KWR 2018.041 | Mei 2018

Oppervlaktewater RO met minimale voorzuivering

Lab- en pilottesten Nieuwegein 2016

KWR Watercycle Research Institute

Oppervlaktewater RO met minimale voorzuivering

Lab- en pilottesten Nieuwegein 2016

KWR 2018.041 | Mei 2018

Opdrachtnummer
401032/001

Projectmanager
Erwin Beerendonk

Opdrachtgever
TKI

Kwaliteitsborgers
Emile Cornelissen, Bastiaan Blankert

Auteurs
Danny Harmsen, L. Peter Wessels

Verzonden aan
TKI

Jaar van publicatie
2018

Meer informatie
Dr. ir E.R. Cornelissen
T 0031 30 6069538
E emile.cornelissen@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR 2018.041 | Mei 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Omgekeerde osmose (reverse osmose of RO) is de meest geschikte technologie voor de behandeling van water uit verschillende bronnen, omdat RO een robuuste barrière vormt voor bijna alle verontreinigingen. Vanwege de robuustheid van RO, kan deze technologie daarom als multi-source technologie worden ingezet (oppervlaktewater, grondwater, regenwater, effluent en afvalwater), wat het onderwerp vormt van het totale TKI MSRO onderzoek. Door te kiezen voor kleinschaligere winning en zuivering, neemt het aantal potentieel geschikte bronnen toe en is RO de meest aangewezen technologische keuze. Complexiteit is duur voor kleinschalige systemen en dient te worden vermeden. Door te streven naar een systeem met een minimale voorbehandeling (zogenaamde 1-step RO) kan complexiteit worden beperkt. Het doel van dit rapport is de haalbaarheid aantonen van het 1-step volstroom RO concept met minimale voorbehandeling.

Om deze doelstelling te realiseren, zijn twee sporen bewandeld en met elkaar vergeleken, waarbij RO is toegepast op het vijverwater van KWR. Het eerste spoor is de technische en economische haalbaarheid van commercieel beschikbare RO systemen met zo min mogelijk voorbehandeling. In dit kader is in 2016 een pilotonderzoek met zes parallelle 2,5-inch RO modules uitgevoerd op oppervlaktewater (vijverwater KWR) met commercieel beschikbare spiraalgewonden RO membranen (SW RO) met ultrafiltratie voorbehandeling als state-of-the-art methode en vergeleken met een minimale voorbehandeling met screens. In de pilotstudie is gekeken naar de effecten van (a) voorbehandeling, (b) flux, (c) hydraulische reiniging en (d) langsstroomsnelheid. Een tweede spoor is de haalbaarheid van innovatieve RO systemen met zo min mogelijk voorbehandeling. Hiervoor is in 2016 het innovatief feedspacerloos RO systeem ontworpen en ontwikkeld dat parallel met de spiraalgewonden RO membranen is getest op hetzelfde oppervlaktewater (vijverwater KWR).

Het onderzochte vijverwater was qua samenstelling verdund drinkwater met regenwater aangevuld met componenten uit de vijverbodem en door biologische groei in het water met een relatief hoge deeltjes en organische stofconcentratie. UF bleek veel beter in staat om deeltjes te verwijderen dan de 25 μm screen, respectievelijk ~100% en ~80% verwijdering. UF was ook beter in staat om biopolymeren (koolhydraten, eiwitten en niet gedefinieerde fractie) te verwijderen dan de 25 μm screen, respectievelijk ~80% en ~0%. Vanwege de sterke vervuilingsproblemen kon de UF echter slechts bij een zeer lage flux van 22 L/m^2.uur stabiel worden bedreven met een chemische reiniging elke 1-2 dagen en een spoelverlies van 25%.

De zes parallel bedreven SW RO membranen werden zeer regelmatig gemonitord op debieten, drukken en conductiviteit waaruit de trending van de operationele parameters permeabiliteit, drukval en zoutpassage kon worden bepaald. Uit deze parameters kan membraanvervuiling (permeabiliteitdaling) en feedspacerverstopping (drukvalstijging) worden bepaald. Door een betere verwijdering van deeltjes en biopolymeren door de UF in vergelijking met de 25 μm screen kon de SW RO na UF stabieler worden bedreven met minder membraanvervuiling en verstopping. Door een verlaging van de flux bleek minder en minder compacte membraanvervuiling op te treden, terwijl periodieke luchtwaterspoeling resulteerde in een betere beheersing van feedspacerverstopping. Een belangrijke waarneming was dat er geen koppeling is gevonden tussen membraanvervuiling en feedspacerverstopping. Het verlagen van de langsstroomsnelheid resulteerde in meer

membraanvervuiling ten gevolge van een hogere concentratiepolarisatie en meer feedspacerverstopping.

Een vlakke plaat RO systeem zonder feedspacer is ontworpen en bedreven op het vijverwater van KWR. Gedurende een duurtest van september t/m oktober zijn de operationele parameters bepaald en vergeleken met het SW RO (niet in dezelfde periode). De permeabiliteit van het feedspacerloze RO membraan was ca. 41-55% hoger dan de permeabiliteit van de SW RO membranen. Het significante verschil in de genormaliseerde flux tussen de SW RO elementen en het feedspacerloze RO membraan wordt voornamelijk veroorzaakt door de afwezigheid van de feedspacer en door de kortere permeaatspacer in het feedspacerloze systeem. Hierdoor is de drukval over het voedings- en het permeaatkanaal lager dan bij de spiraalgewonden elementen.

Een Excel berekening is gemaakt waarin het energieverbruik van een SW RO systeem en een feedspacerloze RO systeem is berekend. Door bij de feedspacerloze RO het concentraat te recirculeren wordt de recovery vergelijkbaar met de recovery van het SW RO en komt het energieverbruik per m^3 geproduceerd permeaat in dezelfde range als van de huidige, gebruikelijke installaties met spiraalgewonden membranen.

Een technisch economische haalbaarheidsstudie is uitgevoerd naar de haalbaarheid van het 1-step RO concept (screen-RO) in vergelijking met een state-of-the-art behandeling (UF-RO). Kostenberekeningen zijn uitgevoerd met de kostensystematiek van RHDHV voor kleinschalige installaties uit 2000 voor een installatie met een capaciteit van <200 m^3/uur. De totale kosten van het 1-step RO scenario bleken lager (0,49 €/m^3) te zijn dan die van de state-of-the art UF-RO scenario (0,61 €/m^3). Het 1-step RO scenario is dus technisch en economisch interessant, waardoor er financiële ruimte bestaat voor het verbeteren van een alternatief en mogelijk duurder full-scale feedspacerloze RO concept.

Verder onderzoek richt zich op (i) het aantonen van eventuele voordelen van multi-source RO bedrijfsvoering, het toepassen van ijzerchloride voor het beperken van organische vervuiling in RO, (iii) het toepassen van kationwisseling voor calcium-verwijdering voor het beperken van organische vervuiling in RO, (iv) uitgebreider onderzoek naar effecten van mechanische en chemische reiniging, (v) het uitvoeren van een gelijktijdige autopsiestudie, (vi) het gelijktijdig uitvoeren van een SW RO en feedspacerloze RO experiment en (vii) onderzoeken van de effecten van een ander watertype (Kamerik, Oasen). Tenslotte lijkt een feedspacerloos RO systeem veelbelovend, echter nog niet direct commercieel beschikbaar. Dit biedt kansen voor een vervolgproject, gericht op het ontwikkelen van een feedspacerloos RO systeem met een grotere schaal.

Inhoud

1	**Introductie**	**6**
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel	6
1.3	Aanpak	6
1.4	Leeswijzer	7
2	**Achtergrond**	**8**
3	**Voorbehandeling RO**	**12**
3.1	Inleiding	12
3.2	Bron	12
3.3	Voorbehandeling met UF	15
3.4	Voorbehandeling met screens	18
3.5	Verwijderingsrendement voorbehandeling	21
4	**SW RO onderzoek**	**26**
4.1	SW RO Pilot	26
4.2	Experimentele opzet	27
4.3	Resultaten	32
5	**Feedspacerloze RO onderzoek**	**49**
5.1	Feedspacerloze lab installatie	49
5.2	Bedrijfsvoering lab installatie	51
5.3	Onderzoek en meetplan lab installatie feedspacerloze RO	52
5.4	Resultaten lab installatie feedspacerloze RO	52
6	**Discussie testresultaten 2016**	**58**
6.1	Waterkwaliteit en seizoensinvloeden	58
6.2	SW RO	59
6.3	Lab installatie feedspacerloze RO	64
6.4	Vergelijking SW RO en feedspacerloze RO	64
6.5	Inschatting van de potentie van feedspacerloze membraansystemen	67
6.6	Technische economische haalbaarheid	70
6.7	Overige aspecten in relatie tot feedspacerloze RO systemen	71
7	**Conclusies en aanbevelingen**	**73**
7.1	Conclusies	73
7.2	Aanbevelingen	74
Literatuur		**75**
Bijlage I	**PI&D SW RO pilot onderzoek**	**77**

Bijlage II Specificaties X-FLOW XIGA 46 UF membraan 78

Bijlage III Bureaustudie screens 80

Bijlage IV Bezoek discfilterinstallatie rwzi Deventer 82

Bijlage V Conclusies inzet mogelijke type screenleveranciers 89

Bijlage VI ACF M002P Filter 93

Bijlage VII Zelfreinigend M102C filter 96

Bijlage VIII Foto's diverse gebruikte screens/filters 99

Bijlage IX Resultaten deeltjesteller 3 µm MT-IBA filter 100

Bijlage X NOM karakterisering met behulp van LC-OCD 101

Bijlage XI Resultaten LC-OCD analyses 103

Bijlage XII Specificaties Hydranautics ESPA-2540 RO membranen 104

Bijlage XIII Resultaten verkennende drinkwater en vijverwatertesten feedspacerloze RO 107

Bijlage XIV Foto's duurtest Feedspacerloze lab installatie 111

Bijlage XV Berekening van hydraulische diameter 113

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Het Multi-source 1-step volstroom RO concept is gelanceerd door prof. dr. ir. W.G.J. van der Meer in zijn inaugurele rede bij de TU Delft (februari 2013). Multi-source 1-step volstroom RO is de werknaam voor een conceptuele vernieuwing in de drinkwaterzuivering welke is gebaseerd op één stap membraanfiltratie, in het bijzonder Reverse Osmosis (RO). De belangrijkste technische kenmerken van het concept zijn (i) een vergaande verwijdering van alle onopgeloste en opgeloste bestanddelen , (ii) de productie van gedemineraliseerd water dat aansluitend wordt geremineraliseerd, (iii) een flexibele/wisselende inzet van lokale bronnen (zoet en brak grond- en oppervlaktewater, oeverfiltraat, regenwater, (voorgezuiverd) afvalwater en zeewater) en (iv) een decentrale, lokale en kleinschalige productie en levering van drinkwater.

De toepassing van het Multi-source 1-step volstroom RO concept moet leiden tot een aantal bijzondere prestatiekenmerken, zoals (i) de productie van verrassingsvrij drinkwater van onberispelijke kwaliteit, (ii) een optimale voorbereiding op toekomstige ontwikkelingen (klimaatverandering, verzilting, wensen van afnemers, kwaliteit en kwantiteit van beschikbare bronnen), (iii) een hoge duurzaamheid (lager verbruik van energie en chemicaliën, minder reststoffen, minder vervuiling en nagroei in het distributienet en in binnen-installaties) en (iv) integraal lagere kosten.

In 2015 is er gestart met het TKI project ‘Multi-source 1-step volstroom RO, maatwerk van tap tot bron’. Deelnemende partijen zijn Oasen, Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard en KWR met medewerking van WE-Consult.

1.2 Doel

Het doel is de haalbaarheid aantonen van het 1-step volstroom RO concept met minimale voorbehandeling.

1.3 Aanpak

Om de doelstelling te realiseren, zijn twee sporen bewandeld, en met elkaar vergeleken, voor toepassing van RO op de moeilijkste bron (oppervlaktewater):

1. Optimaal ontwerp en bedrijfsvoering met commercieel beschikbare RO systemen met zo min mogelijk voorbehandeling.
2. Optimaal ontwerp en bedrijfsvoering met innovatieve RO system met zo min mogelijk voorbehandeling.

In 2016 zijn commercieel beschikbare Multi-source 1-step volstroom RO concepten uitgetest op oppervlaktewater (vijverwater KWR).

Er is in 2016 begonnen met een onderzoek op oppervlaktewater (vijver KWR) met commercieel beschikbare RO membranen (SW RO onderzoek) met (1) een ultrafiltratie voorbehandeling als state-of-the-art methode en (2) een minimale voorbehandeling met screens. In de pilotstudie is gekeken naar (a) voorbehandeling, (b) hydraulische reiniging, (c) flux effecten en (d) langsstroomsnelheid.

Daarnaast is in 2016 het innovatief feedspacerloze RO systeem ontwikkeld dat parallel op oppervlaktewater (vijver KWR) is getest.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de pilotonderzoeken uitvoerig. Daarnaast zullen de overige activiteiten met betrekking tot het onderzoek kort de revue passeren.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de achtergrond van het onderzoek. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de materialen, methoden en resultaten van de onderzochte voorbehandelingsstappen voor RO. Hoofdstuk 4 presenteert de materialen, methoden en resultaten van het SW RO onderzoek. Vervolgens worden in Hoofdstuk 5 de materialen, methoden en resultaten gerapporteerd van het feedspacerloze RO onderzoek. De discussie over de SW RO, de feedspacerloze RO en de SW vs feedspacerloze RO van het totale onderzoek vindt plaats in hoofdstuk 6. In Hoofdstuk 7 worden de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek besproken.

2 Achtergrond

Omgekeerde osmose (reverse osmose of RO) is - op dit moment - de meest geschikte technologie voor de behandeling van water uit verschillende bronnen, omdat RO een robuuste barrière vormt voor bijna alle verontreinigingen. De bron van de verontreinigingen in water is hierbij minder van belang, waardoor RO effectief kan zijn voor de behandeling van oppervlaktewater, grondwater, regenwater, effluent en afvalwater. Zeewaterbehandeling is in principe ook mogelijk, maar vanwege het hoge zoutgehalte van zeewater zijn andere typen RO membranen nodig en worden er andere eisen gesteld aan de RO installatie. Hierdoor wordt zeewater in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Een multi-source zuivering is een zuivering die geschikt is voor het behandelen van verschillende bronnen. Dit kan zover gaan, dat een zuivering op één locatie zelfs wisselend kan worden gevoed met verschillende bronnen, of met een mengwater van verschillende bronnen. Een andere mogelijkheid is een systeem dat kan worden ingezet op verschillende locaties met verschillende bronnen. Vanwege de robuustheid van RO, kan deze technologie als multi-source technologie worden ingezet, wat het onderwerp vormt van dit onderzoek.

Door te kiezen voor kleinschaligere winning en zuivering, neemt het aantal potentieel geschikte bronnen toe. Hierdoor kan dichter bij de eindverbruikers water worden gewonnen en geproduceerd. Dit vergt veel minder transport van water, waardoor de huidige transport- en distributieleidingen in de toekomst mogelijk niet behoeven te worden vervangen, of veel kleiner kunnen worden gelegd. Door minder en/of kleiner te vervangen kan een aanzienlijke besparing op kosten en energieverbruik worden gerealiseerd in de toekomst. Het multi-source RO concept lijkt geschikt voor de kleinschalige en decentrale toepassing.

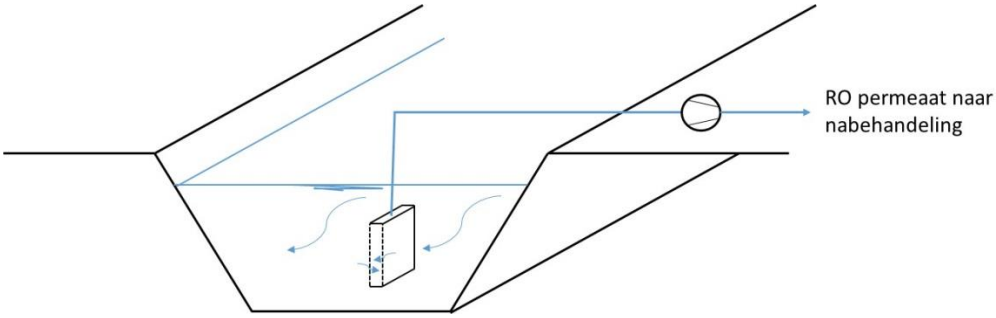
Voor het realiseren van een multi-source RO concept zijn verschillende aspecten van belang. Complexiteit is duur voor kleinschalige systemen en dient te worden vermeden. Door te streven naar een systeem met een minimale voorbehandeling kan complexiteit worden beperkt. Het is daarom te streven naar een kleinschalig en decentrale RO systemen met een minimale voorbehandeling. Hiernaast is de voorbehandeling van bepaalde eenvoudige bronnen, zoals regenwater en grondwater, sowieso al beperkt. Dit is de achtergrond voor het 1-step RO concept.

De barrière van het multi-source 1-step RO concept is in feite alleen het RO membraan, en vormt daarmee ook een risico van het concept. Als het RO membraan beschadigt dan is er een direct risico voor besmetting van het productwater, bijvoorbeeld is het geval van een verlies in desinfectie capaciteit. Het is daarom van groot belang om het systeem voldoende en betrouwbaar te monitoren. De (hoge) integriteit van het systeem dient continu te worden aangetoond. Als dit niet mogelijk is, dan zijn er additionele behandelingsstappen nodig en dat gaat principieel in tegen het 1-step principe. Het bepalen van de membraanintegriteit is een belangrijk en kritisch onderwerp in het totale project, en zal in een ander rapport worden behandeld (in voorbereiding).

Het ideaalbeeld is om een RO membraan direct op oppervlaktewater te kunnen toepassen (1-step RO). Direct wil in dit verband zeggen:

1. zonder (of weinig) voorbehandeling, waarbij
2. de membranen 'los' in het oppervlaktewater hangen en er alleen RO permeaat wordt opgepompt

In Figuur 2-1 is dit ideaal schematisch weergegeven: een RO membraan wordt rechtstreeks in het oppervlaktewater gehangen. Door middel van een pomp wordt alleen permeaat onttrokken. Het concentraat blijft in het oppervlaktewater en wordt door de natuurlijke stroming afgevoerd.

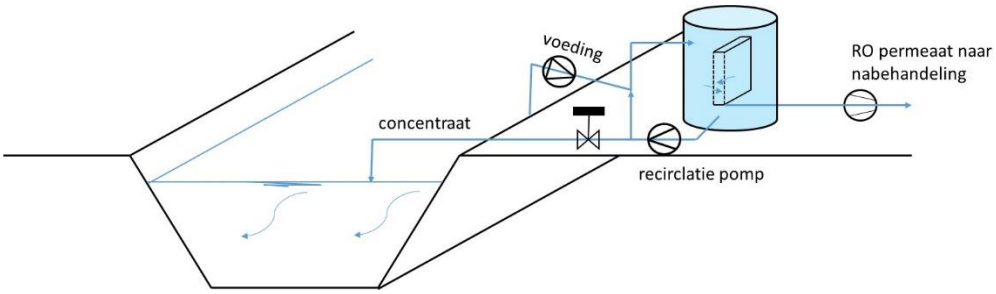


FIGUUR 2-1 IDEAALBEELD RO OPPERVLAKTEWATER

Aan het ideaalbeeld kleven echter een aantal grote problemen:

1. De beschikbare drukverschil (TMP) over het membraan is beperkt tot de maximale onderdruk die kan worden aangelegd. Hierdoor wordt de productie met RO membranen zeer beperkt (tot enkele liters per m^2 per uur). Eventueel kan door het aanbrengen van extra hydrostatische druk de productie nog worden verhoogd.
2. De kwaliteit van het permeaat is sterk afhankelijk van de langsstroomsnelheid en turbulentie langs het membraan. Deze langsstroomsnelheid kan, in een opstelling zoals weergegeven in Figuur 2-1 niet worden gecontroleerd, maar wordt geheel bepaald door de natuurlijke stroming. Mogelijk kan echter met een bellenbeluchting, en/of bewegende membranen wel iets worden bereikt, maar dit lijkt toch lastig in de praktijk. Ter vergelijking: in de bekende spiral wound membranen zijn feedspacers geplaatst, waar het voedingswater met een minimale snelheid (~0,1 m/s) langs wordt gepompt. Hierdoor ontstaat een gecontroleerde langsstroomsnelheid en (in belangrijke mate mede door de feedspacer) extra turbulentie. Het ideaal volgens Figuur 2-1 is echter om geen feedspacers te hoeven toepassen, omdat feedspacers weer kunnen verstoppen en aanhechtingsplaatsen zijn voor biofilmgroei.
3. Chemische reiniging van de membranen is problematisch. Hierbij moet immers worden voorkomen dat chemicaliën worden verspild (kosten) en/of in het oppervlaktewater terecht komen. Het chemisch reinigen van de membranen op de wal is een mogelijkheid, hiervoor is een takelsysteem nodig wat naar verwachting duur, arbeidsintensief en niet praktisch is.
4. Tenslotte: als membranen vrij in het oppervlaktewater hangen, zal aangroei plaatsvinden van algen en driehoeksmosselen. Met name de aangroei van driehoeksmosselen is waarschijnlijk zeer problematisch vanwege het gewicht en de schade die de mosselen aan de toplaag van het membraan kunnen toebrengen.

Een aantal van bovengenoemde nadelen kan worden opgelost met een uitvoering van directe RO zoals weergegeven in Figuur 2-2.



FIGUUR 2-2 DIRECTE RO 'OP DE WAL'

Met een installatie zoals schematisch weergegeven in Figuur 2-2, kan een hogere membraanflux worden bereikt door de hogere druk in de membraanbehuizing. Hiervoor moet het ruwwater wel worden opgepompt tot de gewenste druk. Het concentraat moet vervolgens worden teruggevoerd naar het oppervlaktewater via een concentraatklep, waarbij de pompdruk voor het concentraat deel verloren gaat. Dit is deels op te vangen met energie recovery. Door over de tank te recirculeren kan voldoende langsstroomsnelheid langs het membraan worden gegenereerd zonder extra concentraatverlies.

De langsstroomsnelheid kan beter worden gecontroleerd door een goed hydraulisch ontwerp met veel membraan oppervlak per m^3 tankvolume in combinatie met een geforceerde doorstroming van de tank. Continue beluchting tijdens filtratie is kostbaar vanwege de hoge hydrostatische druk, wat resulteert in een hoog energieverbruik. Beluchting kan wel goed worden ingezet als reinigingstechniek wanneer de druk in de tank tijdelijk (gedurende de beluchting) wordt verlaagd.

Het chemisch reinigen van de membranen is een stuk eenvoudiger geworden in vergelijking met membranen die vrij in het oppervlaktewater zijn geplaatst.

Het probleem van algenbloei kan worden vermeden door de afwezigheid van daglicht in de membraanbehuizing. Echter, algen zullen nog steeds in het ruwwater groeien en dus ook aangevoerd worden tenzij ze vooraf worden verwijderd uit het voedingswater. De aangroei van driehoeksmosselen blijft een fors probleem. Deze mosselen groeien ook in afwezigheid van licht en zullen zich dus nog steeds op de membranen afzetten en na afzetting blijven doorgroeien, tenzij de larven (~30 µm) vooraf worden verwijderd uit het voedingswater. Groei van driehoeksmosselen is ook in koelwatersystemen een serieus punt van aandacht (zie Figuur 2-3).



FIGUUR 2-3 AANGROEI MOSSELEN IN EEN POMPENKELDER

De afzetting en groei van driehoeksmosselen kan in principe worden voorkomen/beperkt op een aantal manieren:

- Verwijderen van alle larven (~30 µm) van de driehoeksmosselen. Hiermee wordt voorkomen dat larven in de membranen komen.
- Toepassen van een hoge stroomsnelheid (~ > 1,5 m/s), waardoor de larven zich niet kunnen afzetten. Een dergelijk hoge langsstroomsnelheid langs het membraan wordt als niet haalbaar gezien in verband met de hoge energiekosten.
- Toepassen van chemicaliën (bijv. een geringe chloordosering). Toepassing van chloor is niet toegestaan bij toepassing van Polyamide membranen. Toepassing van andere biociden wordt evenmin acceptabel geacht, voornamelijk vanuit het oogpunt van emissie naar het milieu en de mogelijkheid van permeatie door het membraan.
- Toepassing van zuurstofloosheid. Mosselen kunnen niet groeien zonder zuurstof in het water. Continu toevoeren van zuurstofloos water is echter praktisch niet mogelijk. Discontinu zuurstofloos maken van de tank met de membranen is wel mogelijk, maar daarbij sterven de evt. aanwezige mosselen af. Deze dode mosselen laten organisch materiaal en schelpen achter die lastig te verwijderen zijn.

Wanneer driehoeksmosselen echt een probleem blijken te zijn, lijkt het verwijderen van de larven de beste oplossing. Hiervoor is een filtratie (zandfiltratie of screen met een maaswijdte < 30 µm) voldoende.

3 Voorbehandeling RO

3.1 Inleiding

In 2016 zijn Multi-source 1-step volstroom RO concepten met en zonder feedspacer uitgetest op het vijverwater van KWR te Nieuwegein. Er is begonnen met een onderzoek op vijverwater met commercieel beschikbare spiral wound RO membranen met (1) een ultrafiltratie (UF) voorbehandeling als state-of-the-art methode en (2) een minimale voorbehandeling met screens. De PI&D voor de pilot installatie is weergegeven in Bijlage I. Daarnaast is er een innovatief feedspacerloze RO systeem ontwikkeld, dat parallel op het vijverwater na screens, en drinkwater is getest. De constructie en uitvoering van de feedspacerloze pilot is beschreven in hoofdstuk 5.

3.2 Bron

3.2.1 Samenstelling drinkwater

Het drinkwater dat tijdens de testen met het feedspacerloze membraan is gebruikt in de periode 15 juni – 7 september 2016, komt van pompstation Tull en 't Waal (Vitens). De testen met drinkwater vonden plaats in de periode mei tot en met september 2016. De kwaliteit van het drinkwater over de periode januari tot en met september 2016 is weergegeven in Tabel 3-1. De kwaliteit van het drinkwater is gebaseerd op de beschikbare gegevens van de website van Vitens. Tijdens de testen met drinkwater zijn er, met uitzondering van temperatuur, geleidbaarheid (EGV) en pH analyses, geen directe analyses op het drinkwater uitgevoerd.

TABEL 3-1 KWALITEIT DRINKWATER: POMPSTATION TULL EN 'T WAAL PERIODE JANUARI TOT EN MET SEPTEMBER 2016 [WEBSITE VITENS]

Parameter	Eenheid	Gemiddelde waarde	Min – max waarde
Temperatuur	^{0}C	13,2	12,8 – 13,5
Zuurgraad	pH	8,07	7,94 – 8,30
EGV	µS/cm	234	193 – 348
Waterstofcarbonaat	mg/l HCO_3^-	150	120 – 238
Calcium	mg/l Ca	34,7	25,2 – 65,0
Magnesium	mg/l Mg	6,17	5,56 – 7,17
Natrium	mg/l Na	14,0	12,9 – 15,0
Kalium	mg/l K	1,10	1,09 – 1,13
Sulfaat	mg/l SO_4^{2-}	<2	<2
Chloride	mg/l Cl	9	9
Nitraat	mg/l NO_3^-	<1	<1

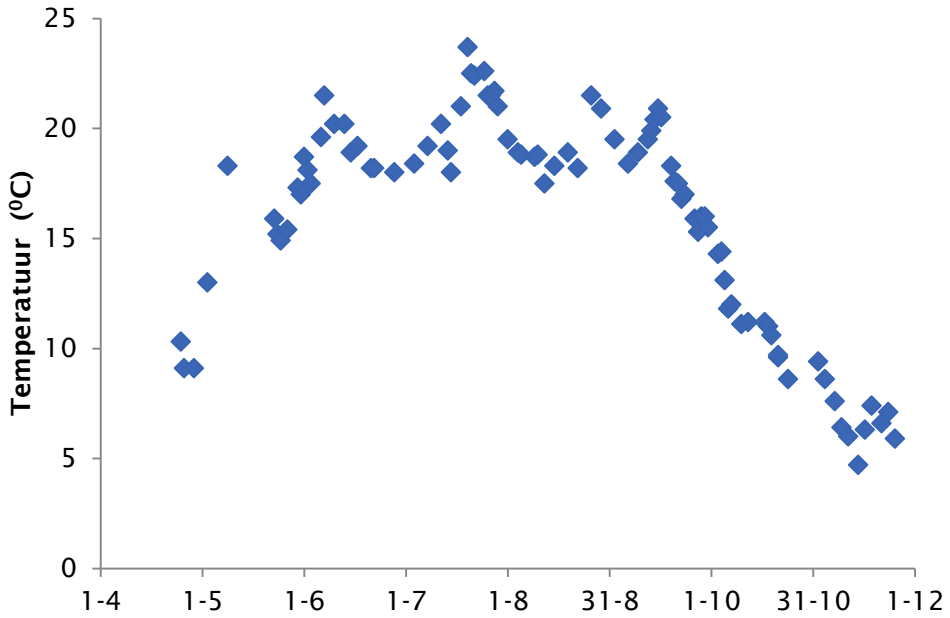
3.2.2 Samenstelling vijverwater

Testen met vijverwater vonden plaats in de periode van 25 april tot en met 25 november 2016. Het vijverwater is geanalyseerd op 25 april, 15 juli en 5 oktober 2016 tijdens de opstart van een nieuwe serie testen in het kader van het SW RO onderzoek. De vijverwatermonsters zijn genomen na het grove ACF M002P filter (voor beschrijving filter zie paragraaf 3.4.1.1). In Tabel 3-2 zijn de analyseresultaten samengevat. De analyses zijn deels uitgevoerd door het chemisch lab van KWR (Nieuwegein) en deels door het Vitens lab (Leeuwarden). Alle analyses zijn uitgevoerd volgens standaard procedures.

TABEL 3-2 KWALITEIT VIJVERWATER (NA ACF M002P FILTER) : ANALYSERESULTATEN 25 APRIL EN 15 JULI 2016

Parameter	Eenheid	25 april 2016	15 juli 2016	5 oktober 2016
Zuurgraad	pH	8,8	7,8	7,8
EGV	µS/cm	-	-	374
Waterstofcarbonaat	mg/l HCO_3^-	43,6	93	130
DOC	mg C/L	6,1	4,9	6,0
Calcium	mg/l Ca	98,87	55,2	46,8
Magnesium	mg/l Mg	10,55	8,16	7,63
Natrium	mg/l Na	21,42	14,9	15,4
Kalium	mg/l K	1,215	1,5	1,6
Sulfaat	mg/l SO_4^{2-}	270	130	74
Chloride	mg/l Cl	27	17	17
Nitraat	mg/l NO_3^-	<1	<1	<1

Uit de gegevens in tabel 3-2 is af te lezen dat de pH en de gehalten HCO_3^-, Ca, SO_4, Na en Cl sterk hebben gevarieerd tijdens de uitvoering van het onderzoek. Tijdens de uitvoering van de testen zijn regelmatig de temperatuur, EGV en pH van het vijverwater gemeten. De temperatuur van het vijverwater (na grof filter) is gemeten gedurende de gehele test periode en weergegeven in Figuur 3-1.

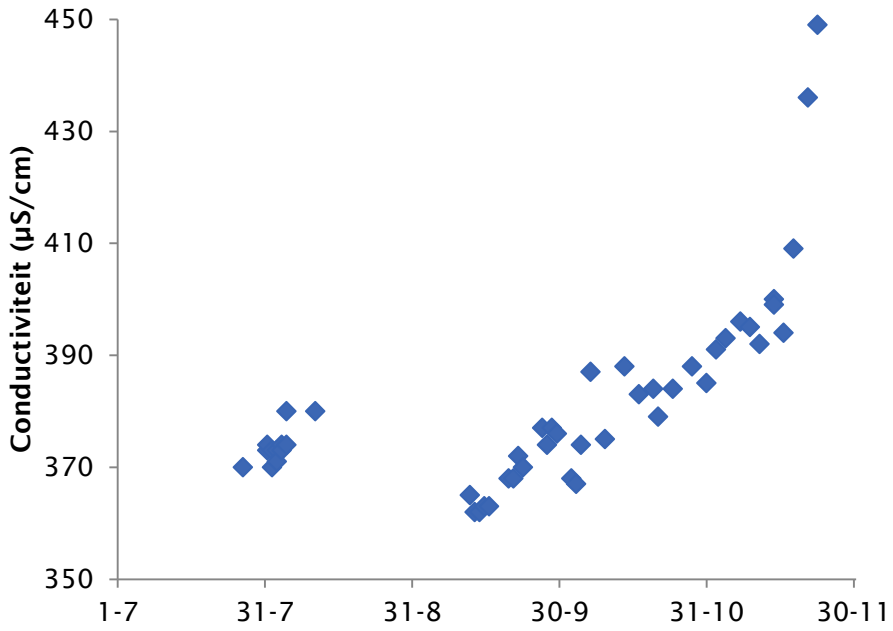


FIGUUR 3-1 TEMPERATUUR VIJVERWATER (NA GROF FILTER) TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (25-4 TM 25-11-2016)

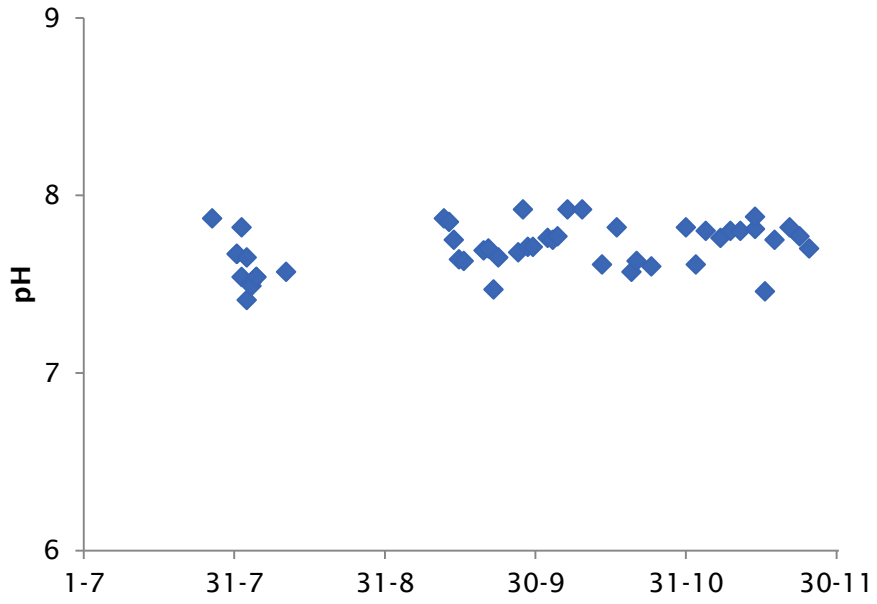
Tijdens het onderzoek varieerde de temperatuur tussen 4,7 en 23,7 °C. Aan het begin van het onderzoek in april was de temperatuur 9,1 °C. Vervolgens liep de temperatuur van het vijverwater snel op naar 18 °C in het begin van juni. In de periode juni – half september

schommelde de temperatuur tussen de 18 en 24 ^{0}C. Om vervolgens af te nemen rond de 6 ^{0}C aan het einde van de testperiode in november.

De EGV (Figuur 3-2) en pH (Figuur 3-3) van het vijverwater is gemeten vanaf het moment dat er zowel SW RO onderzoek als onderzoek met de feedspacerloze RO installatie plaatsvond (periode 27-7 tot en met 25-12-2016).



FIGUUR 3-2 EGV VIJVERWATER (NA GROF FILTER) TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (27-7 TM 25-11-2016)



FIGUUR 3-3 PH VIJVERWATER (NA GROF FILTER) TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (27-7 TM 25-11-2016)

Tijdens de meetperiode liep de EGV op van 370 eind juli naar 400 µS/cm half november. De laatst 2 weken van de testperiode (half-eind november) liep de EGV sneller op, namelijk van

400 naar 440 – 450 µS/cm. De pH varieerde tijdens de meetperiode steeds tussen ~7,4 en ~7,9.

3.3 Voorbehandeling met UF

3.3.1 UF-Pilot

In de KWR UF installatie (UAN961502), die tijdens de testen is gebruikt, kunnen twee 8" UF modules in serie worden geplaatst. De installatie bevat 2 X-flow Xiga 46 UF membranen (0,8 mm capillairen) van Pentair (zie Bijlage II voor specificaties). Beide modules hebben een membraanoppervlak van 46 m^2. Het totale membraanoppervlak is 92 m^2. De UF installatie is ingezet als voorbehandeling voor twee van de zes spiral wound RO modules (zie Bijlage I). De UF kan zowel handmatig als automatisch (continu) worden bediend. Tijdens de testen is de installatie continu bedreven, waarbij gebruik wordt gemaakt van een productie en een terugspoel cyclus. De productie vindt plaats in dead-end mode waarbij de membranen vanaf beide voedingszijden worden gevoed. Reiniging vindt plaats door middel van terugspoeling (hydraulisch) en terugspoeling met chemicaliën (chemisch/hydraulisch). Het is mogelijk om twee typen chemische reinigingen toe te passen. Tijdens in 2016 uitgevoerde testen is er voor gekozen om een basische ($NaOH/NaOCl^-$) reiniging, gevolgd door een zure (HCl) reiniging toe te passen. Tijdens de testen worden de voeding, productie en terugspoeldebieten, de drukken voor en na het membraan en de temperatuur van het voedingswater gemeten en gelogd.

3.3.2 Experimentele opzet

De testen op vijverwater zijn gestart op 25 april 2016. Na een korte opstartperiode, die in dit rapport verder niet zal worden omschreven, zijn vanaf 23 mei de in dit rapport gerapporteerde testen van start gegaan.

In Tabel 3-3 zijn de instellingen weergegeven, die in overleg met de projectgroep en proefondervindelijk zijn vastgesteld. Indien noodzakelijk zijn deze instellingen tijdens de testen gewijzigd om ervoor te zorgen dat de UF zonder problemen zou opereren. Wijzigingen van de instellingen staan beschreven in paragraaf 3.3.3 (bedrijfsvoering UF).

TABEL 3-3 *INSTELLINGEN UF INSTALLATIE TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (23-5 TM 25-11-2016)*

	debiet m^3/uur	**Flux** L/m^2.uur	**frequentie**	**Duur** Sec	**richting**
Filtratie					
Filtratie	2,0	22			tweezijdig
Terugspoelen					
Terugspoelen (TS)	20	217	Ieder uur	45	tweezijdig
Chemische reiniging					
CR1			Iedere 2 dagen (na 48x filtreren)		Tweezijdig
TS	10	109		10	Tweezijdig
Voor doseertijd	10	109		5	
Doseertijd	10	109		45	
Na doseertijd	10	109		5	
Inweektijd				600	
Uitspoeltijd	10	109		120	
CR2			direct na CR1		Tweezijdig
Voor doseertijd	10	109		5	Tweezijdig
Doseertijd	10	109		45	
Na doseertijd	10	109		5	
Inweektijd				600	
Uitspoelen	10	109		120	

De doseeroplossingen voor de chemische reinigingen hebben de volgende samenstelling:

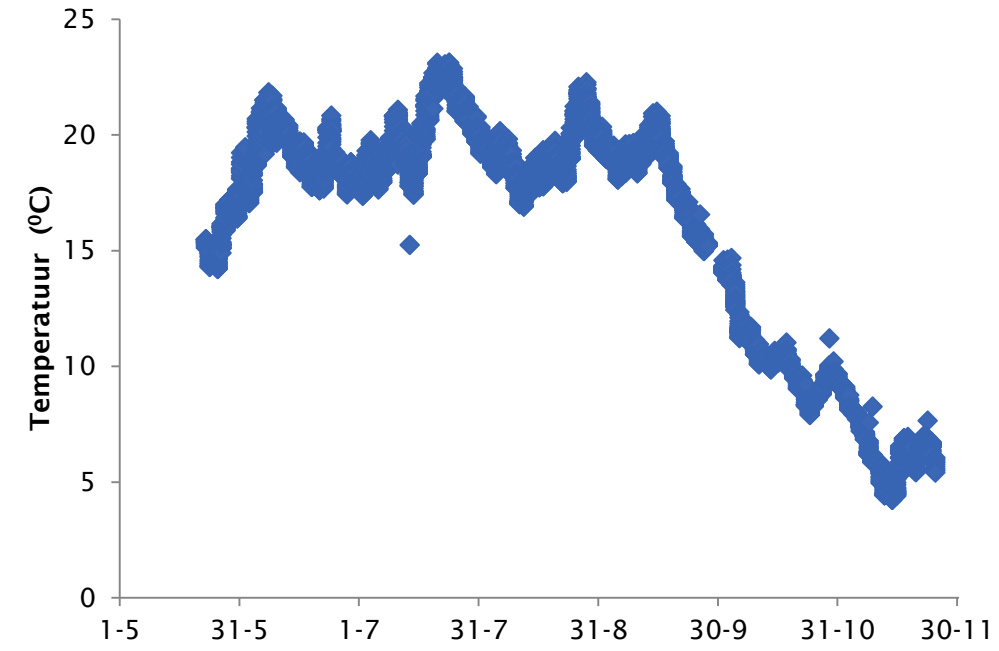
- Chemische reiniging 1 (CR1): Chloorbleekloog (150 mg/L)/ natronloog bij pH 12 (Boom, eigen productie). Er wordt 80 g/L natronloog toegevoegd aan 30 g/L $NaClO^-$ in een 50 L vat. Hieruit wordt 50 L/uur gedoseerd aan de hoofdstroom.
- Chemische reiniging 2 (CR2): HCl bij pH2. Er wordt 30,9 L/uur HCl 10% (Boom, pro analyse) gedoseerd aan de hoofdstroom vanuit een 50 L vat.

Een chemische reiniging vindt iedere 2 dagen plaats. Dit komt overeen met een chemische reiniging na 48 filter runs van 1 uur. In de bedrijfsvoering zal altijd na een CR1 direct een CR2 worden uitgevoerd. Met deze volgorde wordt ook voorkomen dat de RO membranen in contact komen met vrij chloor.

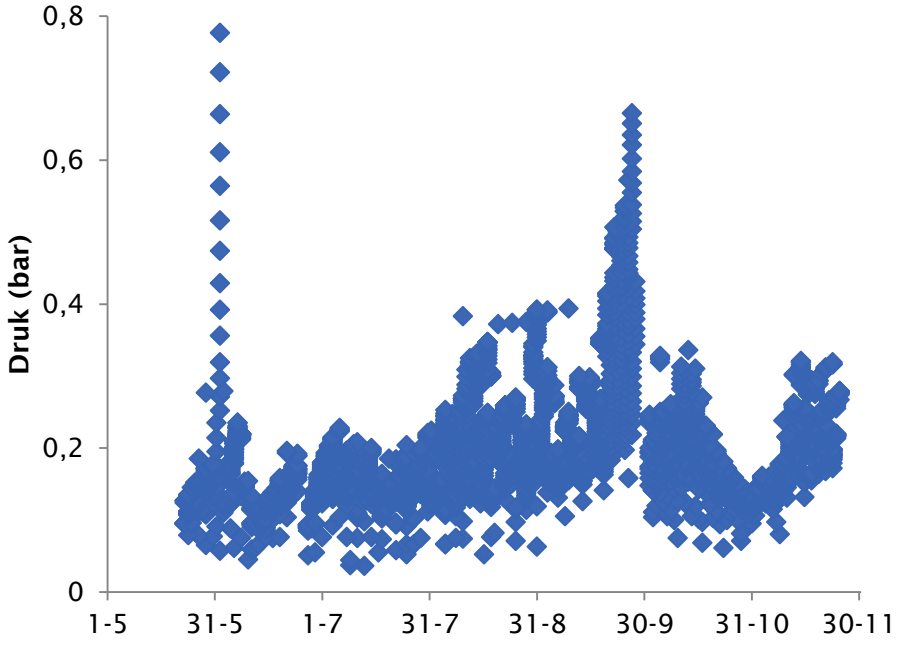
3.3.3 Bedrijfsvoering UF

De UF is vanaf 23 mei tot en met 25 november 2016 in bedrijf geweest en gevoed met vijverwater na grof filtratie over een 250 µm screen. Gedurende deze periode heeft de installatie zonder veel problemen gedraaid. De debieten bleven tijdens deze periode constant (data hier niet vermeld) en op de gewenste waarden. Alleen het terugspoeldebiet van 20 m^3 per uur (terugspoel flux ~217 L/m^2.uur) werd niet gehaald. Het debiet lag tussen de 15 – 18 m^3 uur (terugspoel flux ~163 – 196 L/m^2.uur). Deze lagere debieten werden veroorzaakt door de beperking van de terugspoelpomp. Omdat de UF met een lage flux wordt bedreven (~22 L/m^2.uur) is een terugspoel flux van 160 L/m^2.uur of hoger als ruim voldoende ingeschat.

De temperatuur van het voedingswater van de UF gedurende de testperiode is weergegeven in Figuur 3-4. De gemeten temperatuur van het voedingswater van de UF was geheel vergelijkbaar met de elders gemeten temperatuur van hetzelfde vijverwater (Figuur 3-1).



