

KWR 2015.078 | November 2015

Innovative Water Treatment Technologies: AiRO

Lucht/water spoeling RO membranen

Innovative Water Treatment Technologies: AiRO

Lucht/water spoeling RO membranen

KWR 2015.078 | November 2015

Opdrachtnummer

400522

Projectmanager

E.F. Beerendonk

Opdrachtgever

TKI

Kwaliteitsborger(s)

J.A. Boere

Auteur(s)

E.R. Cornelissen, D.J.H. Harmsen

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

E.F. Beerendonk
T +31 (0)30 60 69 669
E erwin.beerendonk@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 15.*** | Mei 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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

In het kader van het TKI-AiRO project is onderzoek uitgevoerd naar de potentie van de AiRO-technologie voor buitenlandse markten en voor verschillende watertypen, zoals oppervlaktewater, gebruikt water en zeewater. In het project is een pilotstudie voorzien waarin de haalbaarheid van AiRO op oppervlakte water, gebruikt water en/of zeewater wordt bestudeerd. Allereerst wordt de marktpotentie van de AiRO-technologie in kaart gebracht op grond van een aantal criteria: (i) kosten, (ii) toepassingsmogelijkheden in het buitenland en op verschillende watertypen en (iii) beschermbaarheid.

Vanuit kostenberekeningen is de toepassing van AiRO zeer interessant met name voor gebruikt water en oppervlaktewater, waarbij besparingen zijn berekend tot 30% ten opzichte van state of the art scenario's. In een mondiaal groeiende watermarkt voor RO membranen is het toepassingsveld voor AiRO gunstig te noemen, vooral in de sterk groeiende Aziatische en golfregio markten. De IP-positie van AiRO is echter zwak, vanwege een vervallen AiRO-patent en een weinig succesvol geachte nieuwe patent aanvraag. De IP positie van het AiRO concept kan worden versterkt door het ontwikkelen van een geavanceerde proces controller waarin unieke ontwerp-, proces- en applicatiekennis wordt gebundeld om een voorsprong te behouden op eventuele concurrenten.

De consortiumpartners zijn overtuigd van de technologische en economische waarde en mogelijkheden van het AiRO proces bij de bereiding van drinkwater of proceswater vanuit verschillende waterbronnen. Zowel EIW als RHDHV benoemen AiRO bij mogelijke marktkansen en gebruiken AiRO in offerte-trajecten. Ook de marktkansen voor AiRO zijn gunstig, vanwege de nog steeds mondiaal groeiende watermarkt voor RO membranen. Maar vanwege te hoge kosten en te weinig concrete cases voor het ontwikkelen van een AiRO controller is begin 2015 besloten om het TKI-project te beëindigen.

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud	3
1 Inleiding	4
1.1 Introductie	4
1.2 Doelstellingen	4
2 Kostenvoordelen en toepassingsveld van AiRO-technologie	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Resultaten kostenanalyse	6
3 Beschermbaarheid van de AiRO-technologie	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Kansen om de huidige IP-positie te verbeteren	9
4 Ontwikkeling AiRO controller	12
4.1 Inleiding	12
4.2 Unieke kennis	12
4.3 Scope van een controller	12
4.4 Kosten van een controller	13
4.5 Eerste toepassing	14
5 Conclusies	15
Bijlage I Presentatie TKI workshop 28 mei 2015	16
Bijlage II H2O artikel	24

1 Inleiding

1.1 Introductie

Evides Industriewater (EIW), Royal Haskoning DHV (RHDHV) en KWR Watercycle Research Institute hebben de intentie een consortium te vormen om te komen tot valorisatie van recentelijk in Nederland ontwikkelde innovatieve zuiveringstechnologie. Om te komen tot het (nationaal en internationaal) verzilveren van ontwikkelde kennis en technologie zijn – afhankelijk van de stand van de ontwikkeling – verschillende stappen nodig, waarin ieder van de drie partijen een unieke positie en bijdrage heeft. Deze stappen variëren van marktonderzoek en -strategie, applicatieonderzoek of pilotonderzoek bij potentiële eindgebruikers, het betrekken van een launching customer voor marktintroductie in het betreffende marktsegment tot en met de bouw en bedrijfsvoering van de betreffende technologie. De consortiumpartners leggen in eerste instantie de focus op “Innovative Desalination Technologies” waarbij Nederlandse innovaties en kennis worden toegepast door Nederlandse bedrijven voor een efficiënter effluenthergebruik ten opzichte van bestaande hergebruikstechnieken (m.n. ultrafiltratie-omgekeerde osmose, UF-RO). Nadrukkelijk wordt gekeken naar optimale combinaties van technieken in hybride zuiveringsschema’s, waarbij de innovatieve technologie geplaatst wordt in een concept met voorbehandeling en nabehandeling (inclusief concentraatverwerking of -beperking).

Concreet wordt gekeken naar lucht/water gespoelde spiraalgewonden RO, het zogenaamde AiRO concept. Dit concept heeft de potentie om effluentbehandeling meer kosteneffectief te maken door een behandeling in één stap, een beter ontwerp en betere bedrijfsvoering. Met AiRO technologie wordt membraanreiniging efficiënter en goedkoper. Vervuiling van membranen is één van de belangrijkste problemen bij de toepassing van nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO). Een schone en goedkope oplossing voor vervuiling is het regelmatig spoelen met water en lucht. AiRO is een innovatie die door KWR sinds enkele jaren wordt onderzocht in BTO-, TTI- en Innowator verband. Bovendien beschikt Evides Industriewater over operational excellence door pilotonderzoek en toepassing van AiRO bij de 1400 m³/uur full-scale demiwaterplant (DWP) in de Botlek. RHDHV heeft ruime ervaring met het (inter)nationaal valoriseren van Nederlandse innovatieve zuiveringstechnologie en heeft doorlopend (inter)nationale leads op het gebied van waterhergebruik en ontzouting. Naast de (potentiële) technologische voordelen van AiRO, zoals hiervoor genoemd, is het voor een nadere invulling van het valorisatieproces nodig om vast te stellen waar AiRO staat in het kader van verdere marktintroductie.

1.2 Doelstellingen

In het kader van het project wordt:

1. De positie qua Intellectual Property (IP) van het AiRO concept bepaald en vastgesteld of unieke kennis en ervaring te beschermen is en of dat zinvol is met het oog op de marktpositie. Indien nodig, worden potentiële kansen ter verbetering van de IP positie in kaart gebracht.
2. In marktpotentie van het AiRO concept in kaart gebracht qua regio’s en/of landen en qua toepassing op diverse watertypen (oppervlaktewater, zeewater, effluent).
3. De potentie van AiRO bij de behandeling van diverse watertypen vergeleken met andere ontziltstechnieken aan de hand van technisch-economische evaluaties.

4. De ervaringen met AiRO binnen het consortium verzameld. Hiervoor worden data vanuit de ontwerpfasen en de bedrijfsvoering fase van de AiRO installatie op DWP Botlek van EIW geanalyseerd en belangrijke onderzoeksresultaten en -conclusies van KWR-projecten op een rij gezet.
5. De toepassing van AiRO buiten Nederland of op andere waterbronnen dan oppervlaktewater vergroot door het creëren van referentieprojecten (pilot en/of full scale).

Na de realisatie van de doelen 1 t/m 4 zal er een "Go / No Go" beslissing worden genomen waarbij het consortium beslist of de resterende doelstellingen worden onderzocht en gerealiseerd.

2 Kostenvoordelen en toepassingsveld van AiRO-technologie

2.1 Inleiding

Een belangrijk criterium voor de marktpotentie van AiRO is een kostenanalyse van AiRO ten opzichte van state of the art oplossingen. Met een aantal unique selling points heeft de AiRO-technologie de potentie om uit te groeien tot een succesvolle Nederlandse technologie die kan worden geëxporteerd naar het buitenland en mogelijk kan worden ingezet voor verschillende watertypen, zoals oppervlaktewater, gebruikt water en zeewater. De “total cost of ownership” is belangrijk voor de marktpotentie van AiRO. Er wordt specifiek gedacht aan AiRO als alternatief ten opzichte van micro- en ultrafiltratie (MF/UF) gevolgd door RO. Een kostenanalyse is uitgevoerd met de RHDHV kostenstandaard voor verschillende AiRO scenario's (oppervlakte water effluent/afvalwater en zeewater) door RHDHV en KWR. Ervaringen van de EIW DWP-installatie zijn gedeeld en zijn meegenomen in de kostenanalyse¹. Een eventuele flux verhoging, ten gevolge van minder biomassa in de RO elementen door het gebruik van AiRO, is niet meegenomen in de kostenanalyse. Door gebruik te maken van AiRO wordt minder down-time verwacht ten opzicht van state of the art CIP routines, dit is echter niet meegenomen in de kostenanalyse.

