaarbasis klachten op over bruin water en het aantal overschrijdingen op troebelheid en ijzer in het routinematige distributie monsterprogramma zijn in aantal zeker niet verwaarloosbaar. Hoewel harde cijfers over het algemeen ontbreken omdat klachtenregistratie systemen niet uniform functioneren is het aanneemelijk om het aantal klachten c.q. meldingen op ongeveer 1 klacht per 1000 aansluitingen per jaar te stellen. Deze schatting is mede gebaseerd op internationale ervaringen, waarbij 1 per 1000 per jaar als een laag cijfer wordt beschouwd. In absolute aantallen betekent dit voor Nederland ongeveer 6000 klachten per jaar.

Grenzen verleggen betekent ook over de grenzen kijken en daarvan leren. In vergelijking met 'het buitenland' doen we het in het Nederlandse netwerk goed zoals gezegd met lage lekverliezen, storingscijfers en goede kwaliteit van het drinkwater aan de tap. Dit is het gevolg van de Nederlandse aanpak, waarbij kostenbewust handelen met kennis van zaken de leidraad is voor het beheer van het leidingnet. Wat echter veel meer doorslaggevend is, is de geschooldheid en betrokkenheid van de arbeiders die aan het leidingnet werken en de



ir. J.H.G. Vreeburg
TU Delft/ Kiwa Water Research



consequente beleidslijnen, zoals het verleggen van leidingen als er een gesloten verharding over heen wordt gelegd. Dit verleide een Engelse bezoeker tijdens een site-visit van routinematige leidingnetwerkzaamheden tot de verzuchting: "I would wish that my technicians spoke that kind of english." Het continue kwaliteitsbesef zorgt ervoor dat de aanleg van het leidingnet van hoge kwaliteit is die zich uiteindelijk terugbetaald.

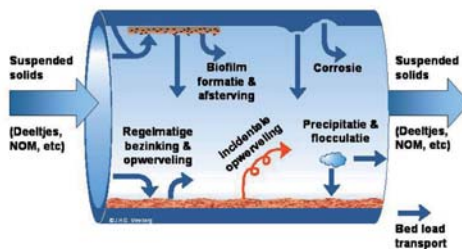
Toch komen er regelmatig bruin water incidenten voor, die historisch als een operationeel leidingnetprobleem worden beschouwd met als oorzaak roestend gietijzer. Voor de Nederlandse situatie is dat echter onwaarschijnlijk, omdat slechts 9% van het leidingnet uit onbekleed gietijzer bestaat. Er komen dan ook bruin water klachten voor in leidingnetten die volledig uit plastic of cementen leidingen bestaan. Bruin water incidenten komen nagenoeg altijd voor in combinatie met hydraulische incidenten, waardoor de opwerveling van sediment als kern van het bruin water probleem wordt beschouwd.

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van het onderzoek naar de aard en oorzaak van de bruin water problemen. De belangrijkste resultaten worden samengevat en de maatregelen die daarop zijn gebaseerd. Maatregelen die de grenzen van de kennis van de distributie hebben verlegd en die een belangrijke invloed hebben gehad op de prestatie en de kosten.

Deeltjes in het leidingnet

Het leidingnet vormt de fysieke verbinding tussen de waterproductie en de klant. De prestaties van het leidingnet kunnen op twee vlakken worden beoordeeld: de leidingen zelf en het water dat door de leidingen stroomt. Met een metafoor zou je het de hardware en de software van het systeem kunnen noemen. Binnen dezelfde metafoor is ook de afhankelijkheid van de hardware en de software te vangen. Zonder goede hardware geen software en software alleen is ook niets waard.

In Figuur 1 worden de deeltjes gerelateerde processen in een leidingnet schematisch weergegeven.



Figuur 1 - Deeltjes gerelateerde processen in een leidingnetwerk

Er zijn vier processen te onderscheiden die met de aanwezigheid of de productie van deeltjes hebben te maken naast de eventuele aanwezigheid van sediment uit het verleden:

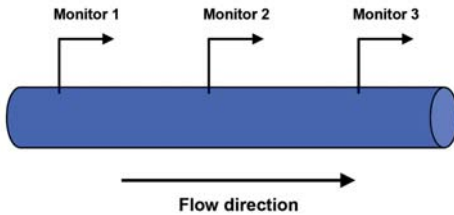
- Deeltjes die met het inkomende water in het leidingnet worden gebracht en ook weer worden verwijderd
- Deeltjes die in de biofilm gevangen kunnen worden en daar ook uit kunnen vrijkomen
- Deeltjes gevormd door de corrosie van gietijzer of door uitloging van cement materiaal
- Deeltjes die ontstaan uit rondom precipitatiekernen of die aangroeien door flocculatie.

De horizontaal gerichte lijnen bij de verschillende processen laten het transport van deeltjes zien en de verticaal gerichte lijnen de bezinking c.q. de accumulatie van deeltjes op de buiswand. De rode gekrulde lijn geeft de eigenlijke bruin water incidenten weer, waarbij de geaccumuleerde deeltjes opwervelen door een hydraulische gebeurtenis en het water dusdanig vertroebelen dat het waarneembaar is door een consument.

De verschillende processen laten het tweeledige doel van het onderzoek zien. Aan de ene kant het beheersen van de productieprocessen waardoor deeltjes in het leidingnet aanwezig zijn aan de andere kant het beheersen van de accumulatie en opwerveling van de deeltjes om de bruin water incidenten te voorkomen.

Metten van deeltjes in het leidingnet

De verandering van de waterkwaliteit in het leidingnet ligt ten grondslag aan het ontstaan van bruin water. In het onderzoek is duidelijk geworden dat



Figuur 2 - Principe opstelling Monitor-systeem

de veranderingen in de waterkwaliteit gedurende de verblijftijd in het leidingnet subtiel zijn. De aard van de metingen is onder te verdelen in directe metingen die de verandering per parameter on line volgen, zoals deeltjestellingen en troebelheidsmetingen. Een tweede categorie zijn effect metingen die de langere termijn effecten van de veranderingen meten zoals de opwerelingspotentie, de klachtenregistratie en de analyses van aard en hoeveelheid sediment in de leidingen. De derde categorie meten zijn concentratie metingen die de veranderingen explicieter maken door een concentratie toe te passen zoals de TILVS (Time Integrated Large Volume Samples) metingen.

