



Ad Vogelaar, KWR Watercycle Research Institute
Mirjam Blokker, KWR Watercycle Research Institute

Australisch model voor sedimentophoping getoetst op Nederlands drinkwaternet

De waterbedrijven proberen continu drinkwater te leveren van onberispelijke kwaliteit. Heel soms komt toch bruin water uit de kraan. Dat is het gevolg van het opwerpen van geaccumuleerde deeltjes in het leidingnet. Via een betere zuivering en de aanleg van een zelfreinigend net wordt accumulatie van deeltjes zoveel mogelijk voorkomen. Om dit proces beter te sturen, hebben waterbedrijven behoefte aan goede modellen om te voorspellen waar sedimentophoping optreedt. Een model uit Australië voor ophoping van deeltjes in het leidingnet (WQDMTB) is daarom getest aan de hand van gegevens uit de Nederlandse praktijk. Uit deze test bleek dat het model nog moet worden uitgebreid met onder meer variabelen voor de grootte, dichtheid, bezinksnelheden en opwerveling van deeltjes. Daarna kan WQDMTB bijvoorbeeld worden ingezet om de optimale locaties te bepalen voor het meten van de opwervelingspotentie. Deze wordt gebruikt om te bepalen welke delen van het leidingnet via spuien weer moeten worden schoongemaakt.

Ophoping van sediment in het leidingnet kan problemen met de waterkwaliteit veroorzaken. Sediment bezinkt en wervelt op onder invloed van de hydraulische omstandigheden in het leidingnet. Het Australische onderzoeksinstituut WQRA heeft deze processen op labschaal getest, in een model beschreven en toepasbaar gemaakt op een heel leidingnet in de vorm van het softwarepakket Water Quality Distribution Modelling Tool Box (WQDMTB)¹⁾. WQDMTB functioneert als applicatie bij het leidingnetberekeningsprogramma EPANET. Met WQDMTB is het mogelijk te voorspellen waar in het leidingnet het meeste sediment zal bezinken. KWR heeft dit model getoetst aan praktijkdata uit het bedrijfstakonderzoek voor de drinkwaterbedrijven. De werking van het model is getest. Ook is een gevoeligheidsanalyse gemaakt voor de simulatie-instellingen en de invoervariabelen. De modeluitkomsten zijn daarnaast vergeleken met resultaten van spuiproeven in een transportleiding richting Zeewolde en in een vermaasd distributienet in Franeker.

Model voor bezinking en opwerveling

In het laboratorium van WQRA bleken twee mechanismen verantwoordelijk voor sedimentophoping: bezinking onder invloed

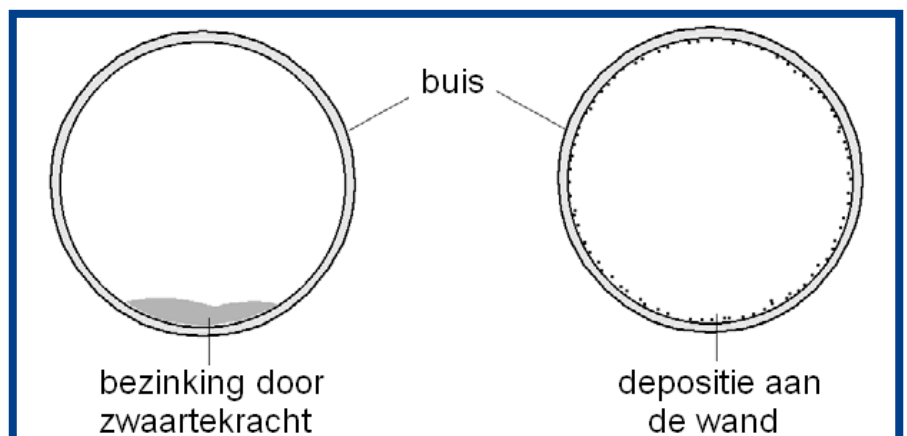
van de zwaartekracht (wet van Stokes) en depositie aan de wand (zie afbeelding 1)¹⁾. Deze mechanismen zijn op een schematische manier in WQDMTB opgenomen, waardoor enkele beperkingen ontstaan. Eén van de doelen van KWR-onderzoek was om de invloed van deze beperkingen op de bruikbaarheid van het model te toetsen.