FIGUUR 3-4 TEMPERATUUR VOEDING UF TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (23-5 TM 25-11-2016)



FIGUUR 3-5 VOEDINGSDRUK (P1) UF TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (23-5 TM 25-11-2016)

Tijdens de start van de testen in mei is de chemische reiniging 1x per 2 dagen uitgevoerd. In de periode juli-augustus zijn een aantal aanpassingen aan de installatie gedaan in verband met de afvoer van spoelwater. Dit heeft tot gevolg gehad, dat er in juli met een wisselende frequentie chemisch is gereinigd. Soms 1x per 2 dagen en soms 1x per 3 dagen. In augustus is overgestapt naar standaard 1x per 3 dagen chemische reiniging. Hierna liep de drukval

over het membraan snel op, en is er besloten om vanaf 19 september weer terug te gaan naar een frequentie van 1x per 2 dagen. De terugspoelfrequentie gedurende deze hele periode (mei – september) was 1x per uur.

Na het aanpassen van de chemische reinigingscyclus op 19 september, bleef de voedingsdruk toch nog enigszins stijgen. Dit werd deels veroorzaakt door de hogere biologische activiteit als gevolg van de hoge watertemperatuur gedurende deze periode, maar ook functioneerde de chemische reiniging niet optimaal in deze periode: de afvoerklep richting het riool sloot niet voldoende af, waardoor het inweken niet effectief was. Op 4 oktober is de klep gerepareerd en de frequentie van chemisch reinigen en terugspoelen verhoogd tot 1x per dag (CR) en 1x per half uur (TS)[1]. Hiermee werd de drukval over het membraan effectief gestabiliseerd. Vanaf 8 november is de frequentie van de chemische reiniging weer teruggebracht naar 1x per 2 dagen. De terugspoelfrequentie is daarbij niet aangepast.

Bij een terugspoelfrequentie van 2x per uur (16,5 m^3/uur) en een dagelijkse chemische reiniging, bedraagt de recovery van de UF circa 75,2% en is de netto flux ongeveer 16,5 L/m^2.uur.

Bij een terugspoelfrequentie van 1 x per uur (16,5 m^3/uur) en een chemische reinigingsfrequentie van 1x per 2 dagen, bedraagt de recovery van de UF circa 88,6% en is de netto flux ongeveer 19,5 L/m^2.uur.

3.4 Voorbehandeling met screens

3.4.1 Screens

In 2015 is een bureaustudie uitgevoerd naar verschillende screens als mogelijke voorbehandeling voor spiraalgewonden RO elementen, waarin het effect van type screenontwerp en screengrootte op de deeltjesverwijdering centraal stond.

In Bijlage III is een overzicht van mogelijke screenleveranciers, en beschikbare (wetenschappelijke) literatuur van leveranciers gegeven. Twee leveranciers zijn bij KWR op bezoek geweest om hun producten en ervaringen toe te lichten (Beta Industrie en Fiber Filtration BV). Daarnaast er contact gezocht met Evides en Dunea om hun ervaringen met het gebruik van screens ook mee te nemen in de verkenning welke screens het best kunnen worden toegepast voor de pilottesten. Evides en Dunea maken beide gebruik van trommelzeven (maaswijdte 35- 45 µm). Beide bedrijven waren tevreden over de zuiveringsprestaties van de door hun toegepaste screens. De verslagen van de ervaringen van Evides en Dunea zijn niet opgenomen in dit rapport. Verder is op 22 oktober 2015 een bezoek gebracht aan de discfilterinstallatie op de RWZI in Deventer. Een verslag van dit bezoek is terug te vinden in Bijlage IV.

In Bijlage V is alle informatie over de verschillende screens samengevat en vergeleken met het oog op de keuze voor de proefopzet voor de inzet van mogelijke screens in het pilot onderzoek. Op basis van deze informatie, de beschikbaarheid en de gewenste volumestroom is er voor gekozen om in eerste instantie testen uit te voeren met screens van Fiber Filtration BV.

[1] Bij een terugspoelfrequentie van 2x per uur (16,5 m^3/uur) en een dagelijkse chemische reiniging, bedraagt de recovery van de UF circa 75,2% en is de netto flux ongeveer 16,5 L/m^2.uur.
Bij een terugspoelfrequentie van 1x per uur (16,5 m^3/uur) en een chemische reinigingsfrequentie van 1x per 2 dagen, bedraagt de recovery van de UF circa 88,6% en is de netto flux ongeveer 19,5 L/m^2.uur.

3.4.1.1 Grof filter ACF M002P

Het vijverwater wordt in een eerste behandelingsstap met een grof filter behandeld, om grove deeltjes (bv. takken, bladeren, levende organisme) af te vangen. Het grove filter is voor zowel de UF als het te testen (zelfreinigende) fijne filter geplaatst (zie Bijlage I). Het grove filter is een ACF M002P grof filter met een Wedge wire filterelement met 0,25 mm spleetbreedte van Fiber filtration BV (V&T groep BV, Numansdorp). Het filter wordt automatisch mechanisch gereinigd met een schraper mechanisme. Een gedetailleerde omschrijving van het filter, de werking van de mechanische reiniging en een uitgebreide tabel met de specificatie van het filter, zoals opgegeven door de fabrikant, zijn beschreven in Bijlage VI. Een foto van de filter unit is weergegeven in Bijlage VIII.

Gedurende de gehele test periode was het filtratiedebiet ongeveer 5 m^3/uur. Er vond iedere 15 minuten een spoeling plaats. Het aantal spoelcycli werd met behulp van een teller, die zich in de PLC bevond, geregistreerd.

3.4.1.2 Zelfreinigend 25 µm M102C filter

Het eerste screen dat getest is als mogelijke voorbehandeling voor spiraalgewonden RO elementen is het zelfreinigend M102C filter met een 25 micron RVS filterelement van Fiber filtration BV. Het zelfreinigende filter is achter het grof filter geplaatst en vormt de voorbehandeling van vier RO modules (zie Bijlage I). Het filter wordt automatisch gereinigd met behulp van een terugspoelpomp (HP Duivelaar, DPLHS6 -180). Het filter wordt met een langsstroom gespoeld vanuit de voedingsstroom zodanig dat er een soort terugspoeling plaatsvindt. Als spoelwater is het eigen voedingswater gebruikt. Een gedetailleerde omschrijving van het filter, de methode van terugspoelen en een uitgebreide tabel met de specificaties van het filter, zoals opgegeven door de fabrikant, zijn bijgevoegd in Bijlage VII. Foto's van het filter en de filter unit inclusief terugspoelpomp en besturingskast zijn weergegeven in Bijlage VIII.

Gedurende de gehele testperiode lag het filtratiedebiet tussen 1,5 en 2 m^3/uur. Er vond iedere 10 minuten, of extra bij een drukverschil van 0,5 bar, een spoeling plaats. Het aantal spoelcycli werd met behulp van een teller, die zich in de PLC bevond, geregistreerd. Daarnaast werd halverwege het proefonderzoek (6 juni 2016) gestart met het loggen van de stand (aan/uit) van de terugspoelpomp (om de 10 seconden) om een indicatie te krijgen van de frequentie van het aantal terugspoelingen van het fijne filter.

3.4.1.3 Zelfreinigend 3 µm MT-IBA-2 filter

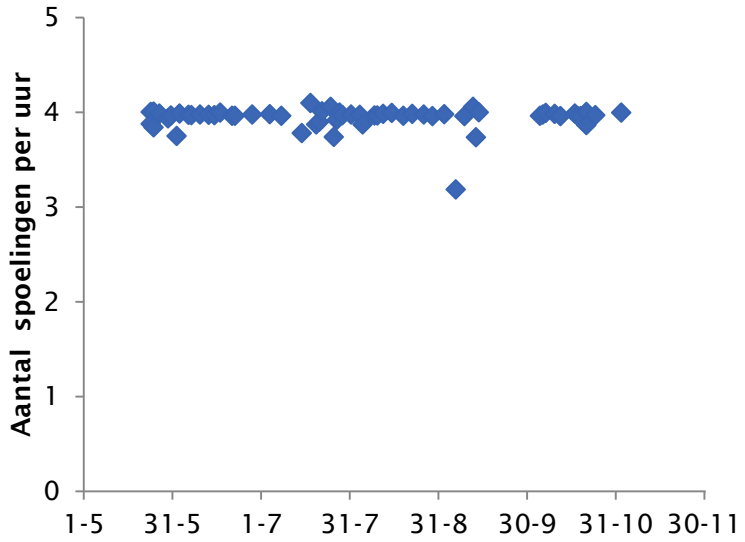
Als vervolgstap op het testen van het 25 µm filter is een fijnere 3 µm filter getest. Dit filter is uiteindelijk niet toegepast als voorzuivering van de RO modules tijdens het proefonderzoek, maar wel verkend als optie. Het geteste filter was een 3 µm MT-IBA-2 filter van Fiber filtration BV. Als extra tussenstap is na het grove 250 µm filter een extra 100 µm filter in de zelfreinigend filter M102C unit geplaatst. Het is echter niet gelukt om het 3 µm filter naar behoren te laten functioneren. Uit deeltjestellingmetingen (zie Bijlage IX, 2 µm in plaats van 3 µm filter getest), die zijn uitgevoerd voor en na het filter, bleek dat de watersamenstelling voor en na het filter onveranderd was. Er werden dus in het geheel geen deeltjes door het filter afgevangen. Een oorzaak kon niet worden gevonden en er werd besloten om verdere testen met het 3 µm filter te stoppen. Alle resultaten met betrekking tot het onderzoek van het 3 µm filter worden in dit rapport niet vermeld.

3.4.2 Bedrijfsvoering Screens

3.4.2.1 Grof filter ACF M002P

Het grove ACF filter is vanaf 23 mei tot en met 25 november 2016 in bedrijf geweest. Het filter werkte gedurende de hele test periode zonder problemen (geen druktoename of debietafname) en was continu in bedrijf, behalve tijdens storingen die werden veroorzaakt door andere installaties waardoor de watertoevoer moest worden stilgezet.

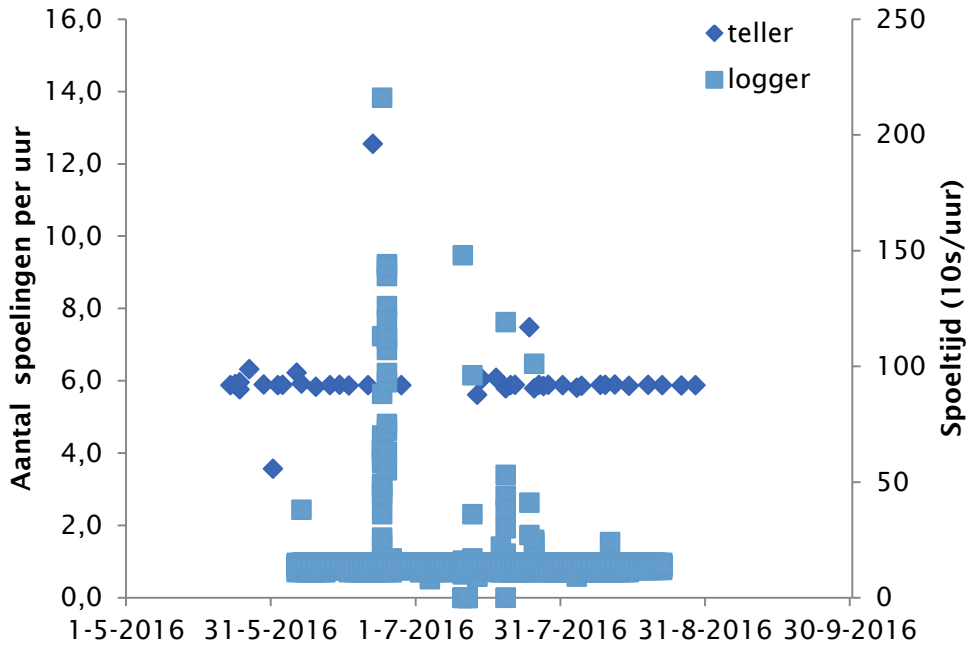
In Figuur 3-6 is het aantal spoelingen per uur in de tijd uitgezet in de periode van 23 mei tot en met 2 november. Tussen 14 september en 4 oktober is het aantal spoelingen niet geregistreerd, maar is het filter wel gewoon in bedrijf geweest en ook regelmatig gespoeld. Tijdens de hele testperiode zijn er in totaal 15324 spoelingen uitgevoerd (incl. de periode 14 september tot 4 oktober) en is er ongeveer 17500 m^3 vijverwater gefiltreerd (uitgaande van 5 m^3/uur). Op basis van bovenstaande gegeven aangevuld met de gegevens van de fabrikant is berekend dat het spoelverlies 0,6% bedraagt. In de praktijk kan het spoelverlies lager zijn daarnaast is het filter niet optimaal belast (maximale capaciteit 20 m^3/uur afhankelijk. van maaswijdte en vuillast, opgave fabrikant (Bijlage VI)). Mogelijk kan het spoelverlies in de praktijk lager zijn door langere looptijden in te stellen. Dit is in het kader van dit onderzoek niet getest.



FIGUUR 3-6 AANTAL FILTERSPOELINGEN GROF FILTER (250 µM) TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (23-5 TM 2-11-2016)

3.4.2.2 Zelfreinigend M102C filter

Het fijne 25 µm M102C filter (in het vervolg steeds aangeduid als 25 µm filter) is vanaf 23 mei tot en met 4 juli (eerste serie vijverwatertesten) en vanaf 14 juli tot en met 2 september 2016 (tweede serie vijverwater testen) in bedrijf geweest. In Figuur 3-7 is het aantal terugspoelingen per uur en de spoeltijd in eenheden van 10s per uur in de tijd voor het fijne filter weergegeven.



FIGUUR 3-7 AANTAL TERUGSPOELINGEN (TELLER) FIJN M102C FILTER (25 µM) TIJDENS VIJVERWATERTESTEN (23-05 TM 02-09-2016) EN SPOELTIJD (LOGGER) TIJDENS TESTEN VAN RO MODULES GEVOED MET WATER NA 25 µM (22-06 TM 22-08-2016)

Tijdens de testperiode diende het filter een enkele keer (3 – 5 keer) handmatig te worden gereinigd met de hogedruk spuit omdat alleen terugspoelen niet meer voldoende was. Na de reiniging met de hoge druk spuit was het filter direct weer in bedrijf. De verstoppingsproblemen werden veroorzaakt door het feit dat de vijverpomp iedere keer bij opstart grote hoeveelheden kleine deeltjes (zand) meevoerden het systeem in. Deze deeltjes werden niet verwijderd door het grove filter en kwamen op het 25 µm filter terecht. Hierdoor verstopte het filter direct. Door de bedrijfsvoering van de vijverpomp aan te passen (bij opstart pomp eerste uur water direct terugvoeren voor de filters werd voorkomen dat er in grote hoeveelheden fijne zanddeeltjes op het fijne filter terecht kwamen. Na deze ingreep werkte het 25 µm filter naar behoren. Gedurende de test periode zijn in totaal 15225 spoelingen uitgevoerd en is 4800 m^3 vijverwater gefiltreerd. Op basis van bovenstaande gegeven aangevuld met de gegevens van de fabrikant is berekend dat het spoelverlies 14,1 % bedraagt. In de praktijk kan dit spoelverlies aanmerkelijk lager zijn omdat het filter is niet maximaal is belast. De capaciteit van het filter is maximaal 10 m^3/uur (opgave fabrikant (Bijlage VII), maximale capaciteit afhankelijk. van maaswijdte en vuillast). Het filter gespoeld op tijd (na 10 min looptijd) of als de drukval over het filter teveel opliep (ingesteld 0,5 bar, maximaal 0,8 bar bij vuil oppervlak(opgave fabrikant)). Mogelijk kan het spoelverlies in de praktijk lager zijn door langere looptijden in te stellen. Dit is in het kader van dit onderzoek niet getest.

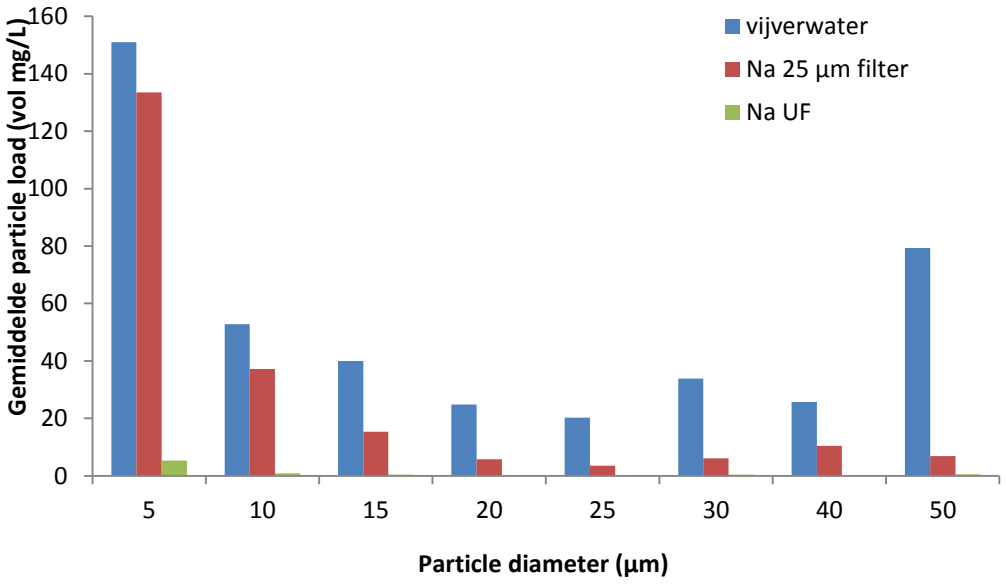
3.5 Verwijderingsrendement voorbehandeling

Om de prestatie van de verschillende voorbehandelingsstappen (fijne M102C filter en UF) te bepalen zijn er tijdens de testen met vijverwater verschillende wateranalyses uitgevoerd.

De troebelheid na het grove en fijne 25 µm filter is gemeten met behulp van bij KWR beschikbare troebelheidsmeters (Sigrist Aquascat P, Zwitserland). Door het vervuilende karakter van het water was het niet mogelijk om gedurende enkele dagen betrouwbare

metingen uit te voeren. De meetcel van de troebelheidsmeter vervuilde binnen enkele dagen waardoor een betrouwbare meting niet mogelijk was. Er is daarom besloten om te stoppen met het meten van de troebelheid. In plaats daarvan zijn er in de periode van 14 tot en met 17 juni deeltjesanalyse uitgevoerd met een deeltjesteller (Pamas Waterviewer, Duitsland). Metingen met de deeltjestellers zijn gedurende enkele uren uitgevoerd waardoor vervuiling van de cel geen issue was.

Er is een deeltjesanalyse uitgevoerd op het vijverwater, na het 25 µm filter en na UF. Ieder monsterpunt is gedurende 1 dag (na elkaar) gemeten. In Figuur 3-8 is het gemeten gemiddelde deeltjes volume (vol mg/L) per deeltjesgrote weergegeven.



FIGUUR 3-8 DEELTJESANALYSE NA VERSCHILLENDE VOORBEHANDELINGSSTAPPEN RO

Het 25 µm filter houdt, gedurende de meetperiode, meer dan 80% van de deeltjes groter dan 25 µm tegen, met uitzondering van de deeltjes tussen de 40 – 50 µm die worden voor 60% tegengehouden wellicht ten gevolge van clustering van deeltjes na het filter. Maar ook deeltjes met een grootte van 15 – 25 µm worden nog tot 60% tegengehouden. Een klein gedeelte van de deeltjes tussen de 5 en 15 µm worden tenslotte ook nog tegengehouden. Op basis van de resultaten kan men concluderen dat het 25 µm filter naar behoren werkt.

De UF verwijdert bijna alle deeltjes groter dan 5 µm. 96% van de deeltjes tussen de 5 – 10 µm worden afgevangen. Grotere deeltjes worden voor > 99% afgevangen[2].

Op 25 april, 25 mei, 15 juli en 5 oktober 2016 zijn, tijdens de opstart van een nieuwe serie testen in het kader van het SW RO onderzoek, LC-OCD analyses uitgevoerd op het vijverwater, en het behandelde vijverwater na het 25 µm M102C filter en na UF. Met behulp van LC-OCD (Liquid Chromatography – Organic Carbon Detection) kan Natuurlijk Organisch Materiaal (NOM) worden gekarakteriseerd [Huber et al,2011]. De LC-OCD analyses zijn uitgevoerd door

[2] In het productievat wordt een groene aanslag waargenomen, waarschijnlijk ten gevolge van algenbloei. Misschien heeft deze aanslag een invloed op de deeltjestellingen. Dit is niet verder onderzocht.

DOC Labor uit Karlsruhe (Duitsland). Een uitgebreide beschrijving van de LC-OCD analyse is bijgevoegd in Bijlage X. Alle resultaten van de analyses zijn weergegeven in Bijlage XI.

In Tabel 3-4 Is de samenstellingen van het DOC op de verschillende analysedagen samengevat. DOC is in mg C/L. Daarna is het percentage HOC hydrofiele Organisch koolstof (HOC) en de hydrofiele fractie Chromatografisch DOC (CDOC) in het DOC aangegeven. Tenslotte is het percentage biopolymeren, humus, bouwstenen, LMW Neutrale en LMW Zuren in het CDOC weergegeven.

TABEL 3-4 SAMENSTELLING NOM IN VIJVERWATER

			25-4	25-5	15-7	5-10
DOC (mg C/L)			6,11 ± 0,13	4,99 ± 0,11	4,88 ± 0,11	6,01 ± 0,13
	HOC		4,6 ± 0,7 %	4,0 ± 0,6 %	1,9 ± 0,3 %	1,5 ± 0,2 %
	CDOC		95,4 ± 2,1 %	96,0 ± 2,1 %	98,1 ±2,1 %	98,5 ± 2,1 %
		biopolymeren	12,7 ± 0,5 %	9,2 ± 0,4 %	9,8 ± 0,4 %	13,6 ± 0,6 %
		Humus	63,5 ± 1,6 %	67,0 ± 1,7 %	63,0 ± 1,6 %	60,9 ± 1,6 %
		Bouwstenen	13,7 ± 1,1 %	13,4 ± 1,0 %	15,6 ± 1,2 %	13,6 ± 1,0 %
		LMW Neutrale	10,2 ± 1,2 %	10,4 ± 1,2 %	11,6 ± 1,4 %	11,5 ± 1,4%
		LMW Zuren	0%	0%	0%	0%

Uit de analyses blijkt dat het DOC in het onbehandelde vijverwater voor 95% of meer bestaat uit CDOC. Dit CDOC bestaat vervolgens voor 60 a 70% uit humuszuren en bevat geen LMW zuren. De overige fracties liggen allemaal tussen de 9 – 16%.

Vervolgens is de retentie van de verschillende NOM fracties door het 25 µm filter (Figuur 3-9) en de UF (Figuur 3-10) berekend.

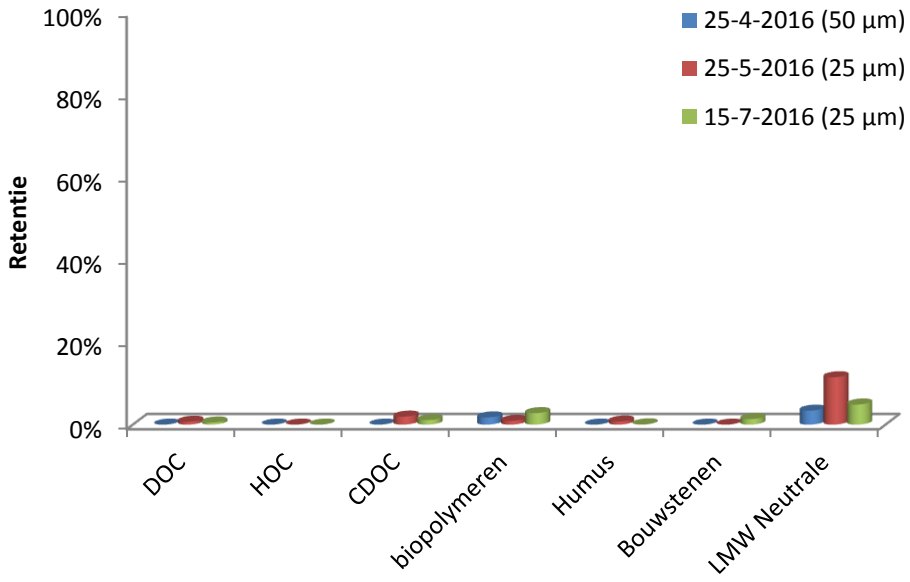
Tijdens de eerste analyseronde was er een 50 µm filter in de M102C filter unit geplaatst. Het 50 µm filter gaf een vergelijkbare verwijdering zien als het 25 µm filter. DOC blijkt nauwelijks te worden verwijderd door het 25 µm filter. Alleen LMW neutrale stoffen worden enigszins verwijderd. In het geheel draagt de verwijdering van LMW neutrale stoffen maar voor ~1% bij aan de verwijdering van DOC totaal.

Bij toepassing van UF wordt er ongeveer 10% van het totale DOC verwijderd. De overige fracties van CDOC worden allemaal voor minder dan 20 % verwijderd met UF. Verrassend is dat ~80% van de biopolymeren worden verwijderd. In de literatuur worden biopolymeren veelvuldig aangewezen als oorzaak van membraanvervuiling [Gabelich *et al.*2004, Kim, Hoek, 2007, Li *et al.*, 2007].

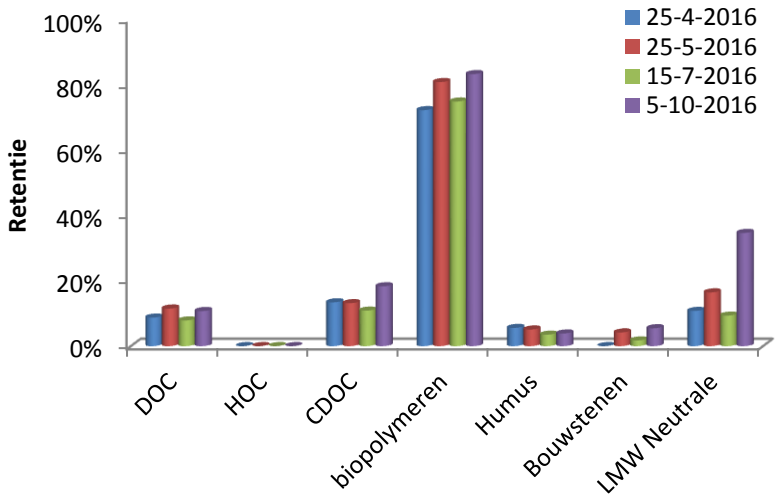
Bekend is dat biopolymeren goed kunnen worden verwijderd met een coagulant dosering. In Techneau verband is een verwijdering van ~80% gerapporteerd met coagulatie-flocculatie-bezinking [Van de Hoven, Kazner, 2009]. Het vergaand verwijderen van biopolymeren is echter lastig met ultrafiltratie zonder inline coagulatie. Bij een onderzoek op synthetisch zeewater met biopolymeren, zijn verwijderingspercentages van biopolymeren gerapporteerd van ~45% (zonder inline coagulatie), ~70% (0,5 mg Fe/L) tot ~80% (5 mg Fe/L) met een UF membraan met een cut off waarde van 150 kD [Tabatabai, 2014]. Met coagulatie en bezinking was de verwijdering van diezelfde biopolymeren minder vergaand, nl. ~30% (0,5 mg Fe/L) tot ~70% (5 mg Fe/L). In het geval van vijverwater blijkt ~80% van de biopolymeren al te worden verwijderd met UF zonder inline coagulatie.

Dit is een hoog verwijderingspercentage. De UF vervuilt zelf ook flink door de biopolymeren, hetgeen blijkt uit de hoge noodzakelijke frequentie van backflush en chemische reiniging bij de toch zeer lage bedrijfsflux van ~22 L/m^2.uur.

Overigens blijkt ook uit een inventarisatie van KWR [Cornelissen, Harmsen, 2013], dat de MTC van RO membranen die oppervlaktewater of effluent behandelen sneller daalt dan de MTC van RO membranen die grondwater behandelen. Dit is mogelijk een extra aanwijzing dat de RO membranen vervuilen door biopolymeren die in grondwater nagenoeg afwezig zijn. Dit is echter niet systematisch onderzocht in het KWR onderzoek.



FIGUUR 3-9 RETENTIE VERSCHILLENDE NOM FRACTIES DOOR 25 µM FILTER TIJDENS VIJVERWATER TESTEN



FIGUUR 3-10 RETENTIE VERSCHILLENDE NOM FRACTIES DOOR UF TIJDENS VIJVERWATER TESTEN

Tijdens de monstername sessie van 5 oktober zijn er ook zogenaamde Hemoflow analyses [Hijnen *et al*., 2015] uitgevoerd op het vijverwater en na UF. De hemoflow (HF) analyse is uitgevoerd door het microbiologisch lab van KWR. Voor de hemoflow analyses wordt 100 liter monster opgeconcentreerd . Vervolgens wordt er op het water (directe monster) ATP en TOC geanalyseerd en op het HF-concentraat TOC en CH. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-5.

TABEL 3-5 RESULTATEN HEMOFLOW ANALYSES

Codering	**Waterfase**		**Hemoflow concentraat**		
	ATP	TOC	PCHC (D(+) glucose)	PPC (Eiwitten)	TOC
	pg/ml	mg C/l	µg/l	µg/l	µg C/l
Na grof filter	250	6,3	600	114	960
Na UF	17	5,5	75	12	175
Retentie					
Na UF	93,2%	12,7%	87,5%	89,4%	81,8%

TOC in de waterfase wordt voor 13% verwijderd door UF. Dit is vergelijkbaar met de LC-OCD resultaten (verwijdering 11%) van het monster dat op hetzelfde moment werd genomen. ATP wordt goed verwijderd namelijk voor 93%.

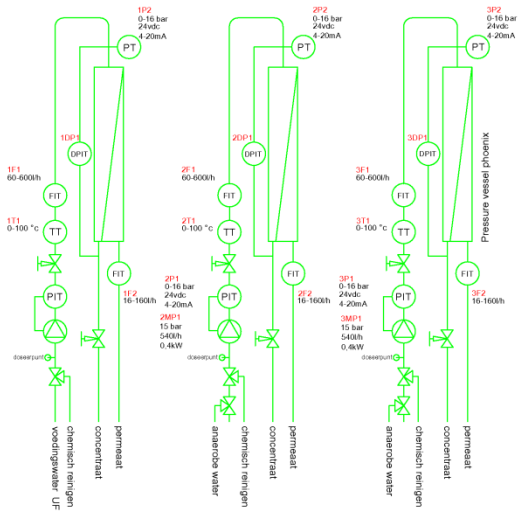
Uit de analyse van het hemoflow concentraat blijkt dat de verschillende geanalyseerde parameters tussen de 80 en 90% worden verwijderd door UF. Dit komt goed overeen met de verwijdering van biopolymeren die worden gemeten met behulp van LC-OCD (~80%). Een goede relatie tussen de hemoflow parameters en de biopolymeren fractie gemeten met LC-OCD is aangetoond door Schaap en Hijnen [Schaap en Hijnen,2016] voor verschillende watertypen.

4 SW RO onderzoek

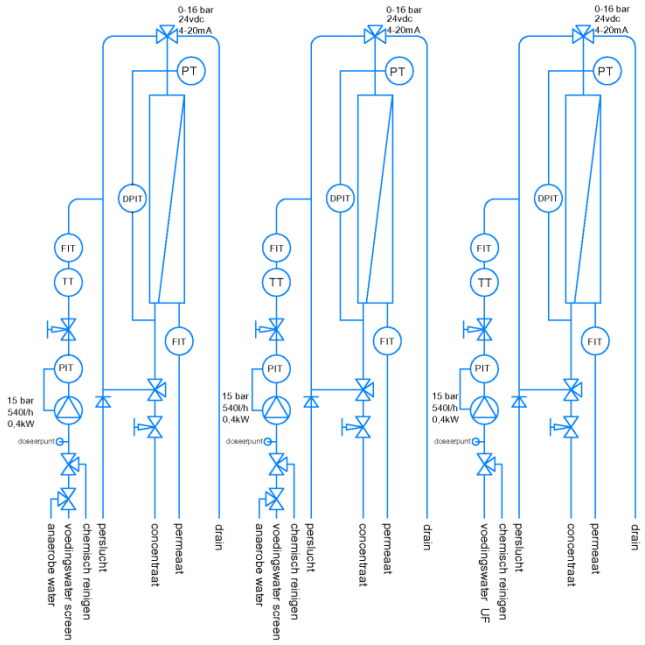
4.1 SW RO Pilot

Bij het onderzoek met de spiral wound (SW) RO membranen op vijverwater zijn 6 RO membranen simultaan en parallel getest. Hiervoor zijn twee RO installaties van KWR ingezet. De zogenaamde “testbank 3 verticale membranen 2540 met LWS” (UAN100042) en “testbank 3 verticale membranen 2540 zonder LWS” (UAN161002). In Figuur 4-1en Figuur 4-2 zijn beide installaties schematisch weergegeven.

Beide installaties bestaan uit 3 aparte verticaal geplaatste membranenelementen die simultaan kunnen worden bedreven onder verschillende bedrijfsinstellingen. Elk membraan heeft daarom een aparte frequentie gestuurde voedingspomp (Wannar Hydra-Cell, Promotec, Nederland). Via een PLC besturingsprogramma kan de voedingsdruk worden ingesteld. De membranen worden via de bovenzijde gevoed. Met behulp van de ingestelde voedingsdruk, de frequentiegeregelde pomp een de handmatige instelbare concentraatklep, kan zowel de langsstroomsnelheid, als de permeaatproductie worden geregeld. Het voedingsdebiet en permeaatdebiet worden gemeten met behulp van flowmeters (Tecfluid M21, Adinco, Nederland (UAN100042) en vlotter-debietmeters, H50/RR/M40/ESK , Krohne, Nederland (UAN1611002)). De pompdruk en de druk voor het membraan worden gemeten met behulp van drukmeters (SD MAN-LD3-S6-B8-S; Kobolt, Nederland) . Daarnaast wordt de drukval over de feedspacer gemeten door de op installatie aanwezige snelkoppelingen die zich net voor en na het membraan aan de voedings en concentraatzijde van het membraan bevinden. Op deze snelkoppelingen is een drukverschilmeter (EJA110A-DHS5A-92EA, Yokogawa, Nederland) aangesloten. De temperatuur voor ieder membraanelement wordt gemeten met behulp van een temperatuursensor (pt100 1633502, Farnell, Nederland).



FIGUUR 4-1 PI&D TESTBANK 3 VERTICALE MEMBRANEN 2540 ZONDER LWS (UAN161002)



FIGUUR 4-2 PI&D TESTBANK 3 VERTICALE MEMBRANEN 2540 MET LWS (UAN100042)

Tijdens de testen worden de voeding en permeaatdebieten, de pompdruk, de druk voor het membraan en de drukval over de feedspacer van het membraan en de temperatuur voor het membraan gemeten en gelogd.

Met de 'testbank 3 verticale membranen 2540 met LWS is het ook mogelijk om een hydraulische reiniging door middel van een lucht/water spoeling (LWS) uit te voeren. De instellingen van de LWS worden ook via het PLC besturingsprogramma ingeregeld.

Voor beide installaties is de aanvoer van de membraanelementen zo ontworpen dat het mogelijk is om de membranen chemisch te reinigen met behulp van een separate chemische reinigingsunit. De instellingen van de chemische reiniging kunnen via het PLC besturingsprogramma worden ingevoerd.

Alle in dit rapport besproken testen worden uitgevoerd met Hydranautics ESPA 2540 RO elementen met een membraanoppervlak van 2,37 m^2. Alle specificatie van het ESPA-2540 membraan, inclusief feedspacer, zijn terug te vinden in Bijlage XII.

4.2 Experimentele opzet

4.2.1 Eerste serie vijverwatertesten

Tijdens de eerste serie testen met vijverwater is begonnen met het vergelijken van (1) een ultrafiltratie voorbehandeling als state-of-the-art methode met (2) een minimale voorbehandeling met een 25 µm filter (screen). Tegelijk met de verschillende voorbehandeling is ook gevarieerd met de hydraulische reiniging (wel/geen lucht/water spoeling) en flux (10 versus 25 L/m^2.uur) bij gelijke langsstroomsnelheid in alle RO membranen.

Tijdens alle uitgevoerde testen met vijverwater zijn twee RO membranen gevoed met het UF filtraat en 4 RO membranen zijn gevoed met water na 25 µm filter (zie Bijlage I). Voor 3 membranen (1x na UF, 2x na 25 µm) is er de mogelijkheid tot hydraulische reiniging (LWS).

Tijdens de eerste serie vijverwatertesten is het voedingsdebiet ingesteld op 350 L/uur. Er zijn testen uitgevoerd bij twee verschillende flux instellingen van respectievelijk 10 en 25 L/m^2.uur (bij een respectievelijke voedingsdruk van ongeveer 3 en 9 bar). Bij deze fluxen is het permeaatdebiet respectievelijk 24 en 60 L/uur. Gedurende de testen is het voedingsdebiet en permeaatdebiet (handmatig) constant gehouden (afwijking maximaal 10% gebaseerd op het permeaatdebiet). Handmatig aanpassen van het voedingsdebiet en permeaatdebiet gebeurde sporadisch afhankelijk van het aangeboden watertype. Soms een paar keer per week. Bij de RO elementen na UF 1 of 2 keer per maand.

Voor de elementen die hydraulisch werden gereinigd, is gekozen voor een lucht/water spoeling (LWS) frequentie van 1x per dag gedurende 5 minuten. De verhouding van de LWS is ongeveer 4 : 1 (lucht/water) bij de heersende druk in het systeem tijdens de LWS. Deze instellingen zijn vergelijkbaar met instellingen die in het verleden zijn gebruikt tijdens eerdere AiRO (LWS) testen [Cornelissen *et al.*, 2010]. Tijdens een LWS is de voedingsdruk ongeveer 3 bar. Dit betekent dat het luchtdebiet 700 Nl/uur moet zijn omdat deze met een druk van 6 bar wordt toegevoegd aan het water. Hierdoor is het luchtdebiet 1400 Nl/uur bij 3 bar. Alle instellingen zijn weergegeven in Tabel 4-1.

TABEL 4-1 INSTELLINGEN RO TIJDENS EERSTE SERIE VIJVERWATERTESTEN

Voor behandeling	Element	Voedings debiet	Flux	Permeaat debiet	LWS			
					Frequentie	Ratio (lucht/ water)	Ratio (lucht/ water)	duur
		L/uur	L/m^2.uur	L/uur	dag		Nl/uur	min
25 µm	1 LWS	350	10	24	1x	4:1	1400:350	5
25 µm	2 LWS	350	25	60	1x	4:1	1400:350	5
UF	3 LWS	350	25	60	1x	4:1	1400:350	5
UF	1	350	25	60				
25 µm	2	350	25	60				
25 µm	3	350	10	24				

Tijdens de testen met de RO membranen zijn van alle elementen de debieten (voeding en permeaat), drukken (pomp en voor het membraan), drukval over de feedspacer en de temperatuur continu (1x per minuut) geregistreerd met behulp van een data logger. Daarnaast zijn de permeaatdruk, conductiviteit en pH van de voeding, concentraat en permeaat, enkele malen per week, handmatig gemeten.

Op basis van bovenstaande parameters kunnen de zogenaamde prestatiekenmerken (permeabiliteit, zoutpassage, vervuilingsweerstand en genormaliseerde drukval) van de RO membranen worden berekend. De formules voor het berekenen zijn weergegeven in paragraaf 4.2.3.

Ieder RO element wordt getest totdat (1) de drukval over de feedspacer hoger dan 0,6 bar wordt (gecorrigeerd voor de drukval over de feedspacer bij de start van de test), of (2) de MTC daling meer dan 50 % wordt. Daarna vindt er voor het desbetreffende element een

chemische reiniging (CIP) plaats. De test van een element stopt indien CIP vaker dan 1x per maand plaatsvindt. Aan het einde van de test wordt het membraan uit de installatie gehaald en aangeboden voor autopsie.

De autopsie is volgens de door KWR gehanteerd standaard uitgevoerd. Nadat het membraan uit de installatie is gehaald wordt deze gedurende 1 uur verticaal geplaatst zodat het overgebleven water eruit lekt. Vervolgens wordt het membraan opengesneden, foto's genomen en visueel beoordeeld. Daarna worden er monsters genomen van het begin (voedingszijde), midden en einde (concentraatzijde) van het membraan. Vervolgens wordt de spacer en membraan gescheiden en geanalyseerd. De monsters (spacer en membraan) worden geanalyseerd op ATP en Koolhydraten (CH). Het spacer en membraanmonster van het begin worden ook geanalyseerd voor calcium (totaal). Deze analyses worden door het KWR laboratorium volgens standaardprocedures uitgevoerd.

De volledige CIP procedure is weergegeven in Tabel 4-2. Tijdens de recirculatie van de reinigingsoplossing zal de oplossing via een 10 µm (Fiber Filtration BV, Numansdorp, meltblown, Lengte 10 inch, spunbonded PP met WRAS keur) en 1 µm (Van Borselen, Zoetermeer, Melt blown 07PP001-09NNP) kaarsenfilter worden teruggevoerd naar het recirculatievat. De NaOH en HCl oplossingen worden in demiwater bereid.

TABEL 4-2 CIP PROCEDURE RO MEMBRANEN TIJDENS VIJVERWATERTESTEN

Type	Bedrijfs voering	Perm.	Reinings produkt	pH	Duur	Temp.	debiet
					min	°C	L/uur
Spoelen	one-pass	nee	drinkwater		20	omgeving	350
reiniging1	recirculatie	nee	NaOH	11,5	10	30[1]	350
	Inweken	nee	NaOH	11,5	10	30	0
	recirculatie	nee	NaOH	11,5	10	30	350
	Inweken	nee	NaOH	11,5	10	30	0
	recirculatie	nee	NaOH	11,5	10	30	350
	Inweken	nee	NaOH	11,5	10	30	0
Spoelen	one-pass	nee	drinkwater		20	omgeving	350
reiniging2	recirculatie	nee	HCl	2	10	omgeving	350
	Inweken	Nee	HCl	2	10	omgeving	0
	recirculatie	nee	HCl	2	10	omgeving	350
	Inweken	Nee	HCl	2	10	omgeving	0
	recirculatie	nee	HCl	2	10	omgeving	350
	Inweken	Nee	HCl	2	10	omgeving	0
Spoelen	one-pass	nee	drinkwater		20	omgeving	350

[1] temperatuur wordt eerst op 30 °C gebracht. Daarna start de reiniging waarbij vloeistof niet op temperatuur wordt gehouden.

4.2.2 Tweede serie vijverwatertesten

Tijdens de tweede serie vijverwatertesten is het effect van langsstroomsnelheid (LS) nader onderzocht. De twee elementen in de eerste serie testen met vijverwater, die werden gevoed met UF product, draaiden nog op het moment van de start van de tweede serie. Deze RO membranen zijn in bedrijf gelaten om het lange duur effect van voorbehandeling met UF te onderzoeken. De 4 vrijkomende posities na het 25 µm filter zijn opnieuw ingeregeld voor een tweede serie testen. Het voedingsdebiet werd ingesteld op respectievelijk 175 en 350

L/uur, bijeen flux voor alle 4 de membranen van 10 L/m².uur. De instelling voor de LWS waren gelijk aan de instellingen tijdens de eerste serie vijverwatertesten. De instellingen tijdens de tweede serie testen zijn weergegeven in Tabel 4-3.

De uitvoering van de testen, de criteria wanneer een CIP plaatsvond en de CIP procedure waren gelijk aan de uitvoering, criteria en procedures van de eerste serie testen.

TABEL 4-3 INSTELLINGEN RO TIJDENS TWEEDE SERIE VIJVERWATERTESTEN

Voor behandeling	Element	Voedings debiet	Flux	Permeaat debiet	LWS			
					Frequentie	Ratio (lucht/ water)	Ratio (lucht/ water)	duur
		L/uur	L/m².uur	L/uur	dag		Nl/uur	min
25 µm	1 LWS	175	10	24	1x	4:1	1400:350	5
25 µm	2 LWS	350	10	24	1x	4:1	1400:350	5
UF	3 LWS	350	25	60	1x	4:1	1400:350	5
UF	1	350	25	60				
25 µm	2	350	10	24				
25 µm	3	175	10	24				

4.2.3 Berekeningen prestatiekenmerken

Alle hieronder beschreven formules zijn van toepassing op alle in dit rapport uitgevoerde berekeningen. Om de prestatie van het membraan in kaart te brengen zijn de gemeten debieten, drukken en conductiviteit omgerekend naar transmembraandruk (TMP), flux, membraanpermeabiliteit en (zout)retentie. De volgende formules zijn gebruikt.

