



André van Bentem, DHV
 Philip Schyns, Waterschap Rijn en IJssel
 Coert Petri, Waterschap Rijn en IJssel
 Cora Uijterlinde, STOWA

Demonstratie MBR Varsseveld geslaagd

De rioolwaterzuiveringsinstallatie Varsseveld is de eerste huishoudelijke membraanbioreactor op praktijkschaal in Nederland. In december 2004 is de membraanbioreactor in bedrijf genomen. In 2005 heeft een projectteam, aangevoerd door Waterschap Rijn en IJssel, DHV en de STOWA, een uitgebreid onderzoeksprogramma uitgevoerd. Dit onderzoek heeft aangetoond dat de membraanbioreactortechnologie toepasbaar is voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland. De kennis en ervaring die hierbij is opgedaan, kan worden toegepast bij het ontwerp van nieuwe MBR-installaties.

De toepassing van de membraanbioreactor (MBR) kan een belangrijke vooruitgang betekenen voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. In vergelijking tot de traditionele zuiveringstechnieken wordt op een aanzienlijk geringer oppervlak een betere effluentkwaliteit verkregen. In Nederland is de laatste jaren door middel van pilootonderzoek op verschillende lokaties (rwzi's van Beverwijk^{1,2}), Maasbommel³), Hilversum⁴) en Leeuwarden) ervaring opgedaan met de MBR-technologie. De onderzoeksresultaten hebben geleid tot het besluit een MBR-demonstratie-installatie te bouwen op de rwzi Varsseveld van het Waterschap Rijn en IJssel. Deze eerste MBR op praktijkschaal in Nederland is in december 2004 in bedrijf genomen⁵). In dit artikel zijn de resultaten van het hieraan gekoppelde onderzoeksprogramma beschreven.

Onderzoeksprogramma

De MBR Varsseveld heeft als demonstratie-installatie tot doel om aan te tonen dat de MBR-technologie toepasbaar is voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland. Dit betekent dat de MBR vergaande effluenteisen moet kunnen halen onder stabiele condities en tegen redelijke kosten. Vanuit deze gedachte zijn de volgende doelstellingen voor het onderzoek geformuleerd: vaststellen van de technologische resultaten, optimaliseren van de procesvoering en aantonen van een stabiele bedrijfsvoering, evalueren van het ontwerp en vaststellen van de noodzaak van redundantie, vergelijken van de kosten van

de MBR versus een conventionele rwzi én aantonen van de technische haalbaarheid van de opschaling.

Het onderzoeksprogramma bestond uit een achttal deelstudies, die betrekking hadden op de voorbehandeling, de biologie en de membranen. Deze drie onderdelen van de MBR zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Een belangrijke rol in het onderzoek was weggelegd voor de simulatie-unit, een schaalmodel van de grote installatie waarmee al vanaf een half jaar voor de opstart onderzoek is gedaan. De besturingssoftware van de MBR Varsseveld is voor een groot deel op de simulatie-unit getest. Ook tijdens de bedrijfsvoering van de MBR is de simulatie-unit regelmatig gebruikt, bijvoorbeeld om de keuze voor bepaalde chemicaliën te onderbouwen of om de invloed van verontreinigingen op de permeabiliteit te testen.

Bij de uitvoering van de deelstudies zijn naast de STOWA, Waterschap Rijn en IJssel en DHV, ook TNO, TU Delft, Wetsus, BRCC, Aquasense/Grontmij en Zenon betrokken geweest. Het onderzoek is, zoals elk onderzoek dat onder de STOWA-vlag wordt uitgevoerd, kritisch begeleid door een begeleidingscommissie waarin deskundigen van verschillende waterschappen zitting hadden. De MBR-installatie en het onderzoeksproject zijn financieel ondersteund door de Europese Gemeenschap (via een LIFE-subsidie), het STOWA-innovatiefonds en door het ministerie van Economische Zaken (EINP-subsidie). Het resultaat van het onderzoek is op hoofdlijnen beschreven in het hoofdrapport⁶). De details van de

