



Mattheijs Bonte, KWR Watercycle Research Institute

Harry Boukes, Brabant Water

Pieter Stuyfzand, KWR Watercycle Research Institute

Het belang van goede zuurstofmetingen bij grondwaterbemonstering

Onderzoek naar grondwater levert vaak onverwachte resultaten op. In veel gevallen wordt dit veroorzaakt door problemen die ontstaan bij de bemonstering. Metingen van de hoeveelheid opgelost zuurstof kunnen informatie geven over de samenstelling en herkomst van het monster en daardoor een grote toegevoegde waarde hebben bij grondwaterbemonstering. Nog te vaak wordt dit aspect echter onderschat. Ook in de recent herziene NEN-norm voor grondwaterbemonstering ontbreekt een verplichte zuurstofmeting. Dit artikel beschrijft hoe gemeten zuurstofprofielen in peilbuizen in Eindhoven en Bilthoven gebruikt worden om aan te tonen hoe bemonsteringsfouten kunnen optreden en wat dit betekent voor de geanalyseerde waterkwaliteit. Voorts wordt ingegaan op de vraag in hoeverre problemen kunnen worden voorkomen door grondwaterbemonstering uit te voeren volgens de herziene norm.

Grondwaterbemonstering is veelal één van de grootste foutenbronnen in het proces van bemonstering, vervoer, laboratoriumanalyse en interpretatie^{1),2),3),4),5),6),7)}.

In de literatuur zijn vooral problemen beschreven over het bemonsteren en analyseren op (vluchtige) organische verbindingen⁸⁾. Maar ook het verkrijgen van een representatief chemisch beeld van diep zuurstofloos (anoxisch) grondwater blijkt in de praktijk lastig^{4),6),9)}. In het infiltrerende regenwater opgelost zuurstof reageert met reactieve bestanddelen in de ondergrond en is in de meeste Nederlandse watervoerende pakketten binnen enkele meters verdwenen. Grondwater dat wordt bemonsterd van grotere diepte (meer dan 20 meter beneden de grondwaterspiegel) is in Nederland meestal dan ook anoxisch (zuurstofloos). In bemonsterd grondwater uit de filters van een peilbuis nabij het WKO-systeem van de Philips High Tech campus te Eindhoven bleek tot 70 meter diepte toch zuurstof te worden aangetroffen. Op voorhand werd gedacht aan de volgende mogelijke oorzaken: lekkage van ondiep zuurstofhoudend grondwater in een dieper filter, toetreding of aanzuiging van lucht (met zuurstof) ergens

in de pomp of slangen óf een dusdanige daling van het waterpeil in de peilbuis tijdens het afpompen met hoog debiet (waarbij de waterkolom wordt opgemengd) dat zuurstof kans ziet zich met het anaerobe grondwater te mengen.

KWR Watercycle Research Institute heeft daarop samen met Brabant Water de oorzaak van de te hoge zuurstofconcentraties en de implicaties hiervan op analysesresultaten onderzocht. Recentelijk is de norm voor bemonstering van grondwater aangepast. Met de inzichten uit dit onderzoek plaatsen we enkele kanttekeningen bij de nieuwe norm.

Werkzaamheden

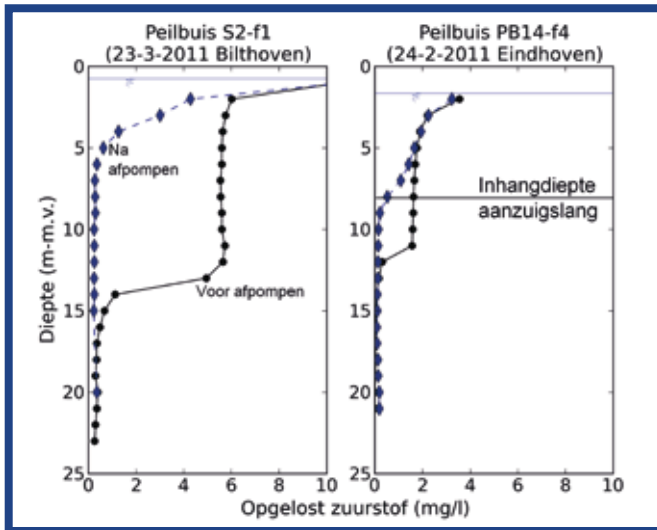
Het veld- en laboratoriumonderzoek bestond uit de volgende stappen:

- Met een sonde zijn het opgelost zuurstof en temperatuurprofiel gemeten in een aantal peilbuizen nabij de WKO-systemen van de Philips High Tech campus en het RIVM te Bilthoven;
- De filters zijn afgepompt met een centrifugaalpompe met slangopening op een diepte variërend tussen acht en tien meter onder het maaiveld;

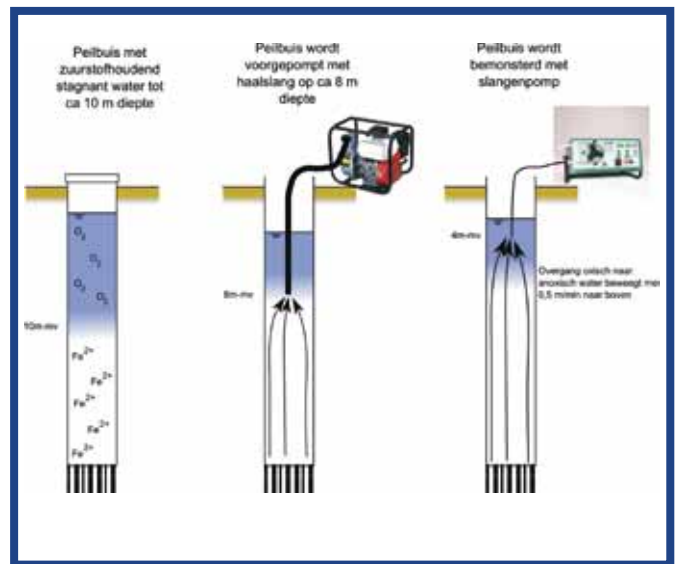
- Vervolgens zijn het opgelost zuurstof en temperatuurprofiel opnieuw gemeten;
- Grondwater is bemonsterd met een slangenpomp en geanalyseerd op een breed pakket aan anionen, kationen, zware metalen en nutriënten;
- Nadat de vermoedelijke oorzaak van de te hoge zuurstofgehalten was vastgesteld, is een aantal peilbuizen twee keer direct achter elkaar bemonsterd, waarbij de eerste keer bewust fout was bemonsterd en de tweede keer een volledig anoxisch, correct bemonsterd grondwatermonster is genomen. De verschillen in analysesresultaten geven inzicht in welke parameters het meest beïnvloed worden door oxidatie en foute monsternamen.

Zuurstofprofielen in peilbuizen

Afbeelding 1 toont de gemeten zuurstofprofielen in de twee peilbuizen vóór en na afpompen (debiet circa 0,7 kubieke meter per uur). Bij S2-f1 is getracht al het stagnerende water in de stijgbuis te verwijderen door de slang van de centrifugaalpompe omhoog te halen tot de pomp net geen lucht ging happen. Bij PB14-f4 is de slang op het niveau gehangen waarop hij meestal wordt geplaatst bij afpompen, op circa acht meter beneden maaiveld. In de



Afb. 1: Twee gemeten profielen van opgelost zuurstof vóór en na voerpompen, in peilbuizen (36 mm inwendige diameter) te Bilthoven (filter 99 tot 100 meter beneden maaiveld) en Eindhoven (filter 55 tot 57 meter beneden maaiveld).



Afb. 2: Schematisch overzicht bemonstering peilbuis en positie zuurstofhoudend water.

praktijk bepaalt de slanglengte dikwijls tot welke diepte de slang wordt neergelaten, opdat het afpompen snel verloopt en de pomp niet droogvalt.