2.2 Resultaten kostenanalyse

2.2.1 Oppervlaktewater

Voor oppervlaktewater zijn drie verschillende scenario's op investerings- en exploitatiekosten met elkaar vergeleken. De kosten zijn bepaald voor de volgende scenario's:

1. Conventioneel schema: vlokvorming - ultrafiltratie - omgekeerde osmose
2. AiRO schema (flotatie): flotatie - snelfiltratie - AiRO
3. AiRO schema (vlokvorming): vlokvorming - snelfiltratie - AiRO

In de DWP-installatie wordt gebruik gemaakt van vlokingsfiltratie boven een filter (Dissolved Air Flotation - Filtration (DAFF)). Dit proces is niet beschikbaar in de RHDHV kostenstandaard. Het ligt in de verwachting dat de berekende kosten tussen scenario 2 en 3 in liggen. De uitkomsten van de kostenberekening staan vermeld in Tabel 2-1.

¹ 50% besparingen CIP, 50% verlenging membraanleeftijd, 10% hogere investering AiRO en 10% pomp druk verlaging.

TABEL 2-1 KOSTENBEREKENING VOOR CONVENTIONEEL EN TWEE AIRO SCHEMA'S OP OPPERVLAKTEWATER.

Capaciteit (m ³ /uur)	CONVENTIONEEL		AiRO - flotatie		AiRO - vlokvorming		BESPARINGEN - flotatie		BESPARINGEN - vlokvorming	
	INV (M€)	EXP (M€/jr)	INV (M€)	EXP (M€/jr)	INV (M€)	EXP (M€/jr)	INV (%)	EXP (%)	INV (%)	EXP (%)
100	5,4	0,8	4,9	0,7	4,2	0,6	9	13	22	25
500	14,4	2,0	14,5	1,8	12,1	1,5	-1	10	16	25
1000	21,1	3,0	19,6	2,5	17,1	2,1	7	17	19	30
2000	33,7	5,0	29,6	3,8	27,5	3,5	12	24	18	30

Er blijkt een gemiddelde besparing van 7% voor investeringskosten en 16% voor exploitatiekosten voor het AiRO schema met flotatie ten opzichte van het conventionele schema voor capaciteiten tussen 100 en 2000 m³/h. De gemiddelde besparingen voor het AiRO schema met vlokvorming zijn 19% voor investeringskosten en 28% voor exploitatiekosten voor capaciteiten tussen 100 en 2000 m³/h. Welk AiRO schema (flotatie versus vlokvorming) in aanmerking komt in een specifieke situatie, zal afhangen van de kwaliteit van het te behandelen watertype.

2.2.2 Effluent/afvalwater

Voor effluent/afvalwater zijn twee verschillende scenario's op investerings- en exploitatiekosten met elkaar vergeleken (zie punt 3. Criteria voor marktpotentie). De kosten zijn bepaald voor de volgende scenario's:

1. Conventioneel schema: vlokvorming – snelfiltratie – ultrafiltratie – omgekeerde osmose
2. AiRO schema: vlokvorming – snelfiltratie – AiRO

De uitkomsten van de kostenberekening staan vermeld in Tabel 2-2

TABEL 2-2 KOSTENBEREKENING VOOR CONVENTIONEEL EN AIRO SCHEMA OP EFFLUENT/ AFVALWATER.

Capaciteit (m ³ /uur)	CONVENTIONEEL		AiRO		BESPARINGEN	
	INV (M€)	EXP (M€/jr)	INV (M€)	EXP (M€/jr)	INV (%)	EXP (%)
100	6,4	1,0	4,2	0,6	34	40
500	17,1	2,3	12,1	1,5	29	35
1000	25,1	3,4	17,0	2,2	32	35
2000	40,5	5,6	27,5	3,5	32	38

Er blijkt een gemiddelde besparing van 32% voor investeringskosten en 37% voor exploitatiekosten voor het AiRO schema ten opzichte van het conventionele schema voor capaciteiten tussen 100 en 2000 m³/h.

2.2.3 Zeewater

Voor zeewater zijn twee verschillende scenario's op investerings- en exploitatiekosten met elkaar vergeleken (zie punt 3. Criteria voor marktpotentie). De kosten zijn bepaald voor de volgende scenario's:

1. Conventioneel schema: vlokvorming – lamellenbezinking – snelfiltratie – snelfiltratie – RO
2. AiRO schema: vlokvorming – lamellenbezinking – snelfiltratie – AiRO

De uitkomsten van de kostenberekening staan vermeld in Tabel 2-3.

TABEL 2-3 KOSTENBEREKENING VOOR CONVENTIONEEL EN AIRO SCHEMA OP ZEEWATER.

Capaciteit (m ³ /uur)	CONVENTIONEEL		AiRO		BESPARINGEN	
	INV (M€)	EXP (M€/jr)	INV (M€)	EXP (M€/jr)	INV (%)	EXP (%)
100	na	na	na	na	-	-
500	26,3	3,9	22,5	3,3	14	15
1000	48,1	7,0	42,2	6,0	12	14
2000	90,7	13,2	80,5	11,5	11	13

Er blijkt een gemiddelde besparing van 13% voor investeringskosten en 14% voor exploitatiekosten voor het AiRO schema ten opzichte van het conventionele schema voor capaciteiten tussen 100 en 2000 m³/h.

3 Beschermbaarheid van de AiRO-technologie

3.1 Inleiding

Voor de IP positie van AiRO is van belang dat er een octrooi aanvraag is ingediend op 07/10/2005 waarna het octrooi voor Nederland is toegekend op 11/04/2007. De verlengingstaksen waren verschuldigd per oktober 2009 en het octrooi is vervallen per 01/05/2009.

Uit het nieuwheids-onderzoek [3] blijkt dat de hoofdconclusies lastig octrooieerbaar zijn. Het gaat hierbij specifiek om conclusies 1 en 3 t/m 7 waarvoor bezwarende octrooien gevonden zijn. In deze conclusies gaat het vooral om het verticaal opstellen van membraanmodules en de specifieke bevestigings- en uitvoeringsvormen, uitvoering in enkele membraan-element vorm en meerdere elementen in een groter drukvat, inbreng van lucht, typische drukrange, materiaal en grootte van het drukvat en de verticale opstelling ervan.

De overige conclusies (inclusief 2) bouwen vooral voort op conclusies 1-7 en zijn daar verbijzonderingen van (zoals combinaties met bacteriedodende toevoegingen tijdens de flush, de terugwinning van deze chemicaliën, typische druk-ranges, type chemicaliën). Dit toont aan dat het octrooi van destijds naar verwachting van de octrooi-behandelaars een lastig verdedigbaar octrooi zou zijn geweest. Doordat het octrooi is vervallen is de technologie vrij toepasbaar. Opvallend is dat in het octrooi ook de werkwijze wordt beschreven van met lucht gesatureerd water toe te voegen. Dit is strijdig met het zogenaamde Clean Operator octrooi.

Het Nederlandse patent is niet omgezet in internationale aanvragen. Op basis van het nieuwheidsonderzoek is geconcludeerd dat de kans gering was.

Er kan worden geconcludeerd dat in geen enkele markt thans een rechtsgeldig, actief octrooi op AiRO bestaat. Er zijn voor 2006 al octrooien toegekend die strijdig zijn. Het Nederlandse octrooi van AiRO van destijds is verlopen, en kan ook in Nederland vrijelijk door eenieder worden toegepast. De kans dat alsnog een commercieel zinvolle octrooibescherming op de AiRO werkwijze kan worden bewerkstelligd is zeer gering.

3.2 Kansen om de huidige IP-positie te verbeteren

Er zijn 3 kansen gesignaleerd om de IP positie te verbeteren:

1. Nieuw octrooiaanvragen op de specifieke uitvoeringsdetails, bijvoorbeeld van de bevestiging van de bodemplaat zodat deze geschikt is voor een adequate luchtverdeling;
2. De unieke ontwerp en applicatiekennis en huidige voorsprong beschermen door een strategische samenwerking. Een uitvoering hiervan kan zijn een Memorandum of Understanding (MoU) te tekenen tussen de partijen
 - a) KWR die als ontwikkelaar cruciale ervaring heeft opgedaan (pilot tests, lab tests, monsternames etc.);
 - b) Evides die als gebruiker cruciale ervaring heeft opgedaan (Botlek met enkele jaren bedrijfsvoerings-kennis, diverse pilots zoals Harnaschpolder en projecten in Vietnam);

- c) RHDHV als ontwerpende partij van de DWP installatie te Botlek en als de partij die internationaal innovatieve watertechnologieproducten introduceert/vermarkt en daarbij een cruciaal netwerk beheert. In de MoU spreken de 3 partijen af op exclusieve basis samen te werken. Aangezien het octrooi is ontwikkeld in het door Nederlandse waterleidingbedrijven gefinancierde Bedrijfs Tak Onderzoek (BTO) verband zal toepassing binnen Nederland en België buiten de MoU vallen. Voor alle overige landen kan een dergelijke MoU in basis wél worden getekend en gestand worden gedaan door de 3 partijen;
3. Nieuw octrooi aanvragen op basis van een hybride model. Een hybride model combineert 2 (of meer) technologieën en ontleent een extra toegevoegde waarde doordat deze technologieën worden gecombineerd. In het projecthandvest wordt hieraan al gerefereerd en worden links geopperd naar bijvoorbeeld ionenwisseling, pellet reactor en concentraatbehandeling.