De transmembraandruk (TMP) wordt als volgt berekend:

$$TMP = \frac{P_v + P_c}{2} - P_p$$

Waarbij:

TMP	=	transmembraandruk	[bar]
P_v	=	voedingsdruk	[bar]
P_c	=	concentraatdruk	[bar]
P_p	=	permeaatdruk	[bar]

De (water) flux wordt als volgt berekend:

$$J_w = \frac{Q_p}{A_{mem}}$$

Waarbij:

J_w	=	flux	[L/m².uur] (of LMH)
Q_p	=	permeaatdebiet	[L/uur]
A_{mem}	=	membraanoppervlak	[m²]

Met behulp van de flux en de TMP wordt de membraanpermeabiliteit berekend:

$$A = \frac{J_w}{TMP}$$

Waarbij:

A	=	(water) permeabiliteit	[L/ m^2 uur bar] (of LMHbar)

Alle hierboven beschreven parameters zijn vervolgens genormaliseerd volgens een procedure beschreven door Rautenbach [Rautenbach *et al*., 1989]. Een uitgebreide beschrijving van de toegepaste formules inclusief normalisatie is te vinden in SWI 99.166 [Huiting *et al*., 1999]

Vervolgens zijn de prestaties van de verschillende elementen in grafieken verwerkt, waarbij de vervuilingsweerstand (Rf), de drukval over de feedspacer (dP – dP_0), en de zoutretentie op basis van conductiviteit (pN) zijn weergegeven ten opzichte van het gefiltreerde volume per vierkante meter membraanoppervlak (v_F = m^3/m^2).

De vervuilingsweerstand (Rf) wordt als volgt berekend:

$$Rf = \frac{TMP}{J_w * \eta_T}$$

Waarbij:

η	=	dynamische viscositeit	[Kg/m.s]

Vervolgens wordt Rf –Rf_0 uitgezet tegen v_F.

Voor Rf_0 worden de eerste 4 Rf waarden gemiddeld.

v_F wordt als volgt berekend:

$$v_F = \frac{V_p}{A_{mem}}$$

Waarbij:

v_F	=	gefiltreerd volume per m^2 membraanoppervlak	[m^3/m^2]
V_p	=	totaal geproduceerde permeaatvolume	[m^3]
A_{mem}	=	membraanoppervlak	[m^2]

Om de drukval over de feedspacer (dP – dP_0) te bepalen worden de eerste 4 gemeten dPs gemiddeld.

De retentie wordt weergegeven als pN en is gelijk aan

$$pN = \frac{C_p}{C_v}$$

Waarbij:
pN = retentie [-] (wel genormaliseerd)

4.3 Resultaten

4.3.1 Prestatiekenmerken

In Tabel 4-4 zijn alle geteste omstandigheden nog een keer samengevat. In de tabel zijn ook de verschillende looptijden per getest RO element weergegeven. In totaal zijn 10 testen met RO elementen uitgevoerd onder verschillende omstandigheden. In paragraaf 6.1, Figuur 6-1 is een totaal overzicht van alle uitgevoerde testomstandigheden, voor zowel het SW RO en het feedspacerloze RO onderzoek, weergegeven.

TABEL 4-4 INFO OMSTANDIGHEDEN GETESTE RO ELEMENTEN

element	Test periode	Voorbehandeling	Voedings debiet	Flux	Permeaat debiet	Looptijd
			L/uur	L/m².uur	L/uur	Dagen
RO1	23-05 tm 04-07	25 µm	350	10	24	42
RO2	23-05 tm 17-06	25 µm	350	25	60	25
RO3	23-05 tm 14-09	UF	350	25	60	114
RO4	23-05 tm 22-08	UF	350	25	60	91
RO5	23-05 tm 17-06	25 µm	350	25	60	25
RO6	23-05 tm 17-06	25 µm	350	10	24	25
RO7	13-07 tm 22-08	25 µm	175	10	24	40
RO8	13-07 tm 05-08	25 µm	350	10	24	23
RO9	13-07 tm 29-07	25 µm	350	10	24	16
RO10	13-07 tm 29-07	25 µm	175	10	24	16

Op basis van vergelijking van de resultaten van de verschillende testen kan het effect van verschillende instellingen worden onderzocht, waarbij steeds één instelling varieert. Zo is

ondermeer het effect van voorbehandeling, flux, seizoensinvloed, langsstroomsnelheid en LWS onderzocht.

In Tabel 4-5 zijn allen mogelijke te vergelijken effecten weergegeven.

TABEL 4-5 OVERZICHT MOGELIJKE EFFECT VERGELIJKINGEN

effect	omstandigheden	Vergelijken element
voorbehandeling	UF/Screen	2 - 3
		4 - 5
Flux	10/25 L/m^2.uur	1 - 2
		5 - 6
Seizoensinvloed	Mei/juli vs juli/aug	1 - 8
	(10/10 L/m^2.uur)	6 - 9
Langsstroomsnelheid	175/350 L/uur	7 - 8
		9 - 10
LWS	met/zonder	1 - 6
		2 - 5
		3 - 4
		7 - 10
		8 - 9

Op basis van de meetresultaten zijn de prestaties van de verschillende elementen in grafieken verwerkt, waarbij de vervuilingsweerstand (Rf), de drukval over de feedspacer (dP – dP$_0$), en de zoutretentie op basis van conductiviteit (pN) zijn weergegeven ten opzichte van het gefiltreerde volume (v_F).

In de grafieken zijn ook de bijzonderheden, acties en storingen die tijdens de bedrijfsvoering hebben plaatsvonden, aangegeven met cijfers. De coderingen van de verschillende acties/storingen zijn weergegeven in Tabel 4-6.

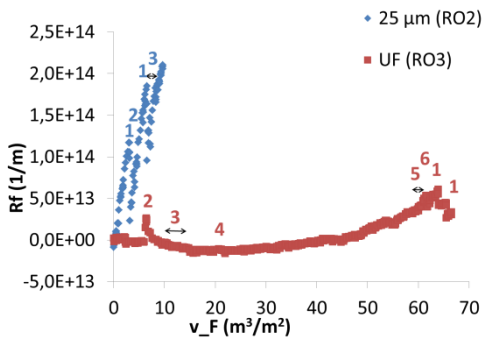
TABEL 4-6 CODERINGEN GRAFIEKEN ACTIES EN STORINGEN TIJDENS BEDRIJFSVOERING RO ELEMENTEN

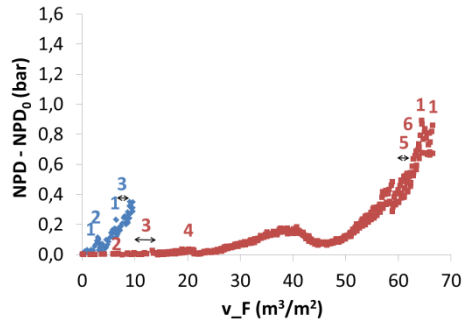
Codering	Omschrijving
1	Chemische reiniging
2	Storing 25 µm filter
3	Geen LWS
4	Storing UF
5	LWS 8:1
6	Storing RO
7	Meerdere LWS achter elkaar

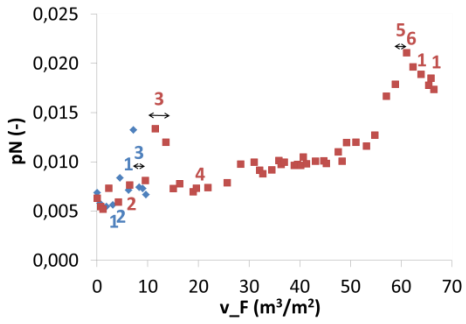
In de volgende paragrafen worden de resultaten van de verschillende effecten apart besproken.

4.3.1.1 Effect voorbehandeling

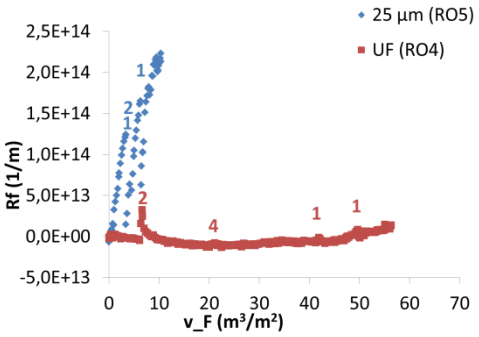
Om het effect van de voorbehandeling te onderzoek zijn de elementen die zijn gevoed met water na UF of het 25 µm filter vergeleken met een langsstroomsnelheid van 350 L/uur en een flux van 25 L/m^2.uur (RO2 tot en met RO5). De prestatiekenmerken zijn weergegeven in Figuur 4-3 en Figuur 4-4.

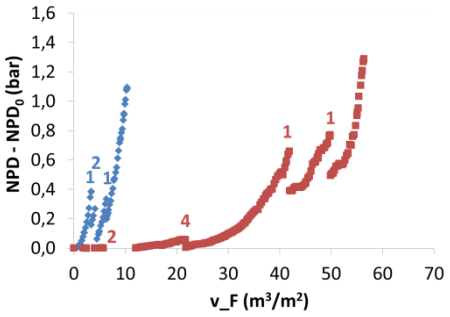


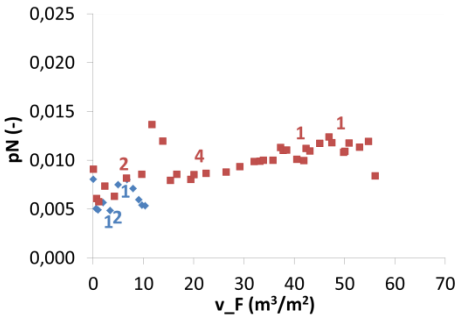




FIGUUR 4-3 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT VOORBEHANDELING MET LWS; 350 L/UUR, 25 LMH







FIGUUR 4-4 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT VOORBEHANDELING ZONDER LWS; 350 L/UUR, 25 LMH)

Op basis van de resultaten kan het volgende worden gezegd over het effect van de voorbehandeling op de membraanprestaties van de geteste RO elementen:

- Met UF voorbehandeling konden de RO membranen 60-70 m^3/m^2 permeaat produceren. Ter vergelijking: een normale productie over de levensduur voor RO membranen is in de praktijk ~1100 m^3/m^2 (5 jaar bij 25 L/m^2.uur)

- Beide RO's met UF voorbehandeling (dus zowel met als zonder LWS) zijn uiteindelijk uitgeschakeld door een oplopende drukval over de feedspacers (> 0,6 bar). LWS stelde dit moment alleen wat uit.
- Met 25 µm screen voorbehandeling konden de RO membranen max slechts 10 m^3/m^2 permeaat produceren. De RO met LWS (RO2) ging uit bedrijf bij teveel MTC daling (te zien als een snelle stijging van de membraanweerstand). De RO zonder LWS (RO5) ging op beide criteria (MTC daling > 50% en NDP > 0,6 bar) uit bedrijf.
- Opvallend is dat de zoutpassage bij element 3 (UF + LWS) aan het eind van de test erg uit de pas loopt (verdubbeld bijna)

Uit de grafieken die betrekking hebben op de membraanweerstand (bovenste grafieken) blijkt het volgende:

- Nauwelijks toename membraanweerstand met UF voorbehandeling, zeer snelle toename met 25 µm screen voorbehandeling
- Bij de RO+LWS na UF (RO3) neemt de weerstand na 50 m^3/m^2 productie wel toe (daarvoor niet). Dit gebeurt tegelijkertijd met een stijging van de drukval over de feedspacer. Bij de RO zonder LWS (RO4) neemt de weerstand over de gehele periode minder toe, ook aan het eind, terwijl vanaf een productie van 35 m^3/m^2 de drukval over de feedspacer wel toeneemt.

Uit de grafieken waarin de drukval over de feedspacers (middelste grafieken) is weergegeven blijkt:

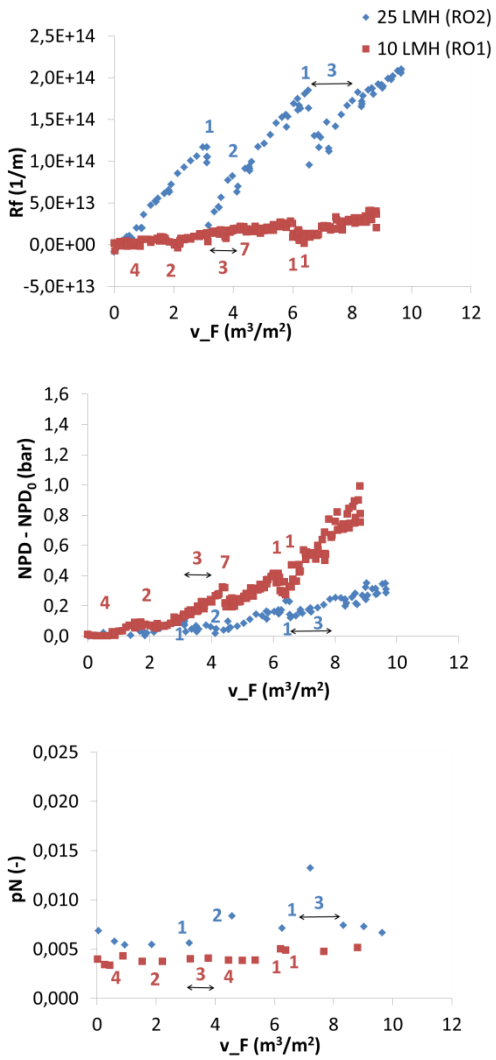
- Met UF voorbehandeling neemt de drukval over de feedspacer van de RO (RO3 en RO4) pas toe na ongeveer 30-35 m^3/m^2 productie. Bij de RO met LWS (RO3) kan de drukval een langere tijd worden verlaagd door de hydraulische reiniging, maar loopt die uiteindelijk toch op zodat CIP noodzakelijk is na 60 m^3/m^2 productie. Extra hard LWS spoelen (8:1 in plaats van 4:1) was op dat moment niet meer effectief. De ontwikkelde biofouling na UF is uiteindelijk dus lastig te verwijderen met LWS. Bij de RO zonder LWS na UF (RO5) is al na 40 m^3/m^2 productie een eerste CIP nodig om de drukval over de feedspacer te verlagen.
- Het CIPpen van de RO's na UF (RO3 en RO4 dus) is niet erg effectief in het verlagen van drukval over de feedspacer. De ontstane biofouling na UF voorbehandeling is dus hardnekkig te verwijderen.
- De RO met LWS na 25 µm screen is gestopt op basis van MTC daling (na 2x CIP), de kritieke drukval over de feedspacer is niet bereikt (steeds < 0,4 bar).
- De RO zonder LWS na 25 µm screen had, naast snelle MTC daling, ook meer stijging van de drukval over de feedspacer (> 0,6 bar)

Uit de grafieken waarin de zoutpassage (onderste grafieken) is weergegeven blijkt:

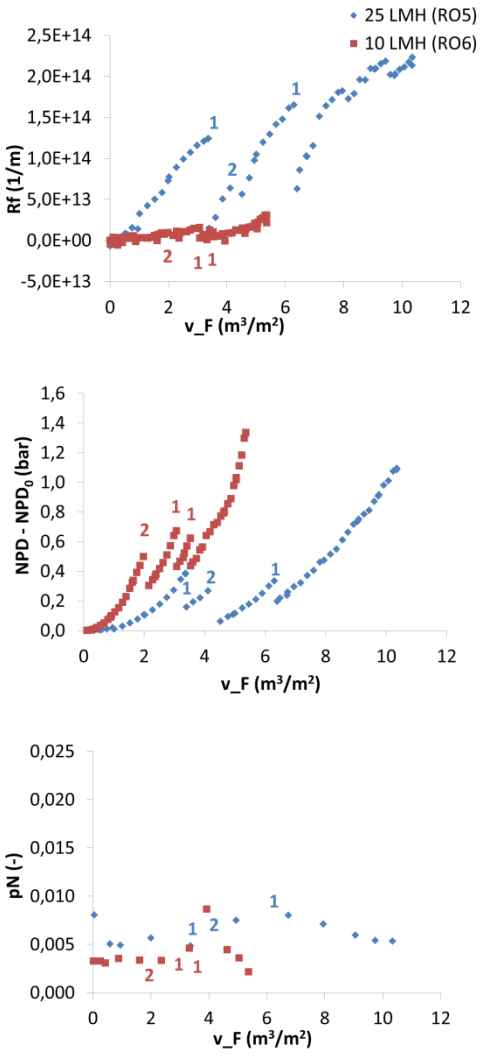
- Over een langere periode is bij beide RO's na UF een stijging van de zoutpassage te zien. Bij de beide RO's na 25 um screen is een lichtere stijging van de zoutpassage zichtbaar
- Bij RO3 (RO + LWS na UF) wordt, na 50 m^3/m^2 productie een plotseling veel sterkere (~100%) stijging van de zoutpassage zichtbaar. In die periode is echter extra hard met lucht/water spoeling gereinigd (8:1 ipv 4:1) en is een paar maal vlak achter elkaar chemisch gereinigd.
- De chemische reiniging had geen significant effect op de zoutpassage bij RO5 (RO zonder LWS na UF).

4.3.1.2 Flux effect

Om het effect van de flux te onderzoek zijn de elementen die zijn gevoed met water met een flux van 10 en 25 L/m^2.uur vergeleken na voorbehandeling met het 25 µm filter en een langsstroomsnelheid van 350 L/uur (RO1, 2, 5 en 6). De prestatiekenmerken zijn weergegeven in Figuur 4-5 en Figuur 4-6.



FIGUUR 4-5 PRESTATIEKENMERKEN FLUX EFFECT MET LWS; NA 25 µM, 350 L/UUR



FIGUUR 4-6 PRESTATIEKENMERKEN FLUX EFFECT ZONDER LWS; NA 25 µM, 350 L/UUR

Op basis van de resultaten kan het volgende worden gezegd over het effect van de flux op de membraanprestaties van de geteste RO elementen:

- De RO's zonder LWS (RO5 en RO6) en de RO met LWS bij lage flux (RO1) zijn uitgeschakeld door een oplopende drukval over de feedspacers (> 0,6 bar).
- De RO met LWS bij lage flux (RO2) is uitgeschakeld vanwege te veel MTC daling (een sterke toename in membraanweerstand).
- De RO zonder LWS (RO5) ging zelfs op beide criteria (MTC daling > 50% en NDP > 0,6 bar) uit bedrijf.

- Beide RO's konden 9-10 m^3/m^2 permeaat produceren ongeacht de toegepaste flux. Ter vergelijking: een normale productie over een levensduur voor RO membranen is in de praktijk ~1100 m^3/m^2 (5 jaar bij 25 L/m^2.uur)

Uit de grafieken die betrekking hebben op de membraanweerstand (bovenste grafieken) blijkt het volgende:

- Weinig toename van de membraanweerstand bij de lage flux RO, zeer snelle toename bij de hoge flux RO (voor zowel met als zonder LWS). Dit terwijl de hoeveel vervuiling wel gelijk was voor beide RO membranen (dezelfde permeaatproductie). Het is wellicht mogelijk om organische vervuiling voldoende te beperken met de juiste (lage) filtratie flux. Het is de vraag of de flux die hiervoor nodig is economisch aantrekkelijk is (zie 6.6). Verder is het waarschijnlijk dat biofouling niet/nauwelijks wordt beïnvloed door flux.
- De sterke toename van de membraanweerstand bij de hoge flux RO (met en zonder LWS) kon door chemische reiniging voor een groot deel worden beheerst.

Uit de grafieken waarin de drukval over de feedspacers (middelste grafieken) is weergegeven blijkt:

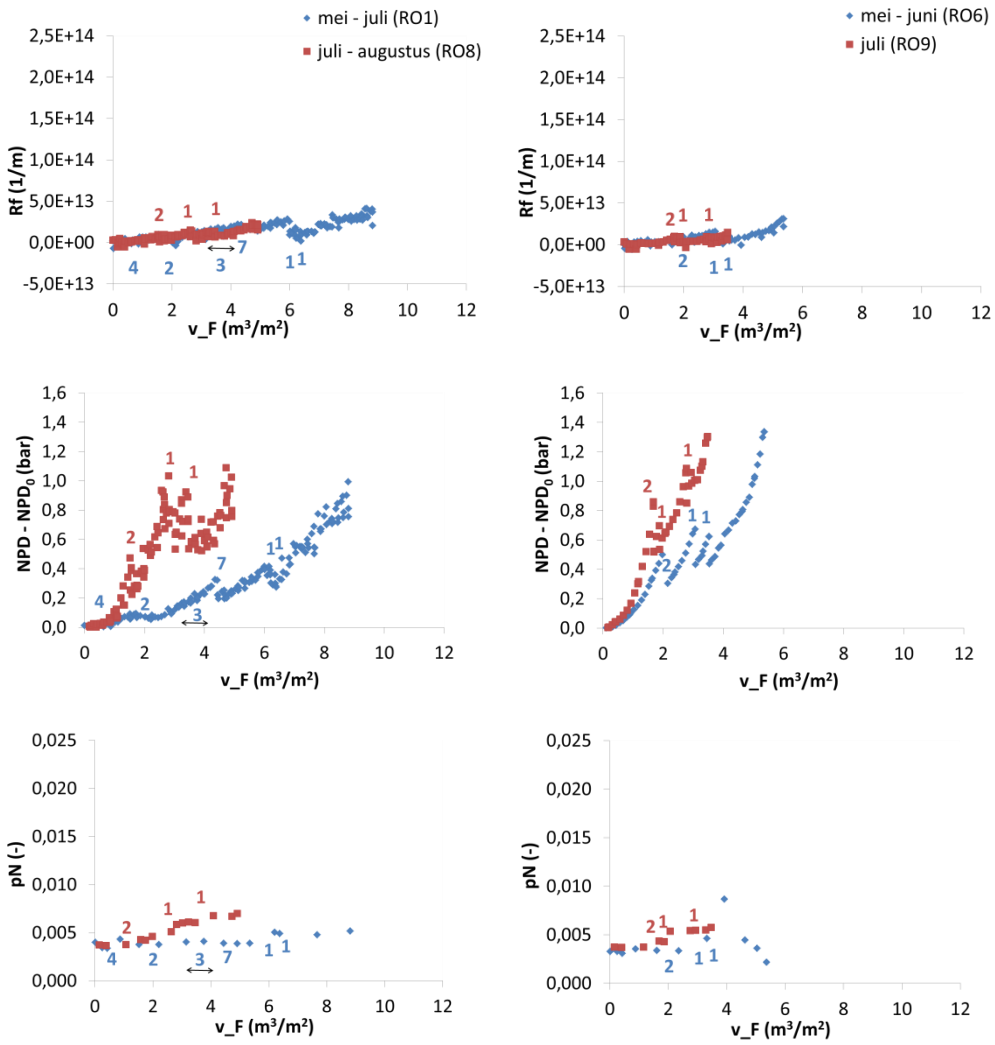
- Bij lage flux neemt de drukval sneller toe (in functie van gefiltreerd volume) dan bij hoge flux aangezien de hoeveelheid voedingswater groter is ten opzicht van geproduceerd permeaat bij lage flux. Dit geldt zowel voor de RO's met en zonder LWS.
- Het toepassen van CIP heeft een beperkt effect op de drukvalstijging. Het toepassen van hoge of lage flux heeft hier geen significant effect op.
- De RO met hoge flux en LWS is gestopt op basis van MTC daling (na 2x CIP), de kritieke drukval over de feedspacer is niet bereikt (steeds < 0,4 bar).

Uit de grafieken waarin de zoutpassage (onderste grafieken) is weergegeven blijkt:

- Bij de lage flux RO's wordt een hogere zoutpassage gevonden wat overeen komt met de verwachtingen.
- Over een langere periode blijft de zoutpassage relatief constant. Een aanvankelijk stijging in de zoutpassage neemt later weer af, wat geldt voor alle RO's.
- De chemische reiniging had geen significant effect op de zoutpassage bij de RO's.

4.3.1.3 Seizoenseffect

Om het seizoenseffect te onderzoek zijn de elementen die zijn getest in de periode mei-juli en juli-augustus vergeleken na voorbehandeling met het 25 µm filter, een langsstroomsnelheid van 350 L/uur en een flux van 10 L/m^2.uur (RO1, 6, 8 en 9). De prestatiekenmerken zijn weergegeven in Figuur 4-7 en Figuur 4-8.



FIGUUR 4-7 PRESTATIEKENMERKEN SEIZOENSEFFECT MET LWS; NA 25 µM, 350 L/UUR, 10 LMH

FIGUUR 4-8 PRESTATIEKENMERKEN SEIZOENSEFFECT ZONDER LWS; NA 25 µM, 350 L/UUR, 10 LMH

Op basis van de resultaten kan het volgende worden gezegd over het seizoenseffect op de membraanprestaties van de geteste RO elementen:

- Alle RO's (met en zonder LWS) zijn uitgeschakeld door een oplopende drukval over de feedspacers (> 0,6 bar).
- De behaalde permeaatproductie in de periode mei-juli was hoger (10 m^3/m^2) dan in de periode juli-augustus (5 m^3/m^2)

Uit de grafieken die betrekking hebben op de membraanweerstand (bovenste grafieken) blijkt het volgende:

- Er wordt geen verschil in membraanweerstand waargenomen tijdens de twee experimenten in de verschillende seizoenen. Een lichte en dezelfde orde van toename van de membraanweerstand wordt gevonden voor de 4 RO elementen.

- Chemische reiniging heeft weinig effect op de beheersing van de membraanweerstandtoename. CIP heeft geen effect in de periode juli-augustus, en beperkt effect in de periode mei-juli.

Uit de grafieken waarin de drukval over de feedspacers (middelste grafieken) is weergegeven blijkt:

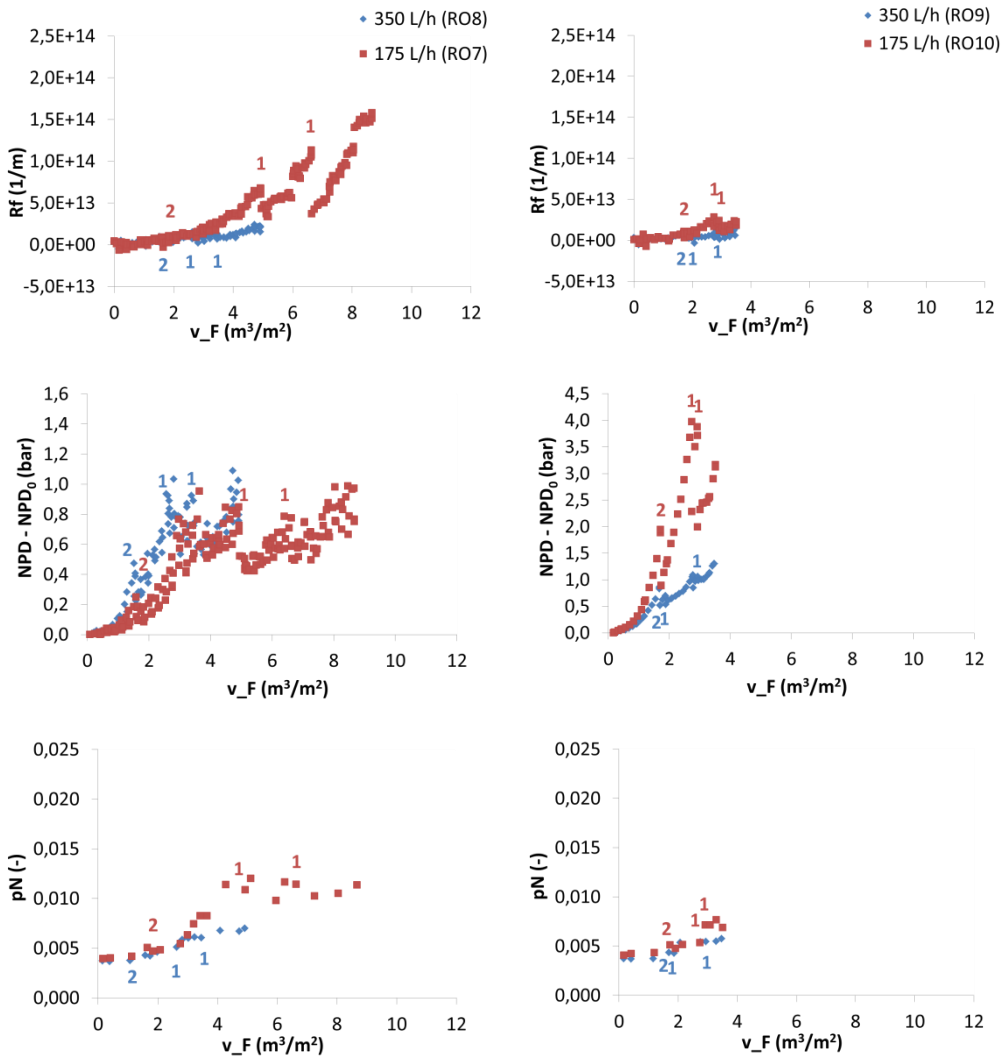
- In beide seizoenen wordt voor alle RO's (met en zonder LWS) een sterke drukvaltoename gevonden. Alle RO elementen bereiken de kritieke drukval over de feedspacer (> 0,6 bar).
- In de periode juli-augustus is de drukval hoger dan in de periode mei-juli en wordt de kritieke drukval veel sneller bereikt zowel met en zonder LWS.
- CIP heeft een positief echter een beperkt effect op de beheersing van de drukval voor alle RO elementen.

Uit de grafieken waarin de zoutpassage (onderste grafieken) is weergegeven blijkt:

- In de periode juli-augustus wordt een hogere zoutpassage gevonden dan in de periode mei-juli.
- Over een langere periode blijft de zoutpassage relatief constant in de periode mei-juli. De zoutpassage neemt toe in de periode juli-augustus.
- De chemische reiniging had geen significant effect op de zoutpassage bij alle RO's.

4.3.1.4 Effect langsstroomsnelheid

Om het effect van langsstroomsnelheid te onderzoek zijn de elementen die zijn getest bij een langsstroomsnelheid van 175 en 350 L/uur vergeleken na voorbehandeling met het 25 µm filter en een flux van 10 L/m^2.uur (RO7 tot en met 10). De prestatiekenmerken zijn weergegeven in Figuur 4-9 en Figuur 4-10.



FIGUUR 4-9 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT LANGSSTROOMSNELHEID MET LWS; NA 25 µM, 10 LMH

FIGUUR 4-10 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT LANGSSTROOMSNELHEID ZONDER LWS; NA 25 µM, 10 LMH

Op basis van de resultaten kan het volgende worden gezegd over het effect van langsstroomsnelheid op de membraanprestaties van de geteste RO elementen:

- Alle RO's (met en zonder LWS) zijn uitgeschakeld door een oplopende drukval over de feedspacers (> 0,6 bar).
- De RO's zonder LWS (RO9 en RO10) en de RO met LWS bij de hoge langsstroomsnelheid (RO8) konden 4 -5 m^3/m^2 permeaat produceren.
- De RO met LWS bij de lage langsstroomsnelheid (RO7) kon 7 - 8 m^3/m^2 permeaat produceren.

Uit de grafieken die betrekking hebben op de membraanweerstand (bovenste grafieken) blijkt het volgende:

- Weinig toename van de membraanweerstand bij de RO's zonder LWS (RO9 en RO10) en de RO met LWS bij de hoge langsstroomsnelheid (RO8). Een hogere langsstroomsnelheid vermindert de membraanvervuiling.

- De RO met LWS bij de lage langsstroomsnelheid (RO7) gaf een sterke toename in membraanweerstand te zien vanaf een permeaatproductie van 4 m^3/m^2. Daarvoor is de weerstandstoename gelijkwaardig aan de weerstandstoename van de overige RO's.
- De sterke toename van de membraanweerstand bij de RO met LWS bij de lage langsstroomsnelheid kon door chemische reiniging voor een groot deel worden beheerst.

Uit de grafieken waarin de drukval over de feedspacers (middelste grafieken) is weergegeven blijkt:

- Bij de RO's zonder LWS neemt bij lage langsstroomsnelheid de drukval sneller toe dan bij de hoge langsstroomsnelheid.
- Bij de RO met LWS bij hoge langsstroomsnelheid neemt de drukval sneller toe dan bij de lage langsstroomsnelheid.
- Het toepassen van CIP heeft een beperkt effect op de beheersing van de drukval voor alle RO elementen.

Een vergroting van de langsstroomsnelheid heeft twee effecten op de feedspacervervuiling:

1) de totale aanvoer van vervuiling is evenredig met de snelheid (negatief)
2) de wrijvingskracht op de vervuiling van de feedspacer neemt toe met de snelheid (positief)

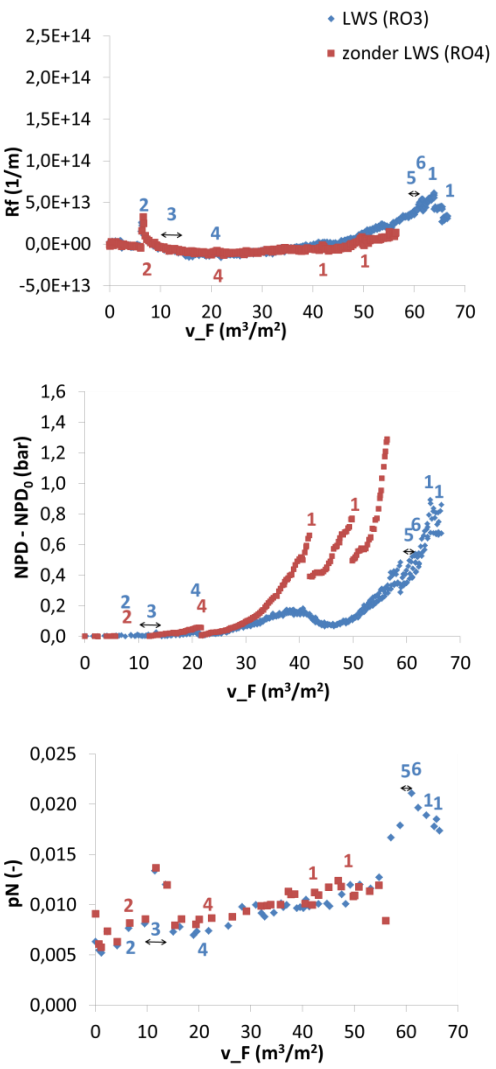
Wanneer LWS wordt toegepast zijn de afschuifkrachten op de vuillaag zo groot, dat de afschuifkrachten van de langsstroomsnelheid nihil zijn resulterend in een netto negatief effect van de hogere snelheid. Zonder LWS houden de twee effecten elkaar in balans, waardoor er een gering positief effect is van de snelheid.

Uit de grafieken waarin de zoutpassage (onderste grafieken) is weergegeven blijkt:

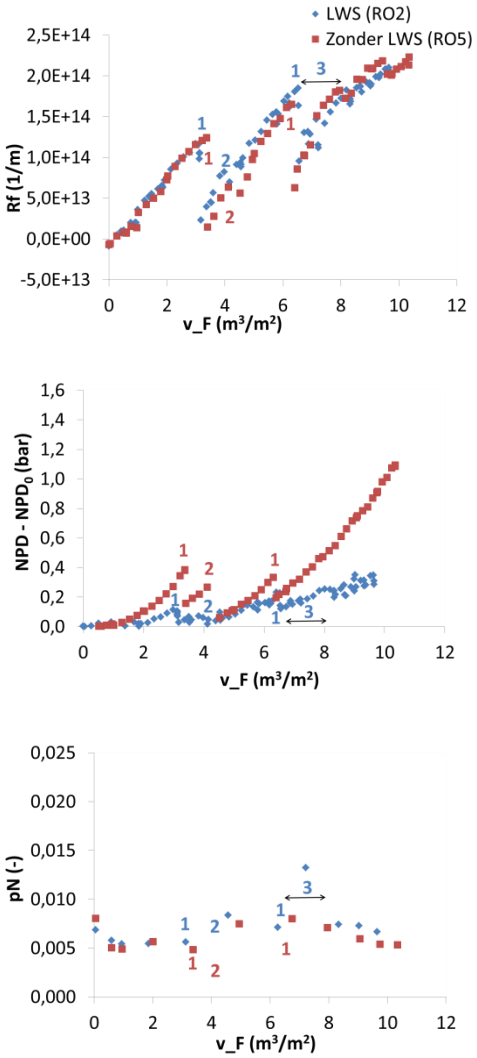
- Bij alle RO's neemt de zoutpassage toe in de tijd.
- De zoutpassage voor alle RO elementen is gelijk indien het gefiltreerde volume gelijk is.
- Bij de RO met LWS bij lage langsstroomsnelheid neemt de zoutpassage toe na 4 m^3/m^2 permeaat productie (alle andere RO's vallen rond dit productievolume af).
- De chemische reiniging had geen significant effect op de zoutpassage bij de RO's.

4.3.1.5 Effect LWS

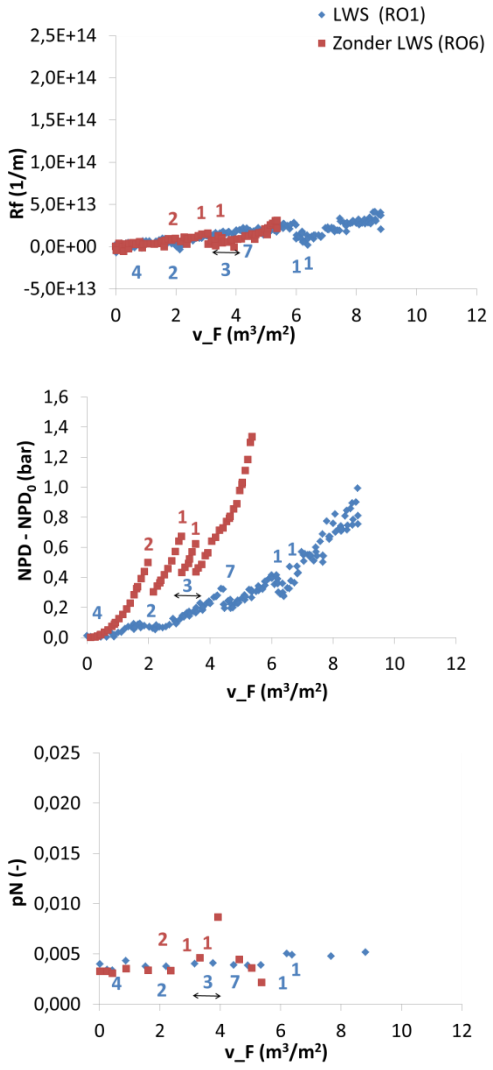
Om het effect van LWS te onderzoek zijn de elementen met en zonder LWS onder verder gelijke omstandigheden met elkaar vergeleken. De prestatiekenmerken zijn weergegeven in Figuur 4-11 tot en met Figuur 4-15.



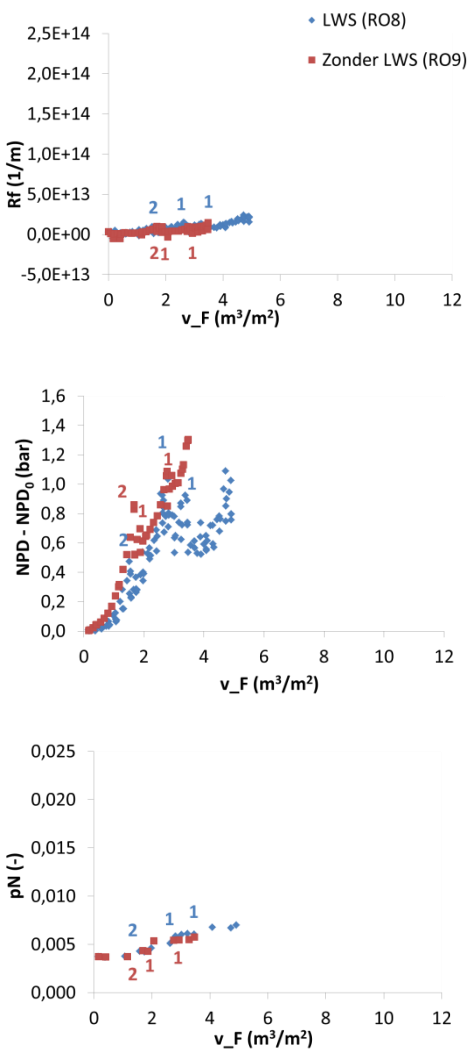
FIGUUR 4-11 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT LWS NA UF; 350 L/H, 25 LMH



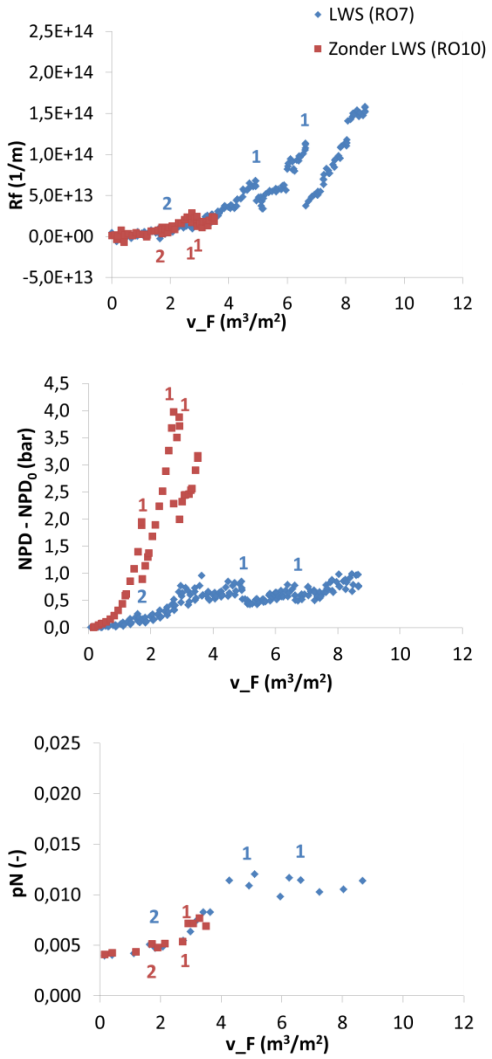
FIGUUR 4-12 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT LWS NA 25 µM; 350 L/H, 25 LMH



FIGUUR 4-13 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT LWS 10 LMH PERIODE MEI-JULI; 25 µM, 350 L/H



FIGUUR 4-14 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT LWS 10 LMH PERIODE JULI-AUGUSTUS; 25 µM, 350 L/H



FIGUUR 4-15 PRESTATIEKENMERKEN EFFECT LWS LANGSSTROOMSNELHEID 175 L/H; 25 µM, 10 LMH

Op basis van de resultaten kan het volgende worden gezegd over het effect van LWS op de membraanprestaties van de geteste RO elementen:

- Alle RO's, met uitzondering van het RO element dat wordt gevoed met water na het 25 µm filter, een langsstroomsnelheid van 350 L/uur en een flux van 25 L/m^2.uur (RO2), zijn uitgeschakeld door een oplopende drukval over de feedspacers (> 0,6 bar).
- Het RO element dat wordt gevoed met water na het 25 µm filter, een langsstroomsnelheid van 350 L/uur en een flux van 25 L/m^2.uur is gestopt op basis van MTC daling (na 2x CIP), de kritieke drukval over de feedspacer is niet bereikt (steeds < 0,4 bar).
- Alle RO's met LWS, met uitzondering van het RO element dat wordt gevoed met water na het 25 µm filter, een langsstroomsnelheid van 350 L/uur en een flux van 25 L/m^2.uur, hebben een hogere permeatieproductie dan de RO's zonder LWS onder verder gelijke omstandigheden.
- De RO's (met en zonder LWS) gevoed met water na het 25 µm filter, een langsstroomsnelheid van 350 L/uur en een flux van 25 L/m^2.uur, hebben een vergelijkbare permeatieproductie.

Uit de grafieken die betrekking hebben op de membraanweerstand (bovenste grafieken) blijkt het volgende:

- Er wordt geen verschil in membraanweerstand waargenomen bij de RO elementen met en zonder LWS onder verder gelijke omstandigheden.

Uit de grafieken waarin de drukval over de feedspacers (middelste grafieken) is weergegeven blijkt:

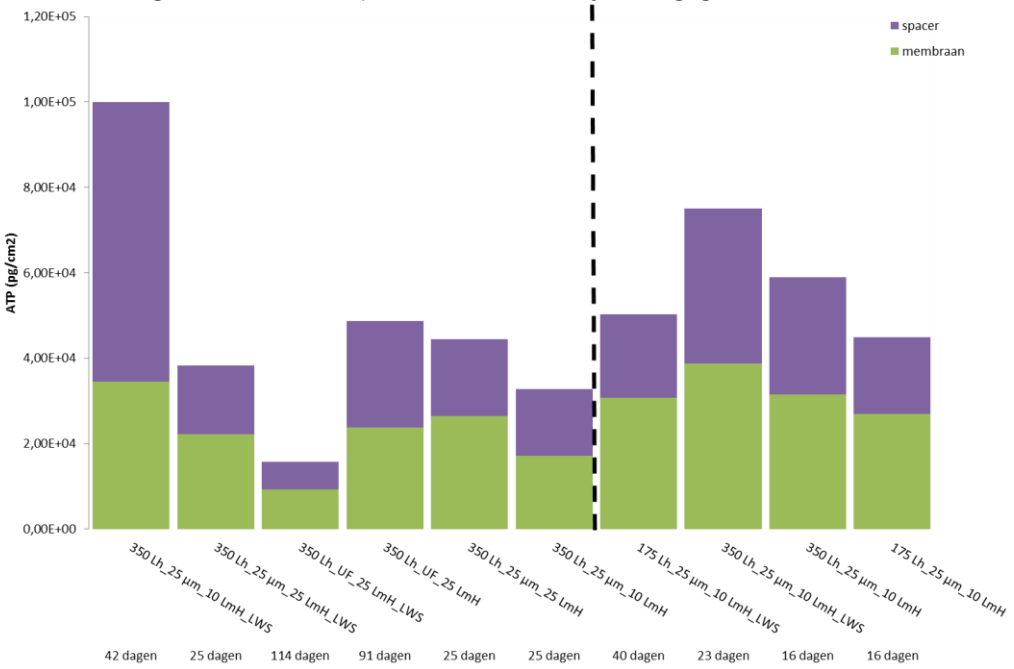
- LWS heeft een positief effect op de drukval over de feedspacer onder verder gelijke omstandigheden.
- Met LWS kan de drukval over de feedspacer langer laag worden gehouden (maar niet volledig voorkomen.