In beide peilbuizen blijkt vóór het afpompen zuurstof aanwezig in het stagnante water tot meer dan tien meter beneden maaiveld. In de profielen die genomen zijn na het afpompen, valt op dat ondanks het afpompen in beide peilbuizen nog een flinke hoeveelheid oxidisch (zuurstofhoudend) water aanwezig is. In PB14-f4 blijkt de overgang naar volledig anoxisch water precies op de diepte waarop de slang is ingehangen te liggen. Dit kan alleen worden verklaard als onder de instroomopening van de centrifugaalpompe het water in de peilbuis wordt ververs. Grondwater stroomt vanaf het filter onderin de peilbuis in de stijgbuis omhoog naar de instroomopening van de slang naar de centrifugaalpompe. Omdat dit 'verse' grondwater niet hoger dan de instroomopening van de slang kan stromen, wordt het water bovenin niet ververs.

Wanneer men vervolgens grondwater bemonstert, wordt de slang van de centrifugaalpompe uit de buis gehaald en vervangen door een PE-slang met een kleinere diameter, die aangesloten is op een slangenpompe. Hiermee wordt water omhoog gepompt uit de peilbuis met een veel lager debiet (tot twee liter per minuut). Op die manier wordt voorkomen dat zwevend stof wordt meegevoerd. Bij een debiet van één liter per minuut bedraagt de verticale stroomsnelheid in de peilbuis circa 0,5 meter per minuut. Als de instroomopening van de centrifugaalpompe dus veel dieper heeft gehangen dan die van de slangenpompe, moet lang gewacht worden totdat volledig anoxisch water bemonstert wordt via de slangenpompe (zie afbeelding 2).

De centrifugaalpompe is vaak uitgerust met een relatief zware slang die door het eigen gewicht diep in de peilbuis zakt. De slangenpompe wordt veelal gebruikt met een dunne PE-slang die erg licht is en daardoor slecht naar beneden zakt en vaak vastloopt op moffen in de buis. Hierdoor

wordt water mogelijk op een veel kleinere diepte afgepompt en bemonstert dan men aannam. Dit verklaart waarom steeds hoge zuurstofconcentraties in combinatie met lage ijzergehalten werden gemeten. In feite werd dus geen diep grondwater bemonstert maar stagnant peilbuiswater waar zuurstof in is gekomen. Recent zijn speciale verzwaringsbuisjes op de markt gekomen om te zorgen dat een PE-slang toch goed naar beneden komt, waardoor dergelijke problemen in de toekomst kunnen worden voorkomen.

Oorzaak verhoogde zuurstofconcentraties

Een ander opvallend aspect aan de profielen voor opgelost zuurstof in afbeelding 1 is dat de zuurstof zich als een front naar beneden lijkt te bewegen. In eerste instantie werd aangenomen dat diffusie het enige transportmechanisme is voor zuurstof. In dat geval zou echter een exponentieel verlopend diepteprofiel te verwachten zijn.

Op basis van een literatuuronderzoek werden twee alternatieve verklaringen voor de verhoogde zuurstofconcentratie gevonden die beter passen bij het diepteverloop:

- Permeatie van zuurstof dat aanwezig is in ondiep grondwater door het kunststof van de peilbuis¹⁰;
- Zuurstof wordt naar de diepte verspreid door thermisch aangedreven convectie gedurende de wintermaanden wanneer het water bovenin de peilbuis kouder en zwaarder is^{11,12}.

Om de herkomst van zuurstof in peilbuizen verder te onderzoeken, is in de peilbuis in Bilthoven meerdere keren in het jaar een zuurstof- en temperatuurprofiel gemeten (zie afbeelding 3). De weergegeven profielen zijn zonder afpompen van de peilbuis gemeten. Uit de metingen blijken de verhoogde zuurstofconcentraties met name op te treden in de winter en het voorjaar. Verder komt de diepte tot waar de verhoogde zuurstofwaarden worden gemeten, redelijk overeen met de diepte waarop de maximale temperatuur wordt gemeten. Hierboven ligt kouder water op warm water en is sprake van een instabiele situatie.

