



Is nieuwe technologie de oplossing?

W. VAN DER MEER, NUON WATER

J. VERBERK, TU DELFT SECTIE GEZONDHEIDSTECHNIEK

J. VAN DIJK, TU DELFT SECTIE GEZONDHEIDSTECHNIEK

Dat met nieuwe technologie binnen de Nederlandse waterbereiding membraanfiltratie wordt bedoeld zal niemand verbazen. Met name de hoge kwaliteit van het permeaat en het modulaire karakter van de installaties zijn redenen dat veel bedrijven geïnteresseerd zijn in deze technologie. Op tal van locaties wordt op dit moment onderzoek verricht naar (nieuwe) toepassingen van membraanfiltratie. Inmiddels heeft dit ertoe geleid dat in Nederland de eerste membraanfiltratie-installaties op praktischschaal zijn gerealiseerd, variërend van bescheiden installaties van 25 kubieke meter per uur op Schiermonnikoog (Nuon Water) tot de eerste grootschalige toepassing van dubbele UF/RO membraanfiltratie van 3000 kubieke meter per uur in Heemskerk (PWN). Net als aan elke andere zuiveringsmethode kleven ook nadelen aan de membraantechnologie; met name de relatief hoge prijs per kubieke meter permeaat staat een verdere doorbraak in de waterbereiding nog enigszins in de weg. In de afgelopen jaren heeft onderzoek echter geresulteerd in een aantal vindingen, die aan de hand van parallellen naar andere al reeds lang geaccepteerde zuiveringstechnieken, nader zullen worden toegelicht.

Tussen langzame zandfiltratie en traditionele reverse osmosis (RO) en nanofiltratie (NF) membraanfiltratie bestaan verschillende parallellen. Een membraan kan worden voorgesteld als een vlak membraan dat op de filterbodem van een langzaam zandfilter is neergelegd en dat de plaats inneemt van het filterzand. Net als bij langzame zandfiltratie ligt de filtratiesnelheid bij membraanfiltratie in de orde van 0.1 m/uur (bij membraanfiltratie spreken we over flux). Waar bij langzame zandfiltratie het vuil vooral door de toplaag van het filterzand wordt tegengehouden, gebeurt dit bij membraanfiltratie door het vele malen dunnere membraan zelf. Uiteraard

zijn de poriën in het membraan veel nauwer dan die van het filterzand, zodat het zuiveringsrendement vele malen hoger is.

Als we daarbij nog bedenken dat de (afschrijvings)kosten van de membranen relatief laag zijn (bij een membraanprijs van 100 gulden per vierkante meter oppervlak, een flux van 10 cm per uur, een afschrijvingstermijn van vijf jaar en zeven procent rente, bedragen de afschrijvingskosten slechts vijf cent per kubieke meter productwater), lijkt het erop dat de droom van een ideaal zuiveringsproces bereikt is.

In werkelijkheid zitten er helaas nog twee addertjes, onder het gras, te weten:

- verstopping RO/NF-membranen
Waar bij een langzaam zandfilter het vuil geborgen wordt in het filter kent het membraanfilter geen vuilbergende functie en is verstopping van het membraan dan ook in de praktijk vrijwel onvermijdelijk.
- Verpakking RO/NF-membranen
Het toepassen van vlakke membranen is uiteraard kostentechnisch niet erg praktisch. Het vinden van een oplossing voor de verpakking waarbij deze relatief ongevoelig is voor vervuiling is dan ook het grote aandachtspunt bij de toepassing in de praktijk.