Zwaartekracht

Het eerste mechanisme, bezinking onder invloed van de zwaartekracht, wordt in WQDMTB beschreven door de maximum-

snelheid waaronder dit mechanisme optreedt (depositiesnelheid u_d) en de snelheid waarmee deeltjes bezinken (bezinksnelheid u_s) (zie afbeelding 2). Theoretisch gezien hangt de bezinksnelheid sterk af van de afmetingen en dichtheid van de aanwezige deeltjes. Deze eigenschappen variëren sterk. Het is dus belangrijk om deeltjes af pompstation goed te kunnen karakteriseren op basis van de verdeling van hun grootte en dichtheid, om zo hun bezinksnelheid te kunnen beschrijven. Een eerste beperking is dat in WQDMTB maar

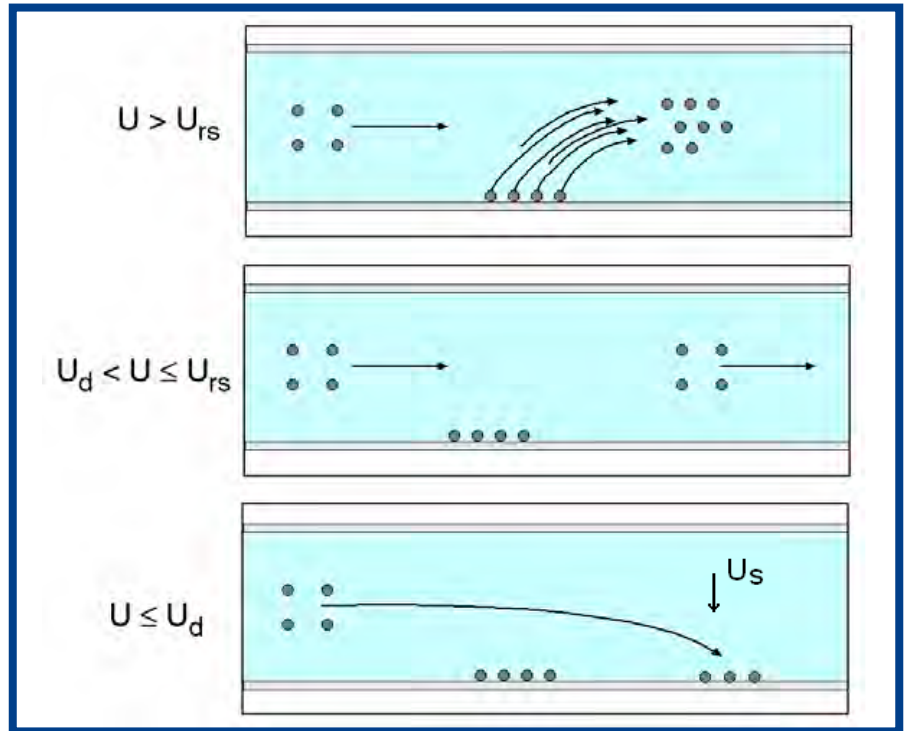
Afb. 1: Mechanismen voor sedimentatie in een leiding.



één bezinksnelheid als rekenparameter kan worden ingevoerd. In werkelijkheid varieert de bezinksnelheid en zullen de deeltjes met de hoogste bezinksnelheid vóór in het net bezinken en deeltjes met een lagere bezinksnelheid achter in het net.