Deze beide resultaten lijken erop te wijzen dat thermische convectie de bepalende factor is. Dit proces verloopt snel en kan in de tijd tussen afpompen en bemonstern het bovenste water in de peilbuis mogelijk weer van zuurstof voorzien. Dit kan de reden zijn waarom in afbeelding 1 bij peilbuis S2-f1 toch zuurstof wordt gemeten ondanks het grondige afpompen. De indringing van zuurstof in peilbuizen en pompputten en de rol van permeatie en thermische convectie worden momenteel verder onderzocht.

Effecten aanwezigheid zuurstof op analyseresultaten

Verhoogde zuurstofwaarden door 'fouten' in de bemonstering roepen een tweede vraag op: Wat betekent dit voor de geanalyseerde waterkwaliteit? Om dit te bekijken zijn van de onderzochte peilbuizen twee monsters genomen: één in het zuurstofhoudende deel in de peilbuis en het tweede in het anoxische deel van de peilbuis. De resultaten van de laboratoriumanalyses zijn weergegeven in afbeelding 4, waarbij het verschil in analysewaarden tussen het zuurstofhoudende en het anoxische monster is uitgezet tegen de gemiddelde concentratie. De grijze balk in de plots geeft de analyse-onnauwkeurigheid weer. We vergelijken dus eigenlijk de correcte met de foute bemonsteringsmethode. Het voordeel van deze plotwijze ten opzichte van een meer reguliere XY-scatterplot is dat relatief kleine verschillen beter zichtbaar worden.

De plots laten duidelijk zien welke parameters de beluchting beïnvloeden:

- De zuurstofhoudende monsters hebben een positieve afwijking voor nitraat en een negatieve afwijking voor ammonium. Dit laat zich verklaren door nitrificatie (oxidatie van NH_4 tot NO_3);
- De zuurstofhoudende monsters bevatten verder duidelijk minder PO_4 , Mn, Fe en Ba en iets minder As, Co, Cr, U en Sr. Een verklaring hiervoor is de vorming van neerslagen van Fe-Mn-(hydr)oxiden, die sorptieplaatsen bieden waaraan onder andere arseen en PO_4 gebonden worden;

- De zuurstofhoudende monsters tonen enige verrijking aan Na, K, B en Cu. Hiervoor is geen voor de hand liggende verklaring. Vooral de verrijking met Cu is opvallend en belangrijk, omdat de data laten zien dat een foutieve bemonstering tot hogere Cu-concentraties kan leiden die in het anoxische grondwater niet aanwezig zijn. De bron van Cu is onduidelijk. PVC is verdacht als het gaat om organische verontreinigingen en lood maar er zijn bij ons geen publicaties bekend waarin een verband wordt gelegd tussen PVC en Cu;
- De concentraties Cl, SO₄, Ca, Mg, Si, F, Al, In, Pb, Zn, Li en Yb lijken niet te zijn beïnvloed.

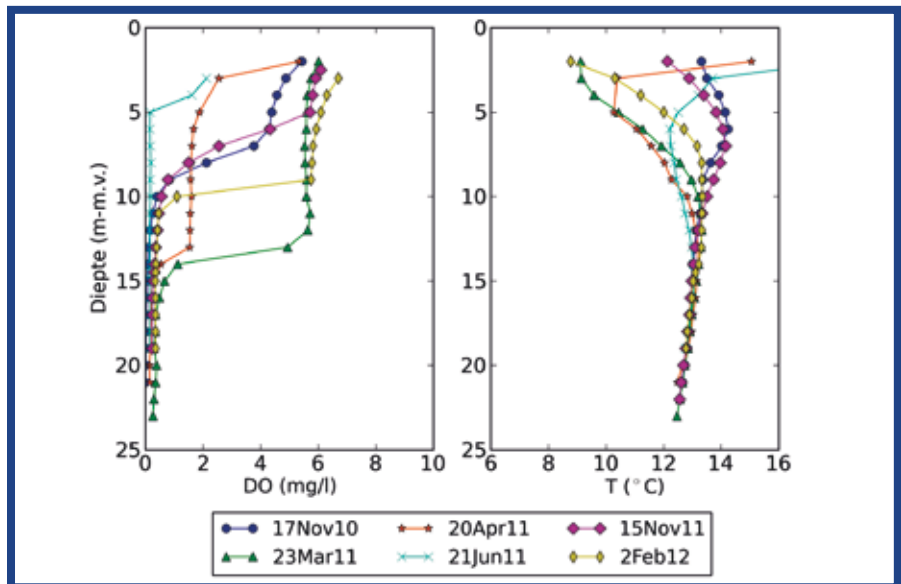
Bemonsteren volgens de nieuwe norm NEN 5744

