

stowa

ERVARINGEN MET HYBRIDE MBR HEENVLIET



RAPPORT

2009
35

ERVARINGEN MET HYBRIDE MBR HEENVLIET

STOWA

2009

35

ISBN 978.90.5773.452.6



COLOFON

Utrecht, 2009

PROJECTUITVOERING

F.H. van den Berg van Saparoea, Witteveen+Bos
A.F. van Nieuwenhuijzen, Witteveen+Bos
H. Evenblij, Witteveen+Bos, thans Waterschap Groot Salland
J.W. Mulder, Waterschap Hollandse Delta, thans Evides Industrierwater
J.O.J. Duin, Waterschap Hollandse Delta

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

J. Segers, Waterschap Rivierenland (voorzitter)
G. Zoutberg, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
C. Ruiken, Waternet
D. de Vente/J. Buitenweg, Waterschap Regge en Dinkel
Bert Geraats, Grontmij
C.A. Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2009-35
ISBN 978.90.5773.452.6

TEN GELEIDE

Om de kwaliteit van het effluent voor zwevende stof en gerelateerde verontreinigingen en pathogene micro-organismen te verbeteren is de rwzi van Heenvliet uitgebreid met een deelstroom membraanbioreactor (MBR). De combinatie van het conventionele actief-slibproces met nabezinking en de MBR-technologie wordt het hybride MBR-concept genoemd. Dit hybride MBR-concept staat model voor situaties waarbij bestaande installaties moeten worden uitgebreid of waar kwaliteitsdoelen moeten worden geoptimaliseerd. De (hybride) MBR is een relatief nieuwe technologie voor de behandeling van communaal afvalwater met een aantal nieuwe elementen zoals membranen, slibcirculatie van en naar de membranen, membraanbeluchting en de membraanreiniging.

Hybride MBR Heenvliet is tot stand gekomen na een voorstel tot realisatie van Waterschap Hollandse Delta. Hierin wordt onderkend dat nieuwe technieken voor het zuiveren van afvalwater ontwikkeld moeten worden voor het bereiken van een verbeterde kwaliteit van het oppervlaktewater. Het Waterschap wenste een actieve rol te spelen in de verdere ontwikkeling van de MBR. Daarnaast was er behoefte om zelf ervaringen met MBR-technologie op te doen. De MBR Heenvliet is gerealiseerd met als doel het uitvoeren van onderzoek en het leveren van een bijdrage aan de toepassing van de membraanbioreactor.

Bij het Waterschap Regge en Dinkel is in Ootmarsum een hybride MBR gebouwd, waar eveneens onderzoek wordt uitgevoerd. Beide hybride MBR-projecten zijn financieel ondersteund door het STOWA Innovatiefonds. Hier staat tegenover dat de onderzoeksresultaten worden vastgelegd in een tweetal rapportages, zodat de opgedane ervaringen en de resultaten beschikbaar zijn voor alle Waterschappen, overheden en industrieën en andere geïnteresseerden.

Waterschap Hollandse Delta maakt deel uit van een Europees onderzoeksconsortium onder de naam EUROMBRA (in nauwe afstemming met de partnerprojecten AMEDEUS en MBR-Train). In dit consortium werken 18 partners samen om de MBR-technologie verder te ontwikkelen. Ook steunt Waterschap Hollands Delta een onderzoek van de Technische Universiteit Delft (TUD), genaamd MBR-2. In ruil daarvoor richt het onderzoek van de TUD zich op de hybride MBR Heenvliet.

In deze rapportage worden de resultaten gerapporteerd met betrekking tot het STOWA-onderzoek hybride MBR Heenvliet en het EUROMBRA-project. Tevens is er gebruik gemaakt van de resultaten van de andere genoemde onderzoeksprojecten.

Utrecht, oktober 2009

De directeur van de STOWA
ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING HYBRIDE MBR HEENVLIET

ACHTERGROND EN DOEL

De rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) Heenvliet dateert uit 1989 en heeft een capaciteit van 10.000 (à 136 gram TZV/i.e.) en bestaat achtereenvolgens uit een kettingrooster, een selector, een omloopsysteem beluchtingstank en een nabezinktank met desinfectiegoot. Na de nodige uitbreidingswerkzaamheden is de hybride membraanbioreactor (MBR) Heenvliet in 2006 opgestart en zuivert een substantieel aandeel van het totale influent. In de membraantanks zijn plaatmembranen van het type Toray toegepast. De MBR is daarbij gecombineerd met de bestaande rwzi Heenvliet. De combinatie van conventionele en MBR-technologie wordt hybride MBR genoemd. De diverse deelprocessen in de MBR voor de fosfaat- en stikstofverwijdering vinden in verschillende compartimenten plaats. De membraantank in de MBR is in twee compartimenten (MT1 en MT2) opgedeeld. Op deze wijze bestaat enerzijds de mogelijkheid om één membraantank buiten bedrijf te stellen en de flux te verhogen, en kan anderzijds de prestatie worden gegarandeerd door het kiezen van een lagere flux in de andere membraantank. Op deze wijze kunnen de grenzen van het systeem worden verkend. De MBR is op twee manieren te gebruiken. De eerste mogelijkheid is parallel waarbij er feitelijk sprake is van twee systemen die onafhankelijk van elkaar functioneren. Dit geeft de mogelijkheid om de MBR-techniek te vergelijken met de conventionele waterzuivering onder gelijke omstandigheden. De tweede mogelijkheid om de MBR in te zetten is in serie met de conventionele installatie. Er ontstaat hierbij één biologisch systeem. Het slib uit het omloopsysteem en de biologie van de MBR wordt continu uitgewisseld. Het effluent kan geloosd worden via zowel de membraantanks (MT1 en MT2) als via de nabezinktank en de desinfectiegoot. In de gepresenteerde onderzoeksperiode heeft de installatie twee maanden (oktober -november 2007) in parallelle bedrijfsvoering gedraaid en in de overige tijd, van december 2007 - maart 2009, in seriebedrijf. Hierdoor hebben de gepresenteerde resultaten veelal betrekking op het seriebedrijf, tenzij het expliciet anders is aangegeven.

RESULTATEN

Influent

De gemiddelde hoeveelheid afvalwater bij droogweeraanvoer bedraagt op de rwzi Heenvliet circa 1.480 m³/dag. De maximale aanvoer over de gepresenteerde data (2008) bedroeg 8.700 m³/dag. De dagvrachten bij dwa bedroegen voor CZV gemiddeld 585 kg/dag, voor N_{kj} gemiddeld 78 kg/dag en voor P_{tot} gemiddeld 12 kg/dag.

Ter bescherming van de plaatmembranen is voor de MBR is een perforatierooster met ronde gaatjes van 3 mm geïnstalleerd dat slib en/of influent kan verwerken. Al het (slib)water dat de MBR in komt wordt middels dit rooster, naar alle tevredenheid, behandeld.

Vanaf het moment dat de MBR in continu bedrijf is gegaan is de SVI vrijwel altijd lager dan 120 ml/g geweest. In de koude periode lag de SVI rond 110 ml/g, en in de zomer van 2007 rond 90 ml/g met enkele malen zelfs lager dan 80 ml/g. Het drogestofgehalte in de MBR bedroeg het grootste gedeelte van de tijd circa 10 g/l. Het verschil in verloop van de SVI in de MBR en het omloopsysteem was klein. Het drogestofgehalte in de hybride MBR verschilt van compartiment tot compartiment als gevolg van de interne recirculatiestromen en de recirculatiestromen tussen het omloopsysteem en de MBR. De indikfactor in de membraantank bedraagt meestal 1,2 waardoor het drogestofgehalte in de membraantank doorgaans een waarde heeft tussen de 12 en 15 g/l.

Permeaat en effluent

Het stikstofgehalte in het permeaat wordt bestuurd door de ammoniumregeling waarmee het stikstofgehalte constant lager is dan 2 mg/l, waarvan circa 0,5 mg/l organisch gebonden stikstof. In het effluent van de nabezinktank is de waarde van het gehalte organisch gebonden stikstof ongeveer 1 mg/l. Tijdens de periode van parallelbedrijf was de denitrificatie in de MBR onvoldoende. Dit werd veroorzaakt doordat de beluchting in de nitrificatietank niet ver genoeg kon worden teruggeregeld, in combinatie met een hoog recirculatiedebiet van de nitrificatietank naar de denitrificatietank.

De fosfaatconcentratie van het effluent vertoont in de zomermaanden juni en juli 2006 een piek (3–6 mg/l). Het jaar erna zijn in de maanden juni en juli waarden behaald in het effluent lager dan 1 mg/l. De concentratie in het permeaat is vaak lager dan in het overloopwater van de nabezinktank. Tijdens de periode in parallelbedrijf (november 2007) was de fosfaatverwijdering niet significant beter of slechter dan tijdens seriebedrijf ervoor en erna.

De verwijderingpercentages voor de organisch prioritair stoffen en de zware metalen voor zowel MBR als conventionele behandeling komen redelijk met elkaar overeen. Eventuele verschillen in berekende verwijderingpercentages zijn mogelijk te wijten aan de lage ingaande concentraties.

Het MBR permeaat is continu beter gedesinfecteerd dan het effluent uit de nabezinktank. De bacteriologische kwaliteit van het permeaat is altijd binnen de toegestane limiet van 20 kve/ml gebleven.

Het bedrijven van het omloopsysteem en de MBR met één actief slibpopulatie blijkt, tegen de verwachtingen in, positieve gevolgen te hebben voor het actief slib. Over het algemeen zijn de vlokken compact, stevig en afgerond. Ook blijkt het slib goed conditioneerbaar en ontwaterbaar bij een PE dosering van 10 g actief PE /kg droge stof.

Energieverbruik

De installatieonderdelen die de meeste energie verbruiken zijn de compressoren en de circulatiepompen voor de membraantanks. Wanneer de installatie continu wordt bedreven met een permeaatdebiet gelijk aan 60 m³/h, waarbij telkens een membraantank gedurende enkele dagen uit bedrijf is, bedraagt het totale energieverbruik 0,98 kWh/m³. Bij een permeaatdebiet van 80 m³/h en op instellingen voorgeschreven door Toray, bestaande uit een relaxatie van 1 minuut na 9 minuten productie en een continue beluchting van de membranen, is het specifieke energieverbruik 1,23 kWh/m³. Optimalisaties zoals een verhoging van het debiet en het verkorten van de nalooftijd kunnen leiden tot een lager specifiek energieverbruik tot 1,0 kWh/m³.

Bedrijfsvoering

De toegepaste jaargemiddelde permeaatflux voor 2008 was met 14,8 l/m²·h relatief hoog, waardoor de membranen zwaar belast worden met als gevolg dat de permeabiliteit in enkele maanden daalde van maximaal 1350 l/m²·h·bar tot 200 l/m²·h·bar. Na enkele maanden bedrijfsvoering met een permeabiliteit van 200 l/m²·h·bar wordt er een chemische reiniging uitgevoerd waarna de permeabiliteit grotendeels terugkwam. Hoewel de daling steeds langzamer verliep, bleef de permeabiliteit dalende tot aan het moment dat de membranen uit bedrijf zijn genomen en er nieuwe membranen zijn geïnstalleerd. Vanwege een fabricage fout zijn de membranen eenmalig vervangen. Ook voor de nieuwe membranen is er sprake van een gestage daling van de permeabiliteit tot 200 l/m²·h·bar, waarna er weer een chemische reiniging wordt uitgevoerd.

Uiteindelijk worden de membranen circa vier keer per jaar chemisch gereinigd. Het is gebleken dat tijdens een reiniging precipitatie van metaalzouten aan de permeaatzijde ont-

staat wat tevens leidt tot een meetbare permeabiliteitsdaling. Om dit effect tegen te gaan worden na de chemische reiniging (spoeling met chloorbleekloog) de membranen gespoeld met citroenzuur

De MBR is een relatief nieuwe technologie voor de behandeling van communaal afvalwater. De introductie hiervan blijkt in de praktijk een extra belasting voor het bedienend personeel. De MBR op zich is al een technologie met een aantal nieuwe elementen zoals membranen, slibcirculatie en membraanbeluchting. Om de installatie goed te kunnen bedienen is daarom bijscholing in de beheersing van deze technologie nodig.

CONCLUSIE

In situaties waarin een hydraulische en/of biologische uitbreiding gewenst is, gepaard met een strengere effluenteis kan de hybride MBR een goede oplossing zijn. Met name in die situaties waarin ruimtegebrek een rol speelt kan MBR als meest optimale techniek worden ingezet. Aandachtspunt bij dit alles blijft het energieverbruik, dat nog nauwelijks competitief is met andere systemen die een vergelijkbare effluentkwaliteit produceren. Ook de opleiding van personeel blijkt belangrijk in het op juiste wijze bedrijven van de MBR-installatie.

Andere belangrijke conclusies die volgen uit het onderzoek en de ervaringen met MBR Heenvliet zijn:

- Een grofrooster met 3 mm gaatjes is voldoende als voorbehandeling voor een membraansysteem met plaatmembranen;
- Voor de locatie Heenvliet is vastgesteld dat de bedrijfsvoering tijdens seriebedrijf met één actief-slibpopulatie bij twee verschillende drogestofconcentraties werkt naar tevredenheid;
- De MBR heeft geen nadelige invloed op de SVI en de ontwaterbaarheid van het actief slib;
- Voor het op peil houden van de permeabiliteit ($< 80 \text{ m}^3/\text{h}$) en de flux ($< 22 \text{ l}/\text{m}^2\text{h}$) worden de membranen circa 4 keer per jaar gereinigd;
- De relatieve bijdrage van de MBR Heenvliet aan het totale energieverbruik is aanzienlijk (gemiddelde $0,97 \text{ kWh}/\text{m}^3$ permeaat);
- De bacteriologische kwaliteit van het MBR permeaat is beter dan het effluent uit de nabezinktank en ligt structureel onder de limiet van $20 \text{ kve}/\text{ml}$;
- Een effluentkwaliteit van $N=5 \text{ mg}/\text{l}$ is haalbaar, maatgevend is in hoeverre de denitrificatie kan verlopen. Het bereiken van een fosfaatverwijdering tot $0,3 \text{ mg}/\text{l}$ bleek lastig;
- De verwijdering van organische microverontreinigingen en zware metalen door MBR is vergelijkbaar met het conventionele systeem;
- Het chemicaliënverbruik per m^3 influent is gelijk aan circa $0,0081 \text{ l}$ (citroenzuur en NaOCl), de kosten hiervoor bedragen circa $0,006 \text{ euro}/\text{m}^3$ influent;
- De bedrijfsvoering voor seriebedrijf is tot nog toe eenvoudiger gebleken dan voor parallel bedrijf. Het energieverbruik voor parallel bedrijf is hoger dan het energieverbruik bij serie bedrijf. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat in een parallelle situatie de membranen slechts op een deel van hun capaciteit worden benut. Conclusies over parallel bedrijf worden in een volgend onderzoek verder onderzocht.

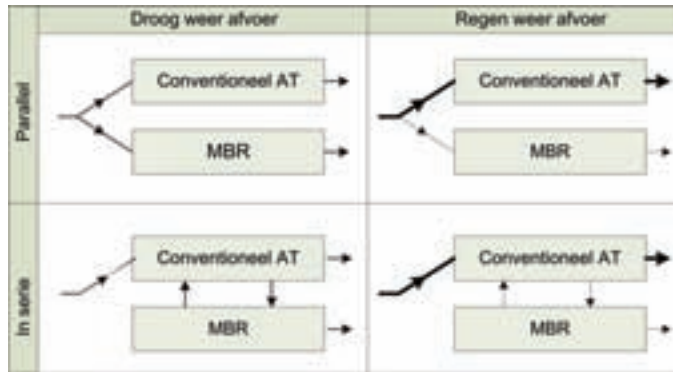
INTEGRALE SAMENVATTING HYBRIDE MBR'S HEENVLIET EN OOTMARSUM

Deze integrale samenvatting vat de bevindingen van het onderzoek naar de membraanbioreactor (MBR) op rwzi Heenvliet (STOWA 2009-35) en rwzi Ootmarsum (STOWA 2009-36) samen. Beide onderzoeken zijn in de periode van voorjaar 2006 tot en met 2008 uitgevoerd. Door de bevindingen van beide projecten te combineren wordt een goed beeld van de prestaties van hybride MBR weergegeven. Beide hybride MBR-projecten zijn financieel ondersteund door de gezamenlijke waterschappen via de STOWA. Daar staat tegenover dat de resultaten van de hybride MBR in een STOWA-project ter beschikking worden gesteld.

ACHTERGROND

Rwzi Ootmarsum en rwzi Heenvliet zijn van origine conventionele zuiveringen die beide zijn gecombineerd en uitgebreid met een deelstroom membraanbioreactor in de waterlijn om de kwaliteit van het effluent voor zwevende stof en gerelateerde verontreinigingen aanzienlijk te verbeteren. Daarnaast geldt voor rwzi Heenvliet een uitgangspunt om desinfectie, voor zwemwatereisen met chemicaliën, te vervangen door de MBR. De combinatie van het conventionele actief-slibproces met nabezinking en de MBR-technologie wordt het hybride MBR-concept genoemd. Het hybride MBR-concept staat model voor situaties waarbij bestaande installaties moeten worden uitgebreid of waar kwaliteitsdoelen moeten worden geoptimaliseerd of uitgebreid. Voor dergelijke installaties is dan geen volledige nieuwbouw noodzakelijk omdat de bestaande capaciteit behouden kan blijven en wordt ingezet in het totale toekomstige zuiveringsconcept. In de Nederlandse situatie met gecombineerde en/of verbeterd gescheiden rioolstelsels zijn complete membraaninstallaties relatief duur indien deze op de maximaal optredende debieten tijdens regenweeraanvoer (RWA) worden ontworpen. Het debiet tijdens RWA kan oplopen van veelal 3 tot zelfs 8 keer droogweeraanvoer (DWA) bij rwzi Ootmarsum. De hoge kosten worden veroorzaakt door het relatief grote membraanoppervlak dat nodig is om het RWA-debiet te kunnen verwerken. Voor een kosteneffectief ontwerp wordt een MBR (afhankelijk van het aanvoerstelsel) ontworpen op een hydraulische aanvoer van DWA plus enige overcapaciteit om de eerste regenflush op te kunnen vangen. De bestaande conventionele zuiveringsonderdelen blijven op het oorspronkelijke RWA-ontwerp gehandhaafd, maar de MBR-onderdelen worden zo klein mogelijk gehouden. Tijdens regenweer blijft de MBR op maximale capaciteit het DWA+-debiet verwerken terwijl de conventionele rwzi de resterende verdunde afvalwaterstroom behandelt, zie ook Afbeelding 1. Hiermee kan tegen aanzienlijke kostenbesparing voor membranen en membraantanks meer dan 80% van het jaarlijkse afvalwaterdebiet en meer dan 90% van de vuilaanvoer via de membranen worden behandeld, waardoor gebruik van membraantechnologie niet per definitie duurder is dan conventionele uitbreiding van een bestaande installatie.

AFBEELDING 1 HYBRIDE MBR IN PARALLEL EN SERIE CONFIGURATIE VOOR DWA EN RWA



Hybride MBR-installaties in Nederland

De MBR van rwzi Ootmarsum is opgestart in september 2007 en is parallel geschakeld aan de conventionele actief-slibstraat met nabezinking en nageschakelde zandfiltratie voor effluent-behandeling. De MBR is uitgerust met droog opgestelde ultrafiltratie membranen van Norit (Airlift™-systeem). Het afvalwater wordt gelijk verdeeld over beide straten. Wanneer bij RWA de maximale capaciteit van de MBR wordt bereikt, behandelt de conventionele straat de extra aanvoer. De conventionele straat en de MBR zijn met elkaar verbonden door middel van een buffer-bezinktank. Deze tank zorgt ervoor dat enerzijds bij RWA het influent hydraulisch en biologisch optimaal wordt verdeeld, en anderzijds dat ontstane drijfslagen kunnen worden afgevangen. Het effluent uit de conventionele installatie en de MBR, wordt zowel bij DWA als bij RWA volledig nabehandeld in een ecologische zone.

De MBR op rwzi Heenvliet is in tegenstelling tot de MBR Ootmarsum op twee manieren te bedrijven en is sinds het voorjaar van 2006 in bedrijf. De eerste mogelijkheid is parallel bedrijf waarbij feitelijk sprake is van twee actief-slibsystemen (één met nabezinktank en één met membraantanks) die volledig onafhankelijk van elkaar functioneren. De tweede mogelijkheid is seriebedrijf waarbij de MBR-installatie (actief-slibcompartimenten en membraantanks) in serie zijn geschakeld met de conventionele actief-slibinstallatie (zonder benutting van de nabezinktank bij DWA). Zo ontstaat één biologisch systeem, waarbij de membranen ook bij RWA het gehele debiet behandelen. In de membraantanks van MBR Heenvliet zijn plaatmembranen van het type Toray toegepast.

De dimensioneringsgrondslagen voor beide MBR configuraties is weergegeven in tabel 1.

TABEL 1 DIMENSIONERINGSGRONDSLAGE

	Heenvliet	Ootmarsum
debiet	10.000 i.e. (136 gram TZV)	14.000 i.e. (54 gram BZV)
DWA	1.480 m ³ /d	2600 m ³ /d
netto ontwerpflux	24,3 l/m ² h	40-55 l/m ² h
maximale capaciteit MBR	100 m ³ /h	150 m ³ /h
configuratie	serie en parallel	parallel
type membranen	plaatmembranen van Toray	droog opgesteld van Norit (Airlift™-systeem)
totaal membraanoppervlak	4200 m ²	2436 m ²

Voor beide MBR-installaties geldt dat de diverse deelprocessen voor de fosfaat- en stikstof-verwijdering in de verschillende compartimenten van de MBR plaatsvinden.

RESULTATEN

Voorbehandeling

Een MBR is (net als een zandfilter) als gevolg van de filtrerende werking, gevoelig voor onverwachte lozingen zoals chemicaliën, haren en grovere delen. Hierdoor verdient de voorbehandeling, die essentieel is voor de bescherming van de membranen (schade en verstopping), veel aandacht. Op basis van het onderzoek op beide hybride MBR's is gebleken dat voor de toegepaste membraansystemen relatieve grove zeefinstallaties voldoende bescherming bieden en efficiënt bedreven kunnen worden. Voor de extern opgestelde Airlift™-membranen van MBR Ootmarsum voldoet een 2 mm trommelzeefrooster daar waar voor de ondergedompelde plaatmembranen van MBR Heenvliet een rond 3 mm perforatierooster efficiënt wordt toegepast.

Op de MBR Heenvliet zijn geen nadelige effecten waargenomen van lozingen op het riool. De hybride MBR Ootmarsum heeft twee serieuze calamiteiten met lozingen (één interne lozing van ontwateringspolymeren en één externe lozing van een tot op heden onbekende stof) ondervonden waardoor de membraanprestaties sterk achteruit gingen en intensieve chemische reiniging nodig was om dit te herstellen. De externe lozing heeft tevens het functioneren van het zandfilter verstoord. Lozingen van verklevende of verstoppende (chemische) producten naar de MBR dienen dan ook zoveel mogelijk voorkomen te worden door duidelijke afspraken te maken met bedrijven en industrieën die afvalwater op het riool lozen, of indien nodig bepaalde lozers af te koppelen (denk ook aan de verstoring van het membraanfiltratieproces door lozing van kaasdekmiddel op MBR Varsseveld).

Parallel- versus seriebedrijf

Voor de hybride MBR Heenvliet is vastgesteld dat de seriebedrijfsvoering met één actief-slibpopulatie in twee verschillende actief-slibconfiguraties en verschillende drogestofconcentraties naar tevredenheid werkt. Gebaseerd op de ervaringen van MBR Heenvliet is de bedrijfsvoering voor seriebedrijf tot nog toe eenvoudiger en efficiënter gebleken in vergelijking tot parallel bedrijf. De zuiveringsprestaties waren volgens verwachting, de slibbezineigenschappen in beide systemen maken het mogelijk om over te schakelen van membraantank naar nabezinktank. Tevens wordt in serieschakeling de grootste efficiëntie bereikt om met een minimaal in te zetten membraanoppervlak zo veel mogelijk afvalwater via de MBR te behandelen. Daarmee worden tevens membraanbeluchtungsenergie en reinigingschemicaliën (per behandelde hoeveelheid permeaat) bespaard.

De hybride MBR Ootmarsum kan alleen parallel aan de conventionele installatie bedreven worden en blijkt technisch gezien naar tevredenheid te functioneren. In het geval de MBR uitvalt, kan de conventionele straat de gehele aanvoer verwerken. Het is nog niet nodig gebleken om in die noodsituatie vanuit de bufferbezinktank vers slib rechtstreeks af te voeren naar een andere rwzi.

Effluentkwaliteit

Aangezien uitbreiding van conventionele rwzi's tot hybride membraaninstallaties voornamelijk wordt ingegeven door verbetering van de effluentkwaliteit zijn de zuiveringsprestaties van de hybride MBR van belang.

Maatgevend voor de stikstofconcentraties in het permeaat van de hybride MBR-installaties is de mate van denitrificatie. Op Heenvliet worden op jaargemiddelden totaal stikstofconcentraties behaald beneden 2 mg/l. De totale stikstofconcentratie in het permeaat van rwzi Ootmarsum is circa 3,6 mg/l, ook in het filtraat van het zandfilter is de totale stikstofconcentratie circa 3,6 mg/l. Het bereiken van een fosfaatverwijdering tot een jaargemiddelde concentratie lager dan 0,3 mg P_{totaal}/l bleek voor beide installaties lastig. De MBR Ootmarsum

heeft meer moeite met vergaande fosfaatverwijdering dan de conventionele straat, dit heeft mogelijk te maken met de zuurstofinbreng en de geringe slibproductie. De fosfaatverwijdering van de MBR Heenvliet lijkt beter dan de conventionele biologische fosfaatverwijdering. Op jaargemiddelde basis is voor fosfaat circa 1 mg/l (Heenvliet) en 1,5 mg/l (Ootmarsum) in het permeaat bereikt.

De MBR blijkt een uitstekende desinfectiemethode te zijn, met 1-25 kve/l in het geproduceerde permeaat. Hybride MBR-installaties desinfecteren aanzienlijk beter dan zandfiltratie (circa $3 \cdot 10^5$ kve/l) en nabezinking (circa $7 \cdot 10^5$ kve/l). In tabel 2 is de permeaat kwaliteit voor MBR Heenvliet en Ootmarsum samenvattend weergegeven.

De verwijdering van Kader Richtlijn Water relevante stoffen als organische microverontreinigingen en zware metalen door MBR-installaties is ongeveer vergelijkbaar met de conventionele zuiveringsstraten met nabezinktanks (en zandfilter). Eventuele verschillen in berekende verwijderingpercentages zijn mogelijk te wijten aan de lage ingaande concentraties (vaak onder meetbereik).

De concentratie onopgeloste bestanddelen in het permeaat van Ootmarsum is lager dan de detectiegrens van 1,2 mg/l. Ook het zandfilter op rwzi Ootmarsum is tot vergaande verwijdering van onopgeloste bestanddelen in staat met concentraties in het filtraat lager dan 1.2 mg/l

TABEL 2 PERMEAATKwaliteit

	Heenvliet (serie bedrijf)	Ootmarsum (parallel bedrijf)
N-totaal	< 2 mg/l	3,6 mg/l
P-totaal	2,25 mg/l	2 mg/l
KVE	< 20 kve/l	<25 kve/l

Permeabiliteit en reiniging

De permeabiliteit van de membranen op MBR Heenvliet daalde binnen de eerste acht maanden na opstart van circa 1.400 l/m².h.bar tot 250 - 500 l/m².h.bar. Voor de MBR Ootmarsum wordt over het eerste testjaar een permeabiliteit van 300 - 500 l/m².h.bar gemeten. Om de permeabiliteit op peil te houden zijn voor de plaatmembranen van de hybride MBR Heenvliet circa twee tot vier chemische reinigingen per jaar benodigd. Deze reinigingen worden in situ uitgevoerd in de membraantank. Om precipitatie van metaalzouten tijdens een reiniging tegen te gaan worden de membranen na de reiniging gespoeld met chloorbleekloog. De Airlift™-membranen van de hybride MBR Ootmarsum hebben een volledig automatisch chemische reiningsprocedure die maandelijks preventief wordt uitgevoerd. De reinigungschemicaliën worden daarvoor toegevoegd aan het permeaat dat wordt gebruikt voor het terugspoelen van de membranen en daarna voor het inwerken van de membranen gedurende een bepaalde contacttijd.

Slibbezinkeigenschappen en slibgehalte

Het drogestofgehalte in de actief-slibcompartimenten en de membraantanks van de hybride MBR's is circa twee tot drie keer hoger dan in de conventionele installatie. Het drogestofgehalte in de membraantank van rwzi Heenvliet heeft doorgaans waarde tussen de 12 en 15 g/l. Het drogestofgehalte in de extern opgestelde membraanmodules van rwzi Ootmarsum lag rond 9 g/l.

Voor een hybride MBR is het van belang dat de slibbezinkeigenschappen van de MBR-straat niet te veel verschillen van de conventionele zuiveringsstraat om in geval van calamiteit om te kunnen schakelen of zoals in het seriebedrijf van MBR Heenvliet over te kunnen schakelen naar conventionele bezinking. De slibvolume-index (SVI) van het slib in de MBR-installatie Heenvliet varieerde tussen 90 ml/g tot 110 ml/g en was altijd lager dan 120 ml/g. In serieschakeling kon zonder problemen worden overgeschakeld tussen de membraantank en de nabe-

zinktank. Slibuitspoeling is daarbij niet waargenomen. Voor de MBR Ootmarsum was het verloop van de SVI in de MBR met 90 - 150 ml/g wel groter, maar dit slib gaat nooit naar de nabezinktank. De maximale waarde voor de bijbehorende conventionele straat was circa 110 ml/g.

Opleiding en bedrijfsvoering

De (hybride) MBR is een relatief nieuwe technologie voor de behandeling van communaal afvalwater met een aantal nieuwe elementen voor de beheerders zoals membranen, slibcirculatie van en naar de membranen, de membraanbeluchting en de membraanreiniging. Het actief-slibproces binnen de MBR is in principe identiek aan dat van het conventionele proces, met uitzondering van het (twee tot drie keer) hogere slibgehalte. Om de MBR-installatie goed te kunnen bedienen is een aanzienlijke bijscholing in de beheersing van de membraantechnologie nodig. Indien met een wisselende bezetting wordt gewerkt, dient al het in te zetten personeel ingewerkt te zijn op de MBR en frequent op de rwzi aanwezig te zijn om de opgedane kennis op peil te houden. Voor een MBR met een capaciteit rond 10.000 inwonerequivalenten dient rekening gehouden te worden met de inzet van minimaal 0,5 FTE op basis van HBO-niveau. Tijdens de opstartperiode (rekeninghoudend met minimaal 3 maanden) zal een aanzienlijke intensievere inzet nodig zijn. Tevens zal in deze periode de opleiding van het personeel hoge prioriteit moeten hebben.