De inschatting van bovenstaande 3 kansen is als volgt:

1. Een specifiek octrooi is relatief zwak. De kans is realistisch dat -zodra de markt de nieuwe technologie adopteert- er met een iets andere uitvoering het octrooi wordt omzeild. Dit zijn de zogenaamde copycats. De procedure voor het aanvragen en onderhouden van een octrooi is duur. Deze kans wordt als risicovol beschouwd en niet aanbevolen;
2. Deze kans kent deels dezelfde risico's als kans 1 (copycats) aangezien de wezenlijke basis van de technologie onbeschermd is. De toegevoegde waarde van de MoU is dat specifieke ervaringen ten aanzien van toepassing op specifieke ruw water bronnen en belangrijke ontwerp-aspecten beschermd blijven en kunnen helpen om de voorsprong op anderen te behouden. Er zijn verder geen kosten aan verbonden. Streven zou zijn om op basis van de unieke kennis een "black box" te ontwikkelen die toegevoegde waarde heeft voor de eindgebruiker en applicatiekennis niet bloot geeft, bijvoorbeeld een AiRO-controller;
3. Een hybride octrooi kan interessant zijn, maar de slaagkans is vanwege de bestaande "state-of-art" niet erg groot. De volgende mogelijkheden zijn geïdentificeerd:
 - a) Koppeling met ionenwisseling (zoals de DWP installatie te Botlek). Dit is echter een niche toepassing omdat ionenwisseling en membraanfiltratie beide ontzouten. Bovendien bestaat er al een sterk octrooi op dit gebied (HERO). Daarnaast zal dit vooral interessant zijn in gebieden met waterschaarste, zoals inland desalination. Vaak zijn deze toepassingen op basis van grondwater zodat van fouling weinig sprake is;
 - b) Koppeling met pellet reactor. Zelfde als a) behalve dat hier -voor zover nu bekend- geen octrooi voor is. De toepassing is wel beschreven in de literatuur zodat het ook hier vrijwel onmogelijk zal zijn een sterk octrooi te vergaren;
 - c) Koppeling met NEREDA© technologie. Hierin zou het bestaande netwerk van RHDHV gebruikt kunnen worden. De kans dat hieruit een nieuw octrooi kan worden geclaimd is klein. Waarschijnlijk zijn al in de literatuur koppelingen beschreven tussen membraanfiltratie systemen en actiefslib systemen. Wellicht zou een patent-scan naar de koppeling van een biologische reactor met AiRO verkend kunnen worden. De recente pilot ervaringen van Evides op Harnaschpolder zouden dan wel moeten bevestigen dat er een technische slagingskans is om AiRO toe te passen op effluent ten opzichte van de conventionele stand der techniek. Bovendien wordt hiermee beperkt tot effluent-behandeling / water reuse en niet oppervlaktewater of zeewater.

TABEL 3-1 INSCHATTING VAN KANSEN OM IP POSITIE TE VERBETEREN

Kans	Regio	Toepassing	Sterkte IP
1	Wereld	Alle	Laag
2	Wereld, behalve Nederland/België	Alle	Laag
3a	Wereld	Niche	Laag
3b	Wereld	Niche	Laag
3c	NEREDA© toepassingen (vooral NL, Zuid Afrika, Brazilië, Zwitserland, Australië, India, Kroatië, Ierland, UK)	Effluent	Laag - te bevestigen

Op basis van bovenstaande status van de IP-positie en kansen om deze te versterken, is besloten om optie 2 (AiRO controller ontwikkelen) verder te onderzoeken.

4 Ontwikkeling AiRO controller

4.1 Inleiding

Om de IP positie van het AiRO concept te versterken wordt gedacht aan het ontwikkelen van een geavanceerde proces controller. In een AiRO proces controller wordt unieke ontwerp-, proces- en applicatiekennis gebundeld van het AiRO proces. RHDHV heeft reeds diverse controllers ontwikkeld voor geavanceerde software watertechnologie-oplossingen.

Voorbeelden zijn:

- Nereda controller – optimale aansturing van de Nereda zuiveringen;
- APRC – advanced pellet reactor control, optimale aansturing van pellet reactoren;
- OPIR – geavanceerde besturing van drinkwatersystemen met gebruik van verbruiksvoorspelling;
- CarCON – geavanceerde besturing van met name beluchting bij actief slib afvalwaterzuiveringen.

De redenen voor ontwikkeling van bovengenoemde controllers zijn vooral:

- Mogelijkheid bieden om op afstand het proces te kunnen volgen;
- Wereldwijde uniformiteit, snelle opstart van installaties en goed zicht op het proces;
- Zekerheid dat de zuiveringstechnologie binnen een gedefinieerd “operational window” adequaat reageert.

Controllers die door RHDHV zijn ontwikkeld worden gelanceerd vanuit de zogenaamde Aquasuite omgeving. Dit is een software platform voor geavanceerde besturing en monitoring van waterzuiveringsinstallaties zoals OPIR en CarCON.

4.2 Unieke kennis

Belangrijk bij de toepassing van een controller is de randvoorwaarde of de controller daadwerkelijk unieke kennis bevat. Volgens de projectgroep is dat het geval. Ervaringen van full-scale en reeds uitgevoerde pilot tests hebben dusdanige inzichten opgeleverd dat besturingen en setpoints superieur kunnen worden vastgesteld in vergelijking met eventuele concurrentie die deze ervaring niet heeft. Eventuele fouten bij de besturing van AiRO installaties hebben vervolgschade: meer chemicaliën- en energieverbruik, verkorting van membraanlevensduur en meer down-time.

4.3 Scope van een controller

Aangezien AiRO effect heeft op de chemische reiniging lijkt het logisch niet enkel de AiRO lucht/water spoeling in de controller onder te brengen, maar ook de chemische reiniging zelf (Cleaning In Place – CIP). Verder zal AiRO op alle drie beoogde toepassingen; oppervlaktewater, gebruikt water en zeewater inzetbaar moeten zijn.

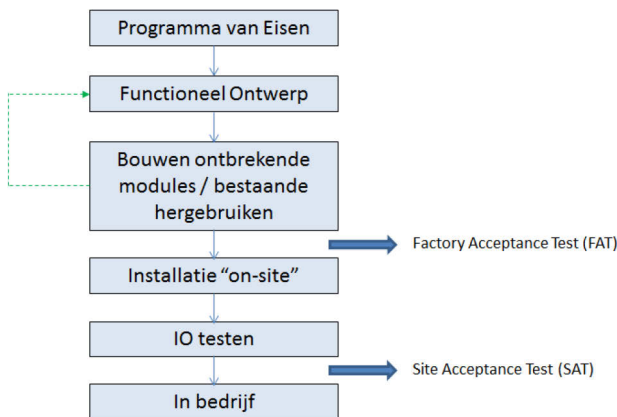
AiRO is één van de instrumenten waarmee de NF/RO membraanprestaties kunnen worden gemaximaliseerd. CIP is een ander instrument, evenals inline doseringen (antiscalant, biocide, natriumbisulfiet, zuur of loog). Indien de RO-installatie dat toelaat kunnen de maximale flux en/of de maximale recovery worden beperkt als de procescondities daartoe aanleiding geven (slechte watersamenstelling, lage temperatuur, onverwachte verslechtering van de genormaliseerde membraanprestatie).

De AiRO-controller, of breder geformuleerd de Membrane Performance Controller, berekent de genormaliseerde membraanprestaties. Essentieel zijn de genormaliseerde membraanpermeabiliteit ($MTC = K_w$), de genormaliseerde drukval over de feedspacer (NPD) en de genormaliseerde zoutpassage (NSP). Deze moeten idealerwijs berekend worden per array en per pass. Op basis van de ontwikkeling van deze signalen in de tijd kan de controller een luchtspoeling, een chemische reiniging met recept 1, 2 of 3, of een tijdelijke verlaging van de maximale flux adviseren. Ook kan de setpoint van een inline dosering worden aangepast (bijvoorbeeld meer zuur, minder antiscalant). Dit is met name van belang als de samenstelling van het voedingswater sterk kan variëren (industriële effluent).