Directe metingen

Om de verandering in de waterkwaliteit direct te kunnen volgen is het noodzakelijk om als het ware hetzelfde pakketje water te kunnen volgen tijdens de verblijftijd in het leidingnet. Daarom is door Kiwa in de jaren 80 het Monitor-systeem ontwikkeld waarmee op verschillende plaatsen in het leidingnet de waterkwaliteit continu gemeten kon worden. Figuur 2 geeft een schematische weergave van het meetstelsel en Figuur 3 de lay out van de huidige meetapparatuur.

Het monitor systeem meet in principe alle parameters die on-line en continu te meten zijn. Belangrijkste parameters zijn echter de troebelheid en de deeltjestellingen.

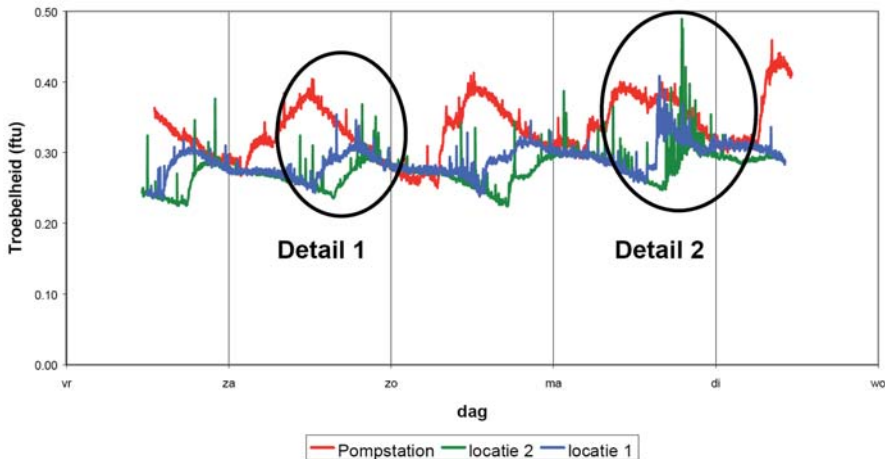
Figuur 4 laat zien wat de resultaten van een continue troebelheidsmeting zijn van een conventionele zuivering en op twee plaatsen in het leidingnet.

De meting van Figuur 4 laat een aantal dingen zien.



Figuur 3 - Monitor-systeem in het veld

- De troebelheid van het uitgaande water van het pompstation is niet constant, maar vertoont een variatie tussen de 0,27 en 0,40 FTU. Dergelijke patronen worden veroorzaakt door verschillende belastingen van het zuiveringsproces of door operationele acties als het terugspoelen van filters.
- De troebelheid in het leidingnet vertoont eenzelfde spreiding in waarnemingen.
- Het patroon van de troebelheid van het pompstation is te herkennen in het leidingnet. In detail 1 is te zien dat de piek in de troebelheid op het pompstation is terug te zien in de metingen op locatie 1 en 2. Hieruit is de exacte verblijftijd tussen de locaties te bepalen en is bovendien waar te nemen dat de troebelheid ongeveer 25 tot 30% afneemt.
- Een netto afname van troebelheid betekent een afname van het aantal deeltjes dat de troebelheid veroorzaakt. Deze deeltjes bezinken hoogstwaarschijnlijk in de leiding. In detail 2 wordt dit bevestigd, omdat hier op locatie 2 een toename van de troebelheid plaatsvindt die geen relatie heeft met het patroon bovengestroomd. Dit duidt op een lokale opwerping van sediment.
- Het is onmogelijk de fenomenen waar te nemen met behulp van routinematige monsternames. Ten eerste omdat die gewoonlijk alleen tijdens kantooruren worden genomen en ten tweede omdat de variatie in de meetwaarden die het bezinken van materiaal aantoont ook in de



Figuur 4 - Resultaat van continue troebelheidsmeting op pompstation en twee lokaties in het leidingnet

normale variatie voorkomt. Het is met andere woorden goed mogelijk om monsters te nemen op het pompstation en de beide meetlokaties die nauwelijks van elkaar zullen verschillen.

Uit deze enkele meting blijkt al dat het waarnemen van de verschillende eerder beschreven processen alleen mogelijk is met continue metingen. Daarnaast blijkt dat de ophoping van sediment slechts zeer gelijdelijk plaatsvindt over een langere periode. Om dit te meten zijn verschillende meetprotocollen ontwikkeld, waarmee de ophoping van sediment of de accumulatie van deeltjes nader is te bestuderen.

Effect metingen

Opwerveling Potentie Methode (OPM)

Ongeacht waar het sediment vandaan komt, bepaalt de mobiliteit ervan het opwervelingsrisico. De Opwerveling Potentie Methode (OPM) is gebaseerd op het analyseren van die mobiliteit en het effect daarvan op de troebelheid van het water.

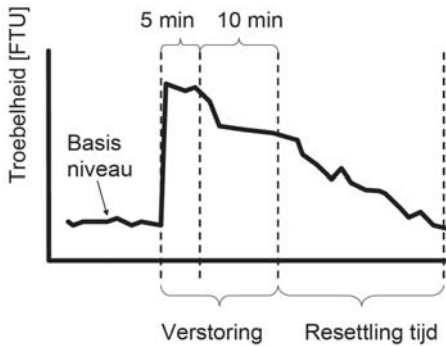
De OPM bestaat uit een gecontroleerde en reproduceerbare verhoging van de stroomsnelheid in een leiding met 0,35 m/s. De verhoogde stroomsnelheid laat het aanwezige sediment enigszins opwervelen en de daaruit resulterende verhoging van de troebelheid wordt gemeten en vastgelegd. De methode wordt voornamelijk toegepast in kleinere leidingen (tot 250 mm); voor grotere leidingen zijn meer gedetailleerde metingen noodzakelijk waarbij het water

op meerdere hoogten in het leidingnet wordt gemeten. Het protocol van de methode is als volgt:

- Isoleer de te onderzoeken leiding door het sluiten van de relevante afsluiters. De lengte van de te onderzoeken leiding dient minimaal 315 meter te zijn.
- Open een brandkraan waarop een gecalibreerde standpijp is aangebracht waardoor een extra volumestroom in de leiding wordt opgewekt met een snelheid van 0,35 m/s. Deze extra volumestroom wordt gedurende 15 minuten toegepast (de totale lengte van de leiding is minimaal 315 meter).
- Meet de troebelheid gedurende de verstoring en daarna totdat de troebelheid weer terug is op het begin niveau.

De resulterende troebelheidsgrafiek heeft een typische vorm zoals weergegeven in Figuur 5, waarin de 5 aspecten die beoordeeld worden zijn aangegeven: De maximale en gemiddelde troebelheid in respectievelijk de eerste 5 en laatste 10 minuten van de verstoring en de resettleing tijd. Dit laatste is de tijd die nodig is om het sediment weer te laten bezinken tot het uitgangsniveau.

