



Doris van Halem, TU Delft

Guus Soppe, Waterlaboratorium Noord

Jan Kroesbergen, Het Waterlaboratorium

Hans van der Jagt, Kiwa Water Research

Effectiviteit van met zilver geïmpregneerde keramische potfilters voor waterzuivering op kleine schaal

Zilver geïmpregneerde keramische potfilters worden wereldwijd geproduceerd om water te zuiveren in ontwikkelingslanden op huishoudelijke schaal. In het onderzoek waarover dit artikel handelt, is gekeken naar de opbouw van het filtermateriaal en de verwijdering van micro-organismen voor filters die geproduceerd zijn in drie verschillende landen: Cambodja, Ghana en Nicaragua. Uit de resultaten blijkt dat, ondanks grote effectieve poriën (40 µm), de verwijdering van micro-organismen hoog is.

Toegang tot veilig drinkwater is essentieel voor de gezondheid van iedereen op deze aarde. Volgens een schatting van de VN-wereldgezondheidsorganisatie WHO en UNICEF uit 2000 hebben op dit moment wereldwijd 1,1 miljard mensen geen toegang tot betrouwbare drinkwaterbronnen. Het drinken van niet betrouwbaar drinkwater is één van de hoofdoorzaken van de jaarlijkse 2,2 miljoen doden door diarree¹⁾. Het verbeteren van de kwaliteit van hygiëne, sanitatie en drinkwater zijn bewezen factoren om dit tegen te gaan. De ambitieuze millenniumdoelstelling luidt: het halveren van het aantal mensen zonder duurzame toegang tot veilig water en sanitatie voor het jaar 2015.

Het voorzien van meer dan een half miljard mensen van veilig drinkwater is een grote uitdaging, omdat een groot gedeelte van de bevolking leeft in uitgestrekte, rurale gebieden. Aanleggen van distributienetwerken en gecentraliseerde zuiveringsystemen zal in vele gevallen niet haalbaar zijn op deze korte termijn. Volgens de WHO moet de oplossing voor deze delen van de wereld gezocht worden in zuiveringsystemen op huishoudniveau. De afgelopen jaren zijn veel technieken ontwikkeld om water te behandelen op deze kleine schaal. Voorbeelden hiervan zijn SODIS (gebruik van zonlicht), Biosand-filtratie en keramische

filtratie. Op dit moment worden deze systemen wereldwijd geïmplementeerd.

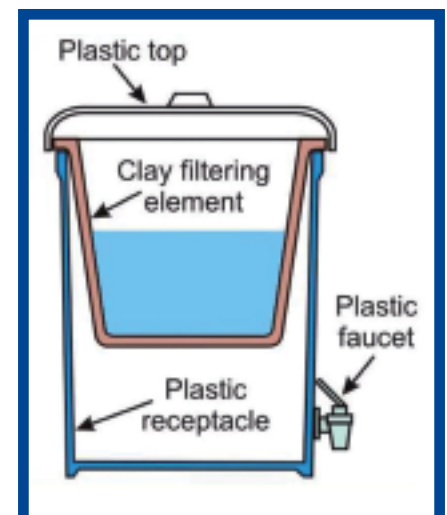
In opdracht van de stichting Aqua for All is in samenwerking met Practica Foundation een onderzoek uitgevoerd aan de TU Delft naar het functioneren van één van deze systemen: zilver geïmpregneerde keramische potfilters. De experimenten hebben plaatsgevonden in het laboratorium van de sectie Gezondheidstechniek en het Microlab. Het onderzoek is begeleid door een afstudeercommissie bestaande uit medewerkers van de sectie Gezondheidstechniek, Microlab en UNESCO-IHE.

