

Sediment accumulatie in transportleidingen af waterproductiebedrijven

Hendrik Beverloo (KWR), Jan H.G. Vreeburg (KWR/Wageningen UR), André Zwaga (Vitens)

In drinkwatertransportleidingen hoopt zich sediment op, ondanks het feit dat de maximale stroomsnelheid hoger is dan de snelheid die voor distributieleidingen zelfreinigend is. Opwervelend sediment zorgt voor klachten over de kwaliteit van het drinkwater. Het sediment accumuleert vooral dicht bij het pompstation. De hoeveelheid wordt vooral bepaald door de troebelheid van het water af waterproductiebedrijf.

Het meeste sediment in het leidingnet is afkomstig uit de waterzuivering [1]. Opwervelend sediment in conventionele distributieleidingnetten kan bruinwaterklachten veroorzaken. Zelfreinigende distributieleidingnetten, met een dagelijkse piek in de stroomsnelheid tussen de 0,20 en 0,25 m/s, kennen deze klachten niet [3]. Dergelijke snelheden zijn relatief zeldzaam in een conventioneel distributienet, maar komen geregeld voor in transportleidingen. Dit zou betekenen dat transportleidingen mogelijk ook een zelfreinigend vermogen hebben. Transportleiding hebben echter een grotere diameter dan distributieleidingen.

Om het zelfreinigend vermogen van transportleidingen te onderzoeken is een experiment uitgevoerd in twee transportleidingen in het voorzieningsgebied van Vitens in Flevoland. Van beide leidingen wordt het eerste gedeelte meteen na het waterproductiebedrijf onderzocht op het accumuleren van sediment in de normale bedrijfsvoering. In een later stadium is ter verificatie nog een derde leiding onderzocht.

Aanpak

De twee onderzochte transportleidingen (A en B) in het voorzieningsgebied van Vitens zijn aangesloten op twee verschillende waterproductiebedrijven: respectievelijk Harderbroek en Fledite. Deze twee transportleidingen werden aan het begin van het experiment gespuid om ze schoon te maken. Vervolgens werden ze na 10 maanden weer gespuid en werd bepaald hoeveel sediment er is geaccumuleerd in de leidingen, en waar. De sediment-opbouw wordt mede bepaald door de kwaliteit van het geproduceerde water en de hydraulische omstandigheden. De waterkwaliteit wordt gekarakteriseerd met de troebelheid. In een vervolgonderzoek is een derde transportleiding (C) geselecteerd om de resultaten van de metingen in transportleidingen A en B te verifiëren. De specificaties van de transportleidingen zijn weergegeven in tabel 1.

De transportleidingen A en B werden met voldoende snelheid (>1,5 m/s) schoongemaakt om al het sediment te verwijderen. De troebelheid van het spuiwater werd continu gemeten met een 'dr. Lange UltraTurb plus sc100'-troebelheidmeter. Tijdens de spui-actie zijn er monsters van het spuiwater genomen die zijn geanalyseerd op troebelheid (FTU, formazine turbidity units) en concentraties zwevende stoffen, ijzer en mangaan. Vooral het opwervelen van ijzer en mangaan leidt tot klachten. Het functioneren van de zuivering ten aanzien van de troebelheid

wordt continu gemeten in het waterproductiebedrijf. Ook de druk en de volumestroom in de leidingen worden voortdurend, met intervallen van 5 minuten, gemeten en vastgelegd in het SCADA-systeem. Deze gegevens zijn voor een representatieve periode van 6 weken geanalyseerd.

