

Water voor het Westland: capillaire nanofiltratie voor de behandeling van oppervlaktewater

GUY HEIJNEN, TU DELFT / HATENBOER-WATER B.V.

JASPER VERBERK, TU DELFT

CAREL AEIJELTS AVERINK, HATENBOER-WATER B.V.

PETER DE MOEL, TU DELFT

In deze studie is de technische en economische haalbaarheid van kleinschalige inzet van capillaire nanofiltratie onderzocht bij de behandeling van slootwater tot gietwater voor de glastuinbouw. Daarnaast zijn verrassende resultaten bereikt bij het pilotplant-onderzoek die een nieuw licht werpen op de vervuiling van de membranen en de mogelijkheden om deze te beheersen.

De glastuinbouw in Nederland maakt voor de gietwatervoorziening onder meer gebruik van regenwater. Wanneer een tekort aan regenwater ontstaat, wordt grondwater opgepompt dat met behulp van omgekeerde osmose wordt gezuiverd tot gietwater. Planen bestaan om het gebruik van grondwater serieus aan banden te leggen. Dit betekent dat de tuinders naar andere bronnen moeten gaan uitkijken. Eén van de mogelijkheden is gebruik te maken van oppervlaktewater. Oppervlaktewater kan niet direct gezuiverd worden met behulp van de bestaande spiraalgewonden reverse osmose (RO) membranen. Het is noodzakelijk een voorzuivering voor de RO te plaatsen om verstopping van de membranen te voorkomen. Bij kleinschalige waterbehandeling is de voorzuivering vaak een ultrafiltratiestap.

Een alternatief voor de behandeling van oppervlaktewater met ultrafiltratie en omgekeerde osmose is een eenstapsbehandeling door capillaire nanofiltratie (cNF).

Bij cNF wordt het voedingswater gerecirculeerd. Dit resulteert in een stroming langs het membraan, die zorgt dat zo min mogelijk vuil op het membraan accumuleert. Een nadeel van de continue recirculatie is dat de vervuiling en zouten in de recirculatiestroom (concentraat) steeds meer indikken, waardoor

de weerstand tegen het filtreren zal toenemen. Dit resulteert in een fluxdaling. Een cNF-membraan is goed reinigbaar en wanneer de fluxdaling te groot wordt, wordt het membraan hydraulisch gereinigd (onder meer door gebruik van een spoeling met een lucht/watermengsel). Op dat moment wordt het concentraat geloosd. Dan vindt geen productie van schoon water (permeaat) plaats.

Voor een uitgebreidere beschrijving van het cNF-proces wordt verwezen naar het artikel van Jan Post in H₂O nr. 10 van 18 mei 2001.

Technische haalbaarheid

Tijdens de proefperiode is gebruik



Sloot waaruit voedingswater wordt gepompt.

gemaakt van een proefinstallatie van Nuon Water die eerder diende als UF-proefinstallatie. De installatie bestaat uit:

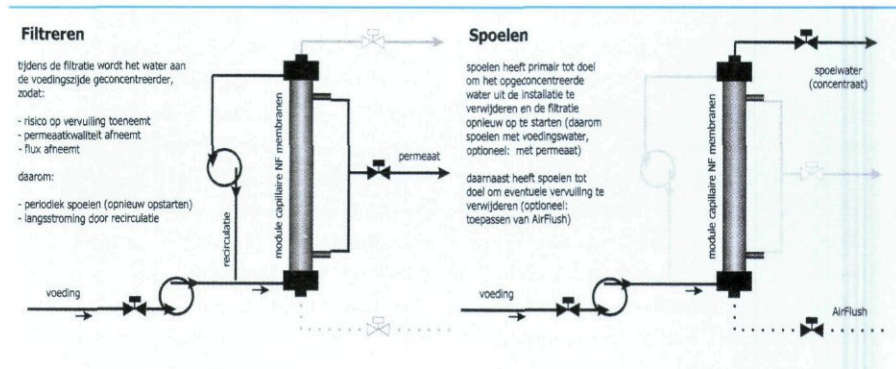
- een verticaal geplaatste 3" SuperFil membraanmodule met 2.1 m² membraanoppervlak (NR 015-500),
- een pvc-leidingstelsel,
- een voedings- en recirculatiepomp,
- automatische kleppen voor concentraat- en permeaatstroom,
- datalogger voor transmembraandruk, temperatuur permeaatwater en debiet.