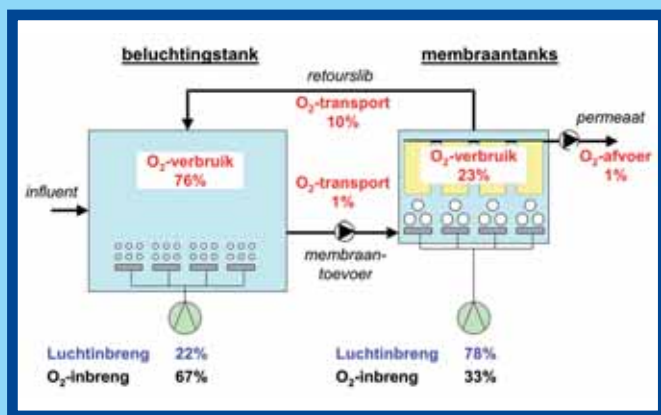
verschillende deelstudies zijn terug te vinden in het deelstudierapport⁷.

In het vervolg van dit artikel zijn een aantal interessante onderdelen van het onderzoeksprogramma uitgelicht. Dit betreft achtereenvolgens de slibkwaliteit, de zuurstofbalans, de membraanfiltratie en het energieverbruik.

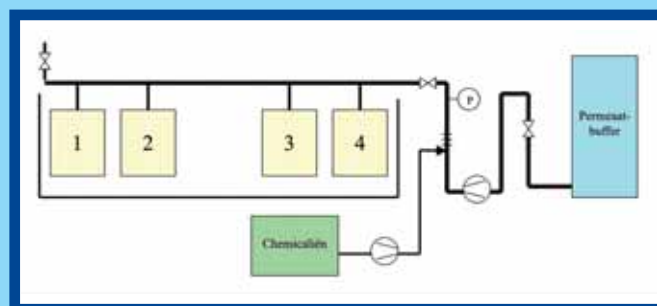
Slibkwaliteit

De MBR Varsseveld is opgestart met slib uit de bestaande hoogbelaste conventionele rwzi. Alvorens het slib in de MBR werd toegelaten, werd het over de microzeven gevoerd, zodat de MBR met schoon slib kon opstarten. De opstartconcentratie was slechts twee gram per liter. In circa zes weken tijd is het slib in de MBR aangegroeid tot het gewenste niveau van tien gram per liter. De procesvoering van de oude conventionele installatie en de MBR verschillen sterk. De oude installatie was hoogbelast en uitgerust met puntbeluchting en (uiteraard) een nabezinktank. De MBR is laag belast, uitgerust met bellenbeluchting en houdt alle slibdeeltjes in het systeem. Desondanks was het effect van de omschakeling van conventioneel naar MBR op het microscopisch beeld van het slib opvallend klein. Het type micro-organismen dat aanwezig was in het slib, veranderde nauwelijks. De opvallendste verandering betrof de structuur van de slibvlokken. De slibvlokken werden in de loop der tijd geleidelijk aan kleiner en meer open van structuur. De slibvolume-index bedraagt 70 à 80 ml/g.

In het onderzoeksproject is getracht om het inzicht in de relaties tussen de slibeigen-



Afb. 1: Zuurstofbalans van de MBR Varsseveld



Afb. 2: Schematische weergave van een membraantank.