Een volledig uitontwikkelde AiRO-controller (of Membrane Performance Controller) zal tot aanzienlijke kostenbesparing leiden. Ten eerste zal de netto flux van een RO/NF installatie hoger zijn (de gemiddelde beschikbaarheid is hoger), dus kan in het ontwerp worden volstaan met minder membraanelementen en minder drukbuizen. Dit heeft effect op de CAPEX. Ook zal de gemiddelde benodigde voedingsdruk lager zijn, dit heeft effect op de OPEX. Als laatste zal de gemiddelde levensduur van de membraanmodules langer zijn en dus zijn de kosten voor membraanvervanging lager (OPEX).

4.4 Kosten van een controller

De investeringen voor ontwikkeling van de AiRO controller worden globaal geraamd op 100 – 150 k€, afhankelijk van een nationale of internationale toepassing. Deze kosten zijn eenmalig. Het custom-made maken van iedere volgende controller zal ongeveer 25 k€ kosten. Daarnaast zullen jaarlijks licentiekosten afgedragen moeten worden aan het Aquasuite platform, afhankelijk van de installatiegrootte tussen de k€ 5 en 50. De ontwikkeling van een controller doorloopt de fasen van onderstaande afbeelding (Figuur 4-1):



Figuur 4-1 Ontwikkeling controller

Na formulering van het Programma van Eisen wordt het Functioneel Ontwerp gemaakt. Daarna worden de besturingsmodules (logische what – if – then –else omgeving) in blokken geproduceerd. Een aantal modules zullen herbruikbaar zijn vanuit reeds ontwikkelde modules in de Aquasuite, zoals start- en wachttijden voor parallel geschakelde zuiverings-eenheden. Er zullen ook een aantal modules speciaal ontworpen en geproduceerd moeten worden. In deze fase worden de modules getest in nauwe samenwerking met de onderzoekers / processtechnoloog / operator, om de proces-instellingen te optimaliseren en hun unieke kennis in te brengen. Vaak is dit op pilot test niveau en leert de praktijk –zoals bij Nereda- dat gedurende dit proces op het eerste oog kleine, maar in de praktijk significante, procesverbeteringen worden doorgevoerd. Zodra deze fase naar tevredenheid is

afgerond volgt de FAT. Nu is de controller gereed voor installatie op locatie. Nadat de controller on-site is getest kan de full-scale installatie in bedrijf.

De ontwikkeling van een controller vergt 6 à 12 maanden.

4.5 Eerste toepassing

Op dit moment liggen er 2 concrete cases die zouden kunnen worden gebruikt voor ontwikkeling van de controller: (i) aanbidding EIW bij PetroVietnam voor toepassing van een fullscale AiRO en (ii) uitbreiding van de DWP installatie te Botlek.

Een controller is niet los te zien van de contractvorm met de eindklant: bij het leveren van een product zal de klant (mogelijk) garanties vragen ten aanzien van de werking van dat product: procesgarantie. Consequentie is dan dat de AiRO installatie niet langer verkocht kan worden zonder controller en dat de controller dus ook een belangrijke functie heeft in de procesgarantie.

De consortiumpartners zijn overtuigd van de technologische en economische waarde en mogelijkheden van het AiRO proces bij de bereiding van drinkwater of proceswater vanuit verschillende waterbronnen. Zowel EIW als RHDHV benoemen AiRO bij mogelijke marktkansen en gebruiken AiRO in offerte-trajecten. Ook de marktkansen voor AiRO zijn gunstig, vanwege de nog steeds mondiaal groeiende watermarkt voor RO membranen. Maar vanwege te hoge kosten en te weinig concrete cases voor het ontwikkelen van een AiRO controller is begin 2015 besloten om het TKI-project te beëindigen.

In Bijlage I en Bijlage II zijn opbrengsten van het project vermeld. Bijlage I bevat de presentatie die tijdens de TKI workshop van 28 mei 2015 is gegeven. Bijlage II het H2O artikel dat naar aanleiding van dit TKI project is geschreven.

5 Conclusies

- Vanuit kostenberekeningen lijkt de toepassing van AiRO zeer interessant. Met name voor gebruikt water en oppervlaktewater, waarbij besparingen zijn berekend tot 30% ten opzichte van state of the art scenario's.
- In een mondiaal groeiende watermarkt voor RO membranen is het toepassingsveld voor AiRO gunstig te noemen, vooral in de sterk groeiende Aziatische en golfregio markten.
- De IP-positie van AiRO is echter zwak, vanwege een vervallen AiRO-patent en een weinig succesvol geachte nieuwe patent aanvraag.
- De IP positie van het AiRO concept kan worden versterkt door het ontwikkelen van een geavanceerde proces controller waarin unieke ontwerp-, proces- en applicatiekennis wordt gebundeld om een voorsprong te behouden op eventuele concurrenten.

De consortiumpartners zijn overtuigd van de technologische en economische waarde en mogelijkheden van het AiRO proces bij de bereiding van drinkwater of proceswater vanuit verschillende waterbronnen. Zowel EIW als RHDHV benoemen AiRO bij mogelijke marktkansen en gebruiken AiRO in offerte-trajecten. Ook de marktkansen voor AiRO zijn gunstig, vanwege de nog steeds mondiaal groeiende watermarkt voor RO membranen. Maar vanwege te hoge kosten en te weinig concrete cases voor het ontwikkelen van een AiRO controller is begin 2015 besloten om het TKI-project te beëindigen.

Bijlage I Presentatie TKI workshop 28 mei 2015



TKI AiRO 1

AiRO

Industriewaterproductie met AiRO-technologie, van idee tot praktijk

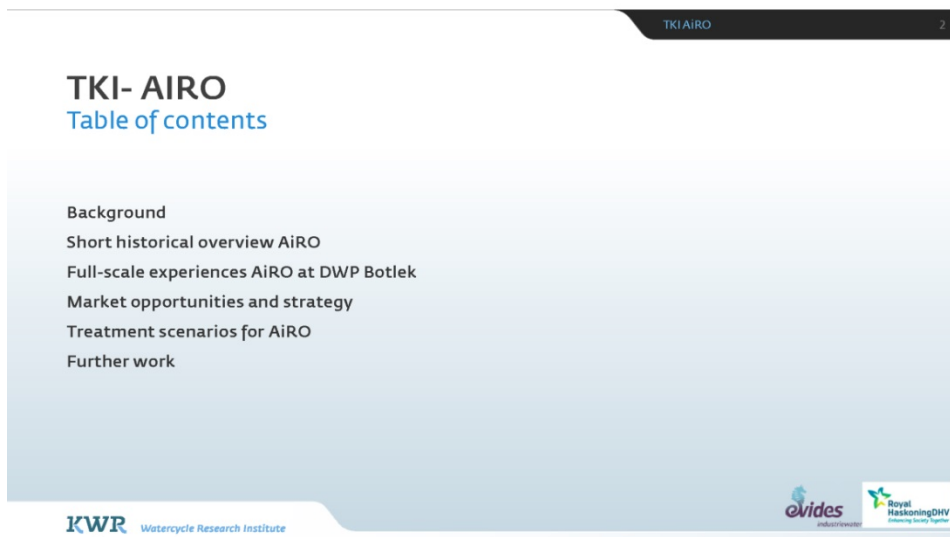
TKI workshop 28th May 2014

KWR Watercycle Research Institute

ewides

Royal HaskoningDHV Engineering. Science. Together.

The slide features a background image of a blue laboratory pipette with measurement markings at 1000 and 1500. The text is overlaid on a dark blue gradient on the left side.



TKI AiRO 2

TKI- AiRO
Table of contents

- Background
- Short historical overview AiRO
- Full-scale experiences AiRO at DWP Botlek
- Market opportunities and strategy
- Treatment scenarios for AiRO
- Further work

KWR Watercycle Research Institute

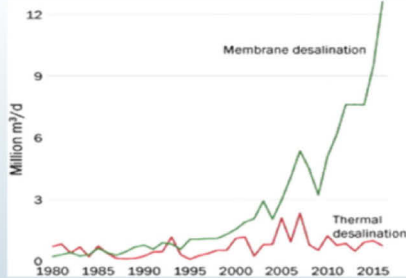
ewides

Royal HaskoningDHV Engineering. Science. Together.

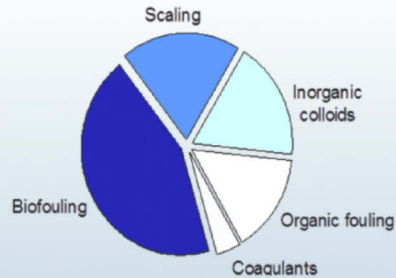
The slide has a light blue gradient background. The text is positioned on the left side, with logos at the bottom.

