



Matthijs Bonte, KWR Watercycle Research Institute

Klaasjan Raat, KWR Watercycle Research Institute

Pieter Dammers, Duinwaterbedrijf Zuid-Holland

Pieter Stuyfzand, KWR Watercycle Research Institute / Vrije Universiteit Amsterdam

Verstopping en regeneratie van infiltratieputten bij Waalsdorp

Al 18 jaar bedrijft Duinwaterbedrijf Zuid-Holland met succes het diepinfiltratiesysteem Waalsdorp, waar voorgezuiverd Maaswater in het derde watervoerend pakket wordt geïnjecteerd en teruggewonnen. De laatste jaren blijkt uit monitoringsdata dat de infiltratieputten versneld aan het verstopping zijn. Het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland en KWR Watercycle Research Institute zijn op zoek gegaan naar de locatie, aard en oorzaak van deze putverstopping om zo een effectief regeneratieprogramma op te stellen en verstopping in de toekomst te minimaliseren. Uit het onderzoek blijkt dat de verstopping bestaat uit ijzer- en mangaanerslagen en organische stof. Belangrijke conclusie is dat putverstopping beheersbaar is en geen belemmering hoeft te zijn voor de toepassing van diepinfiltratie.

Duinwaterbedrijf Zuid-Holland is in 1990 als één van de eerste waterbedrijven in Nederland begonnen met het toepassen van diepinfiltratie op bedrijfsschaal. Diepinfiltratie komt tegemoet aan twee wensen: het zuivert het geïnfiltreerde water en legt een voorraad zoet water in de ondergrond aan. In vergelijking met open infiltratiesystemen, die veel vaker worden toegepast, zijn de effecten op de omgeving minimaal en is de voorraad water goed beschermd tegen verontreinigingen aan maaiveld. Een open infiltratiesysteem is daarentegen veel goedkoper in aanleg en gebruik, gebruikt minder energie en chemicaliën en vergt minder onderhoud.

Bij het diepinfiltratiesysteem Waalsdorp wordt voorgezuiverd, zuurstofrijk Maaswater via 24 infiltratieputten in het derde, van oorsprong anoxische, watervoerende pakket geïnjecteerd en teruggewonnen (zie afbeelding 1). Cruciaal voor het welslagen van deze diepinfiltratie is de mate waarin verstopping van infiltratieputten wordt beheerst. Putverstopping leidt tot capaciteitsverlies en hogere energiekosten, doordat de infiltratiedruk moet worden opgevoerd. Deze druk kan zo groot worden dat een risico ontstaat op opbarsten¹⁾: het wegdrukken van kleiprop en omstorting, waardoor het infiltratiewater langs de buitenkant van de stijgbuis omhoog komt. De infiltratieput is dan onherstelbaar beschadigd en zal moeten worden vervangen. In 1990 was de verwachting dat regeneratie van de infiltratieputten na een productieperiode

van vijf tot zeven jaar noodzakelijk zou zijn. Uiteindelijk blijkt dat moment pas nu gekomen, 18 jaar na ingebruikname van het systeem.

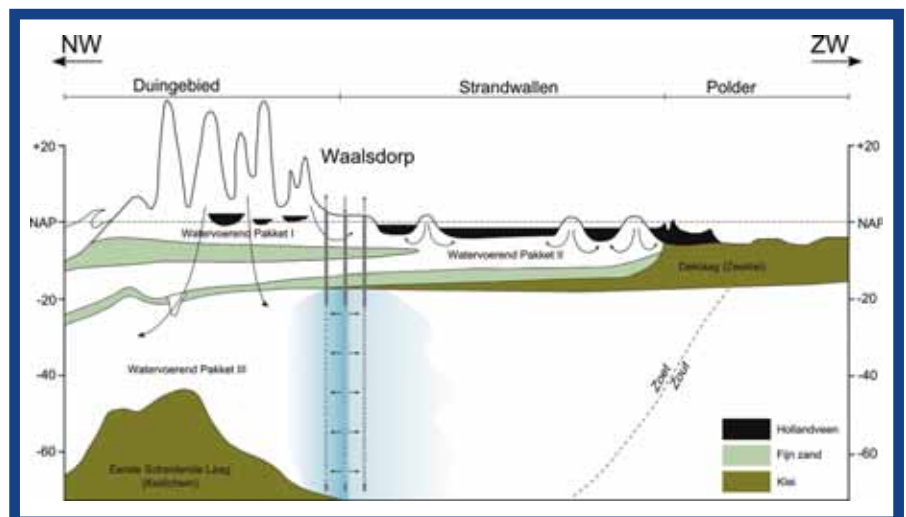
Voor de opzet van een effectief regeneratieprogramma en voor verdere minimalisatie van de verstopping in de toekomst is inzicht in de verstoppingsprocessen nodig. Met dit als achtergrond zijn het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland en KWR Watercycle Research Institute op zoek gegaan naar de locatie, aard en oorzaak van de verstopping van de infiltratieputten in Waalsdorp. Het project omvatte een analyse van de operationele

