



Pilotkolommen voor marmerfiltratie, onderdeel van de volautomatische proefinstallatie

AUTEURS



Danny van der Veldt
(Royal HaskoningDHV)



Marleen Heidekamp
(Evides Drinkwater-
bedrijf)



Harmen van der Laan
(drinkwaterbedrijf
Oasen, H30.nu)

REMINERALISATIE VAN REVERSE OSMOSIS-PERMEAAT BIJ DE PRODUCTIE VAN DRINKWATER

Nederlandse drinkwaterproducenten stuiten steeds vaker op antropogene stoffen in het water dat ze winnen, zoals industriële stoffen, medicijnresten en bestrijdingsmiddelen. Hoewel aangetroffen concentraties nog laag zijn, bezinnen de bedrijven zich op nieuwe manieren van zuivering. Ook de verzilting van het (oever)grondwater vormt een flinke uitdaging. De vraag daarbij is: welke methode kies je om die stoffen optimaal te verwijderen en hoe zorg je vervolgens dat het geproduceerde water weer chemisch stabiel is en aan de wettelijke normen voldoet (remineralisatie)?

Evides Waterbedrijf en Oasen Drinkwater deden een nagenoeg gelijksoortig onderzoek naar de toepassing van remineralisatie na zuivering van oppervlaktewater en (oever)grondwater door reverse osmosis (RO). RO-permeaat is namelijk wel schoon, maar chemisch niet stabiel. Evides en Oasen deden hun onderzoek deels zelfstandig, deels gezamenlijk. De onderzoeksvragen richtten zich op het vaststellen van ontwerpparameters voor het remineralisatieproces (zoals contacttijd en efficiëntie van het gebruik van koolzuurgas), én op de relatie tussen filtratiesnelheid en de vereiste drinkwaterkwaliteit, zoals het gehalte aan waterstofcarbonaat en troebelheid. Ook is gekeken of de kalkafzettendheid van het geproduceerde water voldoet aan de gestelde eisen.

Tabel 1. Samenvatting pilotonderzoek Oasen naar de best beschikbare remineralisatiemethode, afgewogen op waterkwaliteit, operationele parameters, robuustheid (FMECA), duurzaamheid (LCA) en kosten

Bron		Calciumcarbonaat (marmer) CaCO ₃			Calcium Chloride CaCl ₂	
		Korrels	Poeder	Oplossing		
Vorm		0,5 – 1,2mm	3 µm			
Korrelgrootte		0,5 – 1,2mm	3 µm			
Techniek		Filter	Doseren	MCR	Doseren	Doseren
Deel/volstroom		100%	25%	25%	100%	100%
Grondstoffen		-	CO ₂	CO ₂	NaOH CO ₂	NaHCO ₃
Waterkwaliteit						
Troebeling, SI ^(a) , pH		✓	✓	✓	✓	✓
PACC _x ^(b)	<0,4 mmol	✓	✓	-	-	-
Operationele parameters						
Contacttijd	min	15-20	30	<10	<1	<1
CO ₂ efficiëntie	%	85%	35%	40%	>98%	-
CO ₂ gebruik	mmol/L	-	10	8,5	0,2	-
Energieverbruik	kWh/m ³	0,06	0,07	0,05	0,00	0,00
Failure Mode, Effects and Criticality Analysis						
Aantal risico's	#	6	21	22	6	10
Life Cycle Analysis						
Impact	kg CO ₂ eq/yr	11 · 10 ⁴	19 · 10 ⁴	17 · 10 ⁴	110 · 10 ⁴	36 · 10 ⁴
Kosten						
Totale kosten	€/m ³	0,06	0,14	0,09	0,12	0,12