In het model zijn drie stadia onderscheiden die de zwaartekracht-dynamica van deeltjes karakteriseren, afhankelijk van de stroomsnelheid in de buis (zie afbeelding 2):

- $u > u_{rs}$: opwerveling van alle sediment. u_{rs} is de kritische snelheid waarboven deeltjes opwervelen en gerelateerd aan de schuifspanning. Deze neemt toe met de diameter van de buis en is een functie van de deeltjesgrootte, dichtheid en pakking van het sediment;
- $u_d < u \leq u_{rs}$: transport van deeltjes door de buis, geen opwerveling en sedimentatie;
- $u \leq u_d$: sedimentatie van deeltjes met een neerwaartse bezinksnelheid.



Afb. 2: Model voor opwerveling en bezinking onder invloed van de zwaartekracht.

Depositie aan de wand

Het tweede mechanisme is depositie aan de wand. Ze wordt beschreven door de parameter β en geeft aan hoe snel en hoeveel sediment vanuit het water naar de wand gaat. β varieert met de stroomsnelheid. Depositie aan de wand treedt op als de snelheid groter is dan de depositiesnelheid en kleiner dan de opwervelsnelheid. Het 'wandmodel' voor dit mechanisme is nog niet goed in WQDMTB ingebouwd; de rekenresultaten komen niet overeen met de modelbeschrijving. Daardoor komt bij een variabel stromingspatroon sediment van de wand los als de snelheid lager is dan de opwervelsnelheid. Dit is een tweede beperking van WQDMTB.

Vanwege deze beperking is dit mechanisme niet verder getest. Het moet nog verder worden onderzocht, vooral om te zien wat gebeurt bij veranderende stroomsnelheden, die in realistische situaties vaker voorkomen dan continue stroomsnelheden. Aanbevolen wordt dit mechanisme anders te modelleren en vervolgens te testen in een netwerk waarin hogere snelheden optreden. In het bedrijfstakonderzoek komt dit nog aan bod.

Zelfreiniging

Het model WQDMTB bevat ook het mechanisme voor sedimentopwerveling boven een bepaalde stroomsnelheid: het zelfreinigende effect dat optreedt wanneer de opwervelsnelheid in het leidingnet regelmatig wordt overschreden. Omdat een deel van onze praktijktoetsing werd uitgevoerd met gegevens van een distributienet met te lage snelheden voor zelfreiniging, kon deze modelstap niet worden getest in een distributienet. In de transportleiding trad echter accumulatie van sediment op ondanks hoge dagelijkse snelheden. Dit duidt erop dat sommige deeltjes naast een hoge bezinksnelheid ook een hoge drempelsnelheid kunnen hebben: boven die snelheid wervelen ze op. Door de variatie in deeltjesgrootte, dichtheid en pakking van

het sediment wervelt slechts een deel van het sediment op. Sediment met een grotere dichtheid en pakking accumuleert daardoor vóór in het net, terwijl relatief lichter en losser sediment meer achter in het leidingnet ophoopt. Een derde beperking van WQDMTB is dus dat het slechts één opwerveldrempelsnelheid hanteert, ongeacht de dichtheid en pakking van het sediment.

