



Mirjam Blokker, KWR Watercycle Research Institute / TU Delft
 Agata Donocik, Brabant Water
 Ferry Smits, Brabant Water
 Jan Vreeburg, KWR Watercycle Research Institute / TU Delft

Nauwkeuriger vastgestelde beoogde stroomsnelheid in zelfreinigende netten

Sinds in 1999 de empirische ontwerpconcepten voor zelfreinigende leidingnetten werden geïntroduceerd, leggen waterbedrijven netten vertakt en met kleinere leidingen aan, omdat die niet schoongemaakt hoeven te worden en weinig tot geen incidenten met bruin water kennen. Metingen aan deze nieuwe leidingnetten hebben het nu mogelijk gemaakt deze benadering in de praktijk te toetsen en de empirische ontwerpcriteria te evalueren en misschien scherper te stellen. In zeven verschillende leidingnetten is daarom vastgesteld onder welke omstandigheden sediment opwerfelt of bezinkt en accumuleert. De metingen laten zien dat strikte toepassing van de ontwerpconcepten uit 1999 een daadwerkelijk zelfreinigend leidingnet oplevert: de combinatie van de huidige $q\sqrt{n}$ -methode en een ontwerpsnelheid van 0,4 m/s leidt inderdaad tot een zelfreinigend net. Wel blijkt dat bij deze methode het maximumverbruik wordt overschat en de ontwerpsnelheid te conservatief gekozen is. Om de nieuwe ontwerpprincipes op te schalen naar de hoofdstructuur is een betere verbruiksschatting nodig: de $q\sqrt{n}$ -methode moet daarvoor worden vervangen door een berekening op basis van het model SIMDEUM. Alleen dan kan ook de ontwerpsnelheid waarbij zelfreiniging optreedt naar beneden worden bijgesteld.

De nieuwe ontwerpconcepten voor distributienetten zijn in 1999 geïntroduceerd⁴⁾. Deze houden in dat distributienetten vertakt en met kleinere diameters worden aangelegd. Het doel is om een voldoende hoge snelheid en een uniforme stromingsrichting te creëren, waardoor wordt voorkomen dat deeltjes in het leidingnet accumuleren. De maximale volumestroom wordt, op basis van het aantal woningen op een leiding en het aantal tapeenheden per woning, voorspeld met de zogenaamde $q\sqrt{n}$ -methode (waarbij $q = 0,083$ l/s en n het aantal woningen vermenigvuldigd met het aantal tapeenheden per woning). De leidingdiameter wordt gekozen op basis van de berekende maximale volumestroom en de ontwerpsnelheid van 0,4 m/s. Deze ontwerprijchlijnen waren voornamelijk gebaseerd op een empirische benadering.

Eerste en tweede generatie leidingnetten

Sinds 2000 leggen steeds meer Nederlandse waterleidingbedrijven hun nieuwe distri-

butionetten aan volgens de nieuwe ontwerpconcepten. Een recente inventarisatie laat zien dat feitelijk alle nieuwe leidingen worden ontworpen volgens het zelfreinigend principe en dat daarbij ook de bluswatervoorziening naar tevredenheid van de brandweer kan worden ingepast. In eerste instantie werd de maximale volumestroom nog conservatief ingeschat ($q\sqrt{n}$ -methode met 24 tapeenheden) en zijn soms concessies gedaan aan een verhoogde bluswatervraag van de brandweer - de aldus ontworpen leidingnetten noemen we de eerste generatie vertakte netten. Bij andere waterbedrijven zijn de tweede generatie vertakte netten geïntroduceerd, waarbij de diameters worden gebaseerd op basis van meer realistische volumestromen ($q\sqrt{n}$ -methode met 15 tapeenheden) en derhalve nog kleiner zijn dan bij de eerste generatie. Dat de nieuwe ontwerpconcepten leiden tot een reductie in aanlegkosten van circa 20 procent, voornamelijk ten gevolge van het leggen van leidingen met minder lengte en kleinere diameters, zal ongetwijfeld hebben bijgedragen aan de

snelle doorvoering van de nieuwe ontwerprijchlijnen.