Tabel 1 Transportleiding specificaties

Transport- leiding	Waterproductie- bedrijf (wpb)	Lengte [m]	Diameter [mm]	Materiaal
A	Harderbroek	4064	300	AC
B	Fledite	4550	315	PVC PN10
C	Bremerberg	4868	500	PVC PN10

De troebelheid werd gekarakteriseerd met de gemiddelde waarde en het quotiënt van de 90-percentielwaarde en de 99,5-percentielwaarde. Tevens werden de surf+90 en de surf-90 bepaald [5]. Dit geeft de relatieve bijdrage van de troebelheidsbelasting tussen de 0 en 90-percentielwaarden (in 90% van de tijd) en van de bijdrage tussen de 90 en 100-percentielwaarden (in 10% van de tijd) ten opzichte van de totale troebelheidsbelasting. Een surf+90 van 25% betekent dat 25% van de totale troebelheidsbelasting in 10% van de tijd wordt geleverd aan het leidingnet.

Het snelheidsprofiel in de leidingen wordt berekend aan de hand van de gemeten volumestromen in de leidingen in combinatie met de binnendiameter van de leidingen.

Het spuien van transportleidingen (zie afbeelding 1) vraagt veel water. Door het experiment dicht bij het waterproductiebedrijf uit te voeren is er voldoende pompcapaciteit om de benodigde druk en volumestroom te leveren. Het spuiwater wordt opgevangen in een wetering of sloot; een regenwaterafvoer is hier ook wel eens voor gebruikt.

De volumestroom tijdens het spuien wordt gemeten met een Flexim Fluxus ADM 6725 volumestroommeter.



Afbeelding 1. Spui-opstelling voor het spuien (links); volumestroommeter (rechts)

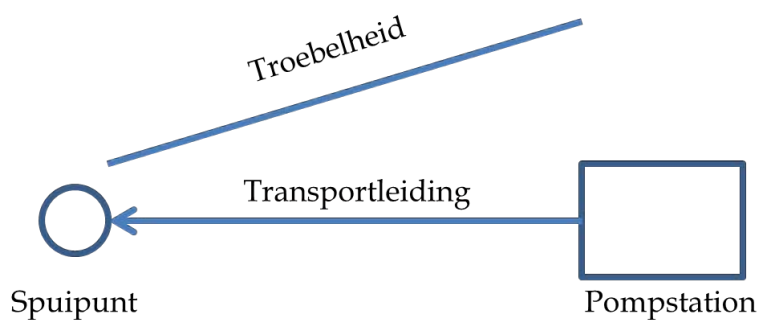
Resultaten

De specificaties van de drie spui-acties staan in tabel 2.

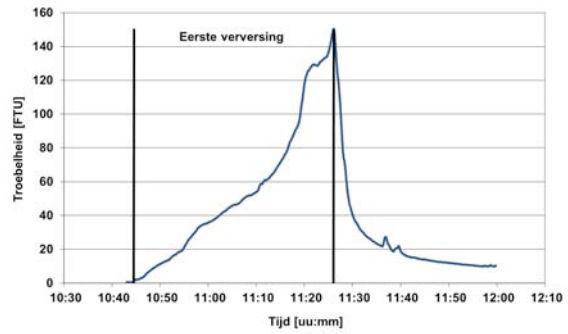
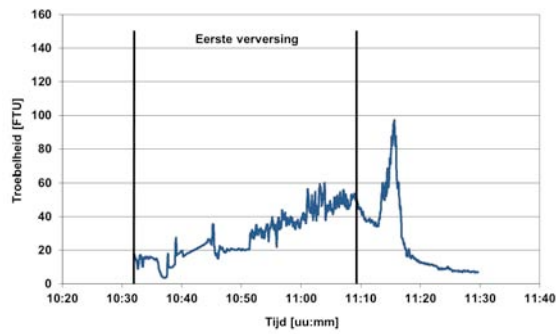
Tabel 2 Spui-actiespecificaties

Transport- leiding	Tijd [dagen]	Inhoud [m ³]	Volume- stroom [m ³ /h]	Snelheid [m/s]	Tijdsduur eerste verversing [mm:ss]
A	0	287	455	1,79	37:31
	288	287	425	1,67	40:33
B	0	314	415	1,67	45:26
	287	314	430	1,73	43:52
C	-	847	895	1,43	56:49