Toepassen EPANET

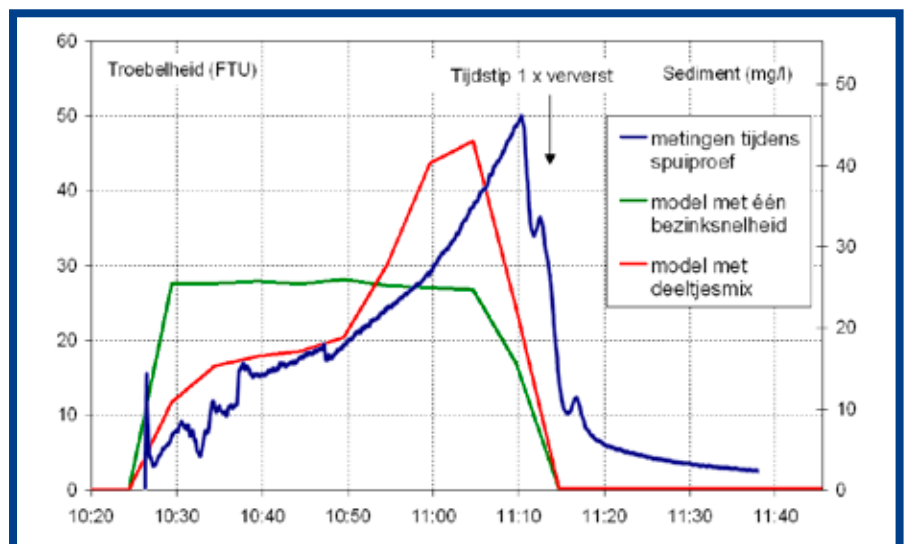
Naast de standaardinvoer voor een EPANET-model (zoals lengte, diameter en wandruwheid van het leidingnet) vraagt WQDMTB de sedimentconcentratie aan de bron en beschrijvende parameters voor sedimentgedrag: de depositie-, bezink- en opwervelsnelheid. Op basis van een gevoeligheidsanalyse zijn de optimale rekeninstellingen bepaald, zoals de totale tijdsduur

van de simulatieperiode, het tijdsinterval van elke rekenstap en de grootte van de leidingsegmenten. Het rekenprogramma deelt het totale leidingnet namelijk op in kleine elementen voor de gewenste nauwkeurigheid. De belangrijkste WQDMTB-specifieke uitvoer is de actuele sedimentconcentratie per knoop en per leiding. Per tijdsinterval en voor elk leidingsegment houdt het rekenprogramma een balans bij van de invoer, sedimentatie, transport, opwerveling en uitvoer van sediment.

Transportleiding

Het rekenmodel WQDMTB is getoetst op twee netwerken: een transportleiding nabij Zeewolde en een distributienet in een woonwijk te Franeker. Beide testgebieden liggen in het voorzieningsgebied van Vitens. Het eerste testmodel betreft vier kilometer transportleiding van pompstation Fledite

Afb. 3: Gemeten en berekende sedimentconcentratie tijdens de spuioproef in de transportleiding richting Zeewolde.