Nu in de praktijk diverse zelfreinigende leidingnetten van verschillende generaties aanwezig zijn, is het mogelijk om de empirische ontwerpcriteria ($q\sqrt{n}$ -methode en 0,4 m/s) in de praktijk te toetsen en eventueel aan te scherpen. Om te bepalen wat de relatie is tussen accumulatie van sediment en de optredende stroomsnelheden, zijn de onderzoeksresultaten uit verschillende Nederlandse distributienetten samengevoegd.

Onderzochte hypothesen

Het onderzoek richt zich op het bewijzen van het principe van de zelfreinigende netten: in deze netten zullen geen significante hoeveelheden sediment accumuleren. Om dit te testen zijn de volgende hypothesen opgesteld:

- In een zelfreinigend net is de massa die per dag het net ingaat gelijk aan de massa die per dag het net verlaat. In een vervuילend systeem zal sediment bezinken en zal er

in die tijdspanne minder massa uitgaan dan erin komt; op momenten van grote vraag kan eerder bezonken sediment juist opgewerveld worden en is de massa die het net op dagbasis uitgaat groter dan de massa die erin komt;

- In een zelfreinigend net is de massa opwervelbaar sediment per strekkende meter nul of in ieder geval veel lager dan in vervuilde leidingen. Dit betekent dat de troebelheid tijdens spuien in een zelfreinigend net veel minder zal toenemen dan in een vervuild net;
- Er is een relatie tussen optredende snelheid en accumulatie van sediment. Wanneer de zogenaamde zelfreinigende snelheid regelmatig wordt overschreden, is sprake van een zelfreinigend net.

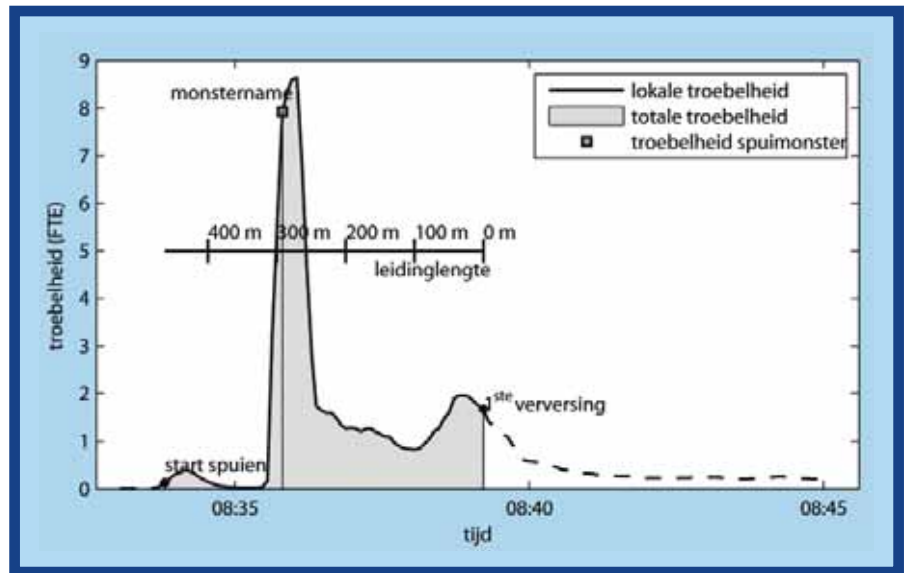
In de afgelopen jaren zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd die voornamelijk gericht waren op het toetsen van de hypothesen of delen van die hypothesen^{1),6),7),9)}. De metingen waren echter vooral geschikt om de eerste twee hypothesen te testen en niet gedetailleerd genoeg voor de laatste hypothese.