Begin dit jaar is de norm voor het nemen van grondwatermonsters herzien¹³. Belangrijkste wijziging hierin is de wijze van afpompen. In plaats van drie keer het peilbuisvolume te doorspoelen mag men er nu voor kiezen om de slang in te hangen op de diepte van het filter (dus niet in de stijgbuis maar op de diepte van de filterspletten) en langzaam af te pompen (minder dan 0,5 liter per minuut, waarbij de grondwaterstand met maximaal 50 cm mag worden verlaagd). De peilbuis wordt dan voorgepompt met dezelfde pomp als waarmee het monster genomen wordt. Het voorpompen mag beëindigd worden als aan één van de volgende vereisten is voldaan:

- minimaal de geleidbaarheid stabiel is geworden en vijfmaal de inhoud van het filterdeel is weggepompt;
- zowel de geleidbaarheid als opgelost zuurstofgehalte stabiel zijn;
- minimaal drie maal het peilbuisvolume verwijderd is.

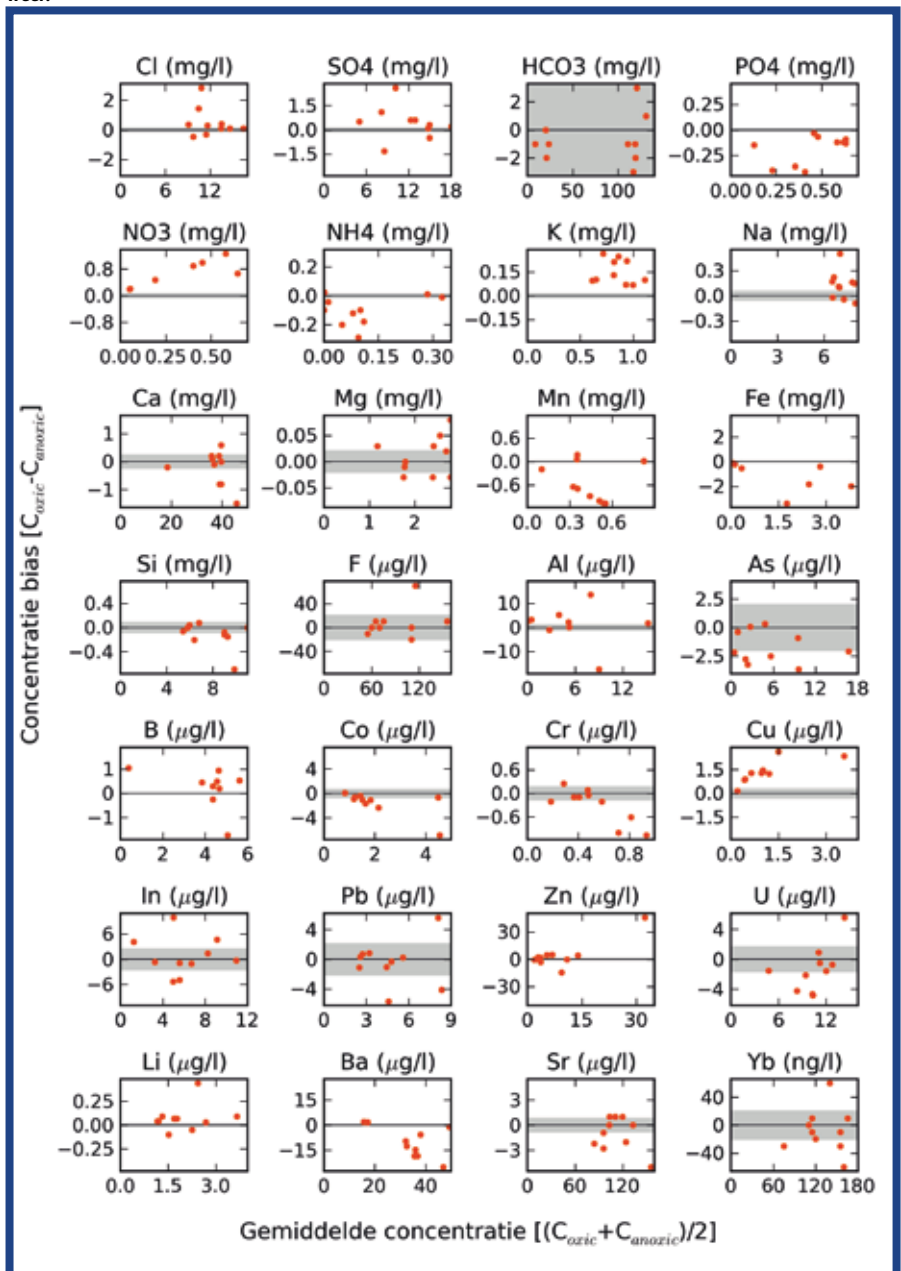
Bovenstaande geeft aan dat de meetfrequentie tijdens afpompen erg belangrijk is: hiervoor geldt dat tussen twee opeenvolgende metingen minimaal de inhoud van de doorstroomcel en slangen ververst moet zijn. Deze techniek wordt in de Angelsaksische landen veel toegepast en staat bekend als *low flow purging*. Voordelen van deze techniek zijn onder meer dat de in dit artikel beschreven problemen zich niet meer voor kunnen doen, dat de troebelheid van het water vermoedelijk lager blijft omdat de stroomsnelheid lager is en minder fijne deeltjes worden gemobiliseerd, én dat bij slecht lopende ondiepe peilbuizen wordt vermeden dat het filter drooggepompt wordt. Beluchting als gevolg van droogpompen kan leiden tot verlies van vluchtige stoffen en kan in anoxisch grondwater opgeloste metalen doen neerslaan.