Energieverbruik

De installatieonderdelen die in een MBR de meeste energie verbruiken zijn de compressoren voor de (reinigings)beluchting en de circulatiepompen voor de membraantanks. Dit is ook het geval voor een hybride MBR, al is het energieverbruik beperkter dan voor een volledige MBR doordat minder membraanoppervlak wordt ingezet (dit geeft besparing op membraanbeluchting en reinigingschemicaliën). Uit het onderzoek blijkt het energieverbruik tussen 1 en 1,25 kWh per geproduceerde m³ permeaat te liggen. Een continue bedrijfsvoering op de MBR Heenvliet leidt tot een totaal energieverbruik van circa 0,98 (zonder voorgeschreven relaxatie) tot 1,23 kWh/m³ (met voorgeschreven relaxatie). Het energieverbruik van de hybride MBR Ootmarsum is gebaseerd op afgeleide kengetallen en komt neer op circa ca. 1,0 kWh/m³ water (waarvan circa 0,4 kWh/m³ voor de membraanreiniging met het AirliftTM-principe). Energetische optimalisaties zoals een verhoging van het debiet en het verkorten van de nalooptijd kunnen leiden tot een lager specifiek energieverbruik tot onder 1,0 kWh/m³. Ook moet in beschouwing worden genomen dat het energieverbruik van toepassing is op de demonstratie-installaties van Heenvliet en Ootmarsum. Indien een hybride MBR wordt uitgevoerd op grotere schaal dan is het aannemelijk dat het totale energieverbruik per m³ water lager uitvalt (onder andere als gevolg van een lager energieverbruik van de pompen per m³ behandeld afvalwater). In relatie tot het energieverbruik van een conventionele rwzi (0,4-0,5 kWh/m³ behandeld afvalwater) is het energieverbruik van een hybride MBR nog steeds aanzienlijk.

Kosten

Aangezien zowel de hybride MBR Heenvliet als de hybride MBR Ootmarsum kleine demonstratie-installaties zijn, is een eenduidig kostenplaatje voor praktijkinstallaties niet te maken. Membraaninstallaties maken rwzi's duurder in vergelijking met conventionele installaties, dit geldt ook voor hybride MBR's. Echter, de zuiveringsprestaties van de MBR is dan ook aanzienlijk beter (in relatie tot zwevende-stofreductie en desinfectie). Op basis van het ontwerp van beide installaties is het hybride concept aanzienlijk kosteneffectiever in vergelijking met een volledige MBR door besparing van een aanzienlijk membraanoppervlak en de daarbij benodigde randapparatuur. Dit geldt ook naar verrekening van de kapitaals- en operationele kosten per behandelde hoeveelheid afvalwater.

CONCLUSIE

De hybride MBR-installaties op rwzi Ootmarsum en rwzi Heenvliet zijn tot op heden geslaagde concepten waarmee goede resultaten worden behaald. De (bacteriologische) kwaliteit van het hybride MBR-permeaat is beter dan het effluent uit de nabezinktanks. Het hybride MBR-concept is daarmee in Nederland succesvol ontwikkeld en op praktijkschaal geïntroduceerd. Met de hybride MBR-configuratie kan tegen de laagst mogelijke kosten (minimaal membraanoppervlak) zoveel mogelijk afvalwater via eens membraan(bio)reactor worden behandeld. De goede resultaten vragen echter een hoger energieverbruik van 1-1,25 kWh/m³ tegen 0,5 kWh/m³ voor een conventionele zuivering, maar minder dan een volledige MBR. De bedrijfsvoering van de hybride MBR's is na opstart in de reguliere werkzaamheden van een waterschap in te passen. Er dient echter extra aandacht besteed te worden aan opleiding van personeel van de MBR-installatie.

Aanvullende monitoring van de rwzi zal nodig zijn om meer in detail de werking van de installatieonderdelen te kunnen volgen en verklaren. Dit geldt zowel voor de energievraag als de geleverde prestaties. Ook zal dit kunnen leiden tot verdere optimalisatie van de processen.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

INTEGRATED SUMMARY OF HYBRID MBR'S HEENVLIET AND OOTMARSUM

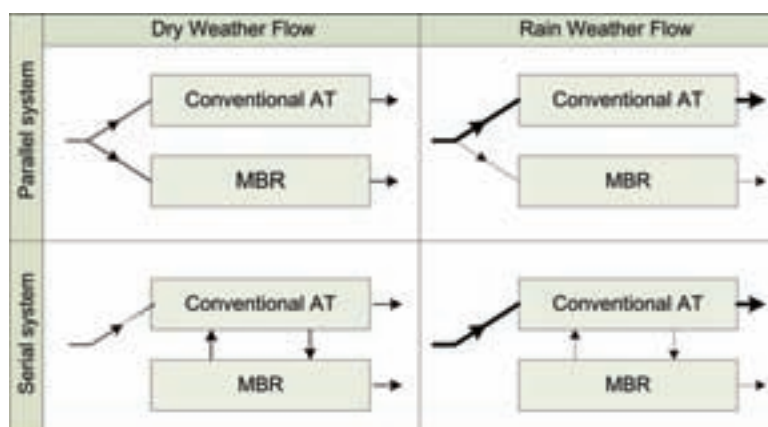
This integrated summary gives an outline of the results and experiences of the research to the membrane bioreactor (MBR) at WWTP Heenvliet (STOWA 2009-35) and WWTP Ootmarsum (STOWA 2009-36). Both the research projects have been performed in the period between spring 2006 and the end of 2008. By combining the results of both projects a representative picture is given of hybrid MBR performances. Both the research projects are financially supported by joined water board districts via the STOWA. Therefore the results for the hybrid MBR have been made available in a STOWA-project.

BACKGROUND

WWTP Ootmarsum and WWTP Heenvliet were conventional WWTP's which have been upgraded with a side stream treatment, along the water treatment, consisting of a membrane bioreactor, in order to improve WWTP effluent quality by decreasing the concentrations of suspended solids and related pollutants. Additionally, the MBR process replaces disinfection by chemicals. The combination of conventional treatment, consisting of an activated sludge system with sedimentation, and MBR-technology is characterised as a hybrid MBR system. The hybrid MBR concept is a model for situations in which existing treatment processes or water quality objectives should be upgraded or optimised. With respect to other similar treatment plants, complete renovation is not necessary and the existing treatment process can be maintained and used as part of the future treatment concept. In the Dutch situation, concerning combined and/or improved separated sewer systems, a membrane treatment process will be an expensive process when it is designed for maximal flow which occurs during rain weather conditions. The Rain Weather Flow (RWF) can increase from 3 times Dry Weather Flow (DWF) even up to 8 times DWF at WWTP Ootmarsum. The high costs are due to the relatively large membrane surface area, which is required for RWF capacity. To achieve a cost efficient design, the hybrid MBR system can be designed (depending on the type of sewer system) based on dry weather flow plus some extra capacity to treat the first flush. The existing conventional treatment is maintained at RWF-capacity, this way the MBR part can be designed as small as possible. During RWF, the MBR treats the wastewater with a maximum capacity of DWF+, meanwhile the rest of the diluted wastewater is treated by conventional WWTP, see figure 1. With the hybrid MBR a notable cost reduction can be obtained and more than 80% of the annual flow and 90% of the annual waste can be treated by the MBR system. Consequently, the application of membrane technology will not be by definition more expensive than conventional upgrading of an existing treatment plant.

FIGURE 1

HYBRID MBR IN PARALLEL AND SERIAL CONFIGURATIE FOR DWF AND RWF



Hybrid MBR-installations in Netherlands

The MBR at WWTP Ootmarsum is operational since September 2007 and is set up parallel to the conventional treatment street. The conventional treatment street consists of an activated sludge treatment with a secondary sedimentation tank and a sand filter for effluent filtration. The MBR-installation of Ootmarsum is equipped with dry placed ultra filtration membranes from Norit (Airlift™-system). The wastewater is equally divided over the two streets. When the maximum capacity of the MBR system is reached during rainy weather, the excess of wastewater is being treated in the conventional street. The MBR and the conventional street are linked to each other through a buffer sedimentation tank. The application of this buffer tank provides on one hand, an optimal division of the hydraulic and biological load during rainy weather and on the other hand, it offers the possibility to remove developed scum. The effluent originating from conventional and MBR treatment is completely post treated by an ecological zone during both DWF and RWF.

The MBR Heenvliet is operational since spring 2006 and has two operational alternatives. The first alternative is parallel operation: two activated sludge systems (one for the secondary sedimentation tank and another for the membrane bioreactor) operated in parallel, their are functions fully independent. The second alternative is serial operation: the MBR process (activated sludge compartment and membrane tanks) is linked to the conventional activated sludge process in series (secondary sedimentation is not applied during periods of DWF). This alternative creates one biological system, in which all wastewater is treated by the MBR-installation, even during the RWF period. The MBR-installation in Heenvliet is equipped with Toray flat sheet membranes.

The applied design principles used for MBR Heenvliet en Ootmarsum is given in table 1.

TABLE 1 APPLIED DESIGN PRINCIPLES

	Heenvliet	Ootmarsum
flow	10.000 i.e. (136 gram TOD)	14.000 i.e. (54 gram BOD)
DWA	1.480 m ³ /d	2600 m ³ /d
net design flux	24,3 l/m ² h	40-55 l/m ² h
maximal capacity MBR	100 m ³ /h	150 m ³ /h
configuration	serial en parallel	parallel
type of membranes	Toray flat sheet membranes	dry ultra filtration membranes (Airlift™-system from Norit)
total membrane surface	4200 m ²	2436 m ²

The various sub processes for phosphorus and nitrogen removal take place in different compartments of both MBR systems.

RESULTS

Pretreatment

Due to the membranes, the MBR system (like a sand filter) is sensitive to unexpected pollutants in untreated wastewater such as chemicals, hair and coarser particles. Therefore the pretreatment, which is essential for the protection of the membranes (deterioration and clogging), is important. Based on the research, it is concluded that the membranes of both hybrid MBR systems are sufficiently and effectively protected by relatively coarse sieve installations. For the externally placed Airlift™-membranes of MBR Ootmarsum and the submerged flat sheet membranes of the MBR Heenvliet respectively, a 2 mm drum sieve and a 3 mm round perforated sheet screen are effectively applied.

At MBR Ootmarsum, two serious calamities have occurred due to discharges (one internal discharge of dewatering polymers and another external discharge of an unknown substance). This has led to significant deterioration of the membranes and intensive chemical washing, which was necessary to restore the membrane performance. The external discharge also disturbed the performance of the sand filter at WWTP Ootmarsum. It should be clear the discharging sticky and obstructing (chemical) products to an MBR system should be prevented as much as possible. This can be obtained by making clear agreements with companies and industries that discharge on the sewage system, or if necessary disconnect certain dischargers (note the deterioration of the membrane filtration process of MBR Varsseveld by the discharge of cheese coating layer).

Parallel- versus serial operation

For MBR Heenvliet, the serial operation was successfully applied in which the activated sludge was operated in the two different configurations and at two different dry solids content conditions. Based on the experience obtained from MBR Heenvliet, serial operation is considered as the easier and more efficient alternative compared to parallel operation. The treatment performances were as expected. Due to the sludge sedimentation properties in both the systems, it was possible to switch between the membrane tank and secondary sedimentation tank. In addition, during serial treatment the highest efficiency can be achieved by treating as much wastewater as possible through a minimal membrane surface area. At the same time, the membrane aeration energy and cleaning chemicals (per volume of treated permeate) are saved.

The MBR Ootmarsum is only operated in parallel to the conventional installation. From technical point of view, this parallel configuration has been experienced as satisfying. In case of failure of the MBR system, the conventional treatment process is capable of treating the complete influent. In case of an emergency situation it did not appear to be necessarily to discharge fresh sludge from the buffer sedimentation tank to other WWTP's

Effluent water quality

As the application of upgrading the conventional WWTP to a hybrid membrane installation is primarily motivated by the consideration of improving the effluent water quality, the treatment performance of hybrid MBR is important.

A criterion for the nitrogen concentration in the permeate of the hybrid MBR-installation is the degree of denitrification. For WWTP Heenvliet, the annual average concentrations of total nitrogen in the permeate is below 2 mg/l. The total nitrogen concentration in the permeate and the filtrate of WWTP Ootmarsum is approximately 3.6 mg/l. For both the WWTP's it

turned out to be difficult to achieve yearly average phosphorus concentrations below 0.3 mg P_{total}/l. The MBR Ootmarsum is less effective for advanced phosphorus removal than the conventional process, this is probably due to the input of oxygen and low sludge production. The phosphorus removal in the MBR Heenvliet is better than the conventional biological phosphorus removal. The annual average phosphorus concentrations in the permeate for WWTP Heenvliet and the WWTP Ootmarsum are respectively approximately 1 mg/l and 1.5 mg/l. With only 1-25 CFU/l in produced permeate, the MBR system is considered as an excellent disinfection method. Hybrid MBR-installation disinfect significantly better than the sand filter (around 3·10⁵ CFU/l) at WWTP Ootmarsum and secondary sedimentation (circa 7·10⁵ CFU/l). In table 2 the quality of the permeate of MBR Heenvliet and Ootmarsum is summarised. The removal performances of Water Framework Directive related substances like organic micro-pollutants and heavy metals through MBR-installations or conventional treatment with a settling tank (and a sand filter) are comparable. The possible differences of the calculated removal efficiencies are probably due to the low influent concentrations (often below the detection limit). The concentration of undissolved substances in the permeate of MBR Ootmarsum is lower than the detection limit of 1.2 mg/l. The sand filter at MBR Ootmarsum is also able in removing undissolved substances with concentrations in the filtrate lower than 1.2 mg/l.

TABLE 2 QUALITY OF THE PERMEATE

	Heenvliet (serial)	Ootmarsum (parallel)
N-total	< 2 mg/l	3,6 mg/l
P-total	2,25 mg/l	2 mg/l
CFU	< 20 CFU/l	<25 CFU/l

Permeability and cleaning

The permeability of the membranes at Heenvliet decreased from 1.400 l/m².h.bar to 250 - 500 l/m².h.bar within the first eight months after start up. For the membranes of MBR Ootmarsum the permeability was around 300 - 500 l/m².h.bar in the first testing year. In order to maintain the permeability of the membranes, chemical cleanings were executed two to four times per year. These cleanings were performed in situ in the membrane tank. In order to prevent precipitation of metal salts, formed during the chemical cleaning, the membranes were washed with hypochlorite after cleaning. The Airlift™-membranes of MBR Ootmarsum have a completely automated chemical cleaning procedure, which is carried out as a preventative treatment once a month. Therefore the chemicals are added to the permeate used for back-washing the membranes and for soaking the membranes during a specific contact time.

Sludge sedimentation property and sludge content

The dry solids content in the activated sludge compartment of the MBR systems is two to three times higher than in the conventional installation. The dry solid content in the MBR Heenvliet is 12 to 15 g/l. The solid content for the external placed membrane modules at WWTP Ootmarsum is around 9 g/l.

For a hybrid MBR system, it is important that the sludge sedimentation characteristics of the MBR system and the conventional system are comparable. In that situation, it is possible to switch between the two treatment system and in case of serial treatment at MBR Heenvliet, switch to the settling tank in case of calamities. The sludge volume index (SVI) for the sludge in the MBR Heenvliet varies between 90 ml/g to 110 ml/g and is always lower than 120 ml/g. During serial operation, there were no problems during switching between the MBR tank and the secondary sedimentation tank. No sludge was lost during switching. For MBR Ootmar-

sum, the SVI in the MBR-installation varies between 90 to 150 ml/g, but this sludge never flows to the secondary sedimentation tank. The maximal SVI for the corresponding conventional treatment process is approximately 110 ml/g.

Training and operational management

The (hybrid) MBR system is a relatively new technology for water administrators and operators for the treatment of domestic wastewater due to a number of new elements such as membranes, sludge circulation from or to membranes, membrane aeration and membrane cleaning. The activated sludge process in the MBR system is in principle identical to the sludge process in the conventional system, except the (two to three times) higher sludge content. In order to achieve optimal operation of the MBR-installation the extra operational training on membrane technology is necessary. If the operating staff is various, the complete staff should be kept up to date with the MBR technology. The staff should also be present more frequently at the WWTP in order to keep the knowledge up to date. For an MBR system with a capacity around 10.000 population equivalents, at least 0.5 FTE should be taken into account with a higher educated level. During the start up period (at least three months), more staff is required. In this period training of staff should be given priority as well.

Energy consumption

For the MBR-installations, the compressors for (cleaning) aeration and the circulation pumps for the membrane tanks consume most of the energy. This is also valid for the hybrid MBR system, although the energy consumption is lower than full MBR system due to the smaller applied membrane surface area (this results in savings of membrane aeration and cleaning chemicals). Research shows that the energy consumption varies between approximately 1 and 1.25 kWh per produced m³ permeate. The continuous operation of MBR Heenvliet leads to the total energy consumption of approximately 0.98 (without prerequisite relaxation) to 1.23 kWh/m³ (with prerequisite relaxation). The energy consumption of MBR Ootmarsum is based on the derived numbers and is approximately 1.0 kWh/m³ (of which about 0.4 kWh/m³ is needed for the membrane cleaning with the Airlift™-principle). Energetic optimisations such as an increasing capacity or a decrease of the ramp down time can lead to a lower energy consumption of below 1,0 kWh/m³. It should also be taken into account that these energy numbers are applied to the demonstration installation of MBR Heenvliet and Ootmarsum. When a hybrid MBR is practised on a larger scale it can be assumed that the total energy consumption per m³ water will be less (caused by lower energy consumption of the pumps per treated amount of wastewater). Compared to the energy consumption of a conventional WWTP (0.4-0.5 kWh/m³ treated wastewater), the energy consumption of a hybrid MBR system is still considerably high.

Cost

As both hybrid MBR systems at Heenvliet and Ootmarsum are small demonstration installations, the definitive costs for installations in practice cannot be given. Membrane installations are an expensive alternative compared to conventional installations, the same is true for the hybrid MBR systems. However, the treatment performance of an MBR process is significantly better than conventional treatment (in relation to suspended solid removal and disinfection). Based on the design of both types of MBR-installations, it can be concluded that the hybrid MBR system is much more cost-effective compared to full MBR system due to its significantly smaller membrane surface area and less necessary auxiliary installations. The same can be concluded for capital- and operational costs per treated amount of wastewater.

CONCLUSION

The hybrid MBR systems at WWTP Ootmarsum and WWTP Heenvliet are considered as successful concepts by which excellent results can be achieved. The (bacteriological) water quality of the permeate from hybrid MBR systems is significantly better than the water quality of the effluent from secondary sedimentation tanks. The hybrid MBR-system is successfully developed and introduced in practice in the Netherlands. With the hybrid MBR-configuration, as much wastewater as possible can be treated with the membrane (bio) reactor in combination with a minimised membrane surface area, thus at the lowest possible costs. However, better water quality requires a higher energy consumption of 1-1.25 kWh/m³ compared to 0.5 kWh/m³ for a conventional treatment process, but the consumption is still lower than of a full MBR system. Operational management and regular activities needed for the MBR technology after start up can be implemented into the daily activities of the management and staff. Special attention should be paid to the training of the staff operating the MBR system.

In order to gain more insight in the working principles, the energy consumption and the performance of the MBR system, additional monitoring should be foreseen. This will possibly lead to further optimisation of the processes.

DE STOWA IN BRIEF

The Foundation for Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are all ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater treatment installations and dam inspectors.

The water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative legal and social scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed based on requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as knowledge institutes and consultants, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

The money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some 6,5 million euro.

For telephone contact number is: +31 (0)30-2321199.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 8090, 3503 RB, Utrecht.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

ERVARINGEN MET HYBRIDE MBR HEENVLIET

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING HYBRIDE MBR HEENVLIET	
	INTEGRALE SAMENVATTING HYBRIDE MBR'S HEENVLIET EN OOTMARSUM	
	STOWA IN HET KORT	
	INTEGRATED SUMMARY OF HYBRID MBR'S HEENVLIET EN OOTMARSUM	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
	1.1 Algemeen	1
	1.2 Hybride MBR	1
	1.3 Parallel nationaal en internationaal onderzoek	1
	1.4 Samenwerking met Technische Universiteit Delft	2
2	BESCHRIJVING HYBRIDE MBR HEENVLIET	3
	2.1 Achtergrond locatiekeuze	3
	2.2 Oude situatie	3
	2.3 Hybride membraanbioreactor in parallel- en/of serieconfiguratie	4
	2.4 Kostenoptimalisatie door DWA+ ontwerp	5
	2.5 Membraankeuze	6
	2.6 Membraanunits	6
	2.7 Ontwerpgrondslagen van de MBR	7
	2.8 Metingen in de MBR	8
	2.9 Aanpassingen bestaande rwzi	9
	2.10 Opzet onderzoek	9
	2.10.1 Fase 1: ervaring opdoen met MBR Heenvliet	9
	2.10.2 Fase 2: seriebedrijf	9
	2.10.3 Fase 3: parallel bedrijf	10

3	RESULTATEN	11
3.1	Tijdslijn	11
3.2	Algemene parameters MBR	12
3.3	Influentkwaliteit	12
3.4	SVI en drogestofgehalte	14
3.5	Slibproductie	15
3.6	Effluentkwaliteit	15
	3.6.1 Stikstof	15
	3.6.2 Fosfaat	17
	3.6.3 Prioritaire stoffen en zware metalen	21
	3.6.4 Desinfectie	22
3.7	Overige analyses	25
	3.7.1 Microscopische slibbeeldanalyses	25
	3.7.2 Slib in permeaat	27
	3.7.3 Filamentindex	27
	3.7.4 Filtratiekarakteristieken	28
	3.7.5 Roostergoedverwijdering	29
	3.7.6 Alfa-factor metingen	29
	3.7.7 Slibontwatering (FE-cel onderzoek)	29
3.8	Energieverbruik	31
	3.8.1 Energieverbruik per installatieonderdeel	31
	3.8.2 Specifiek energieverbruik	32
	3.8.3 Verdere optimalisaties	32
4	BEDRIJFSVOERING	34
4.1	Technologische aspecten	34
	4.1.1 Nutriëntenverwijdering	34
	4.1.2 Drogestofgehalten in omloopsysteem en MBR	34
	4.1.3 Meten effluentkwaliteit NBT	34
	4.1.4 Behandelde debieten	34
	4.1.5 Bedrijfsvoeringsaspecten	35
4.2	Technische aspecten	35
	4.2.1 Ervaringen met meters	35
	4.2.2 Flushen luchtleidingen	36
	4.2.3 Verschil boven en ondermodules	36
4.3	Membraanfiltratie	36
	4.3.1 Ontwikkeling permeabiliteit	36
	4.3.2 Luchtspoeling	37
	4.3.3 Autopsies	38
	4.3.4 Membraanreinigingen	39
	4.3.5 Relaxatie	40
	4.3.6 Permeaatflux	41
4.4	Overige aandachtspunten	41
4.5	Operationele Kosten	42
	4.5.1 Energiekosten	42
	4.5.2 Chemicaliënkosten (reiniging)	42
	4.5.3 Personeels- en onderhoudskosten	42

5	DISCUSSIE	43
5.1	Membraanintegriteit	43
5.2	Potentie hybride MBR als uitbreidingsvariant	43
5.3	Fosfaatverwijdering	44
5.4	Roostergoedverwijdering	44
6	CONCLUSIES	45
6.1	Vooruitblik	46
	BIJLAGEN	
I	Foto Impressie Hybride MBR Heenvliet	47
II	Resultaten fosfaatanalyses en fosfaatbalans Inleiding	49
III	Lijst prioritare stoffen	55
IV	Geanalyseerde monsters micro-verontreinigingen en zware metalen	57
V	Resultaten FE-cel testen	59

1

INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

In dit rapport worden de ervaringen en de resultaten beschreven van het onderzoek met de hybride membraanbioreactor (MBR) Heenvliet. De MBR Heenvliet is gerealiseerd na een voorstel tot realisatie in het derde strategische plan, SP3 genaamd, van het voormalige Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden (thans Waterschap Hollandse Delta). In het SP3 wordt onderkend dat nieuwe technieken voor het zuiveren van afvalwater ontwikkeld moeten worden voor het bereiken van verbeterde kwaliteit van het oppervlaktewater. Hierbij is met name de MTR-kwaliteit genoemd. Het Waterschap wenste een actieve rol te spelen in de verdere ontwikkeling van de MBR. Daarnaast was er behoefte om zelf ervaringen met MBR-technologie op te doen. Uiteindelijk werd besloten om op de rwzi Heenvliet een MBR te realiseren, met als doel het uitvoeren van onderzoek en het leveren van een bijdrage aan de toepassing van de membraanbioreactor.

1.2 HYBRIDE MBR

Sinds de opstart van de hybride MBR Heenvliet in 2006, zuivert deze een substantieel aandeel van de totale influent. De MBR is gecombineerd met de bestaande installatie. De combinatie van conventionele en MBR-technologie wordt hybride MBR genoemd. Er wordt zelfs naar gestreefd om zoveel mogelijk water te behandelen in de MBR. De hybride MBR kan model staan voor situaties waarbij bestaande installaties moeten worden uitgebreid of naar kwaliteitsdoelen moeten worden geoptimaliseerd. Er is voor dergelijke installaties dan geen volledige nieuwbouw nodig omdat de bestaande capaciteit behouden kan blijven en ingezet wordt in het totale toekomstige zuiveringsconcept.

1.3 PARALLEL NATIONAAL EN INTERNATIONAAL ONDERZOEK

In Nederland is naast de MBR Heenvliet een tweede hybride MBR in bedrijf. Bij het Waterschap Regge en Dinkel is in Ootmarsum een hybride MBR gebouwd, waar eveneens onderzoek wordt uitgevoerd. Beide hybride MBR-projecten zijn financieel ondersteund door de gezamenlijke waterschappen via de STOWA. Daar staat tegenover dat de resultaten van de hybride MBR in een STOWA-project ter beschikking zullen worden gesteld.

Naast het STOWA-onderzoek maakt Waterschap Hollandse Delta (WSHD) deel uit van een Europees onderzoeksconsortium onder de naam EUROMBRA (in nauwe afstemming met de partnerprojecten AMEDEUS en MBR-Train, zie www.mbr-network.eu). In dit consortium werken 18 partners samen om de MBR-technologie verder te ontwikkelen. De resultaten van de hybride MBR Heenvliet zijn aan de consortiumpartners ter beschikking gesteld waarbij de procesvoering waar mogelijk op de onderzoeksbehoeften van het consortium wordt afgestemd. Het EUROMBRA-onderzoek is gestart in oktober 2005 en heeft een duur van 3,5 jaar.

1.4 SAMENWERKING MET TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT

Bij de Technische Universiteit Delft (TUD) is een onderzoek gaande onder de naam MBR-2. Dit onderzoek heeft als doel de filtreerbaarheid van MBR-slib te karakteriseren, parameters die invloed hebben op de filtreerbaarheid te identificeren en de filtreerbaarheid van MBR-slib te optimaliseren. Waterschap Hollands Delta steunt dit onderzoek. In ruil daarvoor richt het onderzoek van de TUD zich op de hybride MBR Heenvliet. Het onderzoek is gestart begin 2005 en duurt vier jaar. Bij de Technische Universiteit Delft is er een verwevenheid in het EUROMBRA-onderzoek (waar ook de TU Delft partner is), het MBR-2 project en het derde MBR-project (MBR-Train) met financiële ondersteuning vanuit de zogenaamde Marie Curie subsidie. Tussen 2005 en 2011 zijn vier promovendi actief in verschillende onderzoekslijnen. Deze nevenonderzoeken maken echter geen onderdeel uit van het rapport.

In deze rapportage worden de resultaten gerapporteerd met betrekking tot het STOWA-onderzoek en het EUROMBRA-project. Er is tevens gebruik gemaakt van de resultaten van de andere genoemde onderzoeksprojecten.

2

BESCHRIJVING HYBRIDE MBR HEENVLIET

2.1 ACHTERGROND LOCATIEKEUZE

Nadat de beslissing was genomen om binnen het Waterschap Hollandse Eilanden en Waarden (thans waterschap Hollandse Delta) een MBR te realiseren is gezocht naar een geschikte locatie. Er is uiteindelijk gekozen voor de rwzi Heenvliet (10.000 ie). De redenen die hebben geleid tot deze keuze zijn:

- de schaalgrootte van de MBR kan beperkt blijven, zodat het budgettair past;
- de bestaande rwzi kan sterk worden ontlast;
- er kan een directe vergelijking worden gemaakt op één locatie tussen een MBR en een zeer laagbelaste installatie;
- het effluent loost op eigen water, zodat een kwaliteitsverbetering direct ten goede komt aan de waterkwaliteit in het gebied van het waterschap Hollandse Delta;
- het effluent op Heenvliet moet worden gedesinfecteerd omdat het wordt geloosd op oppervlaktewater dat recreatieve doeleinden heeft. Het gebruik van een MBR heeft als voordeel dat een additionele chemische desinfectiestap niet meer nodig is.

2.2 OUDE SITUATIE

De rwzi Heenvliet dateert uit 1989 en is een ultra laagbelaste installatie. Het influent passeert achtereenvolgens de volgende installaties en onderdelen:

- kettingrooster met een spleetwijdte van 6 mm;
- een selector met een inhoud van 34 m³ en een verblijftijd van 10 minuten bij DWA;
- een beluchtingstank, type omloopsysteem, met twee puntbeluchters en een volume van 1.726 m³;
- een nabezinktank met een diameter van 26 meter en kantdiepte 1,5 m, en een oppervlaktebelasting van maximaal 0,7 m³/m²-uur;
- een retourslibvijzel;
- een desinfectiegoot met dosering van chloorbleekloog;
- een effluentvijzel.

De installatie heeft een ontwerpcapaciteit van 8.880 v.e. (à 136 gram TZV/i.e.). Sinds 2006 wordt tevens het afvalwater gezuiverd dat afkomstig is van Abbenbroek, nadat de betreffende rwzi (met een ontwerpcapaciteit van 1.650 v.e. (à 136 gram TZV/ie) was geamoveerd. In 2008 werd een belasting gemeten van 8.940 i.e. voor de rwzi's Heenvliet en Abbenbroek samen.

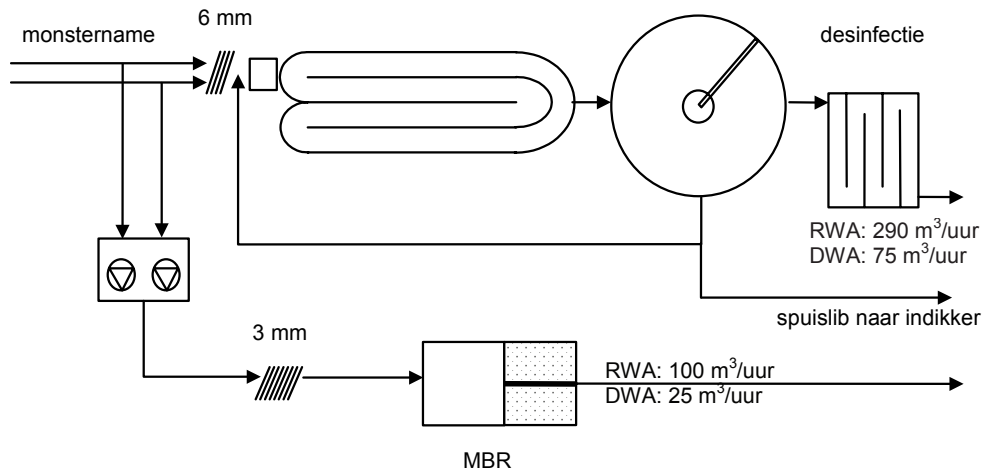
Het effluent van rwzi Heenvliet wordt geloosd op het kanaal door Voorne en dient te voldoen aan de onderstaande eisen:

- BZV < 10 mg/l;
- totaal stikstof < 15 mg/l;
- totaal fosfaat < 2 mg/l;
- zwevende stof < 15 mg/l.

