



Eerste onderzoek naar behandeling van ruw afvalwater door UF-membranen

IR. H. EVENBLIJ, TU DELFT

IR. A. VAN NIEUWENHUIJZEN, TU DELFT

PROF. IR. J. VAN DER GRAAF, TU DELFT

De behandeling van huishoudelijk afvalwater vindt in Nederland plaats op de rioolwaterzuiveringsinrichtingen, waar het water doorgaans na een mechanische voorzuivering biologisch behandeld wordt. In deze biologische stap wordt organisch materiaal geoxideerd, waarna na eventuele verdere behandeling het water geloosd wordt. Tot voor kort werd membraantechnologie in de afvalwaterzuivering voornamelijk mogelijk geacht als opwerkingsstap van effluent van een rwzi. In een verkennend onderzoek van de sectie Gezondheidstechniek van de TU Delft is gekeken naar de mogelijkheden van membraantechnologie op onbehandeld rwzi-influent. Het filtraat is een deeltjesvrij water dat alleen opgeloste stoffen bevat.

In het kort kan membraantechnologie omschreven worden als een zuiveringstechniek die (vloeistof)stromen op grond van deeltjesgrootte van elkaar scheidt, door middel van een semi-permeabel filter, het membraan.

Door een drukverschil over het membraan (de TransMembraanDruk, TMD) worden deeltjes die kleiner zijn dan de poriegrootte van het membraan erdoorheen geperst, terwijl grotere deeltjes op het membraan achterblijven. Bij een voedingsstroom met veel verontreinigingen wordt veelal de crossflow-configuratie toegepast. Hierbij wordt de voeding met hoge snelheid langs het membraan geleid en hierdoor worden eventuele afzettingen op het membraan verwijderd en meegevoerd (zie afbeelding 1b). Op deze manier kunnen verstoppingsgevoelige (afval)waterstromen toch met membranen gezuiverd worden.

Uiteindelijk blijft na een zuiveringsstap met membranen een tweetal stromen over. Ten eerste het gereinigde water dat het membraan gepasseerd is (het permeaat) en ten tweede het ingedikte water met een hogere concentratie aan verontreinigingen (het concentraat). De hoeveelheid permeaat die geproduceerd wordt, uitgedrukt in liters per seconde, wordt vaak teruggerekend naar een standaard eenheid, de permeaatflux, in liters per vierkante meter per uur. De grootte van deze permeaatflux is afhankelijk van onder meer de volgende factoren:

- TMD: bij een grotere druk wordt meer water door het membraan geperst;
- het membraan: van welk materiaal is het gemaakt, hoe groot zijn de poriën, hoeveel poriën zijn er per vierkante meter;
- de toestand van het water: viscositeit, aantal en hoeveelheid verontreinigingen;

- de manier waarop de installatie bedreven wordt: hoe lang wordt geproduceerd voordat een reiniging plaatsvindt en welke reiniging moet dat zijn. Wordt de dead-end of de crossflowconfiguratie toegepast?

Om erachter te komen hoe deze factoren zich tot elkaar verhouden, zijn in de loop van de proefnemingen de productie- en reinigingsstijden, de TMD en de crossflowsnelheid gevarieerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van een proefinstallatie die opgesteld was in de proefhal van de afdeling Milieutechnologie van Wageningen Universiteit.

Deze installatie, de 'quick scan membrane test unit', bevat twee membraanmodules. Elke module bevat twaalf membranen (polyvinylidene fluoride op een polyester dragermateriaal) met een diameter van 5,2 mm en een lengte van één meter. De twee modules samen hebben een effectief membraanoppervlak van 0,34 vierkante meter. De gemiddelde poriegrootte van het membraan bedraagt 30 nm (ultrafiltratie).

Er wordt gefilterd volgens het inside-out principe: hierbij wordt langs de binnenkant van de membranen vuil water aangevoerd en aan de buitenkant komt het permeaat eruit.

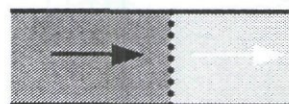
Als voeding voor deze installatie wordt gebruik gemaakt van het influent van de rwzi Bennekom. Direct bij het innamepunt van deze zuivering wordt afvalwater afgetapt voor onderzoeksdoeleinden.

