

ONDERZOEK MBR VARSEVELD

DEELSTUDIE MEMBRANEN

RAPPORT

2006

06

ISBN 90.5773.353.6



stowa@stowa.nl www.stowa.nl  
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66  
Arthur van Schendelstraat 816  
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:  
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,  
TEL 078 623 05 00 FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl  
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.



# DEELSTUDIE MEMBRANEN

## INHOUD

	SAMENVATTING	301
1	INLEIDING	303
2	MEMBRAANINSTALLATIE VARSSEVELD	305
2.1	Inleiding	305
2.2	Beschrijving membraaninstallatie	305
2.3	Installatie en testen	308
2.4	Resultaten in het eerste jaar	311
2.5	Garantiemetingen	312
3	PROCESVOERING	314
3.1	Inleiding	314
3.2	Bedrijfsvoering tijdens paraat-mode	314
3.3	Aansturing permeaatpompen	318
3.4	Membraanlekkages	324

<b>4</b>	<b>CHEMISCHE REINIGING</b>	<b>327</b>
4.1	Inleiding	327
4.2	Reinigingsprocedures	327
4.3	Optimalisatie chemische reiniging	329
4.4	Membraanautopsie	334
<b>5</b>	<b>OPSCHALING</b>	<b>335</b>
5.1	Inleiding	335
5.2	Symmetrie	335
5.3	Filtratiebalans	337
5.4	Distributie CHEMICALIËN	341
5.5	Evaluatie	345
<b>6</b>	<b>EVALUATIE</b>	<b>346</b>
6.1	Inleiding	346
6.2	Ontwerp	346
6.3	Bedrijfsvoering	348
	<b>BIJLAGEN</b>	
1	BEGRIPPENLIJST	351
2	RESULTATEN VAN DE CWP-TESTEN DECEMBER 2004	353
3	PROCESGEGEVENS VAN DE VIER MEMBRAANSTRATEN	355
4	DRUKVERLOOP TIJDENS PARAAATMODE	357
5	PERMEATVERDELING BINNEN DE CASSETTES	358

# SAMENVATTING

De MBR Varsseveld wordt beschouwd als de demonstratie-installatie voor de MBR-technologie in Nederland. De doelstelling van de demonstratie-installatie is om de opschaling van de MBR van pilot-schaal naar praktijkschaal mogelijk te maken. Hierbij is de ontwikkeling en evaluatie van een standaard ontwerp voor de membraanfiltratietank een belangrijk onderdeel. In deze deelstudie "Membranen" is aandacht besteed aan de optimalisatie van de bedrijfsvoering van de installatie en de evaluatie van de symmetrie van de membraantanks.

De installatie, inspectie en het testen van de membranen heeft plaatsgevonden in november en december 2004. Eind december 2004 is de installatie vervolgens in bedrijf genomen. De aanwezigheid van een industrieel polymeer in het afvalwater heeft in de eerste maanden na de opstart de bedrijfsvoering verstoord. Het polymeer veroorzaakte een verkleving van de membranen waardoor in de eerste maanden van 2005 een sterke daling van de permeabiliteit is opgetreden. In april 2005 is op alle membraantanks een intensieve chemische reiniging uitgevoerd. Vanaf begin mei 2005 is de deelstroom met het industrieel polymeer afgekoppeld en wordt deze per as afgevoerd naar een andere RWZI. Na deze beide ingrepen is de permeabiliteit teruggekomen op het oorspronkelijke niveau en zijn dergelijke problemen niet meer opgetreden.

Begin oktober 2005 is een garantietest uitgevoerd. Hierbij hebben de membranen van één van de vier tanks gedurende drie dagen op ontwerpflux (netto 37,5 l/(m<sup>2</sup>.h)) gedraaid. De laatste 8 uur van deze periode is de flux verhoogd tot de maximumflux van 50 l/(m<sup>2</sup>.h). Op basis van de relatief geringe daling van de permeabiliteit is geconcludeerd dat de membranen de gegarandeerde prestaties kunnen leveren. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de procestemperatuur relatief hoog was (21°C).

In het eerste jaar na de opstart van de MBR Varsseveld is veel aandacht uitgegaan naar de optimalisatie van de procesinstellingen van de membraanfiltratie-installatie. De belangrijkste optimalisaties met betrekking tot de procesvoering zijn:

- o *Vermindering membraanbeluchting*  
Zowel tijdens onttrekking (procesmode) als tijdens de rustperiodes (paraatmode) vindt beluchting onder de membranen plaats. Dit is nodig om membraanvervuiling tegen te gaan. Door achtereenvolgens de beluchtingscapaciteit met 20% te verlagen en de beluchtingsfrequentie in paraatmode te verlagen, is het energieverbruik van de membraanbeluchting met ruim 40% gedaald.
- o *Optimalisatie optimumflux*  
De optimumflux is de flux waarop de membraanstraten in procesmode het grootste deel van de tijd draaien. De keuze van de optimumflux bepaalt daarmee voor een belangrijk deel hoeveel membraantanks in proces- en in paraatmode zijn. Hiermee bepaalt de optimumflux voor een belangrijk deel het energieverbruik van de membraanfiltratie-installatie. De optimumflux is door de bedrijfsvoerder een aantal malen aangepast op basis van de werking van de installatie. De werking van de membranen wordt hierbij beoordeeld aan de hand van de permeabiliteitsontwikkeling, zowel op langere als op korte termijn.

De ervaring heeft geleerd dat de optimumflux varieert tussen 15 l/(m<sup>2</sup>.h) in de winter en 25 l/(m<sup>2</sup>.h) in de zomer.

o *Chemische reiniging*

In het eerste jaar van de bedrijfsvoering is de reinigingsprocedure (type chemicaliën, reinigingsfrequentie en dosering) geoptimaliseerd. In het optimalisatietraject zijn de volgende bevindingen gedaan en aanpassingen doorgevoerd:

- De effectiviteit van een maintenance cleaning (MC) is minder goed als deze direct vanuit de paraatmode wordt uitgevoerd, met name in de winter. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van lucht in de permeaatleiding welke waarschijnlijk het gevolg is van ontgassing van het oververzadigde permeaat. De MC wordt daarom alleen nog uitgevoerd nadat ontluchting van de permeaatleiding heeft plaatsgevonden.
- Bij een MC in een volledig lege tank wordt met name het onderste deel van de membranen gereinigd. De MC's worden daarom afwisselend uitgevoerd bij verschillende vulniveaus van de membraantank.
- Nadat de ijzerzoutdosering in de beluchtingstank is geïntensiveerd blijkt de anorganische vervuiling van de membranen te zijn toegenomen. De chemicaliëndosering is hierop aangepast, waarbij de duur van zuurdosering is verlengd. Aangezien de duur van de zuur- en hypochlorietdosering niet kunnen worden losgekoppeld is ook de hypochlorietdosering verhoogd. Medio 2006 zal de besturingssoftware zodanig worden aangepast dat de procesinstellingen van beide chemicaliën onafhankelijk van elkaar worden ingesteld.

De MBR Varsseveld is de eerste grootschalige MBR-installatie van Nederland. De ervaring met MBR was tot nu toe gebaseerd op onderzoek met pilot-installaties met een capaciteit van 2 tot 20 m<sup>3</sup>/h. De capaciteit van de MBR Varsseveld is circa 40 maal groter dan die van de grootste pilot-installatie. De membraantank zoals die in Varsseveld is gebouwd staat model voor de standaard membraantank voor grootschalige MBR toepassingen. Bij het ontwerp van deze tank is de symmetrie van het systeem als uitgangspunt gehanteerd. Dit betekent dat zowel de toevoer als de afvoer van het actiefslib gelijkmatig over de gehele membraantank dient plaats te vinden. Een gevolg van deze gelijkmatige toe- en afvoer is dat de omstandigheden voor alle membraancassettes in een tank gelijk zijn. Dit zou weer tot gevolg moeten hebben dat de flux en de permeabiliteit van deze cassettes gelijk is.

Om de symmetrie van de membraantank te onderzoeken zijn metingen uitgevoerd aan de filtratiebalans en de chemicaliëndistributie. Bij het vaststellen van de filtratiebalans zijn de verschillen in de werking van de verschillende membraancassettes onderzocht. Dit is vlak na de installatie van de membranen in schoonwater, en na 10 maanden bedrijf in actiefslib, uitgevoerd. De overeenkomsten tussen de metingen van beide meetsessies zijn opvallend. De permeabiliteit per cassette blijkt met name gerelateerd te zijn aan de schoonwaterpermeabiliteit zoals tijdens de installatiefase is gemeten, oftewel aan de productiekwaliteit van de membranen. Een jaar procesvoering hebben de verschillen tussen de cassettes niet wezenlijk beïnvloed.

De verdeling van de chemicaliën tijdens terugspoeling, tussen de cassettes binnen een tank, lijkt met name te worden beïnvloed door de permeabiliteit van de betreffende cassettes. Binnen een cassette blijkt de verdeling niet geheel evenredig te zijn, via het middelste deel van de cassette wordt meer teruggespoeld dan via de zijkanten.

# 1

## INLEIDING

De MBR Varsseveld wordt beschouwd als de demonstratie-installatie voor de MBR-technologie in Nederland. Aan de opstart en het eerste jaar van de bedrijfsvoering is daarom een uitgebreid onderzoeksprogramma gekoppeld. Dit onderzoeksprogramma is tot stand gekomen in overleg met alle betrokken partijen; het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ), de STOWA, DHV en de leden van de begeleidingscommissie. Het programma bestaat uit acht deelstudies. De resultaten van de verschillende deelstudies zijn in twee STOWA-rapporten opgenomen. Een overzicht van de verschillende deelstudies en van de indeling van de rapporten is weergegeven in Afbeelding 1.

AFBEELDING 1 INDELING VAN DE STOWA RAPPORTEN

Rapport 1 - Hoofdrapport	Presentatie en evaluatie van alle onderzoeksactiviteiten
	Deelstudie Bedrijfsvoering en effluentkwaliteit
Rapport 2 - Deelstudierapport	Deelstudie Voorbehandeling
	Deelstudie Verwijdering bijzondere stoffen
	Deelstudie OC en Hydraulica
	Deelstudie Slibkwaliteit versus filtreerbaarheid
	Deelstudie SIMBA-modellering
	<b>Deelstudie Membranen</b>
	Deelstudie Simulatie-Unit

Enkele van de belangrijkste doelstellingen van het onderzoeksprogramma zijn het aantonen van de technische haalbaarheid van de opschaling van de MBR en de ontwikkeling van een standaard ontwerp voor de membraanfiltratietank. Dit zijn aspecten die met name in deze deelstudie “Membranen” zijn onderzocht. Het vergroten van de schaalgrootte van de installatie heeft grote invloed op het hydraulisch functioneren van de membraanfiltratie-installatie. Met name de gelijkmatig verdeling van de toe- en afvoer van het slib over de gehele tank en de gelijkmatige distributie van de reinigingschemicaliën over de verschillende membraancassettes binnen een tank, zijn hierbij van groot belang.

Ook de procesvoering van de membraaninstallatie is afhankelijk van de schaalgrootte. Niet alleen de grootte van de membraantanks en het aantal membraancassettes per tank is hierbij van belang, maar ook de lengte van de leidingen, de ontwerpflux, etc. De optimalisatie van de procesinstellingen is daarom een belangrijk aandachtspunt in dit onderzoek. Deze optimalisaties kunnen grote consequenties hebben op b.v. het energieverbruik en de werking van de membraaninstallatie. Een evaluatie van al deze procesvoeringsaspecten in relatie tot de membraanwerking is daarom belangrijk, en verschaft veel kennis en inzicht die kan worden toegepast bij het ontwerp van toekomstige installaties.

In hoofdstuk 2 van dit rapport is allereerst een overzicht gegeven van de membraaninstallatie van de rwzi Varsseveld. Hierbij wordt ingegaan op het ontwerp, de inbedrijfname en de resultaten van de installatie. De informatie in dit hoofdstuk dient als basis voor de rest van deze deelstudie.

De optimalisatie van de procesvoering van de membraaninstallatie is beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt apart aangedacht geschonken aan de optimalisatie van de chemische reiniging.

De onderzoeken naar de opschalingseffecten en de symmetrie van de membraaninstallatie zijn gepresenteerd in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn de resultaten van deze deelstudie in een breder perspectief geplaatst en zijn enkele aspecten met betrekking tot het procesontwerp en de procesvoering nader toegelicht.

In bijlage 1 is een verklarende woordenlijst opgenomen.

AFBEELDING 2 OVERZICHTSFOTO VAN DE MEMBRAANINSTALLATIE IN VARSSEVELD





# 2

## MEMBRAANINSTALLATIE VARSSEVELD

### 2.1 INLEIDING

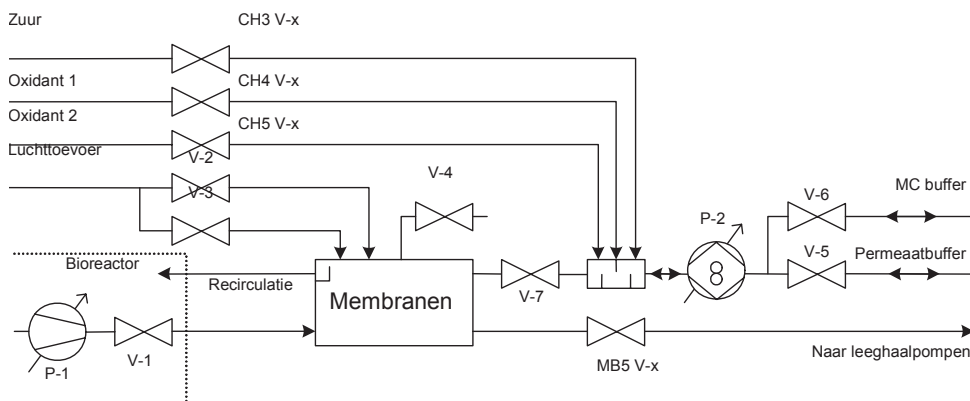
De MBR Varsseveld is in december 2004 in bedrijf genomen door het Waterschap Rijn en IJssel. In het eerste jaar van de bedrijfsvoering is veel aandacht besteed aan de optimalisatie van de procesvoering van de membranen. De resultaten hiervan worden in dit rapport beschreven. Voor een goed begrip van de resultaten is een introductie in de membraaninstallatie van Varsseveld noodzakelijk. In dit hoofdstuk is daarom allereerst het ontwerp (§2.2), de opstart (§2.3) en de werking (§2.4) van de membraaninstallatie van Varsseveld uiteengezet. In §2.5 zijn de resultaten van de garantiemetingen gepresenteerd.

### 2.2 BESCHRIJVING MEMBRAANINSTALLATIE

#### 2.2.1 PROCESBESCHRIJVING

De beschrijving van de membraaninstallatie vindt plaats op basis van het schema in Afbeelding 3. Hierin zijn de belangrijkste onderdelen schematisch weergegeven.

AFBEELDING 3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE MEMBRAANINSTALLATIE



De biomassa (slibwatermengsel uit de bioreactor) wordt door de biomassatoevoerpomp (P-1) naar de membraantank gepompt en via een slibdistributie systeem uniform over de tank verspreid. In de membraantank stort de ingedikte biomassa over in een overstortgoot en wordt teruggevoerd naar de beluchtingstank.

De membraanunits zijn volledig ondergedompeld in de biomassa en zijn door twee flexibele leidingen (met aansluitingen aan de onder- en bovenkant van de membraanunit) aan een gemeenschappelijke permeaatheder verbonden. De permeaatpomp (P-2) onttrekt het permeaat via de permeaatleiding, en pompt dit naar de gemeenschappelijke permeaatbuffer en maintenance clean buffer.

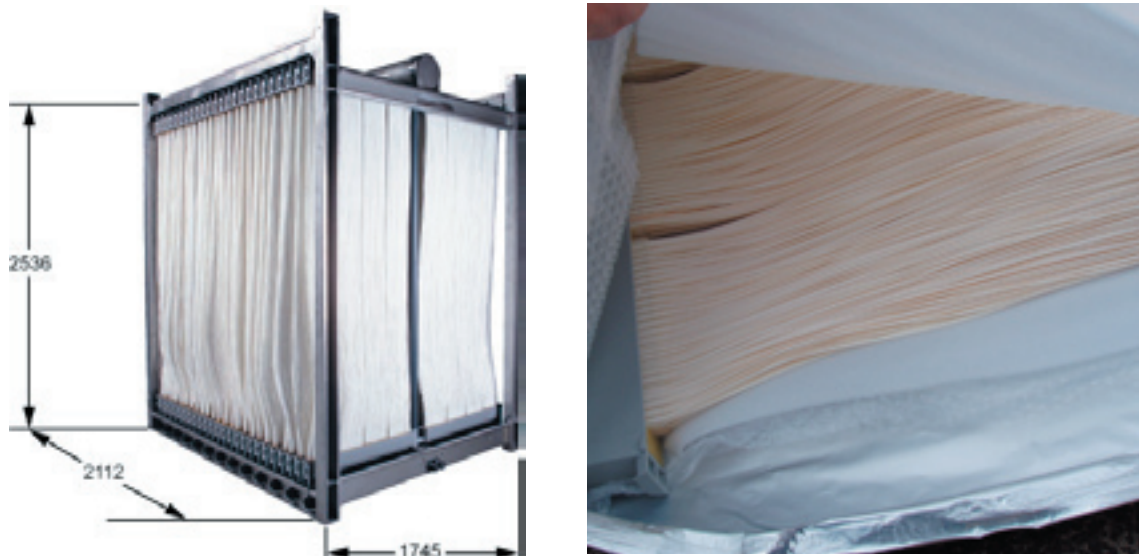
Om de werking van de membranen optimaal te houden is elke cassette aan de onderzijde voorzien van een flexibele luchtaansluiting met daaraan gekoppeld een grove bellenbeluchter die door de beluchtingsblowers voorzien wordt van lucht. Deze grove bellen zorgen voor verversing van het slib tussen de membranen en turbulentie rondom de membranen.

Om de membranen schoon te houden, worden deze periodiek teruggespoeld door een deel van het permeaat in de membranen terug te pompen met behulp van permeaatpomp (P-2) en zo stroming in omgekeerde richting te forceren en eventuele vervuilde lagen van de oppervlakte van de membranen te verwijderen.

Daarnaast hebben de membranen van tijd tot tijd een herstellende (chemische) reiniging nodig. Dit wordt gedaan door de filtratietanks (gedeeltelijk) leeg te pompen met de leeghaalpompen en vervolgens met behulp van de permeaatpomp vanuit de permeaat- of maintenance clean buffer een chemische oplossing terug te spoelen. Hiervoor kunnen op Varsseveld verschillende chemicaliën worden gebruikt, namelijk: citroenzuur, natriumhydroxide, waterstofperoxide en/of natriumhypocloriet.

De membranen van de rwzi Varsseveld zijn geleverd door de firma Zenon en van het type ZW500d (zie Afbeelding 4). Het betreft verticaal geplaatste capillaire membranen met een poriegrootte van 0,035  $\mu\text{m}$ .

AFBEELDING 4 ZENON ZW500D MEMBRANEN



De membraanunit bestaat uit vier onafhankelijk straten (tanks) met ZW500d cassettes. Elke cassette bevat 40 elementen van 31,5 m<sup>2</sup> elk, en kan worden uitgebreid tot 48 elementen. Elke tank heeft ruimte voor 5 ZW500d cassettes, maar er zijn slechts 4 cassettes per tank geïnstalleerd. Zowel door het bijplaatsen van elementen in de cassettes als door het bijplaatsen van een cassette kan indien nodig de filtratiecapaciteit op eenvoudige wijze worden uitgebreid.

### 2.2.2 DIMENSIES

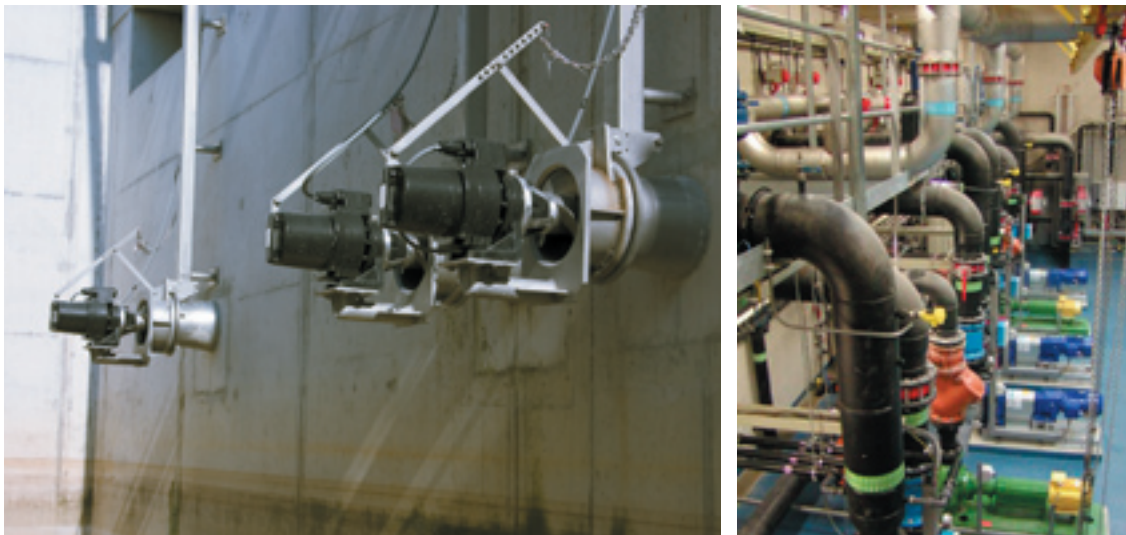
De belangrijkste dimensies van de membraaninstallatie van Varsseveld zijn weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1 DIMENSIES VAN DE MEMBRAANINSTALLATIE VAN RWZI VARSSEVELD

Procesonderdeel	Parameter	Eenheid	Waarde
Membranen	Type	-	Zenon ZW500d
	Ontwerpflux	l/(m <sup>2</sup> .h)	37,5
	Oppervlak totaal	m <sup>2</sup>	20.160
	Aantal cassettes	-	16
	Aantal elementen per cassette	-	40
Membraantanks	Aantal tanks	-	4
	Volume elk	m <sup>3</sup>	170
	Aantal cassettes per tank	-	4
Membraantoevoerpompen	Aantal pompen	-	4
	Capaciteit elk	m <sup>3</sup> /h	400 - 800
Permeaatpompen	Aantal pompen	-	4
	Capaciteit elk	m <sup>3</sup> /h	50 - 300
Membraanbeluchting	Capaciteit totaal	Nm <sup>3</sup> /h	9.000
	Diepte beluchtingsbuizen	m	2,8

Foto's van de membraantoevoerpompen en permeaatpompen zijn opgenomen in Afbeelding 5. Afbeeldingen van de andere belangrijke procesonderdelen zijn opgenomen in Afbeelding 4 en Afbeelding 6 (membranen) en in Afbeelding 23 (de toevoerleiding en afvoergoot van de membraantanks).