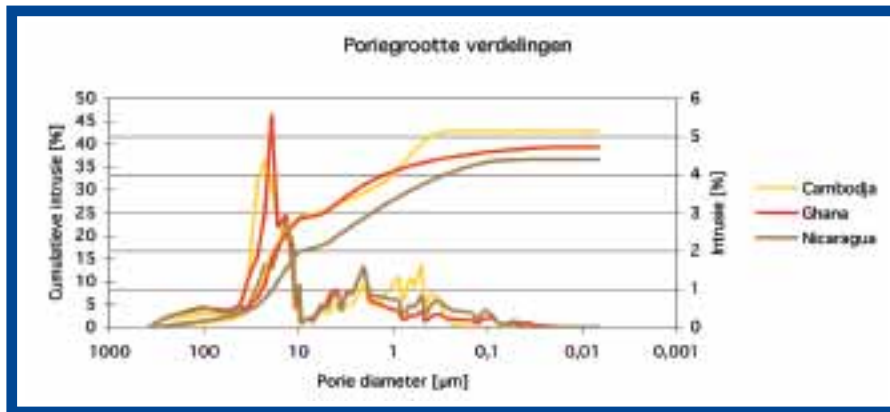
Keramische potfilters worden meestal geproduceerd naar het ontwerp van de Amerikaanse organisatie 'Potters for Peace'. Ze worden gebakken uit een mengsel van klei, zaagsel en water. Tijdens het verhittingsproces verbrandt het zaagsel en blijft een poreus materiaal over. De vorm van het filter is zodanig dat het in een emmer gehangen kan worden, waarbij deze volledig van de omgeving wordt afgesloten, waardoor de kans op herbesmetting verkleind wordt (zie afbeelding). Na het bakken van het filter wordt deze in een oplossing met colloïdaal zilver gedompeld. Volgens de makers zou dit een desinfecterende werking hebben. De kosten van een compleet systeem variëren

tussen de vijf en twaalf Amerikaanse dollar. De afgelopen jaren zijn fabrieken opgezet in onder andere Bangladesh, Cambodja, Ghana, Mexico en Nicaragua. De filters worden verkocht aan lokale niet-gouvernementele organisaties en organisaties als het Rode Kruis en Artsen zonder Grenzen.

Potters for Peace geeft aan dat het filterma-

Afb. 1: Zilver geïmpregneerde keramische potfilter (bron: Potters for Peace)





Afb. 2: Poriegrootteverdeling per productielocatie

teriaal poriën bevat van maximaal 1 µm. Dit moet voldoende zijn om alle bacteriën te verwijderen. Onderzoekresultaten die deze aanname onderschrijven, ontbreken echter. Het accent van voorgaand onderzoek lag op veldwerk. Zo heeft Brown²⁾ in Cambodja een verlaging in diarreegevallen van 46 procent waargenomen bij gezinnen die gebruik maken van de filters. Fundamenteel onderzoek naar de opbouw van het filtermateriaal en de verwijdering van pathogene micro-organismen is echter gering. Daarom is in dit onderzoek geprobeerd betrouwbare data te verzamelen over de werking en de beperkingen van keramische filters in het laboratorium. Voor het onderzoek zijn keramische potfilters geïmporteerd uit drie landen: Cambodja, Ghana en Nicaragua. Uit Nicaragua zijn ook filters geleverd zonder het laagje zilver om de werking van het zilver te onderzoeken.

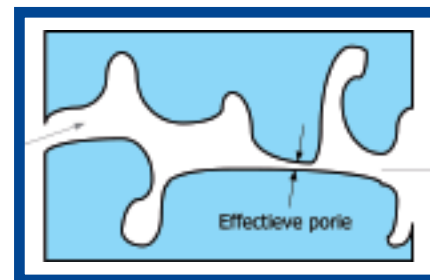
Materiaaleigenschappen

De opbouw van het filtermateriaal is onderzocht met behulp van kwikintrusie en zogeheten bubble-pointtesten. De kwikintrusiemetingen zijn gebruikt om de poriegrootteverdeling te bepalen. Met deze techniek kunnen in principe poriën tussen de 0.006 µm en 360 µm gemeten worden. De gevonden poriegrootteverdelingen zijn weergegeven in afbeelding 2 en laten vergelijkbare resultaten zien voor de filters van de verschillende productielocaties. Dit is opvallend, zeker als in ogenschouw genomen wordt dat de filters geproduceerd zijn in verschillende delen van de wereld, met verschillende materialen en door verschillende mensen. Wel is te zien dat de poriën groter zijn dan de maximale 1 µm, die geclaimd worden door Potters for Peace.