Tijdens het spuien wordt het sediment in de leiding vanaf het spui-punt tot aan het pompstation in suspensie gebracht. De resultaten van de continue troebelheidmeting van de spui-acties zijn opgenomen in afbeelding 3 en afbeelding 4. Beide transportleidingen laten eenzelfde opbouw van sediment zien. Tijdens de eerste verversing stijgt de troebelheid, om vervolgens snel na de eerste verversing weer te dalen. Dit impliceert dat het sediment niet gelijk verdeeld is over de lengte van de leiding. Afbeelding 2 is een schematische weergave van een spui-actie. Dicht bij het spui-punt is minder sediment aanwezig dan in het begin van de leiding. Deze opbouw van sediment is bij elke spui-actie te zien, wat erop duidt dat dit een reproduceerbaar patroon is.

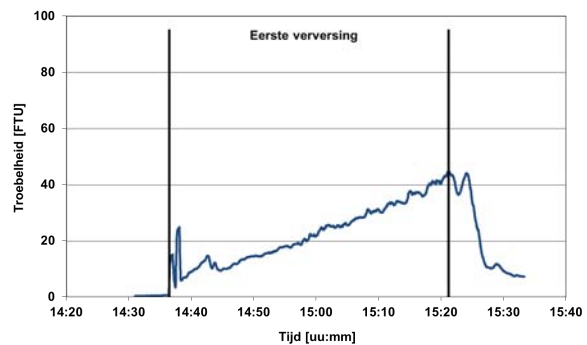
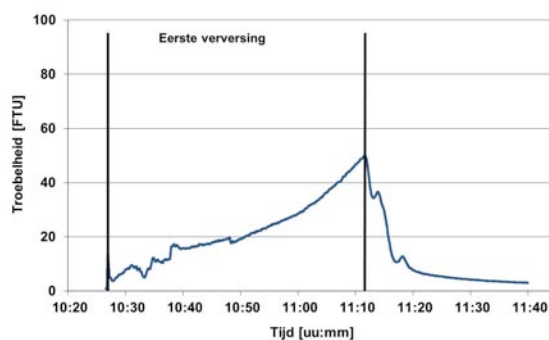


Afbeelding 2. Schematische weergave van een spui-actie



Afbeelding 3. De troebelheid tijdens de spui-actie van leiding A

Links de eerste spui-actie en rechts na 10 maanden.



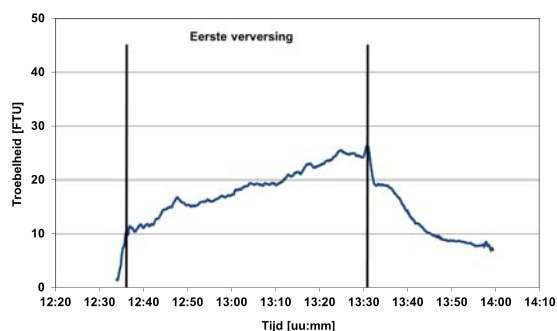
Afbeelding 4. De troebelheid tijdens de spui-actie van leiding B

Links de eerste spui-actie en rechts na 10 maanden.

De hoeveelheid sediment, of liever de troebelheid die door dit sediment wordt veroorzaakt, is niet even hoog voor de twee leidingen. Dit kan twee oorzaken hebben: a) de troebelheid van het water af waterproductiebedrijf en/of b) het hydraulisch profiel van de leiding.

De hoeveelheid troebelheid die per spui verwijderd wordt is te berekenen als de integraal onder de troebelheidsgrafiek en die te vermenigvuldigen met het spui-volume. Voor leiding A betekent dit dat er na tien maanden 15605 FTUm^3 is verwijderd en voor de leiding B is dit 7052 FTUm^3 . Dit is te relateren aan de lengte van het gespuid deel van de leiding. Voor leiding A is dit gemiddeld $3,48 \text{ FTUm}^3/\text{m}$ en voor leiding B gemiddeld $1,55 \text{ FTUm}^3/\text{m}$.