Bij de experimenten wordt het water met hoge snelheid (meer dan twee meter per seconde) langs het membraan geleid terwijl tegelijkertijd ten gevolge van een overdruk water door het membraan geperst wordt. De drukken zijn relatief laag, rond 0,5 bar. Juist doordat de druk zo laag is, kan worden voorkomen dat eventuele verontreinigingen tegen het membraan geperst worden. Hierdoor blijven het membraan en de vuillaag doorlatend en is het afgezette vuil eenvoudig te verwijderen met terugspoelen of de crossflow.

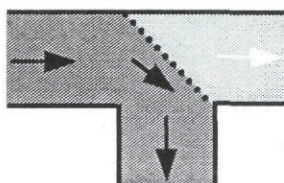
Omdat rioolwater een breed scala aan verontreinigingen bevat, was de verwachting dat de membranen in hoog tempo zouden vervuilen. Daarom wordt naast de reiniging door de crossflowsnelheid een tweede, discontinue reinigingsmethode gebruikt, namelijk terugspoelen. Hierbij wordt gezuiverd water in omgekeerde richting door het membraan geleid, waardoor deeltjes in en op het membraan weggespoeld worden.

Deze terugspoelprocedure werd met intervallen van tien minuten toegepast en de tijdsduur ervan werd gevarieerd tussen 15 seconden en twee minuten. Het bleek dat bij een terugspoeltijd van één minuut de reiniging het meest effectief verliep. Bij verdere proeven

Afb. 1



a. dead-end filtratie



b. crossflow filtratie

is gewerkt met een afwisseling van tien minuten productie en één minuut terugspoelen. In de tien minuten productie werd bij een constante TMD gemeten hoe het productie-niveau verliep.

Hierbij werd vastgesteld dat in de eerst drie tot vier minuten de flux sterk terugliep, maar daarna vrij constant bleef. Daarom is ook geprobeerd om gedurende langere tijd te produceren, zonder terug te spoelen om te zien of het productieniveau naar een constante waarde verloopt.

Het productieniveau liep inderdaad terug, oftewel het membraan vervuilde. Na verloop van tijd werd de vervuilingssnelheid steeds kleiner en leek een bepaald evenwichtstoestand te benaderen. Waarschijnlijk werd een evenwicht bereikt tussen de toelevering van vervuiling als gevolg van de productiestroom, en anderzijds de verwijdering van vervuiling door het wegspoelen ervan met de crossflow stroom. In eerder onderzoek is deze observatie ook gedaan en wordt sindsdien aangeduid met de term 'secondary critical flux', dat is de flux waarbij geen fluxbeïnvloedende vervuiling optreedt.

In de literatuur wordt gewerkt met de 'critical flux', dat is die waarde van de flux waarbij nog net geen vervuiling (flux-afname) optreedt, en die net zo groot is als de zgn. schoonwaterflux bij dezelfde omstandigheden. Als de flux groter wordt, neemt de hoeveelheid verontreiniging die per eenheid van tijd naar het membraan getransporteerd wordt, toe, en zorgt dan voor vervuiling. De 'secondary critical flux' wordt gebruikt om een in de tijd stabiele waarde van de flux aan te geven, die echter lager is dan de schoonwaterflux bij deze omstandigheden. Er zet zich dus een zekere hoeveelheid vervuiling af op het membraan, en deze blijft constant^{2),3),4)}.

Een verklaring hiervoor wordt gevonden in de theorie over de koekfiltratie. Hierbij wordt aangenomen dat op het membraan een laag ontstaat van deeltjes, met een karakteristieke afmeting groter dan de poriegrootte. Door deze laag wordt de totale filterweerstand groter, wat blijkt uit een verminderde productie. Na verloop van tijd echter wordt deze koeklaag niet dikker en fungeert dan als een extra filterlaag op het membraan. Door middel van een reguliere terugspoelprocedure wordt deze laag verwijderd om bij een volgende productieperiode weer opgebouwd te worden.

Verder is een interessant verschijnsel waargenomen met betrekking tot de transmembraandruk. Het bleek dat bij een verhogen van de TMD een vervuiling ontstond die moeilijker te verwijderen was. Met andere woorden, door een hogere druk werd de

vervuiling dieper in de poriën, of steviger op het membraan geperst, waardoor de doorlatendheid ervan kleiner werd.

De crossflowsnelheid veroorzaakt een schuifkracht langs het membraan, waardoor verontreinigingen weggespoeld worden. De grootte van de crossflowsnelheid werd aanvankelijk gekozen op basis van het al dan niet optreden van turbulente stroming. De gedachte was dat turbulente stroming voldoende is om afschurende werking te garanderen. In de loop van de experimenten bleek dat de werking van de crossflowstroom niet in de eerste plaats afhankelijk is van de stromingscondities, maar wel van de schuifspanning die de stroming veroorzaakt.