Om de zeefwerking van het filtermateriaal te bepalen is het van belang te kijken naar de grootte van de effectieve porie in het

filtermateriaal. Deze is de maatgevende porie voor de verwijdering van deeltjes door middel van zeefwerking (zie afbeelding 3). De grootste effectieve porie van het gehele filterelement kan gevonden worden met behulp van de bubble-pointtest. Hierbij wordt de luchtdruk in het filter, ondergedompeld in water, geleidelijk opgevoerd, totdat op een bepaald moment een stroom bellen zichtbaar wordt. Op dat moment passeert lucht de grootste effectieve porie in het filter en uit de druk kan de poriediameter berekend worden. Deze effectieve poriegrootte lag voor alle filters rond de 40 µm. Als deze poriegrootte een grote bijdrage zou hebben aan de effectiviteit van het filter, kan worden verwacht dat kleine pathogene micro-organismen niet verwijderd zullen worden. Gelukkig is, naast de verwijdering door de zeefwerking van het filtermateriaal, ook sprake van verwijdering door andere mechanismen zoals bezinking, diffusie, adsorptie en afdoding. De invloed van deze mechanismen is in kaart gebracht door het bepalen van het totale porieoppervlak en de tortuositeit van het filtermateriaal.

Het totale porieoppervlak van het filtermateriaal is berekend met behulp van de kwikintrusiedataset. De gemiddelden per productielocatie variëren tussen de 0.7 en 1.3 m²/g voor de filters met zilverimpregnatie. De filters uit Nicaragua zonder zilver laten een veel groter porieoppervlak zien: gemiddeld 7.1 m²/g. Dit kan betekenen dat na het aanbrengen van zilver het adsorptieve vermogen van het filtermateriaal afneemt. De tortuositeit van het filtermateriaal geeft de verhouding weer tussen de dikte van het materiaal oftewel de kortste weg door het filter en de werkelijk afgelegde weg (zie afbeelding 4). Naarmate de tortuositeit groter is, zal de kans op onder andere adsorptie en sedimentatie groter zijn. Uit de berekeningen met de kwikintrusie-



Afb. 3: Effectieve porie

tingen en de Blake-Kozeny-vergelijking bleek dat het filtermateriaal zeer tortuoos is vergeleken met bijvoorbeeld een zandfilter.

Een materiaaleigenschap die zeer belangrijk is voor het goed functioneren van een filter, is de doorlatendheid. Een goed filter moet niet alleen betrouwbaar drinkwater leveren, maar ook voldoende water. In de fabrieken wordt veelal als vuistregel gebruikt dat de filters verkocht mogen worden als het debiet tussen de één en twee liter per uur ligt. Voor het onderzoek in het laboratorium naar de verwijdering van micro-organismen en de afgifte van metalen zijn de zes filters per productielocatie gedurende twaalf weken getest met ruw water uit de Schie te Delft. Het ingestelde debiet over de filters komt overeen met het gemiddelde gebruik van drinkwater door een kleine familie. Het verloop in debiet is weergegeven in afbeelding 5 als gemiddelden per productielocatie. De initiële flux lag voor een groot aantal filters onder het minimum van één liter per uur. Daarnaast zorgt het kanaalwater voor verstoppingen in de poriën, waardoor het debiet verder afneemt in de tijd. In afbeelding 5 zijn twee duidelijke pieken zichtbaar die veroorzaakt zijn door het schoonmaken (schrobben) van het filter element. De verhoging van het debiet door het schrobben is echter tijdelijk en een tweede schrobbeurt heeft al minder effect dan de eerste. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de poriën dieper in het filter verstopten in de loop van de tijd. Deze worden immers niet tijdens het schrobben bereikt.

Verwijdering van micro-organismen

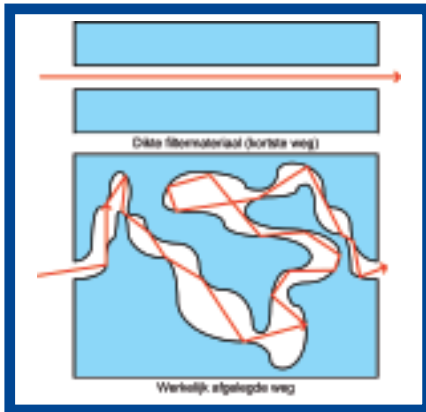
Pathogene micro-organismen kunnen verschillende ziekten veroorzaken, die via het water snel epidemisch kunnen worden. Tijdens de duurtest zijn in het laboratorium van Gezondheidstechniek 24 filters (zes van

Tabel 1: Totale coliformen aangetroffen in effluentmonsters

Land van herkomst	< 1	1-10	> 10
	[kve/300mL]	[kve/300mL]	[kve/300mL]
Cambodja	45 (94%)	3 (6%)	0
Ghana	41 (85%)	7 (15%)	0
Nicaragua	48 (100%)	0	0
Nicaragua (zonder zilver)	41 (85%)	7 (15%)	0