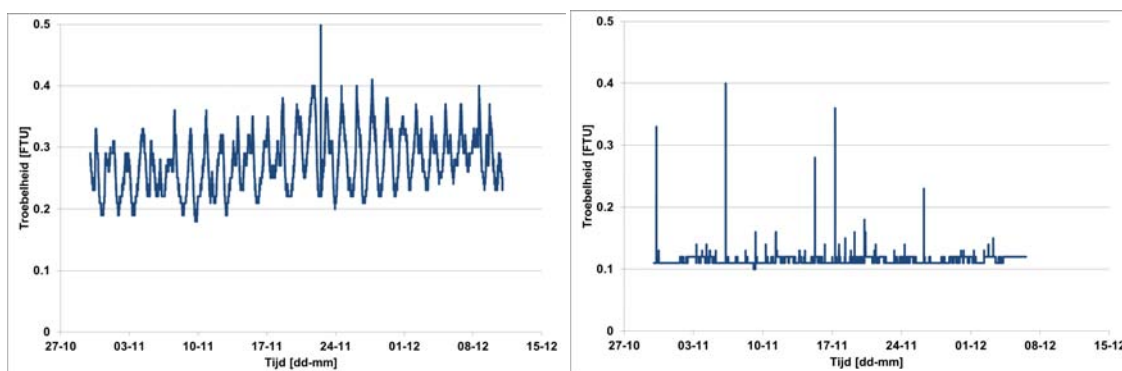
Ter bevestiging van de reproduceerbaarheid van deze typische sedimentopbouw is een derde leiding (C), vanaf waterproductiebedrijf Bremerberg ook gespuid terwijl de troebelheid van het spuiwater continu werd gemeten. Het resultaat hiervan is weergegeven in afbeelding 5.



De totale hoeveelheid verwijderd sediment bedraagt hier 15239 FTUm^3 , ofwel $3,12 \text{ FTUm}^3/\text{m}$. De gelijkenis in de opbouw van de sedimentophoping in de leiding is duidelijk, maar ook de orde-grootte van de troebelheid.

Afbeelding 5. De troebelheid tijdens de spui-actie van transportleiding C

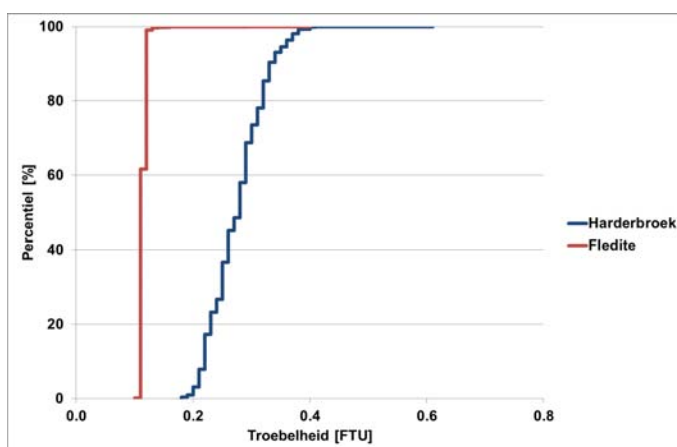
De hoeveelheid sediment die kan accumuleren wordt mede bepaald door de hoeveelheid troebelheid die het water bevat vanaf het pompstation. Om daar een indruk van te krijgen is de troebelheid van het water van waterproductiebedrijf Harderbroek (A) en Fledite (B) voor een representatieve periode weergegeven in afbeelding 6.