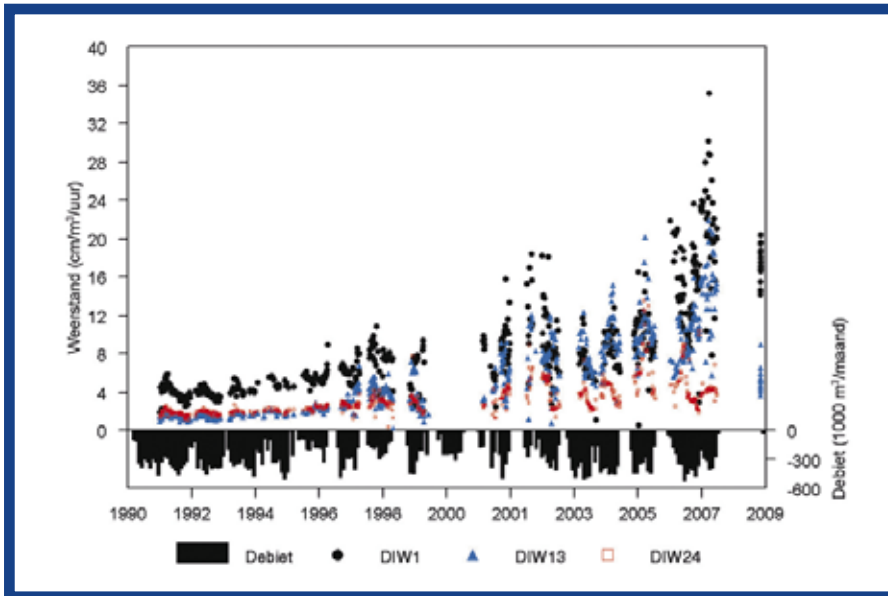
data van de voorzuivering en infiltratieputten voor de periode 1990 tot 2008. Die gegevens werden aangevuld met een veldprogramma met flowmetingen, camera-inspecties en chemische en microbiologische analyses van water en vaste fasen uit de infiltratieputten en de voorzuivering.

Ontwikkeling in putverstopping

Sinds de start van het project in 1990 meet Duinwaterbedrijf Zuid-Holland de mate van verstopping in drie van de infiltratieputten door periodiek, tijdens infiltratie, de waterdruk op te nemen, ook in de formatie direct buiten de boorgatwand. Hieruit wordt

Afb. 1: Geohydrologische doorsnede met diepinfiltratie Waalsdorp²⁾.





Afb. 2: Ontwikkeling putverstopping (blauwe lijn) in infiltratieputten DIW1, 18 en 24 en totale infiltratiedebiet (zwarte balkjes) bij diepinfiltratie Waalsdorp tussen 1990 en 2008.

de weerstand berekend die het water bij infiltratie ondervindt, na correcties voor variaties in infiltratiedebiet en watertemperatuur¹. De zo berekende weerstand is een goede maat voor putverstopping.

Afbeelding 2 geeft het resultaat weer van deze weerstandsmetingen. Gedurende de eerste vier infiltratiejaren is de weerstand relatief laag (minder dan zes centimeter per kubieke meter per uur) en neemt slechts zeer langzaam toe. Vanaf 1999 neemt de weerstand steeds sneller toe, wat een indicatie kan zijn voor de groei van verstopping veroorzakende biomassa. De weerstand neemt vooral toe na langdurige infiltratiestops, bijvoorbeeld in 2001, 2004 en 2005. Dit is een opvallende waarneming, omdat uit eerder onderzoek werd geconcludeerd dat bij biologische verstopping stilstand van het systeem de mate van verstopping juist vermindert¹.