AFBEELDING 5 DE MEMBRAANTOEVOERPOMPEN (LINKS) EN DE PERMEATPOMPEN (RECHTS)



### 2.2.3 PROCESMODE EN PARAAATMODE

De MBR Varsseveld heeft vier membraanstraten die elk maximaal 250 m<sup>3</sup>/h kunnen verwerken. Indien één membraanstraat uit bedrijf is kunnen de andere drie tanks de ontwerpcapaciteit van 755 m<sup>3</sup>/h aan. De gemiddelde aanvoer van de rwzi Varsseveld is circa 175 m<sup>3</sup>/h en varieert over een dag van 0 tot 350 m<sup>3</sup>/h (zie Afbeelding 12 in §3.3).

Indien de aanvoer van de rwzi groter is dan 300 - 400 m<sup>3</sup>/h zijn alle membraantanks in bedrijf. De membraantanks die in bedrijf zijn en permeaat produceren bevinden zich in de zogenaamde *procesmode*. Op een droge dag zullen echter gemiddeld slechts circa twee van de vier membraantanks in bedrijf zijn. De andere twee membraantanks zijn niet actief en verkeren in de zogenaamde *paraatmode*. In deze toestand wordt geen permeaat onttrokken maar vindt wel slibrecirculatie en beluchting plaats.

De instellingen van de verschillende procesonderdelen in proces- en paraatmode zijn weergegeven in Tabel 2.

TABEL 2 PROCESINSTELLINGEN IN PROCES- EN PARAAATMODE

Procesonderdeel	Procesmode	Paraatmode
Membraantoevoerpomp	Minimum – Maximum	Minimum
Membraanbeluchting	Continu (intermitterend)	Discontinuu (intermitterend)
Permeaatpomp	Minimum – Maximum	Uit

Indien niet alle membraantanks in procesmode zijn worden de membraantanks die in bedrijf zijn afgewisseld. Indien dan een membraantank gedurende een bepaalde tijd in procesmode is (in de praktijk is dit ingesteld op 4 uur) gaat deze in paraatmode en schakelt een andere membraantank in procesmode.

## 2.3 INSTALLATIE EN TESTEN

### 2.3.1 INLEIDING

De installatie van de membranen heeft in december 2004 plaatsgevonden onder verantwoordelijkheid van de membraanleverancier Zenon. Hierbij heeft inspectie plaatsgevonden van alle belangrijke onderdelen, zoals de membraanbeluchting en het waterpas installeren van alle cassettes, maar ook de juiste aansluiting van koppelingen, leidingen, kleppen en fittingen. In §2.3.2 zijn de belangrijkste testen beschreven.

Na het testprogramma zijn de membranen geïnstalleerd en is de kwaliteit van de membraaninstallatie beproefd door middel van integriteitstesten (§2.3.3). Als laatste is de werking van de nieuwe membranen in schoon water getest door middel van de Clean Water Permeabiliteit (CWP) test. De CWP is een algemeen toegepaste methode om de uitgangssituatie van de membranen vast te stellen, en is onmisbaar voor de beoordeling van de werking en vervuiling van de membranen onder praktijkcondities.

Na afloop van alle testen is de installatie in week 51 van 2004 in bedrijf gesteld.

### 2.3.2 DROGE EN NATTE TESTEN

In week 47 van 2004 zijn de droge functionele testen zonder membranen uitgevoerd. Hierbij zijn alle membraangerelateerde onderdelen droog getest. Dit betreft de leeghaalpompen, de blowers, de toevoerpompen, de permeaatpompen, de ontluuchting, de afsluiters, de chemica liëndoseerinstallaties en de meetsensoren (troebelheid, permeaatdebiet, druk, luchtdebiet, niveau, drogestof, temperatuur).

De natte functionele testen zonder membranen zijn in week 48 van 2004 uitgevoerd. Het doel hiervan was het controleren van de volledige functionaliteit van de membraaninstallatie. Daarnaast is in deze fase de werking van de software getest. Voor het uitvoeren van deze

testen waren de permeaat- en MC-buffer met drinkwater gevuld. De membraantanks waren met water uit de beluchtingstank (grondwater) gevuld. De vier membraanstraten zijn vervolgens individueel getest en gekeurd.

Om de werking van de software te kunnen testen is in membraantank 1 en 2 een test uitgevoerd waarbij de weerstand van de membranen is gesimuleerd door drie van membraankleppen dicht te zetten en er één te knijpen. In deze toestand is vervolgens een aantal testen uitgevoerd, waarbij o.a. de niveausturing van de membraanstraten en de membraanbeluchting in paraat- en procesmode is getest.

De membranen zijn in week 49 van 2004 geplaatst (zie Afbeelding 6). In week 50 zijn vervolgens de functionele testen nat met membranen uitgevoerd. Hiertoe is de eerste membraantank gevuld met grondwater en de overige membraantanks met permeaat van de eerste membraantank. De buffertanks zijn gevuld met drinkwater. In deze toestand zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- de membraanbeluchting is visueel getest;
- het waterpas staan van alle membraancassettes is gecontroleerd;
- de glycerine (conserveringsmiddel voor de membranen) is van de membranen gespoeld.

### 2.3.3 INTEGRITEITSTESTEN

Na de installatie van de membranen is de kwaliteit van de membranen vastgesteld door middel van de zogenaamde membraan-integriteitstesten. Met behulp van deze testen kunnen lekkages in de membranen maar ook in de leidingen en aansluitingen van de permeaatafvoer worden vastgesteld. De integriteitstesten ("bubbletesten") zijn uitgevoerd in de met drinkwater gevulde membraantanks, waarbij het waterniveau tot circa 10 centimeter boven de permeaatheder stond. Met behulp van een persluchtcompressor is de permeaatheder op druk (ca. 30 kPa) gebracht. Door vervolgens één voor één langzaam de handbediende afsluiters van de membraancassettes te openen is de druk op de verschillende cassettes aangebracht. Op de plaatsen waar lekkages optreden, zijn grotere of onregelmatige luchtbellens zichtbaar. De kleinere lekkages verstopten gedurende de normale bedrijfsvoering en hoeven daarom niet te worden gerepareerd. De grotere lekkages zijn door Zenon gerepareerd. Dit betrof enkele lekkages in permeaatafvoerslangen en leidingen. In straat 4 werd in één van de cassettes een scheur in de permeaatleiding gevonden, welke is vervangen. In straat 3 werd in één cassette een element met ca. 20-30 kapotte membranen gevonden. Deze membranen zijn uit het element verwijderd.

AFBEELDING 6 DE INSTALLATIE VAN DE MEMBRAANCASSETTES

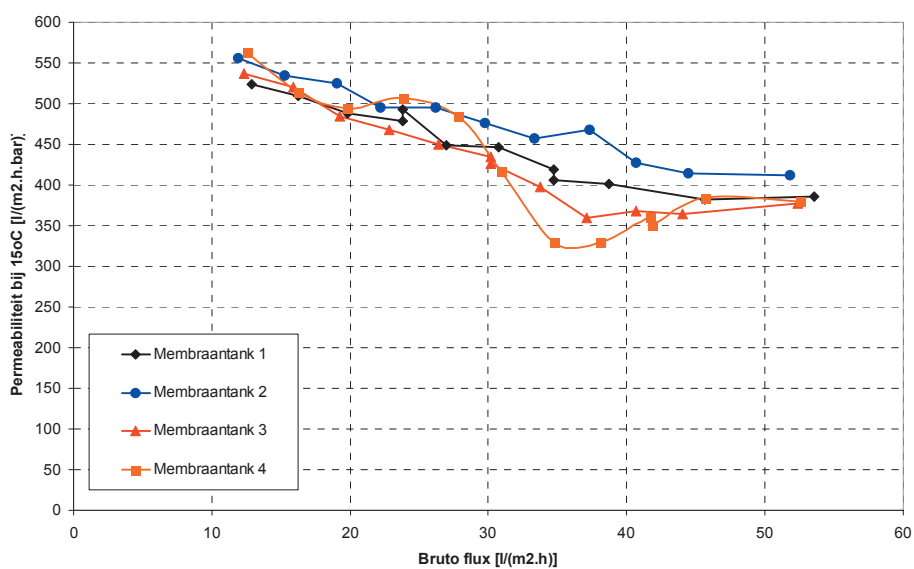


### 2.3.4 CLEAN WATER PERMEABILITEIT (CWP)

In week 51 van 2004 zijn vervolgens de CWP testen uitgevoerd. Aangezien de membranen nog gevuld waren met glycerine oplossing zijn de membranen gespoeld. Nadat de oplossing was uitgespoeld is de CWP test per tank en per cassette uitgevoerd. De watertemperatuur tijdens de CWP testen was 9-10°C. De resultaten van de vier membraantanks zijn weergegeven in Afbeelding 7. De resultaten per membraantank zijn in separate grafieken weergegeven in bijlage 2. De resultaten van de metingen per cassette zijn in hoofdstuk 5 beschreven. Op basis van de resultaten is geconstateerd dat de membranen aan de specificaties voldoen.

AFBEELDING 7

CWP-GRAFIEKEN VAN DE VIER MEMBRAANSTRATEN IN DECEMBER 2004



Uit de resultaten van de CWP-testen blijkt dat het verloop van de CWP-curve per membraan-tank aanzienlijk kan verschillen. Hierbij valt met name membraanstraat 4 op, waarbij de CWP toeneemt bij hogere fluxen. Een mogelijke oorzaak hiervan kan zijn dat er tijdens een aantal metingen lucht in de permeaatleiding heeft gezeten.

Membraantank 1 en 2 vertonen een CWP-curve die karakteristiek is voor deze membranen. De CWP bij een lage flux ligt rond de 500-600 l/(m<sup>2</sup>.h.bar) en neemt bij hogere flux af tot ca. 400 l/(m<sup>2</sup>.h.bar). Aangezien de membranen volledig schoon zijn is de gemeten weerstand voor een groot deel het gevolg van het transport in de membranen, en een klein deel van de weerstand over het membraan.

## 2.4 RESULTATEN IN HET EERSTE JAAR

Het eerste jaar van de bedrijfsvoering van de rwzi Varsseveld heeft in het teken gestaan van de optimalisatie van de procesinstellingen. Deze optimalisaties worden in hoofdstuk 3 nader toegelicht. De belangrijkste wijzigingen in de bedrijfsvoering zijn weergegeven in Tabel 3.

TABEL 3 BELANGRIJKSTE WIJZIGINGEN IN DE BEDRIJFSVOERING VAN DE MEMBRAANSTRATEN

Datum	Permeaatpompen		Membraanbeluchting			Toevoerpompen
	optimumflux	rendement	Capaciteit	Principe	Pauzetijd	Capaciteit
	l/(m <sup>2</sup> .h)	[%]	[Nm <sup>3</sup> /h]	[-]	[min.]	[m <sup>3</sup> /h]
20 december 2004	20	78 – 80	9.000	Air Cycle	0	400 – 800 <sup>#</sup>
29 maart 2005	15	78 – 80	9.000	Air Cycle	0	400 – 800
19 mei 2005	15	78 – 80	9.000	Sequentieel	0	400 – 800
01 juni 2005	20	78 – 80	7.500	Sequentieel	0	400 – 800
17 juni 2005	20	78 – 80	7.500	Sequentieel	5	400 – 800
24 juni 2005	20	78 – 80	7.500	Sequentieel	20	400 – 800
06 juli 2005	20	78 – 80	7.500	Sequentieel	60	400 – 800
22 juli 2005	25	78 – 80	7.500	Sequentieel	60	400 – 800
23 augustus 2005	25	78 – 80	7.500	Sequentieel	60	800
13 december 2005	20	78 – 80	7.500	Sequentieel	60	800
19 januari 2006	20	84 - 85	7.500	Sequentieel	60	800

# Regeling op basis van het influentdebit

De belangrijkste belastinggegevens van de vier membraanstraten zijn weergegeven in Tabel 4. Hieruit blijkt dat gemiddeld 45% van de membranen in bedrijf is. De belasting van de vier straten is nagenoeg gelijk. Membraanstraat 3 heeft meer water verwerkt dan de andere straten doordat deze straat is gebruikt voor de garantiemetingen.

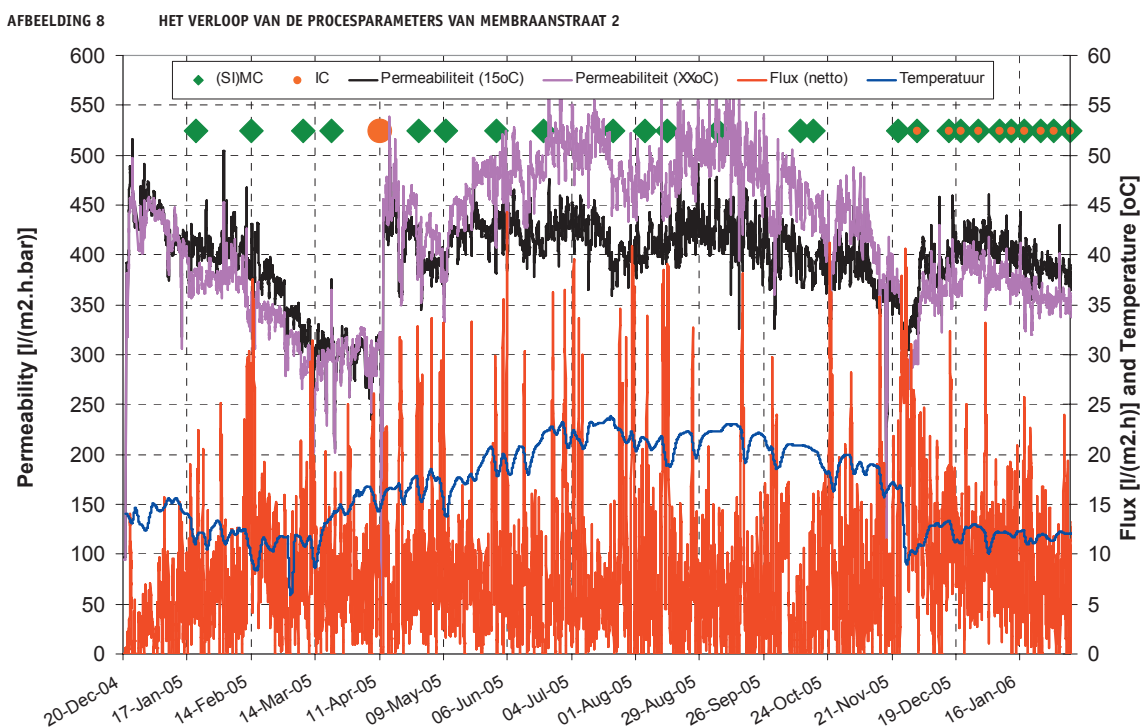
TABEL 4 BELANGRIJKSTE PROCESGEGEVENS VAN DE VIER MEMBRAANSTRATEN IN HET JAAR 2005

Parameter	Eenheid	MT1	MT2	MT3	MT4	Totaal
Debiet totaal	m <sup>3</sup>	383.954	390.224	403.547	381.946	1.559.672
Debiet gemiddeld	m <sup>3</sup> /d	1.052	1.069	1.106	1.047	4.273
Flux gemiddeld	l/(m <sup>2</sup> .h)	8,7	8,8	9,1	8,7	8,8
Debiet specifiek	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	76	77	80	76	77
Tijd in procesmode	%	46	45	45	44	45

Het verloop van flux, permeabiliteit en temperatuur van membraanstraat 2 is weergegeven in Afbeelding 8. Ook de reinigingsprocedures zijn weergegeven (de maintenance cleanings zijn de groene ruiten en de intensieve cleaning is een oranje bol, een groene ruit met een oranje stip staat voor een maintenance cleaning met een verhoogd chemicaliënverbruik). De grafieken van alle membraantanks zijn opgenomen in bijlage 3.

Een opvallende periode betreft de maanden februari en maart in 2005. In deze periode, vlak na de opstart van de MBR Varsseveld, daalt de permeabiliteit relatief snel. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van een industrieel polymeer in het afvalwater, welke verkleving van de membranen veroorzaakte. Na een intensieve reiniging van de membranen in april 2005 (oranje cirkel in Afbeelding 8) en het separaat afvoeren van de polymeer bevattende deelstroom, is de permeabiliteit gestegen tot het beginniveau. Sindsdien is de permeabiliteit relatief stabiel tussen 350 - 450 l/(m<sup>2</sup>.h.bar) gebleven.

Vanaf de herfst van 2005 is de frequentie van reiniging toegenomen van 2-wekelijks naar wekelijks. De achtergronden hiervan zijn in hoofdstuk 4 beschreven.



## 2.5 GARANTIEMETINGEN

Het ontwerp van de MBR Varsseveld is gebaseerd op de ervaringen uit het Beverwijk onderzoek over een periode van ruim 4 jaar, en op praktijkervaringen elders. In vergelijking met de ontwerpuitgangspunten in andere landen is de gehanteerde maximale ontwerpflux echter relatief hoog. Dit is een gevolg van de positieve ervaringen in Beverwijk, waar met een goede slibkwaliteit hoge fluxen konden worden gehaald. Anderzijds is deze ontwerpfilosofie ook gerelateerd aan de typisch Nederlandse aanvoersituatie, waarbij de verschillen tussen RWA en DWA hoog zijn, en de duur van een RWA langdurig kan zijn. De maximaal bereikte flux tijdens RWA is daardoor relatief hoog, terwijl de gemiddelde flux van de installatie vergelijkbaar is met andere installaties.



De ontwerpuitgangspunten van MBR Varsseveld met betrekking tot de flux zijn weergegeven in Tabel 5.

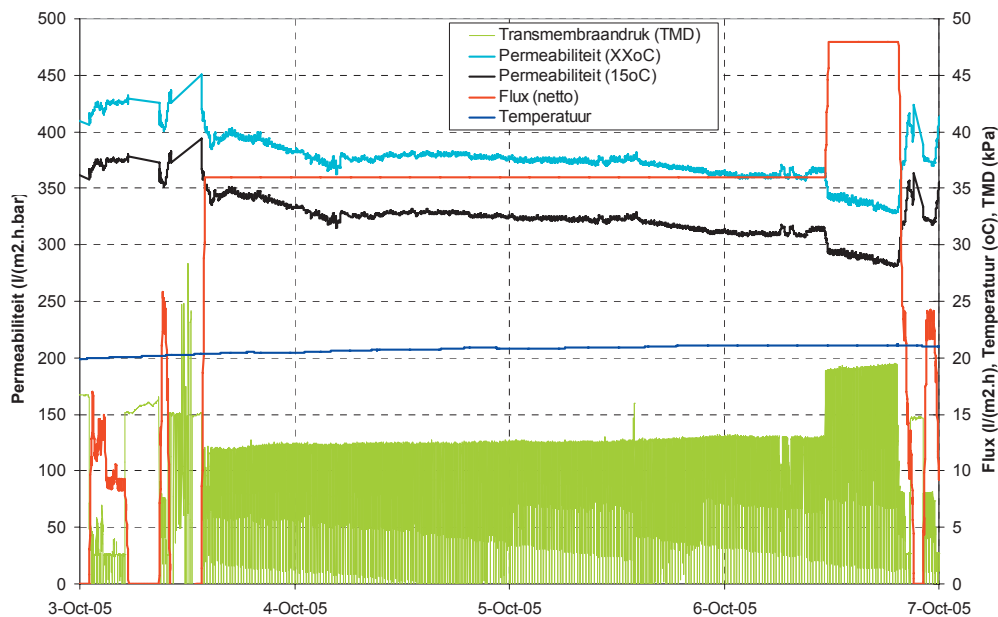
De netto-ontwerpflux is 37,5 l/(m<sup>2</sup>.h) bij een RWA van maximaal 3 dagen. In het geval één van de vier membraanstraten uit bedrijf is, dient de installatie bij een maximale netto-flux van 50 l/(m<sup>2</sup>.h) gedurende 8 uur te kunnen functioneren.

TABEL 5 DE ONTWERPFLUXEN EN DEBIETEN VAN DE MBR VARSSEVELD

Belasting	Flux (netto)	Periode (maximaal)	Debiet per straat
	[l/(m <sup>2</sup> .h)]	[uren]	[m <sup>3</sup> /h]
Minimum	10	-	50
Optimum	20	-	100
Ontwerp (RWA)	37,5	72	190
Maximum	50	8	250

Ten behoeve van de garantiestelling van de membraanleverancier zijn deze ontwerpuitgangspunten getest. Deze garantietest is begin oktober 2005 uitgevoerd in membraantank 3, de membraantank die in het algemeen de laagste permeabiliteit heeft. De resultaten van deze garantiemeting zijn weergegeven in Afbeelding 9.

AFBEELDING 9 DE RESULTATEN VAN DE GARANTIETEST (MEMBRAANSTRAAT 3)



Hoewel de netto flux niet geheel op het gewenste niveau is geweest, kan uit het resultaat van de test worden geconcludeerd dat de membranen in staat zijn de ontwerpfluxen gedurende de vereiste tijd te verwerken. De permeabiliteit daalde van ca. 360 l/(m<sup>2</sup>.h.bar) bij optimum flux tot ca. 310 l/(m<sup>2</sup>.h.bar) na bijna 3 dagen ontwerpflux. De 8 uur maximale flux had een verdere daling tot ca. 280 l/(m<sup>2</sup>.h.bar) tot gevolg. Na de garantietest is de permeabiliteit bij optimumflux weer opgelopen tot 330 l/(m<sup>2</sup>.h.bar). Na de volgende maintenance cleaning op 18 oktober is de permeabiliteit weer hersteld tot het niveau van vóór de garantiemetingen. Op basis van deze resultaten is geconcludeerd dat de membranen de gegarandeerde prestaties kunnen leveren. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de proces temperatuur relatief hoog was (21°C).

# 3

## PROCESVOERING

### 3.1 INLEIDING

Gedurende de gehele onderzoeksperiode is aandacht besteed aan de optimalisatie van de procesvoering van de membraanfiltratie-installatie. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de belangrijkste optimalisaties beschreven. In §3.2 is de optimalisatie van de bedrijfsvoering tijdens paraatmode beschreven. Een tweede aspect wat in het kader van deze deelstudie is ge-optimaliseerd is de aansturing van de permeaatpompen (§3.3). In §3.4 is beschreven op welke wijze de membraanintegriteit wordt bewaakt en welke problemen hiermee in Varsseveld zijn geweest. De optimalisatie van de chemische reiniging is apart in hoofdstuk 4 beschreven.