Uit de grafieken waarin de zoutpassage (onderste grafieken) is weergegeven blijkt:

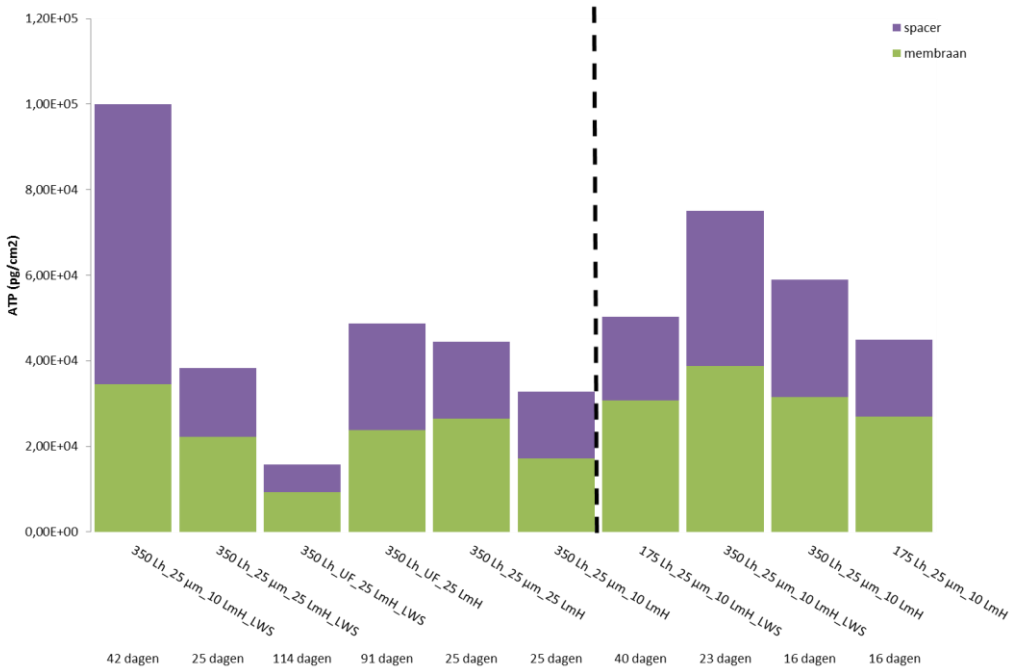
- Er wordt geen verschil in zoutpassage waargenomen bij de RO elementen met en zonder LWS onder verder gelijke omstandigheden.

4.3.2 Autopsie resultaten

Tijdens alle uitgevoerde testen is aan het einde van de test het membraan uit de installatie gehaald en aangeboden voor autopsie. De resultaten zijn weergegeven in



Figuur 4-16 (ATP), Figuur 4-17 (koolhydraten) en Figuur 4-18 (Calcium). Alle elementen hebben een vergelijkbare stop criteria, waardoor een vergelijking in vervuiling moeilijk is te maken. De procescondities van de verschillende elementen zijn terug te vinden in Tabel 4-4.



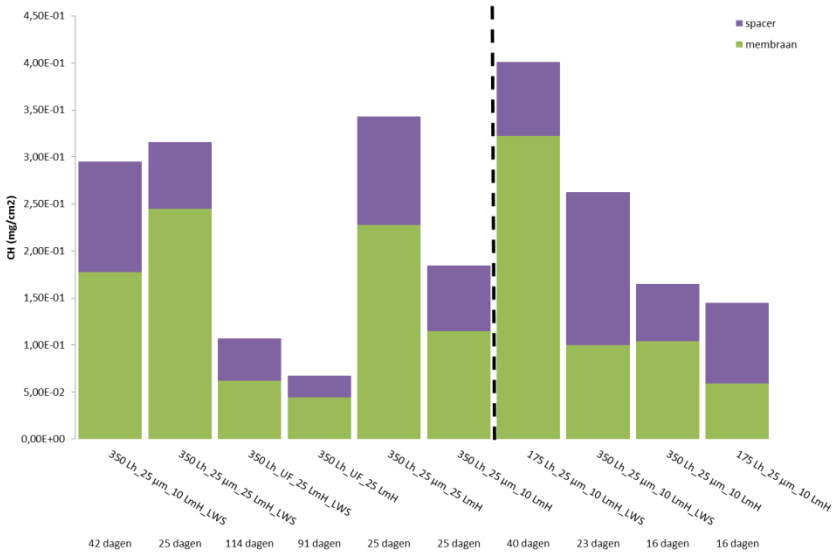
FIGUUR 4-16 ATP SW RO MEMBRAAN NA AUTOPSIE VIJVERWATERTESTEN

Observaties

- De gevonden ATP levels komen overeen met eerdere waarden gevonden in vervuilde spiraalgewonden elementen. Bijvoorbeeld biofouling studies met en zonder LWS geven ATP levels van 1-5.10^4 pg/cm^2 (Cornelissen et al, 2007).
- In de eerste periode (links van stippellijn):
    - Hoogste ATP voor langste experiment zonder UF (42 dagen).
    - ATP hetzelfde voor experimenten zonder UF (25 dagen) – ongeacht LWS en flux.
    - ATP laagst voor UF en LWS (114 dagen).
    - ATP na UF (91 dagen) vergelijkbaar met SWM zonder LWS.
    - Verdeling tussen ATP spacer en membraan lijkt random.
    - Echter wel veel feedspacervervuiling op SWM zonder LWS (42 dagen), door veel groei op de feedspacers door lange periode.
- In de tweede periode (rechts van stippellijn):
    - ATP levels hoger bij hogere langsstroomsnelheden
    - ATP vergelijkbaar bij met/zonder luchtwaterpspoeling
    - Wel is met luchtwaterspoeling de totale filtratietijd langer.

Verklaringen

- LWS blijkt in staat om feedspacers schoon te blazen na UF en bij 25 LMH. Echter niet bij 10 LMH, waarschijnlijk veroorzaakt door de langere filtratietijd (41 dagen vergeleken met 25 dagen).
- UF heeft een positief effect op ATP verwijdering. Er kan langer worden gefiltreerd totdat eenzelfde ATP level wordt bereikt.
- Een hogere langsstroomsnelheid heeft een negatief effect op de hoeveelheid ATP en er kan korter worden gefiltreerd. Er wordt meer vervuiling aangeboden bij hogere langsstroomsnelheden zodat er sneller verstopping plaatsvindt.
- De hypothese is dat bij biofouling (UF) de bacteriologische activiteit hoger is, en dat bij organische vervuiling de activiteit lager is (rest). Dit wordt niet bevestigd door de resultaten. Mogelijk is het oppervlaktewater zodanig biologisch actief dat het verwachte effect wordt overschaduwd.
- Tenslotte wordt er (nogmaals) opgemerkt dat door het ‘knock-out’ criterium van 0,6 bar verschillende filtratietijden worden gehanteerd, waardoor een objectieve vergelijking lastig is op basis van ATP metingen na autopsie.



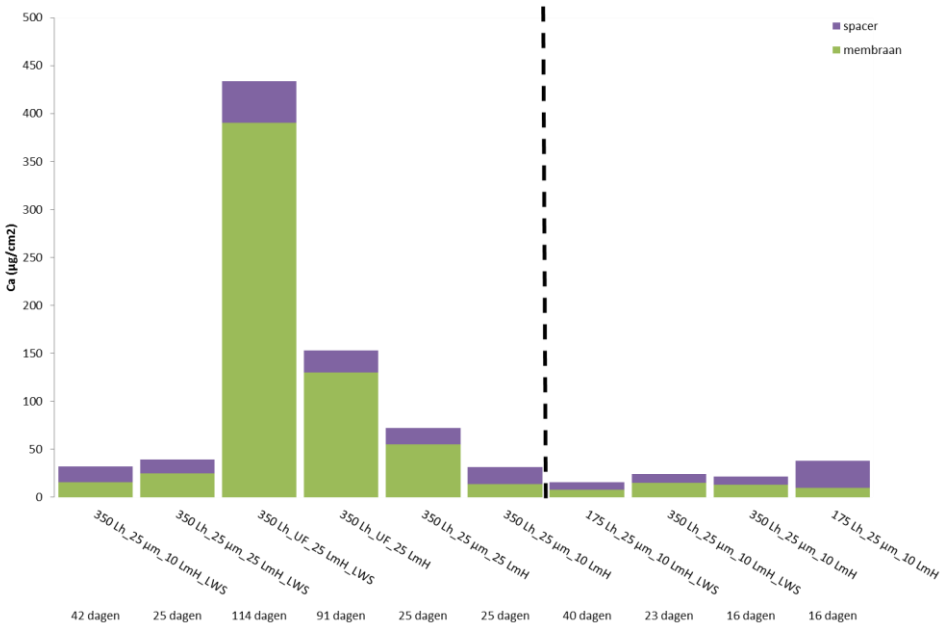
FIGUUR 4-17 KOOLHYDRATEN SW RO MEMBRAAN NA AUTOPSIE VIJVERWATERTESTEN

Observaties

- CH levels zijn aan de hoge kant in vergelijking met waarden gevonden in de literatuur. Een flux afname van 30-80% is gevonden bij CH waarden van 50 mg/cm^2 (Fonseca at el., 2007) en een andere studie rapporteert een flux afname van >50% bij 12,4 mg/cm^2 (Gabelich et al., 2004).
- In de eerste periode (links van stippellijn):
    - Hoogste CH voor experiment zonder UF, significant lagere CH na LWS (die bovendien langer hebben geduurd).
    - Minder CH voor experimenten (zonder UF) met lage flux (10 LMH).
    - Effect van LWS heeft geen duidelijk effect op hoeveelheid CH op membraan.
    - Verdeling tussen ATP feedspacer en membraan lijkt random, echter lijken CH levels hoger te zijn op het membraan ten opzichte van feedspacer.
    - Echter wel minder CH op feedspacer na UF (verwijdert LWS CH van feedspacer – na UF ?).
- In de tweede periode (rechts van stippellijn):
    - Geen consistent beeld CH levels en langsstroomsnelheid.
        - Is het hoogst bij 175 L/uur en LWS.
        - Is het laagst bij 175 L/uur zonder LWS.

Verklaringen

- UF heeft een positief effect op CH verwijdering. Er kan langer worden gefiltreerd en er worden lagere CH levels bereikt.
- LWS heeft geen significant effect op CH verwijdering, ongeacht flux en LWS. CH zit vooral op membraan (geadsorbeerd ?) en wordt niet verwijderd door en verbetering in turbulentie met LWS.
- Langsstroomsnelheid heeft geen consistent effect op verwijdering van CH.
- Tenslotte wordt er opgemerkt dat door het ‘knock-out’ criterium van 0,6 bar en 50% MTC daling verschillende filtratietijden worden gehanteerd, waardoor een objectieve vergelijking lastig is op basis van CH metingen na autopsie.



FIGUUR 4-18 CA SW RO MEMBRAAN NA AUTOPSIE VIJVERWATERTESTEN

Observaties

- Vergelijk Ca levels met referentie (literatuur). Zijn ze hoog/laag of liggen ze in dezelfde range.
- In de eerste periode (links van stippellijn):
    - Hoogste Ca voor experiment na UF en LWS, iets lagere Ca level na UF zonder LWS.
    - Minste Ca voor experimenten (zonder UF) met lage flux (10 LMH).
    - Effect van LWS heeft geen duidelijk effect op hoeveelheid Ca op membraan.
    - Ca levels hoger op het membraan ten opzichte van feedspacer.
- In de tweede periode (rechts van stippellijn):
    - Hogere Ca bij 350 L/h en lagere Ca bij 175 L/uur.
    - Ca op feedspacer is hoger bij lagere langsstroomsnelheid zonder LWS.

Verklaringen

- UF heeft een negatief effect Ca neerslag op membraan. Waarschijnlijk doordat er langer wordt gefiltreerd worden er hogere CH levels bereikt (vraag: hoe hoog is hoog ? – check referenties).
- LWS heeft geen significant effect op Ca neerslag verwijdering, ongeacht flux en LWS. Ca zit op membraan en wordt niet verwijderd door een verbetering in turbulentie met LWS.
- Hogere langsstroomsnelheid geeft een hoger Ca niveau, waarschijnlijk door een hogere load aan Ca.

Tenslotte wordt er opgemerkt dat door het ‘knock-out’ criterium van 0,6 bar en 50% MTC daling verschillende filtratietijden worden gehanteerd, waardoor een objectieve vergelijking lastig is op basis van CH metingen na autopsie.

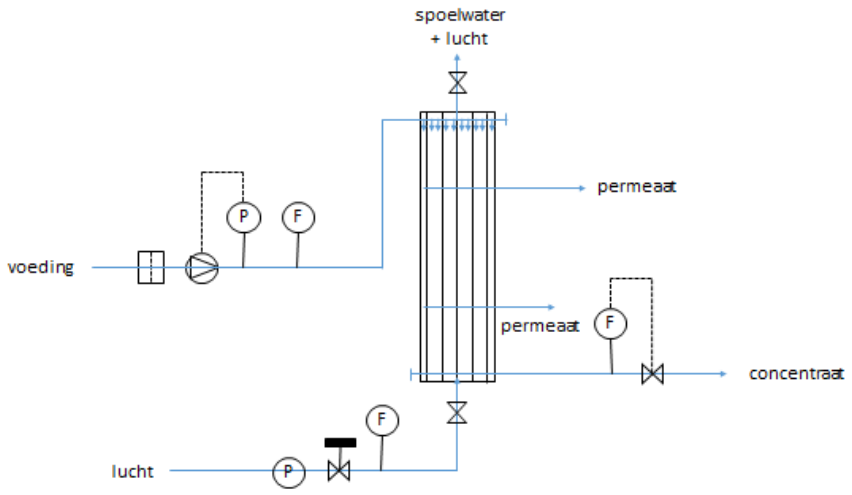
5 Feedspacerloze RO onderzoek

5.1 Feedspacerloze lab installatie

Spiraalgewonden membranen zijn al sinds meer dan 30 jaar de industriële standaard voor het ontwerp van RO modules. Het succes van de spiraalgewonden membraanmodule is grotendeels te danken aan het compacte ontwerp en aan de geautomatiseerde productie die de kosten voor een dergelijke module relatief beperkt houden. Een spiraalgewonden module heeft ook enkele nadelen waarvan de vervuilingsgevoeligheid de meest prominente is. Hiernaast is de effectiviteit van state-of-the art reinigingsmethoden beperkt, wat ook (vaak) terug te brengen is op de aanwezigheid van een feedspacer. In dit TKI MSRO project wordt gekeken naar een alternatief concept waarbij RO membranen rechtstreeks worden gevoed met voedingswater zonder een uitgebreide voorbehandeling. Onder deze condities is een spiraalgewonden module niet het meest geschikte ontwerp met name vanwege optredende feedspacerverstopping. Vanwege deze redenen is besloten feedspacerloze RO systemen te onderzoek in een laboratorium test (kleine schaal, haalbaarheidsonderzoek). Hierbij zijn de volgende onderzoeksvragen relevant:

- Welke flux kan worden gehaald bij verschillende voedingsdrukken met een TFC membraan zonder feedspacer
- Of een dergelijk membraan langdurig kan worden gevoed met ongezuiverd oppervlaktewater, en in welke mate daarbij vervuiling optreedt
- Welke retentie kan worden gehaald met een feedspacerloos membraan, afhankelijk van flux en langsstroomsnelheid

Voor dit onderzoek is een lab installatie ontworpen zoals schematisch is weergegeven in Figuur 5-1.



FIGUUR 5-1 LAB INSTALLATIE FEEDSPACERLOOS MEMBRAAN

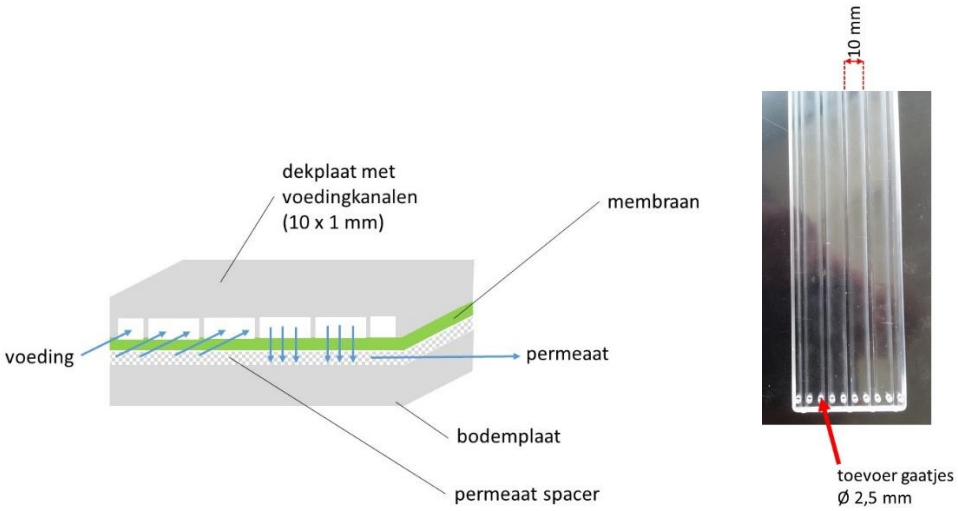
De voedingspomp (Wanner Hydra-cell P200; plunjerpomp met 3 plunjers) wordt met behulp van een druksensor (Ceraphant T; 0 – 40 bar; Endress & Hauser, Nederland) op vaste druk

geregeld. De maximale pompdruk is 8 bar, en de pomp is voorzien van een overdrukbeveiliging met afvoer. Het voedingsdebiet en concentraatdebiet worden beide gemeten met behulp van een flowmeter (Promag 50; Endress & Hauser, Nederland). De concentraatafvoer wordt geregeld met behulp van een geregelde concentraatklep (Samson 3767-000112001.05 + Samson 3510) die op een gewenst concentraatdebiet wordt geregeld. Het permeaat wordt opgevangen in een vat van 20 liter met overstort. Het permeaatdebiet wordt bepaald door weging. Hiervoor staat het vat op een balans (OHAUS Trooper TR15RS; 0 – 15 kg; Ohaus Europe GmbH, Zwitserland) die 1x per 10 minuten wordt gelogd.

De voeding wordt bovenin de membraanmodule (728 x 59,9 mm) gevoed, en het concentraat wordt onderaan afgevoerd. Het permeaat wordt via een reguliere permeaat spacer (uit een normale spiralwound module) verzameld en op 2 plaatsen afgevoerd (164 mm vanaf de bovenzijde van het membraan en 164 mm vanaf de onderzijde van het membraan).

Het membraan (Hydranautics ESPA 2, oppervlak 728 x 59,9 mm, netto: 728 x 50 mm) is verticaal geplaatst, zodat de voedingskanalen (B x H = 10 x 1 mm) kunnen worden gereinigd met een luchtspoeling en lucht/waterspoeling. Toevoer van lucht vindt handmatig plaats van beneden naar boven, en niet tijdens productie. Het luchtdebiet kan worden ingesteld met behulp van een handregelklep en debietmeter.

Het membraan is in een doorzichtige cel opgesloten, die een maximale druk van 6 bar kan weerstaan. In totaal zijn 4 lagen in de cel geplaatst: een bodemplaat, een permeaatspacer, het membraan zelf en een dekplaat waarin de voedingskanalen zijn uitgefreesd. Deze lagen zijn schematisch weergegeven in Figuur 5-2.



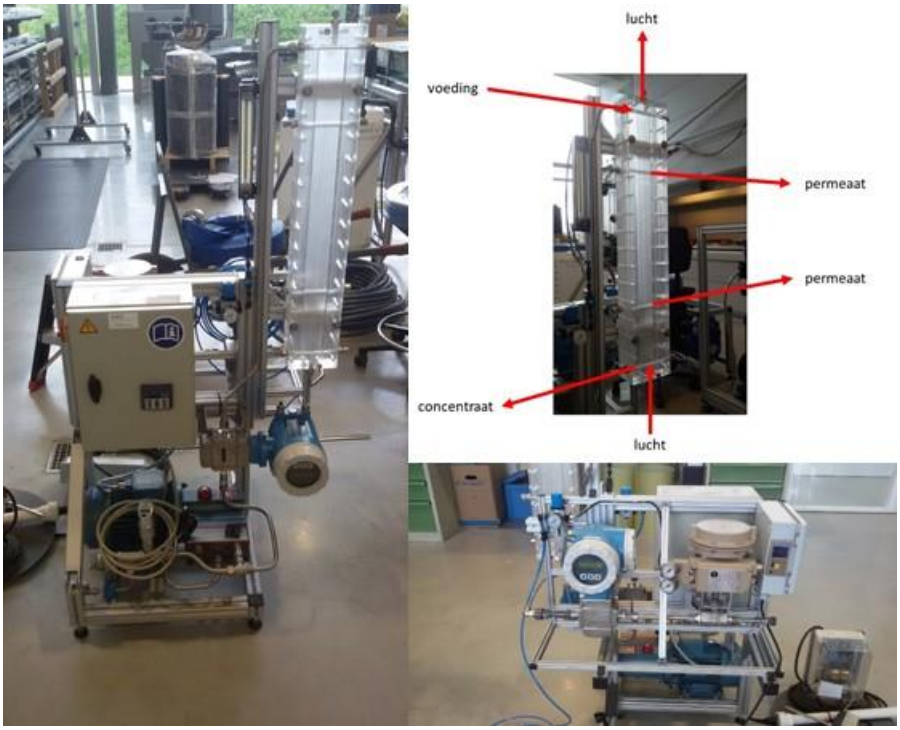
FIGUUR 5-2 DOORSNEDE MEMBRAAN MET VOEDINGSKANALEN (LINKS) EN DEKPLAAT MET TOEVOERGAATJES (RECHTS)

In totaal zijn 6 voedingskanalen gemaakt. De beide buitenste kanalen hebben een breedte van 5 mm, de 4 middelste kanalen een breedte van 10 mm. De hoogte van de kanalen is 1 mm. Het doorstroomd oppervlak van de voedingskanalen is hiermee 50 mm^2 (0,00005 m^2). In de voedingskanalen zijn geen feedspacers geplaatst.

Aan de bovenzijde en onderzijde van de dekplaat zijn gaatjes geboord voor de toevoer van voeding en afvoer van concentraat. De voedingskanalen zijn nodig om het membraan vlak te

houden en een redelijke verdeling en langstroming van het voedingswater over het totale membraanoppervlak te garanderen.

In Figuur 5-3 zijn een aantal foto's van de gerealiseerde lab installatie weergegeven.



FIGUUR 5-3 LAB INSTALLATIE FEEDSPACERLOOS MEMBRAAN

5.2 Bedrijfsvoering lab installatie

5.2.1 Voorbehandeling vijverwater

Om verstopping van de voedingskanalen te voorkomen moet het ruwwater (in het geval dat oppervlaktewater uit de KWR vijver wordt gebruikt) in ieder geval worden ontdaan van grove deeltjes. Dit wordt gerealiseerd met een filtratie over een screen met maaswijdte 250 µm. Met een dergelijk screen worden algen en mossellarven niet (volledig) verwijderd. Voor een goede verwijdering van larven van driehoeksmosselen is een tweede filtratie met een screen met maaswijdte 25 µm toegepast (zie hoofdstuk 3 voor de details en bedrijfsvoering).

5.2.2 Filtratie

Tijdens filtratie, worden de voedingskanalen van boven naar beneden doorstroomd. Door de druk van de pomp en de debietregeling met de concentraatklep wordt het water in de voedingskanalen zodanig onder druk gehouden, dat een deel van het voedingswater door het membraan heen wordt geperst. Dit water (permeaat) wordt door het permeaatspacer verzameld en afgevoerd naar een reservoir op een balans. Door meting van gewicht en tijdsduur wordt de flux berekend.

De installatie wordt bedreven met een constante voedingsdruk. Verminderde permeabiliteit van het membraan, als gevolg van bijvoorbeeld vervuiling op het membraan, resulteert hierdoor in een afnemende flux. Ook daling van de water temperatuur zal een daling van de flux tot gevolg hebben.

5.2.3 Membraanreiniging

De voedingskanalen kunnen handmatig worden gereinigd met een luchtspoeling. Ook gelijktijdig spoelen met lucht en voedingswater is mogelijk. Het membraan kan daarnaast handmatig chemisch worden gereinigd. De chemische reiniging wordt op dezelfde manier uitgevoerd als de CIP van de SW RO elementen. De CIP procedure is terug te vinden in paragraaf 4.2.1 Tabel 4-2.

5.3 Onderzoek en meetplan lab installatie feedspacerloze RO

5.3.1 Verkenning haalbare flux en zoutretentie

Als eerste is onderzocht welke flux en retentie gehaald kunnen worden met drinkwater en vijverwater bij verschillende combinaties van voedingsdruk en een langsstroomsnelheid:

- 1 – 2 – 2,5 – 3 bar
- 50 – 100 – 200 L/uur (0,28 – 0,56 – 1,11 m/s)

Bij de meting van fluxen en retenties zijn telkens de volgende stappen uitgevoerd:

1. Instelling van de gewenste voedingsdruk en langsstroomsnelheid met drinkwater → na 30 minuten filtreren is de flux bepaald en het EGV van voeding en permeaat gemeten.
2. Vervolgens is de installatie bij dezelfde instellingen voor voedingsdruk en langsstroomsnelheid met voorgezuiverd (250 + 25 µm screens) vijverwater gevoed gedurende 2 uur → elk half uur is de flux bepaald en het EGV van het permeaat gemeten. Het EGV van de voeding is 1 maal gemeten.
3. Vervolgens wordt de installatie weer overgezet op drinkwater (nog steeds bij dezelfde instellingen.

Nadat de 3 bovenstaande stappen zijn doorlopen, worden de instellingen voor voedingsdruk en langsstroomsnelheid gewijzigd en volgen een nieuwe meting.

Bij elke combinatie van flux en langsstroomsnelheid is de β factor uitgerekend met behulp van de berekeningsmethodiek zoals gegeven door G. Schock and A. Miquel [G. Schock and A. Miquel,1987].

5.3.2 Duurtest met vijverwater

Nadat de haalbare fluxen en retenties zijn bepaald, is een duurtest met voorbehandeld vijverwater uitgevoerd om het vervuilingsgedrag van de vlakke plaat RO membraan te onderzoeken. Hierbij is de installatie ingesteld op een flux van circa 10 L/m^2.uur, zodat de resultaten goed kunnen worden vergeleken met een gelijktijdige test met een 2,5 inch spiral wound module die in dezelfde periode is getest bij 10 L/m^2.uur.

5.4 Resultaten lab installatie feedspacerloze RO

5.4.1 Verkenning flux en zoutpassage

5.4.1.1 Kwaliteit drinkwater en vijverwater tijdens testperiode (27 juli t/m 5 augustus)

Tijdens de uitvoering van de testen zijn regelmatig de temperatuur en het EGV van het drinkwater gemeten. Het EGV was in de testperiode steeds tussen 247 en 254 µS/cm, de temperatuur varieerde tussen 19,2 en 19,8 ˚C.

Het EGV van het vijverwater was in de testperiode steeds tussen 370 en 380 µS/cm. De temperatuur varieerde tussen 18,3 en 19,7 ˚C op maandag 1 augustus tot en met vrijdag 5 augustus. Op vrijdag 27 juli was de temperatuur van het vijverwater 21,4 ˚C. Op 27 juli is slechts de flux en zoutpassage bepaald bij een langsstroomsnelheid van 50 L/uur en een voedingsdruk van 1 bar. Alle overige metingen zijn derhalve uitgevoerd bij een watertemperatuur van 18,3 tot 19,7 ˚C.

De temperatuur van het drinkwater en het vijverwater waren vergelijkbaar tijdens de uitvoering van de testen. Het EGV van het vijverwater is duidelijk hoger dan het EGV van het drinkwater. Het verschil in EGV wordt voornamelijk bepaald door de grote verschillen in de concentraties sulfaat, calcium en waterstofcarbonaat

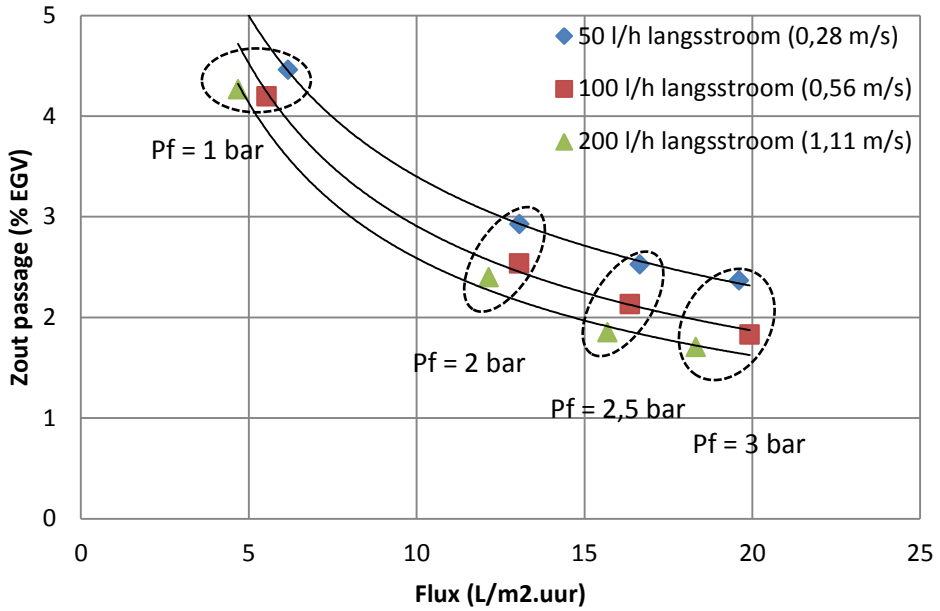
5.4.1.2 Flux en zoutpassage met drinkwater en vijverwater, bij verschillende voedingsdrukken

De resultaten van de verkennende testen met drinkwater en vijverwater zijn uitgevoerd in de periode van 15 juni tot en met 11 augustus. De resultaten van de flux en zoutpassage ten opzichte van verschillende langsstroomsnelheden zijn grafisch weergegeven in Bijlage XIII.

In Figuur 5-4 zijn de gemeten fluxen en bijbehorende zoutpassage weergegeven met vijverwater, en bij verschillende langsstroomsnelheden. De β factor (berekend) lag steeds tussen 1,1 en 1,7. De langsstroomsnelheid heeft slechts een beperkt effect op de flux. In alle gevallen werd een lagere flux gemeten naarmate de langsstroomsnelheid werd opgevoerd. De oorzaak hiervan ligt waarschijnlijk in een (geringe) toename van de drukval over de toe- en afvoerleidingen van de installatie. Ook de in- en uitstroomverliezen spelen hierbij een rol. Bij een toenemend langs stroomdebiet neemt de drukval over de toe- en afvoerleidingen toe, waardoor er -bij een gelijkblijvende voedingsdruk- een lagere netto drijvende druk overblijft voor permeatie van water door het membraan.

In Figuur 5-4 is zichtbaar, dat de zoutretentie toeneemt naarmate de flux toeneemt. Bij een lage waterflux, leidt de zoutpassage door het membraan tot een hogere concentratie in het permeaat Wanneer de waterflux echter nog verder toeneemt (niet gemeten), neemt de retentie op een zeker moment weer af omdat met de hoge waterflux ook meer zout door het membraan heen wordt getransporteerd,

Op basis van Figuur 5-4 is besloten om de duurtest met het feedspacerloze membraan uit voeren met een voedingsdruk van 2 bar en een langsstroomsnelheid van 100 l/uur (0,56 m/s).



FIGUUR 5-4 RELATIE FLUX EN ZOUTPASSAGE MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER (VIJVERWATER MET B TUSSEN 1,1 EN 1,7) BIJ VERSCHILLENDE LANGS STROOMSNELHEDEN: 50, 100 EN 200 L/UUR (0,28 - 0,56 EN 1,11 M/S)

5.4.1.3 Verschil zoutpassage drinkwater en vijverwater

De zoutpassage bij 2 bar voedingsdruk, 100 L/uur langsstroming en een flux van ~13 L/m^2.uur is circa 2,5% met vijverwater. Met drinkwater is, onder vergelijkbare condities, een veel hogere zoutpassage gemeten: circa 5,2% bij 2 bar voedingsdruk, 100 L/uur langsstroming en een flux van ~13,4 L/m^2.uur. Dit is echter goed te verklaren uit de zoutsamenstelling van zowel drinkwater als vijverwater. Drinkwater bevat veel minder 2-waardige zouten dan het vijverwater, terwijl het EGV van vijverwater ook veel hoger is dan van het drinkwater (~370 versus ~250 µS/cm).

5.4.1.4 Zoutpassage lastig nauwkeurig te bepalen met het feedspacerloze membraan

Tijdens de uitvoering van de testen, bleek overigens dat de zoutpassage telkens afnam na de start van de installatie. Dit kan worden geïllustreerd met de meetresultaten van de zoutpassage met vijverwater bij 2 bar voedingsdruk en een langsstroomsnelheid van 100 L/uur (~ 0,56 m/s) in Tabel 5-1.

TABEL 5-1 ZOUTPASSAGE METINGEN DRINKWATER → VIJVERWATER → DRINKWATER (100 L/H LANGSSTROOMSNELHEID EN 2 BAR VOEDINGSDRUK)

Tijd	Voeding	EGV voeding	EGV permeaat	Zoutpassage %
11.15	(start) drinkwater			
11.45	drinkwater	250	12,9	5,16
11.50	(start) vijverwater			
12.20	vijverwater	373	10,4	2,79
12.50	vijverwater		9,4	2,52
13.20	vijverwater		9,3	2,49
13.50	vijverwater		8,7	2,33
14.10	(start) drinkwater			
14.40	drinkwater	253	10,2	4,03

Bij de meting van de zoutpassages met drinkwater als voedingswater, is geen dalende trend waargenomen omdat bij voeding met drinkwater steeds maar één meting is gedaan (30 minuten na opstart). Op basis van Tabel 5-1, mag aan de gemeten zoutpassages zoals weergegeven in Figuur 5-1, slechts een indicatieve waarde worden toegekend.

In Tabel 5-1 zijn ook de metingen van de zoutpassages gegeven bij bedrijfsvoering met achtereenvolgens drinkwater, vijverwater en (opnieuw) drinkwater. De metingen zijn direct achter elkaar uitgevoerd. Het gemeten EGV in het permeaat tijdens de voeding met drinkwater is 12,9 µS/cm. Na overschakelen van de installatie op vijverwater wordt een EGV in het permeaat gemeten van 10,4 µS/cm. De EGV in het permeaat daalt vervolgens tot 8,7 µS/cm in een tijdsduur van 2 uur. Wanneer de installatie daarna weer opnieuw wordt gevoed met drinkwater, wordt weer een hogere EGV gemeten: 10,2 µS/cm.

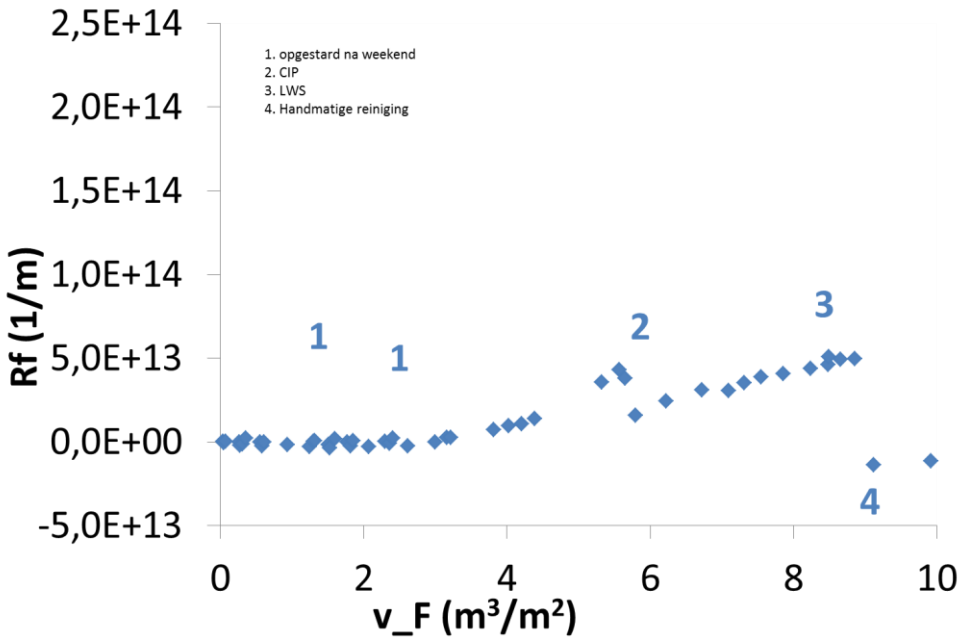
5.4.2 Duurtest met vijverwater

5.4.2.1 Inleiding

Op 12 september 2016 is de duurtest met vijverwater begonnen. De installatie is daarbij in bedrijf gesteld met een constante voedingsdruk van 2 bar en een constant langsstroming debiet van 100 L/uur (~0,56 m/s langs stroomsnelheid). In de weekenden van 17/18 en 24/25 september werd de installatie gevuld met drinkwater en daarna stilgezet, waarna de installatie na het weekeinde weer werd opgestart. Hiervoor is gekozen omdat in het begin niet zeker was of de installatie wel goed en storingsvrij automatisch zou kunnen doordraaien. Vanaf 26 september is de installatie continue in bedrijf geweest tot 14 november, zonder het membraan te verwisselen. Gedurende deze periode is het membraan op 20 oktober één maal chemisch gereinigd met natronloog en zoutzuur. Op 14 november is een lucht/water spoeling toegepast. En op 21 november is het membraan uit de installatie gehaald, met behulp van een doek (Kimtech 7506 030 verplegingsdoeken, Kimberly-Clark Professional) handmatig gereinigd en weer teruggeplaatst in de installatie. De duurtest is op 25 november 2016 gestopt.

5.4.2.2 Werkelijke en genormaliseerde flux

Bij de start van de duurtest werd een werkelijke flux van 12 tot 13 L/m^2.uur gemeten bij een watertemperatuur van 19,5 ˚C. Aan het eind van lange duur test was de flux gezakt tot ~3,5 L/m^2.uur bij 4,7 ˚C. De genormaliseerde membraanweerstand gedurende de test is weergegeven in Figuur 5-5.



FIGUUR 5-5 GENORMALISEERDE MEMBRAANWEERSTAND - PERIODE 12 SEPTEMBER T/M 25 NOVEMBER 2016

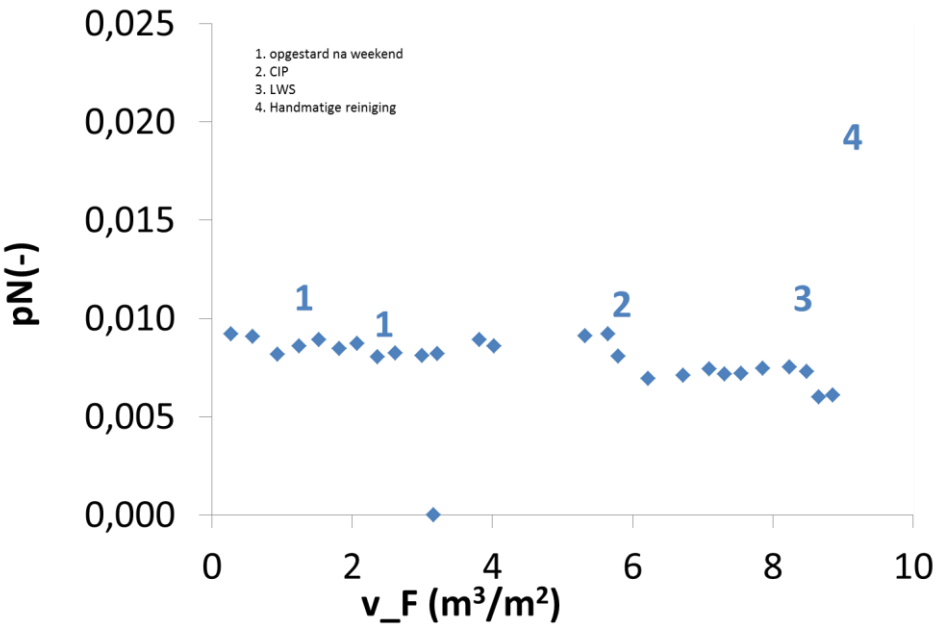
In Figuur 5-5 zijn ook de weekenden dat de installatie heeft stilgestaan, het moment van chemisch reinigen (CIP) en het moment van extra luchtspoeling aangegeven. Aan het einde van de test is getracht het membraan handmatig te reinigen door het schoon te wrijven met een doekje. Na een productie van ~3-4 m^3/m^2 begint de weerstand over het membraan zichtbaar toe te nemen. Met de chemische reiniging kon de weerstand aan zienlijk worden verlaagd, maar niet tot het oorspronkelijke niveau. Spoeling met lucht had geen meetbaar effect, terwijl de handmatige reiniging weer heel goed in staat was het vuil te verwijderen. Foto's van de verschillende stadia tijdens de duurtest zijn weergegeven in Bijlage XIV. Op deze foto's is duidelijk het effect van de verschillende reinigingen te zien.

5.4.2.3 Drukval over de voedingskanalen

Het verloop van de genormaliseerde drukval over de voedingskanalen kon niet worden bepaald, omdat de druk in de concentraatafvoer niet is gemeten. De drukval over de voedingskanalen is niet gemeten, maar de verwachting is dat de drukval minimaal is en gedurende de gehele testperiode niet toeneemt. Visueel is, gedurende de gehele testperiode, ook geen enkele maal verstopping van (één van de) de voedingskanalen waargenomen.

5.4.2.4 Zoutpassage

Het verloop van de genormaliseerde zoutpassage is weergegeven in Figuur 5-6 In deze Figuur is te zien, dat de zoutpassage gedurende de gehele test ongeveer constant blijft en in ieder geval niet toeneemt, ook niet na een CIP of luchtspoeling. Na handmatige reiniging aan het einde van de testperiode, nam de zoutpassage wel extreem toe tot met een waarde van 0,145 (niet in Figuur 5-6 weergegeven vanwege de schaal). Deze toename houd verband met de handmatige reiniging met het doekje. Meer onderzoek na handmatige reiniging wordt uitgevoerd in 2017.



FIGUUR 5-6 VERLOOP VAN DE GENORMALISEERDE ZOUTPASSAGE - PERIODE 12 SEPTEMBER T/M 25 NOVEMBER 2016

5.4.2.5 Vervuiling en reiniging feedspacerloze membraan

Het feedspacerloze membraan heeft geen last van verstopping van de voedingskanalen. Dit is niet door meting vastgesteld, maar verstopping is niet visueel vastgesteld (doorzichtige dekplaat). De membraanweerstand nam wel toe tijdens de duurtest (zie Figuur 5-5). De chemische reiniging met NaOH (pH ~11,5), gevolgd door een reiniging met HCl (pH ~2) na ~6 m^3/m^2 productie was effectief, met 1 uur contact met loog en 1 uur contact met HCl.