Afbeelding 6. Troebelheid van Harderbroek (A, links) en Fledite (B, rechts)

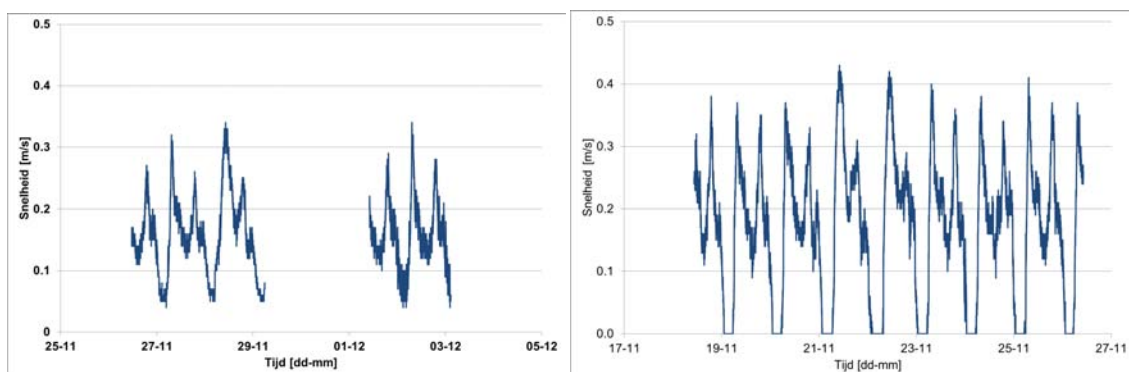
De statistische gegevens van de troebelheid af WPB Harderbroek en WPB Fledite zijn samen met de cumulatieve frequentieverdeling opgenomen in afbeelding 7.

	Harderbroek	Fledite
ratio 90/99,5	0,83	0,92
Troebelheid [FTU]	0,28	0,11
surf -90% [%]	87,0	89,3
surf +90% [%]	13,0	10,7



Afbeelding 7. Statistische gegevens en cumulatieve frequentieverdeling van de troebelheid vanaf WPB Harderbroek en WPB Fledite

Een andere factor die de ophoping van sediment bepaalt, is het stroomsnelheidspatroon in de leiding. De patronen voor de leidingen A en B zijn weergegeven in afbeelding 8.



Afbeelding 8 De snelheidsprofielen van de van beide transportleidingen, links voor transportleiding A en rechts voor transportleiding B

De snelheidsprofielen van beide transportleidingen tonen een dagelijks afnamepatroon dat typisch is voor een leveringsgebied met veel huishoudelijk verbruik. Beide transportleidingen leveren aan hetzelfde voorzieningsgebied. De gemiddelde stromingssnelheid is voor transportleiding A 0,157 m/s en voor B 0,169 m/s, en is daarmee voor beide leidingen in dezelfde orde van grootte. In beide leidingen treedt de zelfreinigende snelheid, zoals die is bepaald voor distributieleidingen (0,3 tot 0,4 m/s), regelmatig op.

Discussie

Het schoonmaken van de leidingen door spuien is een effectieve manier van reinigen. Na de eerste verversing neemt de troebelheid van het water snel af. Het opwervbare sediment is na die eerste verversing voldoende verwijderd. De snelheden tijdens het spuien zijn significant hoger dan de maximumsnelheden tijdens normale bedrijfsvoering. Het sediment dat hiermee is verwijderd, had in het distributienet niet via zelfreiniging kunnen worden verwijderd, omdat de snelheid tijdens spuien regelmatig hoger is geweest dan 0,3 m/s. Overigens wordt de verwijdering van sediment bepaald door de schuifspanning die wordt veroorzaakt door de stroomsnelheid. Deze schuifspanning is niet alleen afhankelijk van de snelheid, maar ook van andere, minder dominante, factoren als het stromingstype en materiaal en diameter van de leiding.

