

# Capillaire nanofiltratie: éénstaps behandeling voor ruw huishoudelijk afvalwater

S. SAYED, VITENS

I. DIJKSTRA, VITENS

C. MOERMAN, VITENS

Vitens heeft onderzoek verricht naar de technische haalbaarheid van behandeling van ruw huishoudelijk afvalwater door middel van capillaire nanofiltratie. De methode geeft in één stap een hoge kwaliteit permeaat. In vergelijking met een membraanbioreactor heeft deze nieuwe toepassing vooral voordelen ten aanzien van de kwaliteit van het permeaat en het ruimtebeslag. De eerste resultaten zijn veelbelovend. De bedrijfsvoering is qua flux vergelijkbaar met nanofiltratie en qua bedrijfsvoering met ultrafiltratie.

Capillaire nanofiltratie is in 2004 al met succes toegepast bij de behandeling van oppervlaktewater uit het Twentekanaal<sup>3)</sup>. In 2002 is door Vitens en het Waterschap Regge en Dinkel een eerste ervaring opgedaan met capillaire nanofiltratie op huishoudelijk afvalwater<sup>4)</sup>.

De inzet van drinkwater en grondwater als bron voor industriewater wordt steeds minder vanzelfsprekend. Dit wordt onder andere ver-

oorzaakt doordat drinkwater veelal te kostbaar is om in te zetten als industriewater. Daarnaast is het overheidsbeleid gericht op de afname van de onttrekking van grondwater voor deze toepassing. Hierdoor ontstaat de noodzaak tot ontwikkeling van technieken die het mogelijk maken om ook andere waterbronnen, zoals oppervlaktewater en afvalwater, te zuiveren tot de gewenste (industrie) waterkwaliteit.

Het influent en permeaat.



Het behandelen van afvalwater is dus maatwerk geworden.

Tijdens een technische haalbaarheidsstudie naar de behandeling van ruw huishoudelijk afvalwater met behulp van capillaire nanofiltratie zijn de parameters onderzocht die nodig zijn voor een stabiele bedrijfsvoering. Daarnaast is het concentraat behandeld volgens de gistingmethode.

## Installatie

De proefinstallatie bestaat uit een buffertank, voorzuivering en een voorraadtank met voedingswater voor de membranen. Het ruw huishoudelijke afvalwater wordt naar een buffertank geleid en vervolgens verpompt naar een trommelzeef met mazen met een diameter van 0,5 mm. Het water na de trommelzeef is het voedingswater voor de membranen. In de proefinstallatie zijn twee capillaire nanofiltratiemodules van vier inch ingebouwd.

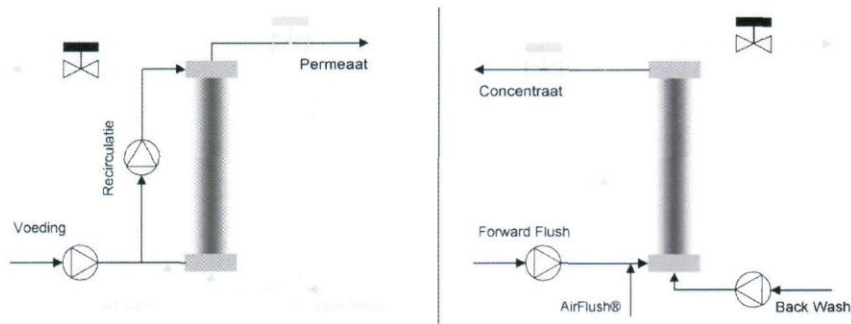
Bij capillaire nanofiltratie wordt gebruik gemaakt van een ultrafiltratiemembraan met aan de binnenkant van het capillair een aangebrachte coatinglaag. De dikte van deze coatinglaag varieert van 0,1 tot 1,0 µm. Elk module bevat 700 capillairen met een totale membraanoppervlakte van 3,6 m<sup>2</sup>. De capillaire modules hebben dus een hoog specifiek oppervlak en zijn goed reinigbaar.