Ieder van deze vijf elementen wordt beoordeeld en gescoord met een waarde tussen de 0 en 3. Er wordt geen absolute waarde van de troebelheid gegeven, omdat deze kan variëren met de toegepaste apparatuur, maar ook met de wijze van meten.



Figuur 5 - Opwervelingsgrafiek

De troebelheid kan bijvoorbeeld op een aparte aansluiting op de leiding worden gemeten, maar ook bij het spuipunt. Dit geeft een ander troebelheids resultaat, terwijl dezelfde situatie wordt beschreven. Als voorbeeld wordt de scoringstabel gegeven van een Dr Lange troebelheidsmeter op het spuipunt in Tabel 1.

Op deze wijze kan het opwervelingsrisico of de Opwervelingspotentie bepaald worden en onderling vergeleken.

Klachtenregistratie

Het registreren van klachten is het instrument dat de meeste zeggingskracht heeft om acties te ondernemen. Met het gebruiken van dit instrument moet echter voorzichtig worden omgegaan. Het meten en registreren van klachten is binnen waterleidingbedrijven vaak niet gestandaardiseerd en niet eenduidig. Hoe wordt bijvoorbeeld omgegaan met klachten die direct aan de telefoon worden afgehandeld. "We zijn bezig om de gesprongen leiding te repareren en we verwachten dat de storing snel opgeheven zal zijn. Dan zal waarschijnlijk ook de verkleuring van het water ten einde zijn." Met het groter worden van de bedrijven en het centraliseren van contactpun-

ten met klanten is een meer eenduidige registratie mogelijk en de verwachting is dat over een aantal jaren meer betrouwbare informatie beschikbaar zal zijn over het aantal en de aard van klachten. Een minutieuze registratie van alle klachten geeft een goede indicatie van trends in de gevoeligheid van het leidingnet voor bruin water incidenten. Het blijft echter een subjectief meetinstrument, waarbij gewenning van klanten aan een bepaalde waterkwaliteit trends kan maskeren, zowel positieve als negatieve.

Concentratie metingen

Time Intergrated Large Volume Sampling (TILVS) De veranderingen in de hoeveelheid deeltjes als gevolg van het transport door het leidingnet zijn (te) gering om met behulp van monsters te meten. Bovendien is al eerder gezien dat het moeilijk is om met monsters daadwerkelijk iets te zeggen over de echte veranderingen in de waterkwaliteit. Om daadwerkelijk te analyseren welke deeltjes in het leidingnet worden gebracht en hoe de samenstelling daarvan verandert, dienen monsters over langere tijd genomen te worden, waardoor de wisselingen in basisconcentratie worden afgevlakt. Hiervoor zijn de zogenaamde TILVS –units (Time Intergrated Large Volume Sample-units) ontwikkeld. Deze bestaan uit een True-Dos doseer pomp dat water voert over een membraanfilter dat gevat is in een roestvrij stalen filtreereenheid (figuur 2). De pomp is een verdringerpomp en levert een constant debiet bij een oplopende druk; de flux over het filter is hierdoor constant. De volumestroom is instelbaar in de range van 0.5-5.0 l/h over een variabele tijdsperiode, meestal in de orde van 24 tot 72 uur. De massa die hierdoor op het filter wordt gevangen kan worden geanalyseerd op hoeveelheid en samenstelling. Hierdoor zijn veranderingen in hoeveelheid

Tabel 1 - Scoringstabel opwervelingspotentie gemeten met Dr Lange op spuipunt

Categorie	Punten	0	1	2	3
Absolute max eerste 5 min		<3 ftu	3 –10 ftu	10-40 ftu	>40 ftu
Gemiddelde eerste 5 min		<3 ftu	3 –10 ftu	10-40 ftu	>40 ftu
Absolute max laatste 10 min		<3 ftu	3 –10 ftu	10-40 ftu	>40 ftu
Gemiddelde laatste 10 min		<3 ftu	3 –10 ftu	10-40 ftu	>40 ftu
Resettling tijd		< 5 min.	5-15 min	15-60 min	>60 min



Figuur 6 - Boven de TILVS-unit met de doseerpomp en de filterunit. Onder het resultaat van een TILVS monster op twee lokaties.

en samenstelling van de hoeveelheid zwevende stof vast te stellen.

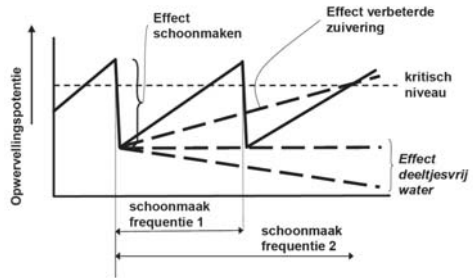
Figuur 6 geeft een foto van de opstelling en een voorbeeld van twee filters. Het linker filter is op een pompstation geplaatst en het rechter ergens in het leidingnet. In dit geval blijkt er een toename van het aantal deeltjes in het water plaats te vinden.

Beheersen van productieprocessen van deeltjes

De belangrijkste bron voor deeltjes in het leidingnet is het drinkwater af pompstation zelf. Deze hypothese is met vele metingen door de jaren heen steeds waarschijnlijker geworden. Om de hypothese te onderbouwen is een vergelijkend onderzoek gedaan die hieronder beschreven wordt.

Opzet proef

Deeltjes die bij de zuivering in het leidingnet geïntroduceerd worden zullen in het leidingnet bezinken en accumuleren tot opwervelbare hoeveelheden. De hypothese voor het effect van deeltjes wordt grafisch weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 - Hypothese deeltjesbelasting leidingnet

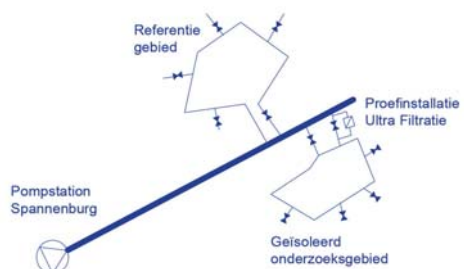
Om het effect van deeltjes in het leidingnet te bekijken zijn er twee proeven opgezet. De eerste in het leidingnet van Vitens waarbij in twee geïsoleerde gedeeltes van het net nauwkeurig de vervuiling wordt gevolgd. In het ene deel van het leidingnet wordt het gewone drinkwater gedistribueerd en in het andere gedeelte wordt het drinkwater nabehandeld met UF, waardoor deeltjesvrij water ontstaat. Het principe van de proef is weergegeven in figuur 8.