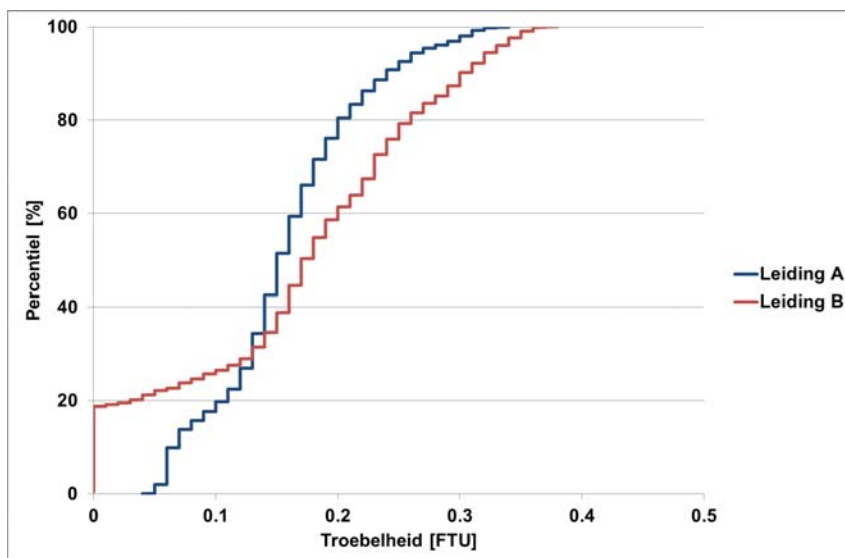
Gezien het troebelheidspatroon tijdens spuien in alle drie de transportleidingen, is het waarschijnlijk dat al het sediment bijna direct opgewerveld wordt door de toename van de snelheid en de schuifspanning langs de wand. Na de eerste verversing daalt de troebelheid snel. Dit geeft aan dat er geen opwervbaar sediment is achtergebleven in de transportleiding. Het geeft ook aan dat er geen coagulatie van het sediment heeft plaatsgevonden of dat de coagulatie niet bestand was tegen de toename van de snelheid en de schuifspanning op de wand. Het patroon van de troebelheid tijdens de spui-actie geeft aan dat de opbouw van sediment in de sedimentlaag niet constant is over de lengte van de transportleiding. Als wordt aangenomen dat de troebelheid representatief is voor de hoeveelheid sediment in de leiding, dan kan worden geconcludeerd dat de accumulatie van sediment dicht bij de

zuiveringsinstallatie start en dan daalt over de lengte van de transportleiding. Uit de metingen is te concluderen dat de sedimentopbouw continu op dezelfde manier doorgaat. Dit proces eindigt niet in een maximumlaagdikte.

In dit experiment is het niet onderzocht, maar het is aannemelijk dat de sedimentdeeltjes in transportleidingen zwaarder zijn en grotere diameters hebben dan sediment in distributienetwerken [2]. Het sediment uit de transportleiding is in het spuiwater geanalyseerd op troebelheid, ijzer en mangaan. De verdeling van ijzer en mangaan veranderde over de lengte van de transportleiding: er is relatief meer mangaan in het begin van de transportleiding.

De stroomsnelheidsprofielen voor beide transportleidingen zijn vergelijkbaar, zoals weergegeven in afbeelding 9. Het profiel kan daarom geen verklaring zijn voor het verschil in hoeveelheid geaccumuleerd sediment in de leidingen.

	Leiding A	Leiding B
ratio 90/99,5	0,75	0,83
gemiddelde [m/s]	0,16	0,17
surf - 90% [%]	82,4	80,4
surf +90% [%]	17,6	19,9



Afbeelding 9. Statistische gegevens en de cumulatieve frequentieverdeling van de snelheid

De troebelheid van het water van de waterproductiebedrijven die de leidingen voeden is verschillend, zoals te zien is in afbeelding 6. De statistische gegevens uit afbeelding 7 laten zien dat alleen de gemiddelde troebelheid verschillend is. En die is gerelateerd aan de hoeveelheid troebelheid die in de leiding wordt opgebouwd. Impliciet betekent dit dat verlagings van de

troebelheid af waterproductiebedrijf een kleinere hoeveelheid geaccumuleerd sediment in de transportleiding oplevert.