2.3 HYBRIDE MEMBRAANBIOREACTOR IN PARALLEL- EN/OF SERIECONFIGURATIE

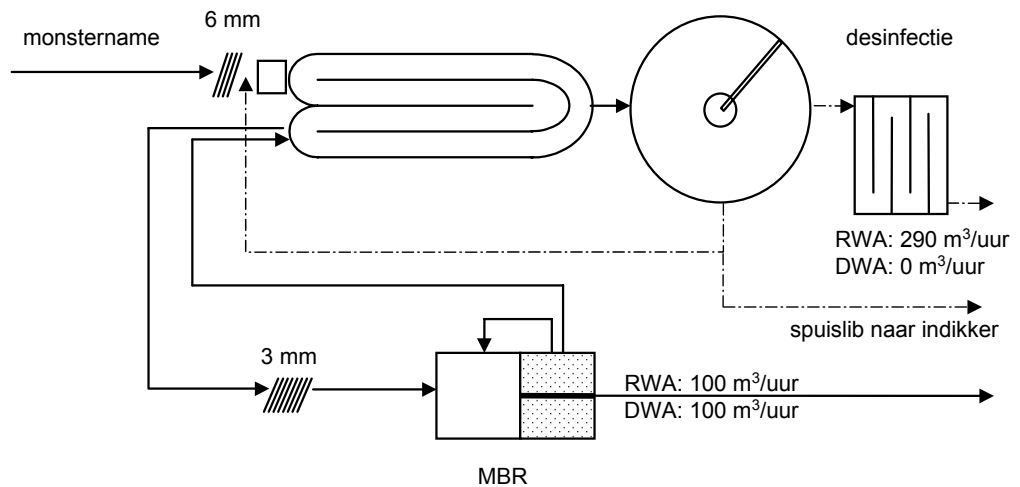
De membraanbioreactor is flexibel van opbouw en is op twee wijzen te gebruiken. De eerste mogelijkheid is een parallel bedrijf, zie Afbeelding 1 waarin het systeem schematisch is weergegeven. In deze situatie is feitelijk sprake van twee systemen die onafhankelijk van elkaar functioneren. Dit geeft de mogelijkheid om de MBR-techniek te vergelijken met conventionele waterzuivering onder gelijke omstandigheden. Monsternamen zitten vlak voor de roostergoedverwijdering, net na de afloop van de nabezinktank en in de permaatkelder waar het permeaat van Membraantank (MT) 1 en Membraantank 2 volledig gemengd is.

AFBEELDING 1 HYBRIDE MBR HEENVLIET IN PARALLELLEDRIJF



De tweede mogelijkheid om de MBR in te zetten is in serie met de conventionele installatie, zie Afbeelding 2. Er ontstaat hierbij één biologisch systeem. Het slib uit het omloopsysteem en de biologie van de MBR wordt continu uitgewisseld. Het is mogelijk om effluent via zowel de membraantanks (MT1 en MT2) als via de nabezinktank en desinfectie te lozen. Op deze wijze kan optimaal gebruik worden gemaakt van de membranen. De nabezinktank is daarbij alleen tijdens regenweeraanvoer (RWA) nodig.

AFBEELDING 2 HYBRIDE MBR HEENVLIET IN SERIEELLEDRIJF



Het streven is om zo veel mogelijk water te behandelen in de MBR. Afbeelding 3 illustreert de werking van de Hybride MBR bij droog weer afvoer en regenweer afvoer. Bij de parallelle configuratie zijn de membranen gedimensioneerd op de maximale hydraulische belasting.

Hierdoor is het mogelijk om met name onder droogweer omstandigheden de hydraulische capaciteit van de membranen maximaal te benutten. Dit in tegenstelling tot een MBR die de volledige regenweeraanvoer moet behandelen, in die situatie zal de membraanstap gediimensioneerd moeten worden op de maximale RWA. In de hybride MBR zal bij RWA het DWA-aandeel door de MBR-straat behandeld worden en het resterende deel in de conventionele straat. Indien de hoeveelheid afvalwater toeneemt, onder regenweer omstandigheden, zal de capaciteit van de membranen beperkend worden. Het aandeel van het afvalwater dat behandeld wordt in de conventionele installatie zal onder deze omstandigheden moeten toenemen.

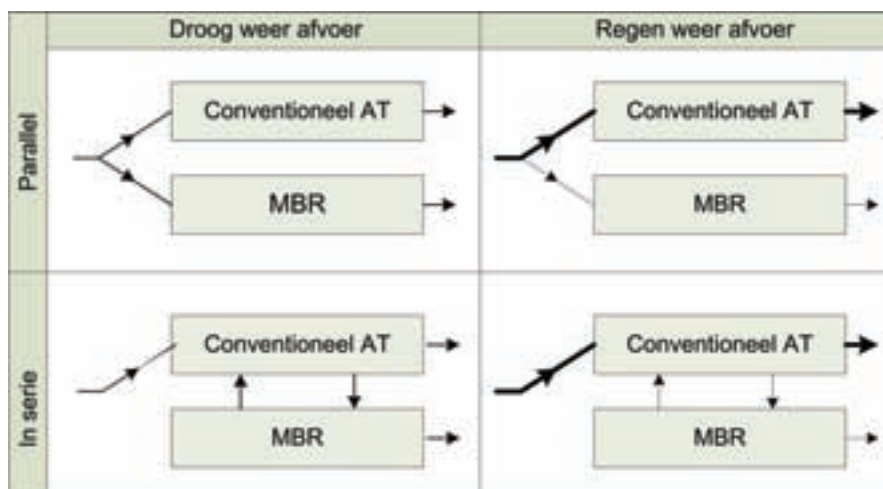
Een aandachtspunt van de hierboven geschetste hybride configuratie is de biologische capaciteit van de conventionele installatie. Indien deze bij droog weer slechts een beperkt deel van de afvalwaterhoeveelheid te verwerken krijgt, zal slechts een beperkte omzetting capaciteit worden ontwikkeld. Tijdens een plotselinge piekbelasting zal de omzetting capaciteit vervolgens onvoldoende groot zijn om de vuilvracht adequaat om te zetten, met als gevolg een piek in de effluentvracht van diverse verontreinigende stoffen onder regenweer omstandigheden.

2.4 KOSTENOPTIMALISATIE DOOR DWA+ ONTWERP

In de Nederlandse situatie met gecombineerde en/of verbeterd gescheiden rioolstelsels zijn membraaninstallaties relatief duur indien deze op de maximaal optredende debieten (tijdens regenweer) worden ontworpen. De hoge kosten worden veroorzaakt door het relatief grote membraanoppervlak dat nodig is om het RWA-debiet (veelal $> 3 \times$ DWA) te kunnen verwerken. Voor een kosteneffectief ontwerp waarbij minimaal 90% van de jaarlijkse vuillast via de MBR gezuiverd wordt, is het in het geval van een hybride MBR mogelijk om de installatie op een DWA+-debiet te dimensioneren. Hierbij wordt de MBR ontworpen op een hydraulische aanvoer van DWA + 20 à 30 % overcapaciteit om de eerste regenflush op te kunnen vangen. De bestaande conventionele zuiveringsonderdelen blijven op het oorspronkelijke RWA-ontwerp gehandhaafd, maar de MBR-onderdelen worden zo klein mogelijk gehouden. Tijdens regenweer blijft de MBR op maximale capaciteit de het DWA+-debiet verwerken terwijl de conventionele rwzi de resterende verdunde afvalwaterstroom behandelt. Hiermee kan tegen aanzienlijke kostenbesparing voor membranen en membraantanks meer dan 80% van het jaarlijkse afvalwaterdebiet en meer dan 90% van de vuilaanvoer via de membranen behandeld worden, waardoor membraantechnologie niet per definitie duurder is dan conventionele uitbreiding van een bestaande installatie.

AFBEELDING 3

HYBRIDE MBR IN TWEE CONFIGURATIES, BIJ REGENWEERAFVOER EN DROOGWEERAFVOER



2.5 MEMBRAANKEUZE

Voor MBR Heenvliet is op basis van selectiecriteria gekozen voor het ondergedompelde plaat-membraansysteem van Toray. Dit membraansysteem wordt in Nederland geleverd door de firma Keppel-Seghers. In eerste instantie is aan vier leveranciers een aanbieding gevraagd. De keuze is bepaald na evaluatie van diverse factoren. Factoren die hebben geleid tot de keuze zijn onder meer:

- van platen werd verwacht dat ze minder gevoelig zijn voor verstoppingen dan capillaire membranen. Voorbehandeling hoeft daarom minder ver te gaan, 3 mm versus minder dan 1 mm zoals geadviseerd bij sommige andere systemen. Een verdergaande roostering is in dit verband als een nadeel aangemerkt in verband met storingsgevoeligheid, en in verband met mogelijke negatieve invloed op de BZV:N-verhouding;
- Toray levert membraanmateriaal van PVDF, dat meer resistent is voor chemicaliën dan de membranen van sommige andere membraanleveranciers. Dit kan een voordeel zijn in relatie tot reiniging met chemicaliën;
- platen worden minder frequent gereinigd dan capillaire membranen;
- energieverbruik van Toray is (met de oorspronkelijk gerealiseerde membraanbeluchting) volgens opgave lager dan dat van enkele andere leveranciers;
- de afname voor de fluxen is aanzienlijk gunstiger dan voor enkele andere systemen. Overigens zit hier wel een onzekerheid in.

Geschat is dat met dit systeem de grootste kans bestaat voor een succesvolle bijdrage aan de verdere ontwikkeling binnen de randvoorwaarden van kosteneffectiviteit, eenvoud in bedrijfsvoering en energieverbruik.

2.6 MEMBRAANUNITS

De gemiddelde poriegrootte van de plaatmembranen bedraagt 0,08 μm . De membraanplaten (zie Afbeelding 4) zijn ondergebracht in modules, die per twee stuks zijn gestapeld (dubbeldek-configuratie). De ontwerpcapaciteit van de MBR bedraagt 100 m^3/h en de biologische capaciteit is gelijk aan 3.330 i.e.

De dimensioneringsgrondslagen zijn als volgt.

- | | | |
|--------------------------|--------|---------------------------------|
| • netto ontwerpflux | :24,3 | $\text{l}/\text{m}^2\text{h}$; |
| • aantal platen | :3.000 | stuks; |
| • totaal oppervlak | :4.200 | m^2 ; |
| • aantal membraantanks | :2 | stuks; |
| • aantal membraanmodules | :16 | stuks. |

AFBEELDING 4

MEMBRANEN MBR HEENVLIET (MEMBRANEN: TORAY; LEVERANCIER: KEPPEL-SEGHERS)



2.7 ONTWERPGRONDSLAGEN VAN DE MBR

De membraanbioreactor is gebaseerd op een parallel en serie bedrijf. Het actief slibgedeelte is ingericht conform het m-UCT proces. De biologie is sterk gecompartmenteerd en de opbouw van het systeem lijkt grotendeels op het eerder toegepaste systeem 'Hoogvliet'. Doordat de diverse deelprocessen voor fosfaat- en stikstofverwijdering in verschillende compartimenten plaats vinden, kunnen deze worden geoptimaliseerd. De anaërobe ruimtes hebben de functie van fosfaatafgifte tank ten behoeve van de biologische fosforverwijdering. In de overige compartimenten wordt de stikstofverwijdering geoptimaliseerd. Om de denitrificatie te ondersteunen is er een mogelijkheid om een deel van het afvalwater direct in de wisseltank te brengen gedurende anoxische perioden. De nabeluchttingsruimte heeft als functie het "opfrissen" van het slib. Hierdoor wordt verondersteld dat de hoeveelheid extracellulaire polymere stoffen (EPS) die door het slib wordt geproduceerd verlaagd kan worden vóór het de membraan-tank binnenstroomt. Voor fosfaatverwijdering wordt uitgegaan van een biologische fosfaatverwijdering. Ter ondersteuning is een dosering van FeCl_3 geïnstalleerd in beluchtingstank van de conventionele straat. Met een bescheiden bypass van influent kan in de laatste onbeluchte fase voldoende BZV worden ingebracht ten behoeve van denitrificatie. In Afbeelding 5 wordt een processchema gegeven van de MBR.

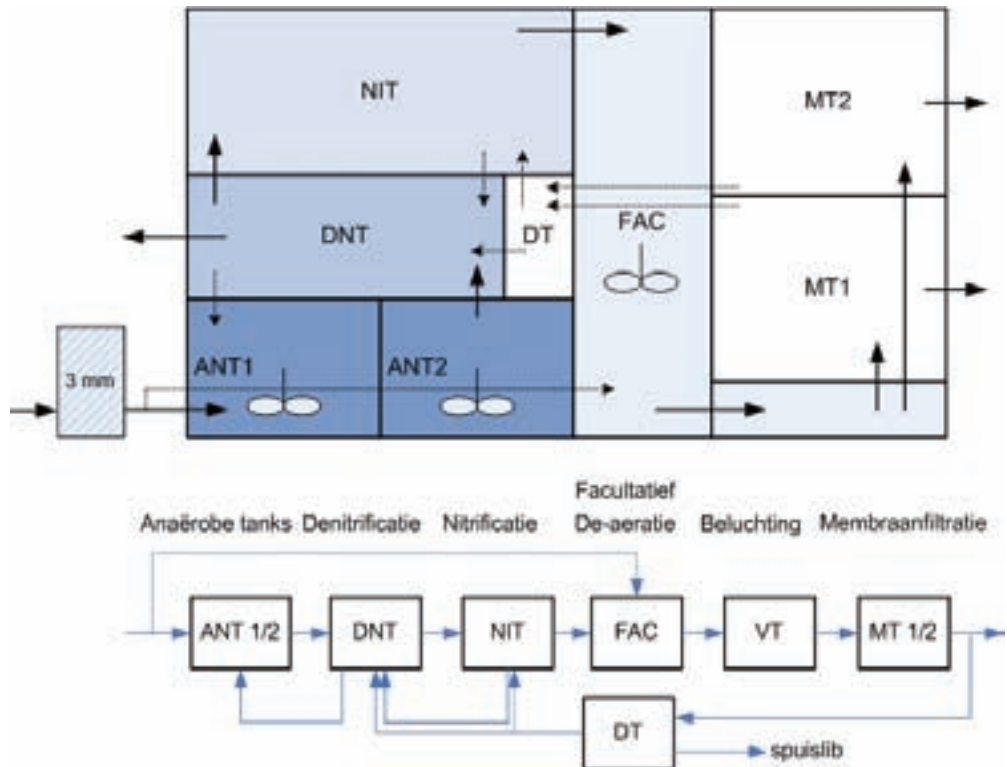
De roostergoedverwijdering bestaat uit een bandfilter met perforaties. Hiermee wordt roostergoed efficiënter verwijderd in vergelijking met spleten. De perforaties hebben een afmeting van 3 mm. Indien tijdens het onderzoek ophoping van vuil in de MBR wordt waargenomen, kan het apparaat worden omgebouwd naar kleinere perforaties. Met een poriegrootte van 3 mm is het mogelijk om de roostergoedverwijdering in één stap uit te voeren, in tegenstelling tot sommige andere MBR-installaties. Onderzoek (haartesten) heeft ondertussen uitgewezen dat het 3 mm rooster voldoet.

De nominale netto ontwerp flux is gelijk aan circa $24,3 \text{ l/m}^2\text{h}$. De maximale netto flux van de MBR-installatie bedraagt $45 \text{ l/m}^2\text{h}$. De MBR is tevens gebaseerd op een slibbelasting van $0,045 \text{ kg BZV/kg ds/d}$ bij verwerking van 25% van de totale influentstroom zodat er kan worden voldaan aan de $N_{\text{ totaal}}$ eis van 5 mg/l . Fosfaatverwijdering vindt biologisch plaats. Gezien de lage streefwaarden voor fosfaat van $0,15 \text{ mg/l}$ (MTR waarde) is voorzien in de mogelijkheid voor een aanvullende chemische fosfaatverwijdering. Dit onderzoek naar de optimalisatie van fosfaatverwijdering is echter geen onderdeel van de huidige rapportage.

Tijdens hybride seriebedrijf wordt het afvalwater eerst in de bestaan het omloopsysteem behandeld. Vervolgens komt het slibwatermengsel in de MBR. De sterke compartimentering van de MBR heeft in deze procesvoering weinig meerwaarde meer, omdat veel stikstof reeds in het omloopsysteem wordt omgezet. De denitrificatiecapaciteit in het MBR-deel is beperkt omdat alleen nog voornamelijk endogeen zal worden gedenitrificeerd. Door middel van beperking van de beluchting in het omloopsysteem kan naar een stikstofverwijderings-optimalisatie worden gezocht in beide systemen.

De membraantank is in twee compartimenten (MT1 en MT2) opgedeeld. Op deze wijze bestaat enerzijds de mogelijkheid om één membraantank buiten bedrijf te stellen en de flux te verhogen, en kan anderzijds de prestatie worden gegarandeerd door het kiezen van een lagere flux in de andere membraantank. Op deze wijze kunnen de grenzen van het systeem worden verkend.

AFBEELDING 5 OPBOUW VAN DE MBR



2.8 METINGEN IN DE MBR

In de MBR vinden diverse metingen plaats. In algemene zin worden de volgende parameters gemeten:

- toevoerdebiet MBR;
- toevoerdebiet in de bypass naar de facultatieve tank;
- retourdebiet van de MBR naar het omloopsysteem (hybride seriebedrijf);
- spuislibdebiet (parallel bedrijf);
- energieverbruik van de afzonderlijke blowers, voor nitrificatietank, facultatieve tank en membraantanks;
- totaal energieverbruik MBR.

In relatie tot de werking van het biologische proces worden de volgende parameters online gemeten:

- zuurstofconcentratie in de nitrificatietank;
- zuurstofconcentratie in de facultatieve tank;
- nitraatmeting in de facultatieve tank;
- ammoniummeting in de facultatieve tank;
- drogestofconcentratie in de toevoer naar de membraantanks.

In relatie tot de membraanfiltratie worden de volgende parameters gemeten:

- hoogte waterspiegel in de MBR;
- toevoerdebiet naar de beide membraantanks (2X);
- afvoerdebiet van het permeaat (4X);
- verschildruk tussen membraantank en permeaatheder (4X);
- temperatuur MBR;
- pH in één van de membraantanks.

Naast de online metingen is het mogelijk om op diverse plaatsen steekmonsters te nemen. De aparte compartimenten zijn toegankelijk door middel van luiken, en door middel van speciale monsterpijpjes.

2.9 AANPASSINGEN BESTAANDE RWZI

Voor het onderzoek zijn in het bestaande omloopsysteem aanpassingen gedaan. Deze aanpassingen hebben als doel om het proces te verbeteren, en net als in de MBR een verbeterde effluentkwaliteit na te streven. Bovendien wordt de flexibiliteit van de installatie vergroot. De aanpassingen zijn:

- vergroting beluchtingcapaciteit: één van de puntbeluchters is vervangen door een beluchter met een grotere capaciteit. Deze beluchter is energiezuiniger en wordt frequentie gestuurd. Door deze grotere beluchter ontstaat de mogelijkheid om discontinu te beluchten;
- montage voortstuwer. Indien de beluchtingsintensiteit laag is, of indien geheel niet wordt belucht, is hiermee de voorstuwing en de menging van het omloopsysteem gegarandeerd;
- online meting van ammonium en nitraat;
- wijziging van de beluchtingsregeling naar intermitterende beluchting.

2.10 OPZET ONDERZOEK

Voor het praktijkonderzoek op de locatie Heenvliet is een onderzoeksplan geschreven, waarvan in deze paragraaf de hoofdlijnen zijn geschetst. In het onderzoeksplan is het onderzoek opgedeeld in een drietal fasen. In verband met de doorlooptijd worden in dit rapport alleen de resultaten en ervaringen van fase 1 en fase 2 beschreven.

2.10.1 FASE 1: ERVARING OPDOEN MET MBR HEENVLIET

Sinds de opstart in 2006 tot eind 2007 is sprake geweest van fase 1. Om deze fase goed te kunnen afronden is een test uitgevoerd in parallel bedrijf. Het testen van parallelbedrijf is gestart op 29 oktober 2007 en heeft 30 dagen geduurd.

2.10.2 FASE 2: SERIEBEDRIJF

Eind 2007 is de MBR in seriebedrijf opgestart. Het onderzoek in fase 2 heeft een doorlooptijd van ruim een jaar.

Gedurende parallel en seriebedrijf in fase 1 en fase 2 zijn de volgende inzichten opgedaan:

- wanneer er wordt overwogen een bestaande installatie uit te breiden of aan te passen kan toevoeging van een MBR worden overwogen. Een volledige MBR, in het geval er een geheel nieuwe installatie moet worden gebouwd, is minder aantrekkelijk vanwege het relatief grote membraanoppervlak dat vereist is om de volledige afvalwaterstroom (RWA) te behandelen. Juist de hybride MBR-variant is een mogelijkheid om in bestaande installaties een verbetering van het effluent te krijgen, met slechts een beperkte bijdrage van de conventionele technieken;
- in een parallelle situatie worden de membranen slechts op een deel van hun capaciteit benut. In Heenvliet bedraagt de flux in parallelbedrijf gemiddeld 6,7 l/m²h. Deze waarde is gebaseerd op het gemiddelde debiet van 2007. Dit komt overeen met 28% van de ontwerpflux. Slechts een beperkt deel van de tijd, bij maximale aanvoer, wordt de ontwerpflux aangesproken. Geprojecteerd op toekomstige situaties worden de membranen hiermee relatief duurder, en het energieverbruik relatief hoger.

- Begin februari 2008 is een extra testperiode ingelast, naar aanleiding van nieuwe voorschriften van de membraanleverancier. Deze voorschriften hadden betrekking op de relaxatie/filtratietijden, het continu in gebruik hebben van beide membraantanks, de slibcirculatiestromen en het beluchtingsregime van de membranen.

2.10.3 FASE 3: PARALLELLEDRIJF

Fase 3, maart 2009 tot half november 2009, wordt de MBR in parallelbedrijf getest. Hierbij ontvangt de MBR continu proportioneel ca. 25% van de afvalwaterhoeveelheid. De MBR en de conventionele installatie zullen gedurende deze periode onderling worden vergeleken, dit vormt echter geen onderdeel van dit rapport.

AFBEELDING 6 LUCHTFOTO VAN RWZI EN MBR HEENVLIET



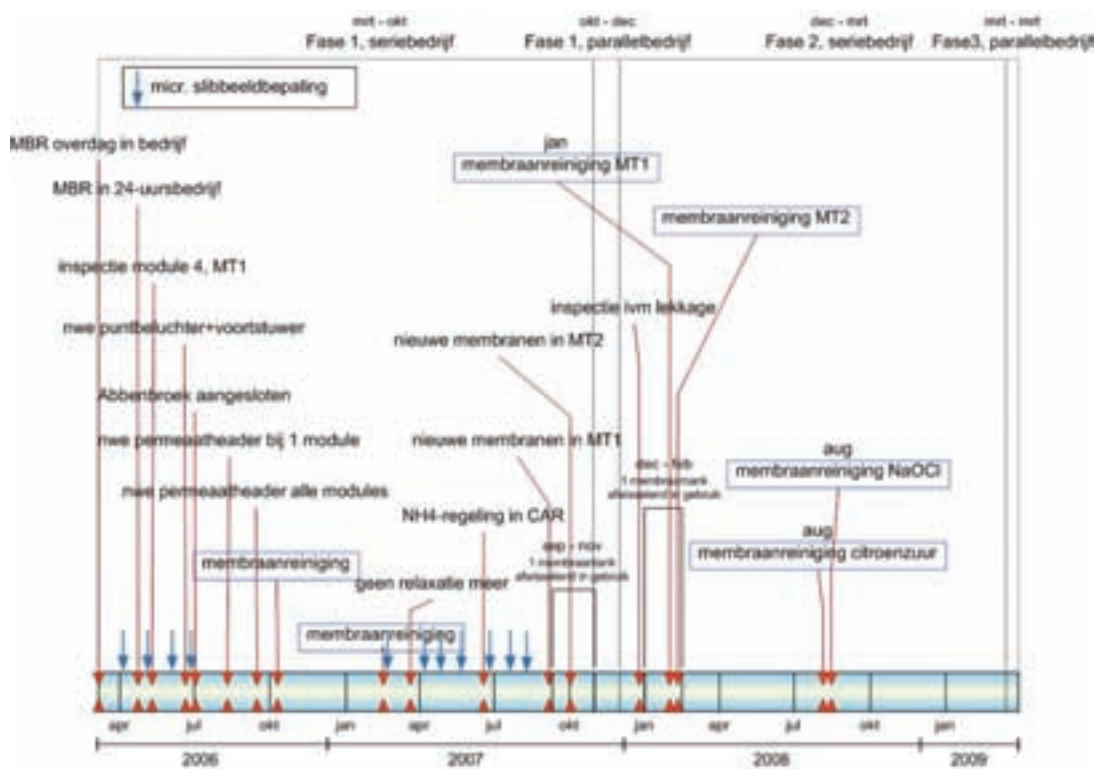
3

RESULTATEN

3.1 TIJDSLIJN

In de loop van het onderzoek zijn veel instellingen (tijdelijk) veranderd, en hebben verschillende ingrepen in de installatie plaatsgevonden. In Afbeelding 7 is een aantal van deze gebeurtenissen visueel gepresenteerd, samen met de data waarop microscopische sliibanalyses zijn gemaakt.

AFBEELDING 7 TIJDSLIJN VAN HET ONDERZOEK AAN DE HYBRIDE MBR HEENVLIET



Sinds september 2007 is de installatie voorzien van nieuwe membranen omdat bij de oude membranen sprake was van lekkage. Gedurende korte tijd, van 30 oktober tot 30 november 2007, is in parallelbedrijf gedraaid waarbij ca. 25% van de aanvoer werd behandeld in de MBR. In deze periode kwam naar voren dat de installatie in staat is om in parallel bedrijf te functioneren. Na een periode waarin de membranen goeddeels op ontwerpbelasting zijn bedreven, is eind januari 2007 een reiniging uitgevoerd.

Vanaf de reiniging van de membranen begin 2007 voor MT1 en MT2 wordt gedraaid met nieuwe instellingen waarop de membranen volgens Toray moeten worden bedreven. Deze instellingen vereisen het om af te wijken van de gewenste procesvoering in het onderzoek. Omwille van de oplevering van installatie is afgesproken om tenminste drie maanden deze instellingen aan te houden. De instellingen zijn als volgt: MT1 en MT2 zijn continu in bedrijf,

waarbij MT1 draait met een debiet van 50 m³/h en MT2 met een debiet van 30 m³/h. Reden voor het lagere debiet in MT2 is tweeledig. Ten eerste was de capaciteit van de roostergoed-
verwijdering (in de toevoer naar de MBR) onvoldoende door een onvoldoende verval over het
rooster in combinatie met vervuiling van het rooster. Het fijnrooster, waarvan de openingen
bestaan uit ronde gaatjes met een diameter van 3 mm, is daarom aangepast en sinds oktober
2008 voorzien van een borstel. Ten tweede worden er meer bedrijfsuren gemaakt, waardoor
MT1 beter representatief is voor continu bedrijf op ontwerpspecificaties. De membraanunits
worden zo bedreven dat na 10 minuten permeaatproductie 1 minuut wordt gerelaxeerd.

Toray heeft aangegeven dat de membranen bij deze bedrijfsvoering maximaal vier keer per
jaar moeten worden gereinigd. Verder is aangegeven dat een reiniging moet plaatsvinden
nadat de transmembraandruk (TMP) een stijging geeft van 100 mbar in vergelijking tot de
schone toestand. Dit houdt in dat de stijging van de TMP van 100 mbar op zijn vroegst drie
maanden na reiniging mag worden bereikt. Na ongeveer 13 weken gedraaid te hebben met
deze bedrijfsvoering bleek dat de TMP was gestegen met 50 mbar ten opzichte van de schone
toestand.

3.2 ALGEMENE PARAMETERS MBR

In Tabel 1 en Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van enkele belangrijke parameters die in
het vervolg van dit hoofdstuk verder worden behandeld. De waarden in Tabel 1 zijn gemid-
delde waarden in de hybride MBR waarbij er geen onderscheid gemaakt is in MT1 en MT2 en
de upper- en onderheaders.

TABEL 1 GEMIDDELDE WAARDEN VAN PARAMETERS VAN DE MBR GEDURENDE BEDRIJFSVOERIN

	debiet in	ds NIT	ds DNT	ds MT	SVI NIT	Netto flux	permeabiliteit	TMP	Beluchttingsenergie
	m ³ /d	g/l	g/l	g/l	ml/g	lm ² h	l/m ² h.bar	mbar	kWh/d
Fase 1, serie	1.598	9	9	13	103	11	456	43	462
Fase 1, parallel	665	10	8	11	99	8	755	12	1053
Fase 2, serie	2.503	10	10	14	102	21	315	89	757

In Tabel 2 worden de kwaliteit van het permeaat en het effluent met elkaar vergeleken. Ook
in deze tabel gaat het om de gemiddelde waarden over de desbetreffende fase.