Om zicht te krijgen op waar de verstopping zich bevindt, zijn additionele metingen uitgevoerd met digitale drukopnemers op drie locaties: in de put, in de omstorting

en in de formatie, boven de kleiprop. Zo kan de weerstand worden ontleed in twee onderdelen: één over het putfilter en het eerste deel van de omstorting (kortweg 'filter') en één over het tweede deel van de omstorting en de boorgatwand ('boorgatwand'). Uit deze metingen valt af te leiden dat de weerstand zich voornamelijk in het tweede deel van de omstorting en op de boorgatwand bevindt (zie afbeelding 3). Bij DIW13 draagt de boorgatwand voor circa 60 procent bij aan de totale weerstand, terwijl dit bij DIW24 meer dan 90 procent is. Vanwege de ligging achter de omstorting, 'op de boorgatwand', is deze verstopping moeilijk te bereiken en zullen oppervlakkige regeneratiemethoden als schoonborstelen weinig effect sorteren.

Samenstelling verstopping

In afbeelding 4 zien we het resultaat van de camera-inspectie van respectievelijk DIW13 en 24. Opvallend in deze beelden is het verschil in de waargenomen vervuiling tussen de putfilters. Het filter van DIW13 is nauwelijks te zien door een dichte neerslag van zwart materiaal, terwijl het filter van

DIW24 vrijwel geen aanslag vertoont. Wel is in DIW24 een roodoranje gloed zichtbaar, die ook waarneembaar was in bemonsterd materiaal van DIW13. De camera-inspecties bevestigen de indruk dat de verstopping in DIW24 voornamelijk aanwezig is in de omstorting of op de boorgatwand, terwijl bij DIW13 een aanzienlijk deel van de verstopping zich op het filter bevindt.

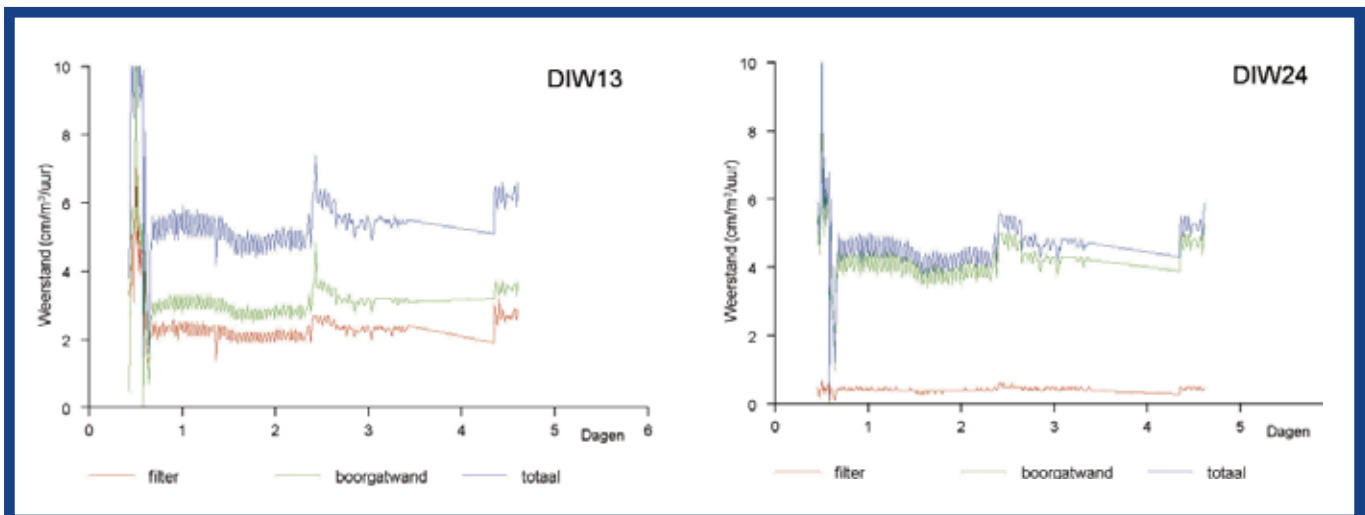
Vast materiaal dat tijdens flowmetingen in DIW13 en 24 werd opgepompt, is geanalyseerd op gehalten koolhydraten (een indicatie van bacteriële oorsprong van het materiaal), totaal koolstof (TOC) en elementgehalten na HNO₃-extractie. De analyseresultaten in de tabel bevestigen het beeld uit de camera-inspecties dat ijzer de dominante vorm van verstopping vormt. Naast ijzer vormen mangaan en organisch koolstof belangrijke bestanddelen van het verstoppingsmateriaal. Over de minerale vorm van het materiaal (hydroxides, oxides, eventueel sulfides) valt op basis van deze analyses niets te zeggen. Het relatief hoge gehalte aan koolhydraten ten opzichte van de totale hoeveelheid organische koolstof duidt op een belangrijke rol voor micro-organismen in de vorming van verstoppingsmateriaal.