De monsters die tijdens het spuien zijn genomen zijn geanalyseerd op troebelheid en gesuspendeerde stoffen (SS) uitgedrukt in mg/l, en er is gezocht naar een relatie tussen die twee parameters. Voor WPB Harderbroek (A) is dit $SS = 0.3793$ FTU en voor WPB Fledite (B) $SS = 0.2571$ FTU. Deze relaties worden toegepast op de gevonden hoeveelheden sediment van respectievelijk 3,84 en 1,55 FTU m³/m. Bij een volume in leiding A van 0,071 m³/m en in leiding B van 0,069 m³/m resulteert dit in respectievelijk in 20,6 en 5.8 g/m.

De verhouding tussen de gemiddelde troebelheid van de twee waterproductiebedrijven is $0,28/0.11 = 2,55$ terwijl de verhouding tussen de hoeveelheid sediment gevonden in de leidingen 3,55 is. Binnen de nauwkeurigheid van de bepalingen en aannames kan gezegd worden dat dit in dezelfde orde van grootte is.

Het experiment laat zien dat een fractie van het sediment 'gevangen' wordt in het transportleidingnet, hoewel de snelheid in deze leidingen hoger is dan de zelfreinigende snelheid (0,25 m/s) voor distributienetten. Wanneer het transportleidingnet zeer kort is, kan dit tot gevolg hebben dat deeltjes in het distributienetwerk terecht komen. Dan zou ook in een zelfreinigend netwerk sediment accumuleren en mogelijk leiden tot bruinwaterklachten.

Een andere praktische consequentie kan zijn dat transportleidingen in de buurt van het waterproductiebedrijf meer sediment bevatten dan distributieleidingen. Deze distributieleidingen zijn zelfreinigend als de dagelijkse maximale stroomsnelheid in de orde grootte van 0,3-0,4 m/s is, omdat het zwaardere sediment al 'bovenstrooms' is geaccumuleerd.

Conclusie

Het beschreven onderzoek naar de opbouw van sedimentaccumulatie in transportleidingen voor drinkwater in Flevoland leidt tot de volgende conclusies:

- Sediment bouwt zich op in transportleidingen, ondanks het feit dat de maximale stroomsnelheid hoger is dan de zelfreinigende snelheid (van 0,25 m/s) die geldt voor distributieleidingen.
- Het sediment accumuleert vooral dicht bij het pompstation.
- De hoeveelheid sediment in het transportleidingnet wordt grotendeels bepaald door de gemiddelde troebelheid van het water af waterproductiebedrijf.
- De verhouding tussen de gemiddelde troebelheid van de waterproductiebedrijven is vergelijkbaar met de verhouding tussen de hoeveelheid sediment gevonden in het transportleidingen (2,55 versus 3,55).

Literatuur

- [1] Vreeburg, J. H. G., Schippers, D., Verberk, J. Q. J. C., & Dijk, J. C. van (2008). Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system. *Water Research*, vol. 42, pp. 4233-4242, 2008.
- [2] Thienen, P. Van, Vreeburg, J. H. G., Blokker, E. J. M. (2011). Radial transport processes as a precursor to particle deposition in drinking water distribution systems. *Water Research*, vol. 45, pp. 1807-1817, 2011.
- [3] Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. H. G., Dijk, J. C. van (2010). Simulating residential water demand with a stochastic end-use model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 136, pp. 19-26, 201002 2010.
- [4] Vreeburg, J. H. G., Boxall, J. B. (2007). Discolouration in potable water distribution systems: A review. *Water Research*, vol. 41, pp. 519-529, Feb 2007.
- [5] Vreeburg, J. H. G. (2007). Discolouration in drinking water systems: a particular approach. *Civil Engineering*. vol. PhD: University of Technology Delft, 2007.
- [6] Husband, P. S., Boxall J. B. (2011). Asset deterioration and discolouration in water distribution systems. *Water Research*, vol. 45, pp. 113-124, 2011.