### 3.2 BEDRIJFSVOERING TIJDENS PARAAAT-MODE

#### 3.2.1 INLEIDING

Tijdens DWA omstandigheden zijn gemiddeld 1 tot 2 membraantanks in bedrijf. Dit betekent dat 2 tot 3 membraantanks gedurende langere tijd uit bedrijf zijn, oftewel in paraat-mode staan. De besturing zorgt er voor dat membraantanks afwisselend in paraat-mode zijn. Tijdens paraat-mode vindt geen permeaatonttrekking plaats maar wel slibrecirculatie en beluchting.

In juni/juli 2005 is aandacht besteed aan het verlagen van het energieverbruik van de totale installatie. Met name de beluchting tijdens paraat-mode heeft een grote invloed op het energieverbruik van de totale installatie. In de eerste 6 maanden bedrijf van de MBR Varsseveld bedroeg het gemiddelde energieverbruik ca. 1,1 kWh/m<sup>3</sup>. Hiervan kwam ruim 0,6 kWh/m<sup>3</sup> voor rekening van de membraanbeluchting. In deze paragraaf is de optimalisatie van de membraanbeluchting gepresenteerd.

#### 3.2.2 PROCESREGELING

Voor de membraanbeluchting zijn 2 beluchtingsblowers beschikbaar welke elk een capaciteit van 4.500 Nm<sup>3</sup>/h hebben. Voor elke membraantank is 50% van de capaciteit van één blower beschikbaar, oftewel 2.250 Nm<sup>3</sup>/h. De beluchting van de membranen is intermitterend. De helft van de membranen in een membraantank wordt gedurende 15 seconden belucht (met 2.250 Nm<sup>3</sup>/h), waarna gedurende 15 seconden de andere helft met dezelfde capaciteit wordt belucht. Met behulp van een klep in de beluchtingsleiding wordt de lucht om de 15 seconden naar een ander deel van de tank gestuurd. In procesmode vindt deze intermitterende beluchting voortdurend plaats, waardoor binnen de membraantank in feite een continue beluchting van 2.250 Nm<sup>3</sup>/h plaatsvindt.

Het principe van de beluchting in paraatmode is dat 50% van de capaciteit van één blower (2.250 Nm<sup>3</sup>/h) wordt gebruikt om alle membraantanks die in paraatmode zijn te beluchten. Alle in paraatmode zijnde membraanstraten worden één voor één belucht. Deze procedure

wordt een instelbaar aantal keren herhaald. Hierna wordt een pauzetijd aangehouden waarin de beluchting van de membraanstraten in paraatmode uit staat. Na deze pauzetijd worden de beluchtingscycli weer gestart.

De beluchterregeling in paraatmode was de eerste zes maanden conservatief ingesteld. De pauzetijd was op 0 minuten ingesteld waardoor de cyclische beluchting van de paraatmode straten continu door ging. De beluchtingsfrequentie tijdens paraatmode is daarbij afhankelijk van het aantal tanks dat in paraatmode is. Een overzicht van de verschillende mogelijkheden is weergegeven in Tabel 6.

TABEL 6 MEMBRAANBELUCHTING TIJDENS PROCESMODE EN PARAAATMODE (DECEMBER 2004 – JUNI 2005)

Nr.	Membraantanks in procesmode		Nr.	Membraantanks in paraatmode		Totaal	
	Capaciteit elk [Nm <sup>3</sup> /h]	Capaciteit totaal [Nm <sup>3</sup> /h]		Capaciteit elk [Nm <sup>3</sup> /h]	Capaciteit totaal [Nm <sup>3</sup> /h]	Capaciteit totaal [Nm <sup>3</sup> /h]	[%]
4	2.250	9.000	0	-	0	9.000	100
3	2.250	6.750	1	2.250	2.250	9.000	100
2	2.250	4.500	2	1.125	2.250	6.750	75
1	2.250	2.250	3	750	2.250	4.500	50
0	-	0	4	562	2.250	2.250	25

### 3.2.3 OPTIMALISATIE MEMBRAANBELUCHTING

Aangezien het energieverbruik van de membraanbeluchting een significant deel is van het totale energieverbruik van de installatie, is onderzocht in hoeverre de membraanbeluchting kan worden verlaagd. Hiertoe zijn twee wijzigingen in de procesvoering aangebracht.

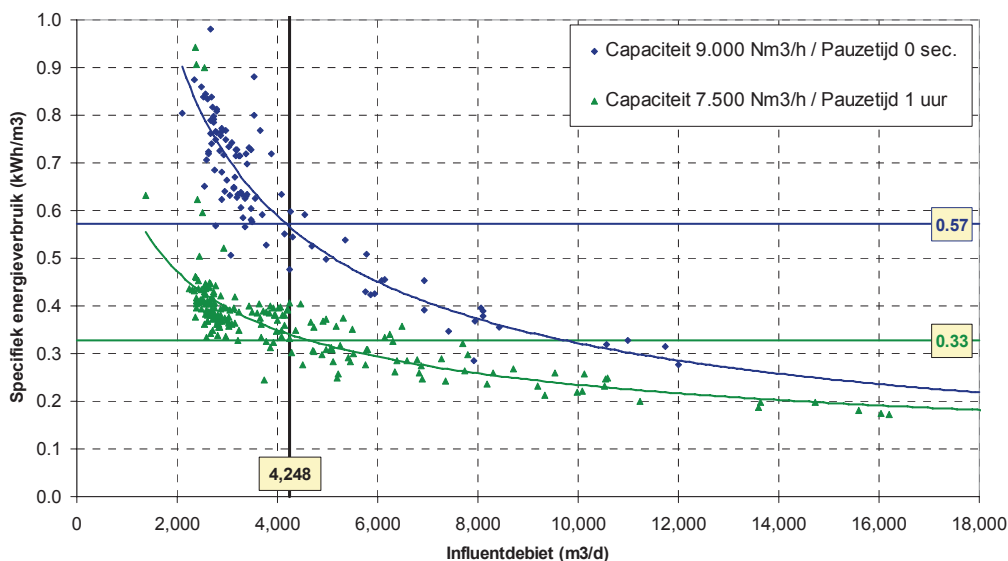
Allereerst is op 1 juni 2005 de beluchtingscapaciteit per blower verlaagd van 4.500 Nm<sup>3</sup>/h naar 3.750 Nm<sup>3</sup>/h. Deze verlaging is gerechtvaardigd aangezien de beluchtingscapaciteit is uitgelegd voor een systeem met volle ZW500d cassettes met elk 48 membraanelementen. Echter in Varsseveld zijn slechts 40 membraanelementen per cassette geplaatst. Deze aanpassing heeft geleid tot een directe verlaging van de beluchtingscapaciteit van circa 17%.

Een tweede maatregel welke is toegepast is de verlaging van de beluchtingscapaciteit in paraatmode. In dat kader is de pauzetijd, welke aangeeft hoelang de beluchting uit gaat, sinds 16 juni 2005 in een aantal stappen verhoogd tot 1 uur. Het aantal beluchtingscycli staat ingesteld op 10. Dit wil zeggen dat elke tank in paraatmode 10 maal gedurende 15 seconden met een capaciteit van 2.250 Nm<sup>3</sup>/h wordt belucht.

Als er 2 membraantanks in paraatmode staan vindt hierbij gedurende 10 x 2 x 15 seconden = 300 seconden = 5 minuten afwisselend beluchting plaats in beide tanks. Daarna wordt de beluchting gedurende 1 uur uitgezet. Dit leidt tot een verlaging van de beluchtingscapaciteit voor de tanks in paraatmode van circa 90%. Op het energieverbruik voor de beluchting van alle membraantanks bedraagt de afname circa 30%.

De verlaging van het specifieke energieverbruik van de membraanbeluchting ten gevolge van de optimalisaties is weergegeven in Afbeelding 10.

AFBEELDING 10 SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK VAN DE MEMBRAANBELUCHTING



Ten gevolge van het verlagen van de beluchtingscapaciteit en het invoeren van een pauzetijd tijdens paraatmode is het gemiddelde energieverbruik van de membraanbeluchting gedaald van 0,57 tot 0,33 kWh/m<sup>3</sup>. Dit is een verlaging 42%. Hiervan is 17% (0,10 kWh/m<sup>3</sup>) een gevolg van de verlaging van de beluchtingscapaciteit en 25% (0,14 kWh/m<sup>3</sup>) van de verlaging van de beluchtingstijd in paraatmode.

### 3.2.4 CONSEQUENTIES

Het verlagen van de membraanbeluchting tijdens paraatmode heeft niet alleen invloed op het energieverbruik maar kan ook effect hebben op de werking van de membranen. De volgende mogelijk nadelige effecten worden in deze paragraaf kort belicht:

- het zuurstofloos worden van het slib in de membraantank;
- het ophopen van slib tussen de membranen;
- het bezinken van slib in de membraantank.

#### ZUURSTOFGEHALTE IN DE MEMBRAANTANK

Doordat de beluchting in de membraantanks gedurende een uur uit staat daalt het zuurstofgehalte in de membraantank tot 0 mg/l. Door de membraantoevoerpompen vindt echter wel continu verversing van het slib in de membraantank plaats. De gemiddelde hydraulische verblijftijd in de membraantank onder deze omstandigheden is circa 15 minuten. Hoewel het slib in de membraantanks zuurstofloos wordt zal over het algemeen geen sprake zijn van anaëroob slib. Aangezien de toevoer en afvoer van het slib zich aan verschillende zijden en op verschillende hoogten van de membraantank bevinden, is de menging van de tank aanzienlijk. Het kan echter niet worden uitgesloten dat op bepaalde plaatsen in de tank dode hoeken ontstaan waar het slib niet wordt ververst. Hier kunnen langdurige anaërobe omstandigheden optreden. Op de bodem van één van de tanks is in december 2005 aantasting van de bescherm laag van het beton waargenomen. Mogelijk is dit een gevolg van anaëroob slib.

#### SLIBOPHOPIG TUSSEN DE MEMBRANEN

Wanneer geen beluchting plaatsvindt is de turbulentie tussen de membranen zeer gering. Er bestaat de kans dat het slib dat zich tussen de membranen bevindt hierdoor gaat bezinken. In januari 2006 zijn visueel anaërobe slibbrokjes van circa 1 cm<sup>3</sup> waargenomen in de onderste 10 centimeter van de membraanelementen. De aanwezigheid van anaëroob slib tussen de

membranen kan mogelijk leiden tot verslechtering van de membraanprestaties. Enerzijds kan verlies van effectief oppervlak optreden doordat slib is opgehoopt tussen de membranen. Anderzijds kan anaërobie leiden tot micro-vervuiling van de membranen.

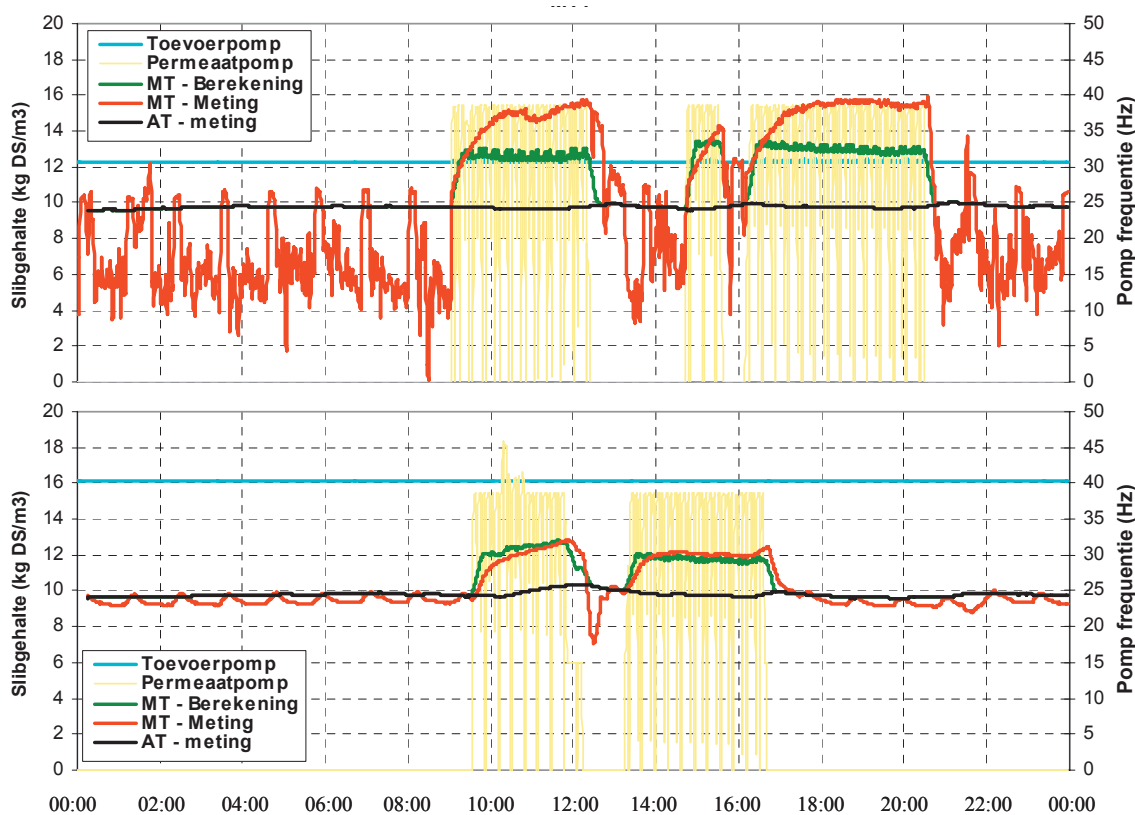
#### **SLIBBEZINKING IN DE MEMBRAANTANK**

Het slib van de MBR Varsseveld heeft een slibvolume-index (SVI) van 60 à 70 ml/g. Deze goede bezinkeigenschappen worden mede veroorzaakt door de ijzerdosering, welke ten behoeve van de fosfaatverwijdering wordt toegepast. Een gevolg van deze lage SVI is dat het slib relatief snel bezinkt wanneer de beluchting in de membraantanks wordt uitgeschakeld. Indien het slib bezinkt tijdens paraatmode vindt slibaccumulatie in de membraantank plaats. Vanuit de beluchtingstank wordt wel nieuw slib aangevoerd maar via de overstortgoot wordt alleen het bovenstaande water afgevoerd. Dit leidt, bij inbedrijfname van de membraantank, tot een aanzienlijke verhoging van het slibgehalte in de betreffende membraantank. In de bovenste grafiek van Afbeelding 11 is dit verschijnsel te zien. Het slibgehalte in de membraantank neemt hierbij toe tot bijna 16 g/l terwijl onder volledig gemengde omstandigheden een gehalte van ruim 12 g/l zou worden bereikt.

Om deze ongewenste slibaccumulatie in de membraantank te voorkomen is de capaciteit van de membraantoevoerpomp verhoogd. Onder de heersende omstandigheden (slibgehalte = 10 g/l, SVI = 60-70 ml/g) bleek dat alleen als de toevoerpomp op maximale capaciteit stond geen slibaccumulatie tijdens paraatmode optrad. Dit effect is waar te nemen in de onderste grafiek van Afbeelding 11. Tijdens paraatmode daalt het slibgehalte licht tussen de beluchtingscycli door. Het feit dat de gemeten en berekende slibconcentratie tijdens procesmode gelijk zijn geeft aan dat geen slibaccumulatie heeft plaatsgevonden.

Om te voorkomen dat slibbezinking en accumulatie tijdens paraatmode optreedt is besloten om de membraantoevoerpompen continu, zowel in proces- als in paraatmode, op de maximale capaciteit te laten draaien. Volgens het besturingsprogramma van de MBR Varsseveld wordt tijdens paraatmode een capaciteit gedraaid die gelijk is aan de minimale capaciteit tijdens procesmode. Door het verhogen van de capaciteit in paraatmode is daardoor ook automatisch de capaciteit tijdens procesmode verhoogd. In 2006 zal de besturing zodanig worden aangepast dat beide functies onafhankelijk van elkaar kunnen worden ingesteld.

AFBEELDING 11 INVLOED VAN DE PARAAATMODE EN DE CAPACITEIT VAN DE TOEVOERPOMP OP HET SLIBGEHALTE IN DE MEMBRAANTANKS



Het feit dat de membraantoevoerpompen continu op maximum capaciteit draaien heeft tot gevolg dat het gemiddelde energieverbruik van de membraantoevoerpompen met circa 0,04 kWh/m<sup>3</sup> stijgt. De energiewinst van het niet beluchten in paraatmode (0,14 kWh/m<sup>3</sup>) wordt dus gedeeltelijk (ca. 30%) tenietgedaan door het feit dat de membraantoevoerpompen harder moeten draaien. Na de aanpassing van de besturingsinstallatie kan de capaciteit van de membraantoevoerpompen in procesmode weer worden verlaagd. Dit zal naar verwachting een energiewinst van circa 0,02 kWh/m<sup>3</sup> opleveren.

Een mogelijke optimalisatie kan zijn om in paraatmode de membraantoevoerpompen ook uit te zetten en zodoende slibbezinking in de membraantank toe te staan. De geschatte energiebesparing hiervan is circa 0,06 kWh/m<sup>3</sup>.

Op de simulatie-unit van de rwzi Varsseveld zijn met deze procesvoering enkele oriënterende experimenten uitgevoerd. Mogelijk zal dit een vervolg krijgen op de MBR Varsseveld.

### 3.3 AANSTURING PERMEAATPOMPEN

#### 3.3.1 INLEIDING

Elke membraanstraat heeft een eigen permeaatpomp welke in bedrijf is als de membraanstraat in procesmode is. Of een straat in procesmode of paraatmode is, is afhankelijk van het influentdebiet en de historie van de betreffende straat. In §3.3.2 wordt vervolgens ingegaan op de wijze waarop de straatsturing wordt geregeld en welke optimalisatie hierbij heeft plaatsgevonden. Als een straat in procesmode is wordt deze in principe op een vaste optimumflux bedreven. Over deze procesregeling en de instelling van de optimumflux wordt in §3.3.3

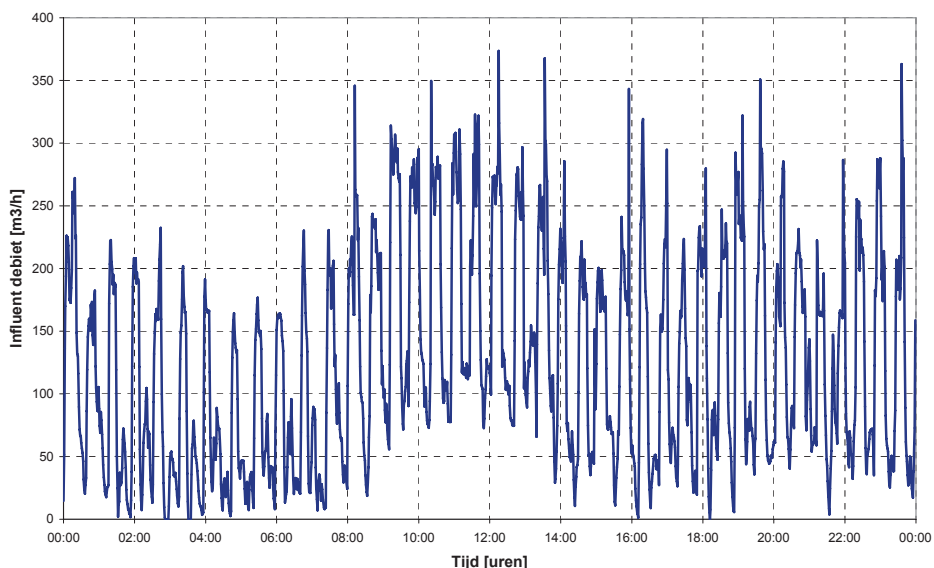
ingegaan. De permeaatpomp wisselt permeaatonttrekking af met permeaatterugspoeling. De instellingen van deze permeaatcyclus bepalen het rendement van de permeaatpompen. De optimalisatie van de permeaatcyclus wordt in §3.3.4 beschreven.

### 3.3.2 STRAATSTURING

Het aantal membraanstraten dat in procesmode is, is afhankelijk van het influentdebiet. Aangezien een directe regeling op het influentdebiet te onrustig en onnauwkeurig zou zijn, is er voor gekozen om het bij- en afschakelen van membraantanks en het op- en aftoeren van de permeaatpompen te regelen op basis van het waterniveau in de beluchtingstank.

De rwzi Varsseveld wordt gevoed door één groot en twee kleine influentgemalen, welke of aan of uit staan. Dit heeft tot gevolg dat de aanvoervariaties groot zijn (zie Afbeelding 12). De frequentie waarmee een influentpiek wordt afgewisseld met een lage aanvoer is ruim een half uur.

AFBEELDING 12 KARAKTERISTIEKE AANVOERVARIATIES OP DE RWZI VARSSEVELD

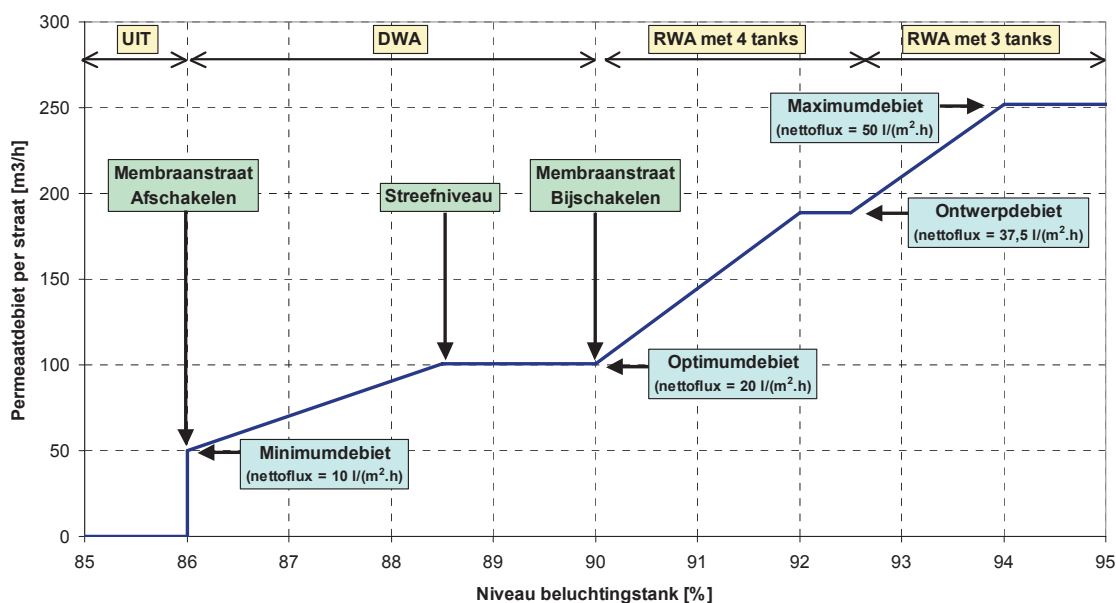


Globaal komt de regeling er op neer dat alleen de laatst ingeschakelde permeaatpomp / membraanstraat wordt geregeld. Door het permeaatdebiet van deze straat te regelen tussen minimumdebiet en optimumdebiet wordt getracht het niveau in de beluchtingstank constant te houden. De overige permeaatpompen die in bedrijf zijn draaien op het optimumdebiet. Het principe van de regeling is weergegeven in Afbeelding 13.