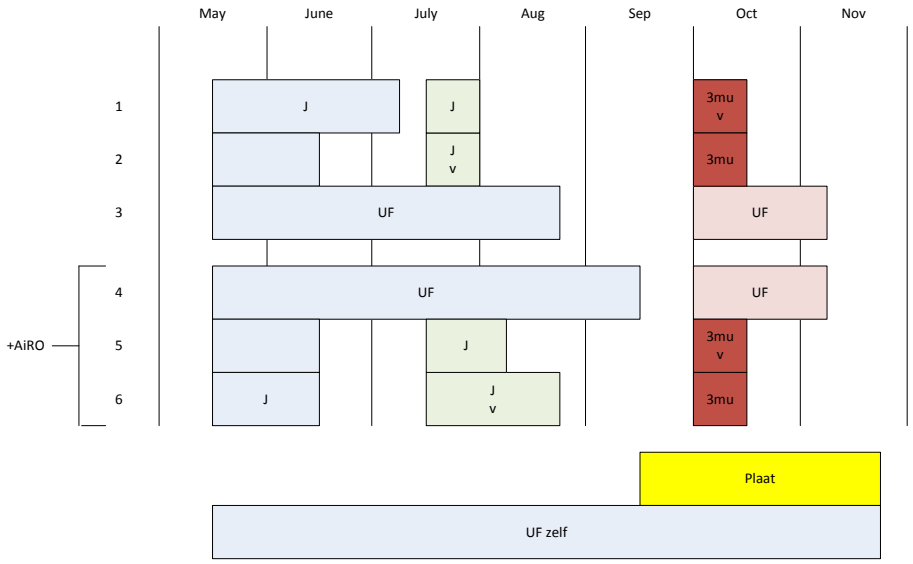
De meest waarschijnlijke verklaring voor de verhoging van de genormaliseerde weerstand over het membraan, is de vervuiling door organische stoffen die aan het membraanoppervlak blijven plakken. Dergelijke stoffen worden veelal goed verwijderd met een chemische reiniging bij een hoge pH, maar niet met lucht/waterspoeling.

Het mechanisch reinigen met een zachte doek, bleek zeer effectief maar leidt ook tot een verlaging van de zoutretentie. Voor het reinigen met de zachte doek, is het membraan uit de installatie gehaald. Na het reinigen is het membraan weer in de installatie geplaatst en zijn de membraanweerstand en zoutpassage opnieuw vastgesteld. Het is goed mogelijk dat het uithalen en opnieuw inklemmen van het membraan in de vlakke cel, beschadiging aan de rand van het membraan heeft veroorzaakt, waardoor de zoutpassage sterk is toegenomen. Het is echter ook mogelijk dat de toplaag van het TFC membraan is beschadigd door de wrijving met het doekje. Alleen door nader onderzoek uit te voeren, kan de werkelijke oorzaak van de toegenomen zoutpassage worden vastgesteld.

6 Discussie testresultaten 2016

6.1 Waterkwaliteit en seizoensinvloeden

De testen met vijverwater vonden plaats van 25 april t/m 25 november 2016 op de locatie van KWR. Een overzicht van de uitgevoerde experimenten tijdens deze periode is gegeven in Figuur 6-1. De watertemperatuur begon bij 5 ºC in de lente en nam toe tot 24 ºC tijdens de zomermaanden om daarna weer te dalen tot 5 ºC in de herfstperiode. De pH bleef nagenoeg constant (7,5) en de conductiviteit werd vanaf juli 2016 gemeten en steeg licht tijdens de laatste maanden van 370 µS/cm naar 450 µS/cm. De samenstelling van het vijverwater lijkt sterk op de samenstelling van het drinkwater (Vitens, pompstation Tull en 't Waal), behalve het sulfaatgehalte dat significant hoger is voor het vijverwater (74-270 mg/L SO_4^{2-}). De totale ionen zijn redelijk in balans, en er komen slechts ca. 10% kationen tekort (berekening niet opgenomen in rapport). Het vijverwater in 2016 kan qua samenstelling worden gekarakteriseerd als zijnde drinkwater dat enigszins verdund is met regenwater en aangevuld is met componenten (sulfaat en DOC) uit de vijverbodem en door biologische groei in het water.



FIGUUR 6-1 OVERZICHT VAN DE EXPERIMENT OP VIJVERWATER BIJ KWR - PERIODE 25 APRIL T/M 25 NOVEMBER 2016

Een deeltjesanalyse uitgevoerd in de zomer laat een significante vracht aan deeltjes van verschillende afmetingen (5-50 µm) zien. De meeste deeltjes zijn klein (5 µm) en zijn vermoedelijk afkomstig van gesedimenteerd materiaal op de bodem van de vijver. Er is vrij veel opgelost organisch materiaal aanwezig in de vijver (5-6 mg C/L DOC) dat voornamelijk (60-70%) bestaat uit humuszuren. Noemenswaardig is het gehalte aan biopolymeren (0,5-0,6 mg C/L biopolymeren) waarvan bekend is dat dit een belangrijke rol speelt bij membraanvervuiling. Een alternatieve bepaling met de hemoflow analyse bepaalt het deeltjesgebonden en/of hoogmoleculair organisch koolstof gehalte (PHMOC[3]) en geeft een waarde van 960 µg-C/L. Dit bedraagt ca. 15% van het de TOC waarde van het vijverwater.

[3] Particulate and/or high-molecular organic carbon

Deze PHMOC bestaat voor 63% uit koolhydraten en voor 12% uit eiwitten, de rest (25%) uit een ongedefinieerde fractie. Deze waarden komen overeen met gepubliceerde waarden door Hijnen et al (2018).

6.2 SW RO

6.2.1 Bedrijfsvoering voorbehandeling (screens en UF)

Het grof filter is bedoeld om grove deeltjes (bijvoorbeeld takken, bladeren,…) af te vangen en om nageschakelde pompen te beveiligen. Het grof filter bestond uit een wedge wire filter systeem met een spleetbreedte van 0,25 mm en gaf tijdens de gehele looptijd van het project geen problemen. Het grof filter draagt niet bij aan het verwijderen van deeltjes (5-50 μm), maar blijkt qua bedrijfsvoering een zeer robuust systeem.

Het zelfreinigende 25 μm filter bestaat uit een gaas met openingen van 25μm bedoeld om deeltjes te verwijderen voor de RO elementen. Het filter wordt regelmatig gereinigd met een ingebouwd terugspoelmechanisme met een spoelverlies van ongeveer 14%. Er vond een aanzienlijke verwijdering (80%) van deeltjes > 25 μm plaats, echter geen verwijdering van opgelost organisch materiaal. Behalve een beperkt aantal handmatige interventies vanwege verstopping met fijn zand, blijkt het systeem qua bedrijfsvoering behoorlijk robuust.

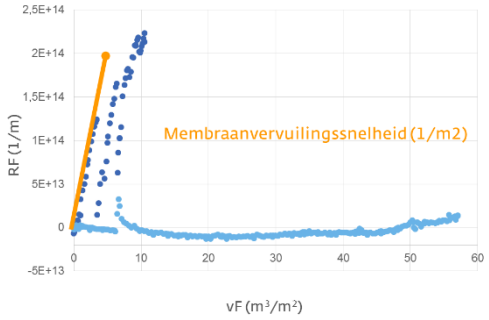
Het zelfreinigende 5 μm filter bestaat uit een gaas met openingen van 5 μm bedoeld om meer deeltjes te verwijderen voor de RO elementen. Het systeem was echter niet in staat om deeltjes te verwijderen tijdens enkele proefnemingen, en is om deze reden niet verder gebruikt.

De UF installatie bestaat uit twee holle vezel membraanelementen van Pentair met een nominale poriegrootte van 20 nm, bedoeld om alle deeltjes te verwijderen uit voedingswater. De membranen werden periodiek gereinigd met een vaste hydraulische en chemische terugspoelcyclus (1x per 1-2 dagen) met een totaal spoelverlies van ongeveer 25%. Deeltjes werden verregaand verwijderd en konden niet meer worden waargenomen met een deeltjesteller. Opgelost organisch materiaal werd voor 10% verwijderd, terwijl de biopolymerenfractie (> 20,000 g/mol) voor ongeveer 80% werd verwijderd. Op basis van hemoflow analyse werd ca. 20% verwijdering bepaald voor PHMOC. Deze PHMOC na UF bestaat voor 43% uit koolhydraten en voor 7% uit eiwitten, de rest (50%) uit een ongedefinieerde fractie die het minst goed werd tegengehouden door de UF. Gedurende de gehele onderzoeksperiode kon bij een relatief lage flux (22 LMH) de transmembraandruk worden beheerst, ondanks enkele technische tegenslagen. Bij de gehanteerde lage flux blijkt UF een robuust systeem voor – met name - deeltjesverwijdering.

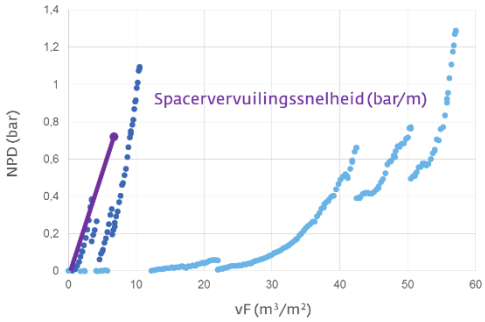
6.2.2 Effecten voorbehandeling, flux en luchtwaterspoeling (eerste experimentreeks)

Om de verschillende experimenten onderling te kunnen vergelijken zijn de resultaten op een alternatieve manier gepresenteerd. Hiervoor worden twee nieuwe parameters gedefinieerd zijnde: (1) de membraanvervuilingssnelheid en (2) de spacervervuilingssnelheid. De (initiële) membraanvervuilingssnelheid (in $1/m^2$) wordt bepaald uit de afgeleide van het eerste gedeelte van de membraanvervuilingsweerstand en het gefiltreerde permeaatvolume (Figuur 6-2). De (initiële) spacervervuilingssnelheid (in bar/m) wordt bepaald uit de afgeleide van het eerste gedeelte van de genormaliseerde drukval en het gefiltreerde permeaatvolume (Figuur 6-3). Door deze analyse worden alleen de initiële effecten van membraan- en feedspacervervuiling weergegeven, en worden lange duureffecten van vervuiling verwaarloosd. Dit betekent specifiek voor het experiment met UF voorbehandeling een initiële membraanvervuilingssnelheid van 0 $1/m^2$ en een spacervervuilingssnelheid van 0 bar/m. Latere biofouling problemen resulterend in een membraanweerstandtoename en

feedspacerverstopping (zie Figuur 4-3 en Figuur 4-4) worden niet meegenomen in deze analyse.

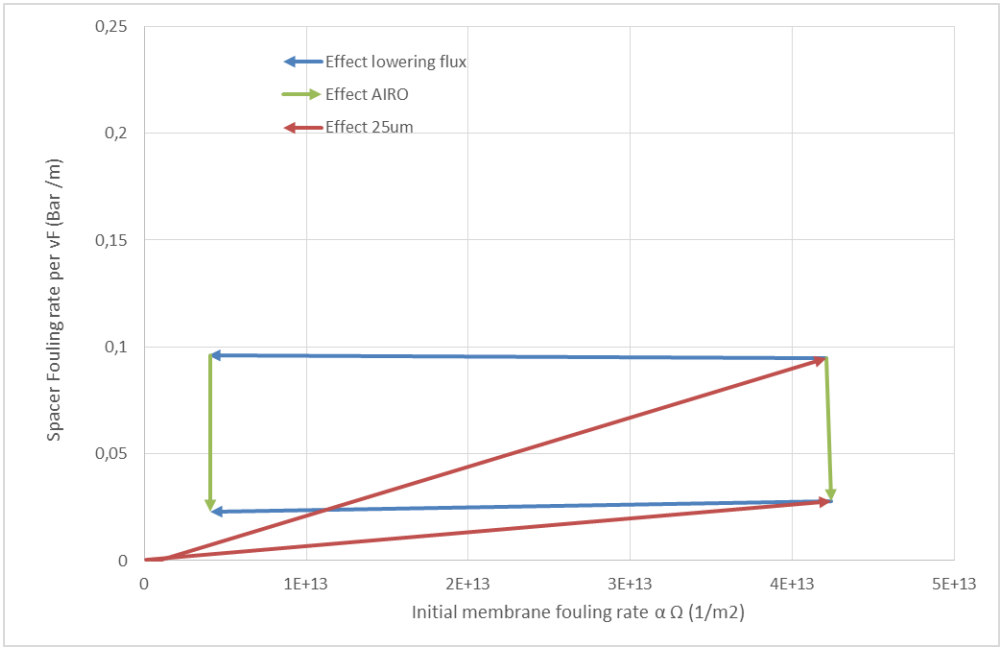


FIGUUR 6-2 BEPALING INITIËLE MEMBRAAN-VERVUILINGSSNELHEID (1/M²) UIT WEERSTAND VERSUS GEFILTREERD PERMEAATVOLUME CURVE



FIGUUR 6-3 BEPALING INITIËLE SPACER-VERVUILINGSSNELHEID (BAR/M) UIT DRUKVAL VERSUS GEFILTREERD PERMEAATVOLUME CURVE

Elk experiment kan worden weergegeven als één punt op een grafiek waar de membraanvervuilingssnelheid wordt uitgedrukt in functie van de spacervervuilingssnelheid. Voor het eerste experiment waar de effecten van voorbehandeling, flux en luchtwaterspoeling werden bestudeerd is een dergelijke grafiek weergegeven in Figuur 6-4. Het experiment met UF voorbehandeling is weergegeven als het nulpunt voor zowel de experimenten met als zonder luchtwaterspoeling. De effecten van voorbehandeling, flux en luchtwaterspoeling zijn weergegeven in deze grafiek als pijlen.



FIGUUR 6-4 MEMBRAANVERVUILINGSSNELHEID VERSUS SPACERVERVUILINGSSNELHEID VOOR DE EERSTE EXPERIMENTREEKS. DE INVLOED VAN VOORBEHANDELING, FLUX EN LUCHTWATERSPOELING IS WEERGEGEVEN MET GEKLEURDE PIJLEN

Het vervangen van UF door 25 μm screens resulteert in zowel een toename in de membraan- als in de spacervervuilingssnelheid (rode pijlen in Figuur 6-4). Verklaring: UF is veel beter in staat om deeltjes te verwijderen dan de 25 μm screens, zodat er minder verstopping en membraanvervuiling plaatsvindt. Ook is het verlagen van de hoeveelheid organische materiaal naar het membraan relevant voor het verlagen van membraanvervuiling.

Het verlagen van de flux resulteert in een ongeveer tienvoudige verlaging van de membraanvervuilingssnelheid, terwijl dit geen invloed heeft op feedspacervervuiling (blauwe pijlen in Figuur 6-4). Verklaring: Door het verlagen van de flux vindt er minder aanvoer van vervuiling plaats naar het membraanoppervlak, wat resulteert in minder membraanvervuiling. Ook na correctie van het permeaatvolume blijkt de membraanvervuiling minder, waaruit blijkt dat de vervuilingsopbouw minder compact is bij een lagere flux.

Luchtwaterspoeling resulteert in een viervoudige verlaging van de spacervervuilingssnelheid, terwijl dit geen invloed heeft op de membraanvervuilingssnelheid (groene pijlen in Figuur 6-4). Verklaring: Luchtwaterspoeling creëert tijdelijk hoge turbulentie in het spacervoedingskanaal dat resulteert in een sterke verwijdering van materiaal aan de feedspacer. Een belangrijke constatering is dat er geen koppeling bestaat tussen membraanvervuiling en feedspacerverstopping. Fluxverlaging resulteert alleen in minder membraanvervuiling, en luchtwaterspoeling resulteert alleen in minder feedspacerverstopping.

Oorzaken van snellere vervuiling na 25 μm screens in vergelijking met UF voorbehandeling (biopolymeren) worden gezocht in drie typen van vervuilingsmechanismen:

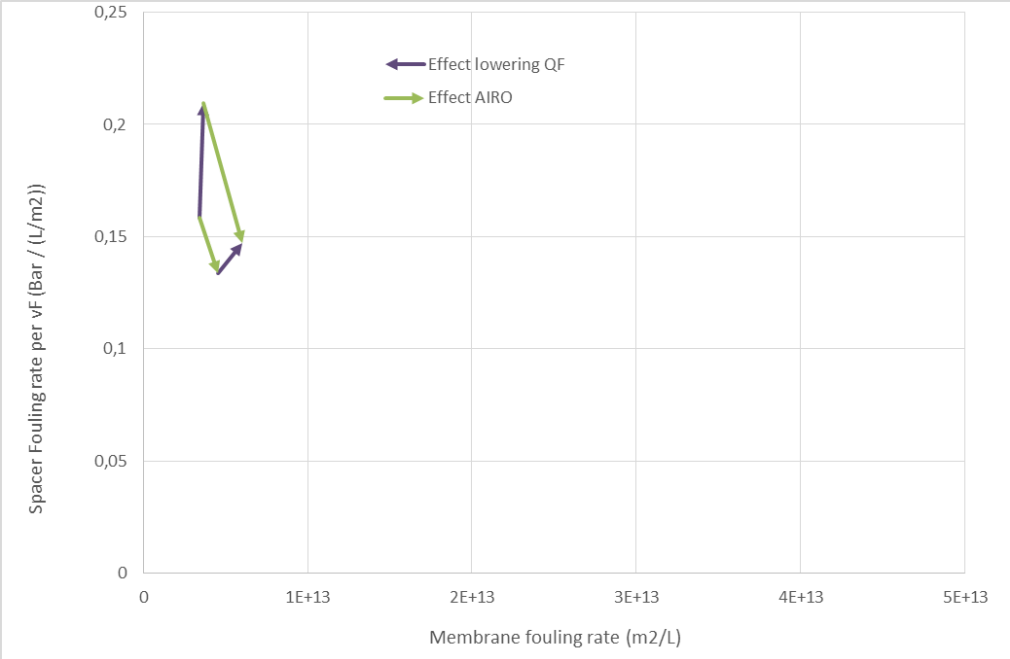
- Deeltjesvervuiling, resulterend in feedspacerverstopping en een toename van de membraanweerstand, wordt veroorzaakt door deeltjes die zich in de feedspacer of aan de instroom van de RO module ophopen. Minder deeltjes in de voeding na UF resulteert in minder deeltjesverstopping van de feedspacer en minder deeltjesdepositie op het membraan.
- Biofouling, resulterend in feedspacerverstopping en een geringe doch significante toename van de membraanweerstand, wordt veroorzaakt door biomassagroei in de feedspacer ten gevolge van aanwezige bacteriën en voedingsstoffen in het voedingswater. Minder biofouling na UF wordt gerelateerd aan een betere verwijdering van bacteriën in het voedingswater.
- Adsorptieve vervuiling, resulterend in een stijging van de membraanweerstand, wordt veroorzaakt door organisch materiaal (biopolymeren) aangevoerd in de voeding of uitgescheiden door aanwezige biomassa in het membraanelement. Minder adsorptieve (organische) vervuiling na UF komt door een betere verwijdering van biopolymeren uit het voedingswater.

Deze vervuilingsmechanismen (deeltjesvervuiling, biofouling en adsorptieve (organische) vervuiling) vinden mogelijk gekoppeld plaats. Zo zal door biofouling ook de deeltjesfouling toenemen, en vice versa. Ook zullen biofouling en adsorptieve fouling elkaar beïnvloeden.

Membraanreiniging heeft slechts een kortstondig effect op het verlagen van de membraanweerstand (zie Figuren 4-3 t/m 4-15). Dit kan worden verklaard doordat vervuiling wordt verwijderd tot een soort ‘steady state’ situatie of doordat vervuiling onvoldoende wordt verwijderd en hierdoor progressief verloopt. Bij een bedrijfsvoering met een lage flux (10 LMH) blijkt membraanreiniging slechts een kortstondig effect te hebben (Figuren 4-5 t/m 4-10 en 4-13 t/m 4-15). Dit werd toegeschreven aan kanaalvorming in de spiraalgewonden elementen, wat later visueel werd bevestigd tijdens de autopsiemetingen (zie 6.2.3).

6.2.3 Effecten langsstroomsnelheid (tweede experimentreeks)

De effecten van langsstroomsnelheid op de membraan- en spacervervuilingssnelheid zijn in kaart gebracht in Figuur 6-5. Zonder luchtwaterspoeling resulteert het verlagen van de langsstroomsnelheid vooral in een toename (30%) van de membraanvervuilingssnelheid en in mindere mate in een toename (< 5%) van de spacervervuilingssnelheid. Het verlagen van de langsstroomsnelheid resulteert in (i) minder aanvoer van vervuiling naar het membraanelement (verlaging van de vervuiling) en (ii) een verlaging van de turbulentie resulterend in een hogere concentratiepolarisatie (verhoging van de vervuiling). Dit laatste effect heeft blijkbaar de overhand, waardoor de membraanvervuiling sterk kan toenemen. Met luchtwaterspoeling resulteert het verlagen van de langsstroomsnelheid zowel in een geringe toename (10%) van de membraanvervuilingssnelheid als in een geringe toename (10%) van de spacervervuilingssnelheid. Door periodieke luchtwaterspoelingen blijkt het effect van een grotere concentratiepolarisatie bij lagere langsstroomsnelheden minder problematisch. Een sluitende verklaring hiervoor is niet te geven.



FIGUUR 6-5 MEMBRAANVERVUILINGSSNELHEID VERSUS SPACERVERVUILINGSSNELHEID VOOR DE TWEEDE EXPERIMENTREEKS. DE INVLOED VAN DE LANGSSTROOMSNELHEID EN LUCHTWATERSPOELING IS WEERGEGEVEN MET GEKLEURDE PIJLEN

Een vergelijking met de eerste meetreeks laat vooral een verschil zien in (initiële) spacervervuilingssnelheid, terwijl de membraanvervuilingssnelheid in dezelfde ordegrootte ligt (ca. $0{,}5.10^{13}$ $1/m^2$). De spacervervuilingssnelheid is 0,13 bar/m (met LWS) en 0,16 bar/m (zonder LWS), terwijl tijdens de eerste meetreeks deze waarden 0,02 bar/m (met LWS) en 0,1 bar/m (zonder LWS) waren. Het verschil wordt toegeschreven aan een verschil in waterkwaliteit tijdens de verschillende onderzoeksperioden, respectievelijk mei/juni en juli/augustus). Vermoedelijk waren in de periode juli/augustus meer zwevende deeltjes aanwezig in het voedingswater die niet worden tegengehouden door het 25µm filter. Helaas zijn er echter geen data van troebelheidsmeters of deeltjestellers beschikbaar om deze hypothese te staven.

Vervuiling in de membraanelementen is naderhand gemeten tijdens een autopsiestudie. Er is eerder opgemerkt dat de membraanelementen zijn gestopt als een ‘knock-out’ criterium is

bereikt (MTC daling/weerstandtoename of drukvalstijging) waardoor verschillende filtratietijden zijn gerealiseerd met de verschillende membraanelementen. Bij een autopsieonderzoek is het echter normaal gebruikelijk om de membranen te onderzoeken op hetzelfde tijdstip, waardoor de autopsiegegevens beter kunnen worden vergeleken met de operationele parameters op het moment van het autopsieonderzoek. In dit onderzoek zijn de membraanelementen op verschillende tijdstippen aangeboden voor autopsie. De gemeten ATP waarden liggen tussen 100-1000 ng/cm^2), de gemeten CH waarden liggen tussen 50-400 μg/cm^2 en bepaalde calcium depositiewaarden liggen tussen 20-450 μg/cm^2 (zie Figuren 4-16 t/m 4-18). Deze gemeten waarden liggen in dezelfde ordegrootte als vervuilde spiraalgewonden membraanelementen uit full-scale en pilotschaalinstallaties uit voortgaand onderzoek (Hijnen et al, 2011, Hijnen et al, 2012).

6.2.4 Effecten bedrijfsvoering op de zoutpassage

De initiële zoutpassage is voor elk experiment ongeveer gelijk en ligt tussen 0,004 en 0,006 (Tabel 6-1). De relatieve trend van de zoutpassage als functie van het geproduceerd permeaatvolume hangt af van het experiment (Tabel 6-1). Tijdens het eerste experiment blijft de zoutpassage ongeveer gelijk tijdens de eerste serie vijverwatertesten voor de SW RO membranen na de 25 μm screens (RO1, RO2, RO5 en RO6). De zoutpassage neemt toe gedurende de looptijd van de test voor SW RO membranen na de UF (RO3 en RO4). Tijdens de tweede series vijverwatertesten neemt de zoutpassage ook toe voor alle membranen, en deze toename en sterker dan tijdens de eerste serie vijverwatertesten. De verschillen is zoutpassage toename zijn niet duidelijk te verklaren, maar wellicht gerelateerd aan een verandering in de watersamenstelling. In Figuur 4-3 en Figuur 4-4 is voor het SW RO membraan na UF te zien dat de zoutpassage sterk toeneemt na een permeaatproductie van > 60 m^3/m^2 (overeenkomend met de tweede serie vijverwatertesten) wat een indicatie zou kunnen zijn voor een verandering in watersamenstelling. Meer onderzoek is nodig naar (verandering in) zoutpassage vanwege het belang van deze parameter voor de uiteinde permeaatkwaliteit.

TABEL 6-1 OPERATIONELE TRENDS VAN DE PRESTATIEKENMERKEN, MET EEN FOCUS OP DE ZOUTPASSAGE

Voor behandeling	Element (RO#)	Voedings debiet	Flux	Perm. volume	Prestatieparameters		
					pN_0	$\Delta pN/\Delta V_p$ [4]	Trend
		L/uur	L/m^2.uur	m^3/m^2	[-]	1.10^4 x [1/m]	
25 µm	1 LWS (RO1)	350	10	9	0,004	0	0
25 µm	2 LWS (RO2)	350	25	10	0,006	0	0
UF	3 LWS (RO3)	350	25	65	0,005	1	+
UF	1 (RO4)	350	25	55	0,005	1	+
25 µm	2 (RO5)	350	25	10	0,006	0	0
25 µm	3 (RO6)	350	10	6	0,004	0	0
25 µm	1 LWS (RO7)	175	10	9	0,004	5	+
25 µm	2 LWS (RO8)	350	10	5	0,004	5	+
25 µm	2 (RO9)	350	10	4	0,004	5	+
25 µm	3 (RO10)	175	10	4	0,004	5	+

[4] De gemiddelde toename van de zoutpassage ten opzichte van het geproduceerde volume over de gehele looptijd van het experiment

6.3 Lab installatie feedspacerloze RO

6.3.1 Verschillen tussen drinkwater en vijverwater

Bij gelijke langsstroomsnelheid en druk, zijn geen grote verschillen in flux waargenomen tussen de metingen bij voeding met drinkwater en de metingen bij voeding met vijverwater. De flux waarden van het drinkwater- en vijverwaterexperiment liggen tussen respectievelijk 12-14 LMH en 12-13 LMH bij 2 bar. Dit is ook te verwachten, aangezien de verschillen in temperatuur en osmotische druk van drinkwater en vijverwater marginaal zijn, evenals de hydraulische drukverliezen. De waargenomen permeabiliteitwaarden zijn relatief hoog (typisch 6-7 L/m^2.uur.bar en bovendien beperkt afhankelijk van de in tests toegepaste voedingsdrukken (zie Figuur 5-4).

De gemeten waarden voor de zoutpassage liggen tussen 1,9 en 4,5% voor vijverwater en tussen 2,8 en 11,3 % voor drinkwater (bij ongeveer dezelfde temperaturen). De meest plausibele verklaring voor dit verschil in zoutpassage is het verschil in watersamenstelling. Het vijverwater heeft een veel hoger sulfaat en calcium gehalte in vergelijking met het drinkwater. Aangezien de retentie van 2-waardige ionen (met name voor het relatief ook nog grote sulfaat ion) groter is dan voor 1-waardige ionen is de algehele zoutpassage, gemeten als % van het EGV, lager bij de filtratie van vijverwater dan bij de filtratie van voedingswater.

Bij verhoging van de flux, waarbij de langsstroomsnelheid gelijk wordt gehouden, wordt de zoutpassage door het membraan lager (Figuur 5-4). Wanneer de flux wordt verhoogd bij gelijkblijvende langsstroomsnelheid, neemt de β factor echter ook toe. Een hogere β factor heeft een verhogend effect op de zoutpassage. In de range van de gemeten fluxen van ~ 5-20 L/m^2.uur, overheerst het effect van de flux op de zoutretentie en is het effect van de β factor ondergeschikt. Immers, de gegevens in Figuur 5-4 laten duidelijk zien, dat de zoutpassage daalt in het traject van 5 naar 20 L/m^2.uur, terwijl de β factor in ditzelfde traject stijgt.

6.4 Vergelijking SW RO en feedspacerloze RO

6.4.1 Flux en membraanweerstand

Op 13 juli 2016 zijn twee nieuwe 2,5 inch RO membranen van hetzelfde membraantype als in de feedspacerloze labinstallatie (Hydranautics ESPA 2) in een aparte pilotinstallatie in bedrijf genomen op vijverwater. In onderstaande tabel (Tabel 6-2) zijn de gegevens van flux, druk en temperatuur bij opstart van deze pilot installaties samengevat. Tevens zijn de meetgegevens van de feedspacerloze lab installatie van 2 augustus bijgevoegd. In de laatste kolom van Tabel 6-2 is de genormaliseerde flux berekend bij 20 ˚C en 2 bar voedingsdruk. Voor de normalisatie naar 20 ˚C is gecorrigeerd met 2,5% per graad.

TABEL 6-2 VERGELIJKING GENORMALISEERDE FLUX 2,5 INCH MODULES EN FEEDSPACERLOZE LAB INSTALLATIE (SCHONE MEMBRANEN)

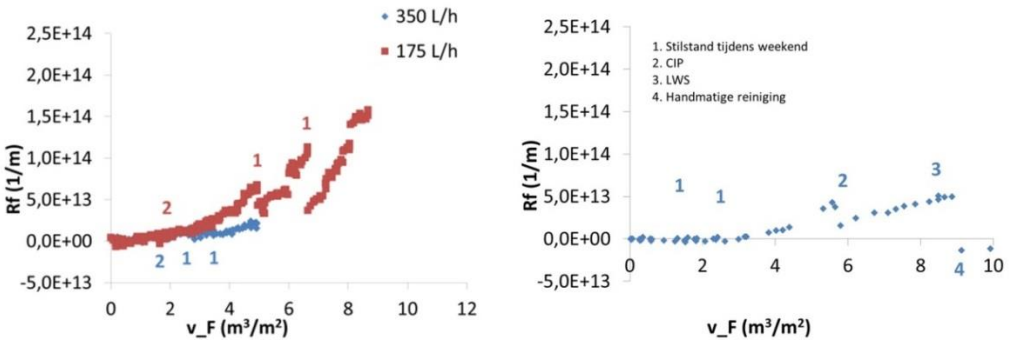
Installatie/ membraan	Cross flow	Voedingsdruk	Temperatuur	Flux	Genormaliseerde flux 20 ˚C en 2 bar
2,5 inch 13-7-2016	0,05 m/s (175 L/uur)	2,15	20,5 ˚C	10,2	9,3
2,5 inch 13-7-2016	0,10 m/s (350 L/uur)	2,27	20,4 ˚C	9,9	8,6
feedspacerloos 2-8-2016	0,28 m/s (50 L/uur)	2	19,2 ˚C	13,1	13,3

De genormaliseerde flux van het membraan in de lab-installatie (zonder feedspacer) is circa 41-55% hoger dan de genormaliseerde flux van de 2,5 inch modules (respectievelijk bij 175 en 350 L/uur cross flow) (Tabel 6-2). Het is bekend dat variaties in fluxwaarden kunnen optreden bij nieuwe membranen vanwege variaties in omstandigheden tijdens het productieproces van membranen. Variaties in RO fluxwaarden van 25-30% zijn gemeten bij membranen toegepast op laboratoriumschaal (Singh et al , 2006). Verder zijn de twee gebruikte installaties verschillend waardoor er verschillen zijn in (i) drukvalprofielen over voeding- en concentraatleidingen, (ii) invoer van voedingswater en (iii) de locatie van de drukmeters. Het significante verschil in de genormaliseerde flux tussen de spiraalgewonden elementen en het feedspacerloze membraan wordt voornamelijk veroorzaakt door de afwezigheid van de feedspacer en door de kortere permeaatspacer in het feedspacerloze systeem. Hierdoor is de drukval over het voedings- en het permeaatkanaal lager dan bij de spiraalgewonden elementen.

De (gemeten) drukval over de feedspacer in de spiraalgewonden elementen bedroeg 57-72 mbar en 209-239 mbar bij een voedingsdebiet van respectievelijk 175 L/uur en 350 L/uur. De (berekende) drukval over het voedingskanaal in de feedspacerloze lab-installatie is minimaal ~32 mbar (bij een voedingsdebiet van 100 L/uur). Hiermee is de drukval over de feedspacer in de spiraalgewonden elementen circa 2 maal hoger bij een 1,75 maal hoger voedingsdebiet en circa 6 maal hoger bij een 3,5 maal hoger voedingsdebiet. In de spiraalgewonden elementen wordt hiermee wel een lagere β factor bereikt dan in het feedspacerloze membraan met 100 L/h voedingsdebiet. Minder drukval over de feedspacer resulteert in een hogere flux (bij gelijke voedingsdruk).

De drukval over de permeaatspacer kan aanzienlijk zijn in spiraalgewonden elementen (tot 1,5 bar) (van der Meer et al, 1998). Deze drukval hangt vooral af van de lengte en het aantal van de enveloppen in een spiraalgewonden element. De drukval over de permeaatspacer is niet direct afzonderlijk te meten[5]. Het is echter zeker dat de drukval over de permeaatspacer in de feedspacerloze module lager is dan in de spiraalgewonden elementen, omdat de doorstroomde lengte van de permeaatspacer korter is (~728/4 = 182 mm ten opzichte van ~2370/2 (enveloppen) = 1186 mm bij de SW modules). Minder drukval over de permeaatspacer resulteert in een hogere flux (bij gelijke voedingsdruk).

Ondanks een hogere flux vertoont het feedspacerloze membraan minder toename van de genormaliseerde membraanweerstand vergeleken met het spiraalgewonden element (Figuur 5-53). Beide membranen zijn ongeveer 2 maanden na elkaar zijn getest en zijn derhalve niet gevoed met exact hetzelfde voedingswater. Een sluitende verklaring voor het verschil in vervuilingsgedrag is daarom moeilijk te geven. De verschillende voedingswaterkwaliteit kan hier een bepalende rol in hebben gespeeld.

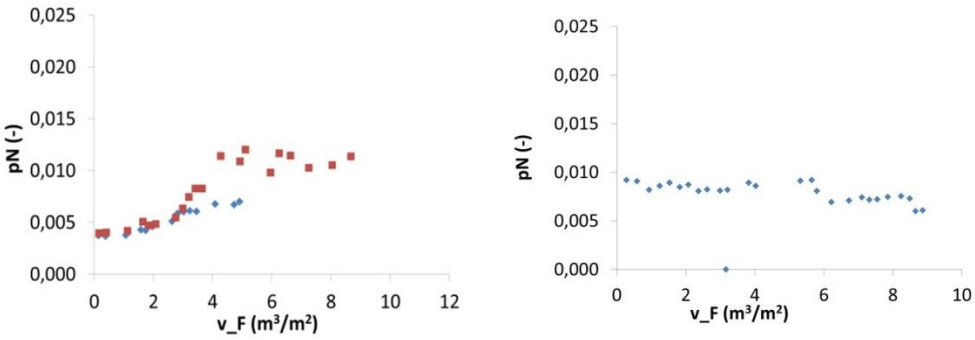


[5] omdat het drukverschil over voeding en permeaat de som is van de drukval over het membraan, de feedspacer en de permeaatspacer. Hierin is alleen de drukval over de feedspacer afzonderlijk te meten, terwijl de drukval over het membraan en de permeaatspacer niet afzonderlijk is te meten.

FIGUUR 6-6 VERGELIJK GENORMALISEERDE WEERSTAND –SPIRAALGEWONDEN ELEMENT (LINKS, RODE EN BLAUWE DATAPUNTEN) PERIODE 13 JULI T/M 20 AUGUSTUS 2016 EN FEEDSPACERLOZE MEMBRAAN (RECHTS) PERIODE 12 SEPTEMBER T/M 14 NOVEMBER 2016.

6.4.2 Zoutpassage

De resultaten van beide tests (die dus niet gelijktijdig hebben plaatsgevonden maar ~2 maanden na elkaar) zijn weergegeven in Figuur 6-7.



FIGUUR 6-7 VERGELIJK GENORMALISEERDE ZOUTPASSAGE – FEEDSPACERLOZE MEMBRAAN (RECHTS) PERIODE 12 SEPTEMBER T/M 14 NOVEMBER 2016 EN SPIRAL WOUND MEMBRAAN (LINKS, RODE DATAPUNTEN) PERIODE 13 JULI T/M 20 AUGUSTUS 2016

Bij een langsstroomsnelheid van 100 L/uur en een voedingsdruk van 2 bar bij het feedspacerloze membraan, was de genormaliseerde zoutpassage in het begin ~0,9% en aan het eind, na ~9 m^3/m^2 productie, ~0,6%. De zoutpassage in het spiraalgewonden element (10 L/m^2.uur, 175 L/uur langsstroomsnelheid en dagelijkse lucht/water spoeling) was in het begin van de test ~0,5%, maar liep daarna op tot ~1,3% na 5 m^3/m^2 productie en bleef op dit niveau tot aan het einde van de test (~9 m^3/m^2 productie). Het verschil in zoutretentie tussen de spiraalgewonden elementen en het feedspacerloze membraan kan niet eenduidig worden verklaard met de huidige beschikbare meetgegevens. Wel is in ieder geval duidelijk dat het spacerloze membraan, bij de toegepaste druk/flux en lagere langsstroomsnelheid, geen significant slechtere retentie voor zout heeft in vergelijking met het SW membraan.

6.4.3 Drukval toename feedspacers/voedingskanalen

De drukval in het feedspacerloze membraansysteem is gedurende de testperiode niet gemeten[6], maar de verwachting is dat deze laag is en blijft. Visueel is vastgesteld dat er gedurende de gehele testperiode geen verstopping van de voedingskanalen heeft plaatsgevonden. Het is aannemelijk dat de drukval over de voedingskanalen gedurende de testperiode enigszins is toegenomen als gevolg van (ook visueel waargenomen) vervuiling van het membraanoppervlak. Door aanhechting van vervuiling aan het membraanoppervlak verandert de ruwheid/gladheid van het membraanoppervlak.

Het spiraalgewonden element is veel gevoeliger voor verstopping van de voedingskanalen, doordat deze gevuld zijn met het feedspacer. In het feedspacer kan biomassa zich ontwikkelen en daarnaast is het feedspacer een vangnet voor deeltjes, zeker als er zich een biofilm op heeft gevormd. De gevoeligheid voor feedspacerverstopping is ook zichtbaar in

[6] Doordat de druk in de concentraatafvoer niet is gemeten zijn geen kwantitatieve gegevens beschikbaar over de toename van de drukval over de voedingskanalen.

de toename van de genormaliseerde drukval tijdens de testperiode met de spiraalgewonden elementen (10 L/m^2.uur flux en 175 L/uur langsstroming, zie Figuur 4-15). Het spiraalgewonden element zonder lucht/water spoeling is na ~5 m^3/m^2 productie uit bedrijf worden genomen vanwege te hoog opgelopen genormaliseerde drukval over de feedspacer. Het spiraalgewonden element met frequente lucht/water spoeling had ook aanzienlijk last van vervuiling van het feedspacer, maar kon wel langer (ca. 4x langer) in productie worden gehouden.

6.5 Inschatting van de potentie van feedspacerloze membraansystemen

6.5.1 Berekening drukval voedingskanalen membraan met en zonder feedspacer

Voor een eerste inschatting van het energieverbruik van een feedspacerloos membraan, zijn de drukvallen over de voedingskanalen van het een membraan met en zonder feedspacer berekend en met elkaar vergeleken. Voor de berekeningen zijn de formules gebruikt, zoals die zijn gerapporteerd door Schock en Miquel [Schock and Miquel,1987].

$$\Delta P = \frac{1}{2} f \cdot \rho v^2 \frac{L}{d_h} \qquad (6.1)$$

Waarin ΔP de drukval over (kPa of bar), f de frictiecoëfficiënt, ρ de dichtheid van water (998 kg/m^3), v de langsstroomsnelheid van het water in het kanaal (m/s), L de lengte van het voedingskanaal (728 mm, zie hoofdstuk 5) en d_h de hydraulische diameter. De hydraulische diameter is afhankelijk van de geometrie van het doorstroomd kanaal en hangt af van de dimensies van de feedspacer. In het rapport wordt uitgegaan van een standaard feedspacer (Desal RO) met een hydraulische diameter van 0,98 mm. De hydraulische diameter van een feedspacerloos systeem is 1,0 mm (zie Bijlage XV voor meer typen van feedspacers).

De frictiefactor wordt bepaald door de ruwheid van het doorstroomde kanaal en door de stromingscondities. De frictiefactor wordt empirisch bepaald en is een functie van het Reynoldsgetal. De frictiefactor voor een feedspacerloze kanaal en een kanaal met een feedspacer is respectievelijk (Schock & Miquel, 1987):

$$f_{nsp} = 0{,}3164 \cdot Re^{-0{,}25} \qquad (6.2a)$$

$$f_{sp} = 6{,}23 \cdot Re^{-0{,}3} \qquad (6.2b)$$

Relatie 6.2b is geldig als Re>60 (turbulent stroming), en voor relatie 6.2a is geen stromingsregimebereik gevonden in de literatuur. Voor de berekeningen is Re=500 gehanteerd als transitie van laminaire stroming naar turbulente stroming voor zowel kanalen met en zonder feedspacer. Het Reynolds getal is gedefinieerd als:

$$Re = \frac{\rho v d_h}{\eta} \qquad (6.3)$$

Waarin η de viscositeit van water is (0,001 Pa.s). De drukval over het voedingskanaal met en zonder feedspacer is berekend over een bereik van de langsstroomsnelheid tot en met 0,3 m/s (Figuur 6-3a).

Concentratiepolarisatie is de ophoping van tegengehouden stoffen voor het membraanoppervlak en wordt bepaald door de aangelegde flux en de stromingscondities in het voedingskanaal. Concentratiepolarisatie wordt uitgedrukt in de concentratiepolarisatiefactor β en wordt berekend uit:

$$\beta = e^{\frac{J}{k}} \qquad (6.4)$$

Waarin J de flux (L/m²h) en k de stoftransportcoëfficiënt (m/s). De flux is vastgesteld op 13 L/m²h, wat overeenkomt met de experimenteel behaalde waarden. De k wordt bepaald uit het Sherwood-getal (Sh) dat afhangt van de stromingscondities. Het Sh-getal wordt berekend uit:

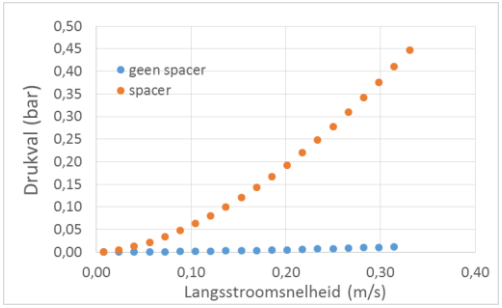
$$Sh = \frac{k d_h}{D} \qquad (6.5)$$

Waarin D de diffusiecoëfficiënt van water (1.10^{-9} m²/s). De afhankelijkheid van de stromingscondities wordt uitgedrukt in Sh-relaties die gelden in stromingskanalen onder laminaire of turbulente condities. Een algemene Sh-relatie wordt gegeven door:

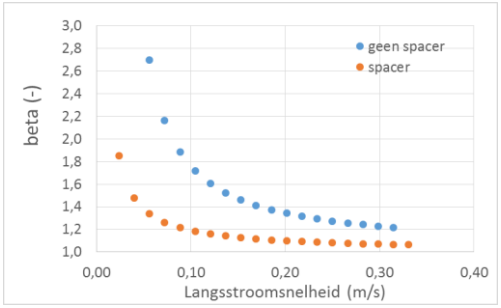
$$Sh = A.Re^{x}Sc^{y}\left(\frac{d_h}{L}\right)^{z} \qquad (6.6)$$

$$Sc = \frac{\eta}{\rho D} \qquad (6.5)$$

Waarin Sc het Schmidt getal is. Voor een feedspacerloos kanaal onder laminaire condities is A=1,85 en x=y=z=0,33 en onder turbulente condities is A=0,023, x=0,875, y=0,25 en z=1 (Schock and Miquel, 1987). Voor spacer gevuld kanaal onder laminaire condities is A=0,065, x=0,875, y=0,25 en z=1 en onder turbulente condities is A=0,023, x=0,875, y=0,25 en z=1 (Schock and Miquel, 1987).