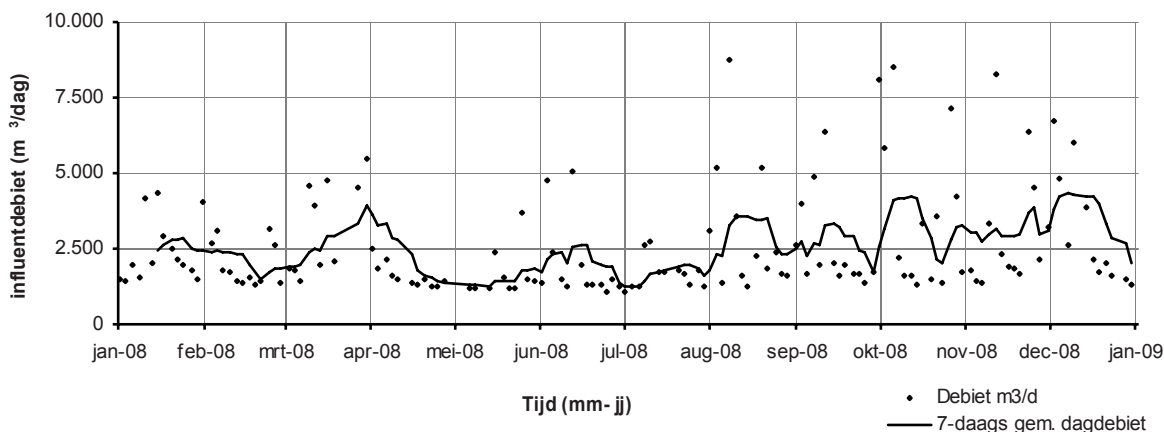
TABEL 2 GEMIDDELDE WAARDEN VAN DE PERMEAAT KWALITEIT

	permeaat				effluent			
	debiet uit	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	debiet uit	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
	m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l	m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l
Fase 1, serie	929	0,17	2,31	2,25	1.430	2,20	3,74	2,59
Fase 1, parallel	613	0,12	5,69	2,16	1.526	1,50	1,91	1,85
Fase 2, serie	1.507	0,17	2,30	2,33	916	3,01	3,00	3,38

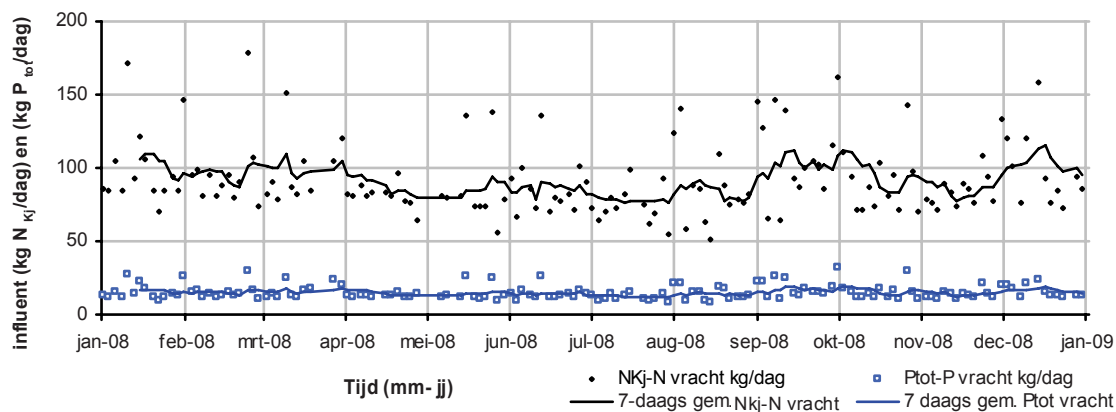
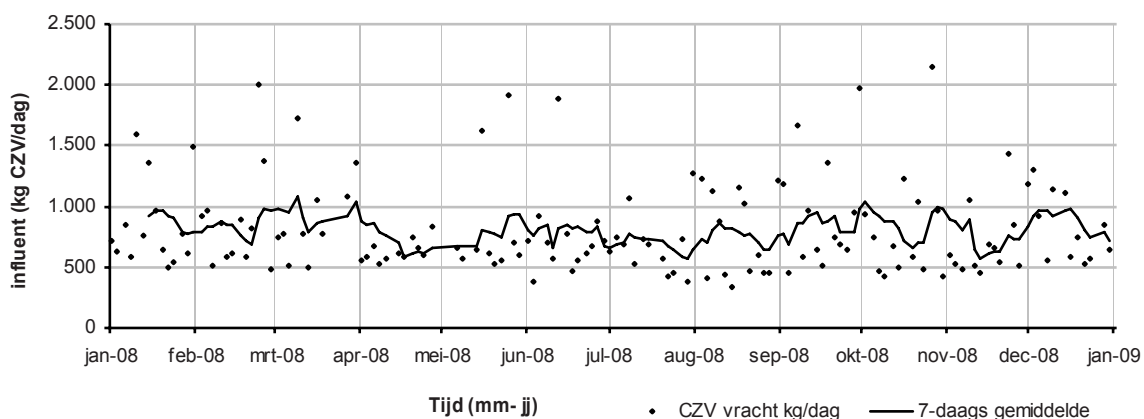
3.3 INFLUENTKWALITEIT

De gemiddelde hoeveelheid afvalwater bij droogweeraanvoer bedraagt op de rwzi Heenvliet
ca. 1.480 m³/dag. De maximale aanvoer over de gepresenteerde data (2008) bedroeg 8.700 m³/
dag. De dagvrachten bij dwa bedroegen voor CZV gemiddeld 585 kg/dag, voor N_{kj} gemiddeld
78 kg/dag en voor P_{tot} gemiddeld 12 kg/dag, zie ook de Afbeelding 8 tot en met Afbeelding 10.

AFBEELDING 8 INFLUENTDAGDEBIETEN RWZI HEENVLIET IN 2008

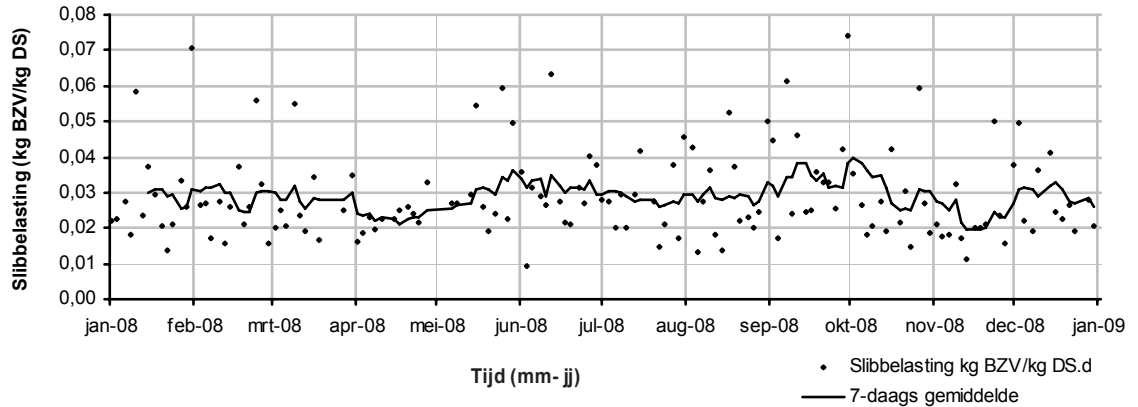


AFBEELDING 9 INFLUENTVRACHTEN: BOVEN CZV , ONDER NKJ EN PTOT (KG/DAG) VOOR 2008



De slibbelasting in 2008 bedroeg voor BZV gemiddeld 0,030 kg BZV/kg DS.dag, zie ook Afbeelding 10.

AFBEELDING 10 SLIBBELASTING TIJDENS SERIEBEDRIJF IN 2008

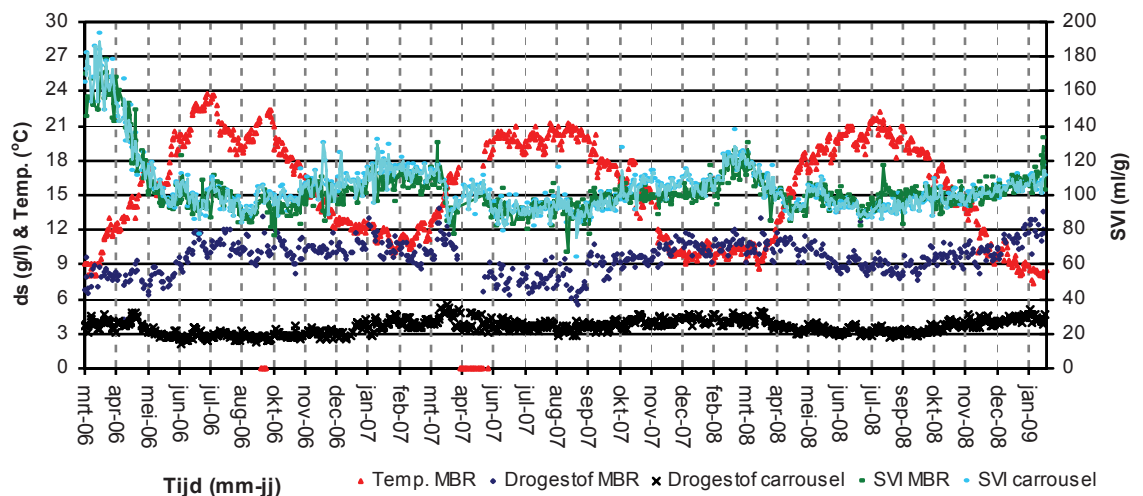


3.4 SVI EN DROGESTOFGEHALTE

Het verloop van de SVI in de MBR wordt gepresenteerd in Afbeelding 11 voor de periode van maart 2006 tot en met februari 2008. Bij enting van de MBR (met ingedikd slib uit de rwzi Rozenburg) lag de SVI rond 190 ml/g. In de eerste maand, waarin de MBR alleen overdag werd bedreven, veranderde de SVI niet veel. Opmenging met extern slib had weinig effect, ondanks het feit dat de temperatuur in deze periode 5 graden steeg. Nadat de MBR in continu bedrijf ging, daalde de SVI gedurende een periode van circa 6 weken naar een waarde rond 90 ml/g. Sindsdien is de SVI vrijwel altijd lager dan 120 ml/g geweest. De invloed van temperatuur lijkt 'gedempt' te worden, in de koude periode lag de SVI rond 110 ml/g, en in de zomer van 2007 rond 90 ml/g met enkele malen zelfs lager dan 80 ml/g. Het drogestofgehalte in de MBR bedroeg het grootste gedeelte van de tijd circa 10 g/l. Het verschil in verloop van de SVI in de MBR en het omloopsysteem was klein. Het drogestofgehalte in de hybride MBR verschilt van compartiment tot compartiment als gevolg van de interne recirculatiestromen en de recirculatiestromen tussen het omloopsysteem en de MBR.

De indikfactor in de membraantank bedraagt meestal 1,2 waardoor het drogestofgehalte in de membraantank doorgaans een waarde heeft tussen de 12 en 15 g/l. Incidenteel steeg het drogestofgehalte tot waarden rond 20 g/l, dit had echter geen nadelige korte termijn effecten op de filterbaarheid van het actief slib.

AFBEELDING 11 VERLOOP VAN SVI EN DROGESTOFGEHALTE IN DE MBR EN HET OMLOOPSYSTEEM



3.5 SLIBPRODUCTIE

De specifieke slibproductie en het slibgehalte van de MBR en het Conventioneel Actief Slib (CAS) zijn gegeven in Tabel 3. De specifieke slibproductie daalde ten opzichte van het omloopsysteem door installatie van de MBR.

TABEL 3 SLIBGEHALTEN EN SLIPPRODUCT

jaar	slibgehalte [g/l]		belasting g BZV/gDS.d	specifieke slibproductie g DS/gBZV
	CAS	MBR		
2003	4,2		0,025	1,66
2004	4,1		0,034	1,37
2005	3,2		0,041	1,38
2006	3,2	10,1	0,032	1,28
2007	3,8	9,3	0,027	1,23
2008	3,7	9,9	0,027	0,93

3.6 EFFLUENTKwaliteit

Wanneer de hybride MBR in serie bedreven wordt, wordt er altijd water onttrokken via de membranen. De nabezinktank zal bij lage influentaanvoer niet meer worden gebruikt. Het 'totale' effluent is dus een variabel mengsel van permeaat, aangevuld met een wisselende hoeveelheid water dat overstort uit de nabezinktank.

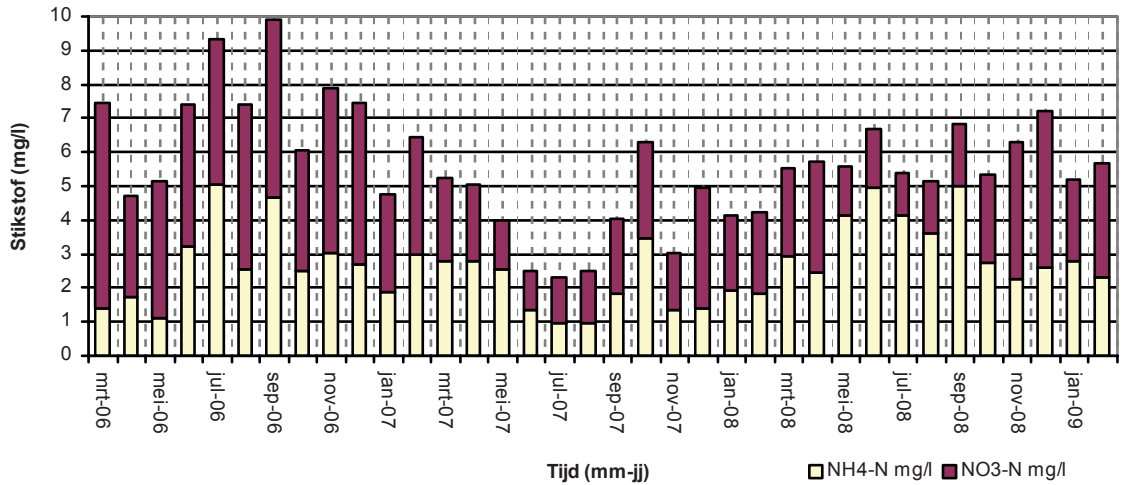
3.6.1 STIKSTOF

In Afbeelding 12 tot en met Afbeelding 14 worden de stikstofconcentraties van het permeaat en de afloop van de nabezinktank gepresenteerd. Door het introduceren van een regeling op basis van de on-line ammoniummeting in het omloopsysteem (in juni 2007) kan de mate van beluchting in het omloopsysteem beter worden geregeld waardoor de zuurstofinbreng in het omloopsysteem kan worden beperkt. Als gevolg hiervan loopt het ammoniumgehalte in het omloopsysteem op, zodat in de MBR beter kan worden gedenitrificeerd. Na implementatie van de ammoniumregeling in de besturing wordt hiermee het stikstofgehalte in het permeaat vrijwel continu lager dan 2 mg/l, waarvan ca. 0,5 mg/l organisch gebonden stikstof. In het effluent van de nabezinktank is de waarde van het gehalte organisch gebonden stikstof circa 1 mg/l.

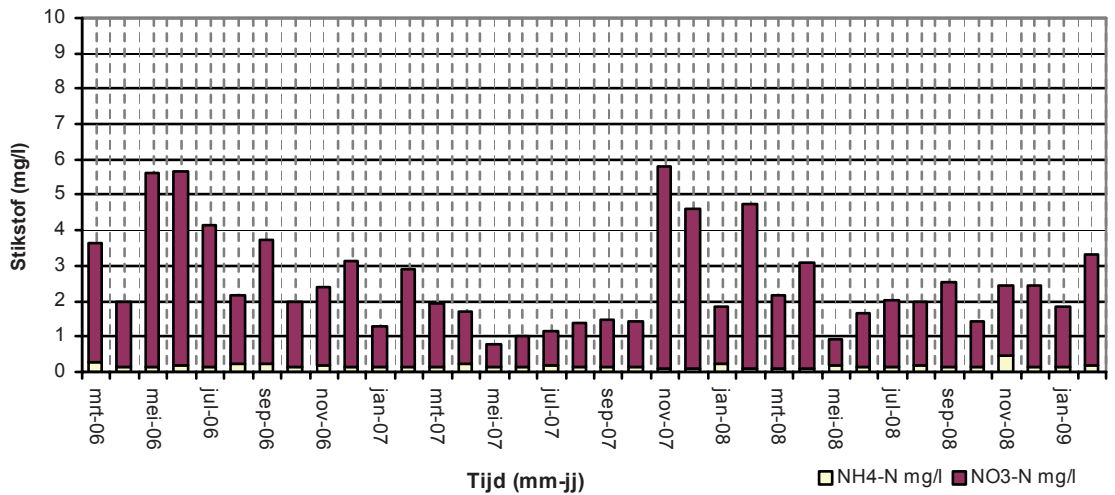
Tijdens de periode van parallelbedrijf (okt-nov 2007) was de denitrificatie in de MBR onvoldoende. Dit werd veroorzaakt doordat de beluchting in de nitrificatietank niet ver genoeg kon worden teruggeregeld, in combinatie met een hoog recirculatiedebiet van de nitrificatietank naar de denitrificatietank.

Inmiddels is de beluchting en de recirculatiepomp voorzien van een aan/uit schakeling. Na de overschakeling van de MBR naar seriebedrijf begin december 2007 is de stikstofverwijdering in het permeaat gedaald naar stikstofgehalten onder de 2 mg/l.

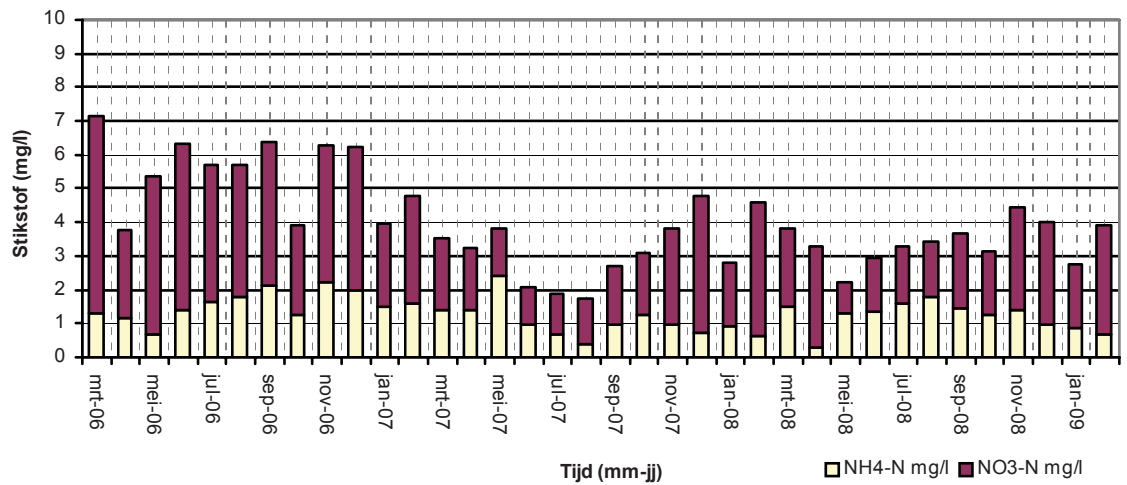
AFBEELDING 12 MAANDGEMIDDELTE STIKSTOF AFLOOP NBT



AFBEELDING 13 MAANDGEMIDDELTE STIKSTOF PERMEAAT



AFBEELDING 14 MAANDGEMIDDELTE STIKSTOF GEHELE INSTALLATIE



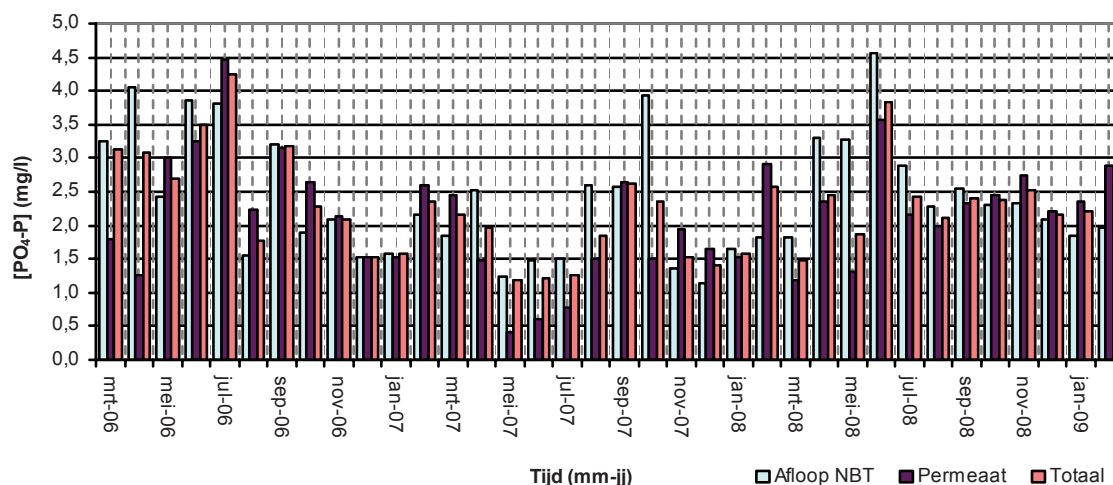
3.6.2 FOSFAAT

In Afbeelding 15 zijn de fosfaatconcentraties van het effluent weergegeven in de periode van maart 2006 tot en met januari 2009. In deze grafiek is een onderverdeling gemaakt tussen de fosfaatconcentratie in de afloop van de nabezinktank en de fosfaatconcentratie in de permeaatstroom.

De fosfaatconcentratie van het effluent vertoont in de zomermaanden juni en juli 2006 een piek (3–6 mg/l). Er heeft geen aanvullende ijzerdosering plaatsgevonden en ook de biologische fosfaatverwijdering is nog niet geoptimaliseerd. Desondanks zijn in de maanden juni en juli 2007 waarden behaald in het effluent lager dan 1 mg/l. De concentratie in het permeaat is vaak lager dan in het overloopwater van de nabezinktank. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat als gevolg van het implementeren van de ammoniumregeling in het omloopsysteem deze gedeeltelijk anoxisch/anaëroob kan worden, waardoor fosfaatafgifte kan plaatsvinden in het omloopsysteem. Vervolgens kan dit fosfaat in de MBR pas weer worden opgenomen als gevolg van de beluchting.

Tijdens de periode in parallelbedrijf (nov. 2007) was de fosfaatverwijdering niet significant beter of slechter dan tijdens seriebedrijf ervoor en erna. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat deze relatief korte periode bedoeld was voor het technisch testen van de installatie in parallel bedrijf, en procesoptimalisaties slechts beperkt hebben plaatsgevonden.

AFBEELDING 15 FOSFAAT CONCENTRATIES VAN AFLOOP NABEZINKTANK, PERMEAAT EN EFFLUENT TOTAAL



Om inzicht te verkrijgen in de fosfaathuishouding van de rwzi Heenvliet is in Tabel 4 een fosfaatbalans opgesteld van de verschillende stromen van de zuivering. Ten tijde van opstellen van de massabalans en de uitgevoerde analyses draaide de MBR in seriebedrijf waarbij de nabezinker alleen effluent produceerde tijdens regenwateraanvoer (RWA). De massabalans is opgesteld op basis van uitgangspunten die te vinden zijn in bijlage II.

TABEL 4 MASSABALANS RWZI HEENVLIET

	stromen	debiet (m ³ /d)	PO ₄ -P gemeten (mg/l)	PO ₄ -P balans (mg/l)	PO ₄ -P vrachten (kg/d)
1	ruw influent	1.640	7,5		12,3
2	effluent nabezinker	0	4,09		0
3	effluent omloopsysteem → MBR	1.640	4,09		6,71
4	retourslib nabezinker	1.900	3,17		6,02
5	influent voorindikker	190	3,17		0,60
6	influent lagune	21	110		2,31
6a	P-verwijderd mbv FeCl ₃	21		110	2,31
7	overloopwater indikker	169	10,8		1,83
7a	P verwijderd mbv FeCl ₃	169		0	0
8	overloopwater lagune	10	100		1,03
9	influent MBR	1.640	4,09		6,71
10	retourslib MBR naar selector	596	4,09		2,44
11	effluent MBR	1.640	2,00	2,08 ^{a)}	3,28
12	afvoer sliblagune (water fractie)	11	110		1,18
13	afvoer sliblagune (ds fractie)	0,51	15.000		7,71

a) De fosfaatconcentratie wordt berekend op basis van de fosfaat influent concentraties en de maandelijkse afvoer van fosfaat via het slib.

PROFIELMETINGEN

Om een goed beeld te krijgen van het verloop van de nitraat-, fosfaat- en ammoniumconcentraties in de MBR zijn er in april 2008 profielmetingen uitgevoerd. Deze zijn weergegeven in Tabel 5.

TABEL 5 P PROFIELMETING MBR, APRIL 2008

Compartment	PO ₄ -P (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)
Effluent omloopsysteem	4,09	1,62	4,74
Anaërobe tank	< 4	2,96	<1
Nitrificatie tank	2,74	3,02	<1
Denitrificatie tank	<4	1,54	2,78
Facultatieve tank ^{a)}	2,79	3,22	<1
Slibretour stroom	3,17	3,56	<1

a) Ten tijde van monsternamen was de facultatieve tank belucht

'<' geeft aan dat desbetreffende waarde onder de detectielimiet ligt van de Dr. lange kuvetten testen

Aan de hand van de profielmeting lijkt het er op dat er geen fosfaatafgifte in de anaërobe tank plaatsvindt. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de afwezigheid van gemakkelijk afbreekbaar BZV. De waarden voor nitraat en ammonium zijn lager dan de effluenteisen voor beide componenten. De fosfaatconcentratie ligt boven de effluent streefwaarde van 0,15 mg/l. De verwijdering van fosfaat in de MBR bedraagt $(4,09-3,17)/4,09 = 22,5\%$.

FOSFAATAFGIFTE- EN OPNAME TESTEN

Op een viertal dagen zijn proeven gedaan om fosfaatafgifte en fosfaatopname snelheden te bepalen, om inzicht te krijgen in de potentie voor biologische fosfaatverwijdering. In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de resultaten van de uitgevoerde fosfaatafgifte- en opname testen (zie ook bijlage II). Het slibmonster is genomen uit de facultatieve tank in de MBR.

Een “normale” afgifte snelheid ligt tussen de 4,5 – 5,0 mg P/g ds.h. Uit de eerste drie testen kan worden geconcludeerd dat fosfaataccumulerende bacteriën wel aanwezig zijn in het slib, echter niet in voldoende mate. Uit de test van 9 juli blijkt dat er voldoende fosfaat accumulerende bacteriën aanwezig zijn.

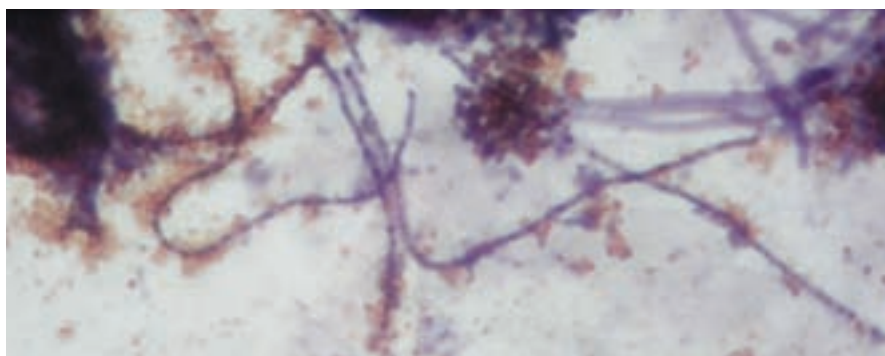
TABEL 6 RESULTATEN METINGEN FOSFAATAFGIFTE EN -OPNAME

datum	substraatdosering	fosfaatafgifte snelheid (mg P/g ds h)	fosfaatopname snelheid (mg P/g ds h)
17/03/2008	acetaat	2,3	-
22/04/2008	ruw influent	2,1	1,7
07/05/2008	acetaat	3,3	3,1
09/07/2008	ruw influent	5,3	-

BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING

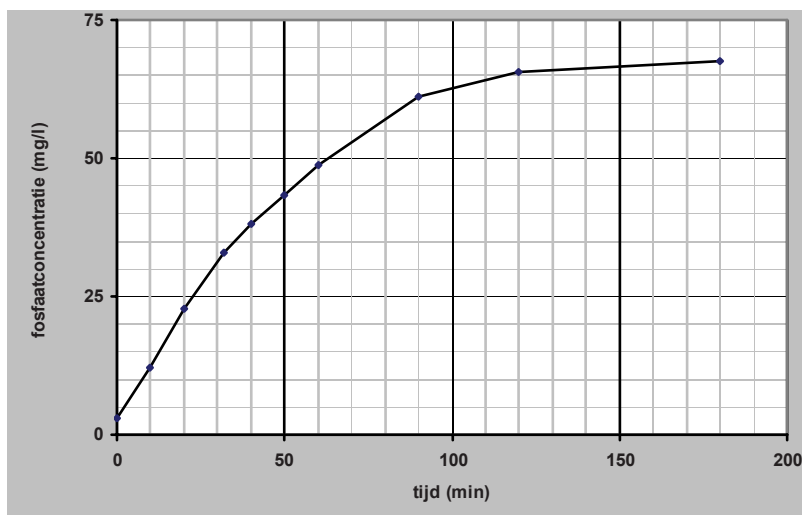
Om te onderzoeken of er fosfaataccumulerende bacteriën in het slib actief zijn, is bij de microscopische slibbeeldbepalingen een kleuring toegepast die de fosfaatbolletjes zichtbaar maken, zie Afbeelding 16.

AFBEELDING 16 FOSFAATACCUMULERENDE BACTERIËN IN HET ACTIEF SLIB VAN HEENVLIET



De conclusie is dat het actief slib een hoge potentie heeft voor het biologisch verwijderen van fosfaat. Het lijkt erop dat met de zonering in de tank het slib te weinig tijd heeft om in de membraantank al het vrijgegeven fosfaat op te nemen. Daar komt bij dat in de desbetreffende configuratie het spuislib wordt onttrokken vanuit het omloopsysteem. Reden hiervoor is dat dit de oorspronkelijke spuislibafvoer was. Aan de bestaande installatie zijn verder geen aanpassingen verricht. Verder onderzoek zal moeten aantonen welke optimalisaties mogelijk zijn in de afvoer van het spuislib in relatie tot het proces van biologische defosfatering.

AFBEELDING 17 FOSFAATAFGIFTETEST RWZI HEENVLIET, AUGUSTUS 2007



CONCLUSIES FOSFAATVERWIJDERING

- Momenteel vindt spui van surplusslib plaats vanuit het omloopsysteem. Het kan zijn dat dit niet optimaal is, aangezien het slib dan niet de maximale hoeveelheid fosfaat heeft opgenomen. Er kan gekozen worden voor het verplaatsen van de spuislib onttrekking naar de membraantank. Echter, dit zal naar verwachting niet leiden tot het bereiken van de fosfaat streefwaarden omdat de beluchtingstijd in de MBR ook beperkt is;
- vanwege de afwezigheid van voldoende eenvoudig afbreekbaar BZV in seriebedrijf zal naar verwachting de gewenste effluentconcentratie van 0,30 mg/l P met slechts biologische P-verwijdering niet behaald worden;
- terugvoer van fosfaat vanuit de indikker of de lagune kan in praktijk meer dan 10% van de fosfaataanvoer van het influent tot gevolg hebben. Optimalisatie van de bedrijfsvoering van de indikker (verblijftijd < 1 dag) en directe afvoer zonder opslag kunnen dit knelpunt voorkomen;
- op de lange termijn leidt introductie van nitraat in de anaërobe tank tot ingroei van normale denitrificerende bacteriën en niet de denitrificerende fosfaat accumulerende bacteriën. Deze gaan namelijk efficiënter om met het beschikbare CZV en hebben daarom een duidelijk concurrentievoordeel. Ook bij het bypassen van een deel van het influent blijft nitraat in de anaërobe tank. Om ingroei van denitrificeerders zoveel mogelijk te voorkomen moet de beluchting in het omloopsysteem worden geminimaliseerd om zodoende de aanvoer van nitraat naar de anaërobe tank te beperken;
- om de fosfaatverwijdering te optimaliseren kan er een coagulant worden gedoseerd (het Waterschap heeft gekozen voor toepassing van ijzerchloride). Het doseren van ijzer kan echter leiden tot anorganische membraanvervuiling, waardoor het van belang is dat het doseren zo ver mogelijk voor de membraantanks plaats vindt. Daarnaast moet overdosering vermeden worden. Goede opties voor het doseerpunt van ijzer zijn: het overloopwater van de indikker of de sliblagune. Deze stromen bevatten de hoogste concentratie opgelost fosfaat en worden aan het begin van het omloopsysteem weer in de waterlijn ingebracht.