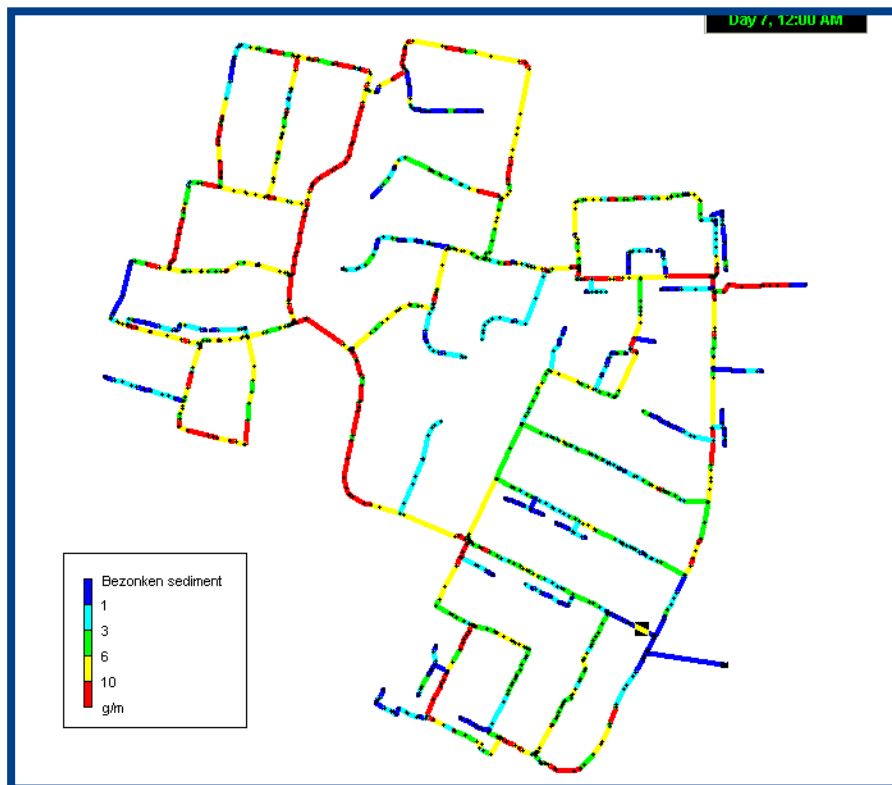


naar Zeewolde. De transportleiding is eerst schoongemaakt en na ruim één jaar normale bedrijfsvoering weer gereinigd. De stroomsnelheid varieert bij normale bedrijfsvoering van circa 0 tot 0,5 meter per seconde. Tijdens het spuien met een snelheid van 1,5 meter per seconde is de hoeveelheid sediment per leidingdeel vanaf het begin van de leiding bepaald. Op basis van de metingen tijdens het schoonmaken^{2),3)} bleek dat het sediment, min of meer gesorteerd naar deeltjesgrootte en dichtheid, zich vooral in het eerste deel van de transportleiding ophoopte. Bij circa eenmaal verversen van de leiding werd namelijk een sedimentpiek gemeten die hierop duidt (zie afbeelding 3).

Bij de eerste modeltesten met maar één bezinksnelheid voor alle deeltjes af pompstation bleek dat het mogelijk was een kloppende massabalans op te stellen. De resultaten van het model kwamen echter niet overeen met die van de spuiproef. Vervolgens zijn de resultaten van meerdere modelruns met verschillende bezink- en opwervelsnelheden gecombineerd. Bij een veronderstelde specifieke mix van 'licht' en 'zwaar' sediment kwamen de meet- en modelresultaten wel overeen. De relatief lichte deeltjes af pompstation blijven in suspensie of worden weer opgewerveld. Middelgrote deeltjes bezinken deels, maar wervelen daarna bijna dagelijks weer op. De zwaarste deeltjes slaan blijvend neer, vooral in het eerste deel van de transportleiding, omdat de drempelsnelheid voor opwerveling niet meer wordt overschreden. Naast variatie van bezink- en opwervelsnelheden in de modelinvoer bestaat dus behoefte aan metingen af pompstation en in het

u_{rs} (m/s) opwervelsnelheid; drempelsnelheid in leiding waarboven deeltjes opwervelen	u_d (m/s) depositiesnelheid; maximale snelheid in leiding waaronder bezinking optreedt	u_s (m/s) bezinksnelheid van het sediment
0,20	0,07	$1,6 \times 10^{-6}$

Tabel 1. Gebruikte standaardwaarden voor de zwaartekracht-modelparameters bij test in Franeker²⁾.



Afb. 4: Gesimuleerde sedimentophoping in het Franeker-netwerk.

Tabel 2. Verwijderd sediment (gemeten) en opgehoopt sediment (berekend) bij test in Franeker²⁾.

spuiactie	verwijderd sediment (gemeten) g/m	opgehoopt sediment (berekend) g/m	afwijking %
actie 1	1,081	0,457	58%
actie 2	1,096	0,708	35%
actie 3	0,368	0,519	41%
actie 4	0,311	0,404	30%
actie 5	0,816	0,695	15%
actie 6	0,425	0,629	48%
actie 7	1,686	0,325	81%
actie 8	0,473	0,719	52%
actie 9	0,239	0,359	50%
actie 10	0,202	0,559	177%
actie 11	0,680	1,089	60%
actie 12	0,498	0,652	31%
actie 13	0,845	1,464	73%
actie 14	0,657	0,943	43%
actie 15	0,512	0,480	6%
actie 16	0,139	0,771	457%
actie 17	1,162	0,627	46%
actie 18	0,153	0,533	249%
actie 19	0,819	0,682	17%

leidingnet voor een betere beschrijving van sedimentgedrag.