Tabel 2: Log₁₀-reductiewaarden van E. coli K12 en Clostridiumsporen

Land van herkomst	E.coli K12	Clostridium sporen
	[LRV]	[LRV]
Cambodja	3 tot 6	2 tot 4
Ghana	4 tot 7	2 tot 5
Nicaragua	4 tot 7	3 tot 5
Nicaragua (zonder zilver)	2 tot 5	3 tot 5

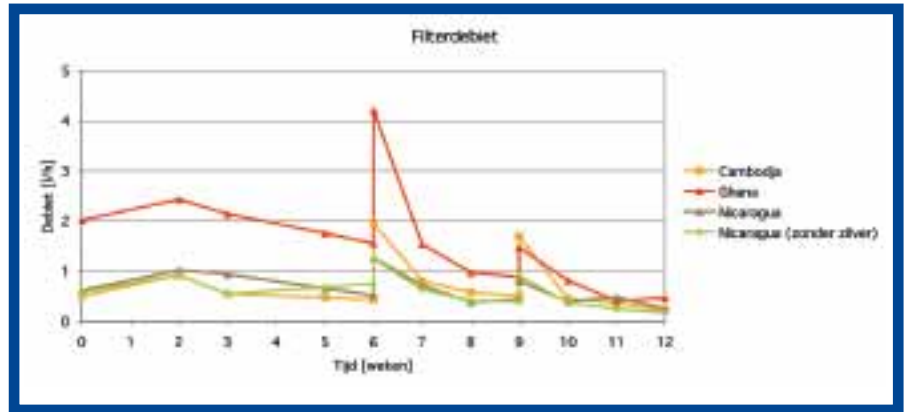


Afb. 4: De tortuositeit

elke filtertype) getest op de verwijdering van totale coliformen, *E. coli* K12, sulfietreducerende Clostridiumsporen en MS2-bacteriophagen. Deze indicatororganismen zijn gebruikt om een beeld te krijgen van de potentiële verwijdering van pathogene bacteriën, protozoa en humane enterovirussen door keramische filters. De totale coliformen uit het kanaalwater zijn wekelijks gemeten in het ruwe en gefiltreerde water. In tabel 1 zijn de gemeten coliformen in het effluent weergegeven. Het is te zien dat in geen van de genomen monsters meer dan 10 kve/300ml is aangetroffen. Er is een lichte variatie tussen de verschillende productie locatie en vooral de filters uit Nicaragua hebben uitstekend gepresteerd met geen enkele coliforme bacterie in de 48 genomen monsters.

De te verwijderen concentraties uit het kanaalwater waren echter niet erg hoog, waardoor de bereikte \log_{10} -reductiewaarden tussen de 1 en 4 lagen, variërend met de hoogte van de influentconcentratie. Het bereiken van hogere \log_{10} -reductiewaarden is bewerkstelligd door tweewekelijkse hoge concentraties *E. coli* K12 (10^5 - 10^7 kve/100ml) aan het kanaalwater toe te voegen. Tabel 2 geeft een overzicht van de bereikte \log_{10} -reductiewaarden. Te zien is dat de filters met zilver beter presteren. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het zilver een inactiverende rol heeft in het filter op *E. coli* K12. Wel moet vermeld worden dat zowel voor de filters met als de filters zonder zilver de behaalde \log_{10} -reductiewaarden zeer hoog liggen. De experimenten met sulfietreducerende Clostridiumsporen (10^3 - 10^5 kve/100ml) laten \log_{10} -reductiewaarden zien tussen de 2 en 5. Opmerkelijk was dat de gemeten effluentconcentraties onafhankelijk waren van de influentconcentratie. Opvallend aan deze metingen is ook dat de concentraties gevonden in de filters uit Nicaragua met en zonder zilver dezelfde waardes laten zien. Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat het zilver geen noodzakelijke toevoeging is voor de verwijdering van Clostridiumsporen.