Background (1) Membrane market

DESAL MARKET



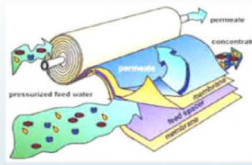
KHEDR, DESALINATION & WATER REUSE, 10(3) (2000)



Background (2) Membrane fouling



Operational problems



Decreasing water quality



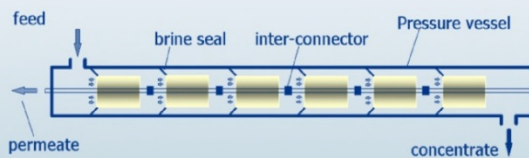
Increased cost

Background (3) Membrane fouling control strategies

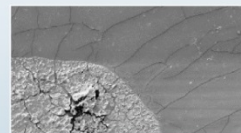
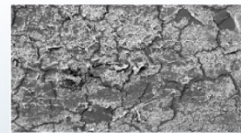
Two main strategies

- Intensive pre-treatment (preventive)
- Chemical cleaning (preventive & curative)

Current spiral wound NF/RO design



FOULED



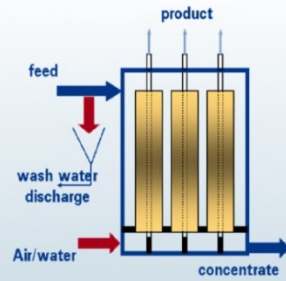
CLEANED

Background (4) Air/water cleaning (AiRO)

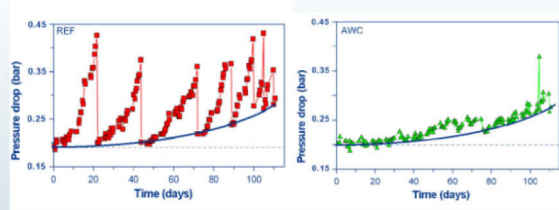
Alternative approach - AiRO

- Membranes parallel vertically positioned
- Application of periodic air/water cleaning in practice

Is this realistic?

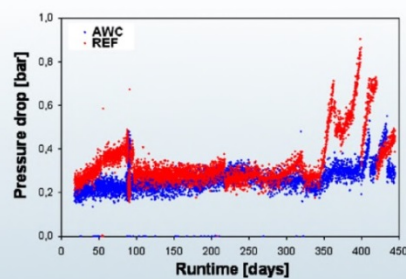


History AiRO (1) AiRO proof of principle (2006)



History AiRO (2) AiRO pilot trials at Evides (2009)

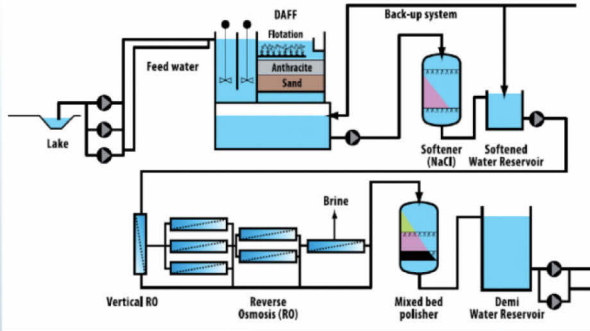
PRESSURE DROP IN TIME



PILOT SET-UP IN BAANHOEK (EVIDES)



Full-scale AiRO (1) AiRO full-scale at Evides (2010) – PFD



Full-scale AiRO (2) Demi Water Plant (DWP Botlek)

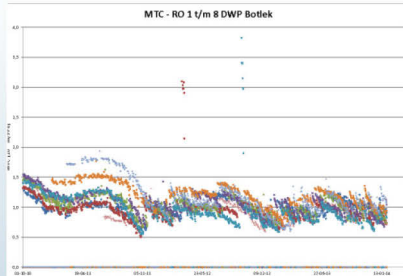
Capacity : 1,400 m³/h industrial
Feed : Brielse Lake Water (surface water)

- 8 x RO parallel skids
- 4 stages (24x1 + 21x6 + 11x6 + 6x6) = 252
- Recovery 85% (AiRO recovery 10%)
- Var. flux 20 – 25 l/mh (AiRO flux 25-30 l/mh)
- Air water frequency < 1x every 8 weeks

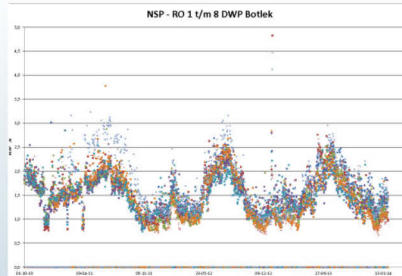


Full-scale AiRO (3) Operational experiences

PERMEABILITY IN TIME

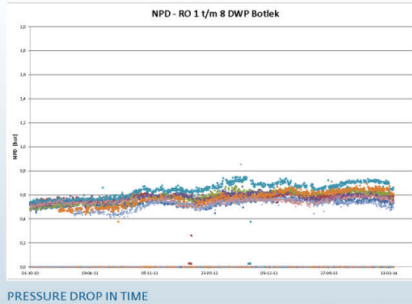


SALT PASSAGE IN TIME



Full-scale AiRO (4) Operational experiences

- No membrane integrity loss
- No pressure drop increase
- Lower E consumption (-10%)
- Less chemical consumption
 - 1x CIP per 2 year (-95%)
 - Longer expected life time membranes (+50%)



Market opportunities (1) Full-scale experience TKI partners

Evides has 3,5 year experience with full scale AiRO installation (192 pressure vessels).

RHDHV designed the Botlek treatment. Worldwide provider of unique WT technology (Nereda, Crystallactor,...)

KWR has 8 years experience with lab- and pilot scale AiRO installation, and published more than 10 papers on the subject



Market opportunities (2) Merits of AiRO

- AiRO is suitable to control pressure drop increase in feed spacer channel, due to
- Biofouling (primary)
 - Particulate fouling (secondary).

Preventive AiRO to keep pressure drop increase at a low level and/or

Corrective AiRO at high pressure drops, to complement or replace CIP



Market opportunities (3)

AiRO suitable for high biofouling potential water types

GROUNDWATER



Small and simple treatment
Low energy demand
Availability under pressure

SURFACEWATER



Extensive treatment
Energy (<0,25 kWh/m³)
Limited availability
Deteriorating quality (OMPs)
AiRO POTENTIAL (++)

SEAWATER



Extensive treatment
High energy (2-3 kWh/m³)
Islands and coastal areas
Focus on energy saving
AiRO POTENTIAL (+/-)

WASTEWATER/EFFLUENT



Extensive treatment
Energy intensive
Good availability
Limited public acceptance
AiRO POTENTIAL (+)

Market opportunities (4)

Other water types for AiRO applications

Possible AiRO can be used for desalination of strongly fouling water types

Examples are side stream-applications, waste water streams (brines); as a part of ZLD-processes



Market opportunities (5)

Commercial evaluation

CAPEX AiRO > CAPEX conventional RO

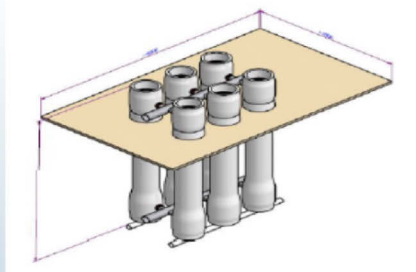
- more pressure vessels at same capacity.

OPEX AiRO < OPEX conventional RO

- CIP, feed pressure and salt passage.

Limit CAPEX by using more elements per vertical pressure vessel (how about cleaning of subsequent elements?)

Larger diameter elements (16 of 18 inch)



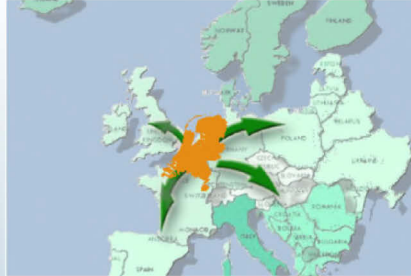
Market opportunities (6)

Valorization outside the Netherlands

Exporting AiRO technology

Unique Selling Points

- Cost OPEX saving
- Energy saving (less clogging)
- Chemical saving and extend membrane life time (less CIP)
- Improve capacity by higher flux (?)
- Individual monitoring 1st element
- Retrofitting is possible



Treatment scenarios for AiRO (1)

Membrane pre-treatment (soil passage versus open intake)

1. Natural filtration

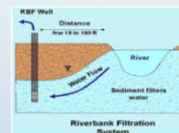
- Beach wells or dunes
- Bank Filtration

2. Open-take

- Algae growth ?
- (Re-)suspended particles ?
- Sludge discharge ?



CARLSBAD (SAN DIEGO) - OPEN INTAKE



Treatment scenarios for AiRO (2)

Surface water treatment - Conventional scenario's

- Coag/Floc/Sed - MF/UF - NF/RO
- In-line coag - MF/UF - NF/RO

Examples

- PWN, EdeA, Kisuma, Norit, AKZO Nobel, Rijnmond Energy, Evides: Baanhoek



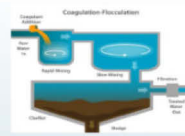
Treatment scenarios for AiRO (3) Surface water treatment – AiRO scenario's

- Coag/Floc/Sed – RSF – AiRO
- In-line coag – RSF – AiRO

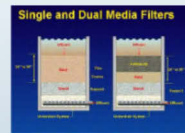
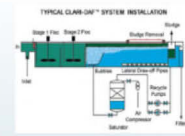
Challenges

- Algae growth (DAF)
- Suspended particles (no in-line coag)
- Possible flux enhancement with AiRO ?

