



EEN OVERZICHT VAN ERVARINGEN IN NEDERLAND

Behandeling van ruw oppervlaktewater met micro- of ultrafiltratie

GER VOS, WATERLEIDINGMAATSCHAPPIJ OOST-BRABANT

HIEKE OOSTEROM, KIWA ONDERZOEK EN ADVIES, THANS S.SEARCH BV

GILBERT GALJAARD, KIWA ONDERZOEK EN ADVIES

MAARTEN NEDERLOF, KIWA ONDERZOEK EN ADVIES

Bij het vergelijken van proefinstallatie-onderzoeken in Nederland met micro- en ultrafiltratie blijkt dat de netto productie in de meeste gevallen hoger is naarmate de voorbehandeling uitgebreider is. Dit leidt tot lagere exploitatiekosten. De (extra) voorbehandeling werkt echter kostenverhogend. In de praktijk moet dus een afweging gemaakt worden tussen een hoge flux met een meer of minder uitgebreide voorbehandeling of een lage flux zonder voorbehandeling. Op basis van diverse ervaringen op kanaalwater is voor een hypothetisch pompstation berekend dat het doseren van een hulpstof tot de laagste kosten leidt. Recent is de Enhanced Pre-Coat Engineering (EPCE) ontwikkeld waarbij een precoat op het membraan wordt aangebracht (zie het artikel op pagina 25). De verwachting is dat door het doseren van dergelijke stoffen de bedrijfsvoering nog verder verbeterd kan worden tegen lage kosten.

Afbeelding 1 geeft een aantal locaties weer waar waterleidingbedrijven middels proefinstallatie-onderzoek ervaring hebben opgedaan met micro- of ultrafiltratie voor de zuivering van oppervlaktewater. Hierbij is gebruik gemaakt van diverse pilot-installaties, een quick-scan¹⁾ of laboratoriumtesten.

Voor meerdere bedrijven zijn micro- en ultrafiltratie een innovatief alternatief voor

grootschalige toepassing, mede dankzij een aantal ontwikkelingen op membraangebied zoals een hoog membraanoppervlak in een beperkt volume, een verbeterde fysische reiniging, reductie van het energieverbruik en productie van uitwisselbare membraanmodules.

Verskillende (capillaire) membranen en membraansystemen van diverse producenten zijn commercieel beschikbaar²⁾.

Bij drinkwaterbereiding op basis van oppervlaktewater kan met name ultrafiltratie vanwege de gelimiteerde poriegrootte een bijdrage leveren aan desinfectie.

Intussen zijn micro- en ultrafiltratie beproefd op vele watertypes met een variatie aan membranen en membraansystemen en voorzuiveringen. In eerste instantie³⁾ werd vooral getest op ruw oppervlaktewater wat resulteerde in lage fluxen in vergelijking met de behandeling van spoelwater met ultrafiltratie. Veel onderzoek is gericht op het verhogen van de flux en daarmee het reduceren van de kosten. Steeds meer wordt hiervoor een aanvullende (voor)zuivering gebruikt. Hierbij geldt dat naarmate de voorzuivering intensiever is, de voedingswaterkwaliteit ten aanzien

van onder meer zwevende stof, troebelheid, deeltjes en MFI beter wordt.

Vergelijken membraanprestaties

Om resultaten van praktijkervaringen op verschillende locaties te vergelijken is gebruik gemaakt van een methode uit een Japans onderzoek, uitgevoerd door Kunikane *et. al.*⁴⁾. Hierbij zijn gedurende drie jaar 35 verschillende micro- en ultrafiltratiesystemen getest op ruw en voorgezuiverd rivierwater. De membraanprestaties zijn vergeleken op basis van de nettoproductie tussen twee chemische reinigingen. De pilotinstallatie is als een black box beschouwd, met de gemiddelde netto flux als maatstaf. De gemiddelde netto fluxen zijn door Kunikane *et. al.* onderverdeeld in klassen, op basis waarvan een frequentieverdeling in percentages is opgesteld. De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de minimale en maximale waarden van de netto flux voor micro- en ultrafiltratie vergelijkbaar zijn, maar tevens een zeer breed bereik hebben. De gemiddelde netto fluxen variëren in het Japanse onderzoek namelijk bij microfiltratie van 11 tot 81 l/(h·m²) en bij ultrafiltratie van 16 tot 76 l/(h·m²).