FIGUUR 6-8 DRUKVAL ALS FUNCTIE VAN DE LANGSSTROOMSNELHEID VOOR SPACERLOOS KANAAL EN SPACER GEVULD KANAAL (L=728MM, $D_{\text{ u}}$=1MM, DESAL RO SPACER)



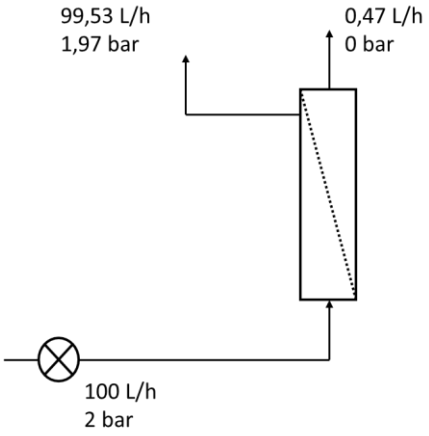
FIGUUR 6-9 CONCENTRATIEPOLARISATIE ALS FUNCTIE VAN DE LANGSSTROOMSNELHEID VOOR SPACERLOOS KANAAL EN SPACER GEVULD KANAAL (FLUX=13LMH)

De drukval neemt toe in functie van de langsstroomsnelheid voor zowel het spacerloze kanaal als voor het spacer gevulde kanaal (Figuur 6-8). De toename in de drukval is veel geringer in het spacerloze kanaal ten gevolge van lagere wrijvingsverliezen door het ontbreken van een feedspacer. Dit zal resulteren in minder energieverliezen tijdens filtratie in een feedspacerloos membraansysteem (zie paragraaf 6.5.2). Eén van de belangrijkste functies van een feedspacer is het creëren van turbulentie bij relatieve lage langsstroomsnelheden (Re). Door turbulentie treedt er menging op aan de grenslaag van het membraan, zodat concentratiepolarisatie wordt beperkt. Dit blijkt uit een significant lagere concentratiepolarisatiefactor β in een kanaal met een feedspacer ten opzicht van een feedspacerloos kanaal (Figuur 6-9). In een feedspacerloos kanaal moet een hogere langsstroomsnelheid wordt toegepast om dezelfde concentratiepolarisatiefactor te bereiken. In een kanaal met een feedspacer wordt 0,1 m/s toegepast als typische langsstroomsnelheid waarbij β=1,2. Om dezelfde β te bereiken in een feedspacerlooskanaal moet een langsstroomsnelheid van 0,3 m/s worden toegepast.

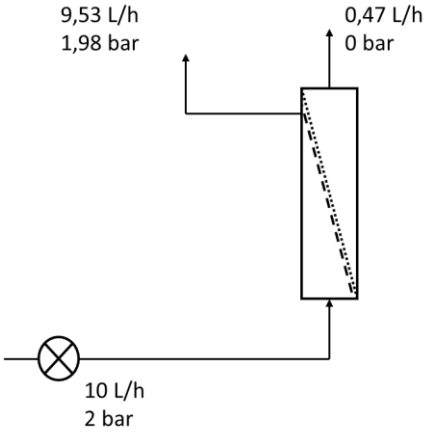
De bovenstaande analyse is gebaseerd op niet vervuilde membraanmodules. In de praktijk treedt vaak (bio)fouling op in het feedspacer, waardoor de drukval over het feedspacer veel hoger wordt dan de berekende waarden in Figuur 6.3a en waardoor de concentratiepolarisatie anders kan zijn.

6.5.2 Berekening energieverbruik met en zonder feedspacer

Om een inschatting te kunnen maken van het haalbare energieverbruik van een feedspacerloos membraan, is het energieverbruik per geproduceerde m^3 permeaat berekend op basis van het membraan dat is gebruikt in de lab installatie, zoals beschreven in paragraaf 5.1. Het energieverbruik voor een feedspacerloos membraan is veel hoger dan met feedspacer (zie Figuur 6-10).



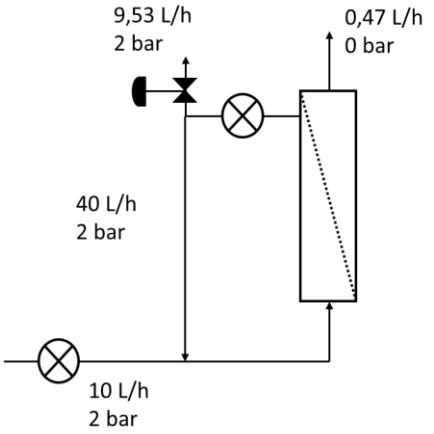
Feedspacer?	**Nee**	
Flux	13,0	L/m².h
Langsstroom debiet	50	L/h
Langsstroom snelheid	0,3	m/s
Beta factor	1,25	-
Recovery	0,95	%
Drukval voedingszijde	0,009	bar
Energieverbruik totaal	7,34	kWh/m³
Energieverbruik langsstr.	0,034	kWh/m³



Feedspacer?	**Ja**	
Flux	13,0	L/m².h
Langsstroom debiet	10	L/h
Langsstroom snelheid	0,08	m/s
Beta factor	1,28	-
Recovery	4,70	%
Drukval voedingszijde	0,037	bar
Energieverbruik totaal	1,47	kWh/m³
Energieverbruik langsstr.	0,028	kWh/m³

FIGUUR 6-10 BEREKEND ENERGIEVERBRUIK MET EEN MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER (BOVEN) EN MET EEN MEMBRAAN MET FEEDSPACER (ONDER)

Het grote verschil in energieverbruik tussen een feedspacerloos membraan en een membraan met feedspacer wordt veroorzaakt door de veel hogere recovery die met het membraan met feedspacer kan worden gerealiseerd doordat de langsstroomsnelheid veel lager is. Door bij het feedspacerloos membraan 40 L/uur van het concentraat te recirculeren, zodat de recovery vergelijkbaar wordt met de recovery van het membraan met feedspacer, kan het energieverbruik al aanzienlijk worden verlaagd: van ~7,34 naar ~1,49 kWh/m^3 permeaat (zie Figuur 6-11).



Feedspacer?	Nee	
Flux	13,0	L/m².h
Langsstroom debiet	50	L/h
Langsstroom snelheid	0,3	m/s
Beta factor	1,25	-
Recovery	4,73	%
Drukval voedingszijde	0,009	bar
Energieverbruik totaal	1,49	kWh/m³
Energieverbruik langsstr.	0,034	kWh/m³

FIGUUR 6-11 BEREKEND ENERGIEVERBRUIK MET EEN MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER, WAARBIJ 90 L/UUR VAN HET CONCENTRAAT WORDT GERECIRCULEERD

Het berekende energieverbruik met een feedspacerloos membraan ligt in de range van de huidige, gebruikelijke energieverbruiken in installaties met spiraalgewonden membranen, als gedeeltelijke recirculatie van het concentraat wordt toegepast. Hiervoor is een extra investering nodig voor de recirculatiepomp, maar is het systeem immuun voor feedspacerverstopping.

6.6 Technische economische haalbaarheid

Een technisch economische haalbaarheidsstudie is uitgevoerd naar de haalbaarheid van het 1-step RO concept. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen de state-of-the-art scenario waarbij na een grove filtratiestap voedingswater wordt behandeld door ultrafiltratie gevolgd door RO. In het 1-step RO concept wordt het voedingswater rechtstreeks behandeld door RO na een fijn filtratiestap.

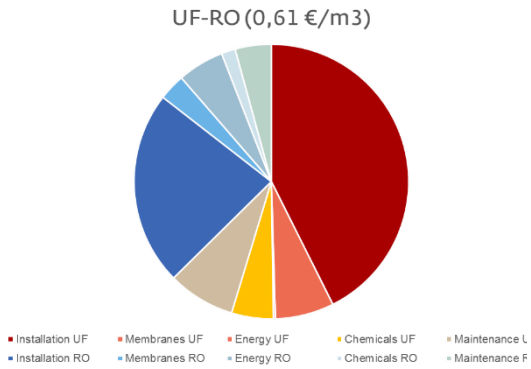
Kostenberekeningen zijn uitgevoerd met de kostensystematiek van RHDHV voor kleinschalige installaties uit 2000. De kostensystematiek is geschikt voor installaties met een capaciteit van <200 m³/uur en is gericht op industriële installaties. Een prijsindexatie van 1,5% per jaar is uitgevoerd over de laatste 15 jaar. Overige financiële uitgangspunten zijn opgesomd in Tabel 6-3.

TABEL 6-3 FINANCIELE UITGANGSPUNTEN VOOR DE TECHNISCHE ECONOMISCHE EVALUATIE VAN HET 1-STEP RO CONCEPT

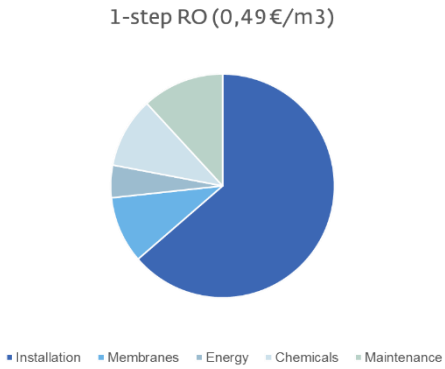
Factor	Waarde	Eenheid
Investeringsfactor	1,6	klein (1,6x) - groot (2x)
Rente installatie	3%	-
Afschrijvingsduur installatie	20	jaar
Afschrijvingsduur membranen	6	jaar
UF kost	60	€/m2
RO kost	15	€/m2
Energiekost	0,08	€/kWh
Chemiekost	0,002	€/ mg/L
Onderhoud	2%	-

De technische uitgangspunten zijn gebaseerd op de uitgevoerde proeven (zie ook hoofdstukken 4 en 5). De UF installatie wordt bedreven op 60 L/m².uur bij 0,5 bar met een

recovery van 85%[7]. Er wordt 20 mg/L chemicaliën (zuren, basen en chloorbleekloog) toegepast tijdens (chemische) terugspoelingen en chemische reinigingen. De RO na de UF wordt bedreven op 25 L/m^2.uur bij 12 bar met een recovery van 75%. Er wordt 5 mg/L chemicaliën (zuren en basen) toegepast tijdens chemische reinigingen (CIP). De 1-step SW RO wordt bedreven op 10 L/m^2.uur bij 8 bar met een recovery van 75%, waarbij er 5x meer chemicaliën worden gebruikt.



FIGUUR 6-12 CAPEX en opex van state-of-the art scenario (UF-RO)



FIGUUR 6-13 CAPEX en opex van 1-step RO scenario (screen-RO) (screenkosten zijn <0,01€/m3)

De totale kosten van het 1-step RO scenario zijn lager (0,49 €/m^3) dan die van de state-of-the art UF-RO scenario (0,61 €/m^3) (Figuur 6-12 en Figuur 6-13). De totale kosten van het 1-step RO scenario zijn circa 20% minder dan van het state-of-the art scenario. Het overgrote deel (ca. 60-65%) van de kosten voor beide scenario's zitten in de installatiekosten van de UF en RO installaties. In het state-of-the art scenario bedragen de kosten van de UF installatie ca. 60% van de totale kosten, die in het 1-step scenario worden uitgespaard. Wel is de RO installatie in de 1-step RO scenario duurder dan de RO installatie in the state-of-the art scenario. Dit komt door een duurdere en grotere RO installatie (10 L/m^2.uur ipv 25), meer membranen en meer chemicaliën.

Het 1-step RO scenario blijkt technisch economisch interessant. Uit de experimentele gegevens met spiraalgewonden modules (hoofdstuk 4) blijkt dat 1-step RO meer verstoppingsgevoelig is dan de state-of-the art bedrijfsvoering (UF-RO). Uit deze technisch economische evaluatie blijkt dat er financiële ruimte bestaat in het 1-step RO concept voor het verbeteren van een alternatief en mogelijk duurder full-scale feedspacerloos RO concept.

6.7 Overige aspecten in relatie tot feedspacerloze RO systemen

Spiraalgewonden membranen zijn al sinds meer dan 30 jaar de industriële standaard voor het ontwerp van RO modules. In deze periode zijn er vele verbeteringen doorgevoerd in het ontwerp van de membraanmodules, waarvan veel gericht zijn op het verbeteren van de stroming in de modules door onder andere het verbeteren van de feedspacer. Het succes van de spiraalgewonden membraanmodule is grotendeels te danken aan het compacte ontwerp en aan de geautomatiseerde productie die de kosten voor een dergelijke module relatief beperkt houden. In dit TKI MSRO project wordt gekeken naar een alternatief concept waarbij RO membranen rechtstreeks worden gevoed met voedingswater zonder een uitgebreide

[7] N.B. tijdens de uitgevoerde proeven werd de UF bedreven met 22 L/m^2.uur en bij een recovery van 75% (een een CEB van 1x per 1-2 dagen). Dit is aanzienlijk ongunstiger dan de technische uitgangspunten in de technische economische haalbaarheid

voorbehandeling. Onder deze condities is een spiraalgewonden module niet het meest geschikte ontwerp met name vanwege optredende feedspacerverstopping. Uit het voorgaande blijkt dat feedspacerloze RO systemen interessant zijn voor een dergelijk 1-step RO concept. Dit is zowel gebleken uit experimenteel onderzoek als uit een technisch economische evaluatie, waaruit blijkt dat een dergelijk systeem zelfs duurder mag zijn dan spiraalgewonden elementen. Wat zijn de mogelijkheden voor een (full-scale) feedspacerloos membraansysteem en wat zijn de potentiële voordelen van een dergelijk systeem ? Deze vragen worden in deze paragraaf behandeld.

Feedspacerloze membraansystemen kunnen bestaan uit vlakke plaat membraansystemen of uit capillaire membraansystemen. Vlakke plaat membraansystemen worden o.a. toegepast in UF toepassingen zoals bijvoorbeeld in membraanbioreactoren. Door onderdruk wordt permeaat onttrokken uit een ondergedompeld systeem, waarbij maximaal 1 bar (maar meestal <0,5 bar) onderdruk kan worden toegepast. Het is ook mogelijk om een vlakke plaat systeem onder (over)druk te bedrijven, zoals bijv. in een plate-and-frame ontwerp. Enkele uitdagingen bij dergelijke systemen zijn de afdichting bij hogere drukken en het fixeren van de membranen op een gelijke afstand als er geen gebruik wordt gemaakt van feedspacers. De afstand tussen de membranen moet gering zijn om de membraanpakkingsdichtheid gering te houden. Een andere optie is het gebruik maken van capillaire membraansystemen die minder last hebben van afdichtingsproblemen[8] en geen gebruik maken van feedspacers. Het grote probleem van capillaire membranen is, dat er geen commercieel beschikbare capillaire RO membranen bestaan. Er zijn veel ontwikkelingen gaande om de structuur van capillaire membranen dichter te maken, zoals bijvoorbeeld het gebruik van layer-by-layer technologie. Voor het ontwikkelen van een feedspacerloos membraansysteem zal gebruik worden gemaakt van de expertise van een membraanleverancier.

Bij toepassing van feedspacerloos membraansysteem zullen de voedingskanalen minder snel verstoppen in vergelijking met toepassing van membranen met feedspacers. Dit heeft een aantal andere (potentiële) voordelen:

- Bij toepassing van feedspacerloze membranen is minder vergaande voorzuivering van het voedingswater noodzakelijk.
- Doordat er geen obstructie/verstopping in de open voedingskanalen plaatsvindt, is de aanvoer naar de membranen waarschijnlijk beter bij toepassing van membranen zonder feedspacer. Bij membranen met feedspacers kan, door verstopping, sneller channelling ontstaan. Ook is het energieverbruik lager omdat de voedingskanalen minder verstoppen in vergelijking met feedspacers.
- Bij het feedspacerloos membraan behoeft er minder gereinigd te worden om biofouling/deeltjes te verwijderen. Hierdoor blijft er meer biofouling op het membraan zitten, dat mogelijk ook een beschermde laag tegen andere vervuilende stoffen kan vormen. Minder reiniging leidt ook tot minder slijtage van het membraanoppervlak.
- Ook ijzerchloride dosering is makkelijk voor een feedspacerloos membraan. Bovendien is de recirculatie ook gunstig, omdat hiermee meer ijzervlokken in het systeem worden gehouden. (vgl: UF 100% van de ijzervlokken blijven aan de voedingszijde, bij RO met netto recovery van 50%, blijft 50% van de ijzervlokken in het systeem.

[8] Mits adequate potting van de membranen

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Voedingswater en voorbehandeling

Het onderzochte vijverwater is qua samenstelling drinkwater verdund met regenwater en aangevuld is met componenten uit de vijverbodem door biologische groei in het water. Er zijn veel deeltjes < 5 μm (tot ca. 0,5 g/L) en organische stof (5-6 mg/L DOC) waarvan een significant fractie (10-15%) bestaat uit biopolymeren (koolhydraten, eiwitten,...). Het zelfreinigende 25μm filter met 14% spoelverlies verwijdert 80% van de deeltjes > 25 μm maar verwijdert geen opgelost organisch materiaal. Het zelfreinigende 5 μm filter is niet in staat om deeltjes te verwijderen en is niet robuust. De 20 nm holle vezel UF installatie (Pentair) met 25% spoelverlies verwijdert alle meetbare deeltjes, terwijl opgelost organisch materiaal slechts voor 10% wordt verwijderd. De UF kan alleen stabiel worden bedreven bij een lage flux (22 LMH) met een CEB frequentie van 48 uur door sterke membraanvervuiling.

Effect van ultrafiltratie op RO

Oorzaken van minder RO vervuiling na UF in vergelijking met na de 25μm screen zijn een combinatie van drie typen vervuilingsmechanismen. (1) Minder deeltjes in de voeding resulteert in minder deeltjesverstopping van de feedspacer en minder deeltjesdepositie op het membraan. (2) Minder biofouling wordt gerelateerd aan een betere verwijdering van bacteriën en nutriënten uit het voedingswater. (3) Minder adsorptieve (organische) vervuiling komt door een betere verwijdering van biopolymeren uit het voedingswater. De vervuilingsproblemen van de RO verschuiven echter naar het UF systeem, dat slechts bij lage flux kan worden bedreven.

Effect van verlagen van de flux op RO

Het verlagen van de hoeveelheid organisch materiaal naar het SW RO membraan door het verlagen van de flux (van 25 L/m^2.uur naar 10 L/m^2.uur) resulteert in een ongeveer tienvoudige verlaging van de membraanvervuiling, terwijl dit geen invloed heeft op verstopping van de feedspacer. Ook bij dezelfde permeaatproductie (maar over een langere periode, dus ook met ander voedingswater) blijkt minder membraanvervuiling op te treden bij een lagere flux, waaruit blijkt dat de vervuilingsopbouw minder compact is.

Effect van luchtwaterspoeling op RO

Luchtwaterspoeling in de SW RO resulteert in een viervoudige verlaging van de spacervervuilingssnelheid, terwijl dit geen invloed heeft op de membraanvervuilingssnelheid. Luchtwaterspoeling creëert tijdelijk hoge turbulentie in het spacervoedingskanaal dat resulteert in een sterke verwijdering van aangehecht materiaal aan de feedspacer. Een belangrijke conclusie is dat er geen koppeling bestaat tussen membraanvervuiling en feedspacerverstopping.

Effect van langsstroomsnelheid op RO

Het verlagen van de langsstroomsnelheid in de SW RO resulteert in meer membraanvervuiling en feedspacerverstopping door (i) minder aanvoer van vervuiling naar het membraanelement en (ii) een verlaging van de turbulentie resulterend in een hogere concentratiepolarisatie. Dit laatste effect heeft de overhand waardoor membraanvervuiling sterk kan toenemen.

Feedspacerloze RO

De permeabiliteit van het feedspacerloze RO membraan is ca. 41-55% hoger dan de permeabiliteit van de SW RO membranen door (i) de lagere drukval en lagere wrijvingsverliezen door de afwezigheid van de feedspacer, (ii) door de kortere permeaatspacer en (iii) verschillen tussen nieuwe membraanbatches. Minder membraanvervuiling in de feedspacerloze RO is moeilijk te verklaren maar is mogelijk gerelateerd aan een verschil in voedingswater. De feedspacerloze RO heeft een vergelijkbare zoutretentie als het SW RO membraan bij de toegepaste druk en langsstroomsnelheid. Door bij de feedspacerloze RO het concentraat te recirculeren wordt de recovery vergelijkbaar met de recovery van het SW RO en ligt het energieverbruik daarmee in de range van de huidige, gebruikelijke energieverbruiken van installaties met spiraalgewonden membranen (met schone feedspacers!).

Technisch economische haalbaarheid 1-step RO

Uit een technisch economische haalbaarheidsstudie blijkt dat de totale kosten van het 1-step RO scenario met SW RO membranen lager (0,49 €/m^3) zijn dan die van de state-of-the art UF-RO scenario (0,61 €/m^3). Het 1-step RO scenario blijkt dus technisch economisch interessant. Uit de experimentele gegevens blijkt echter dat 1-step SW RO meer verstoppingsgevoelig is dan de state-of-the art bedrijfsvoering (UF-RO). Uit de technisch economische evaluatie blijkt dat er financiële ruimte bestaat in het 1-step RO concept voor het verbeteren van een alternatief en mogelijk duurder full-scale feedspacerloze RO concept.

7.2 Aanbevelingen

- Multi-source zuivering voor het behandelen van verschillende bronnen, specifiek op locatie Kamerik (Oasen) waarbij anaeroob grondwater kan worden afgewisseld met oppervlaktewater. Dit om (mogelijk) synergie te verkrijgen in het beheersen van biofouling door verschillen in voedingsstoffen tussen verschillende bronnen.
- Het doseren van ijzerchloride voor de beheersing van organische vervuiling in 1-step RO systemen (zowel SW RO als feedspacerloze RO), waarbij feedspacerverstopping een uitdaging is. Het doseren van ijzerchloride is bekend bij UF, waarbij organisch materiaal wordt afgevangen en gebonden aan het ijzerchloride.
- Verwijdering van calcium met kationenwisseling (CIX) in het voedingswater voor de beheersing van organische vervuiling in RO. Dit om calciumbruggen tussen organische stoffen (humuszuren en organische zuren) en RO membranen te verminderen.
- Effecten van mechanische en chemische membraanreiniging op het beheersen van membraanvervuiling. Reiniging blijkt nu slechts een kortstondig effect te hebben op het verlagen van de membraanweerstand door onvoldoende verwijdering.
- De variaties in bedrijfsvoering op de zoutpassage tijdens de vijverwatertesten. Tijdens de eerste vijverwatertesten neemt de zoutpassage niet of weinig toe, terwijl tijdens de tweede vijverwatertesten de zoutpassage sterker toeneemt. Een verklaring voor dit gedrag is niet gevonden en meer onderzoek naar dit fenomeen is nodig.
- Autopsieonderzoek uitgevoerd met verschillende membranen op hetzelfde moment, waardoor de autopsiegegevens kunnen worden vergeleken met de operationele parameters op het moment van het autopsieonderzoek.
- De potentie van het feedspacerloos RO concept. De vraag is of een dergelijk systeem op grotere schaal zou kunnen werken en hoe zo'n feedspacerloos RO systeem er op grote schaal eruit ziet (vlakke plaat of capillair). Uitdagingen zijn afdichting en pakkingsdichtheid bij vlakke plaat systemen, en commerciële beschikbaarheid bij capillaire RO systemen.

Literatuur

E.R. Cornelissen, D. Harmsen, E. F. Beerendonk, P. Wessels, D. Van Der Kooij. "*Influence of Permeation on Air/Water Cleaning of Spiral Wound Membrane NF/RO Elements*." Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA 59, no. 6-7 (2010): 378-83.

E.R. Cornelissen, D.J.H. Harmsen ."*Permeabiliteitdaling bij NF/RO-membraaninstallaties, verbetering van prestaties van membraanprocessen*" KWR rapport BTO 2013.023 (2013)

E.R. Cornelissen, J.S. Vrouwenvelder, S.G.J. Heijman, X.D. Viallefont, D. Van Der Kooij, L.P. Wessels, *Periodic air/water cleaning for control of biofouling in spiral wound membrane elements*, Journal of Membrane Science, Volume 287, Issue 1,2007, Pages 94-101

Chistropher J. Gabelich, Tae I. Yun, Kenneth P. Ishida, Menu B. Leddy, Jana Safarik. "*The effect of naturally occuring biopolymers on polyamide membrane fouling during surface water treatment*" Desalination 161 (2004), p 263-276

Wim Hijnen, Ludmila Bereschenko en Anita van Veen "*Validatie en standaardisatie van de hemoflowbepaling voor deeltjesgebonden hoog- moleculair organische koolstof in water*" KWR rapport BTO 2015.057 (Oktober 2015)

Theo van de Hoven, Christian Kazner."*Safe Drinking Water from Source to Tap: State of the Art & Perspectives*" TECHNEAU IWA Publishing (2009)

S.A. Huber, A. Balz, M. Abert, W. Pronk, "*Characterisation of aquatic humic and non-humic matter with size-exclusion chromatography - organic carbon detection - organic nitrogen detection (LC-OCD-OND)"* (2011) Water Research, 45 (2), pp. 879-885.

H. Huiting, M. de Koning, E.F. Beerendonk (1999) "*Normalisatie van gegevens bij nanofiltratie en omgekeerde osmose*" SWI99.166, Nieuwegein

Suhan Kim, Eric M.V. Hoek. "*Interactions controlling biopolymer fouling of reverse osmosis membranes*" Desalination 202 (2007), p 333-342

Qilling Li, Zhihua Xu, Ingo Pinnau. "*Fouling of reverse osmosis membranes by polymers in waste water secondary effluent: Role of membrane surface properties and initial flux*" Journal of Membrane Science 290 (2007), p 173-181

R. Rautenbach, R. Albrecht, "*Membrane Processes*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1989.

Peter Schaap (PWN) en Wim Hijnen (KWR), "*Effecten van innovatieve waterbehandelingstechnieken* "Presentatie BTO Congres 2016 - Parallelsessie

G. Schock and A. Miquel,"*Mass transfer and pressure loss in spiral wound modules*", Desalination 64,(1987) p 339-352

S.A.A. Tabatabai. "*Coagulation and Ultrafiltration in Seawater Reverse Osmosis Pretreatment*" PhD Thesis, (IHE Unesco, 2014)

Waterkwaliteit ps Tull en 'T Waal (Vitens), https://www.vitens.nl/over-water/waterkwaliteit/waterkwaliteitsoverzichten

W.A.M. Hijnen, R. Schurer, J.A. Bahlman, H.A.M. Ketelaars, R. Italiaander, A. van der Wal, P.W.J.J. van der Wielen, *Slowly biodegradable organic compounds impact the biostability of non-chlorinated drinking water produced from surface water*, Water Research, Volume 129, 2018, 240-251.

W.A.M. Hijnen, E.R. Cornelissen, D. van der Kooij, *Threshold concentrations of biomass and iron for pressure drop increase in spiral-wound membrane elements*, Water Research, Volume 45, Issue 4, 2011,1607-1616.

W.A.M. Hijnen, C. Castillo, A.H. Brouwer-Hanzens, D.J.H. Harmsen, E.R. Cornelissen, D. van der Kooij, *Quantitative assessment of the efficacy of spiral-wound membrane cleaning procedures to remove biofilms*, Water Research, Volume 46, Issue 19, 2012, 6369-6381.

P.S. Singh, S.V. Joshi, J.J. Trivedi, C.V. Devmurari, A. Prakash Rao, P.K. Ghosh, *Probing the structural variations of thin film composite RO membranes obtained by coating polyamide over polysulfone membranes of different pore dimensions*, Journal of Membrane Science, Volume 278, Issues 1–2, 2006, 19-25.

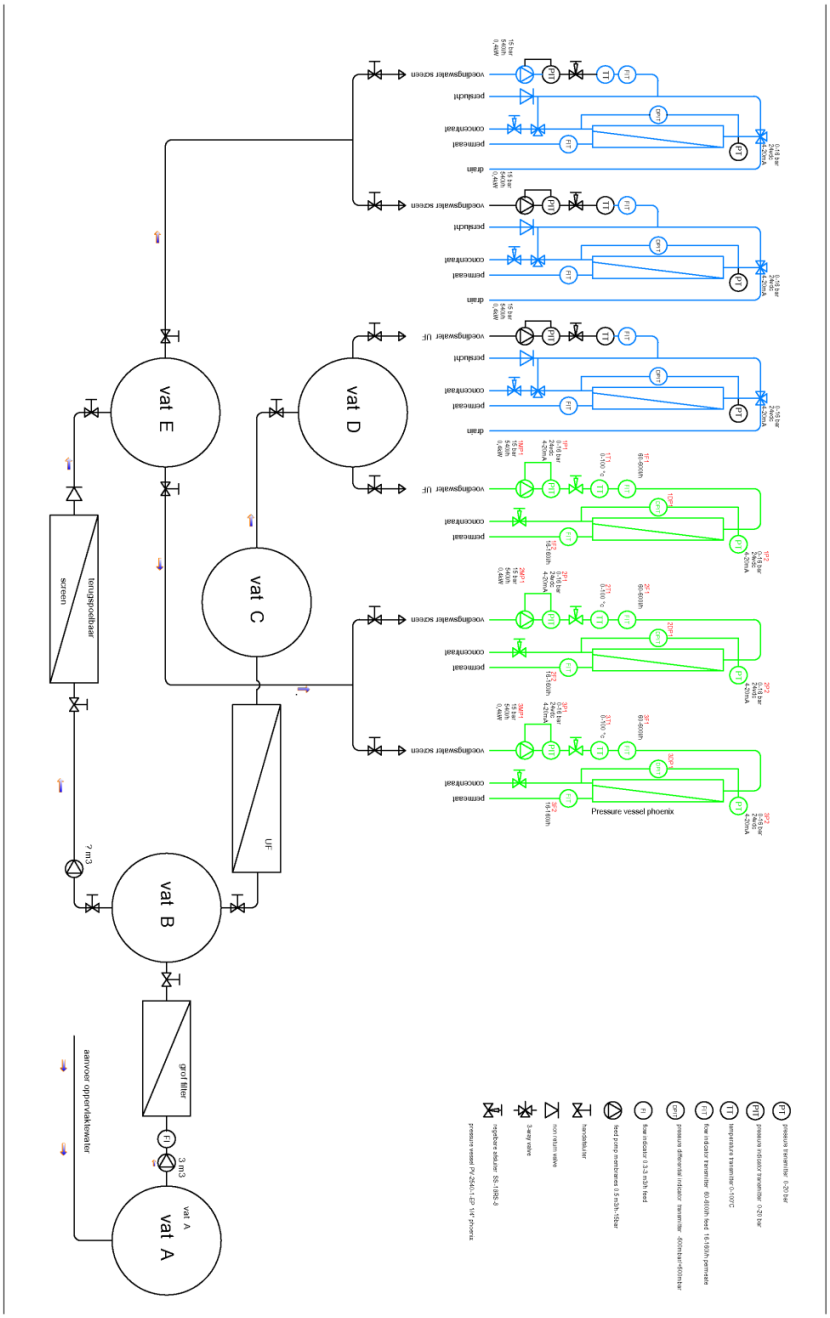
W.G.J. van der Meer, M. Riemersma, J.C. van Dijk, *Only two membrane modules per pressure vessel? Hydraulic optimization of spiral-wound membrane filtration plants*, Desalination, Volume 119, Issues 1–3, 1998, 57-64

A.R. Da Costa, A.G. Fane, D.E. Wiley, *Spacer characterization and pressure drop modelling in spacer-filled channels for ultrafiltration*, Journal of Membrane Science, Volume 87, Issues 1–2, 1994, 79-98

Fonseca, A.C., Summers, R.S., Greenberg, A.R., Hernandez, M.T., 2007. Extra-cellular polysaccharides, soluble microbial products, and natural organic matter impact on nanofiltration membranes flux decline. Environ. Sci. Technol. 41, 2491e2497.

Gabelich, C.J., Yun, T.I., Ishida, K.P., Leddy, M.B., Safarik, J., 2004. The effect of naturally occurring biopolymers on polyamide membrane fouling during surface water treatment. Desalination 161, 263e276.

Bijlage I PI&D SW RO pilot onderzoek



FIGUUR I-1 PI&D SW RO PILOT ONDERZOEK

Bijlage II Specificaties X-FLOW XIGA 46 UF membraan

PENTAIR

X-FLOW XIGA 46
ULTRAFILTRATION MEMBRANE

MEMBRANE ELEMENT DATASHEET

XIGA HP
ARTICLE CODE : 2872FL895A

GENERAL INFORMATION

Xiga 46 is used for process and potable water filtration. Mode of operation is dead-end with regular backwash (permeate only) and chemically enhanced backwash. Typical applications are the filtration of surface water, large-scale drinking and process water production.

GENERAL SOLVENT RESISTANCE

Since the resistance of the membrane to solvents strongly depends on the actual process conditions, the indications given below should only be considered as guideline.

Acids	++
Bases	++
Aliphatic alcohols	+
Aliphatic hydrocarbons	+
Halogenated hydrocarbons	--
Aromatic hydrocarbons	--
Polar organic solvents	--
Oils	++

CLEANING CHEMICAL RESISTANCE

Sodium Hypochlorite
- Typical 200 ppm, at ⩽ 40 °C at ⩾ pH 10
- Maximum 500 ppm
- 250.000 ppm hours cumulative; ⩾ pH 10

Chlorine Dioxide
- Typical 1 ppm, at ⩽ 40 °C
- Maximum 2 ppm
- 90.000 ppm hours cumulative; pH 11

Hydrogen Peroxide
- Typical 200 ppm, at ⩽ 40 °C
- Maximum 500 ppm
- 350.000 ppm hours cumulative

Note:
The above figures for oxidant contact represent the membrane resistance to each individual oxidizing agent. The total combined exposure for Sodium Hypochlorite and Chlorine Dioxide will be calculated as follows:

Combined exposure (NaOCl + ClO2) = 2.6 x Exposure to ClO2 (in ppm hours)+ Exposure to NaOCl (in ppm hours) < 250.000 ppm hours.

As a good working practice and in order to maximise the lifetime of the membrane it is advised to reduce the membrane exposure to oxidising agents to a minimum. Exposure limits are also affected by temperature, pH and the presence of metals. In order not to exceed maximum exposure limits, membranes must be preserved free of any oxidising agent when the plant is stopped.

Acids

Hydrochloric Acid	+ +
Nitric Acid	+ +
Phosphoric Acid	+ +
Acetic Acid	+ +
Citric Acid	+ +

pH > 2 during filtration
pH > 1 during cleaning

Bases

Sodium Hydroxide (<4%)	+ +
Potassium Hydroxide (<4%)	+ +

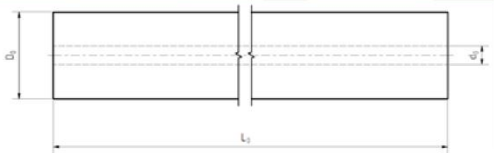
pH < 12 during filtration
pH < 13 during cleaning

MEMBRANE CHARACTERISTICS

- Hydrophilic membrane composed of a blend of polyvinylpyrrolidone and polyethersulfone
- A nominal pore size of 20 nm
- Structure asymmetric/microporous
- High performance and a very good anti-fouling behaviour
- Typical permeate quality SDI<3, turbidity <0,1 NTU
- Burst pressure: >14 bar
- Collapse ressure: >10 bar
- Membrane filtration provides 99.9999% (LOG6) reduction of bacteria (Pseudomonas diminuta) and 99.99% (LOG 4) reduction of virus (MS2 colifages) by mechanical means. EPA Est. No. 090374-NLD-001

ELEMENT SPECIFICATIONS

Hydraulic membrane diameter [mm/mil]	Membrane area [m²/ft²]	Element length L_0 [mm/Inch]	Permeate collector inner diameter d_0 [mm/Inch]	Element outer diameter D_0 [mm/Inch]
0.9 [35]	46 [495]	1527.5 [60.14]	42.6 [1.68]	200 [7.9]



X-FLOW XIGA 46
ULTRAFILTRATION MEMBRANE

MEMBRANE ELEMENT DATASHEET

OPERATING SPECIFICATIONS

Max. trans-membrane pressure	Max. backflush pressure	Temp. range
[kPa/psi]	[kPa/psi]	[°C/°F]
300 [43]	300 [43]	0-40 [32-104]

- Max. system pressure: see specifications of membrane housing supplier
- Backwash water should be free of particulates and should be of UF permeate quality or better
- Backwash pumps should preferably be made of non-corroding materials, e.g., plastic or stainless steel. If compressed air is used to pressurize the backwash water, do not allow a two-phase air/water mixture to enter the element
- To avoid mechanical damage, do not subject the membrane module or element to sudden temperature changes, particularly decreasings. Do not exceed 40 °C process temperature. Bring the module or element back to ambient operating temperature slowly (max. value 3 °C/min). Failure to adhere to this guideline can result in irreparable damage

Operation of membrane modules at any combination of maximum limits of pH, concentration, pressure or temperature, during cleaning or production, will influence the membrane lifetime.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Weight Specifications
Dry weight of membrane element ca. 25 kg [55 lbs]

Membrane element filled with water ca. 55 kg [121 lbs]

Materials of Construction

Housing	PVC white
Flow distributor	PVC
Potting	PU resin
Membrane	PES/PVP

Process Characteristics
This element type is used for dead-end applications.

CERTIFICATIONS

- USA: ANSI/NSF, Standard 61
- Germany: Accredited under DVGW, W270
- The Netherlands: KIWA ATA
- France: ACS

STORAGE

New membrane modules can be stored as supplied in the original packaging. The membrane elements contain an aqueous preservation solution of glycerine (20wt%) and sodium metabisulfite (1wt%).

Membrane modules should be stored in a dry, normally ventilated place, away from sources of heat, ignition and direct sunlight. Store between 0 and 40 °C.

The membrane modules should not be subjected to any freezing temperatures.

Shelf life is a maximum of 6 months for unused modules in unopened packaging under correct storage conditions after transfer of ownership for X-Flow B.V. to the Client. After the maximum period of 6 months all warrantees are null and void unless otherwise agreed in writing between the parties.

After use, the UF membrane modules need to be stored wet at all times.To avoid biological growth during shutdowns or storage, wet membranes could be treated with a compatible biocide. The membrane is compatible with many common disinfecting agents or biocidal preservatives.

Typically for short-term shutdowns (1 – 7 days), a daily backwash with UF permeate quality water for 30 seconds at 215 lmh, should be adequate for bacteria control. Before start of the shutdown period, the modules must be cleaned by a standard Chemical Enhanced Backwash (CEB).

In case of long-term storage (> 7 days), membranes should be disinfected. The membranes should be cleaned using a CEB before the disinfection step is carried out. For disinfection, a 0,5% sodium metabisulfite solution can be used. In both short and long term storage situations, the modules should remain filled with storage solution.

PENTAIR

X-FLOW BV
P.O. BOX 739, 7500 AS ENSCHEDE, NETHERLANDS WWW.X-FLOW.COM

Note: The information and data contained in this document are based on our general experience and are believed to be correct. They are given in good faith and are intended to provide a guideline for the selection and use of our products. Since the conditions under which our products may be used are beyond our control, this information does not imply any guarantee of final product performance and we cannot accept any liability with respect to the use of our products. The quality of our products is guaranteed under our conditions of sale. Existing industrial property rights must be observed. Replaces: CAPF-XIGA-SXL225-PVC_1214
DS XIGA 46 EN 0415 © 2015 Pentair. All Rights Reserved.

ISO 9001

Bijlage III Bureaustudie screens

Leveranciers Screens

Adres	Maaswijdte	info	documenten	Innovatief?
Amiad Water Systems Ltd. D.N. Galil Elyon 1 1233500 ISRAEL Tel: 972 4 6909500 Fax: 972 4 6909391	3500 - 2 µm	Filtomat is ook onderdeel van Amaid. Op webside staan verschillende cases vermeld. Enkele voorbeelden weergegeven. Daarnaast ook enkele publicaties	Amaid Evides 50 m zeewater.pdf Amaid Philipijnen oppervlaktewater drinkwater 3 um.pdf Amaid VS pre treatment RO 50 um.pdf Files_19594_articles_6014_Self-CleaningPre-FiltrationforROMembraneSystems.pdf Hamilton 1998 Screen_Filtration_Technology_as_Applied_to_Pretreatment_of_Reverse_Osmosis_and_Ultra-Filtration_Systems.pdf Hamilton 1999 Screenfiltration Tech as applied to pretreatment of RO and UF systems.pdf	Ja
Revaho Aartsdijkweg 22 2676 LE MAASDIJK tel: +31 (0)174 - 525 444 fax: +31 (0)174 - 510 180	500 -10 µm	Leverancier Amiad in Nederland		Nee
				??
Fiber Filtration BV Einsteinstraat 8 3281 NJ Numansdorp Nederland Tel: 31 (0)186 574151 Fax: 31 (0)186 573722 E-mail: info@fiberfiltration.com	5000 - 3 µm	Oa leverancier Filtomat. Geeft ook advies op maat (filterexperts met meer dan 10 jaar ervaring).	Filtomat_MT33P_MTG_NL (3um).pdf	
Parker Hannifin BV Support Address Zuiddijk 398 1505 HE Zaandam T: +31(0)75 - 655 50 00 F: +31(0)75 - 655 50 15	500 - 50 µm (ref geeft ook 5 µm aan)	Gebruikt voor onderzoek Ron Jong (TwinOmatic type Hydr 5780-4; drumfilter 120 µm). Op website staat ook een ref voor 5 µm (Prefiltration RO Australia, zeewater). Ook mogelijkheid tot huren.	TwinOmaticRev4.pdf MSc_thesis_AiRO_Ron_Jong.pdf	
BOLL & KIRCH Filterbau GmbH Siemensstr. 10-14 D-50170 Kerpen (duitsland) Tel.: +49 2273/562-0 Fax: +49 2273/562-223	500 - 5 µm	zie Lubrafil		
Lubrafil B.V. Aalborg 2 NL - 2993 LP Barendrecht Tel.: +31 180/55 62 55 Fax: +31 180/55 62 65	5000 - 3 µm	Oa Leverancier Boll & Kirch. Boll en Kirch wordt oa toegepast op Baanhoek (mondeling tijdens projectmeting. Geen ref. van gevonden)	Lubrafil Waterzuivering NL.pdf	
BÈTA Industrie B.V. Hoogeveenseweg 3C-4 2731 LA Benthuizen +31 79 341 55 18	500 - 5 µm (< 5 µm is ook mogelijk)	Onafhankelijk. Advies op maat.	Tekst op website *Onze service omvat naast productlevering ook project- en engineeringsupport en advies ten aanzien van gebruik, onderhoud en montage. Tevens verzorgen wij alle mogelijke testen waaronder lekdichtheidstesten. In onze werkplaats kunnen wij apparatuur samenbouwen, modificaties en revisies uitvoeren en klant specifieke producten produceren.*	Ervaring specifiek met voorfiltratie RO en UF via waterbehandelaars (Ovivo, Hatenboer, Logisticon, Veolia) en met eindklanten (Evides, Oasen en Vitens). Momenteel onderzoek samen met Evides (filtertesten om de voorfilters te optimaliseren).
Info via Keest Roest	500 - 5 µm (afhankelijk van koeklaag)	Dit principe is getest op afvalwater nog niet op oppervlaktewater. Gaat op basis van koekfiltatie. Doorgang deeltjes afhankelijk van de koek en gebruikte filterdoeken (10µm via lab bv Sneek bestellen).Eventueel installatie beschikbaar (in overleg met Kees Roest)		
Porex Technologies GmbH Sales & Marketing Europe Strangenhäuschen 30 f: +49 241 91 2426 info@porexfiltration.com	10 µm	info via Per Wessels. Porex Radial Cartidge filters	Mail Peter Wessels	
Veolia Water Technologies Benelux Celsiusstraat 34 NL-6716 BZ Ede Tel: +31 318 691 500 Fax: +31 318 691 501	100 - 10 µm	Microscreens (diverse filtertypen, oa trickling filters, belt en drum filters). Hydrotech is een dochteronderneming van Veolia water in zweden en heeft een eigen research afdeling	Microscreens (100 - 10 µm).pdf info Hydrotech.pdf	
Veolia Environnement VE SA 36-38, Av. Kléber, Paris, Ile-de-France, France	5 - 2 µm		AQUAFIT4SUSE - VEO - 3FM.pdf	ja
Hubert Stavoren BV Kooyweg 20 8715 EP Stavoren T: +31(0)514 684 444 F: +31(0)514 682 198 E: info@hubert.nl	500 - 11 µm	Microzeven (ook geleverd aan Dunea)	HUBERT-drinkingwater.pdf HUBERT-surfacewater.pdf	
Bilfinger Water Technologies GmbH Passavant-Geiger-Str. 1, 65326 Aarbergen Telephone: +49 6120 280 Fax: +49 6120 28 2119	??? - 15 µm	Microzeven (ook geleverd aan Evides). Oa. Geiger-passavant en Johnson screens. Geen Nederlandse vestiging	Bilfinger WaterIntake_Brochure_2015_en.pdf	

Literatuur screens

Onderwerp	omschrijving	bron
Overige filters	Puur Water fabriek; zelfreiningende screens 10 µm	H2O; No. 18 2010
(geen vermelding fabrikant/type)		
Literatuur pre treatment met screens/filters	Overview verschillende type screens voor pretratment (zeewater)	Pankratz An overview of seawater intake facilities for seawater desalination.pdf
	presentatie waarin verschillende screens worden genoemd (zeewa	Pankratz__overview_of_Intake_outfall_options 2009.pdf; 24th WateReuse Symposium. Seattle, Washington – September 2009
	Beschrijving nieuw type screen (zeewater)	Elarbash 1991.pdf Muftah M. Elarbash; NEW SEA WATER INTAKE FILTRATION SYSTEM* Desalination, 82 (1991) 303-314
	Overview gebruikte pre treatment technieken RO	Jamaly A-short-review-on-reverse-osmosis-pretreatment-technologies_2014_Desalination 351 pag 30-38.pdf
	Overview gebruikte pre treatment technieken RO	L. Henthorne, R. Boysen State of the art of reverse osmosis desalination pre treatment 2015 desalination 356 pag 129-139.pdf
	Cook, V., W. Lovins, et al. (2011). Brackish water treatment: An application in water reuse. World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability, Palm Springs, CA.	
Verwijdering mossellarven	Verwijdering mossellarven (maaswijdte < 100 µm. beter < 35 µm. Beter verwijdering bij korte verblijftijd.	MSc-Thesis_Schoterman (pag 35) verwijdering mossellarven.pdf
		Effective_Removal_of_Zebra_Mussels_with_Amiad_Screen_Technology.pdf
		Control in Residential Water Systems removal mussels larvea 1993.pdf
	Zeven toegepast bij Blue Energie?? Verwijderen ook mossellarven	sargasso.nl

Lijst te benaderende leveranciers

Leverancier	Contact	minimale maaswijdte	Opmerkingen	Voordelen	Nadelen
Twin Filter Parker Hamilton	Nederland	50 µm (ref geeft ook 5 µm aan)	Gebruikt voor onderzoek Ron Jong (TwinOmatic type Hydr 5780-4; drumfilter 120 µm). Op website staat ook een ref voor 5 µm (Prefiltration RO Australia, zeewater). Ook mogelijkheid tot huren.	-ref onderzoek Ron Jong -huren mogelijk -breed assortiment -Nederlands bedrijf	
Fiber Filtration V&T groep	Nederland	3 µm	Oa leverancier Filtomat. Geeft ook advies op maat (filterexperts met meer dan 10 jaar ervaring).	-ref filtomat -breed assortiment (verschillende leveranciers) - veel ervaring/expertise -Nederlands bedrijf	
Veolia Water (Hydrotech+Aquafit)	Nederland	10	Contact voor Hydrotech	- veel ervaring/expertise -Nederlands bedrijf (met wereldwijde connecties)	
BÈTA Industrie B.V	Nederland	5 µm	Onafhankelijk. Advies op maat.	- breed assortiment (meerdere leveranciers) -Nederlands bedrijf	
Hubert Stavoren	Nederland	11 µm	Microzeven (ook geleverd aan Dunea)	-Wordt al ingezet bij Dunea -breed assortiment (verschillende leveranciers) - veel ervaring/expertise -Nederlands bedrijf	
Bilfinger watertechnologies	Duitsland	15 µm	Microzeven (ook geleverd aan Evides). Oa. Geiger-passavant en Johnson screens. Geen Nederlandse vestiging	-Wordt al ingezet bij Evides -breed assortiment (verschillende leveranciers) - veel ervaring/expertise	- geen nederlandse vertegenwoordiger
Lubrafil	Nederland	10 µm	Oa Leverancier Boll & Kirch. Boll en Kirch wordt oa toegepast op Baanhoek (mondeling tijdens projectmeting. Geen ref. van gevonden)	- breed assortiment (meerdere leveranciers) -Nederlands bedrijf	
Revaho (leverancier Amiad)	Nederland	10 µm	Leverancier Amiad in Nederland	-ref wetenschappelijke publicaties -Nederlands bedrijf (vertegenwoordiger)	- kan alleen maar produkten aanbieden van Amiad (specialist in tuinbouw)

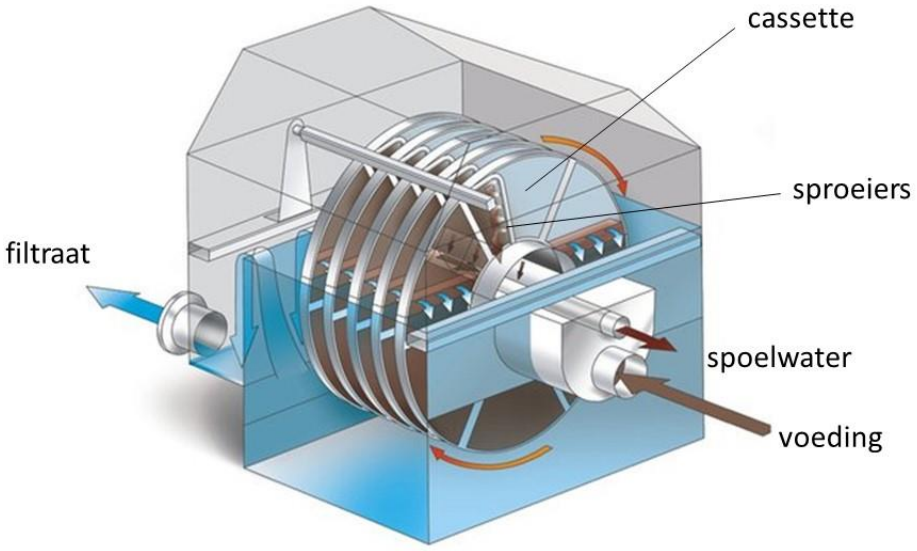
Bijlage IV Bezoek discfilterinstallatie rwzi Deventer

Bezoekverslag disc filter installatie rwzi Deventer (22-10-2015)

Algemeen

Op de rwzi Deventer is eind 2010 een disc filter installatie in bedrijf genomen, waarmee een deel van het effluent (overloop nabezinktanks) wordt gefilterd. De installatie is eigendom van de gemeente Deventer, die de bedrijfsvoering heeft uitbesteed aan het waterschap. De installatie is bedoeld om de CZV lozing naar de IJssel te reduceren, als alternatieve maatregel voor het verminderen van de CZV lozing door de noodoverstorten vanuit de gemeentelijke riolering.