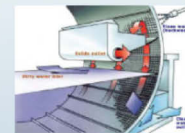
COAG./FLOC./SED.



COAG./FLOC./DAF



SINGLE/DOUBLE LAYER FILTRATION



(MICRO)SIEVES

Further activities

1. Selection scenario's for surface water, seawater and effluent treatment
2. Cost calculation (calculate treatment cost of selected scenario's (RHDHV/KWR))
3. Unique Selling Points for the AiRO technology
4. Pilot on effluent (prove AiRO on effluent) – Harnaschpolder
5. GO / NO GO after consolidation of market potential

TAKE HOME MESSAGES

- For difficult water types AiRO offers a robust, versatile and cost effective RO treatment
- This is proven on full-scale for surface water, and will be verified for effluent water



Thanks for your attention
Any questions?

Bijlage II H2O artikel

Periodiek spoelen met lucht en water (AiRO) voorkomt membraanvervuiling in hogedrukfiltratie-membranen

Danny Harmsen, Emile Cornelissen, Erwin Beerendonk (KWR), Martin Pot, Sjack van Agtmaal (Evides Industriewater)

Hogedrukfiltratie biedt vele voordelen, maar membraanvervuiling leidt tot operationele problemen. Om de vervuiling te beheersen worden membranen daarom op gezette tijden gereinigd. De effectiviteit van deze reiniging is sterk afhankelijk van de hydraulische omstandigheden. Deze kunnen verbeterd worden met lucht- en waterspoeling (AiRO) in verticaal geplaatste spiraalgewonden membraanelementen. Uit lab-, pilot- en full-scale onderzoek van KWR en Evides Industriewater in de periode 2005-2013 blijkt dat AiRO effectief is in het beheersen van de drukvaltoename en het verwijderen van biomassa en deeltjes. Evides Industriewater heeft de eerste succesvolle full-scale toepassing van AiRO in bedrijf.

Membranefiltratie wordt steeds vaker toegepast bij (drink)waterbehandeling. Dit biedt vele voordelen, maar hogedrukfiltratie-membranen (voor nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO)) hebben last van vervuiling, met name biofouling. Dit resulteert in operationele problemen (verstopping van het voedingswaterkanaal en daling van productwateropbrengst), en dat leidt weer tot hogere kosten en in sommige gevallen een mindere waterkwaliteit. Membranen worden daarom op gezette tijden gereinigd.

De effectiviteit van membraanreiniging is sterk afhankelijk van de hydraulische omstandigheden in spiraalgewonden membraanelementen (SWM) [1]. Om de hydraulische omstandigheden te verbeteren, is een nieuw reinigingsconcept ontwikkeld, dat gebruik maakt van lucht- en waterspoeling in verticaal geplaatste SWM-elementen [2]. Dit innovatieve concept staat bekend als het AiRO-concept. Het doel van AiRO is om

1. de voorbehandeling van het voedingswater te beperken,
2. het gebruik van chemische reinigingsmiddelen te verminderen,
3. het energieverbruik bij hoge druk membraanfiltratie-installaties (NF/RO) te verlagen.

Aan het einde van de jaren '90 van de vorige eeuw vond een eerste verkennend onderzoek naar deze nieuwe techniek plaats bij WMO (Waterleiding Maatschappij Overijssel, het huidige Vitens). Hierbij werd succesvol sporadische luchtspoeling toegepast op vervuilde spiraalgewonden NF- en RO-modules. Dit leverde een Nederlands octrooi op [3]. De eerste gepubliceerde ervaringen met het periodiek spoelen met lucht en water (AiRO) waren eveneens veelbelovend. AiRO resulteerde in een effectief herstel van de membraanprestaties zonder verlies van de membraanintegriteit [2].

Sinds 2010 is een 1400 m³/uur full-scale demiwaterinstallatie (DWP, afbeelding 1) in het Botlekgebied van het Havenbedrijf Rotterdam in gebruik. Bouwer en beheerder van de

installatie is Evides Industriewater. De DWP is de eerste en tot nu toe enige AiRO membraaninstallatie op praktijkschaal.



Afbeelding 1. De 1400 m³/uur full-scale demiwaterinstallatie (DWP) in de Botlek van Evides Industriewater

Proefopzet

In de periode 2005-2013 zijn er meerdere lab- en pilot-scale onderzoeken gedaan op verschillende watertypen. Een aantal van deze onderzoeken wordt hieronder beschreven.

Membrantestcel

Voor kortdurende laboratoriumproeven werd een zogenaamde membraanvervuilingsimulator (MFS) gebruikt als testcel [4]. In een MFS wordt een membraanvel met een voedingspacer geplaatst en kan vervuiling visueel in situ worden bestudeerd. De MFS is zo ontworpen dat vergelijkbare hydraulische condities worden bereikt als bij het gebruik van spiraalgewonden membraanelementen in de praktijk. Perslucht werd via de ingang van het voedingskanaal van de MFS geïntroduceerd en gemengd met voedingswater. Gedurende drie weken werd een RO-membraanvel gevoed met leidingwater uit Nieuwegein. Aan dit water werd natriumacetaat toegevoegd om de groei van biofilm te promoten. Voor het reinigen werd de MFS verticaal gezet, en het membraan werd gedurende een half uur gespoeld met lucht en water. De gecumuleerde biomassa van het membraanvel voor en na spoeling werd verzameld en gesuspenseerd. Deze suspensie werd geanalyseerd op adenosine-trifosfaat (ATP) om de concentratie van actieve micro-organismen te bepalen.

2,5 inch membraan installatie

Voor langeduur-AiRO-experimenten werd een membraanfiltratie-opstelling gebruikt met drie parallel verticaal opgestelde 2,5 inch membraanelementen (afbeelding 2). De membranen werden gevoed met Nieuwegeins drinkwater. Aan ieder afzonderlijk element werd aan de voedingszijde natriumacetaat gedoseerd om biofilmvorming te promoten.

De test duurde 42 dagen. Het eerste membraanelement werd niet gespoeld (referentie), het tweede element dagelijks en het derde membraanelement éénmalig, aan het einde van de test op dag 42. Elke spoeling duurde 5 minuten. Na de test zijn de elementen uit de installatie gehaald en aangeboden voor autopsie. Membranautopsies werden op vergelijkbare wijze

uitgevoerd als hierboven beschreven is voor de MFS, waarbij biologische parameters (ATP en koolhydraten) werden bepaald.

8 inch membraanelementen installatie

Een opstelling (afbeelding 3) met twee parallel verticaal opgestelde 8 inch membraan-elementen werd gedurende 16 maanden gevoed met oppervlaktewater dat was voorbehandeld met coagulatie en UF. Het eerst element (referentie) werd alleen met lucht en water gespoeld als het drukverschil over het membraan groter werd dan 0,6 bar om beschadiging van het element te voorkomen. Het tweede element werd dagelijks gedurende 3 minuten gespoeld.



Afbeelding 2. AiRO-opstelling met drie parallelle 2,5 inch SWM RO-elementen bij KWR



Afbeelding 3. AiRO-opstelling met twee parallelle 8 inch SWM RO-elementen bij Evides Industriewater

Resultaten en discussie

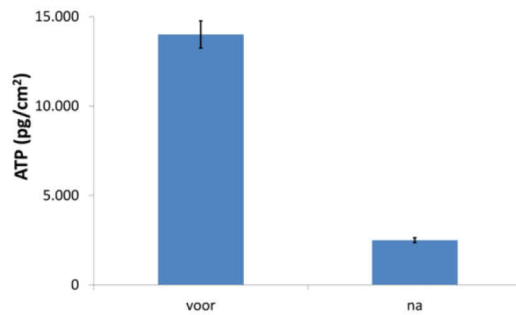
Laboratoriumtest membraantestcel

Uit de testen met de MFS blijkt dat er tijdens het spoelen over de hele lengte en breedte van het stromingskanaal van het MFS een fijne verdeling van luchtbelletjes plaatsvindt (afbeelding 4). De luchtbelletjes in het spacergedeelte van het kanaal zijn ongeveer even groot als de ruitachtige filamenten van de voedingspacer. Grotere belletjes aan de voedingszijde van de MFS worden blijkbaar gebroken door de voedingspacer [5]. Tijdens het spoelen is de hoeveelheid lucht in de testcel niet constant. Momenten met een kleine hoeveelheid luchtbelletjes werden gevolgd door momenten met een grote hoeveelheid luchtbelletjes in de testcel. Dit zorgt voor een hoge turbulentie aan de voedingszijde van de MFS tijdens de spoeling [6].