Het bijschakelen van een membraantank vindt plaats als het niveau stijgt (gedurende een bepaalde tijd) boven een hoog-niveau setpoint (90% in Afbeelding 13). Het afschakelen van een membraantank vindt plaats als het niveau daalt (gedurende een bepaalde tijd) onder het laag-niveau setpoint (86%). De beluchtingstank fungeert als buffertank die de aanvoer naar de membranen afvlakt. Bij DWA is (bij deze instellingen) een buffervolume van 4% aanwezig hetgeen gelijk is aan circa 100 m<sup>3</sup>.

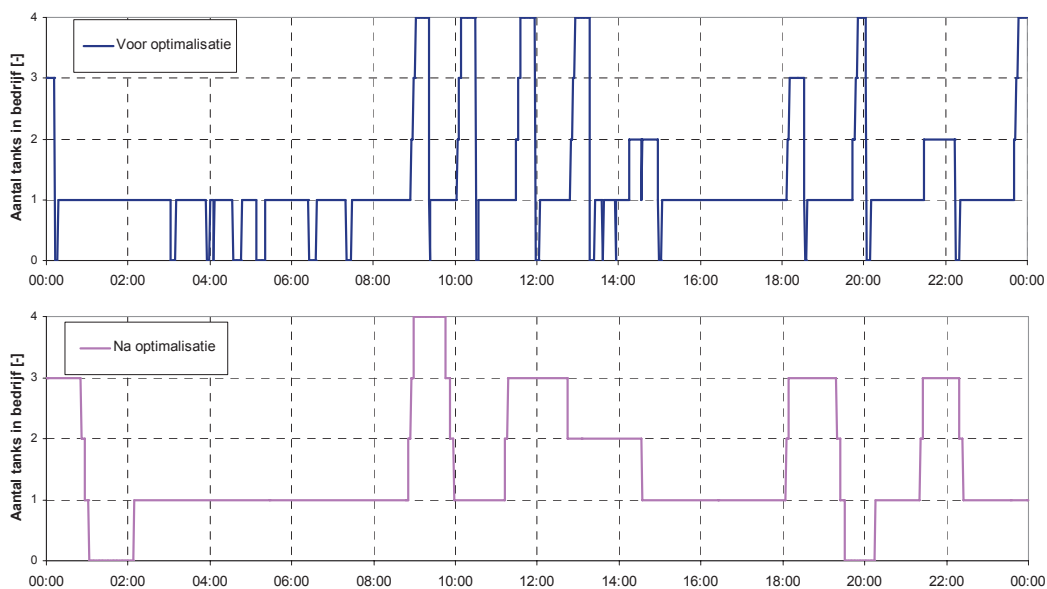
Als alle straten in bedrijf zijn en het niveau in de beluchtingstank nog verder stijgt dan worden alle straten gelijktijdig opgetoerd van optimum tot ontwerpdebiet. Indien één straat uit bedrijf is, vanwege bijvoorbeeld technische problemen, kan de capaciteit van de andere drie straten oplopen tot het maximum debiet.

AFBEELDING 13 INSTELLINGEN VAN DE STRAATSTURING OP DE MBR VARSSEVELD



De grote en frequente variaties in de aanvoer zijn ook merkbaar in het niveau in de beluchtingstank en daarmee in de straatsturing. Door een juiste keuze van de niveau setpoints (gewenst niveau, hoog niveau, laag niveau) en de vertragingstijden bij het op- en afschakelen van straten, kan de schakelfrequentie van de membraanstraten worden beïnvloed. In de eerste maanden is geen aandacht besteed aan deze straatsturing en was het schakelbeeld onrustig. Een aanpassing van de niveausetpoints en een verlenging van de vertragingstijden heeft geleid tot een aanzienlijk rustiger schakelbeeld, zoals is weergegeven in Afbeelding 14. Deze verbetering was mogelijk door de bufferfunctie van de beluchtingstank te vergroten. Hierdoor is het niveauverschil in de beluchtingstank momenteel circa 30 centimeter, terwijl dit voordien circa 20 centimeter was.

AFBEELDING 14 HET SCHAKELBEELD VAN DE MEMBRAANSTRATEN VOOR (BOVEN) EN NA (ONDER) OPTIMALISATIE

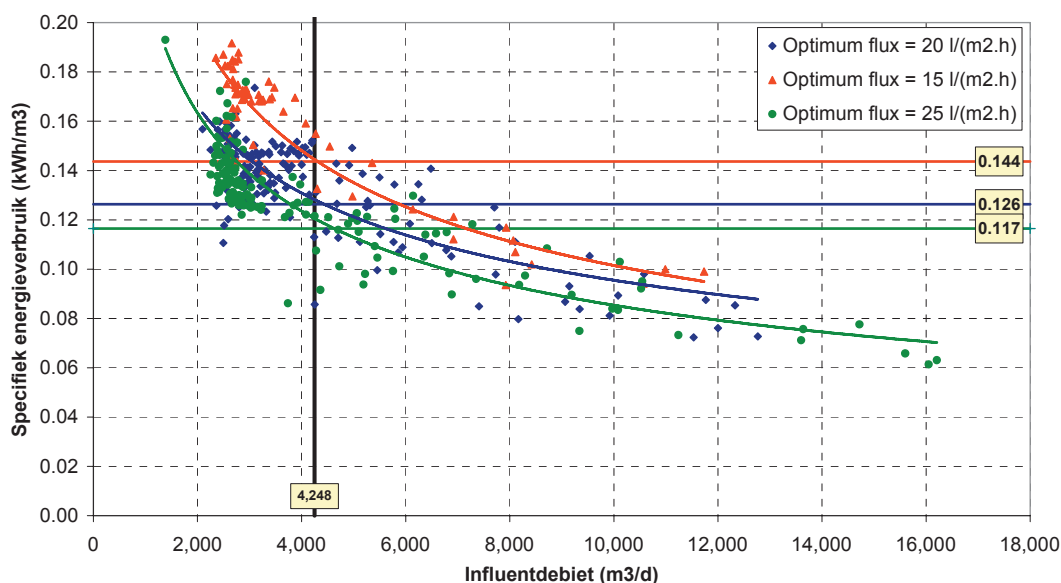




### 3.3.3 OPTIMUMFLUX

De optimumflux is de flux waarop de membraanstraten in procesmode het grootste deel van de tijd draaien. De keuze van de optimumflux bepaalt daarmee voor een belangrijk deel hoeveel membraantanks in proces- en in paraatmode zijn. Bij een verhoging van de optimumflux zal het bijschakelen van een membraantank minder snel plaatsvinden, waardoor gemiddeld minder membraantanks in bedrijf zijn. Hiermee bepaalt de optimumflux voor een belangrijk deel het energieverbruik van de membraanfiltratie-installatie. De invloed van de optimumflux op het energieverbruik van de permeaatpompen is grafisch weergegeven in Afbeelding 15. Een verhoging van de optimumflux met 25% (van 20 naar 25 l/(m<sup>2</sup>.h)) leidt tot een energiebesparing van circa 0,01 kWh/m<sup>3</sup> bij de permeaatpompen. Voor de membraanbeluchting zal deze besparing groter zijn, naar verwachting circa 0,03 kWh/m<sup>3</sup>.

AFBEELDING 15 DE INVLOED VAN DE OPTIMUM FLUX OP HET ENERGIEVERBRUIK VAN DE PERMEAATPOMPEN

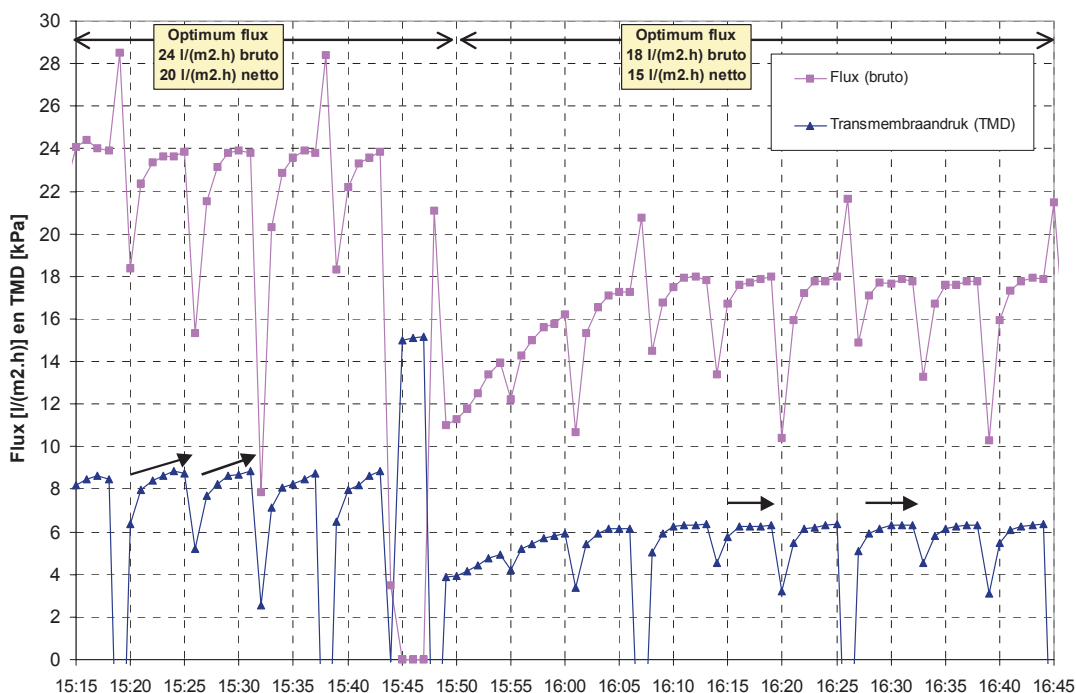


De optimumflux kan door de bedrijfsvoerder worden ingegeven. Bij de keuze voor een optimumflux staat de optimale werking van de membranen centraal. De werking van de membranen wordt beoordeeld aan de hand van de permeabiliteitsontwikkeling, zowel op langere als op korte termijn. Met name de korte termijn permeabiliteitsontwikkeling is een goede maatstaf voor de optimumflux. Indien de permeabiliteit binnen een permeaatcyclus te veel afneemt, oftewel als de benodigde druk te veel toeneemt, dan is de werking niet optimaal. Toename van de druk betekent namelijk dat vervuiling van het membraan optreedt, in welke vorm dan ook. Het verlagen van de optimumflux is dan één van de mogelijke maatregelen.

Op de rwzi Varsseveld is de optimumflux een aantal keren gewijzigd (zie Tabel 3). De verlaging van de optimumflux van 20 naar 15 l/(m<sup>2</sup>.h) op 29 maart 2005 was het gevolg van de problemen met het industriële polymeer. De membranen waren in deze periode zodanig verkleefd dat het effectief beschikbare membraanoppervlak aanzienlijk was gedaald. Dit leidde met name bij hogere fluxen tot problemen aangezien de permeabiliteit binnen een cyclus met wel 70% kon dalen, waarbij de transmembraandruk toenam tot bijna 60 kPa. Ook bij een flux van 20 l/(m<sup>2</sup>.h) was op dat moment de druktoename binnen een cyclus te hoog. Het verschil tussen een permeaatcyclus vóór en na deze wijziging is weergegeven in Afbeelding 16.

De optimumflux is op 1 juni 2005 weer verhoogd tot 20 l/(m<sup>2</sup>.h) netto. Op 22 juli 2005 is de optimumflux verder verhoogd tot 25 l/(m<sup>2</sup>.h), aangezien de transmembraandruk bij optimumflux daalde tot onder 5 kPa (50 mbar). Bij het ingaan van de winter is de optimumflux weer verlaagd tot 20 l/(m<sup>2</sup>.h). De verwachting is dat 20 – 25 l/(m<sup>2</sup>.h) het bereik is waarop de MBR Varsseveld onder normale omstandigheden zal functioneren.

AFBEELDING 16 DE INVLOED VAN DE FLUX OP DE DRUKOPBOUW TIJDENS EEN PERMEAATCYCLUS (29 MAART 2005, MEMBRAANTANK 4)



### 3.3.4 PERMEAATCYCLUS

De permeaatcyclus bestaat uit onttrekking en terugspoeling van permeaat. Aangezien voor beide functies dezelfde pomp wordt gebruikt, dient de draairichting van deze pomp telkens te worden omgekeerd. De verhouding tussen onttrekking en terugspoeling en de instellingen van de pomp, bepalen uiteindelijk de efficiëntie (verhouding tussen netto en bruto flux) van het systeem.

In het ontwerp van de MBR Varsseveld is uitgegaan van een rendement van de permeaatonttrekking van 84%. In het eerste jaar bleek dit rendement lager te zijn. Eind 2005 is daarom het rendement verhoogd. Het verhogen van het rendement was gewenst omdat bij de huidige instellingen het maximumdebiet van de rwzi (755 m<sup>3</sup>/h over 3 straten) niet verwerkt zou kunnen worden. Bovendien leidt een hoger rendement tot energiebesparing aangezien gemiddeld minder straten in procesmode zullen zijn. De oorspronkelijke instellingen van de cyclus zijn weergegeven in Tabel 7.

TABEL 7 INSTELLINGEN PERMEAATCYCLUS

Parameter	Eenheid	Oorspronkelijke instellingen		Optimalisatie
Procesmode	sec		360	<b>450</b>
- waarvan optoertijd	sec		60	60
- waarvan aftoertijd	sec		2	2
Terugspoelmode	sec		20	20
- waarvan optoertijd	sec		5	5
- waarvan aftoertijd	sec		2	2
Terugspoelfactor <sup>#</sup>	-		1,25	1,25

# Verhouding tussen het terugspoeldebiet en het onttrekkingsdebiet

De fluxen en rendementen bij de verschillende debieten zijn weergegeven in Tabel 8. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen optimum-, ontwerp- en maximum debiet (voor een definitie van deze begrippen, zie Afbeelding 13). Het theoretisch rendement bij optimum- en ontwerpflux is 81,2%. Bij het maximumdebiet is het rendement iets hoger (82,2%) omdat de terugspoelcapaciteit beperkt is tot 300 m<sup>3</sup>/h.

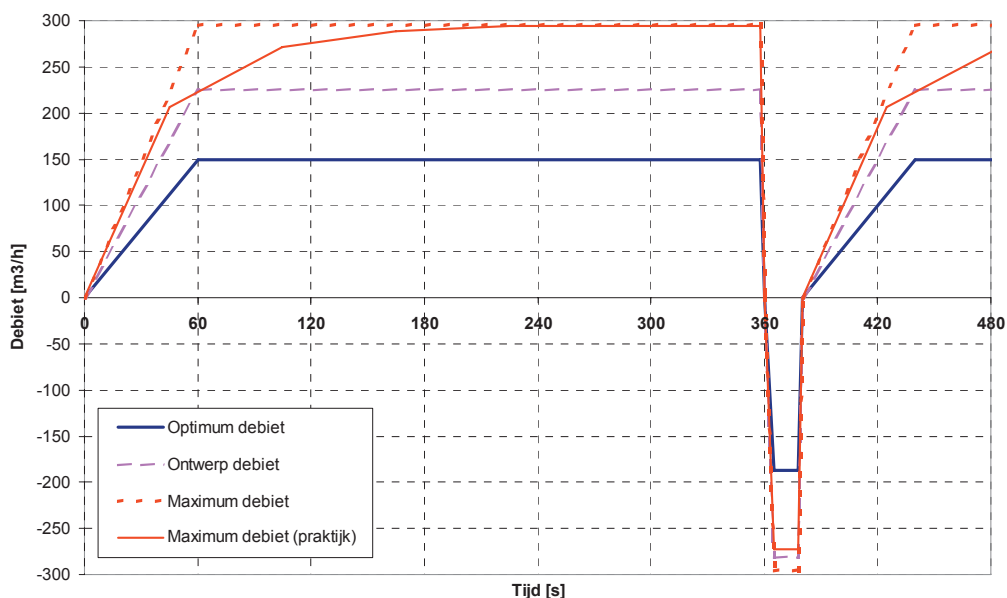
TABEL 8 RENDEMENT PERMEAATONTREKING (PER STRAAT)

Parameter	Eenheid	Oorspronkelijke instellingen			Optimalisatie	
		Optimum	Ontwerp	Maximum	Optimum	Maximum
Onttrekkingsdebiet	m <sup>3</sup> /h	150	220	295	150	300
Terugspoeldebiet	m <sup>3</sup> /h	187,5	275	295	187,5	300
Netto debiet	m <sup>3</sup> /h	122	179	243	127	253
Bruto flux	l/(m <sup>2</sup> .h)	29,8	43,7	58,5	29,8	58,5
Netto flux	l/(m <sup>2</sup> .h)	24,2	35,4	48,1	25,2	50,1
Rendement	%	81,2	81,2	82,2	84,8	85,6

Het verloop van het onttrekkingsdebiet tijdens de oorspronkelijke permeaatcyclus is weergegeven in Afbeelding 17. Hierbij is de theoretische curve voor optimum-, ontwerp- en maximum debiet weergegeven, uitgaande van de instellingen uit Tabel 7 en Tabel 8.

Daarnaast is de praktijkcurve voor maximumdebiet weergegeven. Hierbij valt op te maken dat bij het optoeren van de permeaatpomp het werkelijke debiet gedurende de eerste minuten lager is dan de theoretische curve (ter illustratie, zie Afbeelding 16). Ten gevolge van dit verlies is het werkelijke rendement van de cyclus niet 82,2% maar slechts 78,8%. De werkelijke netto flux is 46,1 in plaats van 48,1 l/(m<sup>2</sup>.h).

AFBEELDING 17 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE PERMEATCYCLUS VAN DE MBR VARSSEVELD



Sinds december 2005 zijn de instellingen van de permeaatcyclus geoptimaliseerd. De onttrekkingstijd is verhoogd van 360 naar 450 seconden (zie Tabel 7). Daarnaast is de aansturing van de permeaatpomp versneld waardoor het rendementsverlies tijdens de eerste minuten van de cyclus aanzienlijk is verkleind. Het gevolg van deze optimalisaties is een rendement van ruim 84% bij zowel de optimum als de maximumflux (zie Tabel 8).

### 3.4 MEMBRAANLEKKAGES

#### 3.4.1 INLEIDING

Ondanks de grondige inspectie na installatie zijn na enkele maanden bedrijf op verschillende membraancassettes lekkages waargenomen. In Tabel 9 is een overzicht gegeven van de verschillende lekkages. Hierbij is per inspectie het aantal membraanelementen per cassette aangegeven waarin lekkages of haarscheurtjes zijn waargenomen. Voor de lokaties van de cassettes wordt verwezen naar Afbeelding 25.

TABEL 9 OVERZICHT VAN DE LEKKAGES / HAARSCHERTJES IN DE MEMBRAANCASSETTES VAN DE MBR VARSSEVELD

Datum	Membraantank 1				Membraantank 2				Membraantank 3				Membraantank 4				
	Cassettes	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 april 2005									1								
19 mei 2005														2		1	1
10 juni 2005		1								2			1			1	

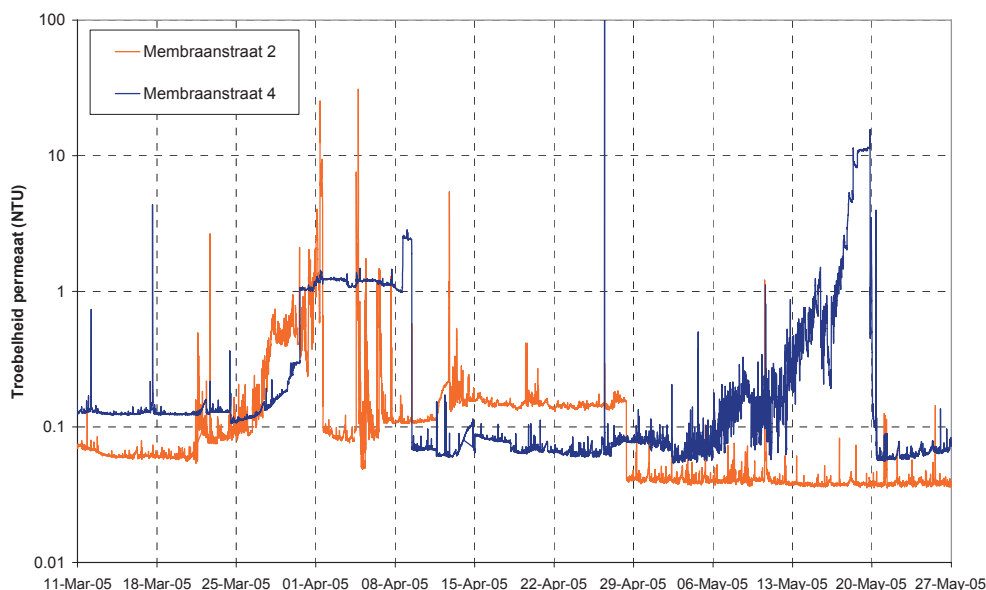
Uit een nadere analyse van de betreffende cassettes is gebleken dat de lekkages telkens op dezelfde lokatie is opgetreden. De lekkages in de elementen bleken alleen de buitenste elementen te omvatten. Naar aanleiding van de eerste lekkage, waargenomen op 1 april 2005, zijn door Zenon in april integriteitsmetingen op alle membraanstraten uitgevoerd. De conclusie van deze metingen was dat op dat moment de integriteit van alle cassettes goed was. Op vrijdag 10 juni is door Zenon preventief een aantal cassettes met zichtbare haarscheurtjes

vervangen. Deze elementen zaten allemaal aan de buitenzijde van de cassette. De defecte elementen zijn voor onderzoek naar Zenon Canada gezonden en hebben geresulteerd in een aanpassing aan de constructie van de cassettes.