Distributienet

De tweede test betrof het leidingnet van een wijk in Franeker met alleen aanvoer van relatief kleine en lichte deeltjes. De zwaardere deeltjes zijn al in het aanvoertrajec bezonken. Dit net is al uitgebreid onderzocht op sediment⁴⁾. Bovendien was een rekenmodel beschikbaar met SIMDEUM-verbruikspatronen⁵⁾ om de hydraulische condities realistisch na te bootsen.

Na circa anderhalf jaar waarin deeltjes konden accumuleren in een schoon net, is de wijk gespuid. Met metingen vanaf pompstation en metingen tijdens de spuiactie is een sedimentmassabalans opgesteld. Het totaalresultaat van een modelrun met de 'default' sedimenteigenschappen (zie tabel 1) van WQDMTB kwam uit op circa zeven procent meer sediment dan daadwerkelijk werd gemeten tijdens de schoonmaakactie. Het model laat - zoals in afbeelding 4 - zien op welke plaatsen in het leidingnet sediment accumuleert. Bij toetsing bleek echter dat het gemodelleerde patroon van sedimentophoping binnen de wijk slecht overeen kwam met de meetresultaten (zie tabel 2). Bij acht van de 19 acties verschilt de berekende sedimentophoping meer dan 50 procent van de gemeten hoeveelheid tijdens de spuiacties.

Verbetering

Om tot een betere modelmatige beschrijving en uiteindelijk tot een betere voorspelling van sedimentophoping te komen, werkt KWR aan een uitgebreid model, waarin naast gravitationele depositie en opwerveling ook andere (onder andere turbulente) processen worden meegenomen. Theoretische voorspellingen over het optreden van deze processen worden in een laboratoriumopstelling geïntegreerd. Ook wordt een nieuwe meetmethode ontwikkeld om de genoemde processen beter te kwantificeren.

Conclusies

WQDMTB is een goed begin voor een vervuilingsvoorspellingsmodel, maar moet nog verbeterd worden vanuit beter inzicht in de mechanismen en in de werkelijke eigenschappen van deeltjes en stroomsnelheden in het distributienet. Om in de toekomst een dergelijk model in te zetten,

blijven specifieke praktijkmetingen nodig om deeltjes te kunnen beschrijven op basis van hun grootte en dichtheid en hun bezink- en opwervelsnelheid.

De noodzaak tot spuien wordt nu bepaald aan de hand van de opwervingspotentie-methode die wordt ingezet op willekeurige punten in het leidingnet. Dit geeft alleen een lokaal beeld van vervuilingen. Een goed vervuilingsvoorspellingsmodel levert een stevige basis voor de selectie van de meest vervuilde locaties, om gericht de opwervingspotentie te meten, zodat een beter beeld ontstaat van de vervuiling van het hele leidingnet.

LITERATUUR

- 1) Ryan G., P. Mathes, G. Haylock, A. Jayaratne, J. Wu, N. Noui-Mehidi, C. Grainger en B. Nguyen (2008). Particles in water distribution systems. Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, Salisbury, Australia. Research report 33.
- 2) Vogelaar A. en M. Blokker (2010). Particle sediment modelling; Test and analysis of programme WQDMTB v4.3. KWR Watercycle Research Institute. BTO 2010.011.
- 3) Vreeburg J., A. Arsénio en H. Leijssen (2009). Origin and behavior of particles in drinking water transport networks. CCWI 2009 'Integrating water systems', Sheffield, pag. 453-458.
- 4) Vreeburg J., D. Schippers, J. Verberk en H. van Dijk (2008). Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system. Water Research nr. 16, pag. 4233-4242.
- 5) Blokker M. en A. Vogelaar (2007). Toepassing van SIMDEUM in het leidingnetmodel van Franeker. Kiwa Water Research. BTO 2007.006 (s).