schappen en de filtreerbaarheid van het slib te vergroten. Nieuwe kennis hieromtrent kan richting geven aan een verbeterde procesvoering van het biologische zuiveringsproces, met als doel membraanvervuiling te reduceren. Van slib- en afvalwatermonsters van de MBR Varsseveld zijn de filtreerbaarheid en verschillende fysische en chemische parameters bepaald en vervolgens met elkaar vergeleken. De slibmonsters vertoonden echter een grote variatie voor alle gemeten parameters. De lozing van een industrieel polymeer, welke de eerste maanden na de opstart heeft plaatsgevonden⁵⁾, is hiervoor mede verantwoordelijk. Filtratietesten lieten duidelijk zien dat de filtreerbaarheid van het slib in de periode na het stoppen van deze lozing aanzienlijk verbeterde. Voor een aantal slibeigenschappen werd een sterke relatie met de filtreerbaarheid gevonden. Dit geldt met name voor polysacchariden (koolhydraten), die onder stress door micro-organismen wordt uitgescheiden. Daarnaast nam de filtreerbaarheid van het slib toe toen het slib hydrofober werd en had ook de dosering van ijzerzouten een positief effect op de filtreerbaarheid. De resultaten van deze metingen hebben weliswaar geen directe optimalisatiemogelijkheden voor de MBR Varsseveld opgeleverd, maar helpen de TU Delft en Wetsus verder richting te geven aan het onderzoek naar dit belangrijke onderwerp.

In 2005 heeft zich op de beluchtingsruimte van de MBR Varsseveld driemaal een significante drijfslag gevormd. De drijfslagvorming kon maar ten dele worden toegeschreven aan de aanwezigheid van draadvormende micro-organismen. Waarschijnlijk heeft een (tijdelijke) toename van de concentratie hydrofobe verbindingen in het influent hierbij een rol gespeeld. Doordat de membranen dergelijke stoffen tegenhouden, kunnen deze in het slib accumuleren. Dit kan leiden tot een slib dat hydrofober is dan 'gemiddeld' actiefslib uit een conventionele installatie. Voorzichtig kan worden geconcludeerd dat een MBR daardoor gevoeliger is voor drijfslagvorming dan een conventioneel systeem. Dit effect wordt versterkt door

het hoge drogestofgehalte en de relatief grote hoeveelheid lucht welke in zowel het omloopsysteem als de membraantanks wordt ingebracht.

Zuurstofbalans

De zuurstofhuishouding van een MBR wijkt sterk af van die van een conventionele rwzi. Door het hoge drogestofgehalte is de zuurstofoverdracht slechter, terwijl meer zuurstof in een kleiner volume moet worden ingebracht. Daarnaast wordt ook in de membraantanks een grote hoeveelheid lucht ingebracht.

In een MBR vinden de biologische omzettingen niet alleen in de beluchtingstank, maar ook in de membraantank plaats. Ten behoeve van het ontwerp van een MBR is het interessant om te weten welk deel van de zuurstofinbreng en welk deel van de biologische omzettingen in de membraantanks plaatsvindt. Hiertoe is voor de MBR Varsseveld getracht een zuurstofbalans op te stellen. Om de zuurstofbalans in een MBR te kunnen vaststellen zijn de volgende metingen uitgevoerd: OC-metingen in de beluchtingstank onder verschillende omstandigheden, OC-metingen in de membraantank onder verschillende omstandigheden, α -factor-metingen in de beluchtingstank, bepaling van het verwijderingsrendement van de voorbehandeling én metingen van de influent- en permeaatkwaliteit.

Op basis van de resultaten van deze metingen kan een theoretische massabalans over de hele MBR worden opgesteld. De resultaten van de zuurstofbalans zijn schematisch weergegeven in afbeelding 1. Hierbij is aangegeven (op basis van het percentage van het totaal) waar de zuurstof wordt ingebracht, waar het wordt verbruikt en hoe het door de installatie wordt getransporteerd.

Hoewel in de membraantanks ruim drie maal zoveel lucht wordt ingeblazen als in de beluchtingstank, is de bijdrage van de membraanbeluchting aan de zuurstofinbreng slechts een derde van het totaal. De