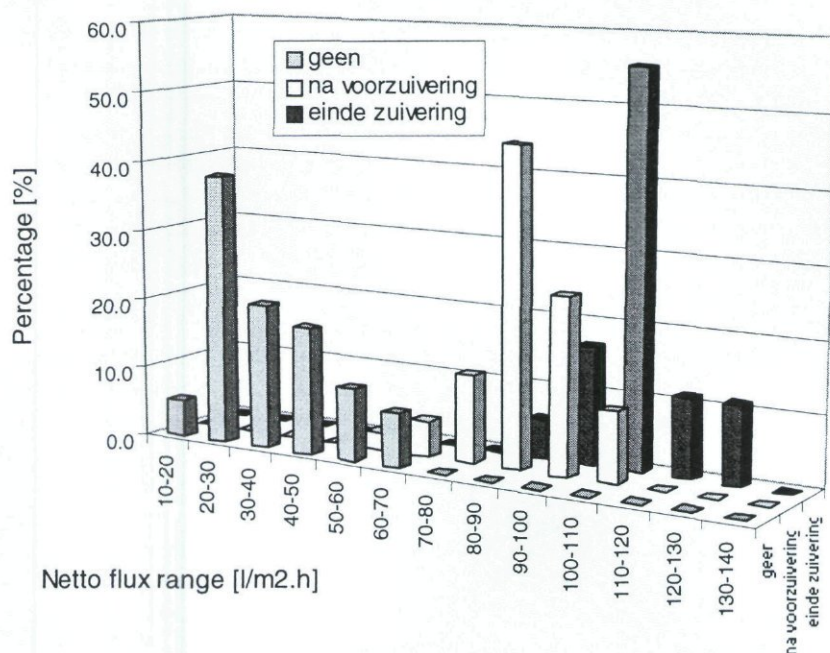
Frequentieverdeling van de netto flux

Voor een aantal praktijkervaringen in Nederland is eenzelfde vergelijking van membraanprestaties gemaakt zoals door Kunikane *et. al.* beschreven (zie kader op volgende blz.). Naast bepaling van de gemiddelde netto flux tussen twee chemische reinigingen, waarbij het effect van deze reinigingen op de netto flux wordt verwaarloosd, is ook onderscheid gemaakt in de mate van voorbehandeling van het voedingswater, te weten niet voorbehandeld, voorbehandeld oppervlaktewater en water aan het eind van de zuivering, waarbij ultrafiltratie als desinfectie wordt toegepast. Op deze wijze is het mogelijk om tevens het effect van voorbehandeling op de netto flux vast te stellen (zie kader). De gemiddelde, minimale en maximale netto fluxen per categorie (gebaseerd op een aantal praktijkonderzoeken in Nederland) zijn weergegeven in tabel 1. Het blijkt dat de gemiddelde netto flux hoger is naarmate de voorbehandeling intensiever is, van 36 l/(h·m²) zonder voorbehandeling, via 87 l/(h·m²) na voorbehandeling tot 104 l/(h·m²) aan het eind van een zuivering. De spreiding is echter groot, zoals ook in de frequentieverdeling is te zien (zie afbeelding 2).

t wordt veroorzaakt door verschillen in waterkwaliteit, mate van voorbehandeling, seizoensinvloeden, het gebruik van verschillende membranen en membraansystemen en de wijze van bedrijfsvoering van een pilotinstallatie. Verder dient hierbij opgemerkt te worden dat een hogere flux niet hoeft te leiden

Afb. 1: Praktijkonderzoek in Nederland met micro- of ultrafiltratie op oppervlaktewater.





Afb. 2: Frequentieverdeling van de gemiddelde netto flux door micro-/ultrafiltratiemembranen uitgedrukt in procenten van het totaal per categorie: geen voorzuivering, na voorzuivering en aan het eind van een zuivering.

Tabel 1: Gegevens van de gemiddelde, minimale en maximale netto flux van een aantal pilotonderzoeken.

Mate van voorzuivering	Aantal pilot studies	Aantal runs	Gemiddelde netto flux	Minimale netto flux	Maximale flux
geen	11	39	36	15	65
na voorzuivering	3	40	87	56	102
aan einde zuivering	2	18	104	75	123

Uitgangspunten en berekeningen

De gemiddelde netto flux en de frequentieverdeling van de gemiddelde netto flux als functie van de mate van voorzuivering zijn opgesteld op basis van de volgende uitgangspunten/- berekeningen;