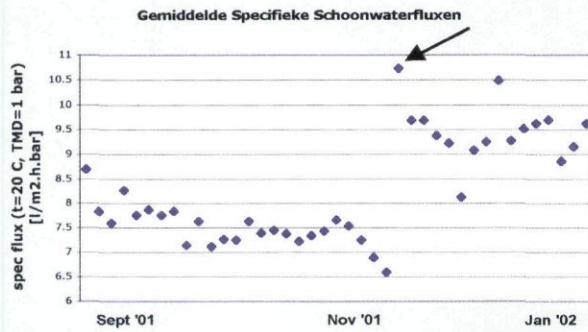
Het voedingswater wordt uit een sloot gepompt en via een buffervat van één kubieke meter naar het membraan geleid.

Tijdens het proefprogramma is de invloed van verschillende procesparameters (TMD, recirculatiesnelheid, hydraulische reiniging, filtratietijden) onderzocht. Alle proeven voor dit onderzoek zijn uitgevoerd zonder zuurdosering en zonder chemische reiniging (randvoorwaarde om de levensduur van de membranen te verlengen, kosten te drukken en de milieubelasting laag te houden). Gedurende de proefperiode is de waterkwaliteit regelmatig bepaald. Enkele specifieke resultaten worden hieronder verder uitgewerkt.

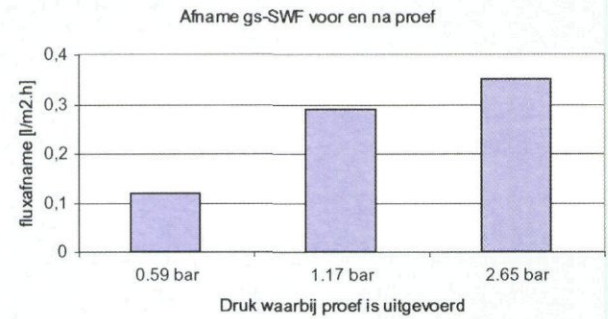
Tijdens de proefperiode is het cNF-membraan twee maal teruggespoeld. Terugspoelen van een membraan is een bij ultrafiltratie beproefde reinigingsmethode, maar wordt bij nanofiltratie over het algemeen niet toegepast. Het effect van het terugspoelen blijkt uit

Afb. 1: Procesvoering capillaire nanofiltratie.





Afb. 2: Gemiddelde specifieke schoonwaterfluxen van de leidingwaterproeven.



Afb. 3: Afname gemiddelde specifieke schoonwaterflux voor en na de proeven uitgevoerd bij verschillende drukken.

afbeelding 2. Na iedere filtratieproef met slootwater is een filtratie met leidingwater uitgevoerd. Van deze proef zijn de gemiddelde specifieke (schoonwater-)fluxen bepaald. Deze proeven werden bij vaste instellingen (flux: 20 l/m².h, duur: 15 min, recirculatiesnelheid: 0,5 m/s) uitgevoerd en geven dan ook een goed beeld van de membraanweerstand gedurende de proefperiode.

Op een gegeven ogenblik is het membraan, min of meer per ongeluk, teruggespoeld waarna de schoonwaterflux sterk toenam (aangegeven met de pijl in afbeelding 2. Na het terugspoelen volgt een initiële daling in de deze flux, maar die blijft structureel hoger dan na de voorgaande slootwaterproef (zelfs hoger dan de beginflux!). Later is nogmaals teruggespoeld. Ook hierbij stijgt de schoonwaterflux weer. Het blijkt dat terugspoelen van het NF-membraan een verassend effectieve reinigingsmethode is en dus een vervanging kan zijn van een, veel duurdere, chemische reiniging.