De meetlocaties

In 2005 zijn uitgebreide spuiproeven gedaan bij Vitens in Franeker, in twee vermaasde wijken die met verschillende waterkwaliteit werden gevoed: één met 'normaal' drinkwater direct van pompstation Spannenburg en één met 'deeltjesvrij' water verkregen door het water van Spannenburg extra te behandelen in een ultrafiltratiestap⁸⁾. Tevens zijn de optredende snelheden in deze wijken gemodelleerd met behulp van een realistische verbruiksschatting met SIMDEUM⁴⁾. Hoewel deze beide netten niet zijn ontworpen volgens nieuwe ontwerpcriteria, kan hiermee wel de laatste hypothese worden getest.

In de zomer van 2006 zijn bij PWN in Hoofddorp metingen uitgevoerd om de drie hypothesen in het algemeen te testen²⁾. De metingen zijn gedaan in drie verschillende distributienetten gevoed met dezelfde waterkwaliteit: een vermaasd net, een zelfreinigend net van de eerste generatie en een zelfreinigend net van de tweede generatie. Metingen met deeltjestellers in de normale situatie en troebelheidsmetingen tijdens spuien bleken zeer effectief om respectievelijk de eerste twee hypothesen te testen. Om de laatste hypothese te kunnen testen, is gebruik gemaakt van een model met realistische verbruikspatronen (SIMDEUM) waarmee theoretisch vastgesteld kan worden welke snelheden optreden in het leidingnet. Van de drie verschillende leidingnetten zijn slechts enkele leidingen gespuid, waardoor een beperkte dataset van troebelheidsmetingen beschikbaar is.

In de zomer van 2007 zijn bij Brabant Water in Rosmalen metingen uitgevoerd om de drie hypothesen te testen. De metingen zijn analoog aan het onderzoek in Hoofddorp gedaan in twee verschillende distributienetten gevoed met dezelfde waterkwaliteit: een vermaasd net en een vertakt zelfreinigend net van de 1e generatie. Ingezet zijn



Afb. 1: Drie manieren om de troebelheid tijdens spuien te bepalen: de lokale troebelheid, de totale troebelheid en de troebelheid tijdens monstername.

deeltjestellers in de normale situatie, troebelheidsmeters tijdens spuien en SIMDEUM plus een leidingnetmodel om de optredende snelheden te bepalen³⁾.

De metingen in Hoofddorp en Rosmalen bevestigen dat de nieuwe ontwerpcriteria tot zelfreinigende netten leiden en dat dit des te sterker geldt voor de tweede generatie zelfreinigende netten. Om de laatste hypothese meer in het algemeen te onderbouwen, is het noodzakelijk om de resultaten van de onderzoeken in Franeker, Hoofddorp en Rosmalen te combineren.

Optredende snelheid en geaccumuleerd sediment

Om de relatie tussen enerzijds de stroomsnelheid en anderzijds de accumulatie van opwervelbaar sediment vast te kunnen stellen, worden deze twee begrippen eerst nader gedefinieerd. De *stroomsnelheid* is niet continu over de dag. 's Nachts is deze vrijwel nul en in de ochtend wanneer iedereen opstaat, treedt