Werking principe



FIGUUR IV-1 SCHEMATISCHE WEERGAVE WERKING DISC FILTER

Het water wordt vanuit de centrale as (onderin) gevoed aan de cassettes. Het te filteren water komt in de cassette en stroomt onder vrij verval aan weerszijden door het filterdoek naar buiten. Het vuil blijft achter tussen beide filterdoeken in de cassette. Wanneer de drukval over het doek is toegenomen tot een bepaalde waarde, gaan de sproeiers aan en worden de discs met een draaiende beweging langs de sproeiers gedraaid. Hierbij bewegen de sproeiarmen ook op en neer, zodat het hele filteroppervlak wordt gesproeid. Het sproeiwater wordt afgevoerd via het smalste deel van elke cassette, van waaruit het spoelwater in de spoelwaterafvoer stroomt. Deze gaat ook via de centrale as afgevoerd.

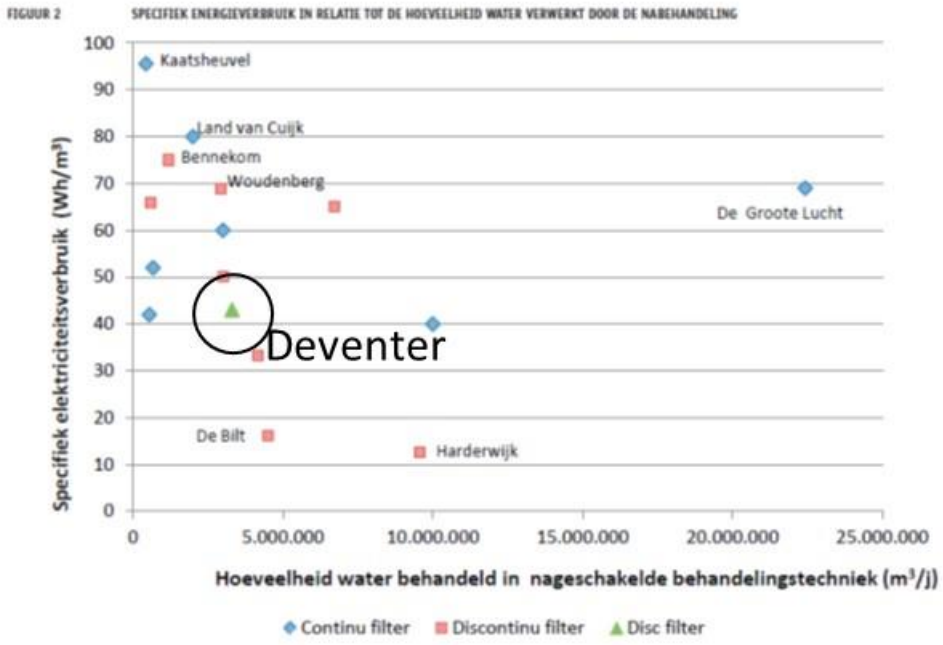
Capaciteit, effectiviteit, filtratiesnelheid
De disc filter installatie heeft een capaciteit van 600 m^3/uur en verwijdert op jaarbasis ongeveer 19.700 kg (deeltjes gebonden) CZV. Het filter heeft een cut off van 10 µm. In totaal zijn 16 schijven geplaatst met filterdoek aan beide zijden. Het totale filteroppervlak is 90,2 m^2. De filtratiesnelheid bij 600 m^3/uur is daarmee 6,7 m/uur. De installatie kan nog worden uitgebreid met 4 discs. Daarmee kan de capaciteit in de bestaande behuizing dus in principe worden uitgebreid tot 750 m^3/uur. Als er voldoende effluent aanwezig is, draait de disc filter installatie continue op een capaciteit van 600 m^3/uur.

Footprint
De geschatte footprint van de hele installatie is 6 x 4 = 24 m^2. De footprint van het disc filter is hiermee ongeveer een factor 5 kleiner als van zandfilters met dezelfde filtratiesnelheid en capaciteit (750/6,7 = 112 m^2 zandfilteroppervlak). En als 750 m^3/uur met een UF installatie zou worden gefilterd bij een netto flux van 65 LMH, zou een totaal membraanoppervlak van 11.500 m^2 nodig zijn. Uitgaande van 0,8 mm rietjes (~57,5 m^2 per module), zouden hiervoor 200 UF modules nodig zijn.

Hydraulische reiniging
Het disc filter wordt gereinigd door de schijven langs sproeiers te laten draaien. De sproeiers worden gevoed met het filtraat van het disc filter. Het spoelwater wordt teruggebracht naar het influent van de rwzi. De sproeiers zijn weinig verstoppingsgevoelig en gemakkelijk schoon te maken (doorsteken). De schijven staan grotendeels stil tijdens filtratie. Wanneer de waterhoogte aan de vuilwater kant een bepaalde waarde overschrijdt (~6 cmWk stijging), wordt het filter hydraulisch gereinigd door de discs langs de sproeiers te draaien. De capaciteit van de sproeiers is maximaal 10 m^3/uur. Het spoelwaterverlies kan daarmee nooit hoger zijn dan 10/600 x 100 = 1,66% (nl. bij volcontinue draaien en sproeien). In de praktijk is het spoelverlies veel lager. Bij regenweer afvoer wordt het disc filter duidelijk vaker hydraulisch gereinigd dan bij droogweer afvoer. Ook in de zomer, als er meer algenbloei plaatsvindt in de nabezinkers, wordt het disc filter vaker hydraulisch gereinigd.

Chemische reiniging
Het disc filter wordt ongeveer 1x per 3-4 maanden chemische gereinigd. Hierbij wordt het filterdoek gereinigd met NaOCl (1^e reiniging) en HCl (2^e reiniging). Deze chemicaliën worden ook onder hoge druk op het filterdoek gespoten. Het waterschap laat deze chemische reiniging tot op heden uitvoeren door externen. Recent is ook een nieuwe chemische reiniging uitgeprobeerd, gebaseerd op zouten.

Energieverbruik
Het energieverbruik van de installatie is ongeveer 135.000 kWh/jaar. Uitgaande van continue 600 m3/h filtratie gedurende 16 uur per dag (te weinig debiet 's nachts), is het energieverbruik dus 135.000 / (600*16*365) = ~0,039 kWh/m^3. Dit klopt ongeveer met STOWA 2011 W09: 0,042 kWh/m^3 (zie Figuur IV-2).



FIGUUR IV-2 SPECIFIEK ERNERGIEVERBRUIK IN RELATIE TOT DE HOEVEELHEID WATER VERWERKT DOOR DE NABEHANDELING (BRON STOWA 2011 W09)

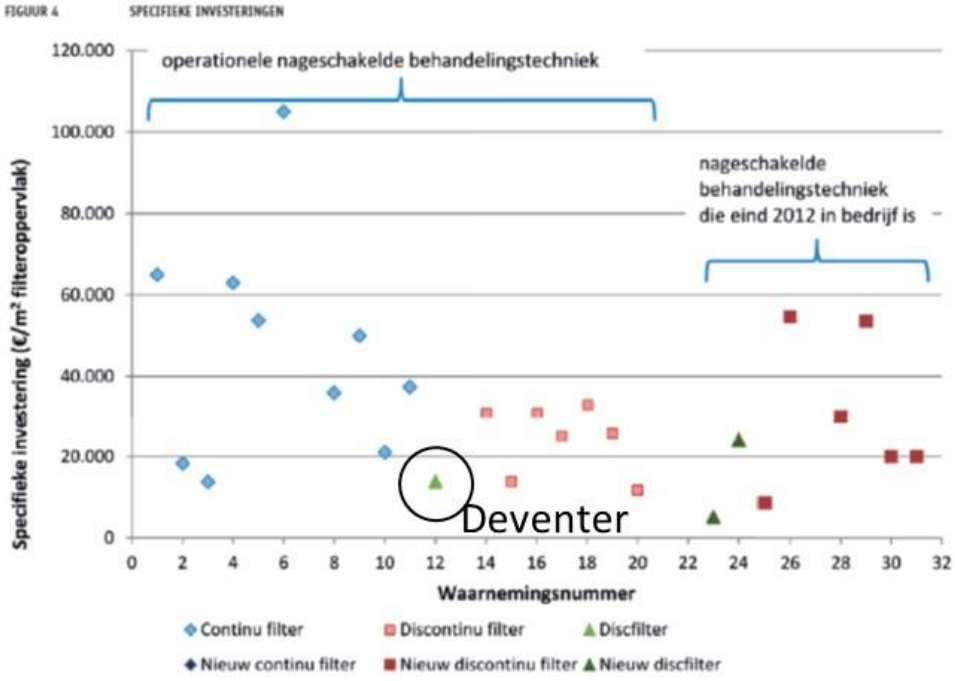
Het energieverbruik blijkt voor een belangrijk deel gerelateerd te zijn aan de opvoerhoogte (van de effluent put naar de (hoog) gestelde disc filter installatie, schatting ~4-5 mWk). Daarnaast is er energieverbruik voor het draaien/schoonspuiten van het filter.

Storingen en onderhoud
De meest voorkomende storing is dat het disc filter continu gespoeld blijft worden (het filter wordt dan niet voldoende schoon door de hydraulische spoeling). Dit is een indicatie dat het filter op korte termijn chemisch moet worden gereinigd.

De werktuigbouwkundige installatie zelf heeft zonder onderhoud gefunctioneerd sinds opstart. Ook de sproeiers verstoppen maar weinig. Dit is overigens goed zichtbaar door het sproeibeeld af en toe te controleren. Wanneer sproeiers (deels of geheel) verstopt zijn, is deze verstopping vaak eenvoudig te verhelpen door de sproeikoppen door te steken.

Integriteit, levensduur filterdoek
Het filterdoek is nog geen enkele keer beschadigd in de normale bedrijfsvoering. Wel is er een keer een moersleutel door het doek gegaan. Dit was snel verholpen door een nieuwe cassette te plaatsen. Wel is zichtbaar dat de spanning op het filterdoek dat al een tijd is gebruikt, aanzienlijk lager is dan de spanning op het filterdoek van een nieuw element.

Kosten
De kosten voor de installatie zijn in STOWA verband al eens vergeleken met de installatiekosten voor continue zandfilters en discontinue zandfilters (Figuur IV-3, STOWA 2011 W09):



FIGUUR IV-3 SPECIEKE INVERSTERINGEN

Hieruit wordt afgeleid dat de investering voor de disc filter installatie op rwzi Deventer ca. € 16.000 x 90 m^2 = € 1,44 miljoen moet zijn geweest. Hierbij moet eveneens worden bedacht, dat de installatie met weinig kosten nog uit te breiden is met 25% extra filteroppervlak. (Ter vergelijking: met DHV kostenstandaard 2002 wordt voor een snelfilter installatie met 90 m^2 oppervlak een investering geraamd van € 2,14 miljoen. Dit is incl. 8 jaar prijsindexatie met 2%, maar exclusief BTW, en exclusief buffers voor schoon en vuil spoelwater, en spoelwaterverwerking.)

Naar verwachting moet het filterdoek ongeveer om de 6 jaar worden vervangen. Tot nu toe is het filterdoek op rwzi Deventer nog niet vervangen.

De kosten voor energie- en chemicaliënverbruik zijn beperkt tot minder dan € 0,01 per m^3 gefilterd water.

Afbeeldingen



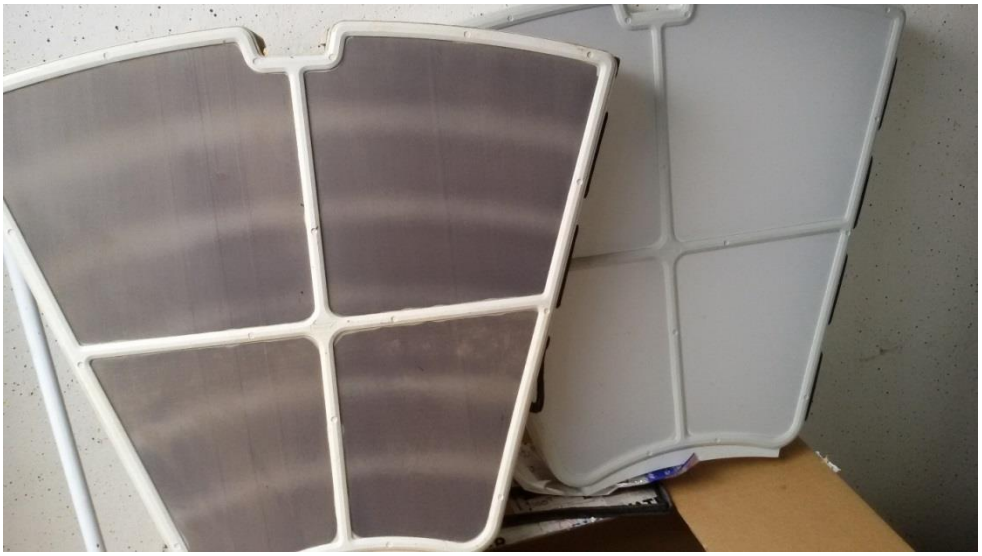
FIGUUR IV-4 DISC FILTER INSTALLATIE RWZI DEVENTER (600 M^3/H MET 90,2 M^2 DOEK (16 SCHIJVEN MET FILTERDOEK AAN WEERSZIJDEN), UIT TE BREIDEN IN BESTAANDE OMKASTING TOT 750 M^3/H).



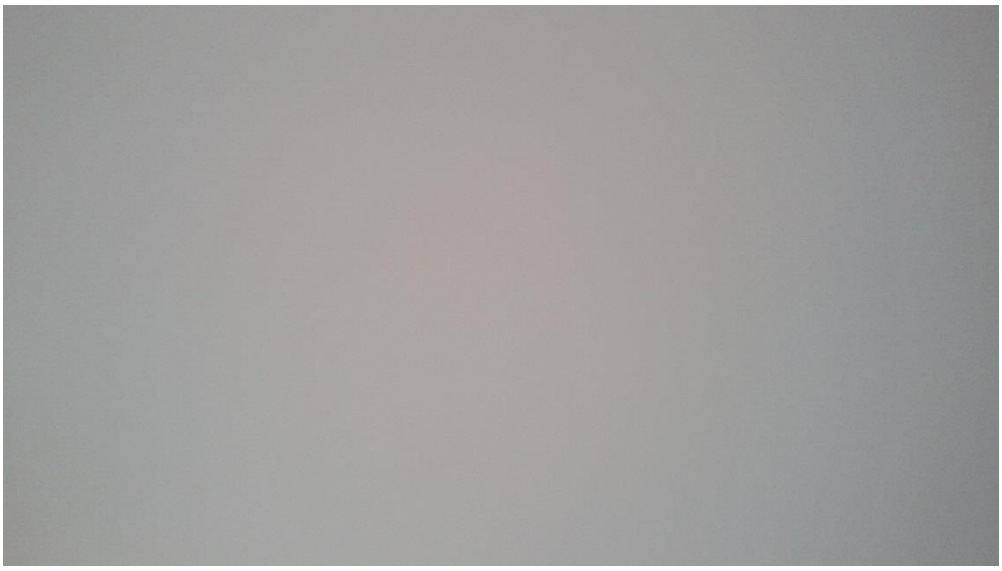
FIGUUR IV-5 DISC FILTER (4 STUKS VAN DE 16 IN TOTAAL) TIJDENS SPROEIEN.



FIGUUR IV-6 SPROEIARMEN MET SPROEIKOPPEN.



FIGUUR IV-7 GEBRUIKTE (LINKS) EN SCHONE (RECHTS) CASSETTE



FIGUUR IV-8 DETAIL VAN EEN SCHOON FILTERDOEK (ZIET ER UIT ALS EEN GESLOTEN VLAK, LIJKT EEN BEETJE OP EEN WHITEBOARD)



FIGUUR IV-9 ZIJKANT VAN EEN CASSETTE (LINKS): VIERKANTE GATEN ZIJN VOOR HET DOORLATEN VAN DE VOEDING. EFFECT VAN EEN (LANGDURIG) VERSTOPTE SPROEIER (FOTO RECHTS).

Bijlage V Conclusies inzet mogelijke type screenleveranciers

In het kader van de deskstudie naar mogelijke voorfilters voor directe behandeling van RO op oppervlaktewater is er telefonisch contact gezocht met leveranciers van verschillende systemen op het gebied van voorfiltratie. De mogelijke leveranciers en filtratietechnieken zijn hieronder kort weergegeven. Beta Industrie en de Fiber Filtration V&T groep zijn bij KWR op bezoek geweest voor een oriënterend gesprek. De overige leveranciers hebben hun info via de telefoon en mail gedeeld. Hieronder volgt een korte weergave van type filters die mogelijk kunnen worden ingezet. Gedetailleerde beschrijving van de diverse filters is beschikbaar op aanvraag.

Beta Industrie

Opmerking: Leverancier gaf wel aan dat extra voorbehandelingsstap nodig was dit is niet meegenomen in de offerte

RVS screen (zelfreinigende) filterkaarsen (10 – 25 – 50 -100 µm)

Filters worden in een filterhuis geplaatst en vervolgens vindt terug spoeling handmatig plaats.

Capaciteit 300 – 600 L/uur

Filters + filterhuis dienen te worden aangeschaft

Hubert Stavoren BV,

Micro trommel filters (11 µm)

Hubert levert micro trommel filters voor oppervlakte water. Zij maken een custom made trommel filter op basis van een specificatie die is opgemaakt door de klant/consultant.

In de praktijk komt het er op neer dat er proeven genomen moeten worden met het desbetreffende water. Op basis van de gegevens van de proeven kan er een calculatie gemaakt worden voor de grote van het filter. (diameter / lengte)

Veel hangt af van de vuil last in het water, de minimum porie size van het filterdoek ter bescherming van de RO en wat is de capaciteit die er door moet. Aan de hand van het gekozen filterdoek kunnen wij een calculatie maken.

Capaciteit: Vanaf 500 m^3/uur

Testen op kleine schaal mogelijk met een systeem waarbij meerdere filterdoeken naast elkaar worden getest.

Fiber Filtration V&T groep

Leverancier gaf aan dat investeringskosten filters 5x lager dan UF (Bron Frans de Vreede Fiber Filtration)

Er wordt een 3 staps filtratie voorgesteld

Eerst ACF Groffilter

Het filter bevat een wedge wire filter element. Reiniging van het filter vindt plaats via een schrapper.

Capaciteit: Vanaf 25 m^3/uur

Daarna MSCF ROBOfilter (35 – 50 µm)

Leverancier gaf aan dat in vergelijking met trommelzeven is de capaciteit een factor 10x kleiner (Bron Frans de Vreede Fiber Filtration)

Het filter bevat een fijn filtergas. Werkt bij lage druk en constante flow. Continue flow gaat via nozzels. 1 reiniging per 2 – 3 seconde.

Werkdruk 1,2 – 10 bar

Spoelverlies 5 – 10%

Capaciteit 0 – 120 m^3/uur

Dit systeem wordt toegepast op het Brielse meer en de Schelde

Als Laatste MT-IBA Fiber micro filtratie (3 µm)

Filtratie vindt van buiten na binnen plaats.

Werkdruk 0,5 – 4 bar

Spoelverlies ??? (30 L per spoeling)

Capaciteit 0,4 – 3 m^3/uur

Dit systeem wordt oa. Gebruikt bij mosselkwekkers en afvalwaterreiniging (scheppen

Huren van alle apparatuur mogelijk

Veolia Water

Type filter: Berkal Disk filter ; 20 µm

Filtratie m.b.v. van filterschijven die door de combinatie van diepte- en oppervlakte filtratie zeer goede filtratie resultaten oplevert. Filtratie vindt van buiten na binnen plaats. Reiniging via terugspoeling met lucht/water.

Werkdruk 3,5 – 8 bar

Spoelverlies 0,5 – 1,0%

Capaciteit 8 m^3/uur

Huren apparatuur mogelijk

Twin Filter Parker Hamilton

Type filter: Onbekend. (nog geen antwoordt gehad via mail alleen telefonisch informatie gekregen)

Voorgestelde behandelingsstap:

Strainer gevolgd door 50 µm filter (veel installaties staan rondom rivier bij Zaandam, geeft veel problemen (lage flow) als er een boot langskomt, maar dat nemen ze dan voor lief). (Twinomatic 50 µm 70 m^2/uur???, maakt gebruik van nozzeles vgl met fiber filtration????)

Op dit moment zijn ze een nieuw prototype aan het testen op ongeveer 1 m^3uur die geschikt kan zijn voor onze toepassing (maaswijdte 10 – 50 µm, tegenhouden organische deeltjes). Hij zoekt uit of het mogelijk is om het systeem op te schalen. NOG GEEN ANTWOORD GEHAD.

QEP Holland

Doekfilter unit (5 – 50 µm). (bandfiltratie)

Via mail contact gezocht.

Op de website staat het volgende vermeld:

QEP Holland levert Free-Flow RVS doekfilters van Zwart Systems in Canada; een filter dat zijn betrouwbaarheid en efficiëntie meer dan bewezen heeft in de afgelopen jaren. Het filter is beschikbaar in diverse niveaus van filtratie en is te gebruiken met verschillende soorten vervuild water zoals drainwater, bassinwater, afvalwater en spoelwater. Ook is het filter geschikt voor eb- en vloedvloeren.

Het doekfilter is dankzij de zuinige werkwijze ook erg geschikt voor gebruik in landen met restricties aan de hoeveelheid spoelwater. Het haalt volautomatisch de vaste delen uit het water door middel van een filterdoek. Het vervuilde water stroomt drukloos door het filterdoek dat in de vorm van een kom ligt. Zodra het filterdoek volgelopen is met vuil draait het doek automatisch door en wordt het filteren vervolgd met een schone doek. Het vervuilde doek valt in de afvalbak en wordt milieuvriendelijk afgevoerd.

Telefonisch contact:

Het is een bandfiltratiesysteem. Filter is van papier (5 – 50 µm). Geen voorfiltratie nodig is uitermate geschikt voor oppervlaktewater. Wordt ingezet in de tuinbouw.

Capaciteit: 45 – 90 -180 m^3/uur. Kleiner unit beschikbaar (400 L of 1,5 m^3/uur).

In principe wordt er niet verhuurt maar alleen verkocht.

Ervaringen Hans Huiting

Disk filters worden ingezet bij een project op spuiwater in Dinteloord (Bruine De bruin, werk vooral voor tuinders). Hans heeft wel twijfels over de reiniging. Hij verwacht dat resten achterblijven (bv wier) na reiniging waardoor de schijven niet meer goed op elkaar aansluiten waardoor de filtratie niet meer optimaal is. De RVS filterkaarsen leken Hans qua reiniging wel een goed concept omdat de poriën aan de buitenkant kleiner zijn dan na binnen toe is vervuiling makkelijker te verwijderen. Andere bij hem bekende leveranciers zijn Amiad (wordt ook via Fiber Filtration V&T groep geleverd, filtomat filter bv) en Twin filter als mogelijke opties. Verder gaf Hans aan dat we eventueel systeembouwers kunnen benaderen en kijken wat zij als voorbehandeling inzetten. Hij dacht aan Logisticon, Hatenboer water, Ovivo.

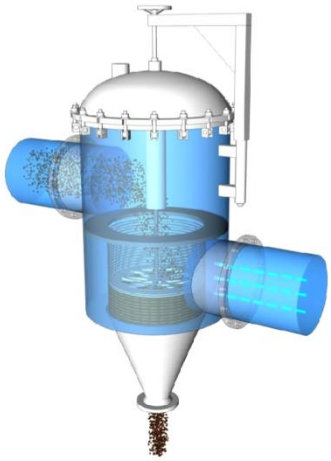
Mogelijke proefopzet

TABEL V-1 MOGELIJKE PROEFOPZET

Eerste stap	Tweede stap	Derde stap
ACF grof Filter	MSCF ROBOfilter (35 µm)	MT-IBA Fiber micro filtratie (3 µm)
ACF grof Filter	MSCF ROBOfilter (35 µm)	
ACF grof Filter	Berkal Disk filter 20 µm	
ACF grof Filter	RVS screen (zelfreinigende) filterkaarsen (25 µm)	
ACF grof Filter	RVS screen (zelfreinigende) filterkaarsen (10 µm)	
ACF grof Filter	Micro trommel filters (11 µm)????	
ACF grof Filter	Doekfilter unit (20 µm). (bandfiltratie)	

Bijlage VI ACF M002P Filter

ACF GROFFILTER



V&T Group heeft een speciaal filter ontwikkeld ter bescherming van pompen, leidingsystemen en procesapparatuur tegen grote, grove vervuiling. Dit filter heeft een speciale constructie welke stromingspatronen en turbulentie combineert voor reiniging van een wedge wire filterelement. De reiniging geschiedt door het medium zelf. Het filter kan zowel handmatig als automatisch bediend worden. De reinigingscyclus duurt ongeveer 5 seconden. Wanneer de deeltjes zwaar zijn of plakken, dan kan men met behulp van een schrapermechanisme het scheidingseffect mechanisch helpen.

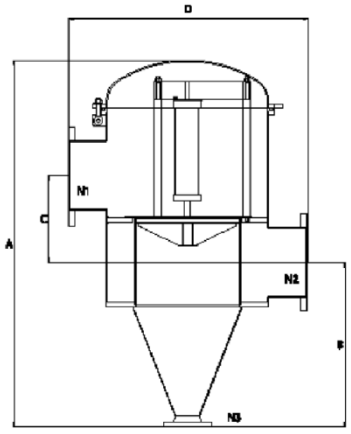
Naast het terugspoelbare ACF filter heeft V&T Group ook een nieuwe serie ontwikkeld met een mechanische reiniging. Een pneumatisch gestuurde cilinder verplaatst een mechanische schraper over een wedge wire filter element in axiale richting. Het moeilijk terugspoelbare vuil zoals vezels, schilletjes, granulaat of organische vervuiling wordt naar de onder-uitlaat geschoven en via een spoelklep afgevoerd.
Als spoelklep gaat onze voorkeur uit naar een meskant of membraan afsluiter. Als alternatief kan ook een kogelkraan met volle doorlaat gekozen worden. Spoeling wordt geregeld door een instelbare timer en eventueel met een parallel geschakelde verschildrukschakelaar. De cilinder kan enige slagen maken binnen een gekozen spoeltijd. Een spoeltijd van 5 seconden is voldoende om het filterelement volledig te reinigen. Het hele filter is uitgevoerd in RVS 316L en is ook middels licht zuren nog te reinigen tegen aangroei van kalk, zouten en organisch materiaal.

Technische data:

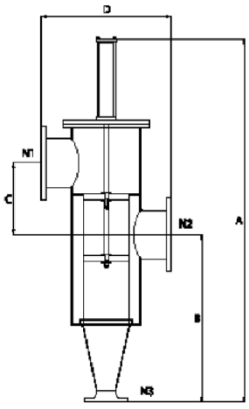
- Max. werkdruk : 10 bar bij types M002-M010
  : 6 bar bij types M012 en M016
- Max. werktemperatuur alle modellen : 80°C, hoger in overleg.
- Beschikbare filterelementen : 0,5-4mm bij types M002-M006, fijner op aanvraag :
  2-5mm bij types M008-M010, fijner op aanvraag
- Capaciteit afhankelijk van vuil last, werkdruk en spleetwijdte.
- Type M012 en M016 zijn standaard uitgevoerd met voetsteun (150 mm extra hoogte)

Type ACF	M002P	M004P	M006P	M008P	M010P	M012P	M016P
N1 Inlaat (PN10)	DN50	DN100	DN150	DN200	DN250	DN300	DN400
N2 Uitlaat (PN10)	DN50	DN100	DN150	DN200	DN250	DN300	DN400
N3 Spoeluitlaat	DN50	DN65	DN65	DN80	DN80	DN100	DN100
Capaciteit (m^3/uur)	25	60	110	210	275	600	650
Filteroppervlak (cm^2)	1030	2060	3090	4050	5405	6035	9050
Behuizing diameter	8"	8"	8"	12"	12"	750 mm	750 mm
Korflengte (mm)	200	400	600	600	800	400	600
Afmeting A (mm)	1030	1430	1595	1680	2105	1700	2150
Afmeting B (mm)	490	645	725	770	960	760	860
Afmeting C (mm)	160	160	330	330	380	400	600
Afmeting D (mm)	400	400	500	600	620	1100	1100

ACF Filter met schraper



model ACF M012 -M016

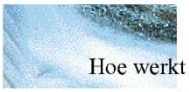


model ACF M002-M010

TABEL VI-1 SPECIFICATIES ACF GROFFILTER M002P

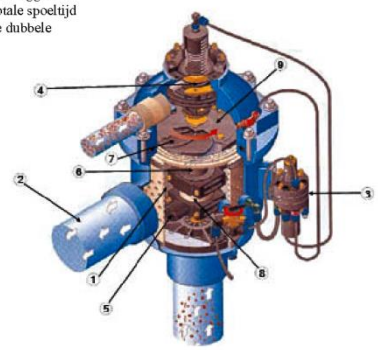
Specificaties	
Aansluiting inlaat	Flens DN 50 PN10
Aansluiting uitlaat	Flens DN 50 PN10
Spoeluitlaat	Flens DN 50 PN10
Capaciteit	max . 20 m3/uur afhankelijk van vuil last en spleetbreedte
Filteroppervlak	1030 cm^2
Max. werkdruk	10bar
Max. werktemperatuur	95°C
Behuizing Diameter	8 "
Korflengte	200 mm
Filterelement	Wedge wire met 0,25 mm spleetbreedte
Besturing	
Tijdschakelaar	
Spoelklep RVS Kogelkraan afsluiter DN50 , voorzien van dubbel werkende actuator en 24 VDC magneetventiel	
Kunststof stuurkastje IP67 met tijdrelais	
Schraperinstallatie	
Reinigingsschijf in kunststof	
Cilinder dubbelwerkend	
Magneetventiel 5/2-weg met 24 VDC	
RVS opvangbak met geperforeerde bodem voor spoelwater	

Bijlage VII Zelfreinigend M102C filter



Hoe werkt de Filtomat ®Ecoline M102C-104C :

Het water wordt gefiltreerd door een fijnfilter voorzien van een ingebouwd groffilter ter bescherming van het fijnfilter. Het water stroomt van binnen naar buiten via de uitlaat (2). Het fijnfilter (1), bestaande uit een kunststof steunkorf met RVS gaas aan de binnenzijde, vangt het vuil en veroorzaakt een drukval. Bij een vooringestelde drukwaarde start de spoelcy-clus. De verschildruk tussen in-en uitlaat wordt gemeten met een verschildrukschakelaar (spoelautomaat) (3). Deze zorgt voor de opening van de spoel-klep (4) (geïntegreerd in het fil-terhuis) waardoor een krachtige terugspoelstroom van buiten naar binnen, via de spoelnozzle (5)en de spoelpijp (8) het filter verlaat, door de spoeluitlaat naar atmosferische druk. De zuigstroom neemt het vuil mee van het filtergaas en creëert via de uitstroomwaaier (7,9) een radiale beweging gecombineerd met een axiale beweging.
De drukval in de spoelkamer zorgt voor de onderdruk. Het hele fil-teroppervlak wordt gereinigd. Na sluiting van de spoelkamer komt via een klepmechanisme de spoelklep weer onder druk en opent de spoelkamer nogmaals waardoor een reiniging in teruggaande richting plaatsvindt. De totale spoeltijd bedraagt 2 X 4 sec. Na de dubbele spoeling staat het filtermechanisme in de uitgangspositie. Gedurende de spoeling kan het normale filtratieproces gewoon doorgaan. De pomp levert de extra hoeveel-heid spoelwater

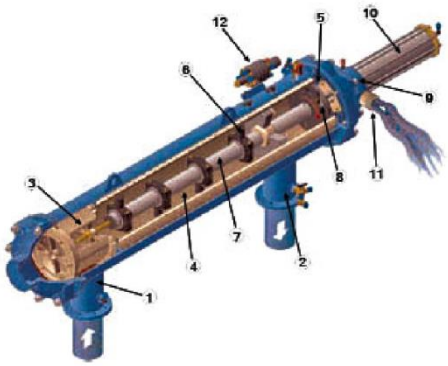


Hoe werkt de Filtomat® M104LP-M110P:

Het water stroomt het filter in via de inlaat (1) en is voorgefiltreerd via het groffilter (3) en wordt dan gefilteerd via het fijnfilter(4). Vanaf daar stroomt het water naar de uitlaat (2). Als er zich vuil opstapelt aan de bin-nenkant van het fijnfilter, wordt er een drukverschil opgebouwd. Bij een bepaalde waarde opent de verschildrukschakelaar (12) de spoelklep (9), hierdoor wordt een krachtige terugspoelstroom gecreëerd door de afwatering (11) naar atmosferische druk . Deze terugspoelstroom creëert een zuigkracht aan de spoel-nozzles (6) die de oppervlakte van het fijnfilter schoonmaakt
aan de nozzelopeningen.
Terugspoelwater stroomt nu vanuit de spoelpijp (7) via een klep in de hydraulische motor (8), dit doet de spoelpijpcon-structie (7) draaien. De drukval in de motoreenheid (5)en de afwatering van de zuiger creëert een axiale beweging in
creëert een axiale beweging in het spoelsysteem.

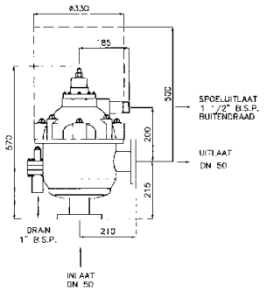
Deze combinatie van draaiing en axiale beweging maakt een totale reiniging van het filterop-pervlak door de spoelnozzles mogelijk.

Wanneer deze spoeling is beëindigd,wordt er een tweede spoelcyclus automatisch gestart, die het geheel terug op zijn originele positie brengt. De totale spoeltijd bedraagt 10-15 secon-den.

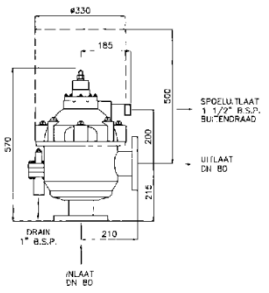




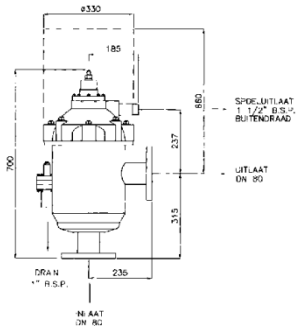
M102C



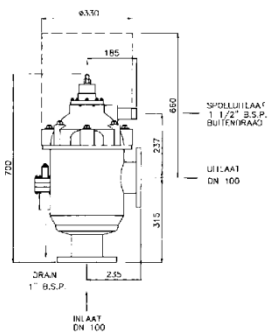
M103C



M103CL



M104C



NR.	MODEL	Capaciteit	Filteroppervlak	Totale Hoogte	Gewicht, kg		Gemiddelde
		M3/H	CM2	MM	Leeg	Vol	Spoeltijd
1	M102C	25	580	570	22	38	6-10 sec.
2	M103C	40	580	570	25	40	6-10 sec.
3	M103CL	40	900	700	30	57	6-10 sec.
4	M104C	80	900	700	35	621	6-10 sec.

Beschikbare fijnfilters voor alle modellen: 50,80,100,120,150,200,400,800,1500,3000 micron.
Max. werkdruk voor alle modellen : 10 bar gauge.
Min. druk bij spoeling aan uitlaat : 2 bar, voor elementen van 50 micron ,3bar
Max. werktemperatuur voor alle modellen : 65°C.
Spoeluitlaat voor alle modellen : 1 1/2" BSP uitwendige draad :
Spoelwaterverbruik circa 40L/spoeling

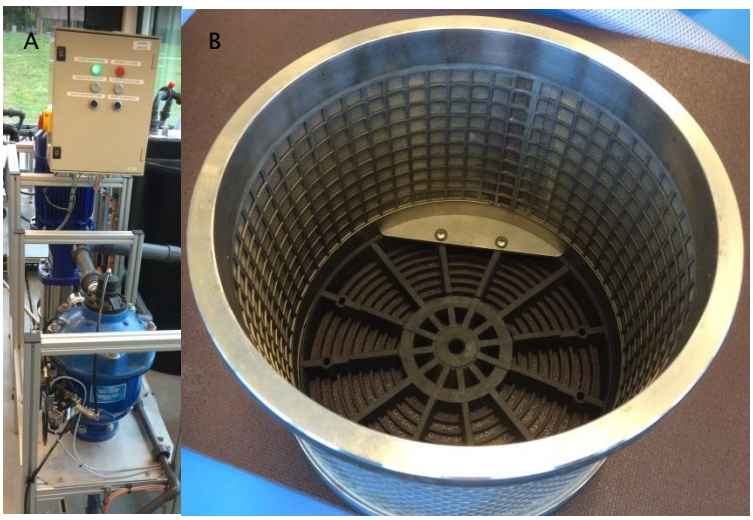
TABEL VII-1 SPECIFICATIES ZELFREINIGEND M102C FILTER

Specificaties	
Aansluiting in/uitlaat	Flenzen DN50 PN10
Spoeluitlaat	11/2" BSP buitendraad
Capaciteit	Max. 10 m^3/uur afh. van maaswijdte en vuillast
Werkdruk	Max. 10 bar
	Min. 2 bar tijdens spoeling van het filter aan de uitlaatzijde
Drukval	Max. 0,2 bar bij schoon filter oppervlak
	Max. 0,8 bar bij vuil filter oppervlak
Spoelwaterverlies	20 m^3/uur gedurende 8 sec.
Werktemperatuur	Max. 50 °C
Maaswijdte	25 micron (in RVS 316L)
Filteroppervlak	500 cm^2
Gewicht	30 kg
- Besturing	Elektrisch/hydraulisch(water)
Besturing	
Verschildrukschakelaar instelbaar tussen 0,2 en 0,8 bar	
Siemens PLC met spoelprogramma	
Spoel- en alarmsignalering op de kastdeur	
Drukknoppen voor handspoeling en alarm reset op de kastdeur	
Teller voor het aantal spoelcycli in PLC	
Potentiaalvrij contact voor alarmmelding	
1 Stuk magneetventiel 24 VDC voor spoelklep	
Materiaal specificaties	
Filterhuis	C-staal met epoxy coating
Fijn filter	Metaalgaas RVS 316 met RVS316 support
Grof filter	Kunststof
Spoelpijp	PVC/ nylon
Afdichtingen	EPDM, NBR
Lagers	kunststof/RVS 316/ hardstaal

Bijlage VIII Foto's diverse gebruikte screens/filters

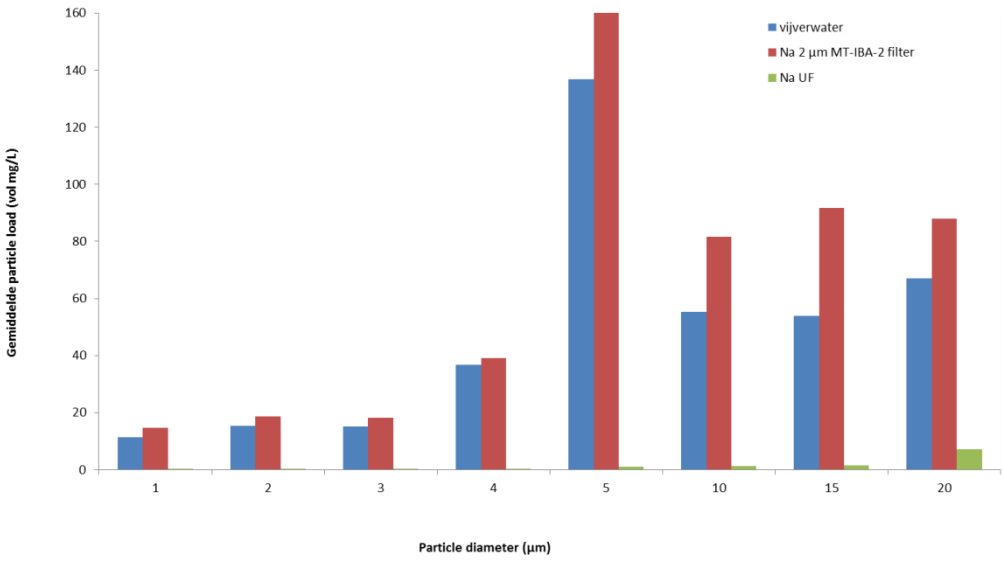


FIGUUR VIII-1GROF ACF M002P FILTER INCLUSIEF OPVANG BAK



FIGUUR VIII-2 A) ZELFREINIGEND M102C FILTER UNIT MET TERUGSPOELPOMP EN BESTRUINGSKAST FILTERS B) 25 µM FILTER

Bijlage IX Resultaten deeltjesteller 3 µm MT-IBA filter



FIGUUR IX-1 DEELTJESANALYSE NA VERSCHILLENDE VOORBEHANDELINGSSTAPPEN RO (OA. 2 µM MT-IBA-2 FILTER)

Bijlage X NOM karakterisering met behulp van LC-OCD

LC-OCD (Liquid Chromatography – Organic Carbon Detection) is een analysetechniek waarmee Natuurlijk Organisch Materiaal (NOM) kan worden gekarakteriseerd.