3.6.3 PRIORITAIRE STOFFEN EN ZWARE METALEN

Analyses zijn uitgevoerd op prioritaire stoffen en zware metalen voor het effluent. Niet alle prioritaire stoffen die genoemd zijn in de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn geanalyseerd, dit heeft twee redenen. Ten eerste bestaat er nog niet voor alle stoffen een analyse en ten tweede zijn sommige stoffen nog nooit aangetoond. Naast de prioritaire stoffenlijst benoemd in de KRW zijn er een aantal probleemstoffen die vaak worden aangetroffen in het effluent meegenomen in de analyses, te weten:

- arseen;
- chroom;
- primicarb;
- carbendazim.

Vanuit de standaard analyse pakketten van het lab zijn meerdere stoffen geanalyseerd dan wenselijk, voor de compleetheit van de testen zijn deze opgenomen in bijlage (III).

De resultaten van de prioritaire stoffen zijn opgedeeld in zware metalen en organische microverontreinigingen.

ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

Gedurende twee jaar zijn er tijdens seriebedrijf bemonsteringen uitgevoerd op conventioneel effluent en permeaat om de concentraties van de organisch prioritaire stoffen te bepalen. Om een goed beeld te krijgen van de verwijderingsrendementen zijn de gemiddelden van alle waarnemingen in het effluent en het permeaat met behulp van de RIZA-methode berekend. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 7

TABEL 7 RESULTATEN ORGANISCH PRIORITAIRE STOFFEN (CONCENTRATIES IN G/L)

	afloop nbt	permeaat	rendement%
aantal bemonsteringen	9	10	
Atrazine	<0,01	0,02	-
Bis(2-ethylhexyl)ftalaat	0,33	<1	+
Carbendazim	0,02	0,02	13
Diuron	0,04	0,03	41
Imidachloprid	0,03	0,02	33
Isoproturon	0,00	<0,01	+
Linuron	0,02	0,02	9
Pirimicarb	<0,01	0,02	-
Propoxur	0,01	0,01	34
Trifenyltin	<0,01	0,00	-

- = licht negatief effect op verwijdering, niet kwantificeerbaar

+ = licht positief effect op verwijdering, niet kwantificeerbaar.

De resultaten van de organisch prioritaire stoffen zijn vergeleken met de detectiegrenzen. De relatieve afwijking wordt bij een positief effect met een '+' weergegeven en bij een negatief effect met een '-'. De reden waarom hier een vergelijk gemaakt wordt, is dat deze stof één of meerdere keren boven de detectiegrens is waargenomen ten opzichte van geen enkele keer in het vergelijkbare monster.

Alle waarnemingen vinden dicht bij de detectiegrens plaats, dit maakt het moeilijk om conclusies te trekken, het is echter wel duidelijk dat er geen noemenswaardige verschillen opgetreden zijn voor de verwijdering tussen conventioneel en permeaat.

Alle aangetoonde stoffen die bemonsterd zijn met hun concentraties zijn weergegeven in bijlage (IV).

Tijdens het bemonsteren van rwzi Heenvliet is het voorgekomen dat er alleen conventioneel effluent (afloop nbt) of permeaat beschikbaar was. De resultaten van deze bemonsteringen zijn wel meegenomen in het vergelijk tussen de concentraties prioritair stoffen van conventioneel effluent en permeaat.

ZWARE METALEN

Gedurende 2 jaar zijn er 57 bemonsteringen uitgevoerd om het effect van de MBR op de verwijdering van zware metalen te bepalen. Ook hier is de RIZA-methode toegepast voor conventioneel effluent en permeaat. In Tabel 8 zijn zowel concentraties voor en na behandeling gegeven als ook de verwijderingpercentages voor conventionele en MBR behandeling.

TABEL 8

RESULTATEN ZWARE METALEN

	Influent (g/l)	afloop nbt (g/l)	Permeaat (g/l)	rendement omloop nbt (%)	rendement MBR (%)
Bemonsteringen	57	42	45		
Kwik	0,11	0,06	0,14	40	-30
Cadmium	0,11	0,00	0,02	100	84
Chroom	3,62	0,57	0,97	84	73
Koper	51,25	0,41	0,05	99	100
Nikkel	4,98	1,44	1,67	71	67
Lood	20,67	0,00	0,20	100	99
Zink	149,73	16,90	14,32	89	90
Arseen	6,08	3,89	4,34	36	29

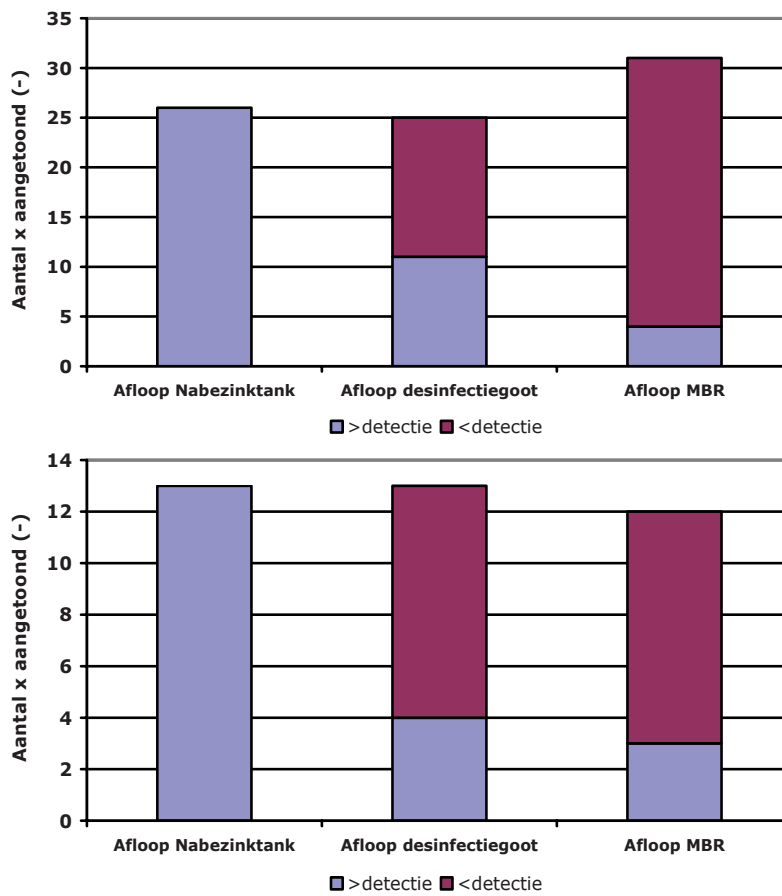
De verwijderingpercentages voor zowel MBR als conventionele behandeling voor de verschillende zware metalen, komen redelijk met elkaar overeen. Eventuele verschillen in verwijderingpercentages zijn mogelijk te wijten aan de lage ingaande concentraties.

3.6.4 DESINFECTIE

Om de mate van desinfectie door de membranen vast te stellen zijn bacteriologische analyses uitgevoerd. Ter vergelijking is ook de afloop van de desinfectie bemeaten.

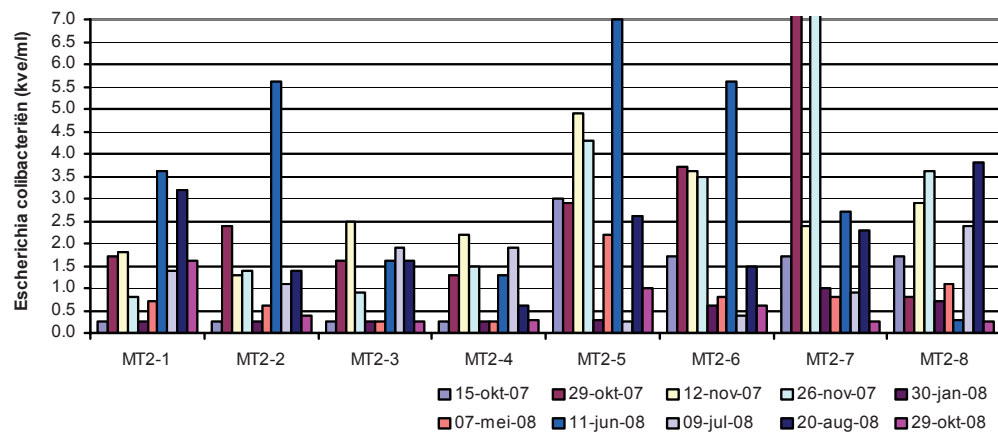
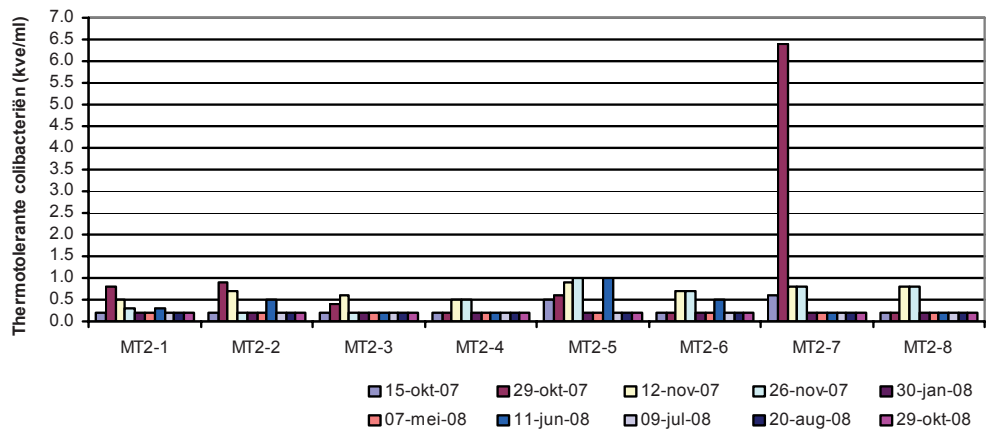
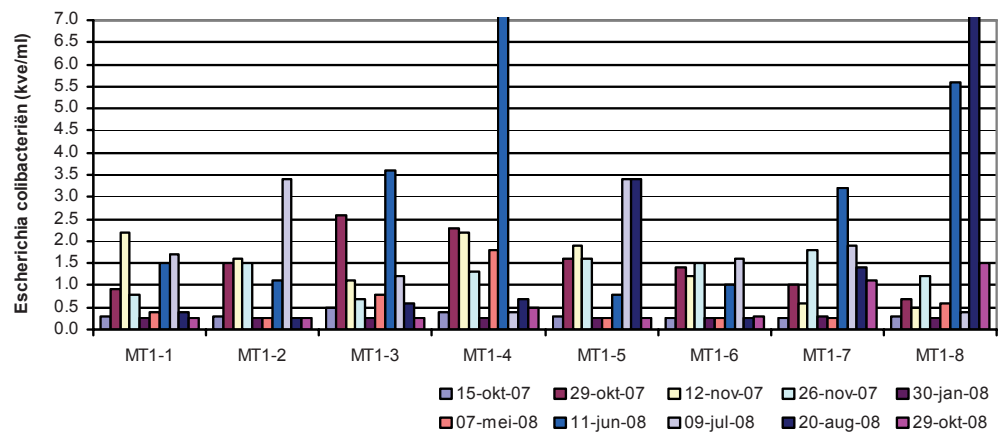
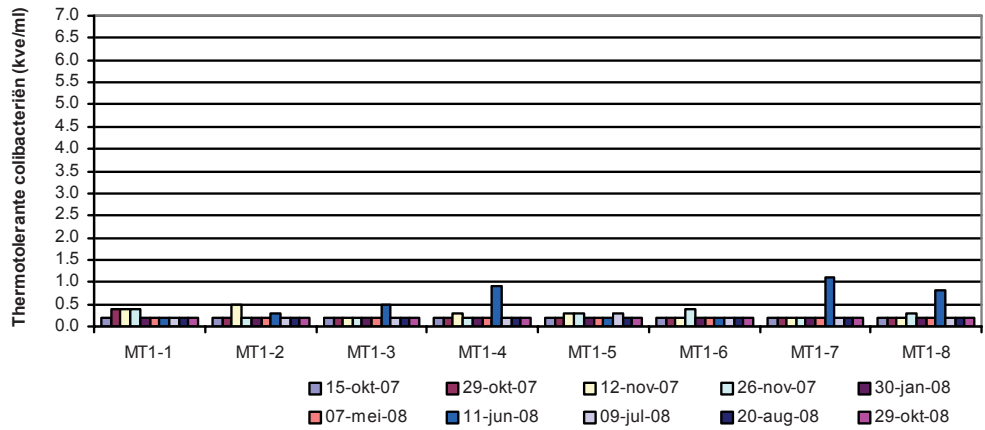
In de periode april tot en met augustus 2006 is op drie punten 32 maal gemeten aan o.a. de thermotolerante colibacteriën. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in Afbeelding 18. In de zomer van 2007 is 13 maal bemonsterd, de resultaten hiervan staan eveneens in Afbeelding 18. De kwaliteit van het MBR permeaat is continu beter dan het effluent uit de nabezinktank.

AFBEELDING 18 RESULTATEN DESINFECTIEMETINGEN IN EFFLUENTSTROMEN EN PERMEAAT IN DE ZOMERS VAN: BOVEN 2006 (APRIL T/M AUGUSTUS); ONDER 2007 (MEI T/M AUGUSTUS)



Naast de metingen in het permeaat en effluent zijn ook per membraanmodule analyses uitgevoerd. Van de oude membranen is op 10 dagen per module het permeaat bemonsterd. Bij de nieuwe membranen is op vier dagen eveneens bemonsterd per module. De resultaten van deze metingen zijn gepresenteerd in de vier grafieken van Afbeelding 19 voor membraan-tank 1 en 2.

AFBEELDING 19 RESULTATEN MICROBIOLOGISCHE ANALYSES PER MEMBRAANMODULE



De piek van thermotolerante colibacteriën bij MT2-7 werd veroorzaakt door een niet goed aangedraaide PVC-snelkoppeling in de afvoerleiding van het permeaat. Nadat deze handmatig werd aangedraaid was dit verholpen. De bacteriologische kwaliteit van het permeaat is tot nog toe altijd binnen de toegestane limiet van 20 kve/ml gebleven. De bacteriologische effluentkwaliteit is beter dan die van de rwzi Hellevoetsluis, die is voorzien van UV-desinfectie.

3.7 OVERIGE ANALYSES

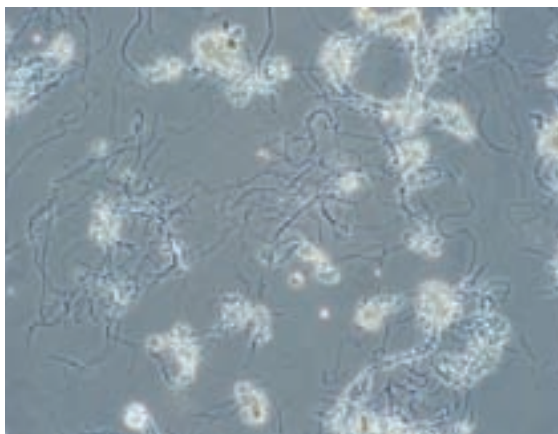
3.7.1 MICROSCOPISCHE SLIBBEELDANALYSES

Het bedrijven van het omloopsysteem en de MBR met één actief-slibpopulatie werd aanvankelijk gezien als een risico. Daarnaast bestond er het vermoeden dat de totale energie-inbreng in het systeem zou kunnen leiden tot een slechte vlokstructuur. Om deze risico's te kunnen beheersen en om meer inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de slibmorfologie is besloten om regelmatig microscopische slibbeeldbepalingen uit te voeren. Het bleek echter dat de toegepaste configuratie positieve gevolgen had voor het actief slib.

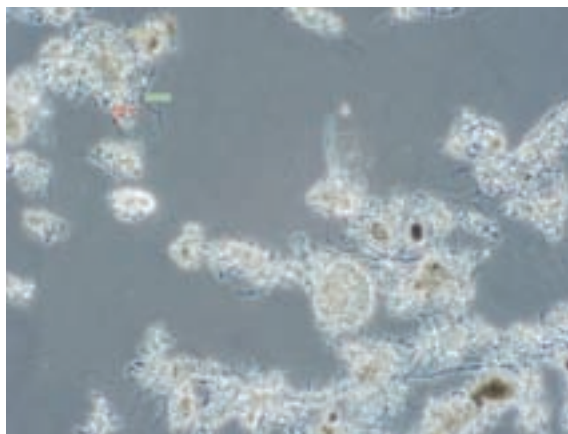
In april 2006 (toen de MBR alleen overdag in bedrijf was) bevatte het MBR slib veel vrije draden. De vlokken in de MBR waren kleiner dan in het omloopsysteem. In de loop van de tijd werden de verschillen tussen MBR slib en omloopsysteemslib steeds kleiner, tot de MBR in 24-uursbedrijf ging. Daarna werden de vlokken groter en verdwenen de draden grotendeels in het gemengde slib, zie ook Afbeelding 20.

In de zomer van 2006 werd de vlokstructuur iets minder goed, de vlokken werden iets kleiner en de waterfase werd enigszins troebel. Dit werd mogelijk veroorzaakt door langdurig zeer lage belasting. Sinds maart 2007 zijn de vlokken compact, afgerond en stevig. Dit leidt in de huidige situatie tot een verbeterde slibkwaliteit.

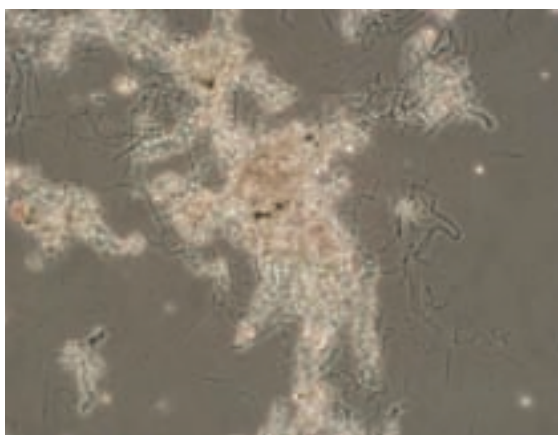
AFBEELDING 20 MICROSCOPISCHE FOTO'S VAN ACTIEF SLIB IN VOORJAAR/ZOMER 2006 TIJDENS SERIEBEDRIJF (100X VERGROOT)



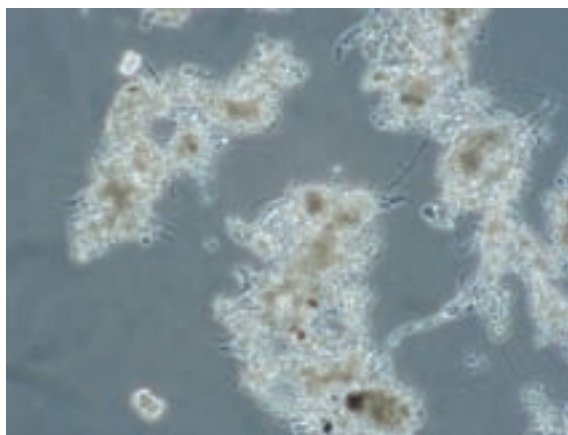
23 maart 2006, SVI=170 ml/g



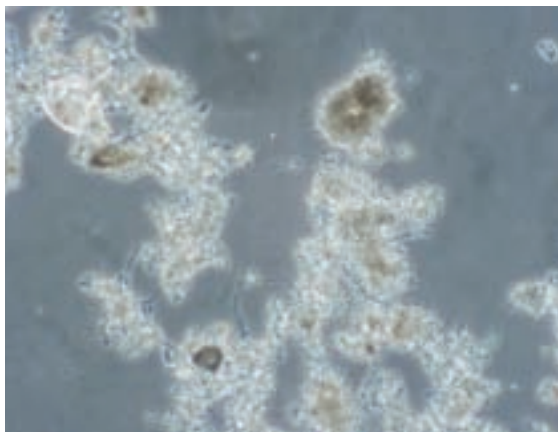
12 april 2006, SVI=157 ml/g



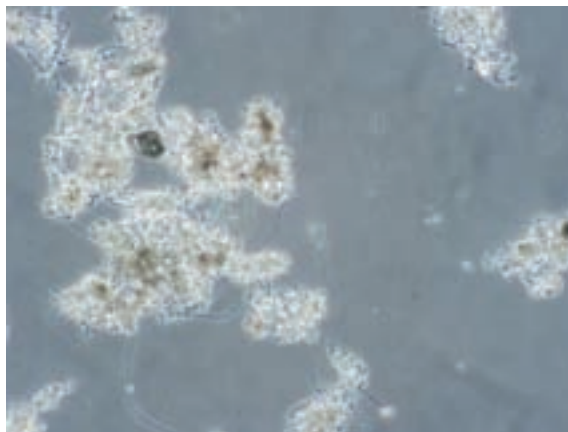
28 april 2006, SVI=118 ml/g



15 mei 2006, SVI=101 ml/g



1 juni 2006, SVI=95 ml/g



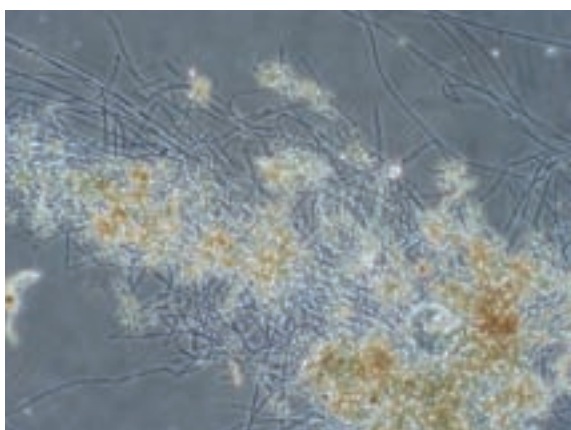
8 juli 2006, SVI=92 ml/g

3.7.2 SLIB IN PERMEAAT

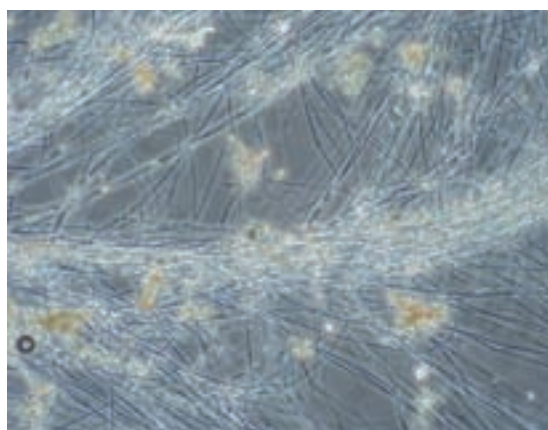
Eind 2006 werden in het permeaat slibvlokken aangetroffen die met het blote oog waarneembaar waren. Deze zijn bemonsterd en geanalyseerd. Het bleek te gaan om vlokken die voor het overgrote deel bestonden uit draadvormende bacteriën met amoeben. De conclusies van deze analyse waren als volgt:

- amoeben voeden zich met particulier materiaal (vrije bacteriën) en hebben veel voedsel nodig. Het hoge aantal amoeben duidt op voldoende voedselaanbod als gevolg van doorslag van de membranen of nagroei in de leidingen en uiteenvallen van deze aangroei door de wisselende condities;
- het lage nutriënten gehalte in het effluent stimuleert de groei van deze draden en leidt ertoe dat deze draden dominant aanwezig zijn;
- de variabele conditie van de draden duidt op ongecontroleerde perioden van sterfte en kan leiden tot verlies van biomassa met het effluent;
- chloreren leidt tot aantasting van de draden, maar het omhulsel van de draden blijft achter. De lege sheet vormt een gemakkelijk punt voor nieuwe aangroei;
- om aangroei te beperken na chloreren is mechanische stress en doorspoelen wellicht noodzakelijk om de lege sheets van draden los te maken en af te voeren.

AFBEELDING 21 MICROSCOPISCHE BEELDEN VAN SLIBAANGROEI IN PERMEAAT TIJDENS SERIEBEDRIJF



ALGEMEEN SLIBBEELD (100X VERGROTING), GEM SVI=100 ML/G

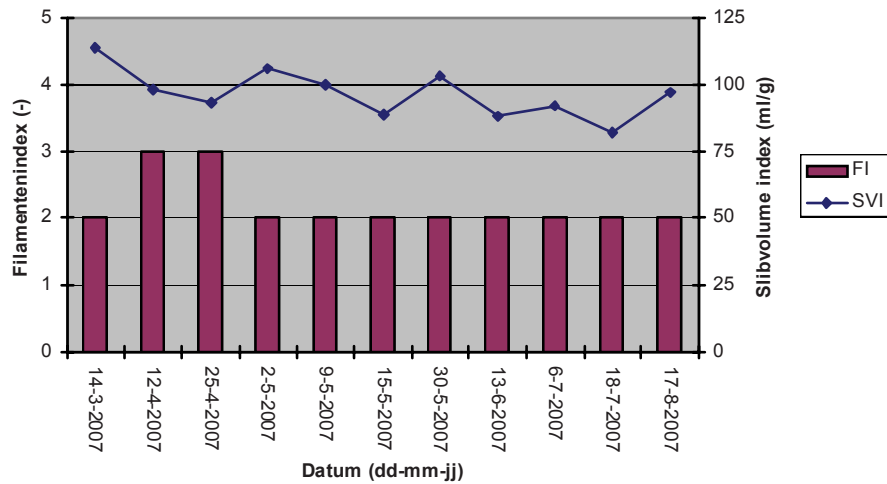


SLIB GROEIT IN STERKE LANGE SLIERTEN (CENTIMETERS)
(100X VERGROTING), SVI=100 ML/G

3.7.3 FILAMENTINDEX

In de periode maart 2007 tot september 2007 is van het slib de filamentindex (FI) bepaald. De resultaten zijn gegeven in Afbeelding 22. Zowel de SVI als FI waren gedurende die periode betrekkelijk constant, waardoor het niet mogelijk is een verband te leggen tussen beide grootheden.

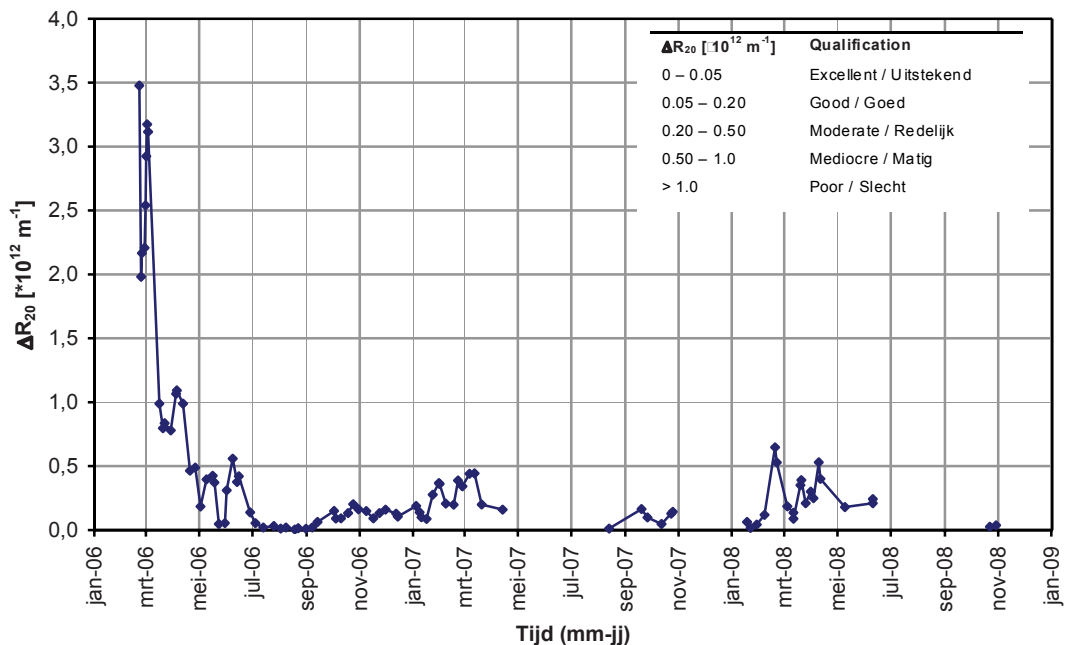
AFBEELDING 22 FILAMENTINDEX EN SVI SINDE AUGUSTUS 2007



3.7.4 FILTRATIEKARAKTERISTIEKEN

Door de TUDelft is met regelmaat gemeten aan de filtratie-eigenschappen van het actief slib. Voor iedere meting wordt circa 15 liter slib uit de MBR afgetapt. Dit MBR-actief slib wordt onder standaardcondities gefiltreerd, waarbij de filtratieweerstand na productie van 20 l permeaat per m² membraanoppervlak wordt genoteerd. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in Afbeelding 23. De filtreerbaarheid was direct na opstart behoorlijk slecht, terwijl na overgang naar 24-uursbedrijf de filtreerbaarheid sterk verbeterde. Deze ontwikkeling zette zich door tot juli 2006 waar de filtreerbaarheid het best was. In de wintermaanden liep de filtreerbaarheid iets terug, in november 2008 liggen de waarden weer op het niveau van zomer 2006.

AFBEELDING 23 FILTRATIEKARAKTERISTIEKEN ACTIEF SLIB IN HYBRIDE MBR HEENVLIET

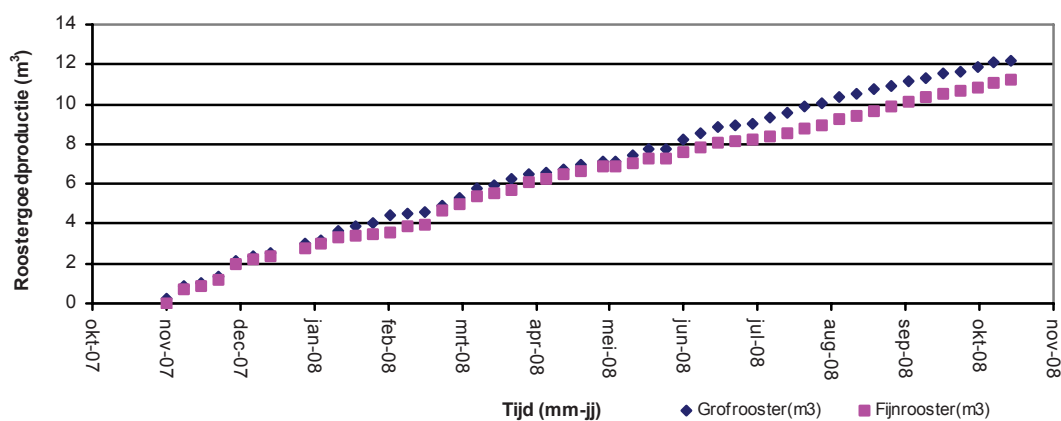


3.7.5 ROOSTERGOEDVERWIJDERING

De bestaande rwzi Heenvliet had reeds de beschikking over een roostergoedverwijdering met roostergoedpers. De installatie bestaat uit een kettingrooster met een spleetwijdte van 6 mm. Voor de MBR is een perforatierooster met ronde gaatjes van 3 mm geïnstalleerd. Al het (slib) water dat de MBR in komt wordt middels dit rooster, naar alle tevredenheid, behandeld.