Het onderzoek naar de invloed van de transmembraandruk komt voort uit het feit dat het gebruikelijk is om membraanfiltratie-installaties bij een zo hoog mogelijke flux te bedrijven. Zo is namelijk het minste membraanoppervlak nodig. De vraag is of dit ook de meest efficiënte bedrijfsvoering is. Bij de proeven is telkens een gelijke hoeveelheid permeaat geproduceerd bij een verschillende transmembraandruk. Omdat de hoeveelheid permeaat gelijk is aan de hoeveelheid toegevoerd voedingswater, ontstaat een gelijke vuillast naar het membraan bij iedere proef. Uit de verschillende proeven blijkt dat filtreren bij lagere drukken nauwelijks effect heeft op de eindspecifieke flux tijdens een proef. Wel zijn de gemiddelde specifieke fluxen bij lage druk groter. Daarnaast blijkt dat de lagere druk zorgt voor een geringere blijvende vervuiling na een proef. Deze blijvende vervuiling wordt gedefinieerd als de vervuiling die achterblijft op het membraan na een hydraulische reiniging (for-

ward flush en/of Airflush). Deze vervuiling wordt bepaald door de verschillen in de schoonwaterflux voor en na de proef bij verschillende drukken te vergelijken (zie afbeelding 3). Minder blijvende vervuiling betekent dat minder vaak intensieve reiniging nodig is.

Uit het onderzoek wordt de conclusie getrokken dat bij lage fluxen (10-15 l/m².h) een stabiele bedrijfsvoering van het filtratieproces wordt bereikt. Uit de verdere proeven volgt dat looptijden korter dan 30 minuten, een recirculatiesnelheid van 0,5 m/s en een hydraulische reiniging nodig is om de fluxdaling zo gering mogelijk te houden.

Economische haalbaarheid

Uit de economische haalbaarheidsstudie blijkt dat, wanneer de bedrijfsinstellingen zijn gekozen zoals uit het proefonderzoek naar voren kwam, de kosten voor capillaire nanofiltratie enigszins hoger uitvallen dan voor het alternatief, ultrafiltratie plus omgekeerde osmose. Wanneer echter meer conventionele fluxen worden gebruikt of wanneer de membraanprijs per module zakt, kan capillaire nanofiltratie zeker concurrerend zijn. Daarnaast zou terugspoelen als intensieve reiniging ook tot een kostenbesparing kunnen leiden.

Modellering

De fluxdaling tijdens het filtratieproces kent twee oorzaken. Allereerst is er de fluxdaling die ontstaat door de steeds toenemende vervuiling van het membraan met zwevende stof (fouling) en eventuele neerslag van zouten (scaling). Deze vervuiling is met hydraulische reinigingsmethoden niet volledig te verwijderen en zal in de loop van de tijd toenemen (scaling vormt zelfs een onomkeerbare vervuiling). Daarnaast heeft het afnemen van de netto voedingsdruk door het toenemen van het osmotisch drukverschil tussen concentraat en permeaat een fluxdaling tot gevolg. Dit osmotisch drukverschil neemt gedurende de filtratie toe, doordat het concentraat gerecirculeerd wordt

waardoor de zoutconcentraties in het concentraat zullen toenemen. Deze fluxdaling is door het uitvoeren van een hydraulische reiniging geheel te verwijderen.

Afbeelding 4 geeft de verschillende mechanismen die resulteren in een fluxdaling weer.