De kenmerken van beide netten zijn ongeveer gelijk: rond de 500 huishoudelijke aansluitingen en een conventioneel leidingnet. Het onderzoeksgebied is iets ouder en bestaat uit een wijk die in de jaren 50 is aangelegd. Het dominante leidingmateriaal is AC, maar er zijn enkele PVC leidingen in recentere stukken van het leidingnet.

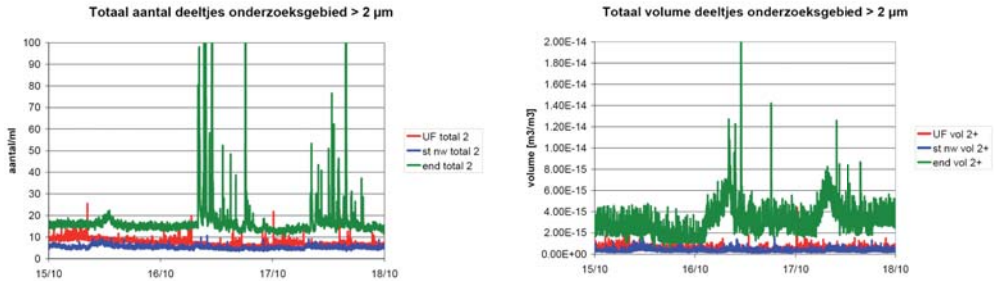
Het referentiegebied heeft een groter relatief nieuw gebied en kent daardoor meer PVC leidingen.

Tijdens de proef zijn een aantal metingen verricht:

- Deeltjes tellingen op drie plaatsen in de beide leidingnetten: aan het begin en in het leidingnet zelf. De deeltjes tellingen zijn op twee momenten uitgevoerd in beide gebieden.



Figuur 8 - Opzet proef deeltjesbelasting



Figuur 9 - Totaal aantal deeltjes en volume deeltjes in het onderzoeksgebied

- Na een jaar zijn beide gebieden schoongemaakt en is al het sediment opgevangen en geanalyseerd.

De proefperiode is eind november 2006 geëindigd, zodat slechts enkele voorlopige resultaten kunnen worden gepresenteerd.

Resultaten

Deeltjestellingen

De resultaten van de deeltjestellingen in het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 9.

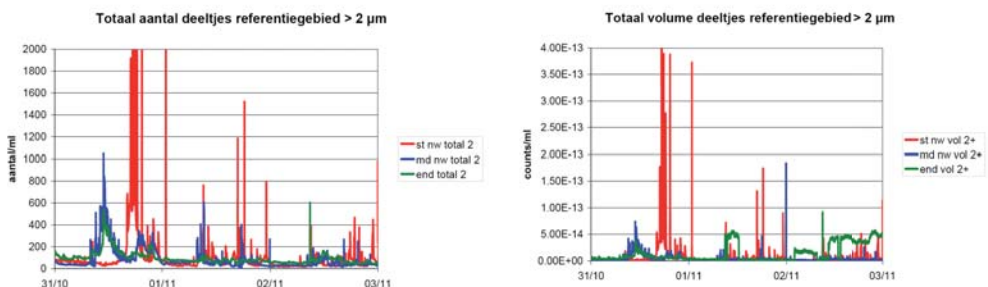
Vanuit de deeltjestellingen is het volume van de deeltjes berekend aannemende dat de deeltjes perfect rond zijn. In het linkergedeelte van Figuur 9 zijn de metingen van het aantal deeltjes op drie lokaties in het onderzoeksgebied weergegeven. In het rechtergedeelte zijn deze aantallen deeltjes omgerekend naar volume concentraties. De locatie 'UF' is het water na de UF installatie en de opslagkelder (rode lijn), de locatie 'st nw' is het begin van het netwerk na een kort stuk transportleiding en de locatie 'end' is in het leidingnet in de binneninstallatie van een basisschool.

Figuur 10 geeft dezelfde metingen voor het referentie gebied, waarbij de rode lijn (locatie st nw) het

begin van het leidingnet is, de blauwe lijn (locatie 'md nw') het midden en de groene lijn (locatie 'end') het einde van het leidingnet.

Een duidelijk verschil tussen de beide metingen is de schaal en de aantallen deeltjes. In het onderzoeksgebied dat door het UF water wordt gevoed is de schaal van het aantal deeltjes tot 100 per ml en in het referentiegebied is de schaal tot 2000 deeltjes per ml. Ook in de volume-schalen is de schaal voor het onderzoeksgebied tot $2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^3/\text{m}^3$ en voor het referentiegebied tot $4 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Zonder in te gaan op de details van de metingen is te zien dat het totaal volume aan deeltjes dat met het water in het onderzoeksgebied wordt gebracht geringer is dan in het referentiegebied. Theoretisch zou het volume na de UF installatie constant en erg laag moeten zijn, maar er zijn enige kleine piekjes te herkennen in de linkergrafiek van Figuur 9, waarschijnlijk afkomstig van wat deeltjes in kelder. Tevens is te zien dat in het onderzoeksgebied het volume aan deeltjes in het net toeneemt, terwijl dat in het referentiegebied afneemt. In het onderzoeksgebied is de derde monitor in een lagere school geplaatst, waarbij de aansluiting van de monitor



Figuur 10 - Totaal aantal deeltjes en volume deeltjes in het referentiegebied

'aan het einde' van de binneninstallatie is geplaatst. Duidelijk is het opwervingspatroon te zien dat afhankelijk is van het gebruik van de school: 15 oktober 2006 was een zondag en dus geen verbruik in de binneninstallatie.

In het referentiegebied is de piek in de aantallen deeltjes en het volume daarvan in de avond van 31 oktober duidelijk waar te nemen. De reflectie daarvan op de beide andere meetlocaties is waar te nemen, maar het is duidelijk dat het grootste aantal en volume deeltjes is verdwenen. Dit illustreert het vervuilingproces in de leidingen van het referentiegebied: er komen deeltjes het leidingnet in die 'verdwenen' zijn op de andere locaties: de deeltjes zijn bezonken in de leidingen en accumuleren tot een opwervelbare hoeveelheid sediment.

Sedimentaccumulatie

Om te bepalen hoeveel opwervelbaar sediment zich in ongeveer een jaar verzameld in het leidingnet zijn beide netten aan het begin van de proef schoongemaakt middels het spuien met water. Daardoor si de uitgangspositie van beide netten gelijk geworden voor wat betreft de aanwezigheid van opwervelbaar of los sediment. Na een jaar zijn beide netten wederom schoongemaakt en is de hoeveelheid van het gespuide water en de troebelheid daarvan continu gemeten. Daarnaast zijn monsters genomen en is een relatie vastgesteld tussen de troebelheid en de hoeveelheid vaste stoffen.