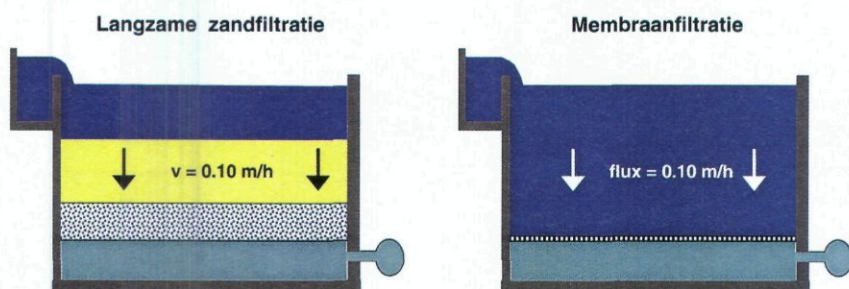
Oplossingen traditionele RO/NF

Om verstopping van het membraanoppervlak te voorkomen, is men bij het traditionele ontwerp van RO/NF-membraanelementen uitgegaan van een turbulente stroming langs het membraanoppervlak. Deze turbulente stroming heeft, naast het verwijderen van stoffen van het membraanoppervlak, als doel om opbouw van zouten in de grenslaag nabij het membraanoppervlak te minimaliseren (voorkomen van scaling). Voor het induceren van deze turbulente stroming wordt bij NF/RO gebruik gemaakt van fijnmazige kunststof gaas, de spacer. Keerzijde aan het gebruik van spacers is het optreden van significante drukvallen in de stromingskanalen door belemmering van de stroming.

Om het verpakingsprobleem van de membranen op te lossen, zijn verschillende uitvoeringsvormen van membraanelementen bedacht (vlakke plaat membranen, capillairen). Van al deze uitvoeringsvormen is voor NF/RO er eigenlijk maar een die veelvuldig wordt toegepast: de spiraalgewonden membraanelementen. Deze uitvoeringsvorm combineert zowel een turbulente stroming in de voedingskanalen als een hoog specifiek oppervlak in één configuratie.

Met alleen de kosten van deze membraanelementen zijn we er nog niet. Met name de toch nog geringe productiecapaciteit van circa één kubieke meter per uur per membraanelement, leidt ertoe dat meestal gekozen wordt voor een configuratie van zes of zeven membraanelementen per drukvat. Gezien deze toch nog steeds geringe productiecapaciteit per drukvat van ongeveer zes kubieke meter per uur, zijn voor een praktijkinstallatie al gauw enkele tientallen van deze drukvaten nodig, ieder met hun eigen aan- en afvoerleidingen, afsluiters en bewakingsapparatuur. Samen met de meestal benodigde voorzuivering van het voedingswater van de NF/RO-installatie, leidt dit alles tot een kostprijs tussen de 100 en 150 cent per geproduceerde kubieke meter. Dit is een stuk hoger dan de

Afb. 1: Parallelle langzame zandfiltratie en NF/RO.



eerder genoemde feitelijke prijs van vijf cent per kubieke meter productwater voor puur alleen de membranen zelf.

Optimalisatie traditionele RO/NF

Door diverse membraanproducenten zijn Ultra Low Pressure membranen op de markt gebracht. Deze membranen werken bij een veel lagere voedingsdruk dan in het verleden gebruikt werd. Het gevolg hiervan is dat de hydraulische drukverliezen bij NF/RO een significante negatieve invloed hebben op de productiecapaciteit. Om nu te komen tot een optimale configuratie voor een membraanfiltratie-installatie is er een mathematisch model ontwikkeld om verschillende configuraties en procescondities door te rekenen. Resultaten van dit model laten zien dat door een andere configuratie (twee elementen per drukvat) er ongeacht de staging van de installatie een winst aan productiecapaciteit van ongeveer 25 procent te behalen is. Nadeel van deze configuratie is dat er veel meer drukvaten nodig zijn en aangezien de kosten van drukvaten een belangrijk deel uitmaken van de totale investeringskosten, ligt het economisch optimale ontwerp bij een iets hoger aantal van drie membraanelementen per drukvat.

Op basis van dit hydraulisch optimale concept is door Nuon, DHV en WOB een nieuwe configuratie voor een drukvat voor lage druk NF/RO bedacht, waarbij twee strengen van membraanlementen parallel worden bedreven. Hiertoe bevinden aan beide zijden van drukvat aansluitingen voor voeding, permeaat en concentraat. Op deze manier kan dus het hydraulisch optimaal concept van twee tot drie elementen in serie in een enkel drukvat worden toegepast, zonder dat er al teveel extra kosten voor bijzondere voorzieningen nodig zijn, waardoor het financiële voordeel van een lager aantal aan te schaffen drukvaten volledig overeind blijft staan.