De installatie werkt onder semi dead-end condities (zie afbeelding 1a). Hierbij heeft men de voordelen van een hoge crossflow en dead-end filtratie. Bij een filtratie met crossflow vindt een continue stroming van de voeding langs het membraan plaats. Bij crossflow is de snelheid van de voeding langs het membraan hoog, waardoor een schurende werking langs het membraan ontstaat en de concentratiepolarisatie wordt beheerst. Het membraan vervuult hierdoor minder snel. Een nadeel van de crossflow is het hogere energieverbruik.

Bij het dead-end principe wordt alle voeding als permeaat afgevoerd. Doordat de membraanmodule aan het eind is afgesloten, vindt nauwelijks stroming langs het membraan plaats. Doordat in de capillaire nanofiltratie-installatie een recirculatiestroom over de modules aanwezig is, wordt het genoemde voordeel van de hoge snelheid over het membraan bereikt. Uit het dead-end bedrijven van het systeem volgt de hogere recovery van dit principe. Verversing van het totale systeem vindt plaats door na een bepaalde tijd (na circa 30 filtratiecycli) voor het gehele systeem een 'forward flush' in te zetten.

## Reinigen van de membranen

Het reinigen van het membraan wordt onderverdeeld in een hydraulische en chemische reiniging. Na een filtratiecyclus van 15 minuten wordt een hydraulische reiniging



Afb. 1: Bedrijfsvoering van de directe capillaire nanofiltratie: (a) filtratie en (b) reiniging.

uitgevoerd gedurende een aantal minuten. De hydraulische reiniging bestaat uit 'forward flush', 'back wash' en 'Airflush' (zie afbeelding 1b).

Bij een 'back wash' wordt permeaat in tegengestelde richting door het membraan geperst, hetgeen inhoudt dat schoon water vanaf de buitenzijde van het capillair naar de binnenzijde wordt gedrukt. Een 'back wash' wordt toegepast in combinatie met de 'forward flush'. Door deze combinatie wordt de vervuiling uit het membraan verwijderd. Bij een 'forward flush' wordt het membraan gereinigd door de voeding met verhoogde snelheid langs het membraanoppervlak te spoelen. 'Airflush' wordt gebruikt in combinatie met een 'forward flush'. Om extra snelheid langs het membraanoppervlak te krijgen, wordt tijdens de 'forward flush' lucht in de voeding geïnjecteerd. De combinatie van 'Airflush' en 'forward flush' reinigt het membraan veel effectiever dan alleen 'forward flush'.

Omdat de hydraulische reiniging het membraan niet voldoende reinigt, moet van tijd tot tijd ook chemisch gereinigd worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van waterstofperoxide (250 ppm), zoutzuur (pH 3) en natronloog (pH 11). Met chemisch reinigen verwijdert men organische stof, metalen, zouten en vervuiling die over het algemeen direct aan het membraanoppervlak zit.

Na een filtratielooptijd van acht uur is de druk over het membraan gestegen (van 2,5 tot boven de 4 bar), waarna een chemische reiniging wordt uitgevoerd. Afbeelding 2 geeft het verloop van de genormaliseerde productie per m<sup>2</sup> membraanoppervlak (MTC) en het drukverschil over het membraan in bar (TMP) weer voor een filtratielooptijd van acht uur, welke wordt gevolgd door een chemische reiniging.

**Experimenten**

Gedurende het onderzoek is een aantal experimenten uitgevoerd, waarbij telkens één van de volgende parameters is gevarieerd: de concentratie van de voeding, de flux of de filtratiecyclus.

Voorafgaand aan elk experiment is de schoonwaterflux bepaald. Voor de retentietest van de membranen is een concentratie van 3 g MgSO<sub>4</sub>/l toegepast. Gedurende de eerste fase is de concentratie van de voeding stapsgewijs verhoogd, te weten van 25 naar 50 en later 100 procent ruw huishoudelijk afvalwater en aangevuld met leidingwater. De experimenten zijn begonnen met 25 procent ruw huishoudelijk afvalwater om het eventueel dichtslibben van de membranen te voorkomen door een te zware belasting. Aan de hand van de resultaten