Afbeelding 4. Fijn verdeelde luchtbelletjes tijdens spoelen met lucht en water over de lengte en breedte van het membraan-kanaal

Het AiRO-experiment begon met ernstige biofouling op het membraanoppervlak van de voedingspacer (bruin kleverig vastzittend materiaal). Na een lucht- en waterspoeling van 30 minuten leek een groot deel van de biomassa verwijderd te zijn, wat werd bevestigd door ATP-metingen. De ATP-concentratie daalde van 14.000 pg ATP/cm² naar 2.500 pg ATP/cm² (83 % reductie) (afbeelding 5). Dit betekent dat deze lucht- en waterspoeling zeer effectief is voor het verwijderen van biomassa, al wordt niet 100% verwijderd.



Afbeelding 5. Verwijdering van biomassa van een vervuild membraanvlak in een MFS met behulp van lucht- en waterspoeling (uitgedrukt in ATP) (uit [5])

Pilot met 2,5 inch RO elementen

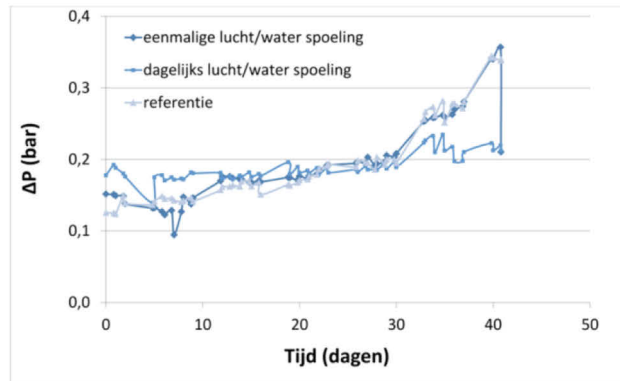
Uit de testen met de MFS blijkt dat spoelen met lucht en water een effectieve methode is om drukvaltoename over het voedingskanaal van het membraan te beheersen wanneer water met veel nutriënten wordt gebruikt. Dit komt door de hogere turbulentie tijdens de spoeling.

Uit de test met drie parallel verticaal opgestelde membraanelementen blijkt dat met lucht- en waterspoeling de drukval met succes kan worden beheerst. Dit is te zien in afbeelding 6. Doordat de initiële drukval bij alle drie anders was, lijkt er op het eerste gezicht weinig verschil tussen de methoden op te treden, maar nadere beschouwing laat zien dat dagelijkse spoeling wel degelijk effectief is. Waar de drukval met 172% toenam voor het referentie-element, was dit 39% voor het éénmalig gespoelde element, en slechts 11% voor het dagelijkse gespoelde element.

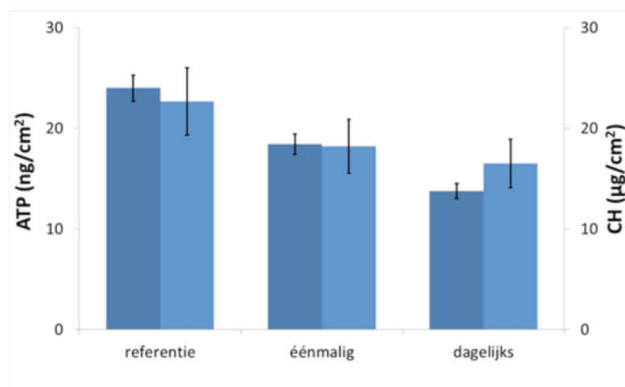
Lucht- en waterspoeling bleek de drukvaltoename over het membraan element niet volledig te kunnen voorkomen (afbeelding 6). Dit werd bevestigd door autopsie van de membranen waarbij de afzetting van biomassa werd gemeten aan de hand van ATP (als maat voor actieve biomassa; zie donkerblauwe balkjes in afbeelding 7) en koolhydraten (CH₂O), als maat voor actieve en inactieve cellen en extracellulaire polymere stoffen; zie lichtblauwe balkjes in afbeelding 7).

De bacteriële hechting bleek zeer sterk te zijn, want na intensieve spoeling is slechts een beperkte daling in ATP en CH₂O waarneembaar (maximale verlaging van 40 %). De lagere

drukvaltoename suggereert dat lucht- en waterspoeling verstopping van het voedingskanaal voorkomt of vermindert en dat biomassa maar beperkt wordt verwijderd.



Afbeelding 6. Drukval in de tijd voor 2,5 inch SWM RO-elementen met en zonder spoeling. Voedingswater was Nieuwegeins drinkwater verrijkt met natriumacetaat.



Afbeelding 7. Gemiddelde concentratie ATP (ng/cm², donkerblauw) en CH (μg/cm², lichtblauw) tijdens experimenten met lucht- en waterspoeling

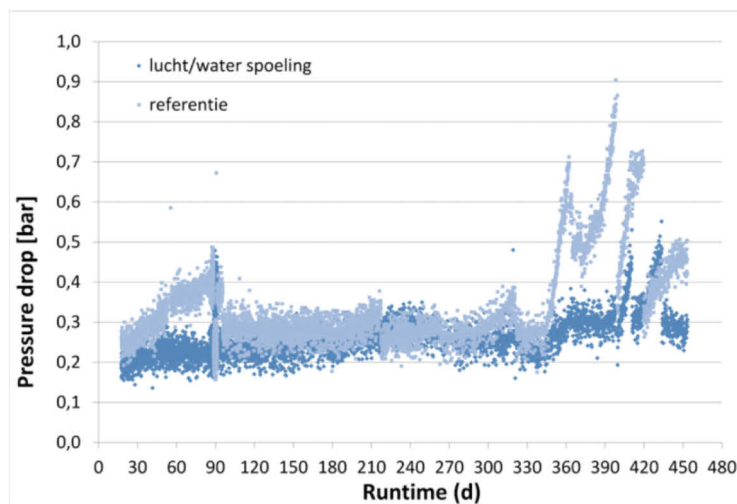
Pilot test met 8 inch SWM RO elementen

Lucht- en waterspoeling bleek ook drukvaltoename ten gevolge van membraanvervuiling in 8 inch SWM elementen bij toepassing op oppervlaktewater te voorkomen (afbeelding 8). Bij het referentie-element nam de drukval toe van 0,2 bar naar 0,4 bar gedurende de eerste 90 dagen. De daaropvolgende lucht- en waterspoeling bracht de drukval terug naar de initiële waarde van

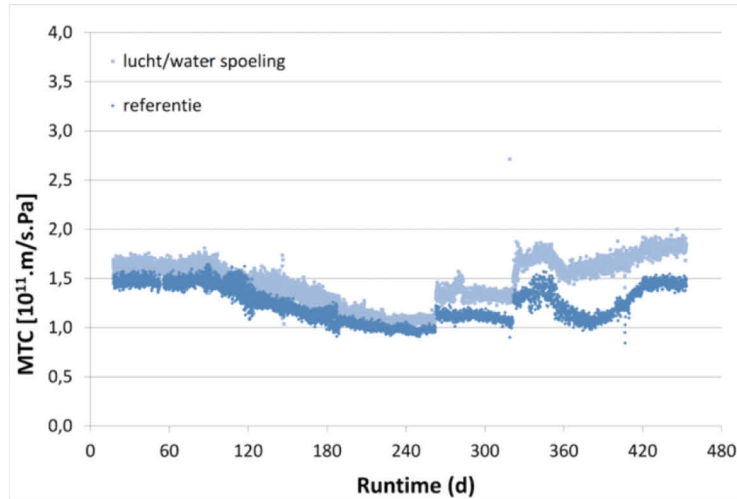
0,2 bar. Na 300 dagen nam de drukval drastisch toe om vervolgens na een lucht- en waterspoeling weer terug te keren richting de 0,2 bar. In het element met dagelijkse lucht- en waterspoeling is de drukvaltoename onder controle. De drukvaltoename werd veroorzaakt door membraanvervuiling (hoofdzakelijk biofouling), zoals bleek bij een membraanautopsie.

Bij het onderzoek wordt ook gekeken naar de membraanintegriteit: de mate waarin het materiaal zijn eigenschappen behoudt. De membraanintegriteit werd niet beïnvloed door dagelijkse lucht- en waterspoeling gedurende de 16 maanden dat de twee parallelle 8 inch SWM elementen in bedrijf waren. Dit volgt uit de permeabiliteitsgegevens uitgedrukt in de massatransportcoëfficiënt (MTC) (afbeelding 9).