In de tabellen Tabel 2 en Tabel 3 zijn de gegevens van de schoonmaakactie weergegeven

In het referentiegebied, dat gevoed wordt met gewoon drinkwater, wordt na een jaar 5,5 maal zoveel

Tabel 2 - Resultaten spuien referentiegebied

Actie nr	diam [mm]	Lengte [m]	materiaal	Snelheid [m/s]	verwijderd sediment [gr]	verwijderd sediment per meter [gr/m]
actie 1	122.5	520	AC + PVC	1.65	479.36	0.92
actie 2	147.6	400	PVC	1.14	434.05	1.09
actie 3	101.6	160	PVC	2.06	61.51	0.38
actie 4	101.6	140	PVC	2.06	58.32	0.42
actie 5	150.0	520	AC	1.38	304.71	0.59
actie 6	100.0	350	AC	2.12	149.32	0.43
actie 7	100.0	240	AC	2.12	356.81	1.49
actie 8	100.0	64	AC	2.12	9.26	0.14
actie 9	100.0	240	AC	2.12	63.03	0.26
actie 10	100.0	280	AC	2.12	46.24	0.17
actie 11	147.6	400	PVC	0.97	143.85	0.36
actie 12	101.6	400	PVC	2.06	134.63	0.34
actie 13	147.6	320	PVC	0.97	219.48	0.69
actie 14	101.6	330	PVC	2.06	167.06	0.51
actie 15	67.8	330	PVC	2.31	57.12	0.17
actie 16	101.6	330	PVC	1.03	30.65	0.09
actie 17	101.6	36	PVC	1.03	38.01	1.06
actie 18	101.6	205	PVC	2.06	27.11	0.13
actie 19	101.6	105	PVC	2.06	86.28	0.82

totale lengte 5370 m
 totaal verwijderd 2866.81 gr
 totaal verwijderd/m 0.5339 gr/m

Tabel 3 - Resultaten spuien onderzoeksgebied

Actie nr	diam [mm]	lengte [m]	materiaal	Snelheid [m/s]	verwijderd sediment [gr]	verwijderd sediment per meter [gr/m]
actie 1	150.0	350	AC	1.26	37.27	0.11
actie 2	150.0	850	AC	1.40	102.59	0.12
actie 3	100.0	500	AC	2.12	30.89	0.06
actie 5	100.0	500	AC	2.12	17.28	0.03
actie 6 + 7	150.0	450	AC	1.41	56.48	0.13
actie 8	150.0	350	AC	1.41	35.49	0.10
actie 9	150.0	340	AC	1.41	9.03	0.03
actie 11	100.0	240	AC	2.12	46.38	0.19
actie 12	100.0	200	AC	2.12	9.29	0.05
actie 13	100.0	265	AC	2.12	9.09	0.03
actie 14	100.0	500	AC	2.48	35.68	0.07
actie 15	147.6	400	PVC	1.46	94.86	0.24
actie 16	147.6	150	PVC	1.46	14.45	0.10
actie 18	147.6	575	PVC	1.46	30.21	0.05
actie 19	147.6	170	PVC	1.46	14.18	0.08

totale lengte 5840 m
 totaal verwijderd 543.15 gr
 totaal verwijderd/m 0.09 gr/m

sediment verwijderd dan uit het onderzoeksgebied. Hieruit blijkt dat de vervuiling van het gebied met dezelfde factor teruggebracht kan worden door het voorkomen dat deeltjes in het leidingnet terecht komen.

Conclusie

Hoewel de resultaten nog niet volledig zijn uitgewerkt, is duidelijk dat een groot gedeelte van het opwervbare sediment in een leidingnet afkomstig is van het drinkwater zelf en wordt aangevoerd vanuit het pompstation. In deze vergelijkende studie zou je kunnen zeggen dat ruim 85% van het sediment dat in het referentiegebied is gevonden rechtstreeks afkomstig is uit het water zelf. Het sediment dat gevonden is in het onderzoeksgebied lijkt in het gebied zelf te zijn geproduceerd, aangezien de deeltjesaantallen toenemen in het gebied zelf. Is ook mogelijk dat deze deeltjes afkomstig zijn van een restvervuiling van de bufferkelder.

Schoonmaken van het leidingnet

Het tweede doel van het onderzoek is het ontwikkelen van methoden om de hoeveelheid en accumulatie van sediment in het leidingnet te beheersen. De historisch meest toegepaste beheersmaatregel is het regelmatig schoonmaken van het leidingnet met als doel om het opwervbare sediment te verwijderen. Als meest gebruikelijke technieken worden water spuien, water/lucht spuien en propen toegepast.

Water spuien is de meest toegepaste techniek, waarbij er naar wordt gestreefd om water met een hoge snelheid door de leiding te persen. De hoge snelheid wordt bewerkstelligd door een grote afname in het leidingnet te creëren, bijvoorbeeld door een spuijunctie te maken of één of meerdere brandkranen te openen. Door de hoge snelheid wordt losliggend sediment opgewerveld en afgevoerd.

Met water/lucht spuien wordt naast de hogere snelheid in het leidingnet een extra turbulentie opgewekt door lucht in de waterstroom te injecteren. Hierdoor

zou het reinigende effect van de waterstroom worden verhoogd.

Een derde techniek is om een zogenaamde prop in de leiding te laten en deze door middel van een waterstroom door de leiding te duwen, waardoor het losse sediment uit de leiding wordt geveegd.

Spuien met water

Systematisch onderzoek naar de effectiviteit van de verschillende schoonmaaktechnieken is in de jaren negentig van de vorige eeuw uitgevoerd, waarbij de belangrijkste conclusie was dat het spuien met water de meest effectieve techniek is. Het is echter wel van belang dat het spuien zorgvuldig wordt voorbereid en uitgevoerd. Dit betekent dat aan drie randvoorwaarden moet worden voldaan:

- Snelheid in de leiding minimaal 1,5 m/s;
- Inhoud van de leiding twee tot drie maal verversen

Water aanvoeren over een schoon water front. De samenhang van de randvoorwaarden is belangrijk, omdat niet voldoen aan één van de drie de effectiviteit van de schoonmaakactie ernstig compromitteert.