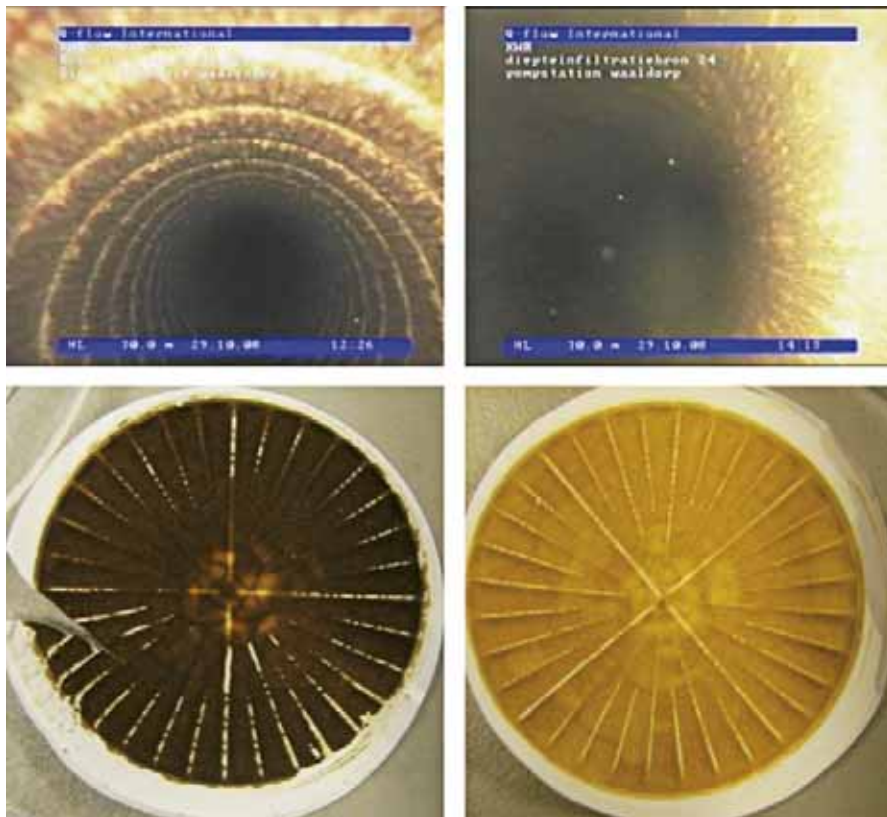
Uit de tabel blijkt dat het aandeel organische stof in het vaste materiaal veel groter is

Massaverhoudingen ijzer, mangaan, aluminium en organisch koolstof en gehalte koolhydraten (uitgedrukt als percentage van Fe) en gehalte koolhydraten (uitgedrukt als percentage van TOC) voor bemonsterd vast materiaal van DIW 13 en DIW24.

parameter	DIW13	DIW24
Fe/Fe	100	100
Mn/Fe	27	2,9
Al/Fe	1,6	3,2
Ca/Fe	1,4	9,1
Mg/Fe	0,2	1,1
Si/Fe	0,5	1,9
TOC/Fe	7,1	16
koolhydraat-C/TOC	34	25

Afb. 3: Weerstandsmetingen over de boorgatwand en het filter voor DIW13 en 24.





Camera-beelden op 30 meter diepte en verstoppingsmateriaal, zoals afgevangen op 0,45µm filters tijdens afpompen van DIW13 en 24 in oktober 2008.