Eén van de problemen die optreden bij membraanfiltratie, waarbij grondwater als bron gebruikt wordt, is verstopping van het membraan door ijzer- en mangaandeeltjes en biofouling. Deze problemen hebben ertoe geleid dat een methode ontwikkeld is om anaërobe membraanfiltratie mogelijk te maken. Los van de veel lagere investeringskosten door het uitsparen van een voorzuivering, is één van de grote voordelen het niet optreden van verstopping van ijzer- en mangaanoxide-deeltjes, naast het uitsluiten van aërobe biofouling van het systeem.

Gebaseerd op het feit dat veel onder aërobe condities levende organismen niet of nauwelijks kunnen overleven bij volledig anaërobie, is daarnaast door Nuon en WMD een reinigingsmethode ontwikkeld, gebaseerd op an.

ërobie. Door een complete membraanfiltratie-installatie tijdelijk onder deze condities te laten staan, werd een duidelijk daling van het aantal noodzakelijke reinigingen (verwijdering biofouling) waargenomen.

Traditionele MF/UF

Net zoals traditionele RO/NF-membraanfiltraties vergeleken konden worden met langzame zandfiltratie, kan er ook een parallel getrokken worden tussen micro- en ultrafiltratie (MF/UF) en snelfiltratie. Beide processen richten zich op de verwijdering van colloïdaal en zwevend materiaal, waarbij dit materiaal periodiek door terugspoelen verwijderd wordt.

In tegenstelling tot NF/RO, waar het voedingswater liefst zo min mogelijk vuildeeltjes moest bevatten, wordt MF/UF juist ingezet bij sterk met vuildeeltjes belaste voedingsstromen. Het zal dan ook duidelijk zijn dat wat betreft verstopping van het membraan, niet zozeer aan het voorkomen van verstopping van het membraan gedacht wordt, maar meer aan hoe wordt de opgebouwde vuillaag op het membraanoppervlak zo efficiënt mogelijk verwijderd. Net als bij snelfiltratie vraagt het verwijderen van de vuillaag om een goede hydraulische verdeling van het terugspoelwater. Dit water wil namelijk de weg van de minste weerstand nemen. Is een gedeelte van het membraan schoon dan zal door dat deel het meeste water gaan stromen, een bekend probleem bij snelfiltratie.

Bij MF/UF is de hydraulische verdeling nog één van de grootste problemen, gelet op het feit dat de installatie na verloop van tijd (dagen-weken), ondanks het frequent terugspoelen van het membraan, gereinigd moet worden met reinigingschemicaliën om achtergebleven vuil alsnog te verwijderen.

Oplossingen traditionele MF/UF

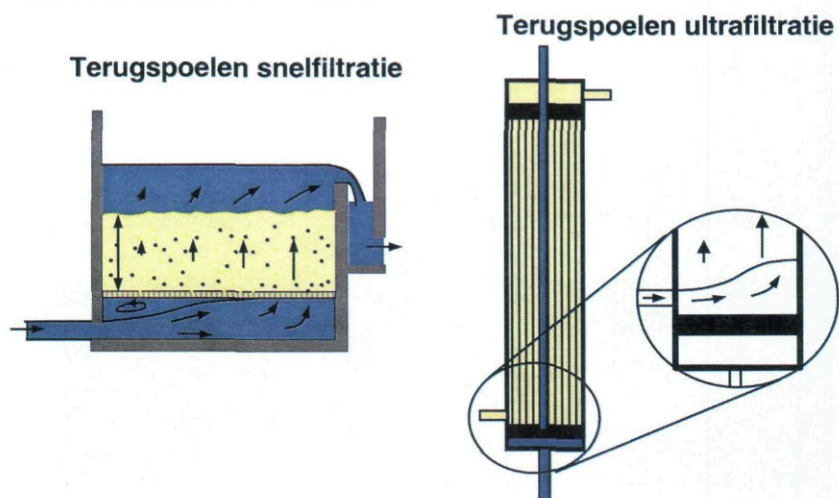
Gebaseerd op de turbulente stroming langs NF/RO-membranen is bij MF/UF in het begin ook gekozen om onder turbulente stromingscondities deze installaties te bedrijven. Al gauw bleek dit echter niet de juiste weg. Door het circuleren van de voedingsstroom ontstonden grote aantallen aan zeer kleine deeltjes, die lastig te verwijderen waren. Vervolgens is gekozen voor het bedrijven van MF/UF onder zogeheten dead-end condities. Op deze manier wordt een compacte vuillaag op het membraan gevormd, de filterkoek. Deze koeklaag laat zich door zijn compacte karakter redelijk eenvoudig verwijderen door het omkeren van de stromingsrichting in het membraan. Wel dient te worden gezorgd voor een juiste hydraulische verdeling in het membraanelement.