### 3.4.2 TROEBELHEIDSMETING

Lekkages kunnen vroegtijdig worden gesignaleerd met behulp van de troebelheidsmeters welke in de vier permeaatleidingen van de vier membraanstraten zijn geplaatst. In Afbeelding 18 is het verloop van de troebelheid in straat 2 en straat 4 weergegeven ten tijden van de lekkages op 1 april en 19 mei 2005 (zie Tabel 9). Hieruit valt op te maken dat de lekkage geleidelijk is toegenomen. Na het vervangen van het lekkende element is de troebelheid weer gedaald naar het normale niveau van < 0,1 NTU.

AFBEELDING 18 HET VERLOOP VAN DE TROEBELHEID VAN HET PERMEAAT IN MEMBRAANSTRATEN 2 EN 4

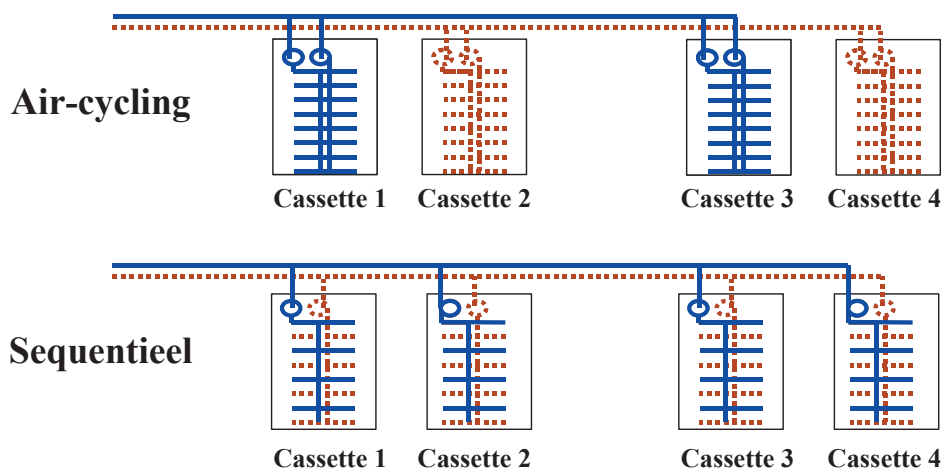


### 3.4.3 AANPASSING BELUCHTINGSREGIME

Een mogelijke oorzaak voor de lekkages is de alternerende beluchting (air-cycling) van de membraancassettes. Doordat een relatief grote hoeveelheid lucht (1.875 Nm<sup>3</sup>/h) met korte tijdsintervallen (15 sec) wordt gewisseld tussen cassette 1 en 3 en cassette 2 en 4, kunnen grote mechanische krachten op de membraancassettes ontstaan.

Naar aanleiding van de problemen is daarom op 19 mei 2005 voor alle membraantanks overgegaan op sequentiële beluchting in plaats van air-cycling. Bij sequentiële beluchting vindt de wisseling van de luchtinbreng niet plaats tussen de cassettes maar binnen de cassettes. Het voordeel van sequentiële beluchting is dat de mechanische krachten op de cassette beter verdeeld zijn. Met sequentiële beluchting is ervaring op meerdere Zenon-installaties. Beide principes zijn schematisch weergegeven in Afbeelding 19.

AFBEELDING 19 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN AIR-CYCLING EN SEQUENTIËLE BELUCHTING



#### 3.4.4 EVALUATIE

Bij het optreden van een lekkage zal slib met het permeaat worden meegevoerd. Dit leidt tot een verslechtering van de effluentkwaliteit. Een groter probleem is echter het feit dat bij de reguliere terugspoeling van permeaat, slib aan de binnenkant van de membranen wordt gebracht. Dit kan leiden tot vervuiling aan de binnenzijde van de membranen, welke tot een (blijvende) verslechtering van de prestaties van het systeem kunnen leiden. Het belang van de troebelheidsmetingen in elke permeaatleiding is hiermee aangetoond. Dankzij deze metingen konden problemen vroegtijdig wordenesignaleerd en verholpen. Op de MBR Varsseveld is geen aantoonbare achteruitgang van de permeabiliteit opgetreden.

De opschaling van pilot- naar praktijkschaal heeft op de rwzi Varsseveld een technisch probleem aan het licht gebracht. Door de omschakeling van het beluchtingsregime, iets wat standaard mogelijk is met deze cassettes, kon op eenvoudige wijze verdere schade worden voorkomen. Sinds de omschakeling en de laatste preventieve verwijdering van een aantal elementen zijn geen problemen meer geconstateerd. Het effect van het omschakelen van air-cycling naar sequentiële beluchting op de membraanwerking is niet nader onderzocht. Inmiddels heeft Zenon een technische aanpassing aan de constructie van de cassette ontwikkeld welke in maart 2006 op de MBR Varsseveld is ingebouwd. In de loop van 2006 zal de toepassing van air-cycling in één van de membraantanks worden getest.

# 4

## CHEMISCHE REINIGING

### 4.1 INLEIDING

In het eerste jaar van de bedrijfsvoering is veel aandacht besteed aan de optimalisatie van de membraanreiniging. In eerste instantie was de reinigingsprocedure op de installatie overgenomen van die van de simulatie-unit, en werd natriumhydroxide en citroenzuur gebruikt. Na enkele maanden, waarin de resultaten sterk werden beïnvloed door de verklevingsproblemen (zie §2.4), is overgeschakeld van natriumhydroxide naar natriumhypochloriet. In de zomer en lente van 2005 zijn de membranen gemiddelde éénmaal per twee weken gereinigd, waarbij goede resultaten werden behaald. Vanaf de herfst van 2005 trad een lichte daling van de permeabiliteit op en is de reinigingsfrequentie, conform het ontwerp, verhoogd naar éénmaal per week. In deze periode is ook de reinigingsprocedure nader onderzocht.

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste aanpassingen en bevindingen met betrekking tot de chemische reiniging op de MBR Varsseveld gepresenteerd. In §4.2 is allereerst een overzicht gegeven van de verschillende reinigingsprocedures welke op de MBR Varsseveld zijn uitgevoerd. In §4.3 zijn de belangrijkste resultaten van de optimalisatie van de chemische reiniging weergegeven. Het effect van de chemische reiniging is met behulp van membraanautopsies onderzocht. De resultaten hiervan zijn opgenomen in §4.4.

### 4.2 REINIGINGSPROCEDURES

#### 4.2.1 INLEIDING

De chemische reiniging van de membranen is vooral bedoeld om de microverontreiniging aan te pakken. De op MBR Varsseveld toegepaste reinigingschemicaliën zijn als volgt te classificeren:

- sterk oxiderende chemicaliën ter verwijdering van organische vervuiling:
  - natriumhypochloriet, NaOCl (reiniging door actief chloor);
  - waterstofperoxide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (reiniging door actieve zuurstof);
  - natronloog, NaOH (reiniging door loog)
- zuren voor de verwijdering van anorganische vervuiling:
  - citroenzuur.

De chemische reiniging van membranen vindt over het algemeen plaats door middel van een regelmatige Maintenance Cleaning (MC), eventueel aangevuld met een Intensieve Cleaning (IC) wanneer nodig. De opzet en uitvoering van deze reinigingsmethoden is weergegeven in respectievelijk §4.2.2 en §4.2.3. Het totale chemicaliënverbruik in het eerste jaar is weergegeven in §4.2.4.

#### 4.2.2 MAINTENANCE CLEANINGS (MC EN SIMC)

De MC wordt toegepast om de permeabiliteit van de membranen op een hoog niveau te houden, waardoor bij lage drukken kan worden gewerkt en de membraanvervuiling minder snel optreedt. De hierbij toegepaste reinigingsconcentratie is relatief laag, de inwerktijd relatief kort en de frequentie relatief hoog, bijvoorbeeld éénmaal per week of éénmaal per twee weken.

De standaard MC procedure op Varsseveld bestaat uit de toepassing van één sterke oxidant, gevolgd door een zuur. Deze twee-traps reiniging wordt zowel uitgevoerd met warm (ca. 35°C) als koud water. De warmte verhoogt de effectiviteit van de chemicaliën en daarmee het reinigingsrendement. In de voor membranen moeilijke bedrijfsperiodes, bijvoorbeeld in de winter, kan de 2-traps MC procedure worden uitgebreid naar een 3-traps procedure. Hierbij wordt een additionele oxidatieve reinigingsstap met NaOCl uitgevoerd, wederom zowel met warm als met koud water. Deze 3-traps MC procedure wordt de "Semi-intensieve Maintenance Clean" (SIMC) genoemd.

De instellingen van de toegepaste MC en SIMC procedures op de MBR Varsseveld zijn weergegeven in Tabel 10. In §4.3 wordt nader ingegaan op de redenen van de wijzigingen van de instellingen.

TABEL 10 INSTELLINGEN VAN DE UITGEVOERDE MC- EN SIMC-PROCEDURES OP DE MBR VARSSEVELD

Parameter	Eenheid	Stap 1	Stap 2	Stap 3
<i>December 2004 – April 2005</i>		<i>SIMC met loog, zuur en chloor, bij lage flux</i>		
Chemicaliën	-	NaOH	Citroenzuur	NaOCl
Concentratie	ppm	pH = 10	3.000	800
Aantal cycli warm / koud <sup>#</sup>	-	2 / 2	1 / 1	1 / 1
Capaciteit terugspoeling	m <sup>3</sup> /h	120	120	120
Lengte terugspoeltijd <sup>\$</sup>	sec.	180	180	180
Vulniveau membraantank	%	0	0	0
<i>April 2005 – November 2005</i>		<i>SIMC met chloor en zuur, bij hoge flux</i>		
Chemicaliën	-	NaOCl	Citroenzuur	NaOCl
Concentratie	ppm	800	3.000	800
Aantal cycli warm / koud	-	2 / 2	1 / 1	1 / 1
Capaciteit terugspoeling	m <sup>3</sup> /h	225	225	225
Lengte terugspoeltijd	sec.	45	45	45
Vulniveau membraantank	%	0	0	0
<i>November 2005 – Februari 2006</i>		<i>MC met chloor en zuur, met langere spoeltijd en variabel niveau</i>		
Chemicaliën	-	NaOCl	Citroenzuur	-
Concentratie	ppm	800	3.000	-
Aantal cycli warm / koud	-	2 / 2	1 / 1	-
Capaciteit terugspoeling	m <sup>3</sup> /h	225	225	-
Lengte terugspoeltijd	sec.	90	90	-
Vulniveau membraantank	%	0 / 50 / 75 / 100	0 / 50 / 75 / 100	-

# warm = 35°C, koud = permeaattemperatuur

\$ na elke terugspoeling is een inweekperiode van 400 seconden



#### 4.2.3 INTENSIVE CLEANINGS (IC)

De intensieve reiniging is gericht op het terugbrengen van de oorspronkelijke permeabiliteit. Intensieve reinigingen hebben een lage frequentie in tegenstelling tot een onderhoudsreiniging maar een hogere chemicaliënconcentratie en een langere inwerktijd. Deze reiniging dient te worden uitgevoerd als de permeabiliteit zich door de MC's niet meer of onvoldoende herstelt. De verwachting voor MBR Varsseveld is dat door toepassing van (SI)MC's de reiniging dermate effectief is dat de IC-procedure maximaal éénmaal per jaar dient te worden uitgevoerd.

Zoals beschreven in §2.4 is in april 2005 een intensieve reiniging op alle membraantanks uitgevoerd. Ten gevolge van de lozing van een industriële polymere verbinding nam de permeabiliteit in korte tijd sterk af. Hiertoe is op alle straten een IC uitgevoerd. Straat 1 met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,3%) en de rest van de straten met NaOCl (1.000 ppm). Hierdoor stabiliseerde de permeabiliteit van straat 2, 3 en 4 weer op gewenst niveau. De IC van straat 1 was in mindere mate effectief.

#### 4.2.4 CHEMICALIËNVERBRUIK

Een overzicht van de in 2005 uitgevoerde reinigingen en het chemicaliënverbruik van de MBR Varsseveld in 2005 is samengevat weergegeven in Tabel 11.

TABEL 11 UITGEVOERDE REINIGINGEN EN CHEMICALIËNVERBRUIK VAN DE MBR VARSSEVELD IN 2005

Parameter	Eenheid	MB1	MB2	MB3	MB4	Totaal
<i>Type reiniging</i>						
Maintenance Cleaning (MC)	aantal per jaar	0	1	2	1	4
Semi-intensive MC (SIMC)	aantal per jaar	16	16	21	16	69
Intensive cleaning (IC)	aantal per jaar	1	1	1	1	4
Totaal	aantal per jaar	17	18	24	18	77
<i>Gebruikte chemicaliën MC/SIMC</i>						
Citroenzuur (50%)	liter per jaar	740	690	960	870	3.260
NaOCl (12,5%)	liter per jaar	1.380	1.410	1.550	1.410	5.750
NaOH (98%)	liter per jaar	250	330	450	380	1.410
<i>Gebruikte chemicaliën IC</i>						
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (100%)	liter per jaar	510	-	-	-	510
NaOCl (12,5%)	liter per jaar	-	500	500	500	1.500

De intensieve cleanings van april 2005 zijn verantwoordelijk voor 20% van het totale NaOCl-verbruik en 100% van het totale H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-verbruik. De totale kosten voor chemicaliën in 2005 bedroegen ca. € 10.000,-. Hiervan kwam circa 10% voor rekening van de intensieve cleanings.

### 4.3 OPTIMALISATIE CHEMISCHE REINIGING

#### 4.3.1 INLEIDING

Tijdens het onderzoek op de simulatie-unit van Varsseveld is de MC reinigingsprocedure aangepast aan de specifieke omstandigheden. Op de simulatie-unit leek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nauwelijks effect te hebben en is, vanwege vette aanslag op de membranen, besloten om NaOH in te zetten. Dit leek op de simulatie-unit een beter effect te hebben. Toen in december 2004 de full-scale installatie werd opgestart, is besloten om dezelfde MC reinigingsprocedure ook op de full scale installatie uit te voeren. Dit had echter niet het verwachte resultaat. De permeabiliteit van de membranen nam sterk af en de reiniging was niet in staat dit te compenseren.

Hiertoe is op alle straten een IC uitgevoerd, waarna de permeabiliteit weer op het gewenste niveau terugkeerde. Hierbij bleek een IC met  $H_2O_2$  minder effectief te zijn dan een IC met NaOCl. Hiertoe is besloten om de (SI)MC in het vervolg met NaOCl als eerste reinigungsstap uit te voeren. De terugspoeltijd is hierbij verlaagd van 120 naar 45 s, vanwege de sterk oxiderende werking van NaOCl. De flux is verhoogd naar  $45 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , oftewel  $225 \text{ m}^3/\text{h}$  om de effectiviteit van de reiniging te vergroten.

Gedurende de zomermaanden hadden deze reinigingen goed resultaat. De permeabiliteit werd op een zeer hoog niveau gehouden. Vanaf oktober 2005 nam de permeabiliteit echter enigszins af. Dit heeft geleid tot een aantal optimalisaties welke in de volgende paragrafen zijn beschreven.

#### 4.3.2 INVLOED VAN DE IJZERDOSERING

Begin juni 2005 is op de rwzi begonnen met het doseren van ijzerchloridesulfaat ten behoeve van de fosfaatverwijdering. De dosering is in stappen verhoogd van  $0,15 \text{ mol Fe}^{3+}/\text{mol P}_{\text{totaal}}$  in juni 2005 tot uiteindelijk ca.  $0,8 \text{ mol Fe}^{3+}/\text{mol P}_{\text{totaal}}$  vanaf oktober 2005. Nadat de dosering begin oktober substantieel was verhoogd ( $0,45$  naar  $0,8 \text{ mol Fe}^{3+}/\text{mol P}_{\text{totaal}}$ ) begon de permeabiliteit af te nemen en bleek de toenmalige SIMC niet in staat de permeabiliteit op een stabiel niveau te houden. Aangezien de dosering van ijzerchloridesulfaat zorgt voor een verhoogde concentratie van ijzerzouten in het systeem, leek de vorming van anorganische scaling op het membraan de oorzaak van de permeabiliteitsdaling.

Hiertoe is besloten op één membraanstraat een reiniging uit te voeren met een grotere hoeveelheid citroenzuur. In plaats van 2 reinigungscycli van 45 sec met citroenzuur, zijn er 4 reinigungscycli van 90 sec uitgevoerd naast de gangbare NaOCl cyclus. Dit had een aanzienlijke permeabiliteitsverbetering tot gevolg.

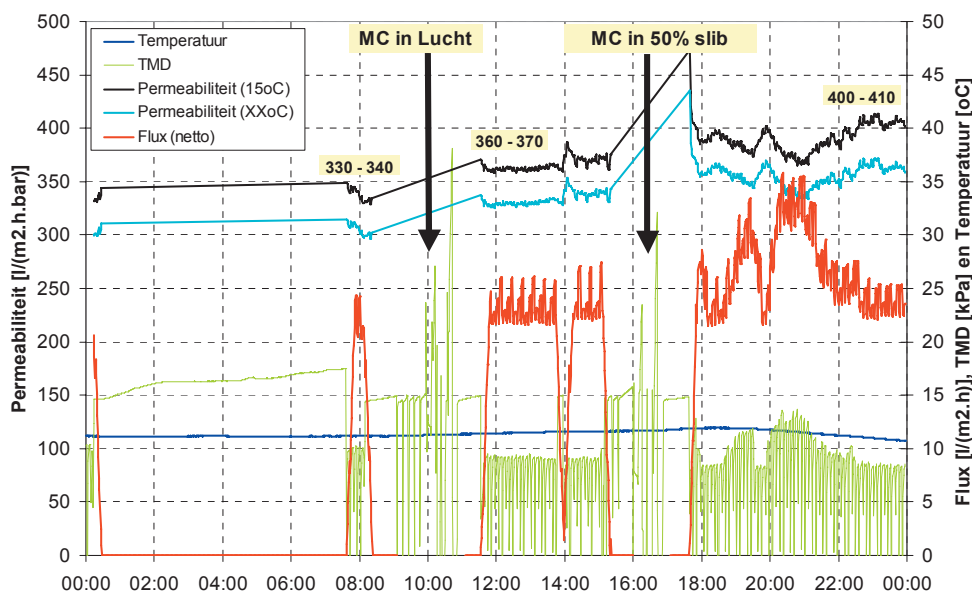
Aan de hand van deze resultaten is de spoeltijd met chemicaliën tijdens een MC verlengd van 45 naar 90 sec. Bij een automatische reiniging betekent dit dat niet alleen de citroenzuur- maar ook de NaOCl-spoeltijd wordt verdubbeld. Ook is de reinigungsfrequentie verhoogd van éénmaal per 2 weken naar éénmaal per week.

#### 4.3.3 INVLOED VAN HET NIVEAU IN DE MEMBRAANTANK

Tevens is onderzocht in welke mate het niveau van het slib in de membraantank tijdens een MC invloed uitoefent op het effect van de reiniging. Naar verwachting zal de tegendruk van slib op het membraan een rol spelen bij de chemicaliëndistributie over de lengte van het membraan en de druk waarmee de chemicaliënspoeling wordt uitgevoerd. Om dit te testen zijn reinigingen uitgevoerd bij verschillende vulniveaus, waarbij de membranen zich in 0% (lucht), 50%, 75% of 100% slib bevonden. Het effect van een reinigungsprocedure is afhankelijk van de intensiteit, het vulniveau en van de reinigungs historie. Interessant hierbij was dat het uitvoeren van twee reinigingen gelijk na elkaar, eerst in lucht en daarna in 50% medium, bij beide stappen een even grote permeabiliteitstoename waarneembaar was (zie Afbeelding 20).

AFBEELDING 20

HET EFFECT VAN TWEE REINIGINGSPROCEDURES OP ÉÉN DAG (2 DECEMBER 2005 IN MEMBRAANSTRAAT 2)



Vermoedelijk heeft het slibniveau in de tank tijdens een MC invloed op welk gedeelte van het membraan gereinigd wordt. Is de tank leeg, dan zullen chemicaliën voor het grootste gedeelte door het onderste gedeelte van het membraan gespoeld worden. Bij een volle tank zal de verdeling van de chemicaliën over de lengte van de membraan gelijkmatiger zijn. Ook de inweektijd is echter van belang bij de reiniging. Deze inweekperiode heeft minder effect in het gedeelte van het membraan, dat ondergedompeld is in slib, aangezien de werking van de chemicaliën voor een groot gedeelte door het slib wordt opgeheven. Om de membranen zo goed mogelijk te reinigen is daarom besloten het niveau tijdens een reiniging elke keer te variëren, zodat elk gedeelte van het membraan regelmatig gereinigd wordt.

#### 4.3.4 INVLOED VAN DE PARAAATMODE

Een nadere beschouwing van de verschillende reinigingsmethoden toonde aan dat niet elke reiniging evenveel effect had. Bij gelijke reinigingsprocedures had een reiniging de ene keer veel effect en de andere keer geen effect. Hiertoe zijn een groot aantal reinigingen geanalyseerd. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het effect van de reiniging sterk afhankelijk is van de procestoestand van de membraantank (proces- of paraatmode) voorafgaand aan de reiniging.