voor DIW24 dan voor DIW13. Dit suggereert dat het waargenomen zwarte materiaal in DIW13 (zie afbeelding 3) geen organische stof betreft maar neergeslagen mangaan-oxides. Het verschil in de samenstelling van de neerslagen (en ook het verschil tussen de putten op de camera-beelden en mate van verstopping) is opvallend en houdt mogelijk verband met de positie van de afzonderlijke infiltratieputten aan de aanvoering of ten opzichte van de natuurlijke grondwaterstroming. Naast het vaste materiaal zijn tevens grondwatermonsters uit de put en omstorting geanalyseerd op microbiologische en chemische parameters. Het water in de putten bevatte, naast hoge concentraties opgelost ijzer en mangaan, ook hoge concentraties NO_3^- . Dit is opvallend, omdat NO_3^- het voorkomen van ijzer en mangaan chemisch gezien uitsluit. Een verklaring kan worden gevonden in de bedrijfsvoering van het systeem: voorafgaand aan de bemonstering is enkele dagen geïnfiltreerd, terwijl het systeem in de periode daarvoor ongeveer een jaar stilstand. Tijdens deze lange stilstand kan geaccumuleerde biomassa worden afgebroken, waarbij zuurstof wordt verbruikt en een gereduceerd milieu ontstaat met hoge concentraties Fe en Mn. De ontwikkeling van een gereduceerd milieu tijdens stilstand van een infiltratiesysteem is eerder waargenomen in een ASR-experiment in Herten, bij WML³. Het ijzer- en mangaanrijke watertype is tijdens de kortstondige infiltratie voor monsternamen gemengd met geïnfiltreerd nitraatrijk water. Opvallend is het waargenomen verschil in concentraties NO_3^- in put (12 mg/l) en omstorting (4,5 mg/l). Dit bevestigt het beeld dat de omstorting reducerend werkt en zodoende een

belangrijke rol speelt in de kwaliteitsveranderingen van het geïnfiltreerde water.

Discussie

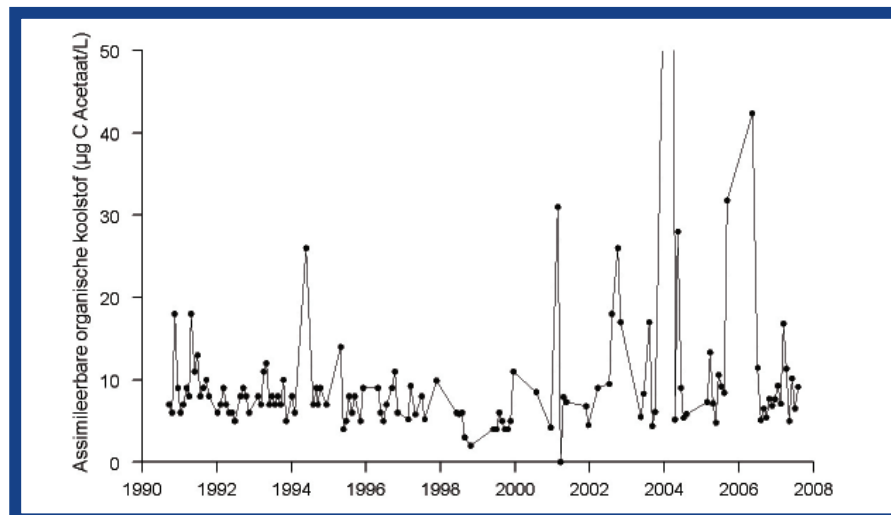
Uit de chemische analyses en camera-inspecties blijkt dat de vorming van ijzer- en mangaan-neerslagen en accumulatie van organisch stof de belangrijkste oorzaken van putverstopping van het systeem zijn. Hierbij spelen waarschijnlijk de groei van micro-organismen in de put en omstorting en de toevoer van ijzer en mangaan met het infiltratiewater een rol.

Op basis van waterkwaliteitsgegevens in de omstorting blijkt dat zich (lokaal) reductieve omstandigheden kunnen ontwikkelen, bijvoorbeeld tijdens stilstand van het systeem. Bekend is dat afwisselingen en

overgangen in redoxcondities een goede leefomgeving vormen voor ijzerminnende bacteriën. Veelvuldige stilstand van het systeem vergroot op deze wijze mogelijk de kans op biologische verstopping. De koolhydraatanalyses laten inderdaad zien dat micro-organismen een belangrijke rol spelen bij de vorming van organisch stof. Een alternatieve verklaring is dat een microbiële populatie zich heeft ontwikkeld door de toevoer van voedingsstoffen met het infiltratiewater. Vanaf 2000 zijn veelvuldig pieken te zien in AOC-gehalten (zie afbeelding 5), een maat voor de biologische nagroeipotentie van het water⁴. Aanscherping van het Infiltratiebesluit Bodembescherming was in januari 1999 aanleiding voor de plaatsing van een actief koolfilter. Het vermoeden bestaat dat AOC vrijkomt uit dit filter als het na een stilstand weer wordt opgestart. Daarnaast speelt mee dat het Maaswater tot 1997 werd gechloteerd om de transportleiding schoon te houden. Uit metingen van trihalo-methanen (een reactieproduct van chloor met organisch stof) blijkt dat een deel van het chloor de putten heeft bereikt en daar mogelijk de groei van micro-organismen in toom heeft gehouden in de beginjaren van het systeem⁵.