De membraanpermeabiliteit laat een vergelijkbare ontwikkeling zien als de drukval over de twee geteste elementen. Een afname van de MTC van dag 0 tot dag 270 werd gevolgd door een toename van de MTC tot dag 450. De toe- en afname in MTC werd waarschijnlijk veroorzaakt door variaties in de waterkwaliteit van het voedingswater. De membraanpermeabiliteit van het element met dagelijkse lucht- en waterspoeling was aanvankelijk hoger en bleef hoger gedurende de 16 maanden dat er werd getest. Aan het einde van de test werd een lichte toename van de MTC waargenomen ten opzichte van het referentie-element. De zoutpassage bleef voor beide elementen ongewijzigd (resultaten hier niet weergegeven) wat ook wijst op een onveranderde membraanintegriteit.



Afbeelding 8. Drukval in de tijd voor twee parallelle 8 inch SWM elementen met en zonder lucht- en waterspoeling



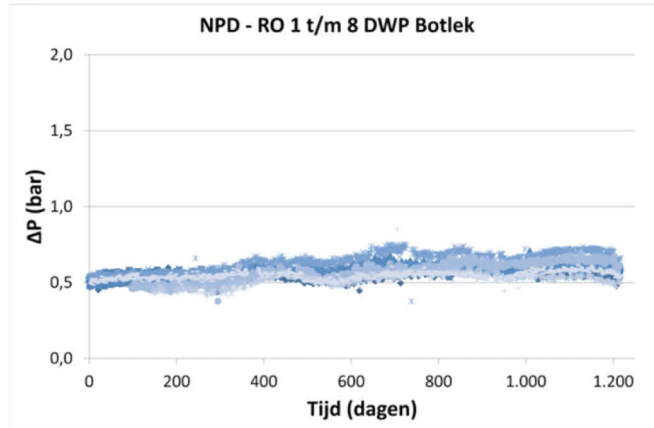
Afbeelding 9. Permeabiliteit in de tijd voor twee parallelle 8 inch SWM elementen met en zonder lucht- en waterspoeling

Eerste full-scale ervaringen met AiRO van Evides Industrierwater

De goede resultaten beschreven in de voorgaande paragrafen resulteerden in 2010 in de bouw van de eerste 1400 m³/uur AiRO full-scale demiwaterinstallatie (DWP), in het Botlekgebied van het Havenbedrijf Rotterdam. Hiervoor wordt voorbehandeld oppervlaktewater gebruikt (afbeelding 1). De full-scale DWP fabriek werd gebouwd en wordt beheerd door Evides Industrierwater. In de DWP installatie bevinden zich acht aparte drietraps RO-straten, waarvan in de eerste trap 24 8 inch SWM elementen verticaal zijn geplaatst voor periodieke lucht- en waterspoeling. De opvolgende twee trappen zijn ontworpen als een conventionele (horizontale) RO-installatie.

Enkele nadelen van de huidige state of the art NF/RO-installaties zijn het hoge energieverbruik – gedeeltelijk veroorzaakt door membraanvervuiling – en het gebruik van chemische reinigingsmiddelen. AiRO pakt beide nadelen aan, wat resulteert in een lager energieverbruik (geschatte besparing 25%) en een lager verbruik van zuren, basen, detergenten, enzymen, biociden en complexvormers zoals EDTA (geschatte besparing 80%). De eerste ervaringen met de full-scale DWP-installatie in de Botlek bevestigen dit. De kosten voor de AiRO installatie bedroegen ongeveer 1% van de totale investeringskosten voor de DWP-installatie. De besparingen zijn 5-10% op de energierekening – als gevolg van de verlaging van de jaarlijkse gemiddelde voedingsdruk voor de RO – en 95% in het chemicaliënverbruik. Verder neemt de levensduur van de membraanmodules toe met naar verwachting 50%.

De effectiviteit van de lucht- en waterspoeling in het beheersen van de drukvaltoename werd in de eerste jaren na in bedrijfstelling van de full-scale DWP-installatie bevestigd (afbeelding 10). Gedurende die periode kwam de drukval niet boven de 0,8 bar uit. Gedurende de eerste 250 dagen werd de DWP-installatie gevoed met drinkwater (omdat de voorbehandeling van het oppervlaktewater nog niet gereed was). Daarna werd er overgeschakeld op voorbehandeld oppervlaktewater.

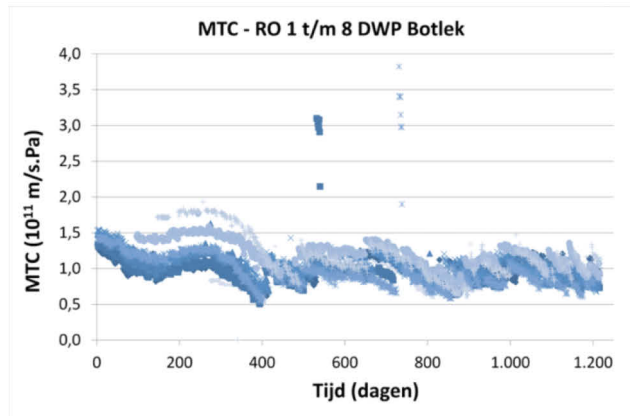


Afbeelding 10. Drukvaltoename in de tijd bij 8 stacks van verticaal geplaatste 8 inch SWM-elementen met lucht- en waterspoeling in de full-scale DWP installatie (Botlek)

Lucht- en waterspoeling wordt in de Botlekopstelling toegepast als de drukval stijgt met 5-10 %. In de praktijk betekende dit dat er gedurende de zomerperiode een maandelijkse lucht- en waterspoeling plaatsvond die samenviel met een algenbloeiperiode, die voor substantiële membraanvervuiling zorgde. Gedurende de eerste 250 dagen daalde de permeabiliteit, uitgedrukt als MTC (afbeelding 11), van 1,5 naar $1,0 \cdot 10^{11}$ m/s.Pa. Nadat werd overgeschakeld op voorbehandeld oppervlaktewater daalde de permeabiliteit met ongeveer met 20%, waarschijnlijk als gevolg van membraanvervuiling.

Conclusies

- AiRO is effectief in het beheersen van de drukvaltoename als gevolg van membraanvervuiling.
- AiRO verwijdert succesvol biomassa van de membraanelementen.
- AiRO kan biomassa effectief, maar niet voor 100%, verwijderen in SWM elementen
- De integriteit van de membranen werd niet aangetast door AiRO gedurende 20 maanden bedrijfsvoering.
- De eerste succesvolle full-scale toepassing van AiRO (DPW Botlek) is op dit moment in bedrijf. De installatie zorgt voor een lager energieverbruik (10 %) en chemicaliënverbruik (95%).



Afbeelding 11. Membraanpermeabiliteit, uitgedrukt als MTC-ontwikkeling in de tijd, bij 8 stacks van verticaal geplaatste 8 inch SWM elementen met lucht- en waterspoeling in de full-scale DWP installatie (Botlek)

Het onderzoek werd onder andere uitgevoerd in het TTIW-samenwerkingskader van Wetsus, centre of excellence for sustainable water technology (www.wetsus.nl). Wetsus wordt gefinancierd door de ministeries van Economische Zaken en van Infrastructuur en Milieu, the European Union Regional Development Fund, de provincie Fryslân en het EZ / Kompas-programma van het Samenwerkingsverband Noord-Nederland. Verder is het onderzoek in belangrijke mate mogelijk gemaakt door het Bedrijfstakonderzoek Waterleidingbedrijven (BTO), inclusief bijdragen van Evides, Vitens en Hatenboer Water. Binnen het huidige programma van Topconsortia Kennis en Innovatie Watertechnologie (TKI) wordt gewerkt aan het verder valoriseren van de AiRO-technologie.

Literatuur

1. Kooij, D. van der, Hijnen, W. A. M., & Cornelissen, E. R. (2010). Biofouling of Spiral-Wound Membranes in Water Treatment, Water Research Foundation, Denver, Colorado.
2. [Cornelissen, E. R., Vrouwenvelder, J. S., Heijman, S. G. J., Viallefont, X. D., Van Der Kooij, D., and Wessels, L. P. (2007). Periodic air/water cleaning for control of biofouling in spiral wound membrane elements, *Journal of Membrane Science*, 287(1), 2007b, 94-101.
3. Peter Wessels, Bas Rietman, Ron Jong, "Werkwijze en inrichting voor het zuiveren van oppervlaktewater" Octrooi 1019130
4. Vrouwenvelder, J. S., Bakker, S. M., Wessels, L. P., and van Paassen, J. A. M. The Membrane Fouling Simulator as a new tool for biofouling control of spiral-wound membranes. *Desalination*, 204(1-3 SPEC. ISS.), 2007, 170-174.
5. Cornelissen, E. R., Rebour, L., van der Kooij, D., and Wessels, L. P. Optimization of air/water cleaning (AWC) in spiral wound elements. *Desalination*, 236(1-3), 2009, 266-272.
6. Verberk, J. Q. J. C., and van Dijk, J. C. Air sparging in capillary nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 284(1-2), 2006, 339-351.