Hoewel de fluxen van MF/UF-membranen hoger liggen dan die van NF/RO is voor een gemiddelde productiecapaciteit nog steeds een groot aantal membraanelementen nodig. Voorts zijn allerlei extra voorzieningen voor het reinigen van de membranen noodzakelijk. Dit alles maakt dan ook dat de investeringskosten van dergelijke MF/UF-installaties niet laag liggen. Wel liggen de energiekosten als gevolg van de lagere werkdrukken lager dan die van NF/RO. Daarentegen is het verbruik aan chemicaliën een stuk hoger. Samen met een afschrijvingstermijn van de membranen van rond vijf jaar, maakt dat dat de kosten per kubieke meter productwater voor een MF/UF-installatie rond 40 cent komen te liggen.

Optimalisatie MF/UF

Eén van de meest belangrijke oorzaken van fluxdaling bij MF/UF is het aanwezig zijn van deeltjes met een diameter ter grootte van of net iets kleiner dan de poriediameter van het membraan. Door hun grootte kunnen

Afb. 2: Parallel snelfiltratie en MF/UF



deze vuildeeltjes tot diep in membraan dringen, waar zij lastig te verwijderen zijn. Door nu vlokmiddel te doseren, coaguleren deze kleine vuildeeltjes tot grotere deeltjes, die een keurige filterkoek vormen op het membraanoppervlak. Deze filterkoek bleek uit onderzoek door o.a. DHV en Stork vervolgens goed te verwijderen te zijn door een spoeling met een lucht/water mengsel. Saillant detail is dat een gecombineerde spoeling met lucht en water in de waterwereld al jaren gebruikt wordt voor het spoelen van snelfilters.

Een logisch gevolg van de ontdekking van het positieve effect van spoeling met een lucht/water-mengsel, was dat de modules verticaal in plaats van horizontaal werden opgesteld. Alleen bij een verticale opstelling is het immers mogelijk om een goede hydraulische verdeling van lucht en water te bereiken en ophoping van lucht in de modules te verhinderen. Zo'n verticale module lijkt op het eerste gezicht wel wat op een korrelreactor en dit is dan ook de derde parallel die we met een klassiek waterzuiveringsproces kunnen trekken. De oppervlaktebelasting van een verticaal opgestelde module (element van 8 inch diameter en 120 inch lengte met een debiet van drie kubieke meter per uur) ligt in de orde van $100 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$.

Een verdere verhoging van de oppervlaktebelasting van deze systemen kan in principe op twee manieren bereikt worden:

- kleinere diameter van de capillairen. Dit heeft wel enig effect, hetgeen echter weer geheel of gedeeltelijk teniet gedaan zal worden door de toename van hydraulische weerstand en verstopping;
- grotere diameter van de modules. Dit is zeer aantrekkelijk, met name wanneer het mogelijk wordt om de membranen rechtstreeks in te bouwen in grootschalige reactoren.