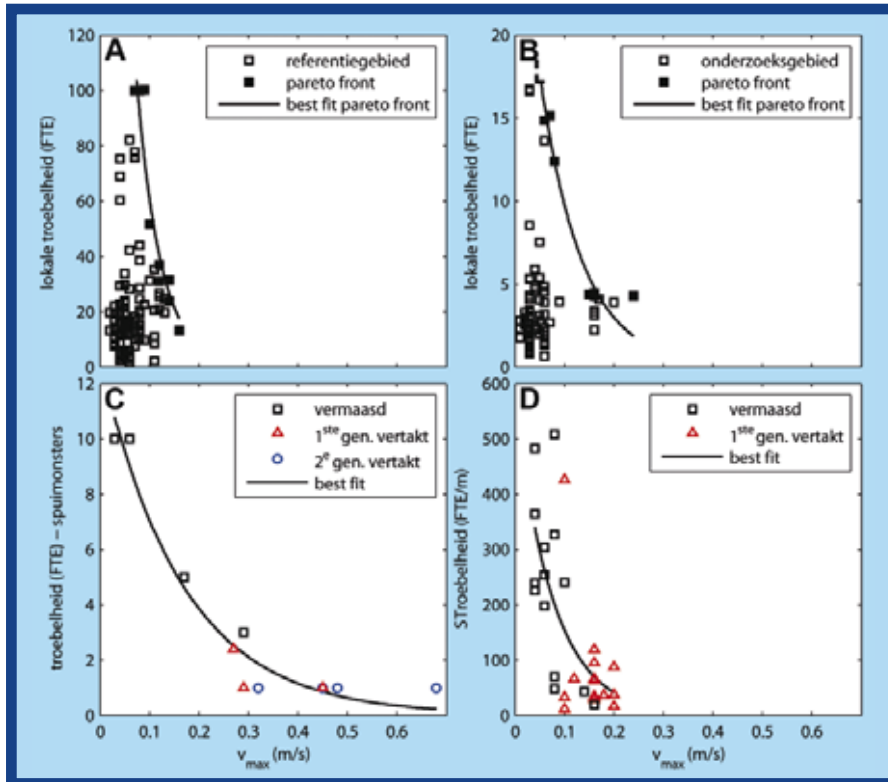
een piek op; ook 's avonds is er weer een piek. Het is niet zomaar mogelijk om de stroomsnelheid op ieder moment van de dag in alle leidingen van het distributienet te meten. Daarom proberen we om met realistische één-op-één-modellen de snelheden in de leidingen te bepalen. Met SIMDEUM kunnen realistische verbruikspatronen worden geconstrueerd en vervolgens kan, met de hulp van een leidingnetberekeningsprogramma, de stroomsnelheid over één of meer dagen in een bepaalde leiding worden berekend⁴⁾.

Voor de opwerveling en het in suspensie blijven van het sediment is de hoogste snelheid die regelmatig optreedt van belang. Bij de hypothese dat een relatie bestaat tussen de optredende snelheid en accumulatie van sediment wordt voorlopig uitgegaan van de maximumsnelheid per dag.

De *accumulatie van opwervelbaar sediment* wordt bepaald met spuiproeven waarbij de troebelheid wordt gemeten. Dit kan op drie manieren (zie afbeelding 1):

Spuien van het vertakte net in Rosmalen. Intussen wordt (online) de troebelheid gemeten.





Afb. 2: Relatie tussen v_{max} (onder normale omstandigheden) en de troebelheid (tijdens spuien) in de verschillende meetgebieden: a) het referentiegebied van Franeker (normaal drinkwater); b) het onderzoeksgebied van Franeker (deeltjesvrij water) - de lokale troebelheid. De gearceerde vierkanten vormen het zogenaamde paretofront waarop de lijn is gefit; c) Hoofddorp - troebelheid van spuismonsters; d) Rosmalen - de totale troebelheid per meter spuilengte.

- troebelheid van spuismonster. Tijdens het spuien wordt een monster genomen, ongeveer tijdens de hoogste troebelheid. Van dit monster wordt in het laboratorium de troebelheid bepaald. Deze methode is gebruikt in Hoofddorp;
- totale troebelheid per meter. Tijdens het spuien wordt de troebelheid online en continu gemeten. Met deze metingen wordt, geïntegreerd over de tijd, per gespuide leiding de totale troebelheid

- bepaald die vervolgens gedeeld wordt door de gespuide lengte resulterend in de troebelheid per meter. Deze methode is gebruikt in Rosmalen;
- lokale troebelheid. Tijdens het spuien wordt de troebelheid online en continu gemeten. Met deze metingen wordt met behulp van de spuisnelheid en de verstrekte tijd de lokale troebelheid in de gespuide leiding bepaald. Deze methode is gebruikt in Franeker.