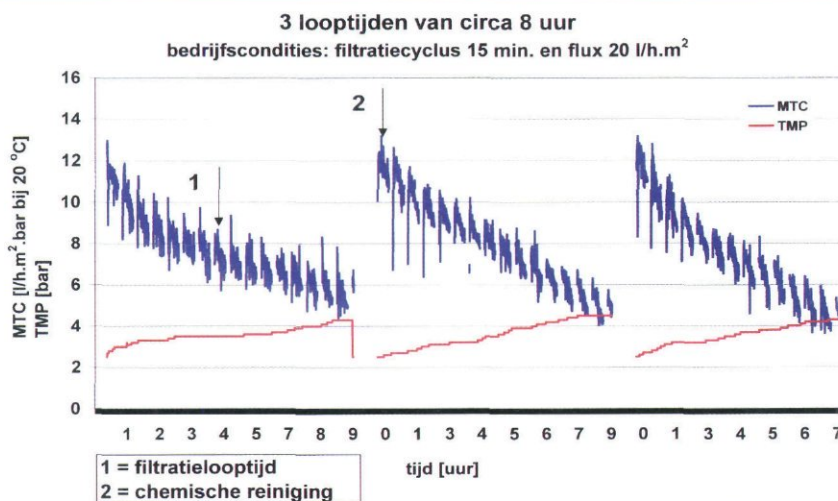
blijkt dat zelfs bij 100 procent ruw huishoudelijk afvalwater geen verstopping van de capillairen optreedt. De tweede fase van het onderzoek bestond uit het bepalen van de optimale flux. De flux is stapsgewijs verhoogd van respectievelijk 10 naar 20 en later 30 l/m<sup>2</sup>.h. De optimale flux bij ruw huishoudelijk afvalwater is gekozen op basis van het verloop van de MTC en de TMP. Uit de experimenten blijkt dat de optimale flux 20 l/m<sup>2</sup>.h bedraagt.

De derde fase van het onderzoek bestond uit het bepalen van de optimale filtratiecyclus. Deze is met stappen van vijf minuten verhoogd. Begonnen is met een cyclus van vijf minuten en geëindigd is met een cyclus van 25 minuten. Tijdens deze experimenten is gebruik gemaakt van 100 procent ruw huishoudelijk afvalwater bij een flux van 20 l/m<sup>2</sup>.h.

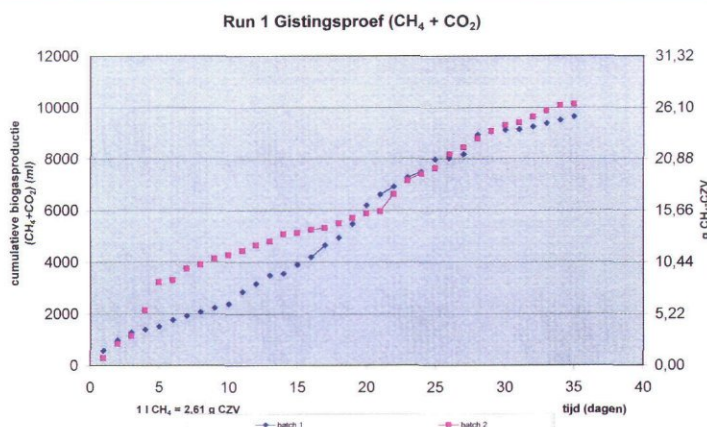
**Verwerking van het concentraat**

Het concentraat, dat als reststroom vrijkomt bij de behandeling van ruw huishoudelijk afvalwater met capillaire nanofiltratie, wordt vergist volgens de anaërobe gistingmethode. Anaërobie gisting is een biologisch proces, waarbij de organische stoffen in het

Afb. 2: Aantal filtratielooptijden.



Afb. 3: Verloop van de gasproductie van een run.



afvalwater onder zuurstofarme condities omgezet worden naar biogas (CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub>). De omzetting vindt plaats door het gebruik van anaërobe bacteriën. Als entslib wordt slijkgistingslib toegevoegd aan het concentraat (primaïr slib).

De toegepaste slibbelading is 0,2 g CZV concentraat/g organische stof slijkgistingslib<sup>5)</sup>. Met deze belading wordt de maximale omzetting van het CZV-gehalte (organische stoffen) naar biogas behaald. De proef is uitgevoerd in duplo. Drie runs zijn uitgevoerd van 28 dagen gisting. Het geproduceerde biogas is gemeten en de gassenstelling is geanalyseerd. Afbeelding 3 geeft de hoeveelheid geproduceerd biogas aan in relatie met de tijd. Het supernatant uit het uitgegiste slib kan vervolgens weer aan de voeding toegevoegd worden om nog een keer behandeld te worden. Op deze manier wordt een zo hoog mogelijke opbrengst van het permeaat behaald.