MS2-bacteriophagen (10^4 - 10^6 pve/ml) en RNA-virussen zijn gedoseerd als indicator voor de verwijdering van virussen. De dosering vond plaats in week 5 en na afloop van de duurttest. Voor de bepaling van de verwijdering van MS2-bacteriophagen is



Afb. 5: Filterdebiet uitgezet tegen de tijd

gebruik gemaakt van een analytische bioassaytechniek. Deze analytische methodiek is onderdeel van internationale procedures ter verificatie van materialen en voedingsproducten. De gemeten \log_{10} -reductiewaarden variëren tussen de 0,5 en 3. De waarden nemen toe als de filters langer in gebruik zijn en liggen significant hoger voor de filters zonder zilverimpregnatie. Deze laatste uitkomst kan mogelijk verklaard worden door het eerder genoemde lagere porieoppervlak in de filters met zilver.

Uitloging van metalen

Tijdens de duurttest is een breed scala aan metalen gemeten om te kijken wat de verwijdering en/of uitloging zou zijn. Verschillende componenten komen in het water vanuit het filtermateriaal, zoals aluminium, silicium en barium. De concentraties van deze metalen in het effluent zijn exponentieel afgenomen in de tijd, waardoor ze na enkele weken onder de WHO-richtlijn uitkwamen. Het enige metaal dat aangetroffen is in hogere concentraties over een langere periode is arsen. Langdurige blootstelling aan arsen kan huidkanker veroorzaken³⁾ en aandoeningen aan de longen, blaas en nieren. De richtlijn van de VN-wereldgezondheidsorganisatie is gesteld op 10 $\mu\text{g/l}$. Vooral de filters uit Cambodja laten uitloging zien boven deze waarde, ook nog na twaalf weken.

Conclusies en aanbevelingen

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de geteste keramische potfilters, al dan niet met zilver geïmpregneerd, een belangrijke potentiële verwijderingscapaciteit voor ziekteverwekkende micro-organismen hebben. Uit de resultaten van de metingen kan worden geconcludeerd dat totale coliformen uit het kanaalwater en hoge concentraties sulfietreducerende Clostridiumsporen goed worden verwijderd door alle filters. De aangetroffen concentraties *E. coli* K12 zijn hoger bij de filters zonder zilverimpregnatie ten opzichte van de filters met zilver. Toch zijn de gemeten \log_{10} -reductiewaarden voor alle filters zeer hoog, zowel met als zonder zilver. MS2-bacteriophagen, als indicatoren voor virussen, worden beter verwijderd door de filters zonder zilver, met een gemiddelde \log_{10} -reductiewaarde van 1,6.

Daarnaast hebben de resultaten van dit onderzoek laten zien dat de (effectieve) poriën van het filtermateriaal (40 μm) veel

groter zijn dan de 1 μm , die aangegeven wordt door de makers van de potten. De verwijdering van veel kleinere micro-organismen vindt echter wel plaats. Andere filtermechanismen als diffusie, adsorptie, bezinking en afdoding spelen dus ook een belangrijke rol bij de werking van de filters.

De belangrijkste tekortkoming van het keramische potfilter is het lage debiet; na twaalf weken gebruik produceren alle filters minder dan 0,5 l/h. De afname in debiet is uiteraard afhankelijk van de kwaliteit van het ruwe water, maar de gemeten debieten zijn onacceptabel laag en onvoldoende om een gezin te voorzien van drinkwater.

Tijdens dit onderzoek is gewerkt met een willekeurige selectie van filters. De filters zijn niet tegelijk geproduceerd en dus afkomstig uit verschillende productiebatches. Gedetailleerde informatie over het exacte productieproces ontbraken, waardoor het niet mogelijk was conclusies te trekken over de reproduceerbaarheid van deze keramische filters. Het bepalen van de reproduceerbaarheid is nodig om tot certificering te komen door de betrokken Nederlandse drinkwaterlaboratoria, maar dit is enkel haalbaar na standaardisatie en documentatie van het productieproces. Grondige documentatie wordt daarom aanbevolen voordat een volgend onderzoek gestart wordt.

Naar aanleiding van dit onderzoek wordt ook aanbevolen om bij een volgend onderzoek het accent te leggen op het verhogen van het filterdebiet, zowel op de verhoging van het initiële debiet als op de ontwikkeling van technieken om het debiet weer te verhogen na een periode van gebruik. Een laatste belangrijke aanbeveling is dat in arseenrijke gebieden eerst gekeken wordt naar de uitloging uit het kleimateriaal, voordat een klei gekozen wordt als hoofdbestanddeel van het keramische potfilter.

LITERATUUR

- 1) Sobsey M. (2002). Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. World Health Organization.
- 2) Brown J. (2006). Independent appraisal of ceramic water filtration interventions in Cambodia. University of North Carolina of Public Health.