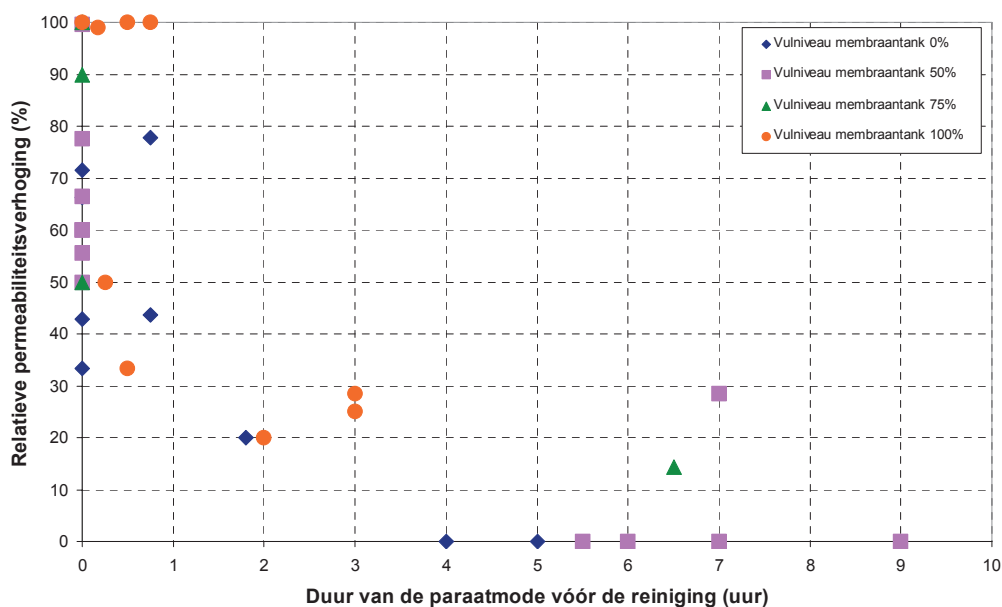
In Afbeelding 21 zijn de geanalyseerde reinigingen van alle membraanstraten weergegeven die in december 2005 en januari 2006 zijn uitgevoerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in het vulniveau van de membraantank tijdens de reiniging. In deze afbeelding is de relatieve permeabiliteitsverhoging weergegeven in relatie tot de lengte van de paraatmode voordat de reiniging plaatsvond. De relatieve permeabiliteitsverhoging geeft aan in welke mate het maximaal te realiseren reinigingseffect wordt gehaald, en is als volgt berekend:

$$\Delta P_{\text{relatief}} = \frac{P_{\text{na reiniging}} - P_{\text{voor reiniging}}}{P_{\text{maximaal}} - P_{\text{voor reiniging}}} \times 100\%$$

met:

$\Delta P_{\text{relatief}}$	=	Relatieve permeabiliteitsverhoging	[%]
$P_{\text{na reiniging}}$	=	Permeabiliteit na de reiniging	[l/(m <sup>2</sup> .h.bar)]
$P_{\text{voor reiniging}}$	=	Permeabiliteit na de reiniging	[l/(m <sup>2</sup> .h.bar)]
$P_{\text{maximaal}}$	=	Maximale permeabiliteit van de betreffende straat	[l/(m <sup>2</sup> .h.bar)]

AFBEELDING 21 HET EFFECT VAN DE DUUR VAN DE PARAAATMODE OP HET REINIGINGSEFFECT



Uit Afbeelding 21 blijkt dat de effectiviteit van een reiniging het grootst is als vóór de reiniging geen paraatmode maar procesmode (= permeaatonttrekking) heeft plaatsgevonden. Indien de duur van de paraatmode korter is dan 1 uur is de relatieve permeabiliteitsstijging altijd groter dan 30%. Indien de duur van de paraatmode groter is dan 1 uur is de relatieve permeabiliteitsstijging altijd minder dan 30%. Het vulniveau van de membraantank heeft hierop geen invloed.

Tijdens de paraatmode van de geanalyseerde reinigingen bleek regelmatig een drukafname in de leiding plaats te vinden. Deze kan alleen worden veroorzaakt door een verlaging van het niveau in de leiding. Dit wordt niet veroorzaakt door lekkages in het leidingwerk of de afsluiters, maar waarschijnlijk door ontgassing van het permeaat. Ten gevolge van de overmatige beluchting in de membraantank zal er veel lucht worden opgelost in het water. Het oververzadigde permeaat zal in de permeaatleiding, waar een onderdruk heerst, ontgassen.

Een langdurige paraatmode leidt tot een grote hoeveelheid lucht in de permeaatleiding. De lucht is visueel waar te nemen tijdens het terugspoelen na paraatmode (zie Afbeelding 22).

AFBEELDING 22 LUCHT IN DE PERMEAATLEIDING TIJDENS PERMEAATONTREKKING NA PARAAATMODE



Indien er vanuit paraatmode wordt gereinigd wordt een grote hoeveelheid lucht naar de permeaatheder teruggespoeld. Een deel van deze lucht zal mogelijk in de membranen terechtkomen, wat een afname van de reinigingseffectiviteit tot gevolg kan hebben. Lucht kan niet door het membraan en zal als een soort luchtslot gaan fungeren in het membraan. Hierdoor zal een gelijkmatige verspreiding van de chemicaliën in het membraan worden verstoord.

Op de MBR Varsseveld zal de automatische reinigingsprocedure zodanig worden aangepast dat een reiniging altijd vooraf zal worden gegaan door minstens één uur procesmode. Vooral in de winterperiode zal de leiding eerst goed ontluicht moeten worden, alvorens een reiniging wordt ingezet, om zo het beste reinigingseffect te verkrijgen en zo weinig mogelijk chemicaliën te gebruiken. De oplosbaarheid van lucht in water is groter naarmate de temperatuur daalt. De ontgassing zal daardoor bij lagere temperatuur een grotere invloed hebben. Vergelijking van het drukverloop tijdens paraatmode in de zomerperiode en de winterperiode wijst ook uit dat bij hoge temperaturen nauwelijks, en bij lagere temperaturen een aanzienlijke drukafname plaatsvindt. Dit verschil is te zien in de afbeeldingen in bijlage 4. In de afbeeldingen is te zien dat tijdens de zomerperiode de druk niet tot nauwelijks afneemt tijdens paraatmode (flux = 0), maar tijdens de winterperiode aanzienlijk.

#### 4.3.5 CONCLUSIES

Voor het optimale reinigingseffect van een MC zal rekening moeten worden gehouden met de volgende punten:

- Een MC wordt bij voorkeur uitgevoerd vanuit procesmode en niet vanuit paraatmode.
- Vooral in de winterperioden dient de leiding goed ontluicht te worden alvorens over wordt gegaan op een MC.
- Een MC dient regelmatig in een ander slibniveau uitgevoerd te worden;
- De chemicaliën dienen goed te worden afgesteld op de samenstelling van het slib.  
Bij een hoge organische fractie dient een sterke oxidator te worden gebruikt (NaOCl) en bij een hoge anorganische fractie dient een zuur te worden gebruikt.
- De hoeveelheid chemicaliën is van belang. Er lijkt in ieder geval 90 sec gespoeld te moeten worden met chemicaliën voor een goed resultaat.

#### 4.4 MEMBRAANAUTOPSIE

Het effect van de MC reinigingsprocedure op de verwijdering van de membraanvervuiling is onderzocht met behulp van membraanautopsies. Medio maart 2006 zijn verschillende membraanmonsters genomen vóór en na de uitvoering van een reinigingsprocedure. In totaal zijn 8 membraanmonsters geanalyseerd. De helft hiervan is van membraantank 2 waarin een reiniging in 50% slib heeft plaatsgevonden. De andere helft is van membraantank 4, vóór en na een MC in lucht. Per membraan is een deel van de onderkant en van de bovenkant onderzocht. De toegepaste technieken zijn electronenmicroscopie (SEM-XRMA) en lichtmicroscopie (visueel en stereomicroscopisch). Hiermee kan de aard van de vervuiling (anorganisch en/of organisch) worden vastgesteld en een elementenanalyse worden uitgevoerd.

Aan het buitenoppervlak van de membranen wordt, indien vervuild, over het algemeen een organische afzetting en een anorganische afzetting waargenomen. De organische afzetting bestaat mogelijk uit schimmels en is niet nader onderzocht. De anorganische afzetting bestaat over het algemeen uit aluminiumsilicaten en ijzer- en calcium-verbindingen met fosfaat. Het binnenoppervlak van de membranen is schoon. De resultaten van de membraanautopsies zijn kwalitatief weergegeven in Tabel 12.

TABEL 12 RESULTATEN VAN DE MEMBRAANAUTOPSIES

Monster	Tank	Reiniging	Positie	Tijdstip	Kwalitatieve waarneming
1	2	50% gevuld	boven	vóór reiniging	flinke vervuiling
2				na reiniging	vervuiling wordt iets minder
3			onder	vóór reiniging	geringe vervuiling
4				na reiniging	vervuiling wordt iets minder
5	4	in lucht	boven	vóór reiniging	flinke vervuiling
6				na reiniging	vervuiling blijft aanwezig
7			onder	vóór reiniging	geringe vervuiling
8				na reiniging	vervuiling wordt geheel verwijderd

Opvallend aan de resultaten uit bovenstaande tabel is dat in beide tanks het bovenste deel van de membranen meer vervuild is dan het onderste deel van de membranen. Sinds enkele maanden vinden afwisselend reiniging in lucht en in 25, 50 of 75% slib plaats (zie §4.3.3). Blijkbaar heeft dit reinigingsregime tot gevolg dat de membranen aan de onderkant aanmerkelijk schoner zijn dan aan de bovenkant.

Ten gevolge van een reiniging in lucht (membraantank 4) wordt met name het onderste deel van de membranen aantoonbaar gereinigd. De aanzienlijke vervuiling op het bovenste deel lijkt nauwelijks te worden aangepakt. De reiniging in 50% slib (membraantank 2) heeft op zowel het onderste als het bovenste deel van de membranen een positief effect. Het reinigingseffect van het onderste deel lijkt minder groot te zijn dan bij de reiniging in lucht.

# 5

## OPSCHALING

### 5.1 INLEIDING

De MBR Varsseveld is de eerste grootschalige MBR-installatie van Nederland. De ervaring met MBR was tot nu toe gebaseerd op onderzoek met pilot-installaties met een capaciteit van 2 tot 20 m<sup>3</sup>/h. De capaciteit van de MBR Varsseveld is circa 40 maal groter dan die van de grootste pilot-installatie.

Op de simulatie-unit van de rwzi Varsseveld is onderzoek uitgevoerd met een membraanfiltratie-installatie met “slechts” drie membraanelementen. Deze drie elementen waren geplaatst in één membraantank welke in principe continu in bedrijf was op een gemiddeld relatief lage flux. De full-scale installatie van Varsseveld bestaat uit vier membraantanks, waarbij elke membraantank 160 membraanelementen verdeeld over 4 cassettes bevat. Het aantal membraantanks dat in bedrijf is, is afhankelijk van de aanvoer van de installatie. Gemiddeld zijn 1,8 van de 4 membraanstraten in bedrijf (in *procesmode*). Dat wil zeggen dat 2,2 van de 4 membraanstraten in de pauzestand staan (in *paraatmode*). In vergelijking met een pilot-installatie zijn de membranen vaker in een rusttoestand, maar als ze actief zijn is dit wel bij een hogere flux.

De opschaling van de membraanfiltratie-installatie staat centraal in dit hoofdstuk. In §5.2 wordt allereerst de ontwerpfilosofie van de membraantanks van Varsseveld toegelicht. In §5.3 is het onderzoek aan de filtratiebalans beschreven. Hierbij is onderzocht of de membraancassettes in de verschillende tanks en binnen één tank gelijk functioneren. In §5.4 is de terugspoeling van de membranen nader onderzocht. De resultaten zijn samengevat weergegeven in §5.5.

### 5.2 SYMMETRIE

De membraantank zoals die in Varsseveld is gebouwd staat model voor de standaard membraantank voor grootschalige MBR-toepassingen. Bij het ontwerp van deze tank is de symmetrie van het systeem als uitgangspunt gehanteerd. Dit betekent dat zowel de toevoer als de afvoer van het actiefslib gelijkmatig over de gehele membraantank dient plaats te vinden. De invoer- en afvoerconstructie zijn weergegeven in Afbeelding 23.

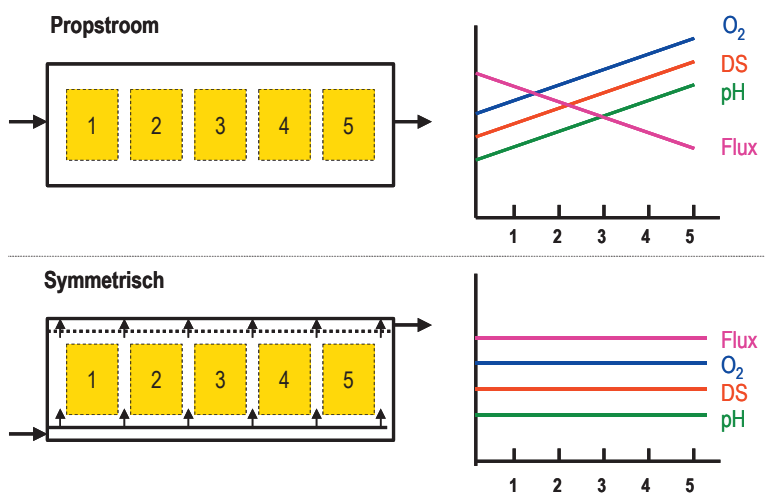
AFBEELDING 23 DE TOEVOERLEIDING (LINKS ONDER) EN AFVOERGROOT (RECHTS BOVEN) VAN DE MEMBRAANTANK



De toevoerleiding bevindt zich nabij de bodem van de membraantank. De leiding is voorzien van 6 openingen, gelijk verdeeld over de lengte van de leiding, van waaruit de toevoer gelijkmatig over de lengte van de tank wordt verdeeld. De afvoergoot bevindt zich aan het wateroppervlak aan de tegenoverliggende zijde en over de hele lengte van de membraantank. Het retourstroom stroomt over in de afvoergoot en wordt teruggevoerd naar de beluchtingstank.

Een gevolg van deze gelijkmatige toe- en afvoer is dat de omstandigheden voor alle membraancassettes in een tank gelijk zijn. Dit zou tot gevolg moeten hebben dat de flux en de permeabiliteit van deze cassettes gelijk is. Het principe van het symmetrisch ontwerp is weergegeven in Afbeelding 24. Hierin is een symmetrisch ontwerp vergeleken met een propstroom systeem waarbij de aanvoer aan de ene korte zijde en de afvoer aan de andere korte zijde plaatsvindt.

AFBEELDING 24 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN PROPSTROOM EN SYMMETRISCH ONTWERP VAN EEN MEMBRAANTANK

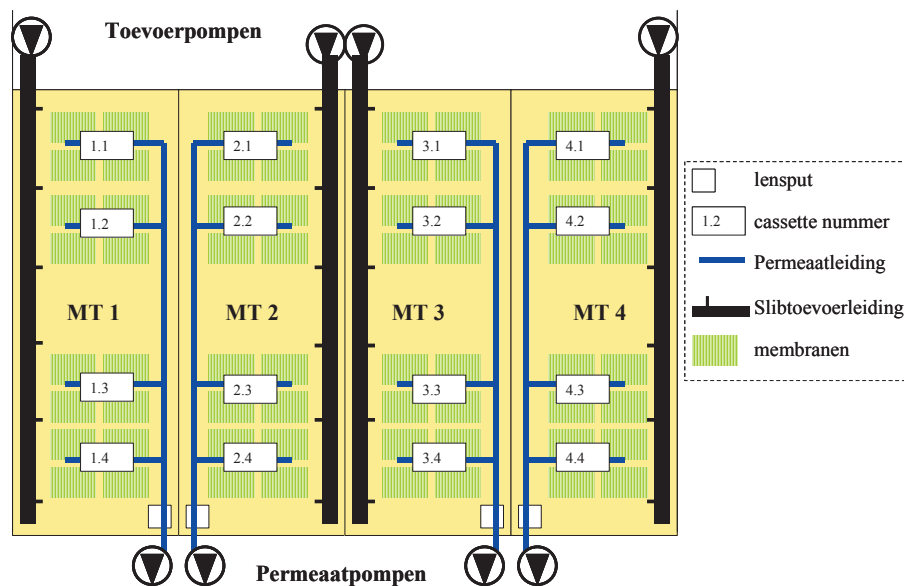




De hydraulische verdeling binnen een membraantank is onderzocht in de deelstudie "OC en hydraulica" van het onderzoeksproject. De conclusie van dit onderzoek is dat de membraantanks als volledig gemengd kunnen worden beschouwd.

De indeling van de membraantanks en de nummering van de verschillende membraancassettes is schematisch weergegeven in Afbeelding 25.

AFBEELDING 25 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE MEMBRAANTANKS



## 5.3 FILTRATIEBALANS

### 5.3.1 INLEIDING

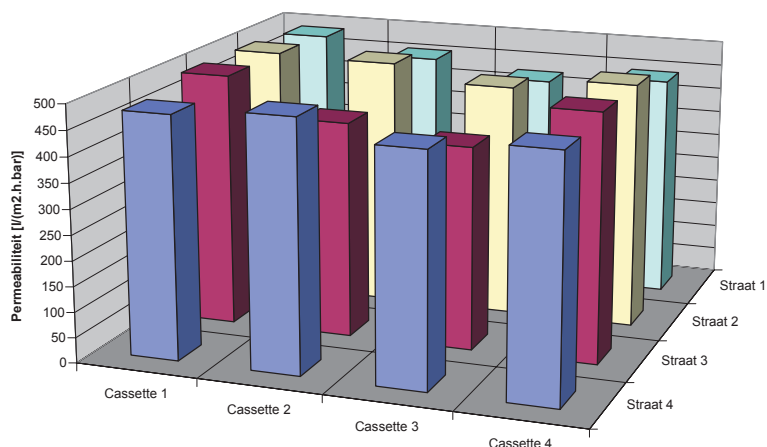
Bij het vaststellen van filtratiebalans worden de verschillen in de werking van de verschillende membraancassettes onderzocht. Tijdens de inbedrijfname van de membraaninstallatie is al de schoonwater permeabiliteit (CWP) van de verschillende membraanstraten gemeten (zie §2.3.4). Hierbij is ook de CWP per cassette bepaald. De resultaten hiervan zijn weergegeven in §5.3.2. In een ideale situatie functioneren alle membraancassettes onder gelijke omstandigheden. Het gevolg hiervan zou moeten zijn dat ook de werking van de verschillende membraancassettes gelijk is. Het onderzoek aan deze filtratiebalans is beschreven in §5.3.3.

### 5.3.2 CWP-METINGEN PER CASSETTE

Bij de CWP-metingen is de permeabiliteit van elke membraanstraat en elke cassette in schoonwater gemeten. Hierbij is gedurende een bepaalde tijd continu permeaat onttrokken met een constante flux. De permeabiliteit per cassette is gemeten bij een relatief hoge flux aangezien de minimale capaciteit van de permeaatpomp 50 m<sup>3</sup>/h is. De minimale flux over één cassette van 1.260 m<sup>2</sup> is daardoor circa 40 l/(m<sup>2</sup>.h). Dit is van dezelfde orde grootte als de ontwerpflux van de MBR Varsseveld (37,5 l/(m<sup>2</sup>.h)).

De resultaten van de CWP-metingen per cassette zijn weergegeven in Afbeelding 26.

AFBEELDING 26 CWP-BEPALING PER CASSETTE



	Cassette 1	Cassette 2	Cassette 3	Cassette 4
■ Straat 4	477	493	454	474
■ Straat 3	512	426	400	487
■ Straat 2	498	494	463	486
■ Straat 1	488	455	425	443

De resultaten tonen aan dat er verschillen zijn tussen de verschillende straten en tussen de membraancassettes onderling binnen een straat. Met name in straat 3 zijn de verschillen tussen de cassettes groot en varieert de CWP van 400 tot 512 l/(m<sup>2</sup>.h.bar). De cassettes in straat 4 vertonen de grootste gelijkheid, de permeabiliteit per cassette varieert hier van 454 tot 493 l/(m<sup>2</sup>.h.bar).

### 5.3.3 FILTRATIEBALANS IN SLIB

In september 2005 is de permeabiliteit van de verschillende membraancassettes bij een constante flux in slib gemeten. De opzet van de metingen vertoont gelijkenis met de CWP-metingen per cassette welke in §5.3.2 zijn gepresenteerd. De metingen per cassette zijn ook hierbij uitgevoerd bij een relatief hoge flux van 40 l/(m<sup>2</sup>.h), aangezien de minimum capaciteit van de permeaatpomp 50 m<sup>3</sup>/h bedraagt. Daarnaast is voor elke combinatie van 2 cassettes een permeabiliteitsmeting bij 20 l/(m<sup>2</sup>.h) uitgevoerd. Door de resultaten van deze metingen met elkaar te vergelijken is de permeabiliteitsverdeling over de verschillende cassettes bij de ontwerpflux vastgesteld.

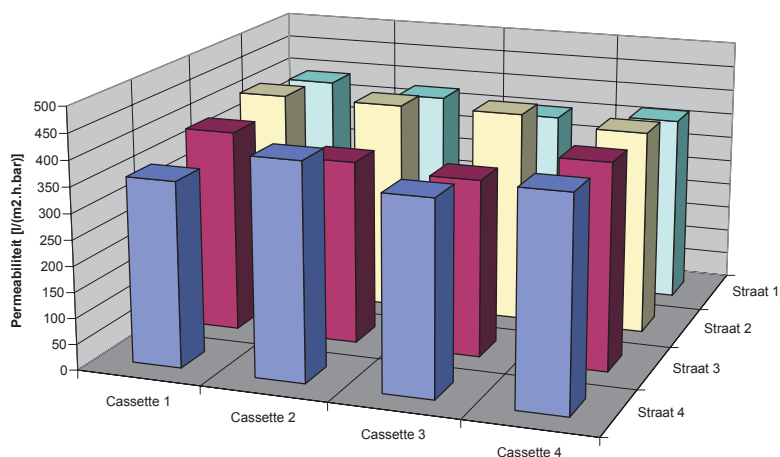
De opzet van de metingen per membraantank is weergegeven in Tabel 13.

TABEL 13 OPZET FILTRATIEBALANS METINGEN PER MEMBRAANTANK

Nr.	Debiet	Aantal cassettes	Flux	Cassette 1	Cassette 2	Cassette 3	Cassette 4
[-]	[m <sup>3</sup> /h]	[-]	[l/(m <sup>2</sup> .h)]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	50	1	40	X			
2	50	1	40		X		
3	50	1	40			X	
4	50	1	40				X
5	50	2	20	X	X		
6	50	2	20	X		X	
7	50	2	20	X			X
8	50	2	20		X	X	
9	50	2	20		X		X
10	50	2	20			X	X

De metingen zijn onder de standaard bedrijfsomstandigheden (beluchttingscapaciteit, cyclusunstellingen, biomassatoevoer) uitgevoerd. Per meting zijn 5 permeaatcycli doorlopen, wat neerkomt op een meettijd van circa 30 minuten per meting. De resultaten van de filtratiebalans metingen in slib zijn samengevat weergegeven in Afbeelding 27.

AFBEELDING 27 PERMEABILITEIT (GECORRIGEERD VOOR 15°C) PER CASSETTE



	Cassette 1	Cassette 2	Cassette 3	Cassette 4
■ Straat 4	358	418	373	406
■ Straat 3	393	356	343	399
□ Straat 2	413	412	414	397
□ Straat 1	391	376	354	366

Uit de resultaten blijkt dat, net als bij de CWP-testen (zie §5.3.2), met name in straat 3 de verschillen tussen de cassettes relatief groot zijn. De permeabiliteit varieert hier van 343 tot 399 l/(m<sup>2</sup>.h.bar).