Het NOM wordt eerst in fracties verdeeld door vloeistofchromatografie(LC of SEC). Daarna worden de concentraties van de verschillende fracties gemeten met een organische koolstof detector (OCD). Een UV-detector (254 nm) wordt in het systeem geïntegreerd voor informatie omtrent de aromaticiteit van de fracties.

De nauwkeurigheid van de metingen is 2 tot 10 ppb voor de TOC-meting en 5 tot 50 ppb voor de verschillende fracties. Deze hoge gevoeligheid laat toe om analyses van waters met zeer lage NOM-concentratie te maken. De monsters moeten ook niet voorgeconcentreerd worden.

De metingen worden uitgevoerd door DOC-Labor.

Karakterisering

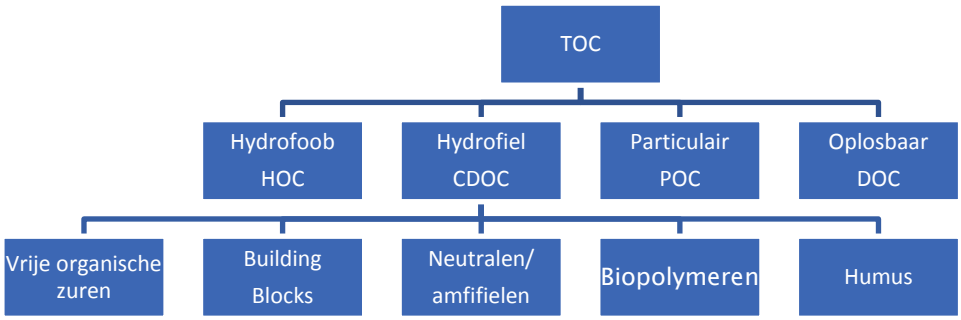
Allereerst wordt het TOC (total organic carbon) gemeten. Daarna wordt er een eerste scheiding gemaakt met behulp van een 0,45 µm-filter. Deze splits het TOC op in DOC (dissolved organic carbon) en POC (Particulate organic carbon). POC is de fractie die door de filter tegengehouden wordt. De POC-fractie wordt bepaald door het verschil te nemen tussen TOC en DOC.

Het oplosbare DOC kan zowel hydrofiel als hydrofoob zijn. De hydrofobe fractie wordt HOC (Hydrophobic Organic Carbon) genoemd en de hydrofiele fractie CDOC (Chromatographic DOC). Zoals de naam doet vermoeden is het CDOC de fractie die door de kolom van de chromatograaf beweegt. Het HOC blijft in de kolom en zal bij reiniging verwijderd worden. De hoeveelheid HOC wordt berekend door het verschil te berekenen tussen het DOC en het CDOC.

De hydrofiele fractie (CDOC) wordt daarna volgens moleculengewicht verdeeld in 5 fracties. In volgorde van stijgende moleculaire massa zijn weergegeven in. In wordt weergegeven hoe DOC-Labor de karakterisering uitvoert. In en een omschrijving van de verschillende fracties gegeven en in de nauwkeurigheid van de LC-OCD metingen.

TABEL X-1 VERDELING VAN DE MM OVER DE VERSCHILLENDE FRACTIES

Fractie	Afkorting	MM
Vrije organische zuren	LMW Zuren	< 350
Neutralen en amfifielen	LMW Neutrale	< 350
Building blocks	Bouwstenen	350 – 500
Humusmaterialen	Humus	500 - 1200
Biopolymeren	biopolymeren	> 10 000



FIGUUR X-1 KARAKTERISERING VOLGENS DOC-LABOR

TABEL X-2 FRACTIES BEPAALD DOOR LC-OCD

Afkorting	Naam	Verklaring
TOC	totale organische koolstof	De totale hoeveelheid organische koolstof gemeten op het oorspronkelijke staal, nog voor het staal de chromatograafkolom is binnengedrongen.
DOC	oplosbare OC	De oplosbare fractie die doorheen een 0,45 µm-filter gaat.
POC	particulair OC	De fractie die wordt tegengehouden door de 0,45 µm-filter net voor het binnentreden van de kolom. Deze fractie wordt bepaald als het verschil tussen TOC en DOC
CDOC	chromatografeerbare oplosbare OC	De fractie die doorheen de chromatograafkolom gaat. Deze stoffen zijn meestal van hydrofiele oorsprong.
HOC	hydrofobe OC	De fractie die in de kolom blijft. Deze sterk hydrofobe fractie wordt bepaald als het verschil tussen DOC en CDOC. Hiertoe behoren voornamelijk lipiden.
biopolymeren	biopolymeren	Tot deze fractie behoren aminosuikers, polypeptiden en proteïnen met hoge MM
Humus	humuszuren	Humusmaterialen, voornamelijk polycarboxylzuren en gesubstitueerde fenolen
bouwstenen	building blocks	Oxidatieproducten van humus, voornamelijk polycarboxylzuren
LMW Zuren	neutrale en amfifielen	Kleine organische stoffen met zoals alcoholen, aldehyden, ketonen en aminozuren
LMW Neutrale	vrije organische zuren	Laagmoleculaire zuren

Bijlage XI Resultaten LC-OCD analyses

TABEL XI-1 RESULTATEN LC-OCD ANALYSES 25-04-2016

Project: kwr_30	DOC Dissolved ppb-C	DOC Dissolved % DOC	HOC* Hydrophob. ppb-C	HOC* Hydrophob. % DOC	CDOC Hydrophil. ppb-C	CDOC Hydrophil. % DOC	>>20.000 BIO-polymers ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	% Proteins in BIOpol.** % BIOpol.	~1000 (see separate HS-Diagram) Humic Subst. (HS) ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	Aromaticity (SUVA-HS) L/(mg*m)	Mol-Weight (Mn) g/mol	Position in HS diagram	300-500 Building Blocks ppb-C	% DOC	<350 LMW Neutrals ppb-C	% DOC	<350 LMW Acids ppb-C	% DOC	Inorg. Colloid. SAC (m^{-1})	SUVA (SAC/DOC) L/(mg*m)
Na grof filter	6112	100%	281	4,6%	5831	95,4%	742	12,1%	28	0,04	11	3701	60,6%	131	0,04	3,23	635	A	796	13,0%	592	9,7%	n.q.	–	n.q.	2,72
Na screen 50µm	6168	100%	328	5,3%	5839	94,7%	729	11,8%	29	0,04	12	3714	60,2%	132	0,04	3,27	648	B	824	13,4%	572	9,3%	n.q.	–	n.q.	2,68
Na UF	5577	100%	530	9,5%	5047	90,5%	205	3,7%	12	0,06	17	3494	62,6%	129	0,04	3,40	655	C	805	14,4%	528	9,5%	16	0,3%	n.q.	2,90

TABEL XI-2 RESULTATEN LC-OCD ANALYSES 25-05-2016

Project: kwr_31	DOC Dissolved ppb-C	DOC Dissolved % DOC	HOC* Hydrophob. ppb-C	HOC* Hydrophob. % DOC	CDOC Hydrophil. ppb-C	CDOC Hydrophil. % DOC	>>20.000 BIO-polymers ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	% Proteins in BIOpol.** % BIOpol.	~1000 (see separate HS-Diagram) Humic Subst. (HS) ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	Aromaticity (SUVA-HS) L/(mg*m)	Mol-Weight (Mn) g/mol	Position in HS diagram	300-500 Building Blocks ppb-C	% DOC	<350 LMW Neutrals ppb-C	% DOC	<350 LMW Acids ppb-C	% DOC	Inorg. Colloid. SAC (m^{-1})	SUVA (SAC/DOC) L/(mg*m)
Na Grof filter	4993	100%	200	4,0%	4792	96,0%	441	8,8%	27	0,06	18	3212	64,3%	98	0,03	3,00	637	A	643	12,9%	497	10,0%	n.q.	–	0,04	2,53
25 MAY 2016																										
Na 25um filter	4958	100%	259	5,2%	4699	94,8%	437	8,8%	25	0,06	17	3188	64,3%	91	0,03	3,05	638	B	633	12,8%	440	8,9%	n.q.	–	0,04	2,53
25 MAY 2016																										
Na UF	4417	100%	257	5,8%	4160	94,2%	84	1,9%	6	0,07	22	3048	69,0%	111	0,04	3,19	630	C	616	13,9%	412	9,3%	n.q.	–	n.q.	2,80
25 MAY 2016																										

TABEL X-3 RESULTATEN LC-OCD ANALYSES 15-07-2016

Project: kwr_32	DOC Dissolved ppb-C	DOC Dissolved % DOC	HOC* Hydrophob. ppb-C	HOC* Hydrophob. % DOC	CDOC Hydrophil. ppb-C	CDOC Hydrophil. % DOC	>>20.000 BIO-polymers ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	% Proteins in BIOpol.** % BIOpol.	~1000 (see separate HS-Diagram) Humic Subst. (HS) ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	Aromaticity (SUVA-HS) L/(mg*m)	Mol-Weight (Mn) g/mol	Position in HS diagram	300-500 Building Blocks ppb-C	% DOC	<350 LMW Neutrals ppb-C	% DOC	<350 LMW Acids ppb-C	% DOC	Inorg. Colloid. SAC (m^{-1})	SUVA (SAC/DOC) L/(mg*m)
Na grof filter	4876	100%	91	1,9%	4785	98,1%	468	9,6%	44	0,09	28	3014	61,8%	144	0,05	3,34	650	A	748	15,3%	555	11,4%	n.q.	–	n.q.	2,78
15 JUL 2016																										
Na 25 µm filter	4851	100%	118	2,4%	4733	97,6%	455	9,4%	41	0,09	27	3012	62,1%	143	0,05	3,25	649	B	738	15,2%	528	10,9%	n.q.	–	n.q.	2,79
15 JUL 2016																										
Na UF	4492	100%	229	5,1%	4264	94,9%	117	2,6%	9	0,08	24	2908	64,7%	136	0,05	3,39	648	C	735	16,4%	503	11,2%	n.q.	–	n.q.	3,04
15 JUL 2016																										

TABEL X-4 RESULTATEN LC-OCD ANALYSES 05-10-2016

Project: kwr_33	DOC Dissolved ppb-C	DOC Dissolved % DOC	HOC* Hydrophob. ppb-C	HOC* Hydrophob. % DOC	CDOC Hydrophil. ppb-C	CDOC Hydrophil. % DOC	>>20.000 BIO-polymers ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	% Proteins in BIOpol.** % BIOpol.	~1000 (see separate HS-Diagram) Humic Subst. (HS) ppb-C	% DOC	DON (Norg) ppb-N	N/C µg/µg	Aromaticity (SUVA-HS) L/(mg*m)	Mol-Weight (Mn) g/mol	Position in HS diagram	300-500 Building Blocks ppb-C	% DOC	<350 LMW Neutrals ppb-C	% DOC	<350 LMW Acids ppb-C	% DOC	Inorg. Colloid. SAC (m^{-1})	SUVA (SAC/DOC) L/(mg*m)
TKI MS-RO Vijverwater	6014	100%	88	1,5%	5925	98,5%	807	13,4%	73	0,09	27	3606	60,0%	160	0,04	3,80	634	A	803	13,4%	682	11,3%	27	0,5%	0,17	3,09
Na grof filter																										
TKI MS-RO Vijverwater	5888	100%	n.q.	--	5888	100,0%	811	13,8%	73	0,09	27	3628	61,6%	160	0,04	3,78	634	B	789	13,4%	637	10,8%	23	0,4%	0,19	3,18
Na 3µm filter																										
TKI MS-RO Vijverwater	5367	100%	530	9,9%	4837	90,1%	134	2,5%	14	0,10	31	3466	64,6%	153	0,04	3,93	625	C	759	14,1%	445	8,3%	32	0,6%	n.q.	3,33
Na UF																										

Bijlage XII Specificaties Hydranautics ESPA-2540 RO membranen

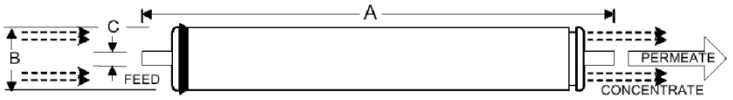
	Membrane Element	ESPA - 2540
Performance	Permeate Flow:	750 gpd (2.84 m^3/d)
	Salt Rejection	99.4 % (98.0 % minimum)
Type	Configuration:	Spiral Wound
	Membrane Polymer:	Composite Polyamide
	Membrane Active Area:	25.5 ft^2
Application Data*	Maximum Applied Pressure:	300 psig (2.1 MPa)
	Maximum Chlorine Concentration:	< 0.1 PPM
	Maximum Operating Temperature:	113° F (45°C)
	pH Range, Continuous (Cleaning)	2-10 (1-12)*
	Maximum Feedwater Turbidity:	1.0 NTU
	Maximum Feedwater SDI (15 mins):	4.0
	Maximum Feed Flow:	6 GPM (23 l/m)
	Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any element:	5:1
	Maximum Pressure Drop for Each Element:	10 psi

* The limitations shown here are for general use. For specific projects, operating at more conservative values may ensure the best performance and longest life of the membrane. See Hydranautics Technical Bulletins for more detail on operation limits, cleaning pH, and cleaning temperatures.

Test Conditions

Elements are wet tested for quality assurance using the following conditions:

1500 PPM NaCl solution
150 psi (1.03 MPa) Applied Pressure
77 °F (25 °C) Operating Temperature
10% Permeate Recovery
6.5 – 7.0 pH Range
(Data taken after 30 minutes of operation)



A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.0 (1016)	2.4 (61)	0.75 (19.1)	4 (1.8)

Core tube extension = 1.10" (27.9 mm)

Notice Minimum permeate flow for individual elements is 15 percent below listed flow. All membrane elements are supplied with a brine seal and o-rings. Most elements are packaged dry, sealed in a polyethylene bags, and shipped in a cardboard box. Some elements are sealed in polyethylene bags containing less than 1.0% sodium meta-bisulfite solution and shipped in a cardboard box.

Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics products for the user's specific end uses.

2/25/15

Hydranautics Corporate: 401 Jones Road, Oceanside, CA 92058
1-800-CPA-PURE Phone: 760-901-2500 Fax: 760-901-2578 info@hydranautics.com

Feedspacer: CWD_Feed_Spacers (website conwed) hydra2540 26 mils

CONWED
GLOBAL NETTING SOLUTIONS

FEED SPACER DEVELOPMENT IN REVERSE OSMOSIS

Feed spacers act as one of the layers of wound materials in Reverse Osmosis (RO) filters and provide vital separation between the membranes to achieve superior filter performance.



Conwed manufactures a full line of feed spacers used in RO spiral wound elements. An RO spiral wound element is a filter comprised of different layers. It contains membrane, feed spacer and permeate sheets rolled up around a product collection tube (Figures 1, 2). The feed spacer provides the necessary gap between other layers to promote turbulence of the feed stream. Depending on the chemical and design configuration, feed spacers can influence membrane damage, biofouling and pressure drop; the three main challenges in reverse osmosis.

The RO process involves pressure application of dissolved species water solution against a float sheet semipermeable membrane. The water passes through the membrane as permeate. All particulate species and majority of dissolved ions existent in the feed water, are rejected and flushed out to the drain as a concentrate stream.

In order to function as a desalination device, the flat sheet membrane is configured as a spiral wound membrane element. The membrane element structure contains also a feed spacer that separates the surfaces of adjacent membrane envelopes. The objective of the feed spacer, in addition to keeping the feed channel open, is to promote turbulence of the feed stream.

BASIC FEED SPACER TERMS

THICKNESS: it could be also known as the height of the strands. It is intrinsically related to weight and can be tailored to fit your final application. It is reported in length measurements such as mils and millimeters.

STRAND COUNT: is the number of strands observed in a given length in that direction. It is typically reported in "strands per inch" or "strands per 10 cm".

MESH SIZE: is the distance from the center of one strand to the center of the next strand in that direction. Hole size is the distance from the strand's inner edge to the next strand's inner edge in that direction. Mesh size and hole size are practically identical in feed spacers because of their high strand count configurations. It is reported in length measurements such as inches and millimeters.

RESIN: polymers have a different impact on the performance of RO filters. Whether it is single resins or blends, we can develop the right formulation for diverse feed spacer configurations.

ANGLE: it is measured in degrees and it indicates the angle of the strands that form the netting configuration.

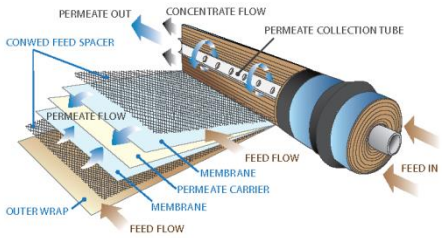


Figure 1. Schematic configuration of spiral wound filter



Figure 2. RO spiral wound filter

800.426.0149 | contact@conwedplastics.com | www.conwedplastics.com

CONWED FEED SPACER PORTFOLIO

19 Mils



THICKNESS	19 mils	0.48 mm
STRAND COUNT	15 x 15 strands/inch	59.06 x 59.06 strands/10cm
MESH SIZE	0.05" x 0.05"	1.30mm x 1.30mm
RESIN	Polypropylene/Polyethylene (PP/PE)	
ANGLE	90°	

Photo scale: Rectangle 1:1, Circle 3:1

21 Mils



THICKNESS	21 mils	0.53 mm
STRAND COUNT	16 x 16 strands/inch	62.99 x 62.99 strands/10cm
MESH SIZE	0.04" x 0.04"	1.19mm x 1.19mm
RESIN	Polypropylene (PP)	
ANGLE	80°	

22 Mils



THICKNESS	22 mils	0.56 mm
STRAND COUNT	9 x 9 strands/inch	35.43 x 35.43 strands/10cm
MESH SIZE	0.10" x 0.10"	2.59mm x 2.59mm
RESIN	Polypropylene (PP)	
ANGLE	90°	

26 Mils



THICKNESS	26 mils	0.66 mm
STRAND COUNT	9 x 9 strands/inch	35.43 x 35.43 strands/10cm
MESH SIZE	0.10" x 0.10"	2.59mm x 2.59mm
RESIN	Polypropylene/Polyethylene (PP/PE)	
ANGLE	90°	

28 Mils



THICKNESS	28 mils	0.71 mm
STRAND COUNT	9 x 9 strands/inch	35.43 x 35.43 strands/10cm
MESH SIZE	0.10" x 0.10"	2.59mm x 2.59mm
RESIN	Polypropylene (PP)	
ANGLE	90°	

31 Mils



THICKNESS	31 mils	0.79 mm
STRAND COUNT	9 x 9 strands/inch	35.43 x 35.43 strands/10cm
MESH SIZE	0.10" x 0.10"	2.59mm x 2.59mm
RESIN	Polypropylene (PP)	
ANGLE	90°	

32 Mils



THICKNESS	32 mils	0.81 mm
STRAND COUNT	9 x 9 strands/inch	35.43 x 35.43 strands/10cm
MESH SIZE	0.10" x 0.10"	2.59mm x 2.59mm
RESIN	Polypropylene/Polyethylene (PP/PE)	
ANGLE	90°	

34 Mils



THICKNESS	34 mils	0.86 mm
STRAND COUNT	9 x 9 strands/inch	35.43 x 35.43 strands/10cm
MESH SIZE	0.10" x 0.10"	2.59mm x 2.59mm
RESIN	Polypropylene (PP)	
ANGLE	90°	

46 Mils



THICKNESS	46 mils	1.17 mm
STRAND COUNT	7 x 7 strands/inch	27.56 x 27.56 strands/10cm
MESH SIZE	0.10" x 0.10"	2.55mm x 2.55mm
RESIN	Polypropylene (PP)	
ANGLE	90°	

Values are nominal, not actual. The items displayed above are just a representative sample of the wide range of feed spacers Conwed is able to manufacture. Depending on the final application, Conwed can vary the feed spacer characteristics to meet specific performance requirements. Contact us for further information and complete product line details.

800.426.0149 | contact@conwedplastics.com | www.conwedplastics.com

Bijlage XIII Resultaten verkennende drinkwater en vijverwatertesten feedspacerloze RO

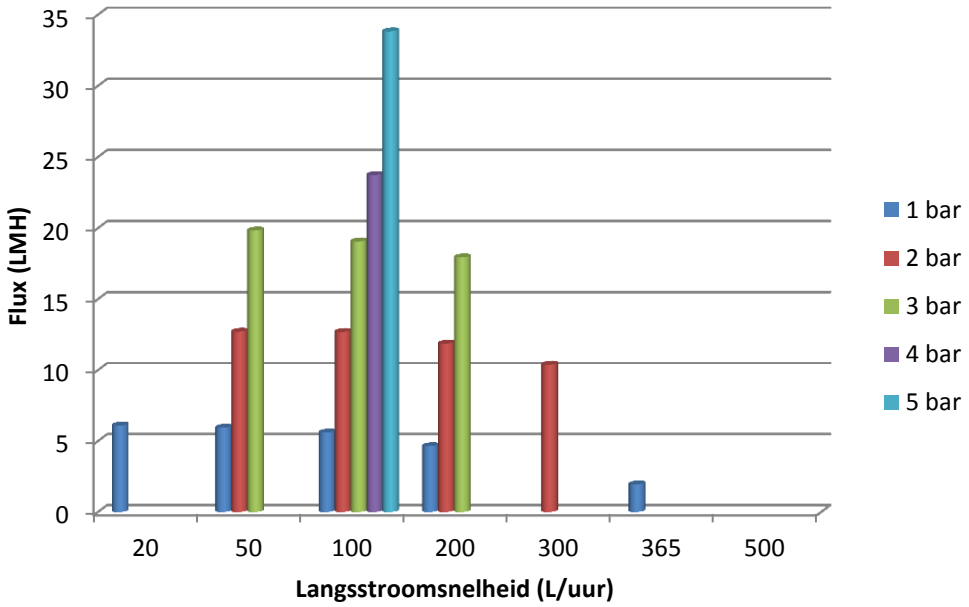


FIGURE XIII-1 FLUX VERKENNENDE TESTEN DRINKWATER MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER BIJ VERSCHILLENDE LANGS STROOMSNELHEDEN: 20, 50, 100, 200, 300 EN 365 L/UUR (PERIODE 15 TM 28 JUNI 2016)

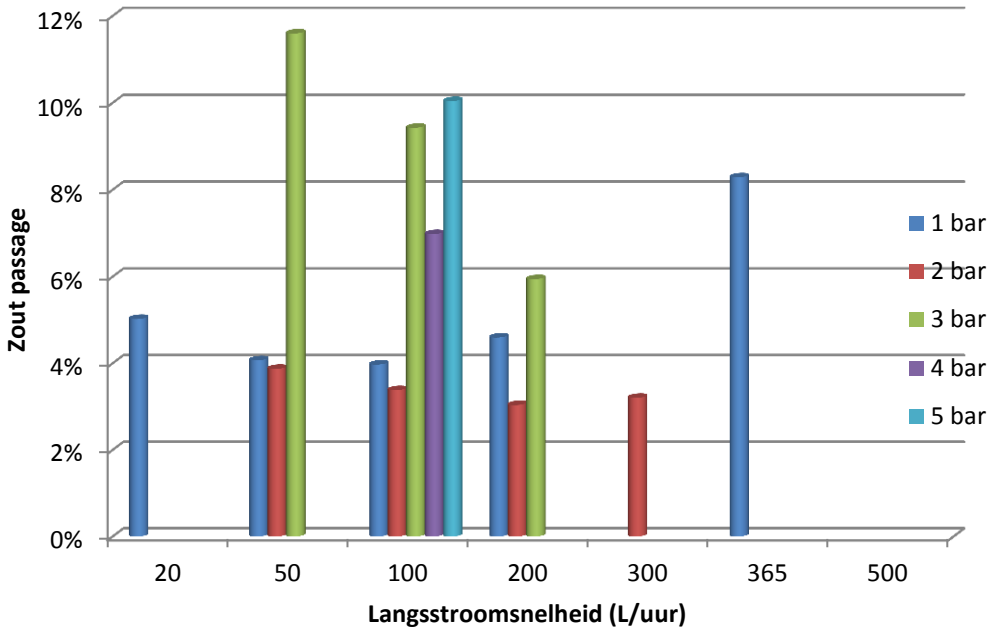


FIGURE XIII-2 ZOUTPASSAGE VERKENNENDE TESTEN DRINKWATER MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER BIJ VERSCHILLENDE LANGS STROOMSNELHEDEN: 20, 50, 100, 200, 300 EN 365 L/UUR PERIODE (15 TM 28 JUNI 2016)

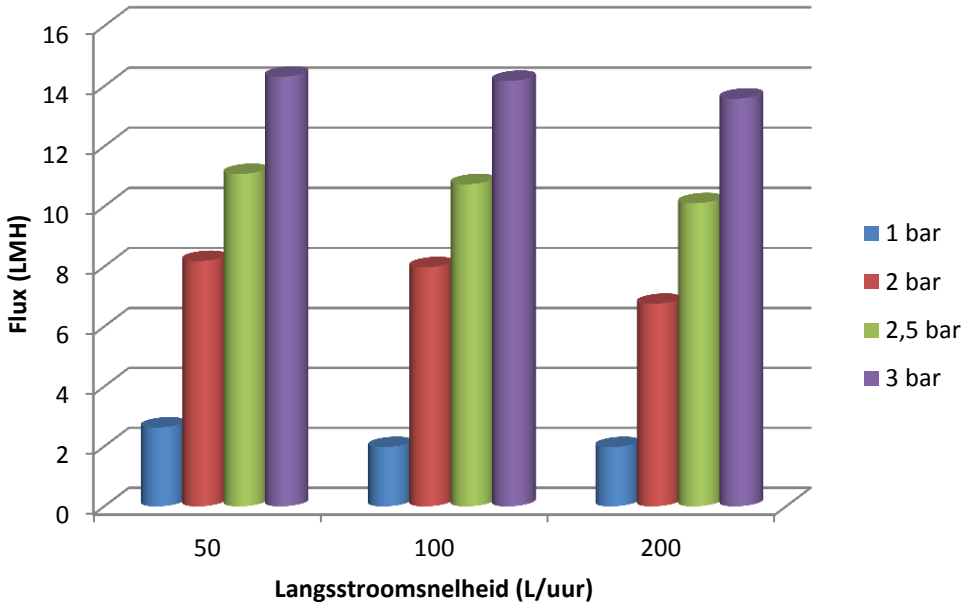


FIGURE XIII-3 FLUX VERKENNENDE TESTEN DRINKWATER + 1 G/L NACL MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER BIJ VERSCHILLENDE LANGS STROOMSNELHEDEN: 50, 100 EN 200 L/H PERIODE(6 TM 19 JULI 2016)

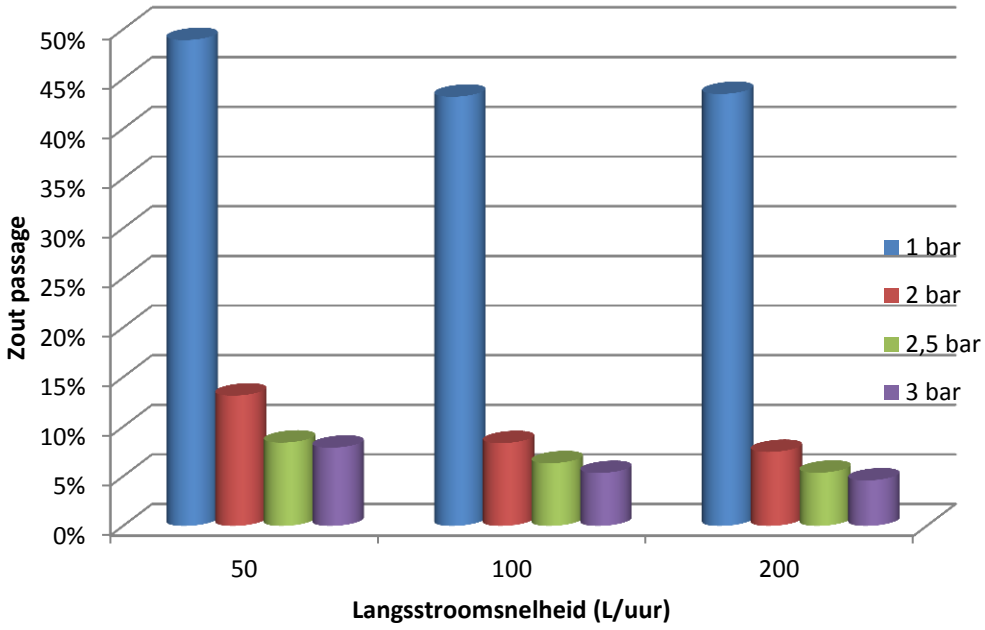


FIGURE XIII-4 ZOUTPASSAGE VERKENNENDE TESTEN DRINKWATER + 1 G/L NACL MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER BIJ VERSCHILLENDE LANGS STROOMSNELHEDEN: 50, 100 EN 200 L/H PERIODE (6 TM 19 JULI 2016)

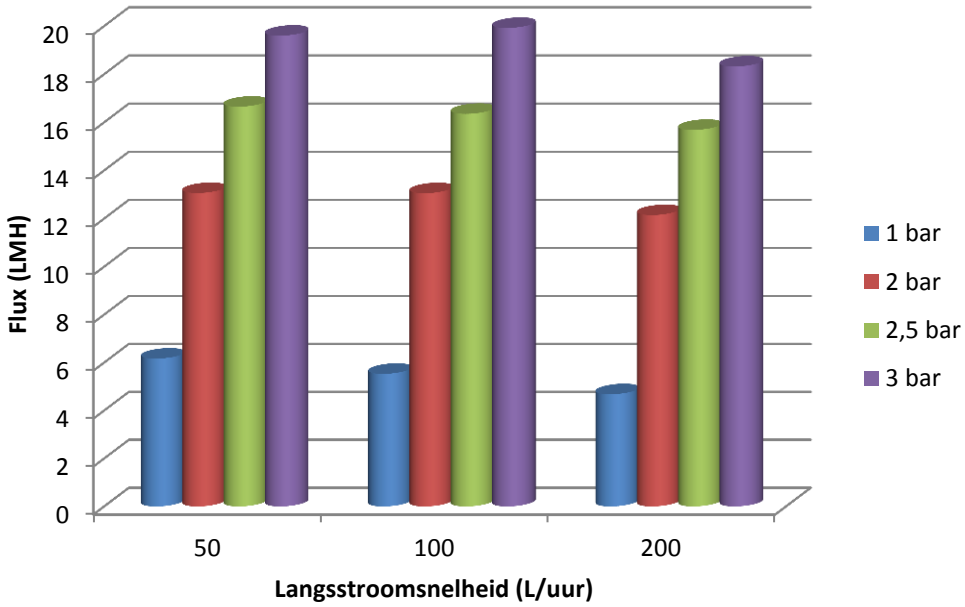


FIGURE XIII-5 FLUX VERKENNENDE TESTEN VIJVERWATER MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER BIJ VERSCHILLENDE LANGS STROOMSNELHEDEN: 50, 100 EN 200 L/H PERIODE(27 JULI TM 11 AUGUSTUS 2016)

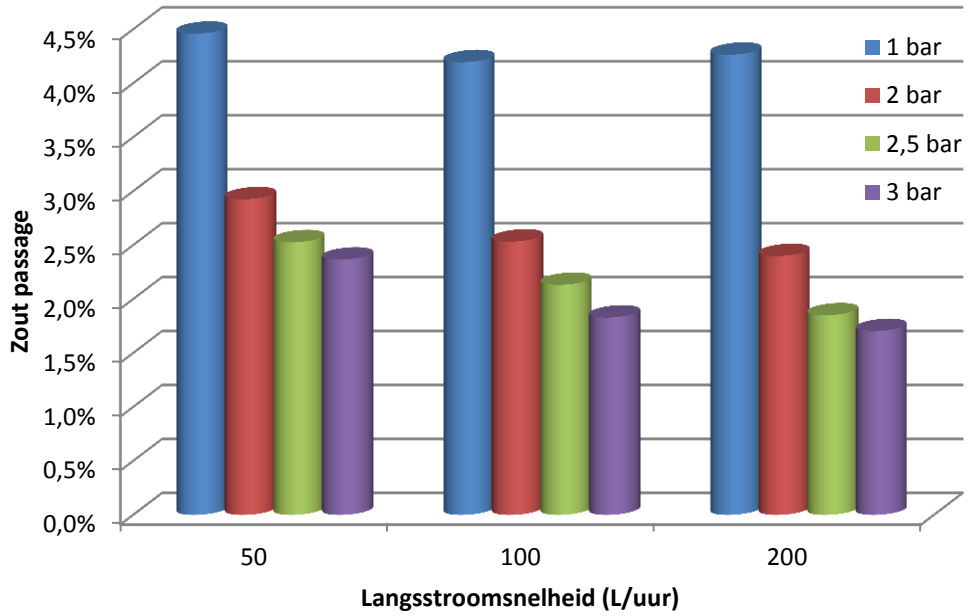
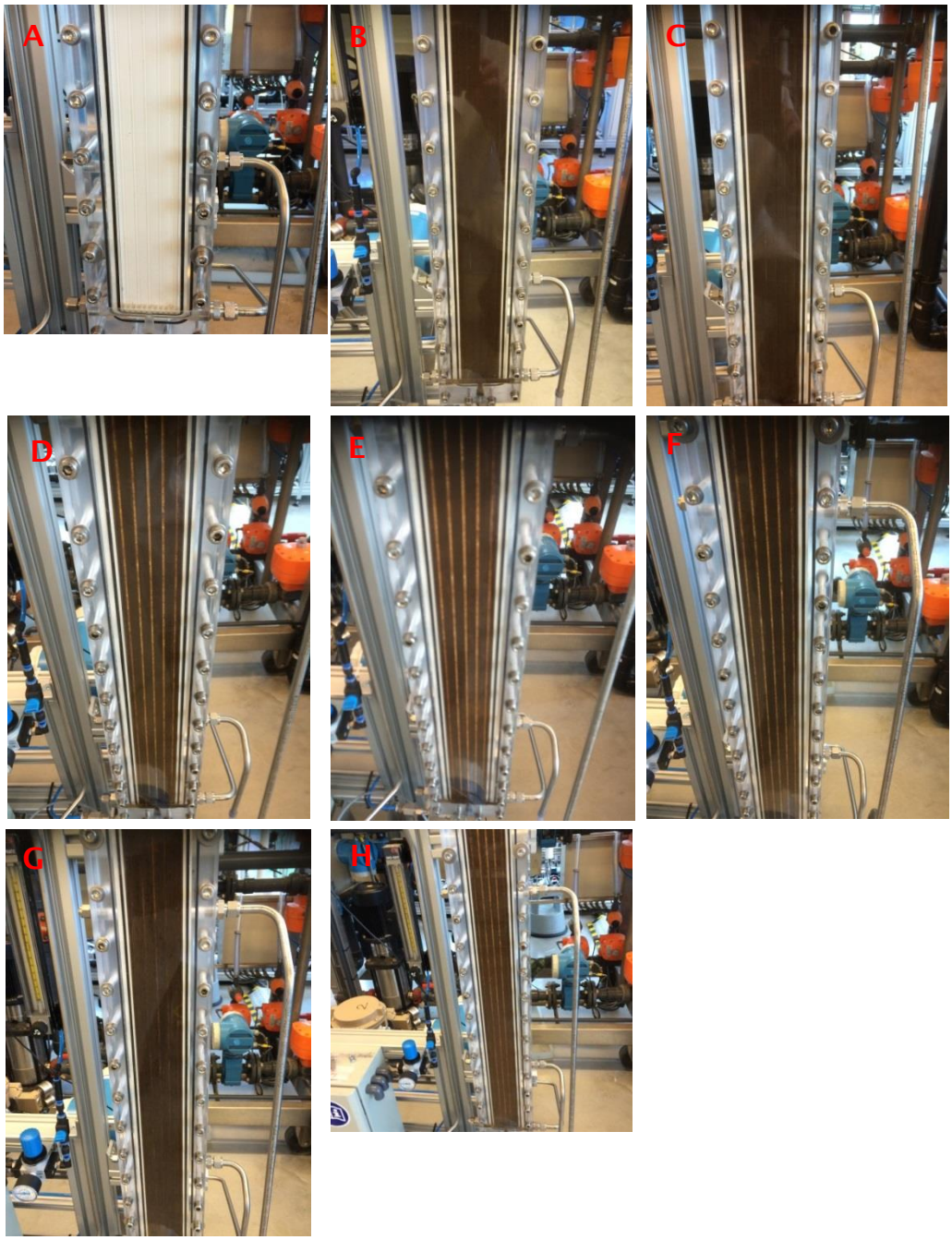
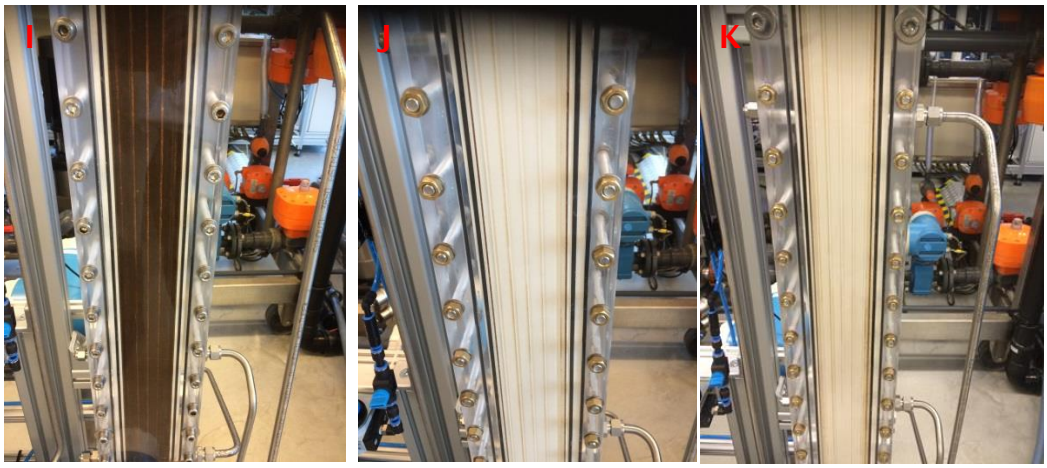


FIGURE XIII-6 ZOUTPASSGE VERKENNENDE TESTEN VIJVERWATER MEMBRAAN ZONDER FEEDSPACER BIJ VERSCHILLENDE LANGS STROOMSNELHEDEN: 50, 100 EN 200 L/H PERIODE(27 JULI TM 11 AUGUSTUS 2016)

Bijlage XIV Foto's duurtest Feedspacerloze lab installatie

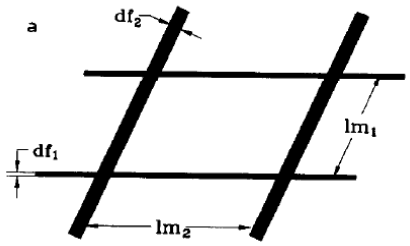




FIGUUR XIV-1 A: START DUURTEST MET VIJVERWATER, B: NA 34 DAGEN VOOR CR, C: NA 34 DAGEN NA SPOELEN MET DRINKWATER, D: NA 34 DAGEN NA CR MET NAOH PH 11,5, E: NA 34 DAGEN NA CR MET HCL, F: NA 34 DAGEN NA EINDE CR, G: NA 59 DAGEN VOOR SPOELING MET LUCHT, H: NA 59 DAGEN NA SPOELING MET LUCHT, I: NA 66 DAGEN VOOR HANDMATIGE REINIGING, J: NA 66 DAGEN NA HANDMATIGE REINIGING, K: EINDE DUURTEST MET VIJVERWATER NA 70 DAGEN

Bijlage XV Berekening van hydraulische diameter

Om de hydraulische diameter te bepalen van feedspacerloze kanalen, kanalen met feedspacers en spiraalgewonden membraanelementen is gebruik gemaakt van de berekeningen in Da Costa et al (1994). De hydraulische diameter van een kanaal met een feedspacer hangt sterk af van de geometrie van de feedspacer. De geometrie van een feedspacer wordt bepaald door de dikte van de filamenten in twee richtingen (d_{f1} en d_{f2}), de afstand tussen de filamenten in twee richtingen (l_{m1} en l_{m2}) en de hoek tussen de filamenten in twee richtingen (θ) (Figuur XV-1).



FIGUUR XV-1 GEOMETRIE FEEDSPACER

Allereerst wordt het volume (V_{sp}) berekend als functie van de dikte en onderlinge afstand van de filamenten.

$$V_{sp} = \frac{\pi}{4}\left(d_{f1}^2 \cdot l_{m2} + d_{f2}^2 \cdot l_{m1}\right) \qquad \text{(XV-1)}$$

Het oppervlakte van de spacer van de spacer (S_{sp}) wordt eveneens berekend als functie van de dikte en onderlinge afstand van de filamenten.

$$S_{sp} = \frac{1}{2}\left(2\pi d_{f1} \cdot l_{m2} + 2\pi d_{f2} \cdot l_{m1}\right) \qquad \text{(XV-2)}$$

Het specifieke oppervlak van de spacer is verhouding tussen het oppervlakte en het volume van de spacer.

$$S_{vsp} = \frac{S_{sp}}{V_{sp}} \qquad \text{(XV-3)}$$

De lege ruimte in het feedspacerkanaal ('voidage') wordt bepaald door het volume van de spacer ten opzichte van het totale volume. De lege ruimte (ϵ) kan worden berekend uit:

$$\epsilon = 1 - \frac{\pi\left(d_{f1}^2 \cdot l_{m2} + d_{f2}^2 \cdot l_{m1}\right)}{4 l_{m1} l_{m2} h_{sp} \sin\theta} \qquad \text{(XV-4)}$$

Hierin is h_{sp} de dikte (hoogte) van de spacer. De hydraulische diameter worden berekend uit de bovenstaande parameters met de volgende formule:

$$d_h = \frac{4\varepsilon}{\left(\frac{2}{h_{sp}}\right)+(1-\varepsilon)\cdot S_{vsp}} \quad \text{(XV-5)}$$

Uit literatuuronderzoek is een overzicht gemaakt van de geometrie van verschillende typen feedspacers (Tabel XV-1).

TABEL XV-1 GEOMETRIE VAN VERSCHILLENDE FEEDSPACERS

	d_{f1}	d_{f2}	l_{m1}	l_{m2}	h_{sp}	θ	d_h	Ref
	mm	mm	mm	mm	mm	°	mm	-
No spacer	1	0	100000	1	0,5	90	1,000	-
Toray PEC-1000	0,27	0,27	2,3	2,3	0,54	90	0,716	[1]
Naltex 1228	0,375	0,375	3	3	0,75	90	0,971	[1]
Desal RO	0,41	0,41	2,7	2,7	0,82	90	0,978	[1]
FilmTec FT30	0,385	0,385	2,8	2,8	0,77	90	0,959	[1]
Desal UF	0,755	0,755	3,1	3,1	1,51	90	1,384	[1]
Naltex 55	0,726	1,16	2,228	3,88	1,63	54,75	0,971	[2]
Conwed 1	1,03	1,03	2,17	2,17	2,01	90	0,997	[2]
Naltex 56	0,55	0,55	4,3	4,3	1,11	56	1,316	[2]
Naltex 51-1	0,5	0,7	2,89	5,37	1,17	51	1,228	[2]
Naltex 51-2	0,5	0,7	2,89	5,37	1,17	50,8	1,226	[2]
Sarlon	0,89	0,89	13,46	13,46	1,69	10	1,054	[2]
80mil-1	1,21	1,21	1,74	1,74	2,03	80	0,427	[2]
80mil-1E	1,21	1,21	4,73	4,73	2,03	80	1,692	[2]
UF-3	0,76	1,07	4,06	5,3	1,68	135	1,375	[2]

Schock & Miquel, desal 64 (1987) = [1] en Da Costa et al, JMS 87 (1994) = [2]

Met formule XV-5 kan de hydraulische diameter worden berekend van de verschillende soorten feedspacers (Tabel XV-1). In het rapport wordt uitgegaan van een standaard feedspacer (Desal RO) met een hydraulische diameter van 0,98 mm. De hydraulische diameter van een feedspacerloos systeem is 1,0 mm.