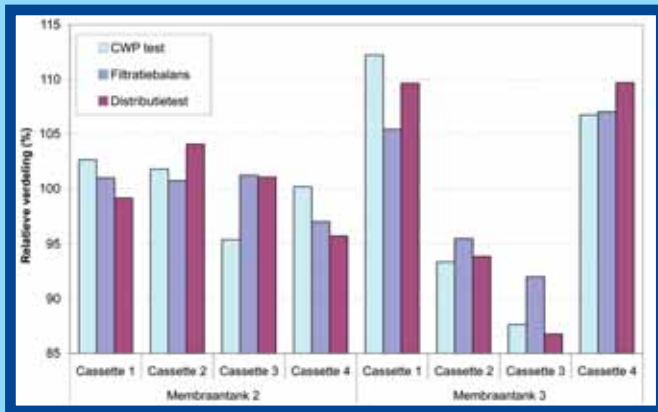
luchtballen, die zorgen voor de turbulentie rondom de membranen, zijn namelijk veel groter en worden minder diep ingeblazen.

In de beluchtingstank wordt circa driekwart van de ingebrachte zuurstof verbruikt. Met het retourslib vanuit de membraantank wordt circa tien procent van de zuurstof vanuit de membraantanks naar de beluchtingstank getransporteerd, waar deze bijdraagt aan de biologische omzettingen. In de membraantank wordt 23 procent van de zuurstof verbruikt; circa één procent wordt met het permeaat afgevoerd. Het zuurstofgehalte in het permeaat varieert van drie tot zes milligram per liter.

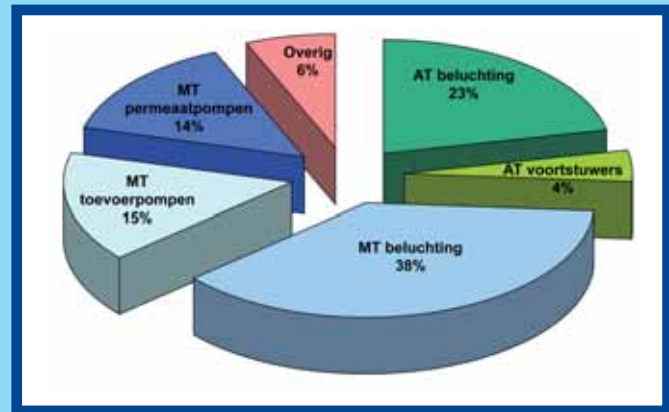
De zuurstofbalans die is gepresenteerd, is specifiek voor de situatie van de MBR Varsseveld, waarbij vergaande stikstofverwijdering ($< 5 \text{ mg N}_{\text{totaal}}/\text{l}$) wordt nagestreefd. Indien de effluenteisen minder streng zijn, kan de slibbelasting van de MBR hoger zijn en zal een groter deel van de biologische afbraak in de membraantank plaatsvinden.

Membranfiltratie

De MBR Varsseveld wordt beschouwd als de demonstratie-installatie voor de MBR-technologie in Nederland. De doelstelling van deze installatie is om de opschaling van de MBR van pilot- naar praktijkschaal mogelijk te maken. Hierbij is de ontwikkeling en evaluatie van een standaardontwerp voor de membraanfiltratietank een belangrijk onderdeel. Per membraantank zijn vier membraancassettes van het type Zenon ZW500d geplaatst (zie afbeelding 2). Bij het ontwerp van de membraantanks is de symmetrie van het systeem als uitgangspunt gehanteerd. Zowel de toevoer als de afvoer van het actiefslib wordt gelijkmatig over de gehele membraantank verdeeld, zodat de omstandigheden voor alle membraancassettes in een tank gelijk zijn (zie foto op pagina 33). Dit zou weer tot gevolg moeten hebben dat de flux en de permeabiliteit van deze cassettes gelijk is. Om de symmetrie van de membraantank te onderzoeken, zijn metingen uitgevoerd aan de filtratiebalans en de chemicaliëndistributie.



Afb. 3: Hydraulische verdeling tussen de cassettes van twee membraantanks, vastgesteld op basis van verschillende meetmethoden.



Afb. 4: Het energieverbruik van de MBR Varsseveld per procesonderdeel (AT = aëratietank, MT = membraantank).