Membraantechnologie in 2010

Wat leren deze recente ontwikkelingen ons nu voor de toekomst?

- Capillaire membranen vormen qua specifiek oppervlak, oppervlaktebelasting en lage drukvallen de optimale membraanconfiguratie;
- Een extra verpakking in vorm van drukvaten is voor capillaire membranen beslist geen vereiste. Een zo ruim mogelijke behuizing verhoogt integendeel de toegankelijkheid bij eventuele reiniging van de capillairen en zorgt voor lage drukvallen aan de buitenzijde van de capillairen;
- Het ontstaan van een filterkoek op het membraan is van cruciaal belang is om snelle verstopping van het membraan te voorkomen;
- De filterkoek is zeer goed te verwijderen met een lucht/watermengsel, waardoor uitgebreide chemische reinigingen vrijwel achterwege kunnen blijven.

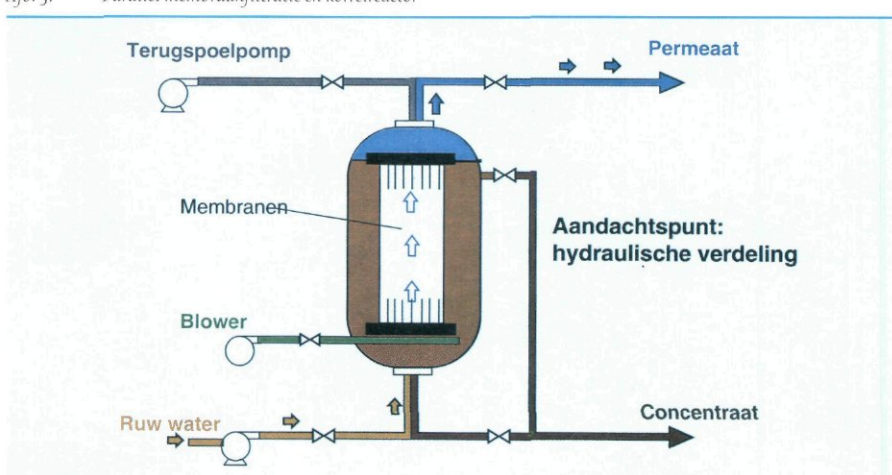
Al deze punten leiden dan ook tot het volgende visioen voor het jaar 2010, waar capillaire membranen gehuisvest in een door ons zo vertrouwde behuizing van een korrelreactor

en waar zij bedreven worden in een dead-end mode ongeacht het type membraanfiltratie, waarbij reiniging van het membraanoppervlak door middel van spoelen met een lucht/water-mengsel geschiedt. Op deze manier zouden de kosten wel eens kunnen dalen tot tien cent per kubieke meter.

Dat dit niet helemaal luchtflitserie is, blijkt uit de proeven die op dit gebied al uitgevoerd zijn door Nuon, DHV en WOB. In een proefopstelling werd het regeneraat van een ionenwisselaar voor kleurverwijdering behandeld in een dead-end NF-installatie met als doel het recyclen van de zoutoplossing. De humuszuren werden door het NF-membraan tegengehouden en verlieten als concentraat het systeem, terwijl het geproduceerde permeaat al het zout bevatte, klaar voor hergebruik.

In een tweede proef met dead-end NF bij WBB is de zuivering van effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie. Ondanks de kans op sterke biologische vervuiling van membraan draait deze installatie zonder problemen en bezit het permeaat een dermate chemische en bacteriologische kwaliteit dat het zonder problemen als hoogwaardig proceswater ingezet kan worden. 

Afb. 3: Parallel membraanfiltratie en korrelreactor



advertentie

Uitzenden

Werving & Selectie

Detacheren

Interim Management

De meest actuele

milieu

ontmoetingsplaats op

internet

ECO-job bv
Frederik Hendriklaan 48
2582 BD Den Haag
Telefoon: 070-354 64 54
Fax: 070-351 43 08
E-mail: info@ecojob.nl

Regiokantoren: Groningen | Deventer



MILIEUPERSONEEL



www.ecojob.nl