Voor ingebruikname van de installatie is een test gedaan waarbij haren werden gedoseerd aan het influent van het fijnrooster. Het bleek dat slechts een kleine hoeveelheid, van met name korte haren, door het rooster werd doorgelaten. Er zijn tot op heden geen ophopingen van roostergoed in de MBR aangetroffen bij de verschillende inspecties. Daarnaast is de hoeveelheid roostergoed ook acceptabel gebleken, zie Afbeelding 24. Sinds november 2007 wordt de afgevoerde hoeveelheid roostergoed geschat qua volume en genoteerd. De hoeveelheid is voor beide roosters ongeveer gelijk, waarbij het grofrooster iets meer roostergoed produceert.

AFBEELDING 24 ROOSTERGOEDPRODUCTIE SINDS NOVEMBER 2007



Door een niet optimale verticale positionering van het fijnrooster kon het waterpeil achter het fijnrooster niet altijd op het gewenste niveau gehouden worden. In het najaar van 2008 is het fijnrooster voorzien van een borstel, waardoor dit knelpunt is opgelost. Een voorlopige conclusie is dat 3 mm gaatjes voldoende zijn als voorbehandeling voor een membraansysteem met platen.

3.7.6 ALFA-FACTOR METINGEN

Er is tweemaal een alfa-factor meting gedaan in het slib van de MBR. Voor deze bepaling is gebruik gemaakt van een kolom met een inhoud van 50 liter, voorzien van een beluchtings-systeem. Deze wordt eerst gevuld met leidingwater, waarna dit water zuurstofloos gemaakt wordt door toevoeging van natriumbisulfiet. Vervolgens wordt de beluchtingsinstallatie ingeschakeld en kan de zuurstofinbrengcapaciteit worden bepaald in schoon water. Hierna wordt de kolom gevuld met actief slib. Op het moment dat het zuurstofgehalte 0 mg/l bedraagt wordt de zuurstofinbrengcapaciteit opnieuw bepaald. Vervolgens wordt uit deze twee waarden de alfa-factor berekend. De alfa-factor van het actief slib bedroeg in beide metingen 0,6.

3.7.7 SLIBONTWATERING (FE-CEL ONDERZOEK)

In het kader van het onderzoek naar de ontwaterbaarheid van het slib van de hybride MBR Heenvliet zijn in augustus 2008 proeven uitgevoerd naar het ontwateringsgedrag van het slib met behulp van de filtratie-expressie cel (FE-Cel). In het onderzoek uitgevoerd op 8 augustus is gebruik gemaakt van dertien verschillende poly-electrolyt (PE) oplossingen van drie verschillende leveranciers. In het onderzoek op 22 augustus zijn 6 PE oplossingen gebruikt die

in het eerste onderzoek het beste ontwateringsgedrag vertoonden. Voor een toelichting op de methodiek en alle resultaten, zie bijlage V.

RESULTATEN FE-CEL PROEVEN

In Tabel 9 zijn de resultaten van de onderzoeken op 8 en 22 augustus weergegeven. De tabel geeft de behaalde drogestof gehalten en de specifieke filtratieweerstand van de geconditioneerde slibmonsters weer. Een hoge specifieke filtratieweerstand (dat wil zeggen $>1,0 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$) is een indicatie voor slecht ontwaterbaar slib.

TABEL 9 RESULTATEN SLIBCONDITIONERING MBR SLIB RWZI HEENVLIET BIJ PE DOSERING VAN 10 G/KG DS SLIB

conditioneringmiddel (productnaam)	ingaande concentratie ds%	eind concentratie ds%		gemiddelde specifieke filtratieweerstand (m^{-1})	
		8 augustus	22 augustus	8 augustus	22 augustus
Kemira SD2081	1,43	26,9	22,8	nd ^{a)}	$2,93 \cdot 10^{11}$
Kemira E4690	1,43	25,7	22,0	$4,09 \cdot 10^{11}$	$2,28 \cdot 10^{11}$
Kemira SD2083	1,43	23,8	22,0	$1,93 \cdot 10^{11}$	$2,72 \cdot 10^{11}$
Nalco CE45027	1,43	23,7	22,9	$4,19 \cdot 10^{11}$	$5,00 \cdot 10^{11}$
Nalco CE45028	1,43	22,6	23,1	$2,20 \cdot 10^{11}$	$4,89 \cdot 10^{11}$
Zetag 7898	1,43	22,2	23,7	$3,97 \cdot 10^{11}$	$4,78 \cdot 10^{11}$
Nalco 45012	1,43	23,1	-	$4,19 \cdot 10^{11}$	-
Nalco CE45025	1,43	21,3	-	$4,06 \cdot 10^{11}$	-
Nalco 45008	1,43	20,6	-	$5,21 \cdot 10^{11}$	-
Nalco CE45011	1,43	19,1	-	$2,98 \cdot 10^{11}$	-
Nalco 71057	1,43	18,5	-	$4,97 \cdot 10^{11}$	-
Nalco 4162	1,43	18,4	-	$1,26 \cdot 10^{12}$	-
Nalco 45009	1,43	17,5	-	$9,81 \cdot 10^{11}$	-

a) het bleek niet mogelijk om de specifieke filtratieweerstand te bepalen.

- de specifieke filtratie weerstanden van de monsters zijn voldoende laag om een goede ontwaterkarakteristiek van het geconditioneerde slib te verwachten;
- de droge stof concentraties van de producten na ontwatering in het onderzoek van 8 augustus fluctueert tussen de 17,5% en 26,9% droge stof. De droge stof concentraties na ontwatering in het onderzoek van 22 augustus fluctueert tussen de 22,0%-23,7%;
- de geringe verschillen in specifieke filtratie weerstanden in de twee onderzoeken laten zien dat de ontwaterbaarheid van het slib niet significant is veranderd tussen 8 en 22 augustus. Opvallend is wel het verschil in droge stof concentraties bij de producten SD2081, SD2083, E4690. Hiervoor is nog geen bevredigende verklaring gevonden.

CONCLUSIES SLIBONTWATERINGSPROEVEN

- het slib van Heenvliet blijkt over het algemeen goed conditioneerbaar en ontwaterbaar bij een PE dosering van 10 g actief PE /kg droge stof;
- de specifieke filtratie weerstanden van het slib zijn in beide onderzoeken nagenoeg gelijk;
- er is verschil in de eind droge stofconcentraties tussen de 2 onderzoeken waargenomen. Een verklaring daarvoor kan niet worden gegeven. Echter, in beide onderzoeken was er sprake van goed conditioneerbaar en ontwaterbaar slib;
- door de karakteristiek van het slib op verschillende tijdstippen vast te leggen kunnen uitspraken worden gedaan over de mate waarin de ontwaterbaarheid van het slib verandert. Daarom wordt voorgesteld om de proef te herhalen in de winter- en voorjaarsperiode.

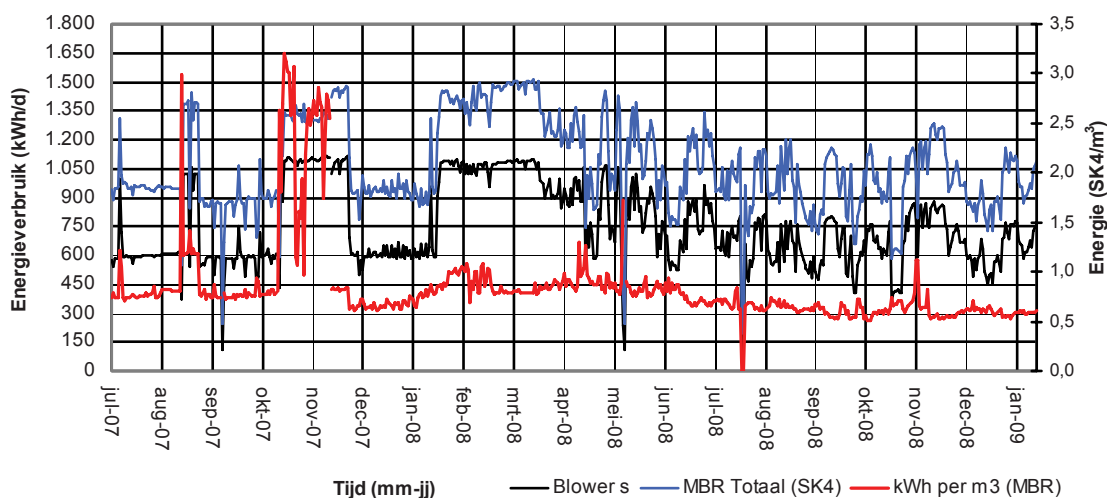
3.8 ENERGIEVERBRUIK

3.8.1 ENERGIEVERBRUIK PER INSTALLATIEONDERDEEL

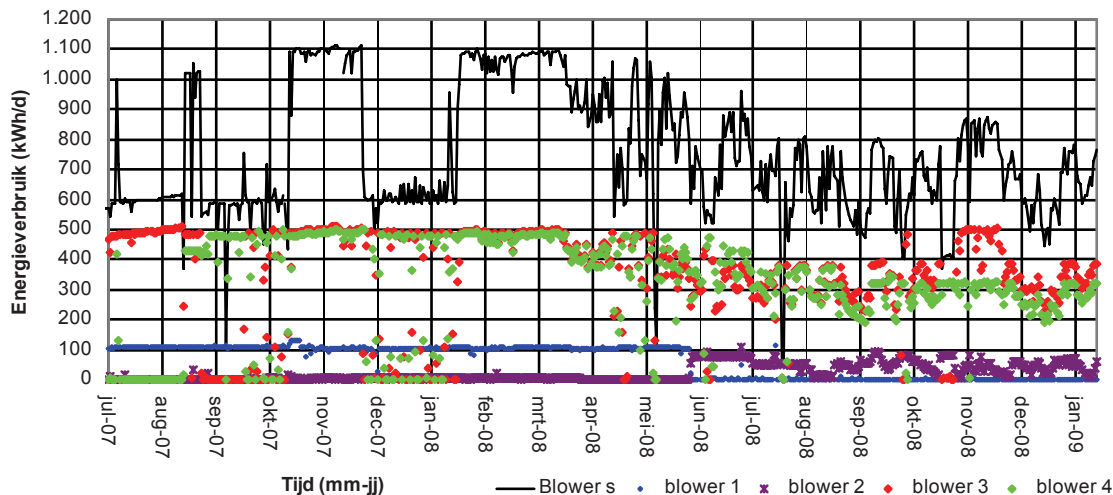
Het energieverbruik van de MBR is een belangrijke parameter om de haalbaarheid van de techniek vast te stellen. De installatieonderdelen die de meeste energie verbruiken zijn de compressoren en de circulatiepompen voor de membraantanks. In totaal zijn 4 compressoren in gebruik. Blower 1 staat voor de beluchting van de nitrificatietank, blower 2 voor de beluchting van de facultatieve tank en blowers 3 en 4 voor de beluchting van respectievelijk membraantank 1 en 2, zie Afbeelding 25 en Afbeelding 26.

Half juni 2007 zijn de blowers 3 en 4 vervangen door grotere, waarmee het energieverbruik toenam. Reden hiervoor was de constatering van slibophoping tussen de membraanplaten. In de maand april heeft de MBR een aantal weken stilgestaan in verband met het aanbrengen van modificaties.

AFBEELDING 25 ENERGIEVERBRUIK MBR-DEEL



AFBEELDING 26 ENERGIEVERBRUIK VAN DE BLOWERS



3.8.2 SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK

In de periode van half december 2007 tot eind januari 2008 is de MBR bedreven volgens de op dat moment als optimaal geïdentificeerde instellingen. Het permeaatdebiet in de desbetreffende periode was gelijk aan 60 m³/h, waarbij telkens een membraantank gedurende enkele dagen uit bedrijf was. De membraantank wordt in een rustperiode niet belucht en ook de slibcirculatie wordt uitgeschakeld. De membraantank die in bedrijf is, wordt zonder relaxatie bedreven. Het totale energieverbruik van de gehele gedurende deze periode bedroeg 0,98 kWh/m³. In deze periode is 98% van het effluent via de membranen afgevoerd.

In de periode na 8 februari 2008 wordt de installatie bedreven op instellingen, voorgeschreven door Toray. Dit betekent dat gewerkt wordt met een relaxatie van 1 minuut na 9 minuten productie en dat de membranen continu belucht worden. De membranen onttrekken permeaat met een debiet van 80 m³/h. Uitgaand van de gemeten energieverbruiken tijdens deze periode is het specifieke energieverbruik van het geproduceerde permeaat 1,23 kWh/m³. In deze periode is 98% van het effluent via de membranen afgevoerd.

Wanneer de energieverbruiken van de membraanbeluchting worden betrokken op de geproduceerde permeaatdebieten, dan is het specifieke energieverbruik zoals aangegeven in Tabel 10.

TABEL 10

SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK

	specifiek energieverbruik totaal in kWh per m ³ totaal effluent	specifiek totaal energieverbruik in kWh per m ³ permeaat	specifiek MT energieverbruik in kWh per m ³ permeaat
2007	0,73	1,28	0,51
dec '07 – jan '08	0,60	0,98	0,48
feb '08	1,03	1,23	0,69
jan '08 – dec '08	0,79	1,03	0,52

Door de bedrijfsvoering met telkens één membraantank in bedrijf kan aanzienlijk bespaard worden op energiekosten. Het is mogelijk dat wanneer deze bedrijfsvoering wordt doorgezet bij een hoger permeaatdebiet, het specifieke energieverbruik nog verder zal dalen tot 1,0 kWh/m³.

Over het gehele jaar 2005 was het energieverbruik op MBR Varsseveld¹ met circa 1,0 kWh/m³ vergelijkbaar met dat van MBR Heenvliet. Op MBR Varsseveld is de verwachting dat na verdere optimalisaties het energieverbruik terug gedrongen kon worden tot 0,75 kWh/m³.

3.8.3 VERDERE OPTIMALISATIES

Zoals reeds beschreven is in de periode december '07 tot januari '08 is gewerkt met een debiet van 60 m³/h over telkens één membraantank. Afhankelijk van de uitkomsten van de discussies rond de bedieningsvoorschriften van Toray zal gestreefd worden naar verhoging van dit debiet, waardoor het energieverbruik relatief gunstiger wordt, uitgedrukt in kWh/m³.

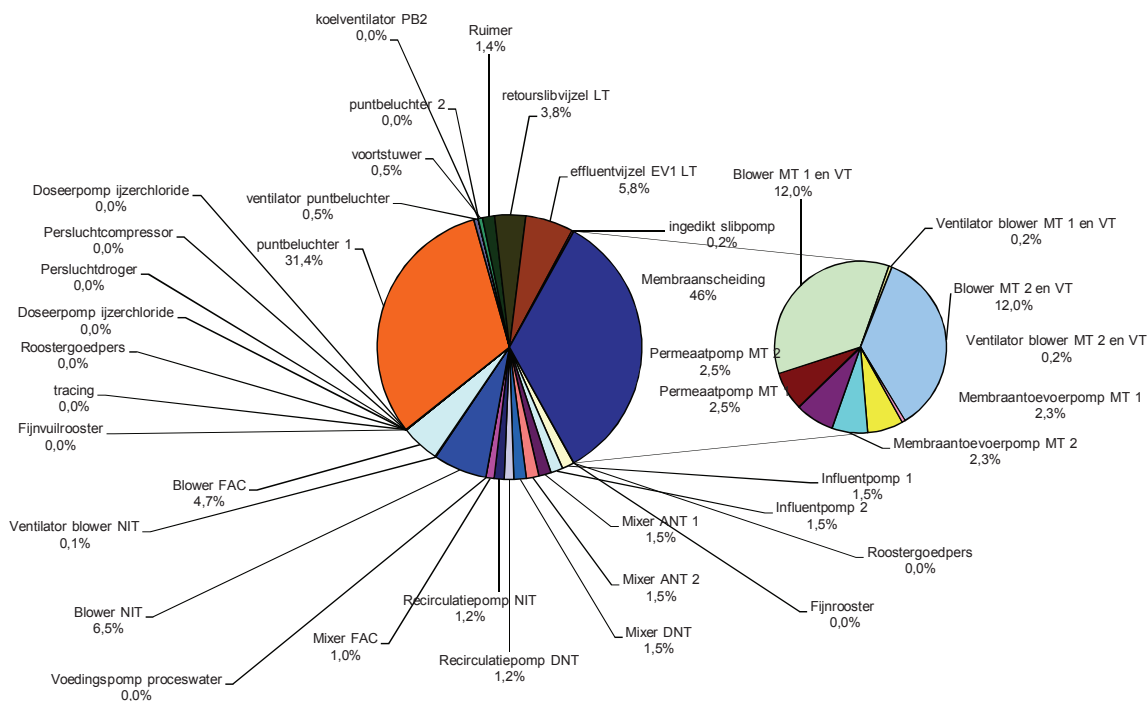
Op het moment dat de permeaatproductie stopt, hebben de blowers een nalooptijd van 2 uur. Dit gebeurde in de periode februari 2008 gemiddeld eenmaal per dag. Sinds 4 maart is deze nalooptijd uit de automatisering gehaald, waardoor ca. 10% besparing mogelijk is op de membraanbeluchting, die daarmee op 0,6 kWh/m³ geproduceerd permeaat zou zijn uitgekomen.

1 STOWA, Onderzoek MBR Varsseveld, STOWA rapport 2006-05, Utrecht 2006

Bij inbedrijfname van de membraantank was het luchtdebiet per tank gelijk aan 300 Nm³/h, dit bleek echter te laag om slibophoping op de membranen tegen te gaan waardoor deze is opgehoogd tot maximaal 900 Nm³/h per tank bedragen. Momenteel wordt gewerkt met 600 Nm³/h. Wanneer beide membraantanks weer onder gelijke condities in bedrijf gaan, zal worden getest met lagere luchtdebieten in één van de membraantanks om het energieverbruik verder te kunnen optimaliseren.

Afbeelding 27 illustreert de relatieve bijdrage van de verschillende verbruikers aan het totale energieverbruik van de rwzi Heenvliet tijdens seriebedrijf. In deze figuur is met behulp van een model berekend hoe het energieverbruik, na een aantal optimalisaties, per verbruiker eruit kan zien. De MBR verbruikt hierin iets minder dan de helft van de totale energie (56%). De membraanscheidingsstap verbruikt 46% van de totaal benodigde energie. Volgens deze berekening zou het totale specifieke energieverbruik 0,97 kWh/m³ permeaat bedragen.

AFBEELDING 27 RELATIEVE BIJDRAGE AAN HET ENERGIEVERBRUIK VAN DE VERBRUIKERS VAN DE RWZI (NA OPTIMALISATIE)



4

BEDRIJFSVOERING

4.1 TECHNOLOGISCHE ASPECTEN

4.1.1 NUTRIËNTENVERWIJDERING

De verwijdering van stikstofcomponenten bij de serieschakeling blijkt mogelijk door het sturen op ammonium in het omloopsysteem. Door de ammoniumconcentratie in het omloopsysteem op te laten lopen, blijft voldoende organische stof beschikbaar voor de denitrificatie in de MBR. In de tweede fase wanneer verder wordt geëxperimenteerd met parallel bedrijf wordt de biologische fosfaatverwijdering geoptimaliseerd door een gedeelte van het influent het omloopsysteem te laten bypassen.

4.1.2 DROGESTOFGEHALTEN IN OMLOOPSYSTEEM EN MBR

Door het juist instellen van de circulatiedebieten tussen MBR en omloopsysteem kan het drogestofgehalte in beide systemen verschillend zijn. De effecten hiervan op de bezinkbaarheid van het slib blijken positief. Zowel de filtreerbaarheid bij 10 tot 15 g/l als de bezinkbaarheid bij 3 tot 5 g/l blijken goed te zijn.

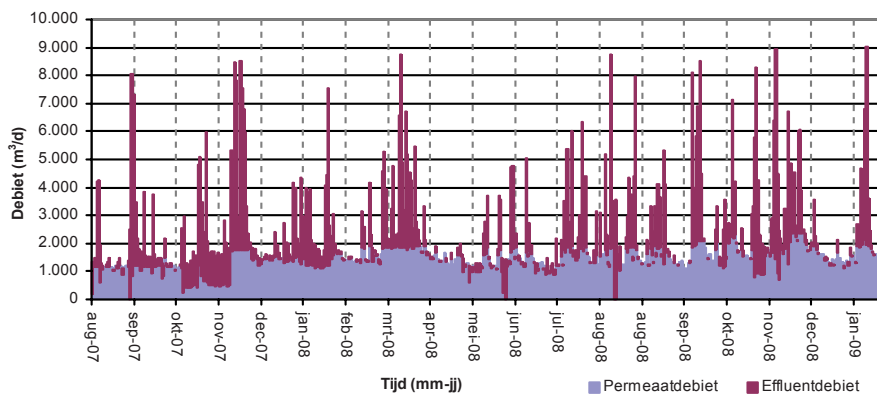
4.1.3 METEN EFFLUENTKWALITEIT NBT

Het komt regelmatig voor dat de nabezinktank tijdens DWA niet meer overstort, zodat het water in de monstername put stil staat. Hierdoor kunnen omzettingsprocessen plaatsvinden, waardoor de representativiteit van de monstername niet gegarandeerd is. Het is om die reden ingesteld dat in periodes dat er geen water overstort uit de nabezinktanks, er ook geen automatisch monster genomen wordt. Zodoende kan bij een monsternameronde de situatie zich voordoen dat er te weinig monster in het vat zit. Momenteel wordt in zulke situaties een steekmonster genomen.

4.1.4 BEHANDELDE DEBIETEN

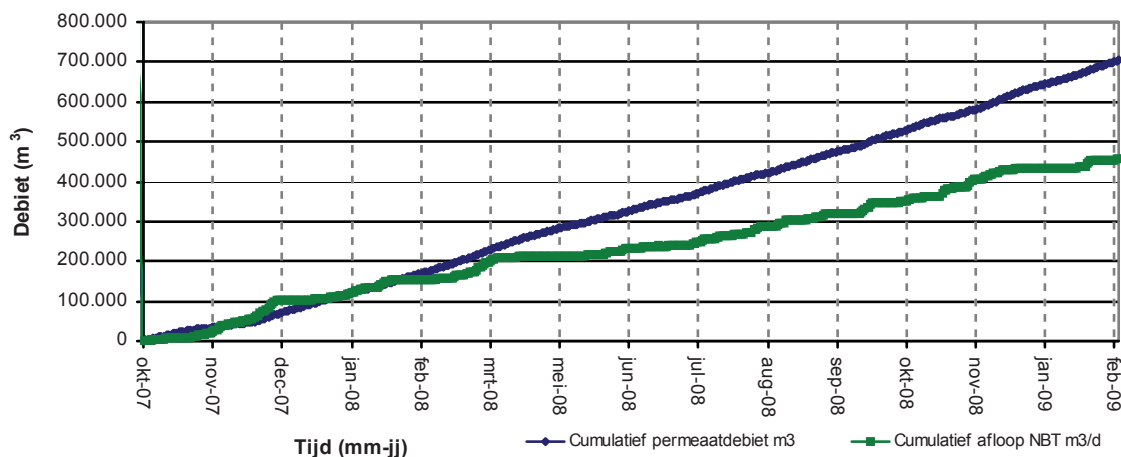
Door de serieschakeling van de MBR met de conventionele zuivering kan de gehele dwa behandeld worden in de MBR. Dit is toegelicht in Afbeelding 28.

AFBEELDING 28 VERDELING VAN DEBIETEN OVER NABEZINKTANK EN MBR



Afbeelding 28 laat zien hoe de verdeling is van de debieten uit de MBR (permeaatdebit) en uit de nabezinktank (effluentdebit). In de periode met parallelbedrijf, november 2007, is een relatief klein aandeel behandeld in de MBR. Vanaf februari en ook lange periodes daarvoor, is het grootste deel van de aanvoer behandeld in de MBR. In Afbeelding 29 is duidelijk te zien dat de MBR daadwerkelijk bijdraagt aan een substantiële kwaliteitsverbetering van het totale effluent. Het is te zien dat sinds de membraanvervanging ca 500.000 m³ permeaat is geproduceerd, tegen 300.000 m³ effluent uit de nabezinktank. In de periodes dat het aandeel permeaat groot is, loopt de groene lijn (afloop nabezinktank) bijna horizontaal. Sinds januari 2008 bedraagt het gemiddelde aandeel van het permeaat in de totale afvoer ca. 68%.

AFBEELDING 29 CUMULATIEVE VERDELING VAN DE DEBIETEN DOOR DE MBR EN UIT DE NABEZINKTANK



4.1.5 BEDRIJFSVOERINGSASPECTEN

De MBR is een relatief nieuwe technologie voor de behandeling van communaal afvalwater. De introductie hiervan blijkt in de praktijk een extra belasting voor het bedienend personeel. De MBR op zich is al een technologie met een aantal nieuwe elementen: membranen, slibcirculatie, membraanbeluchting. Om de installatie goed te kunnen bedienen is daarom bijscholing in de beheersing van deze technologie nodig. De hybride variant introduceert daarbij nog meer aandachtspunten aangezien beide systemen met elkaar in verbinding staan. Zowel qua biologische capaciteit, als qua hydraulische capaciteit is het zaak om een helder een logisch ontwerp te maken. Hoewel dit op de rwzi Heenvliet is gebeurd, is in de praktijk gebleken dat de wederzijdse afhankelijkheden tot onverwachte situaties kunnen leiden, waarbij niet meteen duidelijk is hoe ingegrepen dient te worden. Hier ligt ook een uitdaging op het gebied van procesautomatisering. Doordat het een uitbreiding betreft, wordt voortgeborduurd op een bestaande installatie, en juist op dit vlak dient met de uiterste zorg ontworpen te worden.

4.2 TECHNISCHE ASPECTEN

4.2.1 ERVARINGEN MET METERS

De online meting van nitraat blijkt niet eenvoudig. De nitraatmeters in de MBR bleken grote afwijkingen te vertonen, die ook na herhaaldelijk onderhoud en aanpassingen niet verholpen konden worden. Inmiddels zijn de drie geïnstalleerde nitraatmeters (denitrificatietank, facultatieve tank en omloopsysteem) vervangen door twee meetapparaten van een ander type. Hierdoor vindt in de denitrificatietank momenteel geen online meting plaats.

Bij de online meting van ammonium bleek de menging in de facultatieve tank van de MBR kritisch als gevolg van de hogere slibconcentraties. Hierdoor is er een beluchtenbeluchting geplaatst ter plaatse van het meetapparaat. Sinds het installeren van deze grove beluchtenbeluchting functioneert de on-line meting goed.

4.2.2 FLUSHEN LUCHTLEIDINGEN

Voor de beluchting van de membranen wordt gebruik gemaakt grove beluchtenbeluchting. Aangezien de beluchting ontworpen is als intermitterend, was voorzien dat de luchtleidingen met regelmaat doorgespoeld moesten worden met lucht. Hiertoe zijn flushkleppen gemonteerd boven de waterlijn, die met regelmaat geopend worden zodat eventueel opgehoopt actief slib verwijderd wordt. Er zijn regelmatig problemen ontstaan door slecht functionerende flushkleppen. Doordat deze niet meer geheel sloten, vulde het beluchtingssysteem zich met slib gedurende de perioden waarin niet werd belucht. Als gevolg hiervan was na het wisselen enige tijd nodig om het hele systeem weer met lucht gevuld te krijgen, waardoor de membraanelementen aan de achterzijde van de modules significant minder werden belucht. Sinds juni 2007 worden de membranen continu belucht.

4.2.3 VERSCHIL BOVEN EN ONDERMODULES

Vanaf de opstart en de eerste metingen met leidingwater bleek er een verschil te zijn in de verdeling van de afgevoerde waterhoeveelheden door de boven- en onderheaders. Per membraantank is één permeaatpomp geïnstalleerd, die uit zowel de bovenste als de onderste modules permeaat onttrekt. Ondanks het feit dat de modules vrijwel identiek zijn en het verschil in leidingweerstand minimaal is, worden aanzienlijke verschillen gemeten.

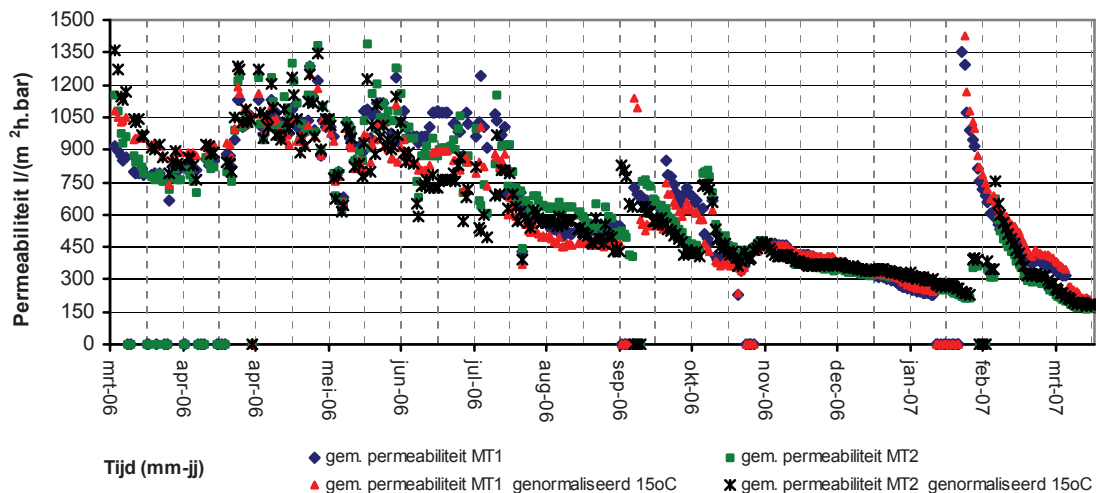
De hypothese is nu dat tijdens onttrekken, als de membranen belucht worden, er op elk moment een zeker gedeelte van het membraanoppervlak bedekt is met luchtbellen, zodat het betreffende gedeelte niet meedoet met filtratie. Door het opstijgen van de beluchten wordt het volume hiervan groter en wordt dus ook een groter gedeelte van het membraanoppervlak bedekt met lucht. Berekeningen laten zien dat de verhouding tussen de prestaties van de boven- en ondermodules even groot zijn als de verhouding tussen de volumina van luchtbellen in de boven- en ondermodules.

4.3 MEMBRAANFILTRATIE

4.3.1 ONTWIKKELING PERMEABILITEIT

Na de opstart in maart was de permeabiliteit van het membraansysteem ongeveer 1.600 l/m².h.bar. De permeabiliteit daalde vrij snel, in enkele maanden naar een waarde rond 200 l/m².h.bar. Vervolgens is een reiniging uitgevoerd waarna de permeabiliteit grotendeels terugkwam. Het verloop van de permeabiliteit van deze membranen (uitgezet tegen de tijd) is weergegeven in Afbeelding 30. Na het vervangen van de permeaatheaders was de permeabiliteit iets hoger. Hoewel de daling steeds langzamer verliep, bleef de permeabiliteit dalende tot aan het moment dat de membranen uit bedrijf zijn genomen.