Er zijn verschillende potentiële bronnen voor de verstoppende ijzer- en mangaan-neerslagen. Het spoelen van de snelfilters is een kritiek moment in de bedrijfsvoering, waarbij een kans bestaat dat ijzer in opgeloste vorm of als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -colloïden in de putten belandt. Weliswaar wordt na het spoelen het snelfiltraat afgevoerd naar de infiltratievijvers, maar het schakelmoment waarop de diepinfiltratie in werking gaat is alleen gebaseerd op de troebelheidsmeting (FTU). Hierdoor kunnen kortstondige pieken in deeltjesconcentratie niet worden uitgesloten. Naar gehalten aan opgelost ijzer wordt bij terugplaatsen niet gekeken. Een tweede mogelijke bron van ijzer is het coagulatiemiddel dat wordt gebruikt in de voorzuivering. In 2003 is overgeschakeld van sachtoclor (polyaluminiumchloride) op FeCl_3 . Als het toegevoegde ijzer niet snel genoeg neerslaat, kan dit het snelfilter passeren en later in de put voor ijzerverstopping zorgen.

Afb. 4: Gehaltes assimileerbare organische koolstof in het infiltratiewater.



Een laatste mogelijke bron van ijzer én van mangaan is het Maaswater zelf. Hoewel de gehalten mangaan en ijzer onder de detectielimiet liggen, is het aannemelijk dat beide in zeer kleine concentraties (<0,01 mg/l) in het infiltratiewater aanwezig zijn. In combinatie met een grote volumestroom water kan dit leiden tot infiltratie van aanzienlijke hoeveelheden ijzer en mangaan.

Conclusie

Ijzer- en mangaanerslagen en organisch stof vormen de belangrijkste bestanddelen van putverstopping bij het diepinfiltratiesysteem Waalsdorp. Uit de monitoringdata blijkt dat het systeem al vanaf het begin langzaam verstopt, maar dat de snelheid hiervan de laatste jaren toeneemt. Dit is vermoedelijk terug te voeren op veranderingen in de bedrijfsvoering. Die werden deels doorgevoerd naar aanleiding van aanscherpingen in het Infiltratiebesluit Bodembescherming, zoals de installatie van koolfilters, het gebruik van FeCl_3 als coagula-

tiemiddel in de voorzuivering en veelvuldige stilstand van het systeem sinds 2000. De ontstane verstopping kan worden verwijderd door de putten te regenereren. Omdat er nog geen ervaring is met het regenereren van de infiltratieputten op Waalsdorp, zal een testprogramma worden uitgevoerd waarin enkele technieken op hun effectiviteit worden beproefd (HD-reiniging, versneld afpompen en jutteren in combinatie met waterstofperoxide, een reductor of zuur).

Belangrijke conclusie uit dit onderzoek is dat met een goede bedrijfsvoering putverstopping bij diepinfiltratie beheersbaar is. Daardoor heeft het systeem al 18 jaar zonder noemenswaardige problemen gedraaid. Dit onderzoek laat zien dat met een aantal aanpassingen in de bedrijfsvoering, zoals optimalisering van de voorzuivering, periodiek terugspoelen van de putten en voorkomen van langdurige stilstand, putverstopping in de toekomst verder kan worden geminimaliseerd.

LITERATUUR

- 1) Olsthoorn T. (1982). Verstopping van persputten. Kiwa. Mededeling 71.
- 2) Kiwa/IWACO (1995). Milieueffectrapportage voor diepinfiltratieprojecten in Zuid-Holland west, fase 2. Basisrapport Hydrologie Voorlinden en Waalsdorp 2.
- 3) Stuyfzand P., J. Wakker en B. Putters (2005). Water quality changes during Aquifer Storage and Recovery (ASR): results from pilot Herten (Netherlands) and their implications for modeling. In: Proc. ISMAR 2005 Aquifer Recharge 5th Int. Symp. Berlin.
- 4) Hijnen W. en .. Kooij (1989). Verstopping van infiltratieputten onder invloed van het gehalte assimileerbare organische koolstof (AOC). In: J. Peters, J. van der Eem en J. Meijer (eds.). Diepinfiltratie, de theorie. Kiwa. Mededeling 106.
- 5) Schippers J., J. Verdouw en G. Zweere (1989). Het voorspellen van de verstoppingsnelheid van infiltratieputten. In: J. Peters, J. van der Eem en J. Meijer (eds). Diepinfiltratie, de theorie. Kiwa. Mededeling 106.