(a) SI: Saturatie Index, maat voor kalkafzettendheid/kalkagressiviteit

(b) PACC_x: Praktisch Afzetbaar Calcium Carbonaat

Remineralisatie
RO-permeaat



Bedrijfsbreed onderzoeksprogramma

Ondanks de hoge kwaliteit van conventionele zuiveringen in de Nederlandse drinkwaterbereiding, is het niet altijd mogelijk om alle antropogene stoffen optimaal te verwijderen, en zout al helemaal niet. Hoewel de concentraties van deze stoffen in drinkwater nog zeer laag zijn en zij geen gevaar vormen voor de volksgezondheid, bereiden beide bedrijven zich voor op de toekomst. Bij Oasen startte men in 2012 met het onderzoeksprogramma *Onberispelijk water met 100% RO en remineralisatie*, om haar nieuwe zuiveringsconcept op basis van membraanfiltratie te onderzoeken en te ontwikkelen. Evides startte in 2014 een bedrijfsbreed onderzoeksprogramma naar oplossingen en toepassingen voor de toekomstige uitdagingen bij de productie van drinkwater (onder andere door middel van membraanfiltratie en remineralisatie), industrie- en afvalwater, inclusief de vraagstukken rondom het leidingnet.

Antropogene stoffen verwijderen uit water

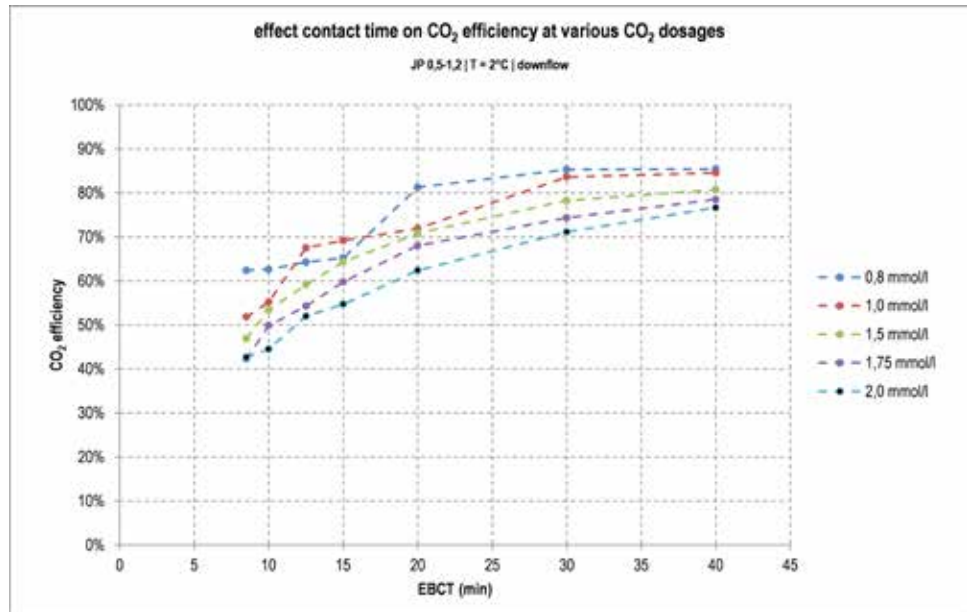
Omgekeerde osmose (RO) is één van de mogelijkheden om antropogene stoffen en zout verregaand te verwijderen. Dit zuiveringsproces wordt in Nederland op beperkte schaal en in deelstroom toegepast in de drinkwaterbereiding. De toepassing op zoet rivier- en (oever)grondwater, enkel en alleen om antropogene stoffen uit het water te halen, is vernieuwend te noemen. Bij RO is een nabehandeling essentieel om het water chemisch stabiel te maken en aan de wettelijke normvoorschriften te laten voldoen. Dit nabehan-

delingsproces heet remineralisatie en zorgt ervoor dat de buffercapaciteit en hardheid op het benodigde peil komen. Bij remineralisatie wordt in het permeaat waterstofcarbonaat in oplossing gebracht door het contact met calciumcarbonaat (marmer). Deze grondstof kan oplossen doordat de kalkagressiviteit van het permeaat hoog is, door het aanwezige koolzuurgas. Dit koolzuurgas kan van nature aanwezig zijn of worden toegevoegd. Na de oplossingsreactie wordt het resterende koolzuurgas weer verwijderd door een ontgassingsstap.