Het lijkt erop dat bij iedere productiesnelheid een optimale crossflowsnelheid bestaat waarbij de vervuilingssnelheid minimaal is. Anders gezegd, de critical flux is afhankelijk van de toegepaste crossflowsnelheid. In dit geval bedroeg de schuifkracht 22 Pa bij een crossflowsnelheid van 2,4 meter per seconde. Bij andere soortgelijke experimenten is voor de crossflowsnelheid een optimale waarde gevonden, waarbij de weerstand van de vuillaag op het membraan verwaarloosbaar blijft. Deze waarde komt overeen met een schuifspanning tussen 20 en 30 Pa³⁾.

Omdat het membraan gedurende de experimenten vervuilde, werd iedere tien minuten teruggespoeld. Er ontstond echter ook vervuiling die niet met deze terugspoelprocedure te verwijderen was. Daarom werden de membranen na een experiment chemisch gereinigd, met chloorbleekloog. Omdat de membranen gevoelig zijn voor chemisch reinigen kon niet met hoge concentraties gewerkt worden, en

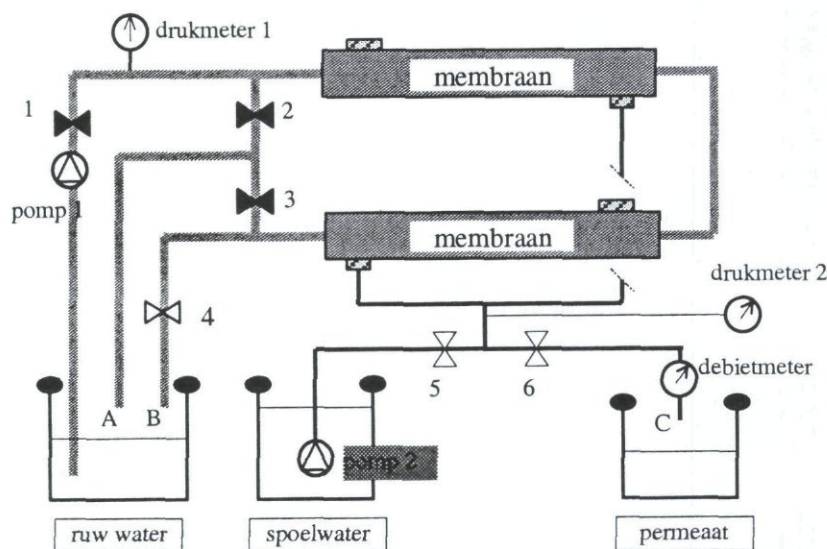
werd gedurende langere tijd (tien tot twaalf uur) een oplossing met een lage concentratie chloor gebruikt. Toch bleek dat het membraan ondanks chemisch reinigen niet helemaal schoon werd. De belangrijkste oorzaak hiervoor wordt gezocht in adsorptie, waarbij hechten geladen deeltjes zich aan het eveneens geladen membraanoppervlak. Dit is ook waargenomen bij de filtratie van leidingwater, waar in de loop van een experiment een weerstandsverhoging van het membraan optrad. Voor de verwijdering van deze vervuiling zijn sterke oxidanten nodig.

Zuiveringsresultaten

Een maat voor het gehalte aan oxideerbare stoffen is het chemische zuurstofverbruik (CZV). Door het membraan wordt ongeveer 65 procent van het CZV tegengehouden. Als hierbij bedacht wordt dat de poriegrootte 30 nm bedraagt, dan kan gesteld worden dat het gezuiverde water alleen nog opgeloste verontreinigingen bevat. Deze gedachtegang wordt nog bevestigd door de troebelheidsmetingen. De troebelheid van de voedingsstroom (circa 130 NTU) werd verwijderd tot minder dan 0,5 NTU. Dat betekent helder water met alleen wat kleur.

Om de kwaliteit van het permeaat te kunnen kwantificeren, zijn ook de stikstof- en fosfaatgehalten bepaald. Ook hier geldt uiteraard dat het permeaat enkel het opgeloste deel van deze stoffen bevatte. Voor fosfaat werd een verwijderingspercentage van 36 procent gehaald en voor stikstof was dat 17 procent.

Omdat de poriegrootte van het membraan 30 nm bedraagt, zullen in het permeaat geen bacteriën, virussen of andere (pathogene)



micro-organismen voorkomen. Het water kan als hygiënisch betrouwbaar worden beschouwd.