Is *low flow purging* dan het ei van Columbus? Niet helemaal. Bij diepe peilbuizen is het zelfs met een verzwaarde slang lastig om de slang op diepte te krijgen. De nieuwe NEN-norm kent daarom een uitzondering: bij diepere peilbuizen (meer dan 15 meter) waarbij de slang niet op diepte te krijgen is, mag de slang ondieper hangen en mag harder worden afgepompt (waarbij de grondwaterstand met maximaal 50 cm mag worden verlaagd). De nieuwe norm stelt dan de eis dat het volume water tussen slang en



Afb. 3: Opgelost zuurstof (links) en temperatuurprofielen (rechts) gemeten in peilbuis S2 te Bilthoven.

Afb. 4: Resultaten laboratoriumanalyses waarbij het verschil tussen zuurstofhoudende en anoxische monsters is uitgezet tegen de gemiddelde waarde van de twee monsters. De grijze balk geeft de meeton nauwkeurigheid weer.



filter minimaal éénmaal ververs moet zijn. Het valt te verwachten dat veel veldwerkbu-reaus deze mogelijkheid zullen gebruiken om de diepe peilbuizen nog steeds op de ouderwetse manier te bemonsteren. Bemonstering van diepe peilbuizen vereist anders wel erg veel PE-slang. De eis dat nu nog maar één peilbuisvolume ververs dient te worden, vormt in de meeste gevallen een duidelijke versoepeling ten opzichte van de oude norm. Om te voorkomen dat problemen met zuurstof zoals geschetst in dit artikel persistenten, is het wenselijk dat zuurstof-metingen een degelijk, verplicht onderdeel worden. Dat is thans het geval in landen waar veel ervaring is opgedaan met *low flow purging*. Een tweede mogelijk probleem met *low flow purging* kan zich voordoen in de wintermaanden, wanneer thermische convectie in de peilbuis een rol kan spelen en zuurstof doordringt in monsters anoxisch grondwater voordat ze bovenkomen.