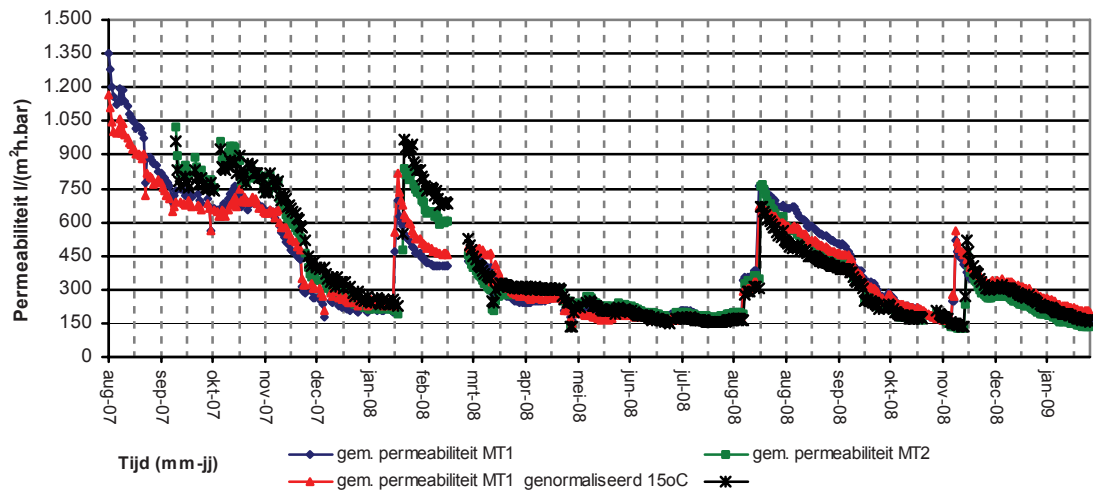
AFBEELDING 30 VERLOOP VAN GENORMALISEERDE PERMEABILITEIT MET EERSTE MEMBRANEN



Het verloop van de permeabiliteit met de nieuwe membranen is weergegeven in Afbeelding 31. Ook hierbij is sprake van een gestage daling van de permeabiliteit. Hierbij moet wel worden vermeld dat de membranen continu met een relatief hoge netto flux in bedrijf zijn. Dit is in tegenstelling tot andere systemen, waarbij de hogere fluxen alleen waren aangehouden tijdens RWA perioden.

In de zomer van 2008 lijkt een stabiele situatie bereikt te zijn met een permeabiliteit rond 200 l/m².h.bar met in de laatste weken voor de reiniging van begin augustus zelfs een lichte stijging.

AFBEELDING 31 VERLOOP PERMEABILITEIT NIEUWE MEMBRANEN



4.3.2 LUCHTSPOELING

In september 2006 zijn de permeaatheders van de modules vervangen omdat het vermoeden bestond dat via de slangpilaar op de permeaatheder (zie Afbeelding 32) slib in de permeaitleiding kon komen. Hierbij is vastgesteld dat op veel plaatsen slib was aangekoekt tussen de membraanplaten (zie Afbeelding 32), wat als een aanwijzing werd gezien dat er onvoldoende luchtspoeling was. Inmiddels zijn nieuwe blowers geïnstalleerd die per tank 900 Nm³/h lucht inblazen. Tijdens de vervanging van de membranen is gebleken dat dit luchtdebiet niet leidt

tot slibophoping. Onbekend is hoever de beluchting kan worden teruggebracht ten opzichte van deze 900 Nm³/h. Momenteel is het beluchtingsdebiet van de membranen stapsgewijs teruggebracht tot 600 Nm³/h, zonder merkbare nadelige effecten.

AFBEELDING 32 SLANGPILAAR OP PERMEATHEADER EN SLIBOPING TUSSEN DE PLATEN



4.3.3 AUTOPSIES

Bij de werkzaamheden in september is een stuk membraanmateriaal bemonsterd en voor onderzoek opgestuurd naar het laboratorium van Nalco. Hier bleek dat veel biologisch materiaal was afgezet op het membraan. Verder werden neerslag van ijzer- en mangaanzouten aangetroffen aan beide zijden van het membraan.

Een zelfde beeld is waargenomen bij een tweede autopsie, in mei 2007. Ook hier werden veel ijzerzouten waargenomen. Opvallend is dat de neerslag ontstaat aan de permeatzijde en in het membraan zelf, en niet aan de voedingszijde.

De membranen die in oktober 2007 uit de installatie zijn gehaald, zijn bemonsterd en gekoeld opgeslagen. Op een aantal membraanmonsters is in januari 2008 door IHE Delft een autopsie uitgevoerd (zie ook Afbeelding 33). Hierbij bleek dat aan de permeatzijde veel zouten zijn neergeslagen, waaronder calciumcarbonaat, calciumfosfaat en calciumsulfaat. Aan de voedingszijde is een laagje organische vervuiling aangetroffen die relatief eenvoudig loslaat.

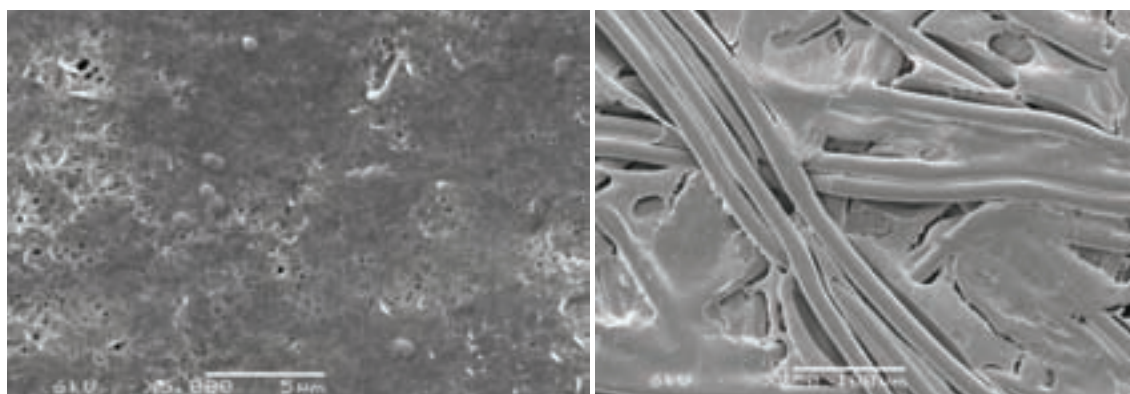
4.3.4 MEMBRAANREINIGINGEN

In totaal is op zes tijdstippen een chemische membraanreiniging uitgevoerd, zie Tabel 11 en Tabel 12. De derde reiniging was bedoeld om te experimenteren met verschillende concentraties en producten. Daarnaast is geëxperimenteerd met terugspoelen van de membranen zonder chemicaliën. Hoewel het leek dat de eerste maal terugspoelen effect had op de permeabiliteit, bleek dit bij herhaling in september 2006 niet het geval te zijn.

De gecombineerde reiniging met citroenzuur en chloorbleekloog bleek in de overige reinigingen het meest effectief. Echter, het effect van de reiniging bleek niet langdurig. In de volgende fase is hiermee op labschaal verder geëxperimenteerd. Doelstelling hierbij was vast te stellen hoe met zo min mogelijk chemicaliën een langdurig en effectieve reiniging wordt bewerkstelligd.

Onderzoek naar een optimaal reinigingsprotocol heeft o.a. laten zien dat het permeaat een oververzadigde oplossing is van verschillende zouten. Wanneer bij een reiniging met bijvoorbeeld natrium hypochloriet de pH stijgt, kunnen deze zouten neerslaan aan de permeaatzijde van het membraan. Dit is bevestigd door de autopsies zoals hierboven beschreven.

AFBEELDING 33 OPNAME MET ELECTRONENMICROSCOOP VAN DE VOEDINGSZIJDE (LINKS) EN PERMEAATZIJDE (RECHTS) VAN EEN VERVULD MEMBRAAN (THE DELFT)



TABEL 11 UITGEVOERDE REINIGINGEN IN DE HYBRIDE MBR HEENVLIET

Date	Membraan tank 1		Membraan tank 2	
	stap 1	stap 2	stap 1	stap 2
oktober 2006	NaOCl 0,6%	---	NaOCl 0,6%	---
januari 2007	citroenzuur 2,6%	NaOCl 0,6%	NaOCl 0,6% citroenzuur 2,6%	citroenzuur 2,6% NaOCl 0,6%
september 2007	---	---	citroenzuur en geformuleerde producten per module	
februari 2008	citroenzuur 2,6%	NaOCl 0,6%	citroenzuur 2,6%	NaOCl 0,6%
augustus 2008	citroenzuur 2,6%	NaOCl 0,2%	citroenzuur 2,6%	NaOCl 0,2%
november 2008	citroenzuur 2,6%	NaOCl 0,2%	NaOCl 0,2%	citroenzuur 2,6%

De resultaten van de uitgevoerde reinigingen zijn uitgedrukt in permeabiliteit ($l/m^2.h.bar$) en samengevat in Tabel 12.

TABEL 12 RESULTATEN REINIGINGSPROCEDURES IN PERMEABILITEIT (L/M2.H.BAR)

	Membraan tank 1			Membraan tank 2		
	voor	na	verschil	voor	na	verschil
oktober 2006	533	740	207	415	740	325
januari 2007	244	1,506	1,262	230	396	166
				345	757	412
september 2007				135	380	245
				380	959	579
februari 2008	230	820	590	229	970	741
augustus 2008	165	669	504	165	667	502
november 2008	170	565	395	170	517	347

Per reiniging wordt er 1000 liter citroenzuur 50% en 800 liter NaOCl 12,5% gebruikt. Uit de resultaten is gebleken dat de membranen circa 4 keer per jaar chemisch gereinigd moeten worden.

4.3.5 RELAXATIE

Sinds de opstart is gewerkt met een onttrekkingsregime van 8 minuten filtratie en 2 minuten relaxatie. Omdat het effect van de relaxatie niet meetbaar was (de permeabiliteit voor en na relaxatie blijft gelijk), is getracht om het onttrekkingsregime met de relaxatie te optimaliseren.

Bij toeval is gebleken dat de permeabiliteit wél toenam wanneer gedurende langere tijd (enkele dagen tot meerdere weken) werd gerelaxeerd. Dit vond plaats in de periode dat de MBR uit bedrijf is genomen, waarbij de modules enkele weken in slib hebben gestaan.

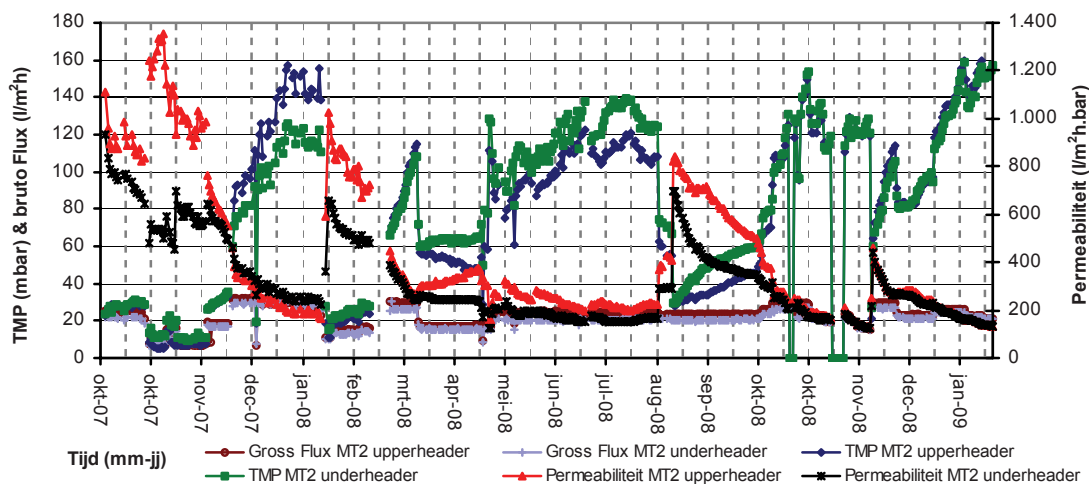
In de periode na installeren van de nieuwe membranen is met deze instellingen gewerkt. Drie maal per week werd gewisseld van membraantank, bij een debiet van 60 m³/h. Door de beperking van het besturingssysteem kan niet continu onttrokken worden, maar moet per uur minimaal twee minuten gerelaxeerd worden. Bovendien is deze relaxatie nodig in verband met het ontluchten van het permeaatsysteem. Bij deze wijze van bedrijfsvoering bleek dat de permeabiliteit op een constant niveau rond 200 l/m².h.bar bleef.

De meest recente instelling is 1 minuut relaxatie per 10 minuten als gevolg van herziene bedieningsvoorschriften van Toray.

TABEL 13 OVERZICHT INSTELLINGEN PERMEAATPRODUCTIE- EN RELAXATIETIJDEN

	permeaatproductie (sec)	relaxatie (sec)	verhouding (-)
vanaf 6 maart 2006	480	120	4
vanaf 7 november 2006	420	180	2,3
vanaf 1 februari 2007	480	120	4
vanaf 5 maart 2007	3600	120	30
vanaf 4 januari 2008	540	60	9

AFBEELDING 34 FLUX, TMP EN PERMEABILITEIT VAN MT2



4.3.6 PERMEAATFLUX

De toegepaste jaargemiddelde permeaatflux lag relatief hoog, zeker in vergelijking met andere communale MBR's. Voor het jaar 2008 was de jaargemiddelde flux 14,8 l/m²h, doorgaans is deze waarde bij MBR-systemen lager dan 10 l/m²h. De toegepaste bruto flux (dus tijdens filtratie) was gemiddeld 23,5 l/m²h.

Door deze relatief hoge waarden zijn de membranen zwaar belast. Met de huidige reinigingsfrequentie van circa 4 maal per jaar lijkt dit werkbaar. De membraanpermeabiliteit daalt weliswaar telkens tot 15% van de waarde na opstart, maar ligt met 200 l/m²h.bar in hetzelfde bereik als andere membraansystemen.

4.4 OVERIGE AANDACHTSPUNTEN

Een groot deel van de ervaringen van de bedrijfsvoering is reeds vastgelegd in het STOWA rapport (2008-08) Ontwerp- en beheersaspecten van een MBR voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. In deze paragraaf volgen nog enkele aandachtspunten op het vlak van bedrijfsvoering.

Qua technologische werking lijkt een effluentkwaliteit van N=5 mg/l haalbaar, maatgevend is in hoeverre de denitrificatie kan verlopen. In dit verband kan genoemd worden dat in eerste instantie uitgegaan is van een lage luchtbehoefte voor de reiniging van de membranen. Toen deze verhoogd moest worden, nam de hoeveelheid opgelost zuurstof die vanuit de membraantanks teruggebracht werd toe, waardoor de stikstofverwijdering nog verder bemoeilijkt werd.

In de periode met seriebedrijf was het bereiken van een P-gehalte van 0,3 mg/l door biologische defosfatering moeilijk.

De regeling van de uitwisseling van actief slib tussen omloopsysteem en MBR blijkt bij overschakeling van dwa naar rwa niet feilloos te werken. Dit kan mogelijk met een kleine aanpassing in de regeling worden opgelost. In het algemeen is de regeling van de MBR door zijn verwevenheid met het bestaande systeem niet in een oogopslag helder. Hoewel veel aandacht is besteed aan een eenvoudige en transparante regeling, liggen hier nog verbeterkansen, die in eventuele volgende trajecten uitgewerkt kunnen worden.

4.5 OPERATIONELE KOSTEN

4.5.1 ENERGIEKOSTEN

De operationele kosten voor een MBR-installatie worden voornamelijk bepaald door het energieverbruik van de blowers. Het energieverbruik van de blowers is toegelicht in paragraaf 3.8. De relatieve bijdrage van de MBR aan het totale energieverbruik is aanzienlijk. Het specifieke energieverbruik is gelijk aan circa 0,97 kWh/m³. Wanneer er wordt uitgegaan van een energieprijis van EUR 0,11 per kWh, dan zijn energiekosten van de blowers voor een m³ ingaand water gelijk aan circa EUR 0,10.

Optimalisaties zoals een verhoging van het debiet en het verkorten van de nalooptijd kunnen leiden tot een lager specifiek energieverbruik.

4.5.2 CHEMICALIËNKOSTEN (REINIGING)

Ook de reiniging voor een MBR is een aanzienlijke kosten post door de toegepaste chemicaliën. Per reiniging op de MBR Heenvliet variëren de kosten tussen de EUR 700,- en de EUR 1.400,-. Per jaar is dit gelijk aan EUR 2.800,- en EUR 5.600,- per jaar. Dit is maximaal per m³ influent gelijk aan EUR 0,006/m³.

4.5.3 PERSONEELS- EN ONDERHOUDSKOSTEN

Een MBR is uitgerust met veel meetapparatuur en elektronica. Hierdoor neemt het aantal kansen op storingen toe, wat in de praktijk ook is gebleken. Daarnaast vergt het behandelen van deze storingen meer tijd en specifieke kennis dan bij een conventionele installatie. Om de installatie goed te kunnen bedienen is daarom bijscholing in de beheersing van deze technologie nodig. Voor de rwzi Heenvliet heeft dit betekend dat er in totaal 0,5-1 fte voor onderhoud en beheer wordt ingeschakeld. Aandachtspunt hierbij is dat minimaal twee à drie personen in de organisatie op de hoogte moeten zijn van de werking van de installatie. Voor deze personen is een regelmatige 'training' gewenst om vertrouwd te blijven met de installatie.

5

DISCUSSIE

5.1 MEMBRAANINTEGRITEIT

Belangrijk aandachtspunt bij de oplevering van de membranen is hoe vastgesteld kan worden of de membraanintegriteit in orde is. Daarnaast is het bij een MBR van belang hoe tijdens bedrijf de membraanintegriteit gemonitord kan worden.

In dit onderzoek is gebleken dat er geen referentiemateriaal is om vast te stellen wat een acceptabele zwevende-stofconcentraties in het permeaat is. Het is gebleken dat er zich hoe dan ook een biologische activiteit ontwikkelt aan de permeaatzijde van het membraan. Dit wordt nog versterkt door de lage frequentie van chemisch reinigen. Een en ander resulteert in een bepaalde 'achtergrondconcentratie' zwevendestof. Moeilijkheid hierbij is dat dit gehalte onder de detectiegrens ligt van gangbare meetmethoden voor zwevendestof. In dit onderzoek is aangetoond dat met gangbare deeltjestellers (2 tot 100 μm) een goede indicatie verkregen kan worden inzake eventuele lekkage. Aandachtspunt voor het ontwerp is het vermijden van 'dode ruimte' in het leidingwerk, waar eventueel zwevendestof en biologische groei zich ophoopt.

Voor komende projecten wordt geadviseerd om eisen te formuleren waaraan ultrafiltraat moet voldoen met betrekking tot het droge stof gehalte, om een referentie te hebben bij oplevering van installaties.

5.2 POTENTIE HYBRIDE MBR ALS UITBREIDINGSVARIANT

De hybride MBR vormt in de nu gedurende een jaar geteste serieconfiguratie een goede oplossing voor de uitbreiding van de rwzi Heenvliet. Aangezien pas laat in het ontwerptraject de mogelijkheid van seriebedrijf werd onderkend, is het ontwerp van de biologische zuivering niet optimaal tijdens seriebedrijf.

Voor toekomstige projecten wordt daarom geadviseerd om de anaërobe tank te plaatsen vóór de bestaande actief-slibtanks. Zodoende kan de biologische fosfaatverwijdering ook worden toegepast tijdens seriebedrijf. Verder verdient het voor toekomstige projecten aanbeveling om de hydraulische buffercapaciteit van de nabezinktank verder te benutten. Door de specifieke situatie op de rwzi Heenvliet was de buffercapaciteit van de nabezinktank beperkt.

Een ander aandachtspunt bij toekomstige projecten is de verdeling van biologische en hydraulische belasting van beide subsystemen. Tijdens seriebedrijf komt ook de stikstofverwijdering in het gedrang wanneer het conventionele deel van de installatie geregeld wordt op de 'gewone' manier. Op de rwzi Heenvliet is dit ondervangen door een ammoniummeting in het omloopsysteem die gebruikt wordt om de beluchtingsintensiteit te regelen. Zodoende wordt de stikstofverwijdering verdeeld over het omloopsysteem en de MBR. De mogelijkheid hiervan hangt samen met de verhouding van de slibvrachten in beide systemen (ca. 50/50). Het lijkt opportuun om voor toekomstige uitbreiding in principe uit te gaan van een gedeeltelijke bypass van influent naar de MBR, zodat in de bedrijfsvoeringfase flexibiliteit behouden blijft. Voor nadere aandachtspunten voor het ontwerp van MBR's wordt verwezen naar het STOWA

rapport 'Ontwerp- en beheersaspecten van een MBR voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater', (STOWA 2008-08, Utrecht).

5.3 FOSFAATVERWIJDERING

Zoals al eerder werd aangestipt vormt de implementatie van biologische fosfaatverwijdering in een systeem dat geënt is op chemische fosfaatverwijdering een aandachtspunt. Zoals elders in dit rapport is geopperd, verdient het aanbeveling om na te denken over een andere plek van de anaërobe tank, en/of doseerpunt van metaalzout. Eén en ander hangt uiteraard samen met de gewenste effluentkwaliteit en verdere slibverwerking. Voor de situatie op Heenvliet lijkt een dosering van ijzerzout in de sliblijn een goede route voor een adequate fosfaatverwijdering.

5.4 ROOSTERGOEDVERWIJDERING

Zoals in veel eerdere studies en ook praktijksituaties is gebleken, is de voorbehandeling van membranen in een MBR een kritisch punt. Uit dit onderzoek komt naar voren dat de gekozen afscheidingsdiameter (3 mm) en scheidingsprincipe (ronde gaatjes) ruim voldoende zijn om problemen met spinselvorming en excessieve roostergoedproductie te voorkomen. Daarnaast zijn tot op heden geen problemen geconstateerd met wisselende belastingen van het rooster. In dit opzicht is de komende fase (parallelbedrijf, in 2009) interessant, aangezien dan influent dient te worden geroosterd.

6

CONCLUSIES

In algemene zin kan gesteld worden dat de hybride MBR als uitbreidingsvariant technisch geschikt is en technologisch goed functioneert. In situaties waarin een hydraulische en/of biologische uitbreiding gewenst is, gepaard met een strengere effluenteis kan deze techniek een goede oplossing zijn. Voornamelijk in die situaties waarin ruimtegebrek een rol speelt kan MBR als meest optimale techniek worden ingezet. Aandachtspunt bij dit alles blijft het energieverbruik, dat nog nauwelijks competitief is met andere systemen die een vergelijkbare effluentkwaliteit produceren.

Voor de locatie Heenvliet is vastgesteld dat:

- de bedrijfsvoering met één actief-slibpopulatie bij twee verschillende drogestofconcentraties werkt naar tevredenheid;
- de MBR heeft geen nadelige invloed op de SVI en de ontwaterbaarheid van het actief slib;
- als gevolg van de minder nauwkeurige besturing van de beluchting in het omloopsysteem liggen de zuiveringsrendementen voor (met name gebonden organische) stikstof in de MBR hoger dan in het omloopsysteem;
- een reinigingsfrequentie voor chemisch reinigen van de membranen van 3 tot 4 keer per jaar kan gehaald worden bij fluxen $< 22 \text{ l/m}^2\text{h}$ ofwel een permeaatonttrekking $< 80 \text{ m}^3/\text{h}$;
- langdurig opereren met hoge permeaatfluxen leidt niet tot problemen ($< 22 \text{ l/m}^2\text{h}$);
- precipitatie van metaalzouten aan de permeaatzijde tijdens een reiniging kan tot meetbare permeabiliteitsdaling leiden. Dit wordt bij de situatie op Heenvliet veroorzaakt door een verhoging van de pH in het permeaat dat een hoge Saturatie Index (SI) heeft. Dit effect kan worden opgeheven door te eindigen met een zure reiniging;
- het flushen van de membranen is een essentieel onderdeel van de plaatmembraan installatie;
- roostergoedverwijdering met 3 mm gaatjes voorkomt spinselvorming in de MBR;
- de inzet van de MBR heeft niet geleid tot een toename van fijne deeltjes in de slibfractie die in de NBT tot uitspoelingen zouden leiden;
- in seriebedrijf is door een te hoge O_2 -inbreng de denitrificatie beperkt;
- de opleiding van personeel blijkt belangrijk in het op juiste wijze bedrijven van de MBR-installatie;
- de relatieve bijdrage van de MBR aan het totale energieverbruik is aanzienlijk ($0,97 \text{ kWh/m}^3$ permeaat). Optimalisaties zoals een verhoging van het debiet en het verkorten van de nalooptijd kunnen leiden tot een lager specifiek energieverbruik;
- de bacteriologische kwaliteit van het permeaat is continu beter dan het effluent uit de nabezinktank en ligt structureel onder de limiet van 20 kve/ml ;
- de verwijderingsprestaties van vreemde stoffen als organische microverontreinigingen en zware metalen door de MBR en conventionele behandeling zijn vergelijkbaar. Het verwijderingsrendement voor organische microverontreinigingen is variabel en vanwege de lage ingaande concentraties niet altijd kwantificeerbaar;
- de bedrijfsvoering voor seriebedrijf is eenvoudiger gebleken dan voor parallel bedrijf.

Ook was het energieverbruik tijdens parallel bedrijf hoger in vergelijking tot seriebedrijf. Aanvullende conclusies over parallel bedrijf worden in een volgend onderzoek verder onderzocht;

- op MBR Heenvliet is bij een gemiddeld influent voor MBR Heenvliet van 1.480 m³/dag het chemicaliën verbruik gelijk aan 4400 l per jaar, de bijbehorende kosten bedragen 3.250 euro per jaar. In de praktijk zullen grotere debieten toegepast worden waarbij de kosten voor bijvoorbeeld 10.000 m³/d kunnen oplopen tot circa 21.900 euro per jaar.

6.1 VOORUITBLIK

De periode vanaf begin 2009 staat in het teken staan van de bedrijfsvoering van een parallelsysteem MBR-omloopsysteem. Onderzoeksvragen hierbij zijn de optimalisaties voor het energieverbruik, de werking van het fijnrooster, de implementatie van de biologische fosfaatverwijdering en een algehele vergelijking van effluentkwaliteit tussen beide subsystemen.

BIJLAGE I

FOTO IMPRESSIE HYBRIDE MBR HEENVLIET



SLIBLAGUNE, BEDRIJFSGEBOUW EN TECHNISCHE RUIMTE



ACHTERAANZICHT MET ROOSTERGOEDCONTAINER



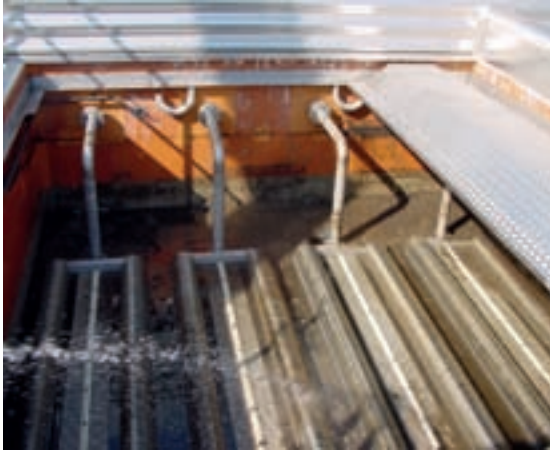
LUCHTFOTO VAN HYBRIDE MBR HEENVLIET



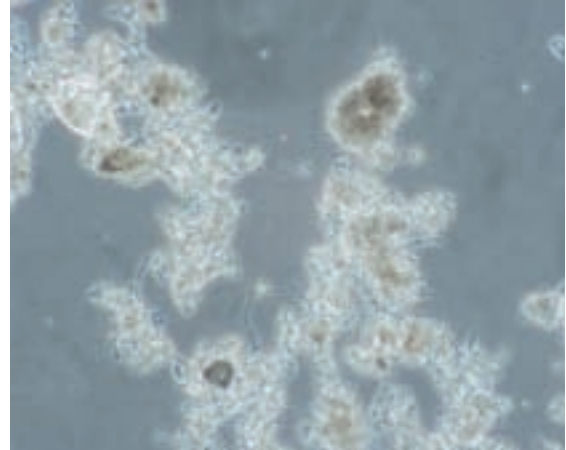
MEMBRAANMODULE MET 180 MEMBRAANPLATEN



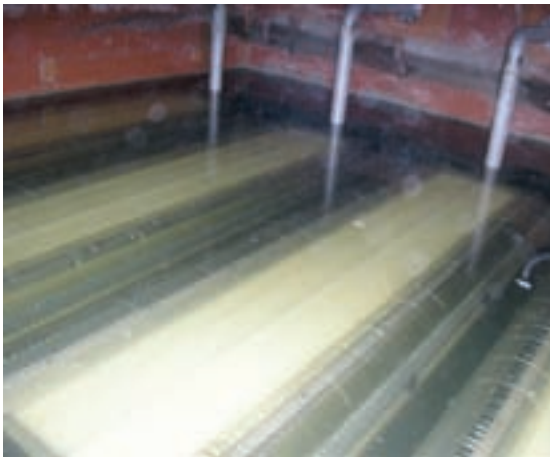
TECHNISCHE RUIMTE MET SLIBCIRCULATIEPOMPEN



MEMBRAANMODULES MEMBRAANTANK 1 IN SCHOON WATER



MICROSCOPISCHE FOTO VAN ACTIEF SLIB



MEMBRAANTANK 1 WORDT LEEGGEPOMPT



BOVENAANZICHT MEMBRAANMODULE

BIJLAGE II

RESULTATEN FOSFAATANALYSES EN FOSFAATBALANS INLEIDING

De MBR op de rwzi Heenvliet is in het voorjaar 2008 begonnen aan de eerste onderzoeksfase: seriebedrijf. De fosfaatverwijdering op de rwzi Heenvliet is momenteel zodanig dat de streefwaarden voor de effluent concentratie (nog) niet worden behaald.

Deze bijlage beschrijft de massabalans voor fosfaat over de verschillende compartimenten van de MBR, de uitgevoerde fosfaatopname en -afgifte testen en de resultaten van een profielmeting voor nitraat, ammonium en fosfaat worden beschreven. Tot slot worden de knelpunten en aanbevelingen worden weergegeven.

MASSABALANS

Om inzicht te verkrijgen in de fosfaathuishouding van de rwzi Heenvliet is een fosfaatbalans opgesteld van de verschillende stromen van de zuivering. Ten tijde van opstellen van de massabalans en de uitgevoerde analyses draaide de MBR in seriebedrijf waarbij de nabezinker alleen effluent produceerde tijdens regenwataeraanvoer (RWA). De gemeten fosfaatconcentraties zijn verkregen met behulp van Dr. Lange kuvetten testen. De massabalans is opgesteld op basis van de volgende gemeten waarden:

• hoeveelheid gespuid slib	15.557	kg ds/maand
• ds voorindikker	2,5	%
• debiet naar sliblagune	21	m ³ /d
• fosfaatgehalte slib	1,5	%
• verwijderingsrendement FeCl ₃ influent lagune	100	%
• verwijderingsrendement FeCl ₃ overloopwater indikker	0	%
• ds sliblagune	5,0	%

In Tabel 1 is de fosfaatbalans voor de rwzi Heenvliet weergegeven.