## Resultaten

### Optimale bedrijfsvoering

Directe toepassing van capillaire nanofiltratie als zuiveringsmethode voor de behandeling van ruw huishoudelijk afvalwater is goed mogelijk. De initiële bedrijfsvoering die is verkregen bij een flux van 20 l/m<sup>2</sup>.h en een filtratiecyclus van 15 minuten is veelbelovend. De productiecapaciteit is qua flux vergelijkbaar met nanofiltratie en qua bedrijfsvoering met ultrafiltratie. Bij deze instellingen wordt een reële opbrengst van 50 tot 60 procent behaald.

### Permeaatkwaliteit

In de tabel is de retentie te zien van een aantal parameters. Tweewaardige ionen worden goed verwijderd. De verwijdering van de bacteriën is 2 log eenheden. De hardheid en de kleur hebben ook een hoog verwijdering-

percentage. Een lage retentie wordt verkregen met betrekking tot de eenwaardige ionen. Uit de tabel kan geconcludeerd worden dat na één zuiveringsstap een hoge kwaliteit permeaat ontstaat, dat al voldoet aan het proceswater voor vele industriële toepassingen. Voor andere doeleinden kan een aanvullende behandeling noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld gericht op de verwijdering van ammonium of een verdergaande desinfectie.

### Concentraatvergisting

De behandeling van het concentraat via de anaërobe gistingmethode is een goede methode. De toepassing van anaërobe gisting op het concentraat geeft een zeer hoog omzettingpercentage van CZV-concentraat naar biogas: circa 60 procent. Het methaangehalte in biogas varieert van 65 tot 70 procent.

### Vervolgonderzoek

Om een goede afweging te maken (onder andere de economische haalbaarheid) is het noodzakelijk om in het vervolgonderzoek de aandacht te richten op het verhogen van de recovery tot 70 à 80 procent (door het verlengen van de filtratietijd en/of de optimalisatie van de chemische reiniging), de combinatie van capillaire nanofiltratie met biologische processen (ammonium, mangaan) én een verdergaande concentraatverwerking. ◀

#### LITERATUUR

- 1) Futselaar H., H. Schonewille en W. van der Meer (2002). Direct capillary nanofiltration - a new high-grade purification concept. *Desalination* nr. 145, pag. 75-80.
- 2) Verberk J., J. Post, W. van der Meer en J. van Dijk (2002). Direct capillary nanofiltration for ground water and surface water treatment. *Proceedings of IWA-conference Melbourne*.

- 3) Dijkstra I., H. Futselaar en D. Brummel (2005). Direct capillary nanofiltration for surface water treatment. *Proceedings of AWWA-membrane conference Phoenix*.
- 4) Bakker S., I. Dijkstra en D. de Vente (2003). Membranefiltratie voor zuivering van influent rwzi. Vitens, Waterschap Regge en Dinkel en Waterpact Twente. Intern rapport Vitens.
- 5) Wiedenhaus D. (2004). Biological wastewater treatment with membrane bioreactor technology. Intern rapport Vitens.

Verwijderingspercentage.

parameter	influent	permeaat	verwijderingspercentage
pH	7,8	7,8	-
DOC (mg/l)	62	16	74,2%
hardheid (mmol/l)	3,21	1,14	64,6%
Fe <sup>3+</sup> (mg/l)	0,39	<0,02	>99%
Al <sup>3+</sup> (µg/l)	940	<5	>99%
Mn <sup>2+</sup> (mg/l)	0,98	0,35	64,3%
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	94,17	54,79	41,8%
NH <sup>4+</sup> (mg/l)	31,0	31,0	0%
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	410	<10	97,6%
NO <sup>2-</sup> (mg/l)	0,03	<0,01	66,7%
NO <sup>3-</sup> (mg/l)	0,07	<0,03	57,1%
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	11	0,59	94,6%
coliformen 37°C (per 100 ml)	104	14	>99%
Escherichia coli (per 100 ml)	104	<1	>99%