Best beschikbare remineralisatiemethode

Voor Oasen was de belangrijkste onderzoeksvraag: Wat is de best beschikbare remineralisatie-methode? Alle mogelijke technologieën zijn hiervoor in kaart gebracht, waarna er een voorselectie is gemaakt (zie tabel 1). De toepassing van calciumchloride viel af vanwege de hoge kosten en de hoge CO₂-footprint op basis van Life-Cycle Analysis (LCA). Voor het praktijkonderzoek bleven er twee technieken over: (conventionele) marmerfiltratie en microcalcietdosering. Marmerfiltratie bestaat uit een oplossingsreactie door filtratie over marmerkorrels. Microcalcietdosering is de oplossingsreactie van marmerpoeder en scheiding door middel van membraanfiltratie. Bij de laatste is alleen de doseringsoptie op pilotschaal getest. De optie van een Membrane Calcite Reactor (MCR) was ten tijde van het onderzoekprogramma nog niet verder dan lab-schaal ontwikkeld. Daarmee verviel deze optie, aangezien Oasen op korte termijn

Afbeelding 1.
Efficiëntie van
koolzuurgasgebruik
tijdens reminerali-
satie met marmer-
filtratie als functie
van de contacttijd bij
verschillende kool-
zuurgasdoseringen
en een watertempe-
ratuur van 2°C



de beste techniek wil kunnen implementeren.

Pilotonderzoek remineralisatie bij lage watertemperaturen

Bij het pilotonderzoek van Evides was de hoofdvraag: Is het mogelijk RO-permeaat te remineraliseren bij een lage watertemperatuur? En is dat een duurzaam en werkbaar proces? Evides neemt vanuit de spaar-bekkens in de Brabantse Biesbosch oppervlaktewater uit de Maas in, waarvan de temperatuur in de winter tot 2° C kan dalen. Er is weinig bekend over remineralisatie bij zeer lage temperaturen. De vraag was of dat limiterend zou gaan werken voor de reactiekinetiek en het oplossen van de benodigde mineralen. Daarbij is ook gekeken naar de optimale bedrijfsvoering en de kosten van deze processtap.

Verschillende remineralisatietechnieken bekeken op operationele parameters

In de pilotopstellingen van Evides en Oasen werden op een schaal van 1 tot 10 m³ per uur de verschillende remineralisatietechnieken op operationele parameters onderzocht: de efficiëntie van koolzuurgasgebruik, energiekosten, waterkwaliteit, faalkansen, duurzaamheid en natuurlijk kosten. De hypothese was dat marmerfiltratie niet als beste zou scoren, met name als het gaat om de troebelheid van het geproduceerde water als gevolg van het uitspoelen van zeer fijne marmerdeeltjes. Het onderzoek liet echter zien dat marmerfiltratie tóch het beste scoorde door een hoge waterkwaliteit, een grote CO₂-efficiëntie

(85-90%) en lage kalkafzettendheid. Anders dan verwacht bleek juist in het geproduceerde water met marmerfiltratie de troebelheid minimaal. Een smaakpanel op de Wageningen Universiteit oordeelde positief over de smaak van het 'nieuwe' water van Oasen.

Verschil in gebruikte watertemperatuur

Het belangrijkste verschil tussen de onderzoeken van de beide waterbedrijven is de gebruikte watertemperatuur. Waar Oasen werkt met een relatief constante grondwatertemperatuur van 11° C, staat Evides voor de uitdaging om ook 's winters gezuiverd oppervlaktewater te remineraliseren bij een temperatuur van 2° C. Het pilotonderzoek met marmerfiltratie bij lage watertemperaturen heeft laten zien dat - als gevolg van een tragere reactiekinetiek - er óf een langere contacttijd óf een hogere (en daarmee inefficiëntere) koolzuurdosering nodig is om dezelfde waterkwaliteitsdoelstellingen te halen als bij 11° C (zie afbeelding 1). Dit heeft direct gevolgen voor de dimensionering en het kostenplaatje van het remineralisatieproces. De onderzoeksresultaten laten echter zien dat dit niet leidt niet tot onrealistische praktijk-situaties.

Eindconclusie

Als uitkomst van het vierjarige onderzoeks-programma bij Oasen kwam marmerfiltratie als best beschikbare techniek voor remineralisatie naar voren. De robuustheid, de hoge CO₂-efficiëntie en de lage

troebelheid en kalkafzettendheid waren doorslaggevend. Evides en Oasen kwamen op hetzelfde kostenplaatje uit: ongeveer 6 tot 8 cent per kubieke meter geproduceerd water. Daarmee is marmerfiltratie ook nog eens het voordeligst. Marmerfiltratie heeft daarom de voorkeur en zal in de nabije toekomst ook daadwerkelijk op een van de zuiveringen van Oasen worden gerealiseerd.