Iedere randvoorwaarde zal kort worden toegelicht:

Snelheid minimaal 1,5 m/s

In eerste instantie is deze randvoorwaarde gesteld uit pragmatische overwegingen. De spuisnelheid moet in ieder geval significant hoger zijn dan normaal optreedt in een leidingnet en bij voorkeur ook hoger dan bij mogelijke incidenten kan optreden. Uit berekeningen blijkt dat 1,5 m/s nagenoeg altijd haalbaar is in een leidingnet, zelfs in de grotere transportleidingen, maar dat de afvoer van het gespuide water wel voor problemen kan zorgen. Figuur 12 heeft een voorbeeld van een spuiing van



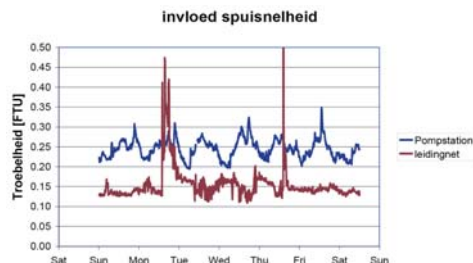
Figuur 12 - Spuiing Ø500 met 1000 m³/h

een 500 mm transportleiding. De volumestroom is ruim 1000 m³/h en kan worden geloosd in een sloot, waarbij de bodem van de sloot tijdelijk gefixeerd is door het blauwe plastic zeil.

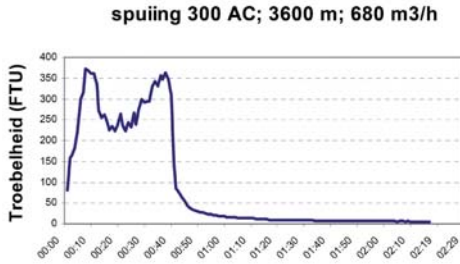
Het belang van een voldoende hoge spuisnelheid wordt ook geïllustreerd door Figuur 11. Dit is het resultaat van een troebelheidsmeting in een leidingnet (rode lijn), waarbij op maandag morgen een verstoring heeft plaatsgevonden met een te lage spuisnelheid. Te zien is dat de troebelheid toeneemt, nog uren lang verhoogd blijft en ook in de dagen erna geen constante waarde geeft. Op donderdagmiddag is een spuiing uitgevoerd waarbij wel aan de randvoorwaarden is voldaan. De troebelheid is kortstondig hoog, maar stabiliseert snel en daarna blijft de troebelheid stabiel op een lage waarde. Dit toont aan dat verstoring met te lage snelheden welliswaar enig los sediment verwijdert, maar dat het achterblijvende sediment een hoger opwerelingsrisico heeft doordat het mobieler is geworden.

Inhoud van de leiding twee tot drie maal verversen

Bij het verhogen van de snelheid wordt het losliggende sediment nagenoeg meteen opgewerveld. Dit uit zich in een hoge troebelheid aan het begin van de spuiing, die na één verversing scherp daalt en na twee verversingen over het algemeen terug is op het niveau van het aangevoerde water. Het typische troebelheidsverloop van het spuiwater bij het spuipunt is weergegeven in Figuur 13. Het betreft hier een 300 mm AC leiding die met 680 m³/h wordt gespuid over een lengte van 3600 meter. Na de eerste verversing na 40 minuten neemt de troebelheid sterk af en na de tweede verversing na 1 uur en 20 minuten is de troebelheid nagenoeg gestabiliseerd.



Figuur 11 - Invloed lage snelheid op mobiliteit sediment



Figuur 13 - Troebelheid van het spuiwater bij een spuipunt in het leidingnet

Consequent toepassen van het verversen van de inhoud met een factor 2 à 3 en goed het schoonwaterfront in de gaten houden, betekent dat het gehele net kan worden gereinigd met een hoeveelheid water die drie tot maximaal vier maal de inhoud van dat leidingnet is. Dit betekent dat het schoonmaken van het leidingnet ongeveer 0,5% van de totale watervraag op jaarbasis vraagt. Ofwel: jaarlijks schoonmaken van het gehele leidingnet draagt voor ongeveer 0,5% bij aan het totaal 'lekverlies' in het leidingnet.

Water aanvoeren over een schoon water front

Met deze randvoorwaarde dient voorkomen te worden dat water wordt aangevoerd over leidingen die nog sediment bevatten. Belangrijkste reden is dat de snelheid in deze leidingen dan te laag is, hetgeen het sediment meer mobiel maakt en het opwerelingsrisico doet toenemen. Een tweede effect is dat er geen nieuw sediment in het schoon te maken leidingnet wordt aangevoerd.

Een schoonwaterfront hoeft niet perse een schoon-gemaakte leiding te zijn, maar kan ook een leiding zijn met een dermate grote diameter dat de extra flow die nodig is om een leiding te spuien niet tot een significante verhoging van de totale flow in de grotere leiding zal leiden en daardoor niet tot opwerveling of extra mobilisering van het sediment.

Effectiviteit andere schoonmaaktechnieken

De effectiviteit van water/lucht spuien is een aantal jaren geleden nader onderzocht in een proefopstelling bij het WL[Delft Hydraulics. Hieruit is naar voren gekomen dat water/lucht spuien een additionele techniek is die kan worden toegepast als het water spuien niet kan worden uitgevoerd. De randvoorwaarden voor uitvoeren van w/l spuien is dat er een watervolumestroom is die in de volledig

gevulde leiding een snelheid van 0,5 m/s heeft. De volume verhouding water/lucht bij het injectiepoint van de lucht dient één op één te zijn en de overdruk van de lucht mag maximaal 0,5 bar bedragen. Daarnaast is de injectie van lucht continu. Als aan deze randvoorwaarden wordt voldaan wordt een stromingbeeld gecreëerd waarbij grote bellen lucht worden gescheiden door zeer turbulente gedeeltes, die 'hydraulische propfen' zijn gedoopt.

Belangrijk aandachtspunt bij het uitvoeren van water/lucht spuien is het achterblijven van lucht in het systeem. Het effectief uitspoelen van lucht vergt snelheden in de orde van 1,5 à 2,0 m/s. Het totale waterverbruik van het water/lucht spuien is in de orde van 2 tot 4 maal de leidinginhoud en soms nog meer.