Bij het vaststellen van de filtratiebalans is de werking van elke membraancassette onderzocht en zijn de verschillen tussen de cassettes beoordeeld. Tijdens de ingebruikneming van de membraaninstallatie is allereerst de permeabiliteit in schoon water (clean water permeability, CWP) van de

verschillende cassettes bepaald. Hiermee is de uitgangssituatie vastgelegd. De gemiddelde CWP bedroeg 470 l/(m².h.bar). Verschillen tussen de cassettes zijn toe te schrijven aan variaties in de productkwaliteit. Na circa tien maanden bedrijf is in september 2005 vervolgens dezelfde meting uitgevoerd,

maar dan in actiefslib. De gemiddelde procespermeabiliteit bedroeg hierbij 390 l/(m².h.bar), wat uitstekend is.

De resultaten tonen aan dat verschillen bestaan tussen de membraantanks en de membraancassettes onderling. De overeenkomsten tussen de metingen in schoon water en in actiefslib zijn echter opvallend. De permeabiliteit na tien maanden bedrijf blijkt sterk gerelateerd te zijn aan de oorspronkelijke CWP-waarde van de membraancassettes. De tien maanden bedrijfsvoering lijken de verschillen tussen de membraancassettes niet te hebben beïnvloed. Dit toont indirect aan dat de membranen onder gelijke omstandigheden hebben gefunctioneerd en dat de symmetrie van de membraantank dus in orde is.

Een cassette in een membraantank (met rechtsonder de toevoerleiding en linksboven de afvoergoot).



Op de MBR Varsseveld wordt gebruik gemaakt van regelmatige onderhoudsreinigingen, chemische membraanreinigingen waarbij permeaat met een chemicaliën-oplossing wordt teruggepompt naar de membranen. Van groot belang voor een stabiele werking van de membranen is een gelijkmatige verdeling van de reinigingschemicaliën over alle membraanelementen. Als dit niet het geval is, zal het ene element minder goed worden gereinigd dan het andere en kan de balans in de membraaninstallatie verstoord raken. Om dit te onderzoeken zijn metingen uitgevoerd naar de chemicaliëndistributie tussen de cassettes binnen één straat en tussen de elementen binnen één cassette. Hierbij kan worden waargenomen dat in het midden van de cassette relatief meer chemicaliën worden teruggespoeld dan aan de zijkanten. Deze verdeling is ongeveer gelijk voor alle cassettes; er zijn geen significante verschillen te zien tussen de eerste en de laatste cassette binnen een tank.

In afbeelding 3 zijn de resultaten van de filtratietesten (CWP en filtratiebalans in actiefslib) en de chemicaliëndistributietesten uitgezet in één grafiek. Hieruit blijkt dat de hydraulische verdeling tijdens het terugspoelen sterk is gerelateerd aan de



resultaten van de filtratiebalans. De verdeling van de chemicaliën tijdens terugspoeling is afhankelijk van de permeabiliteit van de betreffende cassettes. Tussen en binnen de cassettes is er dus geen volledige symmetrie. Voorsnog lijkt dit de filtratiebalans echter niet te verstoren.

Energieverbruik

Een belangrijke doelstelling van het eerste jaar van de bedrijfsvoering van de MBR Varsseveld was het verlagen van het energieverbruik. Hierbij is met name aandacht geschonken aan het energieverbruik van de membraaninstallatie, aangezien deze het grootste deel van de energie verbruikt en bovendien de meeste mogelijkheden biedt tot optimalisatie. Uitgangspunt hierbij is altijd geweest dat het verlagen van het energieverbruik nooit ten koste mag gaan van de werking van de membranen. Met deze randvoorwaarde in gedachte is de bedrijfsvoering van de membranen stap voor stap gewijzigd van relatief veilig naar progressief. Hierdoor is het energieverbruik gedaald van circa 1,2 kWh per kubieke meter (of 59 kWh/i.e.jaar uitgaande van i.e.s van 136 g TZV) in de eerste maanden na de opstart, tot 0,90 kWh per kubieke meter (of 53 kWh/i.e.jaar). De opdeling van het energieverbruik van de MBR Varsseveld bij deze geoptimaliseerde procesinstellingen is weergegeven in afbeelding 4.