De onderzoekers van Evides hebben na uitgebreid onderzoek aangetoond dat het ook bij zeer lage watertemperaturen mogelijk is om permeaat te remineraliseren bij praktisch acceptabele contacttijden en koolzuurgasdoseringen. De efficiëntie daalt weliswaar ten opzichte van het proces bij hogere watertemperaturen, maar de waterkwaliteitsnormen kunnen gehaald worden zonder dat dit tot onacceptabel hoge kosten leidt. De ontwerpparameters voor marmerfiltratie vallen binnen de verwachte waarden, met realistische filtratiesnelheden en filterbedvolumes. Ook de kalkafzettendheid van het filtraat is uitgebreid onderzocht en voldoet aan de eisen.

Vervolgstappen

Op basis van het proefonderzoek werkt Oasen momenteel het volledige ontwerp voor haar nieuwe zuiveringen uit. Oasen is in het TKI-project *Remineralisatie van RO Permeaat* in samenwerking met KWR Water Research en Royal HaskoningDHV doorgegaan met het onderzoek naar verdere optimalisatie en chemische modellering van marmerfiltratie. Evides gebruikt de uitkomsten van dit onderzoek binnen een breder onderzoek naar toekomstige zuiveringstechnieken. Op de Amsterdam International Water Week 2015 initieerde Oasen een internationale sessie rondom het thema remineralisatie. Evides en Oasen presenteren daarnaast allebei hun resultaten op de European Desalination Society-conferentie in Rome in 2016.

Danny van der Veldt
(Royal HaskoningDHV)
Marleen Heidekamp
(Evides Drinkwaterbedrijf)
Harmen van der Laan
(drinkwaterbedrijf Oasen, H30.nu)

Bronnen

Coppens L. et al. (2014), Impact van RWZI's op geneesmiddelconcentraties in kwetsbaar oppervlaktewater, H₂O, 26 november 2014

Houtman, C.J. et al. (2010) Emerging contaminants in surface waters and their relevance for the production of drinking water in Europe, *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 7:4, 271-295, DOI: 10.1080/1943815X.2010.511648

Hamann, E et al. (2016) The fate of organic micropollutants during long-term/long-distance river bank filtration, *Sci Total Environ*. 2016 Mar 1;545-546:629-40. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.057. Epub 2016 Jan 5.

Ter Maat J. et al. (2015) Cumulatieve effecten van externe ingrepen voor de zoetwatervoorziening in de 21e eeuw, Rapport Deltares, Deltaprogramma, Deelprogramma Zoetwater, juni 2015 (http://publications.deltares.nl/1220104_000.pdf)

Remineralisatie
RO-permeaat

SAMENVATTING

Evides Waterbedrijf en Oasen Drinkwater willen toekomstige bedreigingen van de drinkwaterkwaliteit vóór zijn. Daarom deden zij (deels gezamenlijk) onderzoek naar de toepassing van remineralisatie bij het produceren van drinkwater met reverse osmosis (RO). Hun onderzoeksvragen richtten zich op het vaststellen van ontwerpparameters, zoals contacttijd en efficiëntie van het gebruik van koolzuurgas, én op filtratiesnelheid in relatie tot de kwaliteitseisen, zoals waterstofcarbonaat en troebelheid. Ook is gekeken of de kalkafzettendheid van het geproduceerde water aan de eisen voldoet.

Bij beide bedrijven bleek marmerfiltratie de best beschikbare techniek voor remineralisatie. Oasen zal die techniek in de nabije toekomst ook daadwerkelijk op een van haar zuiveringen realiseren. De onderzoekers van Evides toonden aan dat het 's winters ook bij zeer lage watertemperaturen mogelijk is om permeaat te remineraliseren bij praktisch acceptabele contacttijden en koolzuurdoseringen. Evides gebruikt de uitkomsten van dit onderzoek binnen een breder onderzoek naar toekomstige zuiveringstechnieken.