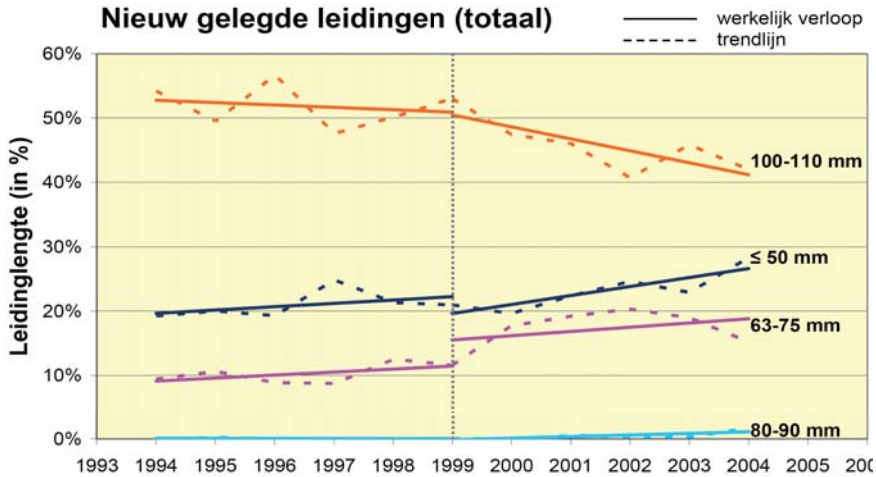
Ook bij water/lucht spuien is het hanteren van een schoonwaterfront van belang, om dezelfde reden als dat belangrijk is bij water spuien. Omdat bij het daadwerkelijke spuien met een veel lagere snelheid wordt gewerkt (0,5 m/s versus 1,5 m/s) zal de bovenstroomse verstoring ook navenant lager zijn.

Het propfen van leidingen wordt in Nederland niet veel (meer) toegepast, omdat de kosten relatief hoog zijn en de effectiviteit gering voor wat betreft de daadwerkelijke verwijdering van sediment.

(Her)ontwerp van het leidingnet

Accumulatie van deeltjes op de buiswand als gevolg van de (zeer) lage snelheden in het leidingnet ligt ten grondslag aan bruin water incidenten. Als de snelheid in de leidingen significant verhoogd kan worden, betekent dit dat de accumulatie kan worden verminderd of zelfs helemaal voorkomen. De lage snelheden in het distributieleidingnet worden veroorzaakt doordat leidingen gedimensioneerd worden voor het leveren van bluswater. Deze bluswatervraag is vele malen groter dan de normale drinkwatervraag, waardoor de stromingssituatie in het leidingnet altijd zeer laag is. Tevens wordt door de sterke vermazing van het net de stroomsnelheid nog verder verminderd.

In 1999 zijn de nieuwe ontwerpcriteria geïntroduceerd in de Nederlandse bedrijfstak en geleidelijk kan er een verandering in de samenstelling van



Figuur 14 - Diameterverdeling nieuwe aangelegde leidingnetten in Nederland.

het leidingnet worden waargenomen, zoals blijkt uit Figuur 14.

In de loop van de jaren zijn de ontwerpregels aangescherpt en meer consequent toegepast. Een recent vergelijkend onderzoek heeft aangetoond dat het aldus ontworpen leidingnet daadwerkelijk als zelfreinigend kan worden beschouwd.

In Figuur 15 zijn twee leidingnetten weergegeven die met behulp van deeltjestellingen met elkaar zijn vergeleken.

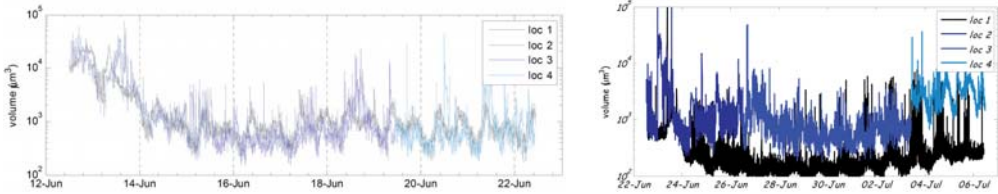
In beide leidingnetten zijn deeltjestellingen uitgevoerd tijdens de warmste dagen van het jaar met de hoogste verbruiken. De deeltjestellingen zijn omgerekend naar volumes door aan te nemen dat de deeltjes bestaan uit bolletjes. In Figuur 16 zijn de berekende volumes op basis van de deeltjestellingen weergegeven.

De zwarte lijn geeft de volumeconcentratie van de ingaande deeltjes weer en de blauw gekleurde lijnen de volumeconcentraties op verschillende plaatsen in het benedenstroomse leidingnet. De metingen zijn uitgevoerd met twee deeltjestellers. De teller bij de ingaande stroom heeft de gehele meetperiode op dezelfde plaats gestaan, terwijl de andere deeltjesteller verplaatst is. De meting heeft plaatsgevonden tijdens het maximale jaar verbruik. In de linker figuur die gemeten is in het conventionele net is te zien

dat het ingaande volume groter is dan het uitgaande volume in de uren van laag verbruik (nachten) en dat er verschillende opswelingen te zien zijn (bijvoorbeeld op 18 juni). Dit betekent dat er netto sediment achterblijft in het leidingnet.



Figuur 15 - Boven een conventioneel vermaasd net en onder een modern vertakt net tot 40 mm PE voor de laatste aansluitingen



Figuur 16 - Resultaten volumeberekeningen op basis van deeltjes tellingen in twee voorzieningsgebieden

In de tweede figuur is te zien dat het deeltjesvolume in het uitgaande water consequent hoger is dan het ingaande volume. Dit betekent dat in deze periode van extreem hoog verbruik er netto sediment wordt verwijderd uit het leidingnet en dit dus als zelfreinigend kan worden beschouwd.

Discussie

Historisch wordt het bruin water probleem in verband gebracht met de aanwezigheid van roestend gietijzer. Deze verklaring voor het ontstaan van bruin water klachten is echter niet afdoende, omdat de klachten ook voorkomen in leidingnetten waar geen gietijzer in voorkomt. De hypothese dat veel van het sediment dat de bruin water klachten veroorzaakt afkomstig is van de zuivering wordt bevestigd in het praktijk experiment waarbij de effecten van deeltjes vrij water en normaal drinkwater worden vergeleken. Hieruit blijkt dat in het leidingnet waarin deeltjesvrij water wordt gedistribueerd een factor 5,5 minder opwervelbaar sediment wordt aangetroffen dan in het gebied waarin gewoon drinkwater wordt gedistribueerd.

Om een bruin water probleem te laten ontstaan moet aan meerdere randvoorwaarden worden voldaan: Er dienen afzetbare deeltjes in het water aanwezig te zijn in combinatie met lage stroomsnelheden waardoor de deeltjes ook daadwerkelijk kunnen bezinken en accumuleren. Vervolgens veroorzaakt een verhoogde snelheid als gevolg van een incident of een hoge afname opwerveling van de deeltjes die ook nog door een consument moet worden waargenomen én zodanig verontrusten dat een melding aan het waterleidingbedrijf wordt gedaan. Per jaar wordt in Nederland ongeveer 6000 maal aan al deze randvoorwaarden voldaan.