Samenvatting per meetgebied hoe de troebelheid, de maximumsnelheid en de relatie tussen beide is vastgesteld.

onderzoeksgebied		methode troebelheid	methode v_{max}	methode relatie tussen v_{max} en troebelheid
Franeker	referentiegebied (vermaasd)	lokale troebelheid	ALEID + SIMDEUM (10 seconden), lokale v_{max}	fitten op paretofront per type ingaande waterkwaliteit (2 fits)
	onderzoeksgebied (vermaasd + deeltjesvrij water)			
Hoofddorp	conventioneel vermaasd eerste generatie vertakt tweede generatie vertakt	spuismonster	SIMDEUM (10 seconden), lokale v_{max}	fitten op alle punten
Rosmalen	conventioneel vermaasd eerste generatie vertakt	totale troebelheid per meter	ALEID + SIMDEUM (10 seconden), gemiddeld v_{max} per gespuide leiding	fitten op alle punten

In de tabel staat voor iedere meetlocatie samengevat hoe de troebelheid en de maximumsnelheid zijn bepaald.

Om de relatie tussen optredende snelheid en geaccumuleerd sediment vast te kunnen stellen, zijn de meetresultaten in vier grafieken (één per ingaande waterkwaliteit) weergegeven en is een lijn gefit. Voor de relatie tussen de lokale maximumsnelheid (v_{max}) en de lokale troebelheid (afbeelding 2a en 2b) geldt dat er een grote spreiding is in de resultaten, en daaruit geen duidelijke relatie is af te leiden. Dit is ook te verwachten: wanneer de lokale v_{max} laag is, zal sediment bezinken, maar niet alle sediment zal ter plekke bezinken; het kan ook verderop in de leiding terecht komen en accumuleren. Op plaatsen waar de lokale v_{max} hoog is, zal wel al het sediment volledig worden opgewerveld en die locaties zijn derhalve schoon. Om de relatie tussen v_{max} en troebelheid met betrekking tot het opwerpen vast te stellen, kijken we daarom niet naar alle data, maar specifiek naar het zogenaamde paretofront. Dat zijn die punten waar bij gegeven v_{max} geen hogere troebelheid voorkomt en waar bij gegeven troebelheid geen hogere v_{max} voorkomt. Daarmee wordt de snelheid waarbij sediment wordt opgewerveld, geselecteerd en niet de snelheid waarbij sediment mogelijk verderop in de leiding alsnog bezinkt.

Resultaten

De resultaten van de meetlocaties kunnen alleen vergeleken worden wanneer sprake is van een gelijke ingaande waterkwaliteit en gelijke methode van sedimentmeting. Met de zeven meetlocaties komen we daarom op vier verschillende grafieken waarvan de vorm wel vergeleken kan worden en de hoogte van de maximum snelheid ook, maar de hoogte van de troebelheidsmaat niet.

In afbeelding 2a en 2b is de relatie tussen de lokale maximumsnelheid en de lokale troebelheid van de beide netten en waterkwaliteiten in Franeker grafisch weergegeven. Er is een verschil in de relatie tussen v_{max} en troebelheid voor het normale en deeltjesvrije water. Bij een v_{max} van 0,2 m/s of groter geldt een stabiele lage lokale troebelheid van circa 10 FTE voor het normale drinkwater en circa 5 FTE voor het deeltjesvrije water. De watersamenstelling heeft dus een effect op de totale hoeveelheid sediment die bezinkt. In afbeelding 2c is de relatie tussen de maximumsnelheid en troebelheid van de spuismonsters van alle drie de netten in Hoofddorp grafisch weergegeven. Bij een v_{max} van 0,2 m/s of groter geldt een stabiele lage monstertroebelheid (< 2 FTE). Afbeelding 2d geeft de relatie tussen de gemiddelde maximumsnelheid en de totale troebelheid per meter spuilengte van de beide netten in Rosmalen weer. Bij een v_{max} van 0,15 m/s of meer geldt een stabiele lage totale troebelheid per meter (< 100 FTE/m).