- De netto flux is de netto productiecapaciteit per vierkante meter membraanoppervlak, uitgedrukt in $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$. De gemiddelde netto flux wordt bepaald door de netto productie in kubieke meter per vierkante meter membraanoppervlak bij elk pilot-onderzoek te delen door de looptijd van een afzonderlijke run, het aantal uren tussen twee (handmatige) chemische reinigingen. De productie wordt hierbij tijdelijk onderbroken om de membranen met chemicaliën te reinigen als de maximaal toelaatbare transmembraandruk is bereikt. De effecten van een handmatige chemische reiniging op de gemiddelde netto flux zijn in deze resultaten niet verwerkt.
- De netto flux is gecompenseerd voor verliezen voor terugspoelen, langsspoelen, stilstand en reinigen tijdens een run. Deze verliezen worden aangeduid met de recovery, het percentage voedingswater wat wordt omgezet in permeaat. Bij de pilot-onderzoeken in Nederland varieerde de recovery van circa 75 tot meer dan 95 procent bij een variatie in de looptijd van een run van ongeveer 60 tot meer dan 850 uur. Naarmate de voorzuivering intensiever was, bleek over het algemeen een hogere recovery haalbaar bij een

tot een stabiele bedrijfsvoering; een verhoogde reinigingsfrequentie kan het gevolg zijn. Bevestiging van een gewenste flux door middel van proefinstallatie-onderzoek blijft dus noodzakelijk.

Effect van voorbehandeling op de exploitatiekosten

Op basis van ervaringen met ultrafiltratie op het Beatrixkanaal te Eindhoven, waar Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB) een zuivering met ultrafiltratie ten behoeve van de productie van huishoudwater realiseert, is een schatting gemaakt van de operationele kosten voor verschillende voorbehandelingen in relatie tot de netto flux bij micro- of ultrafiltratie.

Bij proefinstallatie-onderzoek op ruw Beatrixkanaalwater is een netto flux van $40 \text{ l}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ gerealiseerd⁵⁾. Hierbij bleek mangaandoorslag op te treden. Om dit te voorkomen zijn proeven gedaan met dosering van kaliumpermanganaat in de voeding. Hierdoor werd mangaan geoxideerd en vervolgens

langere looptijd door een lagere frequentie van terugspoelen en reinigen en een kortere stilstandtijd.

- Een classificatie is gemaakt naar niet voorbehandeld oppervlaktewater, oppervlaktewater na voorbehandeling en oppervlaktewater aan het eind van de zuivering (ultrafiltratie als desinfectie). Niet voorbehandeld water is bijvoorbeeld water uit een spaarbekken, water direct na microzeven of ruw water. Oppervlaktewater na voorbehandeling valt uiteen in het doseren van chemicaliën (vlok-middel, oxidatiemiddel of precoat) om het filtratiegedrag te verbeteren en een daadwerkelijke voorzuivering bestaande uit bijvoorbeeld coagulatie, sedimentatie en snelfiltratie. Een voorbeeld van toepassing aan het eind van een bestaande zuivering is ultrafiltratie na diepinfiltratie en/of actieve koolfiltratie, waarbij membraanfiltratie hoofdzakelijk als desinfectiebarrière fungeert.
- De gemiddelde netto fluxen zijn gebruikt om een frequentieverdeling, uitgedrukt in procenten, op te stellen. Voor elke mate van voorzuivering (niet, beperkt en uitgebreid vorgezuiverd) zijn de gemiddelde netto fluxen onderverdeeld naar netto flux ranges. Een minimale netto flux range van 10 tot $20 \text{ lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ en een maximale netto flux range van 130 tot $140 \text{ lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ zijn gedefinieerd. Het aantal netto fluxen voor elke flux range geeft een frequentieverdeling van de netto flux als functie van de mate van voorzuivering (zie afbeelding 2).

als oxide afgevangen. Hiermee werd tevens de netto flux verhoogd naar 70 l/(h·m²).

Waterleidingmaatschappij Drenthe bereikt door middel van een dosering met flocculant een netto flux van 70 tot 75 l/(h·m²)⁶. Bij de productie van industriewater in Groningen en Drenthe op basis van kanaalwater wordt een netto flux van 60 l/(h·m²) gerapporteerd na vlokingsfiltratie en dosering van polyaluminiumchloride⁷.

Voor een schatting van de kosten van ultrafiltratie met een voorzuivering bestaande uit microzeven, vlokvorming, flotatie en snel-filtratie is gebruikt gemaakt van praktijkgegevens uit het DIZON-onderzoek⁸. Hierbij wordt aangenomen dat na een dergelijke voorzuivering ultrafiltratie met een netto flux haalbaar is van 100 l/(h·m²), hoewel dit in de praktijk niet getest is.