#### 5.3.4 CONCLUSIES

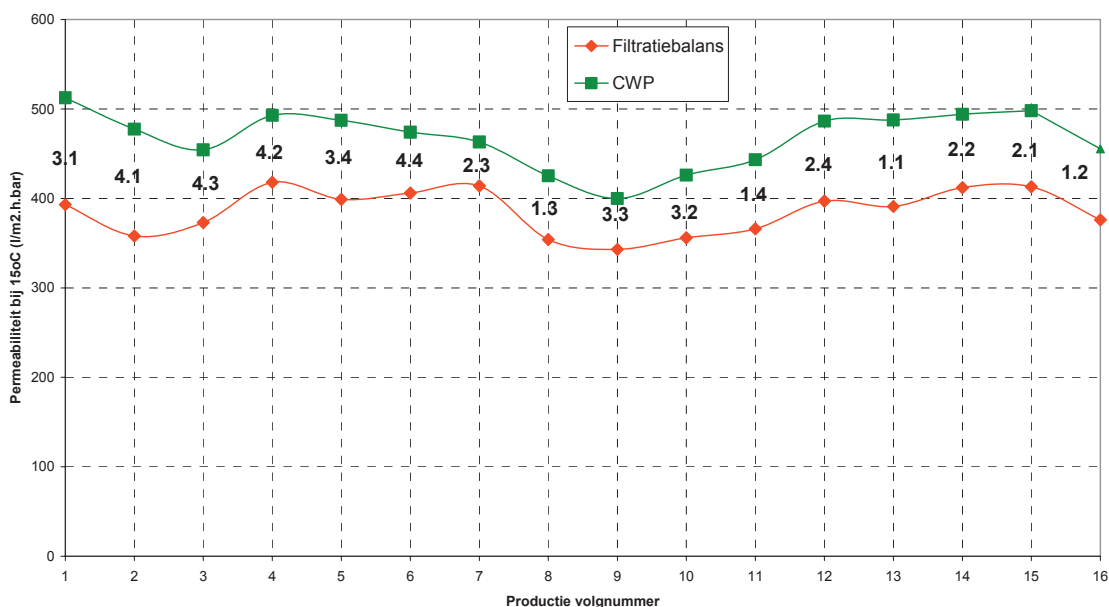
De overkomst tussen de CWP-metingen (november 2004, in schoonwater, zie §5.3.2) en de filtratiebalansmetingen (september 2005, in slib, zie §5.3.3) is opvallend. In Afbeelding 28 zijn de relatieve permeabiliteiten per cassette voor beide metingen weergegeven. De relatieve permeabiliteit is hierbij bepaald door de gemeten permeabiliteit per cassette te delen door de gemiddelde permeabiliteit van alle cassettes. Uit deze grafiek blijkt dat de permeabiliteit van een cassette sterk is gerelateerd aan de CWP-waarde van de nieuwe membranen.

AFBEELDING 28 PERMEABILITEIT (RELATIEF) PER CASSETTE BIJ DE CWP- EN FILTRATIEBALANS METINGEN



De verschillen tussen de CWP-waarden van de cassettes zijn mogelijk het gevolg van variaties in de membraankwaliteit. Door een wijziging in de instellingen van het productieproces kan de kwaliteit, en daarmee de permeabiliteit, van het membraan veranderen. Elk membraan-element heeft een identificatienummer op basis waarvan kan worden nagegaan wanneer deze is geproduceerd. Op basis van deze informatie is de permeabiliteit uitgezet tegen de productievolvergorder van de membraancassettes.

AFBEELDING 29 RESULTATEN VAN DE METINGEN IN RELATIE TOT DE PRODUCTIEVOLGORDE VAN DE MEMBRANEN



Uit bovenstaande afbeelding blijkt dat de kwaliteit van de membranen onderhevig is aan geleidelijke variaties. Het lijkt daardoor aannemelijk om te veronderstellen dat de verschillen in CWP worden veroorzaakt door verschillen in het productieproces. De absolute CWP-waarde per membraanstraat is daardoor afhankelijk van de herkomst van de membraancassettes. De maximale verschillen tussen de cassettes, uitgedrukt als permeabiliteit, bedragen 25-30%.

## 5.4 DISTRIBUTIE CHEMICALIËN

### 5.4.1 INLEIDING

Op de MBR Varsseveld wordt gebruik gemaakt van een maintenance cleaning (MC) om de conditie van de membranen optimaal te houden (zie hoofdstuk 4). Hierbij wordt met de permeaatpompen permeaat teruggepompt vanuit de permeaatbuffer naar de membranen. Hieraan worden reinigingschemicaliën toegevoegd. Dit permeaat spoelt de membranen van binnenuit, waardoor interne en externe vervuiling wordt verwijderd.

Van groot belang voor een stabiele werking van de membranen is dat de reinigingschemicaliën gelijkmatig over alle membraanelementen worden verdeeld. Als dit niet het geval is zal het ene element minder goed worden gereinigd dan het andere en zal een onbalans in de membraaninstallatie ontstaan. De in deze paragraaf beschreven experimenten hebben als doel om te onderzoeken of de chemicaliën gelijkmatig over de membranen worden gedistribueerd. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in de volgende effecten:

1. verdeling tussen de membraanstraten
2. verdeling tussen de cassettes binnen één straat
3. verdeling tussen de elementen binnen één cassette
4. verdeling over de lengte van het membraan binnen één element

De verdeling tussen de membraanstraten is geen onderwerp van verder onderzoek. Elke membraanstraat wordt separaat gereinigd en de hoeveelheid chemicaliën die daarbij wordt gebruikt is gelijk.

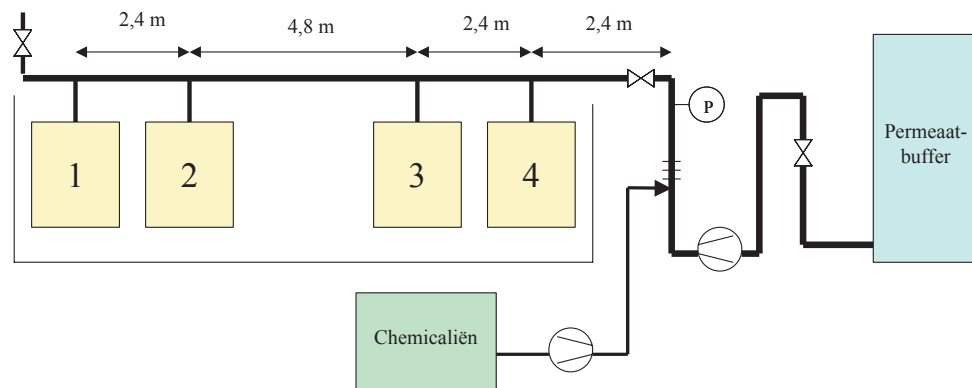
In deze paragraaf zal het onderzoek met betrekking tot deelvraag 2 en 3 worden gepresenteerd. Dit zijn beide aspecten die zijn gerelateerd aan de opschaling van pilotschaal naar praktijkschaal. Allereerst zal hiertoe een beeld worden geschetst van het distributiesysteem in §5.4.2. In §5.4.3 wordt vervolgens de opzet van de distributiemetingen uiteengezet. De resultaten tenslotte, worden gepresenteerd in §5.4.4.

De verticale verdeling binnen een membraan is in deze studie niet onderzocht. De verticale verdeling binnen een membraan is karakteristiek voor de ZW500d cassette en heeft daarmee geen relatie met de opschaling van pilot- naar praktijkschaal. In §4.3.3 en §4.4 is over dit onderwerp in het kader van de optimalisatie van de chemische reiniging wel één en ander opgenomen.

### 5.4.2 DISTRIBUTIESYSTEEM

De chemicaliën worden vlak na de permeaatpomp in de permeaatleiding gebracht. In de permeaatleiding vindt met behulp van een statische menger opmenging van permeaat en chemicaliën plaats. Het principe van de chemicaliëndosering tijdens een (SI)MC is schematisch weergegeven in Afbeelding 30.

AFBEELDING 30 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE CHEMICALIËNDOSERING



De chemicaliëndosering bestaat uit een aantal stappen. Voor de citroenzuurdosering welke sinds december 2005 plaatsvindt zijn deze stappen als volgt (zie ook Tabel 10):

- Eerste warme spoeling met chemicaliën (225 m<sup>3</sup>/h gedurende 90 sec);
- Inweektijd (400 sec);
- Tweede koude spoeling met chemicaliën (225 m<sup>3</sup>/h gedurende 90 sec);
- Inweektijd (400 sec);
- Naspoelen met koud permeaat.

Tijdens de eerste chemicaliënspoeling zullen de chemicaliën de cassette het dichtst bij de permeaatpomp (cassette nummer 4, zie Afbeelding 25) eerder bereiken dan de laatste cassette (nummer 1). Het tijdsverschil bedraagt circa 12 seconden bij 40 l/(m<sup>2</sup>.h) en zelfs 24 seconden bij 20 l/(m<sup>2</sup>.h). De chemicaliën die de membranen tijdens de eerste spoeling niet bereiken zullen deze vervolgens in de tweede spoeling bereiken. Na de laatste spoeling staat de permeaatleiding, vanaf het doseerpunt, vol met de chemicaliënoplossing. Deze wordt in de naspoeling met permeaat alsnog door de membranen gespoeld. Na deze naspoeling vindt echter geen inweking plaats waardoor deze chemicaliën minder effectief zullen zijn.

Het gevolg hiervan is dat de effectieve contacttijd van de chemicaliën per cassette verschillend is. Bij de bovengenoemde instellingen is de effectieve contacttijd van cassette 1 ca. 6% lager dan die van cassette 4. Voor de warme spoeling geldt zelfs dat de effectieve contacttijd van cassette 1 ca. 12% lager is dan die van cassette 4. Op basis van deze verschillen kan worden geconcludeerd dat de chemische reiniging van de cassettes binnen een tank niet gelijk is.

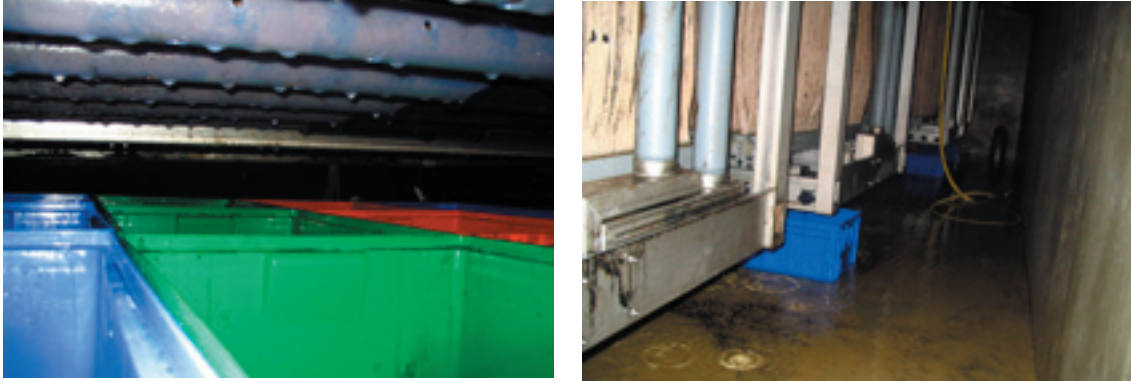
#### 5.4.3 OPZET METINGEN

De verdeling tussen de cassettes en binnen de cassettes is vastgesteld door het teruggespoelde permeaat (zonder chemicaliën) op te vangen met behulp van bakken die onder de cassettes zijn geplaatst. Voor deze experimenten is gebruik gemaakt van twaalf opvangbakken van 90 liter (1 x b x h = 65,0 x 47,0 x 30,0 cm). De experimenten zijn uitgevoerd in membraanstraat 2 en 3. Deze membraantanks zijn gekozen omdat uit de CWP en filtratiebalans metingen is gebleken dat de cassettes in membraantank 2 de kleinste en die in membraantank 3 de grootste verschillen vertonen (zie Afbeelding 28 in §5.3.4).

Er zijn twee typen metingen uitgevoerd:

- Metingen waarbij telkens het permeaat onder één van de cassettes is opgevangen om zodoende de verdeling binnen een cassette te kunnen bepalen. Een impressie van de meetopstelling is te zien op de linkerfoto van Afbeelding 31;
- Metingen waarbij van vier cassettes in een tank een deel van het permeaat is opgevangen. Deze metingen zijn alleen uitgevoerd in membraantank 2 (zie Afbeelding 31, rechts).

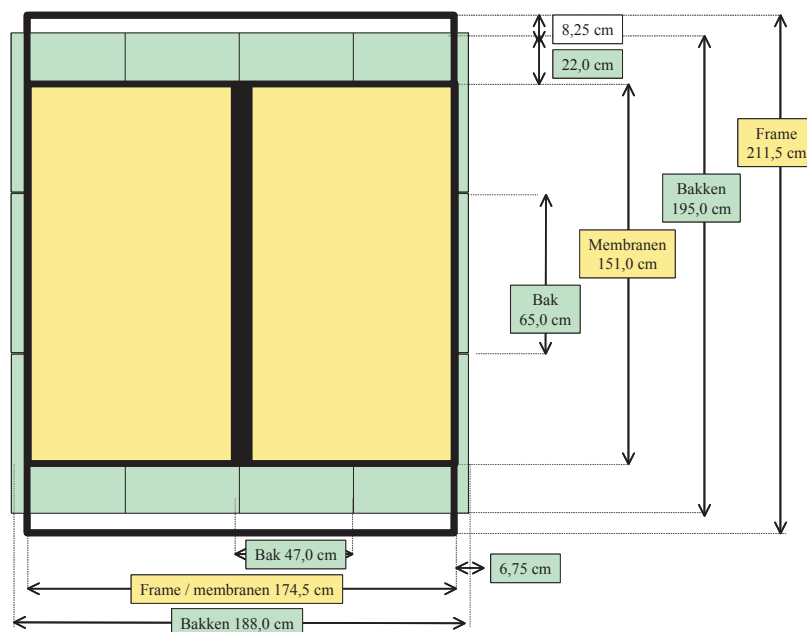
AFBEELDING 31 MEETOPSTELLINGEN VAN DE DISTRIBUTIETESTEN



Alle uitgevoerde experimenten zijn in duplo (of triplo) uitgevoerd. Er is veel aandacht besteed aan de optimalisatie van de meting, met name aan de opstelling van de bakken en het voorkomen van preferente stromingen vanaf de cassettes. Aan de hand van het waterniveau in elke bak is de distributie over de cassette bepaald. Door het optellen van alle volumina is de verdeling tussen de verschillende cassettes berekend.

De afmetingen van de membraancassettes en de opvangbakken zijn weergegeven in Afbeelding 32. Hierbij is te zien dat de bakken aan de zijkant uitsteken. Het gevolg is dat de membraancassette in 12 vlakken kan worden verdeeld waarbij het geprojecteerde membraanoppervlak boven de twee middelste bakken groter is dan die aan de zijkanten.

AFBEELDING 32 BOVENAANZICHT MET AFMETINGEN VAN EEN MEMBRAANCASSETTE (GEEL) EN DE OPVANGBAKKEN (GROEN)



De experimenten zijn uitgevoerd bij een terugspoeldebiet van 225 m<sup>3</sup>/h over de hele membraantank, wat overeenkomt met het debiet dat wordt toegepast bij de MC reinigingen. Dit debiet komt overeen met een (bruto) flux van circa 45 l/(m<sup>2</sup>.h).

#### 5.4.4 RESULTATEN

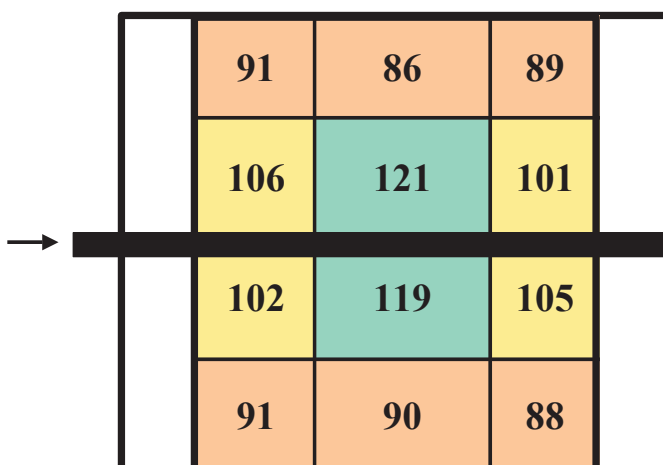
De belangrijkste resultaten van de metingen per cassette in membraantank 2 zijn schematisch weergegeven bijlage 5. In deze afbeelding is per meting aangegeven hoe de fluxverdeling binnen een cassette is. De gemiddelde flux van de gehele cassette is boven de cassette weergegeven. De getallen in de vakjes van elke cassette geven aan hoe hoog de flux in dit deel van de cassette relatief is geweest (in procenten) ten opzichte van de gemiddelde flux van de hele cassette. Met behulp van kleuren is het resultaat in drie categorieën onderverdeeld:

- oranje : flux is lager dan 92% van het gemiddelde;
- geel : flux is tussen 92 en 108 % van het gemiddelde;
- groen : flux is hoger dan 108% van het gemiddelde.

De gemiddelde verdeling van alle metingen is weergegeven in Afbeelding 33.

De hydraulische verdeling binnen een cassette laat zien dat in het midden van de cassette relatief meer water wordt teruggespoeld dan aan de zijkanten. Deze verdeling is ongeveer gelijk voor alle cassette binnen een tank, er zijn geen significante verschillen te zien tussen de eerste en de laatste cassette.

AFBEELDING 33 DE GEMIDDELDE VERDELING BINNEN DE CASSETTE (IN PROCENTEN)



Op basis van de experimenten kan tevens worden bepaald hoe de verdeling over de verschillende cassettes binnen een membraantank is. De resultaten van de verschillende metingen zijn weergegeven in Tabel 14.

TABEL 14 VERDELING (IN PROCENTEN) OVER DE CASSETTES BINNEN EEN MEMBRAANTANK

Test	Membraantank	Cassette 1	Cassette 2	Cassette 3	Cassette 4
Distributie per tank	2	101	102	99	97
Distributie per cassette	2	99	104	101	96
Distributie per cassette	3	110	94	87	110



De verdeling tussen de cassettes in membraantank 2 is gelijkmatig. Beide meetprincipes geven bovendien ongeveer dezelfde verdeling te zien. Binnen membraantank 3 daarentegen zijn grote verschillen tussen de cassettes te zien. Het verschil tussen de cassettes is meer dan 20%.

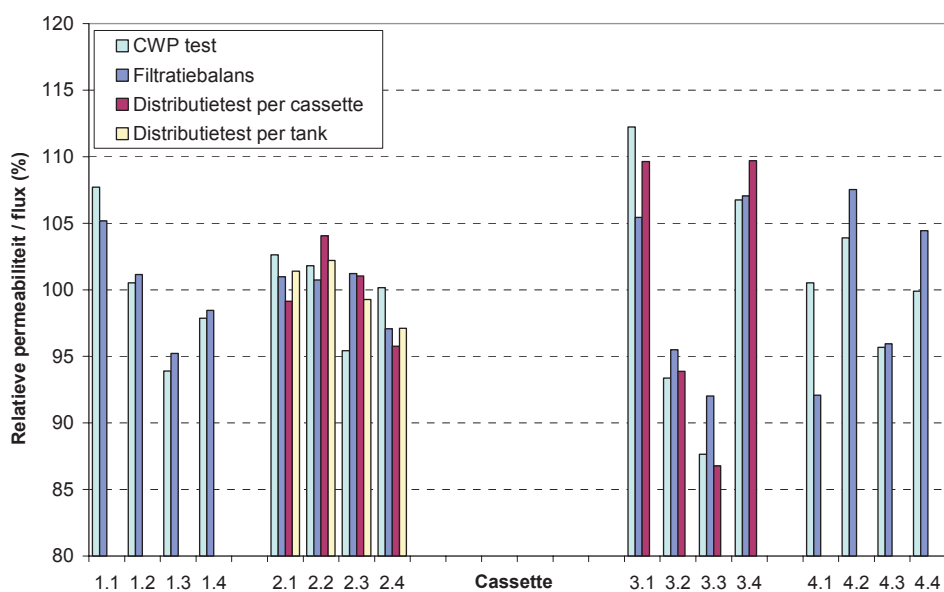
## 5.5 EVALUATIE

In Afbeelding 34 zijn de resultaten uit Tabel 14 in één grafiek geplaatst met de resultaten van de van CWP-testen en de filtratiebalans testen. Hieruit blijkt dat de CWP niet alleen bepalend is voor de permeabiliteit maar ook voor de hydraulische verdeling tijdens het terugspoelen.

Een cassette met een lagere CWP zal tijdens een (SI)MC-reiniging minder chemicaliën ontvangen dan een andere cassette. Dit zou in principe tot een onbalans in het systeem kunnen leiden. Doordat de cassette een lage permeabiliteit heeft wordt deze minder gereinigd en zal de permeabiliteit mogelijk nog verder dalen. In de praktijk blijkt deze vicieuze cirkel echter niet op te treden. De resultaten van de filtratiebalans metingen tonen namelijk aan dat de permeabiliteit van de cassettes met een relatief lage CWP weliswaar ook lager is, maar een verslechtering ten opzichte van de andere cassettes is (vooralsnog) niet aantoonbaar.

Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat de membraanvervuiling tussen de verschillende modules in evenwicht is.

AFBEELDING 34 VERDELING TUSSEN DE CASSETTES AAN DE HAND VAN DE VERSCHILLENDE MEETMETHODEN



# 6

## EVALUATIE

### 6.1 INLEIDING

Het eerste jaar van de membraanfiltratie-installatie van de MBR Varsseveld heeft in het teken gestaan van optimalisatie van de procesinstellingen en onderzoek naar de opschalings-effecten. De optimalisaties hebben geleid tot een beter functionerende installatie die minder energie verbruikt. Het onderzoek heeft de inzichten in het functioneren van de membranen vergroot. Op basis van deze resultaten kan de ontwerpfilosofie van een MBR installatie tegen het licht worden gehouden. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste bevindingen van deze deelstudie vertaald naar consequenties voor het ontwerp (§6.2) en de bedrijfsvoering (§6.3) van een MBR.

### 6.2 ONTWERP

#### 6.2.1 AFVALWATERSAMENSTELLING

De lozing van een industrieel polymeer heeft in de eerste maanden na de opstart van de installatie tot problemen geleid met de membranen. Een intensieve reiniging was nodig om de permeabiliteit te herstellen. Het toelaten van deze polymeer op de installatie bleek niet langer acceptabel, waardoor een alternatieve oplossing voor de afvoer en behandeling van de deelstroom moest worden gezocht.