TABEL 1 MASSABALANS RWZI HEENVLIET

	stromen	debiet (m ³ /d)	PO ₄ -P gemeten (mg/l)	PO ₄ -P balans (mg/l)	PO ₄ -P vrachten (kg/d)
1	ruw influent	1.640	7,5		12,30
2	effluent nabezinker	0	4,09		0
3	effluent omloopsysteem → MBR	1.640	4,09		6,71
4	retourslib nabezinker	1.900	3,17		6,02
5	influent voorindikker	190	3,17		0,60
6	influent lagune	21	110		2,31
6a	P-verwijderd mbv FeCl ₃	21		110	2,31
7	overloopwater indikker	169	10,8		1,83
7a	P verwijderd mbv FeCl ₃	169		0	0,00
8	overloopwater lagune	10	100		1,030
9	influent MBR	1.640	4,09		6,71
10	retourslib MBR naar selector	596	4,09		2,44
11	effluent MBR	1.640	2,00	2.08 ^{a)}	3,28
	effluent MBR met FeCl ₃			0.67 ^{b)}	1,10
12	afvoer sliblagune (water fractie)	11	110		1,18
13	afvoer sliblagune (ds fractie)	0,51	15.000		7,71

a) De fosfaatconcentratie wordt berekend op basis van de fosfaat influent concentraties en de maandelijkse afvoer van fosfaat via het slib.

b) berekend op basis van 100% verwijdering middels ijzerprecipitatie, in de praktijk zal een rendement van 100% niet worden behaald.

Om te controleren of de gemeten concentraties representatieve waarden zijn is gekeken of de massabalans sluitend is ($P_{in} = P_{uit}$). Onderstaande laat zien dat de massabalans op basis van methode a) voor bijna 99% sluitend is. Fosfaat influent en effluent concentraties zijn gebaseerd op gemiddelde waarden van 2008 (periode van januari t/m juni).

Pin (kg/d)	Puit(kg/d)	Afwijking
12,30	12,17	-1,05%

De massabalans is zodanig opgesteld dat de fosfaatconcentratie van het effluent van de MBR kan worden berekend. De nauwkeurigheid van het model is hieronder weergegeven.

effluent MBR (mg/l P) gemeten	Effluent MBR (mg/l P) model	Afwijking
2,00	2,08	3,92%

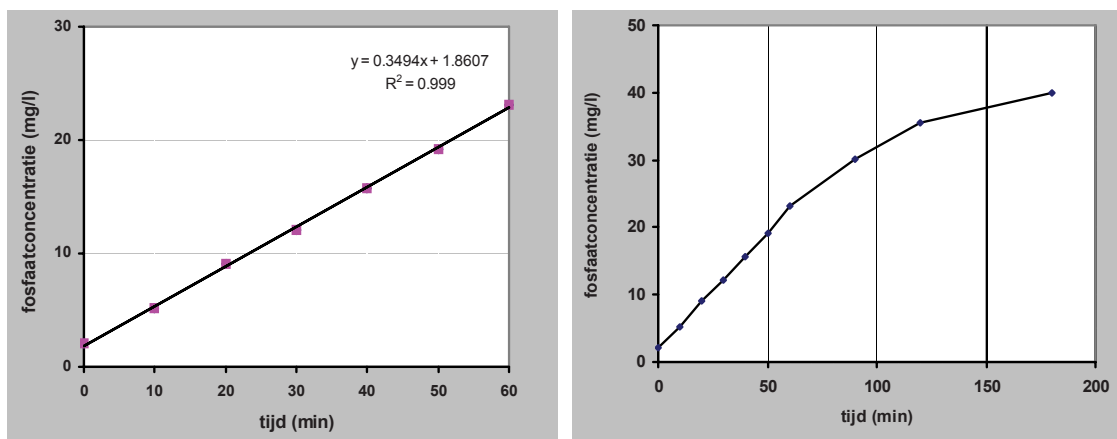
FOSFAATOPNAME EN -AFGIFTE TESTEN

Er zijn verschillende fosfaatopname en -afgifte testen uitgevoerd. Deze worden in de paragrafen beschreven.

FOSFAATAFGIFTE TEST 17 MAART 2008 (MET ACETAAT)

In Afbeelding 1 zijn de resultaten weergegeven van de fosfaatafgifte test van 17 maart 2008. Het slib is genomen uit de facultatieve tank van de MBR en had een droge stof gehalte van 9 g/l. Er is 200 mg acetaat per gram droge stof toegevoegd als makkelijk afbreekbare BZV bron. De nitraat concentratie was lager dan 3,0 mg/l. De behaalde fosfaatafgifte snelheid bedroeg 2,3 mg P/ds uur. Een "normale" afgifte snelheid is 4,5 – 5,0 mg P/g ds.uur. Dit impliceert dat er onvoldoende fosfaat accumulerende bacteriën in het slib aanwezig zijn.

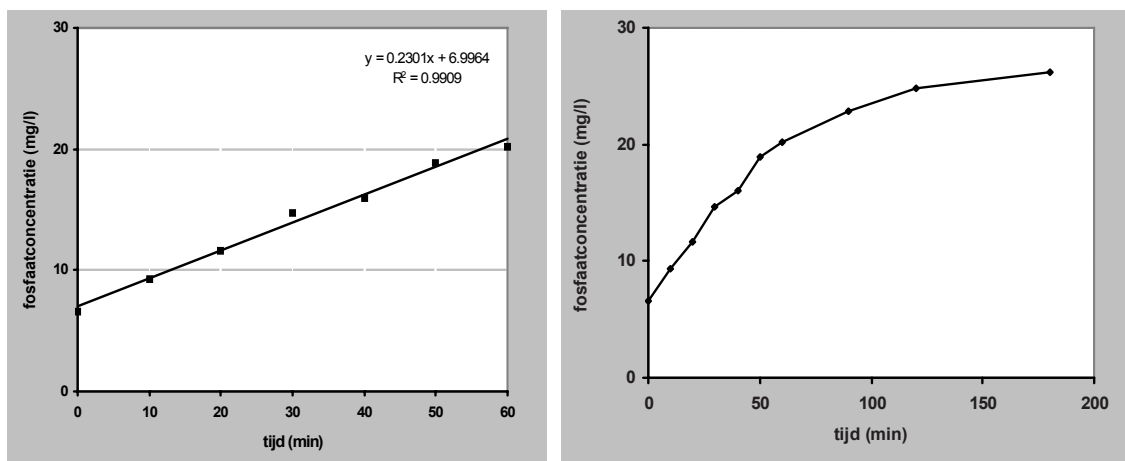
AFBEELDING 1 FOSFAAT CONCENTRATIE FOSFAATAFGIFTE TEST 17 MAART 2008: LINKS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 60 MINUTEN. RECHTS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 180 MINUTEN



FOSFAATAFGIFTE EN -OPNAME TEST 22 APRIL 2008 (MET INFLUENT)

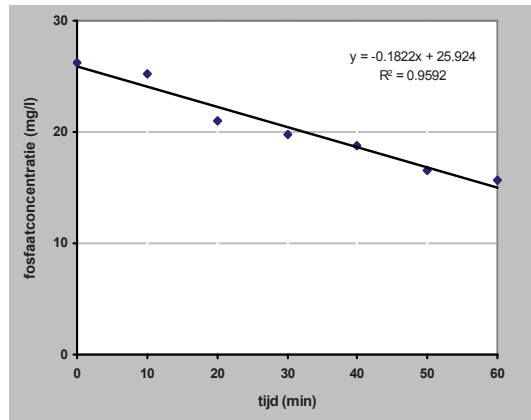
Op 22 april zijn zowel fosfaatafgifte als -opname testen uitgevoerd. Het slib is genomen uit de facultatieve tank van de MBR en had een droge stof gehalte van 13 g/l. De nitraat concentratie in de facultatieve tank was lager dan 3,0 mg/l. Aan 400 ml slibmengsel is 400 ml ruw influent toegevoegd resulterend in een droge stof gehalte van 6,5 g/l. De behaalde fosfaatafgifte snelheid bedroeg 2,1 mg P/g ds/h. Een "normale" afgifte snelheid is 4,5 – 5,0 mg P/g ds.uur. Uit het bovenstaande kon worden geconcludeerd dat fosfaataccumulerende bacteriën wel aanwezig zijn in het slib, echter niet in voldoende mate.

AFBEELDING 2 FOSFAAT CONCENTRATIE FOSFAATAFGIFTE TEST 22 APRIL 2008: LINKS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 60 MINUTEN. RECHTS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 180 MINUTEN



Vervolgens is het monster weer belucht om zodoende de fosfaatopnamesnelheid te kunnen bepalen. In Afbeelding 3 is hiervan de resultaat weergegeven. De fosfaatopname snelheid bedroeg 1,7 mg P/g ds uur.

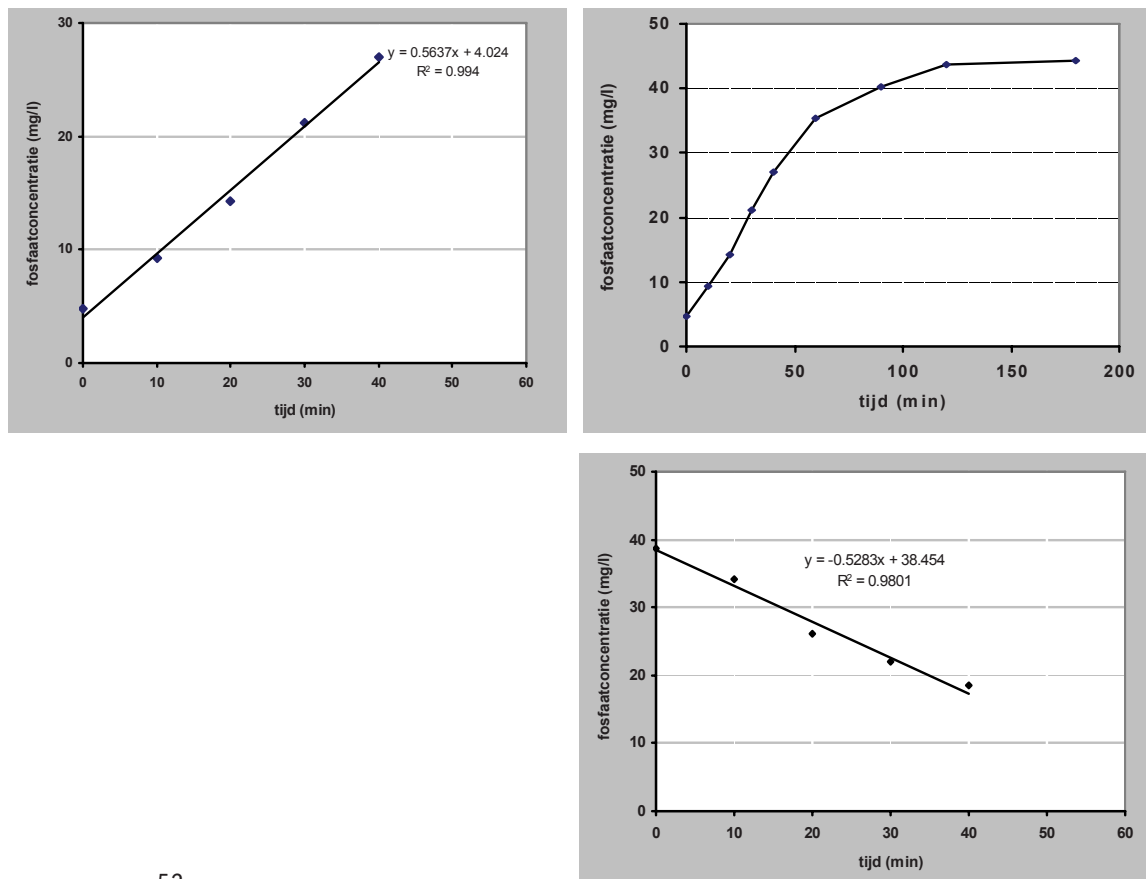
AFBEELDING 3 FOSFAATOPNAMESNELHEID (MG P/G DS UUR); T=0 T/M 60 MINUTEN

**FOSFAATAFGIFTE EN -OPNAME TEST 7 MEI 2008 (MET ACETAAT)**

Op 22 april zijn zowel fosfaatafgifte als -opname testen uitgevoerd. Het slib is genomen uit de facultatieve tank van de MBR en had een droge stof gehalte van 10,3 g/l. De nitraat concentratie in de facultatieve tank bedroeg 2,6 mg/l. Er is 200 mg acetaat per gram droge stof toegevoegd als makkelijk afbreekbare BZV bron. De behaalde fosfaatafgifte snelheid bedraagt 3,3 mg P/ds uur. Een "normale" afgifte snelheid is 4,5 – 5,0 mg P/g ds.uur. Uit het bovenstaande kon worden geconcludeerd dat fosfaataccumulerende bacteriën wel aanwezig zijn in het slib, echter niet in voldoende mate.

Vervolgens is het monster weer belucht om zodoende de fosfaatopname snelheid te kunnen bepalen. In Afbeelding 4 is hiervan de resultaat weergegeven. De fosfaatopname snelheid bedroeg 3,1 mg P/g ds uur.

AFBEELDING 4 FOSFAATAFGIFTE TEST 7 MEI 2008: LINKS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 60 MINUTEN. RECHTS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 180 MINUTEN. LINKS ONDER, AFNAME FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 60 MINUTEN

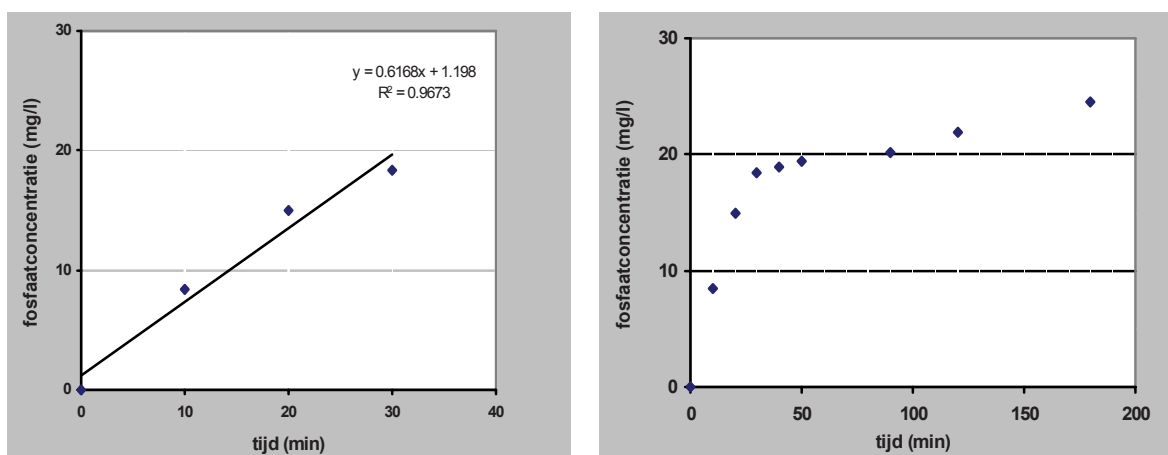


FOSFAATAFGIFTE TEST 9 JULI 2008 (MET INFLUENT)

Op 9 juli is een fosfaatafgifte test uitgevoerd. Het slib is genomen uit de nitrificatie tank van de MBR en had een droge stof gehalte van 14 g/l. De nitraat concentratie in het permeaat van de MBR bedroeg 2,62 mg/l. In de nitrificatie tank zal de nitraat concentratie hoger zijn geweest. Echter, aangezien aan het slibmengsel (400 ml) 400 ml ruw influent is toegevoegd resulterend in een verdunning van 50% wordt aangenomen dat de nitraatconcentratie minder dan 3 mg/l bedroeg.

De behaalde fosfaatafgifte snelheid bedroeg 5,3 mg P/g ds.uur. Een "normale" afgifte snelheid is 4,5 - 5,0 mg P/g ds.uur. Uit het bovenstaande kon worden geconcludeerd dat voldoende fosfaataccumulerende bacteriën wel aanwezig zijn in het slib. De toename van fosfaat accumulerende bacteriën in het slib wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het aanpassen van de ammonium regeling in het omloopsysteem. Door de aanpassing van de ammonium regeling is er sprake van anaërobe omstandigheden in het omloopsysteem.

AFBEELDING 5 FOSFAATAFGIFTE TEST 9 JULI 2008: LINKS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 60 MINUTEN. RECHTS, FOSFAAT CONCENTRATIE (MG/L); T=0 T/M 180 MINUTEN

**CONCLUSIE AFGIFTE- EN OPNAME TESTEN**

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de resultaten van de uitgevoerde fosfaatafgifte- en opname testen.

TABEL 2 RESULTATEN METINGEN FOSFAATAFGIFTE EN -OPNAME

datum	substraatdosering	fosfaatafgifte snelheid (mg P/g ds uur)	fosfaatopname snelheid (mg P/g ds uur)
17/03/2008	acetaat	2,3	-
22/04/2008	ruw influent	2,1	1,7
07/05/2008	acetaat	3,3	3,1
09/07/2008	ruw influent	5,3	-

Uit de eerste drie testen kan worden geconcludeerd dat fosfaataccumulerende bacteriën wel aanwezig zijn in het slib, echter niet in voldoende mate. Uit de test van 9 juli blijkt dat er voldoende fosfaat accumulerende bacteriën aanwezig zijn.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Momenteel vindt spui van surplusslib plaats vanuit het omloopsysteem. Het kan zijn dat dit niet optimaal is, aangezien het slib dan niet de maximale hoeveelheid fosfaat heeft opgenomen. Er kan gekozen worden voor het verplaatsen van de spuislib onttrekking naar de membraantank. Echter, dit zal naar verwachting niet leiden tot het bereiken van de fosfaat streefwaarden daar de beluchtingstijd in de MBR ook beperkt is;

vanwege de afwezigheid van voldoende makkelijk afbreekbaar BZV in seriebedrijf zal naar verwachting langs zuiver biologische P-verwijdering nooit aan de gewenste effluent concentratie van 0,30 mg/l P kunnen worden voldaan. Gekozen kan worden voor het bypassen van een deel van het influent naar de MBR om zodoende voldoende makkelijk afbreekbaar BZV voor fosfaatafgifte in de anaërobe tank te verkrijgen;

op de lange termijn leidt introductie van nitraat in de anaërobe tank tot ingroei van normale denitrificerende bacteriën en geen denitrificerende PAO's. Deze gaan namelijk efficiënter om met het beschikbare CZV en hebben daarom een duidelijk concurrentievoordeel. Ook bij het bypassen van een deel van het influent blijft nitraat in de anaërobe tank. Om ingroei van denitrificeerders zoveel mogelijk te voorkomen moet de beluchting in het omloopsysteem worden geminimaliseerd om zodoende de aanvoer van nitraat naar de anaërobe tank te beperken.

de verblijftijd in de anaërobe tank moet minimaal een uur bedragen. In de huidige situatie bedraagt de verblijftijd in de anaërobe tank minder dan 1 uur; ook op dit punt is de biologische fosfaatverwijdering bij seriebedrijf dus niet optimaal.

om de gewenste fosfaat effluent concentratie te behalen zal ijzer gedoseerd moeten worden. Bij het doseren van ijzer is er mogelijk een relatie met anorganische membraanvervuiling. Dosering van ijzer moet daarom zover mogelijk voor de membraantanks plaatsvinden en in geen geval mag er overgedoseerd worden. De plaats van dosering zal nader moeten worden vastgesteld. Goede opties voor het doseerpunt van ijzer zijn: het overloopwater van de indiker of de sliblagune. Deze stromen bevatten de hoogste concentratie opgelost fosfaat en worden aan het begin van het omloopsysteem weer in de waterlijn ingebracht.

BIJLAGE III

LIJST PRIORITAIRE STOFFEN

Geanalyseerd	Niet ge-analyseerd	Extra gerapporteerd*
alachloor	1,2-dichloorethaan	* niet in alle monsters
atrazine	antraceen	4-trichloorbenzeen
bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP)	benzeen	Abamectine
cadmium	benzo(a)pyreen	Acetamiprid
chloorfenvinos	benzo(k)fluorantheen	Aldicarb
diuron	C10-13 chlooralkanen	Aldicarbulfon
hexachloorbutadieen	chloorpyrifos	BDE 100
isoproturon	dichloormethaan	BDE 138
koper	endosulfan	BDE 153
kwik	fluorantheen	BDE 154
lood	gebromeerde difenylethers	BDE 183
nikkel	hexachloorcyclohexaan	BDE 28
nonylfenolen (4-nonylfenol)	hexachloorbenzeen	BDE 47
octylfenolen (para-tert,-octylfenol)	naftaleen	BDE 49
PCP(pentachloorfenol)	trichloormethaan	BDE 66
pentachloorbenzeen		BDE 71
simazine		BDE 75
tributyltinverbindingen		BDE 85
trichloorbenzeen		BDE 99
trifluralin (triflurantine)		Carbendazim
zink		Carbofuran
		Cyhexatin
extra toegevoegd		Cyromazin
carbendazim		Fenbutatinoxide
primicarb		Imazalil
arseen		Imidacloprid
chrom		Indoxacarb
		Linuron
		Methiocarb
		Methiocarbulfon
		Methiocarbulfoxide
		Methomyl
		Methoxyfenozide
		Metoxuron
		Pentachloorbenzeen
		Pirimicarb
		Propamocarb
		Propoxur
		Pymetrozine
		Spinosad
		Thiacloprid
		Thiametoxam
		Thiofanaat-methyl
		Trifenylin

BIJLAGE IV

GEANALYSEERDE MONSTERS MICRO- VERONTREINIGINGEN EN ZWARE METALEN

Conventioneel effluent	7-4-2006	8-6-2006	14-8-2006	9-10-2006	8-12-2006	7-3-2007	28-3-2007	7-5-2007	30-7-2007	26-9-2007	12-11-2007	22-2-2008	28-4-2008	Gemiddelde
Atrazine	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01 ug/L
Bis(2-ethylhexyl)ftalaat	2,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,33 ug/L
Carbendazim	0,07	0,03	0,09	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02 ug/L
Diuron	0,07	0,06	0,06	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02	0,07	0,07	0,02	0,02	0,02	0,04 ug/L
Imidachloprid	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03 ug/L
Isoproturon	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ug/L
Linuron	0,06	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02 ug/L
Pirimicarb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01 ug/L
Propoxur	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01 ug/L
Trifenylylin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01 ug/L
Permeaat			14-8-2006	9-10-2006	8-12-2006	7-3-2007	28-3-2007	7-5-2007	30-7-2007	26-9-2007	11-12-2007	22-2-2008	28-4-2008	Gemiddelde
Atrazine			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	<1	<1	0,02 ug/L
Bis(2-ethylhexyl)ftalaat			<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1 ug/L
Carbendazim			0,09	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02 ug/L
Diuron			0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03 ug/L
Imidachloprid			0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02 ug/L
Isoproturon			<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01 ug/L
Linuron			0,06	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02 ug/L
Pirimicarb			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02 ug/L
Propoxur			0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01 ug/L
Trifenylylin			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00 ug/L

=RIZA-methode

Conclusie	Conventioneel	Permeaat	%
Atrazine	<0,01 ug/L	0,02 ug/L	-
Bis(2-ethylhexyl)ftalaat	0,33 ug/L	<1 ug/L	+
Carbendazim	0,02 ug/L	0,02 ug/L	13
Diuron	0,04 ug/L	0,03 ug/L	41
Imidachloprid	0,03 ug/L	0,02 ug/L	33
Isoproturon	0,00 ug/L	<0,01 ug/L	+
Linuron	0,02 ug/L	0,02 ug/L	9
Pirimicarb	<0,01 ug/L	0,02 ug/L	-
Propoxur	0,01 ug/L	0,01 ug/L	34
Trifenylylin	<0,01 ug/L	0,00 ug/L	-

Licht negatief effect, niet kwantificeerbaar
Licht positief effect, niet kwantificeerbaar
Licht positief effect, niet kwantificeerbaar
Licht negatief effect, niet kwantificeerbaar
Licht negatief effect, niet kwantificeerbaar

BIJLAGE V

RESULTATEN FE-CEL TESTEN

INLEIDING

In het kader van het onderzoek naar de ontwaterbaarheid van het slib van de hybride MBR Heenvliet zijn proeven uitgevoerd naar het ontwateringsgedrag van het slib met behulp van de filtratie-expressie cel (FE-Cel). Er zijn proeven uitgevoerd op 8 en 22 augustus. In het onderzoek uitgevoerd op 8 augustus is gebruik gemaakt van dertien verschillende poly-electrolyte (PE) oplossingen van drie verschillende leveranciers. In het onderzoek op 22 augustus zijn 6 PE oplossingen gebruikt die in het eerste onderzoek het beste ontwateringsgedrag vertoonden.

SLIBKARAKTERISERING MET DE FILTRATIE EXPRESSIE-CEL

De FE-cel bestaat in hoofdlijnen uit een cilinder waarin een beweegbare zuiger en een poreus filtermedium zijn aangebracht, een balans en een PC. Het slib wordt in de cilinder gebracht en ontwaterd door via de zuiger een mechanische druk op het slib uit te oefenen. De filtraatmassa wordt continu geregistreerd met een balans. De PC is uitgevoerd met een softwarepakket waarmee meetsignalen kunnen worden ingelezen en bewerkt. Het softwarepakket genereert een filtratiecurve (filtraatmassa als functie van de tijd) en een aantal afgeleide ontwateringsparameters (tijdsduur, filtratiefase, de specifieke filtratieweerstand welke een maat is voor de specifieke filtratiesnelheid, het drogestofgehalte als functie van de tijd, en het ontwateringsrendement als functie van de tijd).

Op basis van FE-cel onderzoek kan worden bepaald welk conditioneringsmiddel bij een bepaalde dosering de beste ontwateringsresultaten geeft. De ontwateringskarakteristieken worden hierbij beoordeeld op zowel de filtratie- als expressiefase. Een korte filtratiefase (=lage filtratieweerstand) die leidt tot een relatief hoog drogestofgehalte draagt over het algemeen bij aan een goede centraat kwaliteit. Daarnaast dient het gezamenlijk resultaat van de filtratie- en expressiefase te leiden tot een maximaal drogestofgehalte van de koek. De FE-cel kan worden ingezet om voor een aantal vergelijkbare locaties (type slib, ontwateringsapparatuur en PE) een vergelijkingsbasis te creëren. Op grond van de resultaten kan een indicatie worden verkregen van haalbare drogestofgehalten in de praktijk.

Door de karakteristiek van een slib op verschillende tijdstippen vast te leggen kunnen uitspraken worden gedaan over de mate waarin de ontwaterbaarheid van een slib is veranderd (verandering slibeigenschappen door aanpassing bedrijfsvoering, seizoensinvloeden, verandering van ontwateringsapparatuur of conditioneringsmiddelen).

MATERIALEN EN METHODEN

Het conditioneringonderzoek is uitgevoerd met de FE-cel conform de standaardmethode. Er zijn producten van 3 leveranciers getest bij een standaarddosering van 10 g PE/kg droge stof. In het onderzoek zijn 13 verschillende PE's van 3 verschillende leveranciers getest. De verschillende soorten PE oplossing en het slibmengsel zijn gedurende 10 seconden gemengd bij een mengenergie van 900 s^{-1} en vervolgens 30 seconden bij een mengenergie van $< 200 \text{ s}^{-1}$.

Na afloop van de testen is het droge stof gehalte van het ontwaterde slib bepaald door deze gedurende minimaal 1 uur te verwarmen in een oven bij 103°C.

RESULTATEN

In de onderstaande tabel zijn de resultaten van de onderzoeken op 8 en 22 augustus weergegeven. De tabel geeft de behaalde drogestof gehalten en de specifieke filtratieweerstand van de geconditioneerde slibmonsters weer. Een hoge specifieke filtratieweerstand (dat wil zeggen $>1,0 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$) is een indicatie voor slecht ontwaterbaar slib.

TABEL 2 RESULTATEN SLIBCONDITIONERING MBR SLIB RWZI HEENVLIET BIJ PE DOSERING VAN 10 G/KG DS SLIB

conditioneringmiddel (productnaam)	ingaaende concentratie ds%	eind concentratie ds%		gemiddelde specifieke filtratieweerstand (m^{-1})	
		8 augustus	22 augustus	8 augustus	22 augustus
Kemira SD2081	1,43	26,9	22,8	nd ^{a)}	$2,93 \cdot 10^{11}$
Kemira E4690	1,43	25,7	22,0	$4,09 \cdot 10^{11}$	$2,28 \cdot 10^{11}$
Kemira SD2083	1,43	23,8	22,0	$1,93 \cdot 10^{11}$	$2,72 \cdot 10^{11}$
Nalco CE45027	1,43	23,7	22,9	$4,19 \cdot 10^{11}$	$5,00 \cdot 10^{11}$
Nalco CE45028	1,43	22,6	23,1	$2,20 \cdot 10^{11}$	$4,89 \cdot 10^{11}$
Zetag 7898	1,43	22,2	23,7	$3,97 \cdot 10^{11}$	$4,78 \cdot 10^{11}$
Nalco 45012	1,43	23,1	-	$4,19 \cdot 10^{11}$	-
Nalco CE45025	1,43	21,3	-	$4,06 \cdot 10^{11}$	-
Nalco 45008	1,43	20,6	-	$5,21 \cdot 10^{11}$	-
Nalco CE45011	1,43	19,1	-	$2,98 \cdot 10^{11}$	-
Nalco 71057	1,43	18,5	-	$4,97 \cdot 10^{11}$	-
Nalco 4162	1,43	18,4	-	$1,26 \cdot 10^{12}$	-
Nalco 45009	1,43	17,5	-	$9,81 \cdot 10^{11}$	-

a) het bleek niet mogelijk om de specifieke filtratieweerstand te bepalen.

De specifieke filtratie weerstanden van de monsters zijn voldoende laag om een goede ontwaterkarakteristiek van het geconditioneerde slib te verwachten;

De droge stof concentraties van de producten na ontwatering in het onderzoek van 8 augustus fluctueert tussen de 17,5% en 26,9% droge stof. De droge stof concentraties na ontwatering in het onderzoek van 22 augustus fluctueert tussen de 22,0%-23,7%;

De geringe verschillen in specifieke filtratie weerstanden in de twee onderzoeken laten zien dat de ontwaterbaarheid van het slib niet significant is veranderd tussen 8 en 22 augustus. Opvallend is wel het verschil in droge stof concentraties bij de producten SD2081, SD2083, E4690. Dit kan niet worden verklaard.

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

- Het slib van Heenvliet blijkt over het algemeen goed conditioneerbaar en ontwaterbaar bij een PE dosering van 10 g PE /kg droge stof;
- De specifieke filtratie weerstanden van het slib zijn in beide onderzoeken nagenoeg gelijk;
- Er is verschil in de eind droge stof concentraties tussen de 2 onderzoeken waargenomen. Een verklaring daarvoor kan niet worden gegeven. Echter, in beide onderzoeken was er sprake van goed conditioneerbaar en ontwaterbaar slib;
- Door de karakteristiek van het slib op verschillende tijdstippen vast te leggen kunnen uitspraken worden gedaan over de mate waarin de ontwaterbaarheid van het slib verandert. Daarom wordt voorgesteld om de proef te herhalen in de winter- en voorjaarsperiode.