PWN heeft op basis van uitgebreid proefinstallatie-onderzoek⁹ gericht op productiebedrijf Heemskerk een netto flux in de range 70 tot 100 l/(h·m²) gevonden na voorzuivering met coagulatie, sedimentatie en snelfiltratie (WRKIII).

In Ouddorp (onderzoek uitgevoerd door Delta Nutsbedrijven) werd een netto flux van 120 l/(h·m²) bereikt¹⁰.

Tabel 2 geeft een overzicht van de geschatte (indicatieve) exploitatiekosten (ultrafiltratie en voorzuivering) voor een hypothetisch pompstation van 10 miljoen kubieke meter water per jaar. De berekeningen zijn uitgevoerd met de kostenstandaard van DHV Water¹¹. Bij de berekeningen is uitgegaan van een piekfactor van 1, een recovery van 90 procent, een membraanprijs van 200 gulden per vierkante meter geïnstalleerd membraanoppervlak en een rente van acht procent.

In dit voorbeeld blijkt dat bij lage fluxen de exploitatiekosten relatief hoog zijn (50 cent per kubieke meter). Een voorzuivering zoals die bij DIZON getest is, leidt echter tot nog hogere kosten (66 cent). Het doseren van een oxidatiemiddel (of vlokmiddel) levert de laagste exploitatiekosten (circa 35 cent) op.

Opgemerkt dient te worden dat dit resultaat geldt voor toepassing van ultrafiltratie op kanaalwater, zoals dat door de WOB is getest. Uiteindelijk zal de proceskeuze behalve op basis van kosten ook gebaseerd zijn op andere factoren, zoals het voorkomen van biofouling in een nageschakelde RO of het verkrijgen van een vergunning voor het lozen van het concentraat. Dit laatste kan een probleem zijn wanneer vlokmiddelen worden gebruikt die niet geloosd mogen worden. Uiteindelijk zullen dergelijke 'problemen' ook tot extra kosten leiden.

Discussie

De effecten van watertype, bedrijfsvoering en membraantype op de haalbare netto flux zijn mogelijk ten onrechte verwaarloosd. Dit blijkt uit quick-scan onderzoek waarbij vier verschillende membranen onder gelijke omstandigheden op hetzelfde watertype zijn vergeleken¹². Hierbij zijn duidelijke verschillen in membraanprestaties waargenomen.

Het implementeren van een voorbehandeling levert meestal hogere fluxen, maar vergt extra investeringskosten. Deze moeten opwegen tegen de lagere kosten voor micro-/ultrafiltratie. Dit is onder meer afhankelijk van het watertype, de behaalde flux, lozingsheffingen, bestaande voorzuiveringen, de productiecapaciteit en investeringskosten voor membranen en membraansystemen. Optimalisatie per locatie is dus noodzakelijk.

Gebaseerd op ervaringen met ultrafiltratie op kanaalwater bij Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant is voor een hypothetisch pompstation van 10 miljoen kubieke meter per jaar berekend dat de exploitatieprijs voor ultrafiltratie op ruw oppervlaktewater inclusief voorzuivering varieert van 35 tot 66 cent per kubieke meter. De kosten van de ultrafiltratie zelf bedragen circa 25 cent na snelfiltratie tot 50 cent zonder voorbehandeling.

Wanneer ultrafiltratie wordt geplaatst aan het eind van een zuivering, bijvoorbeeld voor aanvullende desinfectie, kan de exploitatieprijs

van de ultrafiltratie dalen tot onder 22 cent per kubieke meter. De kosten voor de zuivering ervoor mag echter niet alleen als voorzuiveringskosten beschouwd worden omdat deze zuivering meerdere doelen dient.

In de praktijk zullen meerdere factoren een rol spelen bij de uiteindelijke proceskeuze, zoals kwaliteitseisen aan het permeaat en mogelijkheden voor de lozing van het concentraat.

Aangezien ontwikkelingen in membranen, modules en systemen continu doorgaan, lijkt een verdere verbetering van de membraanprestaties mogelijk. Door standaardisatie en verbeterde dan wel versnelde productie van membranen en modules zullen naar verwachting de investeringskosten dalen.

Gecombineerd met de toenemende ervaring ten aanzien van optimale bedrijfsvoeringscondities zal dit leiden tot een stabiele bedrijfsvoering. De recent ontwikkelde Enhanced Pre-Coat Engineering vormt hiervan een voorbeeld.