Principe zelfreiniging bewezen

Het principe van de zelfreinigende leidingnetten is met deze metingen aangetoond:

als er regelmatig hoge snelheden zijn in het leidingnet, voorkomt dat accumulatie van sediment; een eenduidige stroomrichting zorgt tegelijkertijd voor gecontroleerde afvoer van het sediment. Beide voorwaarden samen leveren een leidingnet op dat nauwelijks gevoelig zal zijn voor incidenten met bruin water.

De relatie tussen de stroomsnelheid en netvervuiling is op drie verschillende manieren onderzocht, in zeven verschillende leidingnetten en met vier verschillende waterkwaliteiten. De combinatie van deze onderzoeken is nodig om algemene conclusies te kunnen trekken. De onderzoeken laten een vergelijkbare omgekeerd evenredige trend zien in de relatie tussen de dagelijks optredende maximumsnelheid en de accumulatie van het sediment (bepaald tijdens spuien). De snelheid waarbij zelfreiniging optreedt, blijkt lager dan de ontwerpsnelheid van 0,4 m/s: de range tussen 0,2 en 0,3 m/s blijkt al afdoende.

Dit betekent echter niet automatisch dat de ontwerpsnelheid in de huidige ontwerprijlijnen moet worden aangepast. Juist de combinatie van de verbruiksschatting met de $q\sqrt{n}$ -methode (met 15 tapeenheden) en

de ontwerpsnelheid van 0,4 m/s resulteert in een leidingnet dat weliswaar in werkelijkheid een lagere maximum snelheid kent, maar bij die lagere werkelijke zelfreinigingsnelheid wél zelfreinigend is²⁾. De meer realistische zelfreinigingsnelheid kan in het ontwerp slechts worden gebruikt in combinatie met een realistische verbruiksschatting, bijvoorbeeld zoals met SIMDEUM mogelijk is. Dat we nu weten in welke range de zelfreinigende snelheid werkelijk ligt, opent mogelijkheden om ook de rest van het distributienet zelfreinigend te maken. Men moet zich dan wel realiseren dat zelfreiniging pas optreedt als het in werveling gebrachte sediment ook daadwerkelijk wordt afgevoerd, zoals dat in de vertakte structuur van een distributienet mogelijk is. De voorwaarde voor unidirectionele stroming in het leidingnet wordt hiermee nog belangrijker.

LITERATUUR

- 1) Beuken R. en P. Schaap (2002). Validatie van de ontwerpsnelheid voor zelfreinigende distributienetten. H₂O nr. 5, pag. 25-27.
- 2) Blokker M., J. Vreeburg, P. Schaap en P. Horst (2007). Evaluatie bevestigt effectiviteit ontwerpconcepten zelfreinigende netten. H₂O nr. 8, pag. 41-43.

- 3) Blokker M. en H. Beverloo (2008). Verandering van waterkwaliteit in het distributienet; metingen in Rosmalen in vermaasde en vertakte netten. KWR. BTO 2008.039.
- 4) Blokker M., J. Vreeburg, P. Sjoerdsma en M. van der Roer (2007). SIMDEUM-model ook toepasbaar voor waterkwaliteitsberekeningen. H₂O nr. 6, pag. 48-51.
- 5) Van den Boomen M. en J. Vreeburg (1999). Nieuwe ontwerprijlijnen voor distributienetten. Kiwa. SWE 99.011.
- 6) Kreukniert A., G. Holterman, L. Bannink en M. van den Boomen (2003). Hoe zelfreinigend zijn zelfreinigende netten? H₂O nr. 13, pag. 23-25.
- 7) Mul P., M. van den Boomen en M. de Koning (2002). Een eerste evaluatie van een zelfreinigend net. H₂O nr. 8, pag. 28-30.
- 8) Vreeburg J. (2007). Discolouration in drinking water systems: a particular approach. Ph.D. thesis.
- 9) Vreeburg J., R. Beuken en P. Mul (2002). Nieuwe ontwerprijlijnen voor distributiesystemen: de stand van zaken. H₂O nr. 5, pag. 28-30.