Conclusies

Uit dit onderzoek blijkt dat de diepte waarop wordt voorgepompt en bemonsterd op elkaar moeten worden afgestemd. Dit is eenvoudig te standaardiseren en kan worden opgenomen in de NEN-norm voor situaties waar niet volgens *low flow purging* wordt bemonsterd. Verder blijkt

dat zuurstof-metingen belangrijk zijn om te waarborgen dat geen stagnant zuurstof-houdend water wordt bemonsterd. Zuurstof-metingen moeten daarom in onze optiek worden opgenomen als verplichting in de NEN-norm.

LITERATUUR

- 1) Cherry J. et al. (1983). Migration of contaminants in groundwater at a landfill: a case study: 2. Groundwater monitoring devices. *Journal of Hydrology* nr. 1-2, pag. 31-49.
- 2) Stuyfzand P. (1983). Hydrochemische onderzoeksmethoden ter analyse van grondwaterstroming. *H₂O* nr. 22, pag. 141-146 en 166-169.
- 3) Stuyfzand P. (1987). Influences of filtration and storage of groundwater samples on sample composition. *Trends in Analytical Chemistry* nr. 2, pag. 50-54.
- 4) Puls R., B. Clark, R. Powell en C. Paul (1992). Metals in ground water: sampling artifacts and reproducibility. *Hazardous Waste and Hazardous Materials* nr. 2, pag. 149-162.
- 5) Quevauviller P. (2004). Traceability of environmental chemical measurements. *Trends in Analytical Chemistry* nr. 3, pag. 171-177.
- 6) Roy S. en A. Fouillac (2004). Uncertainties related to sampling and their impact on the chemical analysis of groundwater. *Trends in Analytical Chemistry* nr. 3, pag. 185-193.
- 7) Barcelona M., H. Wehrmann en M. Varljen (1994). Reproducible well-purging procedures and VOC stabilization criteria for groundwater sampling. *Ground Water* nr. 1, pag. 12-22.
- 8) Konieczka P., L. Wolska en J. Namienik (2010). Quality problems in determination of organic compounds in environmental samples, such as PAHs and PCBs. *Trends in Analytical Chemistry* nr. 7, pag. 706-717.
- 9) Puls R. en R. Powell (1992). Acquisition of representative ground water quality samples for metals. *Ground Water Monitoring & Remediation* nr. 3, pag. 167-176.
- 10) Kjeldsen P. (1993). Evaluation of gas diffusion through plastic materials used in experimental and sampling equipment. *Water Research* nr. 1, pag. 121-131.
- 11) Vroblesky D., C. Casey en M. Lowery (2007). Influence of dissolved oxygen convection on well sampling. *Ground Water Monitoring and Remediation* nr. 3, pag. 49-58.
- 12) Sammel E. (1968). Convective flow and its effect on temperature logging in small diameter wells. *Geophysics* nr. 6, pag. 1004-1012.
- 13) Van Dijk G., H. Perebolte en S. Schulten (2011). NEN5744 voor nemen van grondwatermonsters ingrijpend veranderd. *Bodem* nr. 3, pag. 28-29.

advertentie

Uw proces verdient...



...een Verderflex Dura

Kijk voor ons compleet fitnessprogramma op www.wijkboerma.nl of bel 050 549 59 00

VAN WIJK & BOERMA
VERDER

Bereik de kopstukken van de Nederlandse watersector met uw advertentie in H₂O

Neem contact op met Roelien Voshol, tel. 010 - 42 74 154 of
Brigitte Laban, tel. 010 - 42 74 152