Na invoering van de concentraties van zouten in het voedingswater in het model blijkt een theoretische scaling van calciumcarbonaat op te treden. Scaling op het membraan is erg lastig te verwijderen zonder een chemische reiniging en zal dus gedurende de proefperiode zorgen voor een stijging van de blijvende weerstand. Tijdens de proeven is de gemiddelde specifieke schoonwaterflux (zie afbeelding 2) echter niet drastisch gedaald en na een grondige hydraulische reiniging (terugspoelen) zelfs gestegen. Aangezien het membraan gedurende de gehele proefperiode niet chemisch is gereinigd, lijkt het dus onwaarschijnlijk dat de scaling plaatsvindt op het membraan. De enige andere kernen waarop de zouten kunnen scalen, bevinden zich in de waterfase, namelijk in de vervuiling in het concentraat of in de poreuze koek op het membraan, met andere woorden: zouten scalen in de waterfase. Hierdoor vormen de twee vervuilmingsmechanismen (fouling en toename osmotisch drukverschil) samen minder weerstandverhoging dan op grond van hun onafhankelijke vervuilingspotentie verwacht mag worden.

Deze neerslag van calciumcarbonaat op de vuildeeltjes die zich in de concentraatstroom bevinden, is aangetoond door middel van een zuurdosering over het filtraat van concentraatwater, waarbij zich in het filtraat bevindend calciumcarbonaat oplost en een gewichtsverschil ontstaat tussen het gewicht van het filtraat voor en na zuurdosering.

Dit is een zeer verrassend resultaat, daar in het algemeen wordt aangenomen dat scaling optreedt op het membraan en zorgt voor een niet omkeerbare fluxdaling. In deze studie blijkt de optredende scaling echter een positief

effect te hebben en te zorgen voor een geringere fluxdaling.

Met behulp van het mathematische model zijn de verschillende fluxdalingen voor een

van de hierboven beschreven TMD-proeven bepaald. De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 5.

Uit afbeelding 5 blijkt dat de verhouding tussen de weerstand veroorzaakt door osmo-

tisch drukverschil en de weerstand veroorzaakt door vervuiling ongeveer 1 op 1 is. De invloed van het osmotisch drukverschil is bij cNF zeker niet te verwaarlozen en veroorzaakt dan ook een aanzienlijk deel van de totale fluxdaling. Bij lage drukken blijkt de fluxdaling door het osmotisch drukverschil zelfs maatgevend te zijn.

Afb. 4: Mathematisch model met toevoeging van scalingsmodel.

Gebruik is gemaakt van een mathematisch model, dat het verloop van de weerstand ten gevolge van het osmotisch drukverschil bepaalt. Hieraan is een correctie toegevoegd voor de osmotische druk als gevolg van scaling. In het model is de invloed van de voedingsdruk, gefiltreerd volume ten opzichte van systeemvolume en concentratiepolarisatie meegenomen. Dit resulteert in de volgende formule:

$$R_{mem} + R_{verv}(t) + R_{osm}(t) = \frac{TMD}{\eta \cdot J(t)}$$

waarin:

$$R_{osm} = \text{stijging weerstand door toename } \Delta\pi \left(R_{osm}(t) = \frac{\Delta\pi(t)}{\eta \cdot J(t)} \right)$$

met:

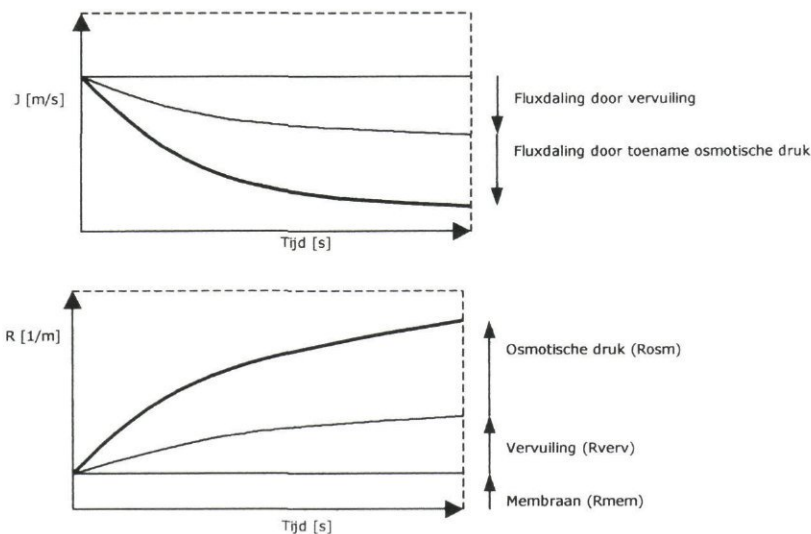
J = flux

$\Delta\pi$ = osmotisch drukverschil

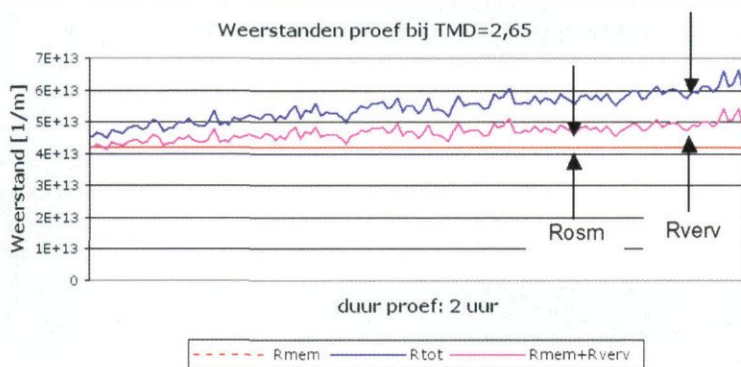
η = dynamische viscositeit

R_{mem} = weerstand door membranen

R_{verv} = weerstand door vervuiling van membranen schematisch flux- en weerstandverloop



Afb. 5: Weerstandverhoging door de twee vervuilingsmechanismen.



Naast het gebruik van een mathematische bepaling van het osmotische drukverschil is het noodzakelijk vanuit de vervuilingspotentie van water en membraan de weerstandopbouw te bepalen om tot een goede bepaling te komen van de complete weerstandopbouw. Het lijkt dan ook zinvol om hiernaar aanvullend onderzoek te verrichten.

Conclusies

- De toepassing van capillaire nanofiltratie voor de behandeling van slootwater tot gietwater is technisch mogelijk. Lagere fluxen dan algemeen gebruikelijk leiden tot een geringere blijvende vervuiling en dus tot een geringere fluxdaling. Dit leidt tot een stabiel proces, met minder frequente reinigingen;
- Vooral nog lijken de kosten van capillaire nanofiltratie iets hoger uit te vallen dan het alternatief ultrafiltratie gevolg door omgekeerde osmose. Deze meerprijs valt voornamelijk te wijten aan de kostprijs van de membranen. Bij een geringe daling van deze kostprijs (toename van de vraag) is het al mogelijk voor het cNF-proces om concurrerend te zijn;
- Terugspoelen blijkt een verrassend effectieve reinigingsmethode voor de gebruikte membranen en kan derhalve zorgen voor een forse reductie in het gebruik van chemicaliën;
- Scaling blijkt verrassend op te treden in de waterfase en op het membraan;
- Uit de modellering blijkt dat de weerstandstijging door toename van het osmotisch drukverschil significant is bij capillaire nanofiltratie, bij lage drukken zelfs maatgevend.

LITERATUUR

- Heijnen G. (2002). Water voor het Westland. Afstudeerverslag TU Delft.
- Post J. e.a. (2001). Capillaire nanofiltratie, proces van de toekomst. H₂O nr. 10, pag 22-25.
- Post J. (2000). Recovery+. Afstudeerverslag TU Delft.

Exemplaren van het afstudeerwerk zijn op te vragen bij de secretaresse van de sectie Gezondheidstechniek, mevrouw E. Ooms (015) 278 33 47.