Beide effecten dragen bij aan lagere totale kosten voor toepassing van micro-/ultrafiltratie voor (grootschalige) waterbereiding.

Conclusie

Uitgebreider voorzuiveren van ruw oppervlaktewater voor ultrafiltratie resulteert over het algemeen in een hogere netto flux. Uit oogpunt van kosten lijkt een eenvoudige dosering van een flocculant of oxidatiemiddel het meeste perspectief te bieden. De recente ontwikkelingen op het gebied van precoatdosering door middel van de zogenaamde Enhanced Pre-Coat Engineering zijn hierbij veelbelovend. Deze ontwikkelingen leiden tot een aanzienlijke kostenreductie bij een stabiele bedrijfsvoering. Voor elke situatie is een optimalisatie van kosten en bedrijfsvoering noodzakelijk. Proefinstallatie-onderzoek kan hierbij de benodigde informatie aanleveren.

Tabel 2: Schatting van de operationele kosten voor ultrafiltratie in relatie tot de mate van voorzuivering. De kosten zijn indicatief en hebben een onzekerheidsmarge van 30 procent.

Proces	Kosten			
Voorzuivering (-)	Netto flux UF (l·m ⁻² ·h ⁻¹)	Voorzuivering (£/m³)	UF (£/m³)	Totaal (£/m³)
Geen voorbehandeling	40	-	0,50	0,50
Oxidatie met KMnO ₄	70	0,02	0,32	0,34
Microzeven, vlokvorming, flotatie, snelfiltratie	100	0,41	0,25	0,66
Eind van de zuivering	120	niet beschikbaar	< 0,22	n.v.t.

LITERATUUR

- 1) Galjaard G., J. Schippers, M. Nederlof en H. Oosterom (1998). Quick-scan: selection of micro- and ultrafiltration membranes, *Desalination* 117, pagina 79 t/m 84.
- 2) Oosterom H. en C. van de Lisdonk (1998). Capillaire micro- en ultrafiltratiemembranen voor grootschalige waterbereiding. *H₂O* nr. 29, pagina 37 t/m 40.
- 3) Oosterom H., G. Vos en J. Schippers (1996). Micro- en ultrafiltratie voor de bereiding van B(eatrixwater). *H₂O* pagina 443 t/m 446.
- 4) Kunikane S., Y. Magara, M. Itoh, H. Akazawa, C. Nakao en Y. Kaburagi (1996). Water production performance of thirty five different microfiltration/ultrafiltration systems. *Proceedings Desalination and Membrane Technology Conference, Osaka (Japan)*.
- 5) Nederlof M., H. Oosterom, Y. Brekvoort en G. Vos (1998). Productie van Bqua t.b.v. industrie en huishoudens. *Project Aquarius. Kiwa KOA 98.053*.
- 6) Bos R., L. Broens, S. Dost, S. van der Hoof, P. van der Maas en H. Oosterom (1998). Membrane filtration for greenhouse agriculture. *Desalination* 118, pagina 93 t/m 100.
- 7) Van der Maas P., E. Ieiting, S. Dost, E. Eppinga en S. van der Hoof (1999). Customised water supplies, producing high quality process water from surface water using membrane technology. *AWWA Membrane Technology Conference, Long Beach*.
- 8) Werkgroep Zuivering DIZON (red. M. Nederlof) (1999). Eindrapportage DIZON, werkgroep Zuivering. *Kiwa KOA 99.014*.
- 9) Kruithof J., J. Schippers, P. Kamp, H. Folmer en J. Hofman. Integrated multi-objective membrane systems for water treatment: pretreatment of reverse osmosis by conventional treatment and ultrafiltration.
- 10) Hopman R., M. Nederlof, J. Schippers, J. van Paassen en H. de Kraa (1999). Trends and innovations in membrane technology for water treatment in the Netherlands. *IWSA World Water Congress, special subject 2, pagina 1 t/m 6*.
- 11) Wessels L., R. Bronda en B. van Efferen (1998). Standaardisatie van kosten, niveau beleidsplan en systeemkeuze. *DHV Water dossier 13510-23-001*.
- 12) Galjaard G., J. Hofman, E. Baars en J-P. van der Hoek (1999). Quick-scan: comparing ultrafiltration membranes performances on Amsterdam Rhine Canal water. *Proceedings AWWA Membrane Technology Conference, Long Beach*.
- 13) Oosterom H., M. Nederlof en G. Vos (1999). Micro- and ultrafiltration for surface water treatment; results of pilot studies. *Proceedings AWWA Membrane Technology Conference, Long Beach*.