De verwachting is dat bij verdere optimalisatie het energieverbruik kan dalen tot

0,75 kWh per kubieke meter (of 44 kWh/i.e.jaar). Dit komt al aardig in de buurt van het energieverbruik van een conventionele rwzi inclusief zandfiltratie (0,65 kWh per kubieke meter of 38 kWh/i.e.jaar).

De onderdelen waarop de beoogde energiebesparing kan plaatsvinden, zijn de membraanbeluchting (door in de zomermaanden minder te beluchten. Uit onderzoek op de simulatie-unit blijkt dat bij hogere temperaturen minder beluchting nodig is) en de membraantoevoerpompen (door de toevoerpompen uit te zetten als de betreffende membraantank niet in bedrijf is).

Conclusies

Op basis van de resultaten van het onderzoek en de ervaringen van de eerste twee jaar bedrijfsvoering op de MBR Varsseveld kan worden geconcludeerd dat de MBR-technologie toepasbaar is voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland. Ook in de situatie met een gecombineerd rioelstelsel, waardoor een groot verschil tussen regenweer- en droogweeraanvoer bestaat. De resultaten van de installatie zijn over het algemeen zeer goed geweest. De streefwaarden voor de effluentkwaliteit (5 mg N_{totaal}/l en 0,15 mg P_{totaal}/l) zijn bereikt en de membranen functioneren (op enkele technische problemen na) uitstekend. De stichtingskosten van de MBR zijn inmiddels gelijkwaardig aan die van een conventionele installatie met zandfiltratie (beiden in groene weide) en ook op het gebied van jaarlijkse

kosten en energieverbruik zijn de verschillen niet groot meer. Er zijn echter twee belangrijke leerpunten opgedaan, waarmee rekening moet worden gehouden bij eventuele toekomstige MBR-installaties. Dat zijn de influentsamenstelling en de voorbehandeling⁵⁾.

In de eerste plaats dient meer inzicht te ontstaan in de gevoeligheid van de membranen voor de in het afvalwater aanwezige componenten. Bij het ontwerp van een nieuwe installatie moet van tevoren worden vastgesteld of in het afvalwater componenten aanwezig zijn die de werking van de membranen kunnen hinderen. Daarnaast dient een robuuste voorbehandeling te worden ontwikkeld. Met name dient aandacht te zijn voor de vetverwijdering en de ontwikkeling van een betrouwbare generatie microzeven. Voorsnog moeten de machines ruim gedimensioneerd worden met 100 procent reservestelling. De (toekomstige) ervaringen op de installaties in Heenvliet, Ootmarsum en Hilversum zullen over beide punten meer inzicht kunnen gaan verschaffen.

Literatuur

- 1) STOWA (2002). MBR for municipal wastewater treatment - Pilot plant research Beverwijk WWTP. Rapport 2002-11A.
- 2) STOWA (2002). MBR for municipal wastewater treatment - Pilot plant research Beverwijk WWTP. Side-studies. Rapport 2002-11B.
- 3) STOWA (2004). Vergelijkend onderzoek MBR en zandfiltratie rwzi Maasbommel. Rapport 2004-28.
- 4) STOWA (2006). MBR proefinstallatie rwzi Hilversum. Rapport 2006-16.
- 5) Nijman N., J. van Someren, H. Lammers, F. Jansen en E. Hanzens (2006). MBR Varsseveld: van effluent naar permeaat H_2O nr. 22, pag. 25-27.
- 6) STOWA (2006). Onderzoek MBR Varsseveld - hoofdrapport. Rapport 2006-05.
- 7) STOWA (2006). Onderzoek MBR Varsseveld - deelstudierapport. Rapport 2006-06.
- 8) Roest H. van der, C. Roos en J. Leenen (2006). Varsseveld spil in nationale MBR-ontwikkeling H_2O nr. 22, pag. 22-24.