Doordat zoveel factoren meespelen in het ontstaan van bruin water, zijn er ook meerdere mogelijkheden om iets te doen aan het ontstaan ervan. De drie

traps aanpak zoals in dit artikel beschreven, zal bij volledige toepassing tot een aanzienlijke verlaging van het aantal bruin water klachten leiden. In de periode tussen 1990 en 1996 zijn de maatregelen van systematisch schoonmaken in combinatie met een betere bedrijfsvoering van de productiepompstations van het toenmalige Nutsbedrijf Regio Eindhoven toegepast in het de stad Eindhoven en omstreken. Dit leidde tot een daling van het aantal klachten van ongeveer 1000 per jaar tot minder dan 100 per jaar.

In het begin van het onderzoek is een relatief simpele methode ontwikkeld om het aantal incidenten met verhoging van de snelheid te beperken, namelijk het verbieden van het gebruik van standpijpen anders dan door de brandweer bij het daadwerkelijk blussen van branden. Dit heeft bij verschillende bedrijven ook geleid tot een significante daling van het aantal bruin waterklachten. De handhaving van dit verbod kan op moeilijkheden stuiten, maar als een voldoende alternatief geboden wordt is dit op te lossen. In Arnhem zijn hiervoor een soort semi-openbare tappunten geconstrueerd en in Tilburg zijn op plekken waar veel van brandkranen gebruik wordt gemaakt, zoals op de markt en de kermis, voorzieningen getroffen waardoor een verbod op gebruik van brandkranen eenvoudiger is te handhaven.

Het stoppen van niet-systematisch schoonmaken en dat vervangen door systematisch schoonmaken heeft ook geleid tot een daling van het aantal bruin water incidenten. Een hardnekkig misverstand over het positieve effect van spuien van eindpunten in het leidingnet is met vele (inter)nationale waterleidingbedrijven besproken en in toenemende mate wordt onderkend dat met deze techniek de randvoorwaarden van het schoonwaterfront wordt genegeerd en dat de methode eerder klachten veroorzaakt dan dat het ze voorkomt.

Het ontwerpen van nieuwe leidingnetten die geoptimaliseerd zijn op snelheid vraagt een nieuwe benadering van het leidingnet waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen het transport en hoofdleidingnet en het daadwerkelijke distributienet. De principes die worden toegepast staan in feite loodrecht op elkaar: wordt bij het transport maximale vermazing nagestreefd, bij het distributienet wordt maximale vertakking nagestreefd. Wordt bij het transportleidingnet gedimensioneerd op een maximaal verbruik in de toekomst, in het distributienet wordt op een veel-voorkomende situatie gedimensioneerd in de zeer nabije toekomst. Dit pleit er dan ook voor om de disciplines (transport en distributie) apart te beschouwen en verschillende ontwerpprincipes toe te passen, zoals nu in het universitaire onderwijs wordt toegepast.

Een belangrijk praktisch struikelpunt in het toepassen van de nieuwe ontwerpcriteria is het leveren van bluswater door het drinkwaterleidingnet. Professor Huisman zei in zijn colleges ook al dat er geen drinkwaternet maar een bluswatervoorziening in de grond lag. Het vraagt van zowel de brandweer als het waterleidingbedrijf een inspanning om te zoeken naar een maatschappelijk verantwoorde oplossing voor de bluswatervoorziening. In overleg op landelijk niveau is al bereikt dat landelijke brandweerorganisaties achter de zogenaamde 30 kuubs-brandkraan staan en deze accepteren in gebieden waar voldaan wordt aan de eis dat de bebouwing voldoende brandwerend is en er geen bijzonder omstandigheden zijn. Het blijft echter zo dat de eindverantwoordelijkheid voor de bluswatervoorziening bij de plaatselijke brandweercommandant ligt en dat in principe alle 500 brandweercommandanten persoonlijk moeten worden overtuigd. Dat waterleidingbedrijven hier in toenemende mate een rigide houding in aannemen, zal op den duur de samenwerking niet bevorderen. Toenadering kan gezocht worden in het ontwerpen van alternatieven die vooral in nieuwbouwprojecten goed toepasbaar zijn zoals huishoudelijke sprinklers.

Internationaal worden de nieuwe ontwerpcriteria met belangstelling gevolgd, hoewel het toepassen ook hier stuit het overleg met de brandweer. Er zijn concrete plannen bij een Engels waterleidingbedrijf om de nieuwe ontwerpnormen breed in te gaan voeren

voor al het nieuwe leidingwerk, inclusief de vervanging van oude leidingen. Dat hierbij de economische motieven (20% goedkoper) een grotere rol spelen dan de kwaliteitsvoordelen is niet verwonderlijk.

Conclusie

Het onderzoek naar het ontstaan en de aard van bruin water klachten hebben de grenzen van de bedrijfsvoering en het ontwerp van het distributienet in Nederland verlegd. Gebaseerd op de Opwerveling Potentie Methode, zoals beschreven in dit artikel, hebben veel waterleidingbedrijven een meetprotocol ontwikkeld waarmee de vervuiling van het leidingnet wordt gemeten en waarmee beslissingen over waar en wanneer schoon te maken worden genomen. De methode van schoonmaken van het leidingnet zoals tegenwoordig toegepast door bedrijven is nagenoeg volledig gebaseerd op de principes van het spuien met water (1,5 m/s, 2 tot 3 maal verversen en schoonwaterfront). Op sommige plaatsen wordt geëxperimenteerd met vernieuwde water/lucht spoel technieken, maar dat gebeurt nog niet op grote schaal.

Bij het ontwerpen en aanleggen van nieuwe leidingen worden de nieuwe ontwerpregels breed toegepast, wat goed waarneembaar is in de samenstelling en de kosten van de nieuwe leidingnetten. De invloed van de zuivering en in het bijzonder de deeltjeslast naar het leidingnet, is duidelijk aangetoond met het beschreven vergelijkend experiment, waarbij een reductie met een factor 5,5 mogelijk is door het preventief verwijderen van de deeltjes uit het drinkwater. Dit maakt duidelijk dat ook het voorkomen van deeltjesbelasting naar het leidingnet haalbaar en effectief is.

De aanpak van bruin water problemen in het leidingnet vraagt om een combinatie van meerdere maatregelen die tegelijkertijd genomen kunnen worden, waarbij duidelijk is dat het totale proces van bron tot tap dient te worden beschouwd.