Vervolgbehandeling

Bij een membraanproces met crossflow-configuratie blijft een tweetal reststromen over, het permeaat en het concentraat. Voor beide stromen moet een vervolgtraject ontworpen worden, waarvoor verschillende alternatieven beschikbaar zijn.

Het permeaat van een voorzuivering met membranen is van een bijzondere kwaliteit. Zwevende stof is volledig verwijderd, zoals alle micro-organismen en een deel van de organische stof. Wat nog wel aanwezig is, is een hoeveelheid opgeloste nutriënten. De vraag is nu: wat kan er met dit water gebeuren? Omdat het deeltjesvrij is, zou een slib-opdrager-systeem een goed alternatief zijn, omdat hierbij vrijwel geen slibuitspoeling optreedt. Een andere mogelijkheid is een verdere behandeling met membranen alleen, bijvoorbeeld nanofiltratie en omgekeerde osmose, eventueel resulterend in een drinkbaar water. De vraag is of de maatschappelijke acceptatie hiervan oplevert. Een andere mogelijkheid is direct gebruik van het geproduceerde permeaat. Een toepassing hiervan zou in de landbouw kunnen zijn, waar het gebruikt kan worden als nutriëntenhoudend irrigatiewater. Doordat de nutriënten in opgeloste vorm aanwezig zijn, zijn ze goed opneembaar voor planten.

Na de membraanfiltratie zal ook het concentraat verder behandeld moeten worden. Dit zou eveneens met membranen kunnen gebeuren. Door een cascadeconfiguratie te

maken kan het concentraat in een aantal stappen dusdanig ingedikt worden dat het als slib verder verwerkt kan worden.

Een voorzuivering van huishoudelijk afvalwater met behulp van UF-membranen is een alternatief voor de bestaande voorbezinking. Belangrijkste voordeel voor de verdere behandeling is de goede kwaliteit van het permeaat. Het water is vrij van deeltjes en is ook bacterie- en virusvrij, waardoor een uniek toepassingsgebied ontstaat vergeleken met conventionele rwzi's. Omdat de permeaatstroom relatief weinig verontreinigingen bevat en deze allemaal opgelost zijn, zullen volgende zuiveringsstappen minder zwaar belast worden waardoor deze efficiënter kunnen worden uitgevoerd. De membraan-techniek heeft verder als voordeel dat het scheidingsproces grotendeels onafhankelijk van de influentkwaliteit functioneert, waardoor het een betrouwbaar proces is. Verder kan een membraaninstallatie, wanneer nodig, eenvoudig en compact uitgebreid worden.

Om de membraantechnologie concurrerend te maken ten opzichte van bestaande technieken zal nog een aantal hindernissen genomen moeten worden. Eén daarvan is het beperken van het energieverbruik, hetgeen vooral bij de crossflowconfiguratie aanzienlijk is. Een veelbelovende techniek is de continue Airflush⁵⁾, waarbij de membraanmodules verticaal opgesteld worden.

Na deze verkennende proefnemingen staat in elk geval vast dat een voorzuivering van stedelijk afvalwater met UF-membranen een interessante en mogelijk bruikbare techniek is, die verdere aandacht verdient. 

LITERATUUR

- 1) Van Nieuwenhuijzen A., H. Evenblij en J. van der Graaf (2000). Direct wastewater membrane filtration for advanced particle removal from raw wastewater. Presentatie op het 9th International Gothenburg symposium on chemical treatment van 2 tot 4 oktober a.s. in Istanbul.
- 2) Field R., D. Wu, J. Howell en B. Gupta (1995). Critical flux concept for microfiltration fouling. *Journal of Membrane Science* nr. 100.
- 3) Elmaleh S. en L. Abdelmoumni (1998). Experimental tests to evaluate performance of an anaerobic reactor provided with an external membrane unit. *Water Science & Technology* nr. 38, pag. 8-9.
- 4) Bouhabila E. Ben-Aim, en H. Buisson (1998). Microfiltration of activated sludge using submerged membrane with air bubbling (application to wastewater treatment). *Desalination* nr. 118.
- 5) Evenblij H. (1999). Verkennend onderzoek naar membraanfiltratie van ruw RWZI influent in Bennekom. *Afstudeerverslag TU Delft*.
- 6) Worm G., J. Verberk, J. van Dijk en H. Futselaar (2000). Lucht/waterspoeling bij ultrafiltratie. *H₂O* nr. 9.