Deze ervaringen zijn een belangrijke les voor het ontwerp van toekomstige MBR-installaties. Influentcomponenten die in conventionele installaties nooit tot problemen hebben geleid, kunnen dit wel doen op een MBR-installatie. Componenten die niet via de membranen kunnen worden afgevoerd accumuleren in het systeem en kunnen voor onverwachte problemen zorgen. Een kritische analyse van het afvalwater en van de industriële lozers in het gebied wordt aanbevolen alvorens wordt besloten tot de realisatie van een MBR. Hierbij dient met name te worden gelet op polymeren, oliën en vetten, inerte eroderende deeltjes (b.v. fijn zand), oplosmiddelen (ook schadelijk voor de biologie) en scaling componenten (calcium, magnesium). Bij de membraanleverancier kan eveneens informatie worden ingewonnen over de voor het betreffende membraan kritische componenten.

De ervaring in Varsseveld heeft geleerd dat zelfs het uitvoeren van een pilot-onderzoek niet automatisch leidt tot het signaleren van dergelijke probleemstoffen. Indien er op basis van de kritische analyse van het afvalwater aanwijzingen zijn dat probleemstoffen aanwezig kunnen zijn, dient hieraan in laboratorium- en/of pilot-onderzoek aandacht te worden besteed. Op laboratoriumschaal kan in een gestandaardiseerde opstelling het effect van het afvalwater (bij voorkeur de betreffende deelstroom) op de filtreerbaarheid worden getest. Hierbij dienen zoveel mogelijk de verschillende procesomstandigheden (temperatuurrange, wel of geen chemicaliëndosering, e.d.) die in de praktijk kunnen voorkomen, te worden nagebootst.

### 6.2.2 ONTWERPFLUX

De membranen van de MBR Varsseveld hebben vanaf de intensieve reiniging in april 2005 nagenoeg probleemloos gefunctioneerd. Zowel tijdens de garantiemeting in oktober 2005 als tijdens de normale piekaanvoeren is gebleken dat de membranen in staat zijn de relatief hoge ontwerpfluxen te verwerken. Door het afstemmen van de optimumflux op de actuele omstandigheden (slibkwaliteit, procestemperatuur e.d.) kan de werking van de installatie worden geoptimaliseerd. Hiertoe is een flexibele uitvoering van de installatie wat betreft hardware (regelbereik pompen, luchtverdeling) en procesbesturing noodzakelijk.

### 6.2.3 HYDRAULISCH ONTWERP

De verlaging van de beluchttingscapaciteit tijdens paraatmode heeft geleid tot slibbezinking in de membraantank. Om dit tegen te gaan wordt tijdens paraatmode de toevoerpomp op maximale capaciteit gezet, wat extra energie vraagt. Indien in het ontwerp de afmetingen van de tank kleiner waren gekozen was het wellicht mogelijk geweest om met minder energie de bezinking tegen te gaan.

In het ontwerp van de membraantanks van Varsseveld is ruimte ingebouwd voor extra membranen. Er zijn 4 cassettes geïnstalleerd maar er is plaats voor 5 cassettes. Per cassette zijn 40 elementen geïnstalleerd terwijl er plaats is voor 48. Hiermee heeft de MBR Varsseveld de mogelijkheid om op relatief eenvoudige wijze het membraanoppervlak met 50% uit te breiden. Er is in de membraantank daardoor veel ruimte aanwezig die op dit moment niet wordt benut. Daarnaast is ook de ruimte tussen de membraancassettes onderling en tussen de cassettes en de wanden groter gekozen dan noodzakelijk. Hierdoor ontstaat flexibiliteit doordat bijvoorbeeld eenvoudiger kan worden overgegaan op een ander type membranen. Maar door deze "loze" ruimte in de membraantank is het lastig om volledige menging in alle delen van de tank te krijgen. In het ontwerp van een membraantank dient bij het hydraulisch ontwerp rekening te worden gehouden met dergelijke procesomstandigheden.

### 6.2.4 SYMMETRIE

Symmetrie is een belangrijk uitgangspunt voor het ontwerp van de membraantanks van de MBR Varsseveld geweest. Dit houdt in dat er naar gestreefd is om alle membranen onder gelijke omstandigheden te laten functioneren. Dit is bijvoorbeeld tot uiting gekomen in de constructie van de aanvoerleiding en de afvoergoot in de membraantanks en in de procesbesturing van de verschillende membraanstraten.

Om deze uitgangspunten in de praktijk te testen is in deze studie en in de deelstudie "OC en hydraulica" een aantal aanvullende metingen uitgevoerd. Uit de metingen van de deelstudie "OC en hydraulica" is gebleken dat de hydraulische verdeling binnen de membraantank zeer goed is, vergelijkbaar met een volledig gemengde tank. Ook de filtratiebalans testen tonen indirect aan dat de membraancassettes onder gelijke omstandigheden hebben gefunctioneerd. De permeabiliteit per cassette blijkt met name gerelateerd te zijn aan de schoonwaterpermeabiliteit zoals tijdens de installatiefase is gemeten, oftewel aan de productiekwaliteit van de membranen. Een jaar procesvoering hebben de verschillen tussen de cassettes niet wezenlijk beïnvloed.

De verdeling van de chemicaliën tijdens terugspoeling, tussen de cassettes binnen een tank, lijkt met name te worden beïnvloed door de permeabiliteit van de betreffende cassettes. Binnen een cassette blijkt de verdeling niet geheel evenredig te zijn, via het middelste deel van de cassette wordt meer teruggespoeld dan via de zijkanten. Deze aspecten zouden van invloed kunnen zijn op de symmetrie tussen de cassettes en binnen een cassette. Vooralnog

lijken deze a-symmetrische aspecten de filtratiebalans echter niet te verstoren. Het is aan te bevelen om de filtratiebalans jaarlijks te meten om mogelijke verstoringen te kunnen signaleren.

## 6.3 BEDRIJFSVOERING

### 6.3.1 ENERGIEVERBRUIK

De doelstelling van het eerste jaar van de bedrijfsvoering van de MBR Varsseveld was het optimaliseren van de werking van de membranen bij een verlaging van het energieverbruik. Het verlagen van het energieverbruik mag nooit ten koste gaan van de werking van de membranen. Met deze randvoorwaarde in gedachte is de bedrijfsvoering van de membranen stap voor stap gewijzigd van relatief veilig (veel beluchten, korte permeaatcyclus) naar progressief (niet beluchten in paraatmode, langere cyclus, hogere optimumflux indien mogelijk). De verwachting is dat in de toekomst een verdere optimalisatieslag kan worden gemaakt. Hierbij kan worden gedacht aan het uitzetten van de recirculatiepompen tijdens paraatmode en het verminderen van de beluchting in procesmode. Om dergelijke optimalisaties te kunnen testen en uitvoeren is het aan te bevelen om voldoende flexibiliteit van de procesinstellingen in te bouwen.

Het gemiddelde energieverbruik bij de oorspronkelijke, de geoptimaliseerde en de toekomstige procesinstellingen, is weergegeven in Tabel 15. De optimalisaties hebben geleid tot een energiebesparing van 25%. De verwachting is dat het energieverbruik met nog eens 20-25% kan afnemen.

TABEL 15 ENERGIEVERBRUIK (IN KWH/M<sup>3</sup>) VAN DE MEMBRAANFILTRATIE-INSTALLATIE VARSSEVELD

Procesonderdeel	Oorspronkelijke instellingen	Optimalisatie 2005	Verdere optimalisatie
	Februari – Mei 2005	Juni – December 2005	Toekomst
Membraantoevoerpompen	0,09	0,11	0,05
Membraanbeluchting	0,55	0,34	0,28
Permeaatpompen	0,13	0,12	0,11
Totaal	0,77	0,57	0,44

### 6.3.2 CHEMISCHE REINIGING

De optimalisatie van de reiniging, en met name het afstemmen van de reiniging op de behoefte, is een aspect dat continu de aandacht vraagt. Op de installatie Varsseveld bleken de chemicaliën die op de simulatie-unit werden toegepast minder effectief en is overgegaan op een andere procedure. Deze procedure is in de loop der tijd verder geoptimaliseerd op basis van voortschrijdende inzichten en ervaringen. De praktische uitvoering van de reinigingen is ook een belangrijk aandachtspunt. Door de aanwezigheid van lucht in de permeaatleiding neemt de effectiviteit van de reiniging af. Aanpassingen aan de uitvoering en mogelijk ook aan de constructie zal naar verwachting leiden tot oplossingen voor deze problemen.

De kosten voor de reinigingschemicaliën zijn relatief laag (ca. € 0,007 per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater), vergeleken met bijvoorbeeld het energieverbruik van het membraandeel van de MBR Varsseveld (ca. € 0,040 per m<sup>3</sup>) is dit minder dan 20%. Op de MBR Varsseveld zal de flexibiliteit van de chemicaliëndosering verder worden vergroot waardoor een verdere verlaging van het chemicaliënverbruik kan worden gerealiseerd.

Het belang van het toepassen van de juiste chemicaliën op de juiste manier en de juiste momenten is groot, niet alleen wat betreft de kosten en de milieubelasting, maar met name ook wat betreft de effectiviteit van de reiniging en de optimale werking van de membranen. Te hoge concentraties, te lange contacttijden of te hoge of lage pH-waarden kunnen schadelijke effecten hebben op het membraan en daarmee de werking en de levensduur negatief beïnvloeden. Ook het verminderen van het gebruik van milieubelastende chemicaliën, zoals NaOCl, zal in de toekomst meer aandacht vergen.



## BIJLAGE 1

## BEGRIPPENLIJST

Begrip	Symbol	Eenheid	Omschrijving
Air-Cycling			Alternierende beluchting tussen de cassettes
Alfa-factor / $\alpha$ -factor	$\alpha$	[-]	De verhouding tussen de zuurstofoverdracht in het actiefslib en in schoonwater
Back-pulse			Periodieke omkering van de permeaatstroom door het membraan met als doel de verwijdering van vervuiling van het membraanoppervlak en poriën
Flux	F	l/(m <sup>2</sup> .h)	De hoeveelheid permeaat die per tijdseenheid door een membraanoppervlak wordt geleid.
Flux - Bruto	F <sub>bruto</sub>	l/(m <sup>2</sup> .h)	De actuele flux tijdens permeaatonttrekking
Flux - Maximum		l/(m <sup>2</sup> .h)	De netto flux bij de maximale hydraulische belasting, wanneer 1 membraantank buiten bedrijf is (= 50 l/(m <sup>2</sup> .h))
Flux - Minimum		l/(m <sup>2</sup> .h)	De netto flux bij de minimale capaciteit van de permeaatpomp ( $\approx 10$ l/(m <sup>2</sup> .h))
Flux - Netto	F <sub>netto</sub>	l/(m <sup>2</sup> .h)	De gemiddelde permeaatonttrekking over een langere periode, waarbij het produktieverlies ten gevolge van de back-pulse wordt verdisconteerd
Flux - Ontwerp		l/(m <sup>2</sup> .h)	De netto flux bij de maximale hydraulische belasting, wanneer alle membraantanks in bedrijf zijn (= 37,5 l/(m <sup>2</sup> .h))
Flux - Optimum		l/(m <sup>2</sup> .h)	De netto flux waarbij de membranen optimaal functioneren ( $\approx 20$ l/(m <sup>2</sup> .h))
Hydrofoob			Waterafstotend. Tegenovergestelde van hydrofiel
Intensive Cleaning (of intensieve reiniging)	IC		Reinigingsmethode waarbij de gehele membraantank met reinigingsoplossing wordt gevuld met als doel om het membraan op de oorspronkelijke permeabiliteit terug te brengen
Macro-vervuiling			Vervuiling van het membraan door grove delen uit het afvalwater (b.v. haren, vezels), het actiefslib (b.v. anaërobe slibbrokjes) of de omgeving (b.v. ingevallen bladeren)
Maintenance Cleaning (of onderhoudsreiniging)	MC		Een reinigingsprocedure, bestaande uit een oxidatieve en een zure reiniging, waarbij een chemicaliën-oplossing met een lage concentratie via de membranen wordt teruggespoeld in een (gedeeltelijk) lege membraantank. Deze reiniging heeft een preventief karakter
Membraan			Een filter met kleine poriën, dat onder andere wordt toegepast om actiefslib en gezuiverd effluent van elkaar te scheiden
Membraanbioreactor	MBR		Gesuspendeerd actiefslibstelsel waarbij de scheiding van actiefslib en het gezuiverde effluent plaatsvindt met behulp van membranen in plaats van door nabezinktanks
Membraancassette			Eenheid bestaande uit meerdere membraanelementen. In Varsseveld bestaat elke cassette uit 40 elementen. Het membraanoppervlak van een cassette is 1.260 m <sup>2</sup>
Membraanelement			Kleinste membraaneenheid bestaande uit membranen en een permeaatverzamelheader. In Varsseveld heeft elk element een membraanoppervlak van 31,5 m <sup>2</sup>
Membraantank			Ruimte waarin de membraancassettes zich bevinden. In Varsseveld zijn 4 membraantanks met elk 4 membraancassettes. Per membraantank is een membraanoppervlak van 5.040 m <sup>2</sup> geïnstalleerd
Maximaal Toelaatbaar Risco	MTR		Een in de vierde nota waterhuishouding gedefinieerde minimum oppervlakte waterkwaliteit. Voor stikstof en fosfaat is de MTR-norm gesteld op respectievelijk 2,2 mg N <sub> totaal</sub> /l en 0,15 mg P <sub> totaal</sub> /l
Paraatmode			Procesinstelling waarbij geen permeaatonttrekking plaats vindt. De beluchting (discontinu) en de recirculatiepomp zijn wel in bedrijf.
Permeaat			Benaming voor het product dat door een membraan stroomt en wordt afgevoerd: Het effluent van een membraaninstallatie.

Begrip	Symbool	Eenheid	Omschrijving
Permeaatcyclus			Cyclus waarin achtereenvolgens permeaatonttrekking en permeaaterugspoeling (back-pulse) plaatsvindt.
Permeabiliteit (bij de actuele temperatuur)	P (XX°C)	[l/(m <sup>2</sup> .h.bar)]	De actuele bruto flux gedeeld door de transmembraandruk (TMD) over het membraan. $Perm = F_{bruto} / TMD$ De permeabiliteit van een membraan is een maat van de weerstand, die het membraan biedt aan het water dat door het membraanoppervlak stroomt onder invloed van de drijvende kracht (TMD), die op het water wordt uitgeoefend.
Permeabiliteit (gecorrigeerd)	P (15°C)	[l/(m <sup>2</sup> .h.bar)]	De gestandaardiseerde permeabiliteit, uitgedrukt bij een temperatuur van 15°C. Het betreft een correctie voor de toename van de viscositeit bij lagere temperaturen.
Proces mode			Procesinstelling waarbij de permeaatonttrekking, de beluchting en de recirculatiepompen in bedrijf zijn.
Sequentiële beluchting			Alternerende beluchting binnen een cassette
Semi-Intensive Maintenance Cleaning	SIMC		Een MC cleaning met een additionele oxidatieve reiniging (NaOCl)
Simulatie-unit			Pilot-installatie
Slibbelasting		[g CZV/(g DS.d)]	De hoeveelheid verontreiniging die aan het actiefslib per eenheid van massa en tijd wordt toegevoerd.
Slibleeftijd		[d]	De hoeveelheid slib gedeeld door de hoeveelheid verwijderd slib door spui of effluent. Het betreft de tijd die slib ter beschikking heeft om zich volledig te vervangen.
Transmembraandruk	TMD	[mbar of kPa]	De drukval over het membraan, tussen de actiefslibzijde en de permeaatzijde. Het is de drijvende kracht waardoor de filtratie door de membranen plaatsvindt. (10 mbar = 1 kPa)

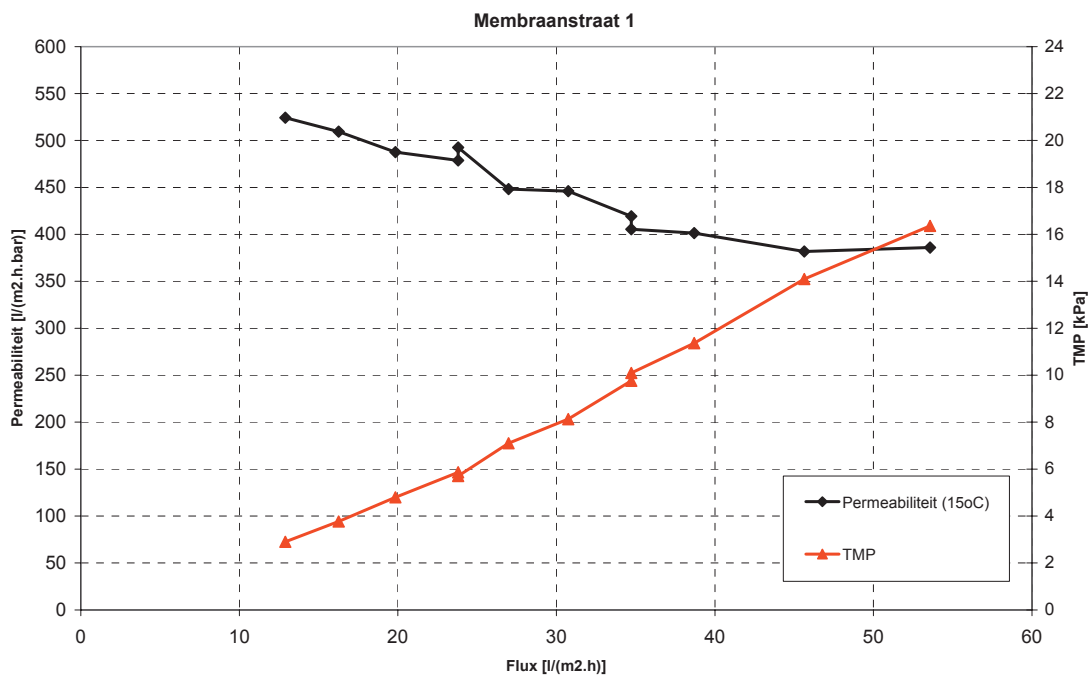


BIJLAGE 2

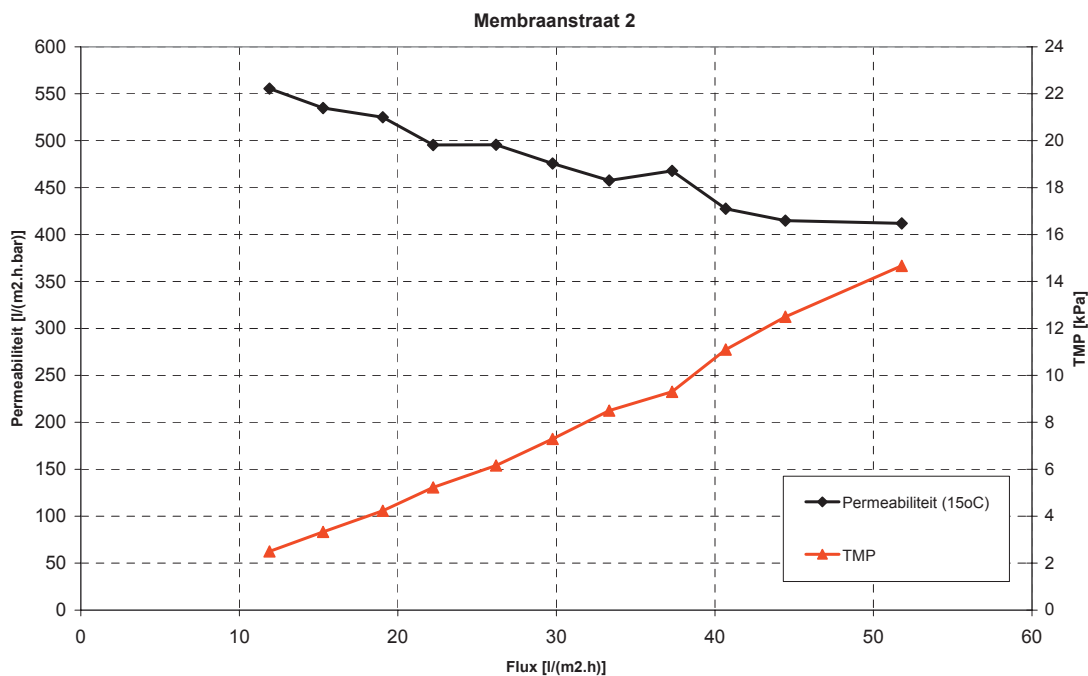
# RESULTATEN VAN DE CWP-TESTEN

## DECEMBER 2004

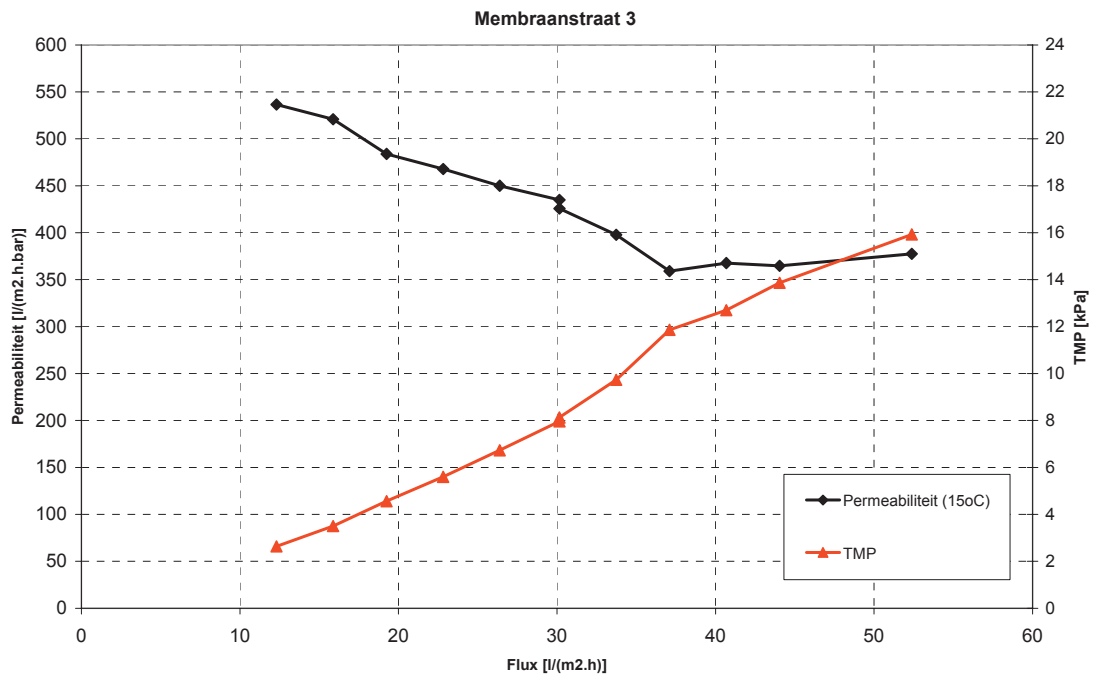
MEMBRAANTANK 1 – RESULTATEN CWP TEST DECEMBER 2004



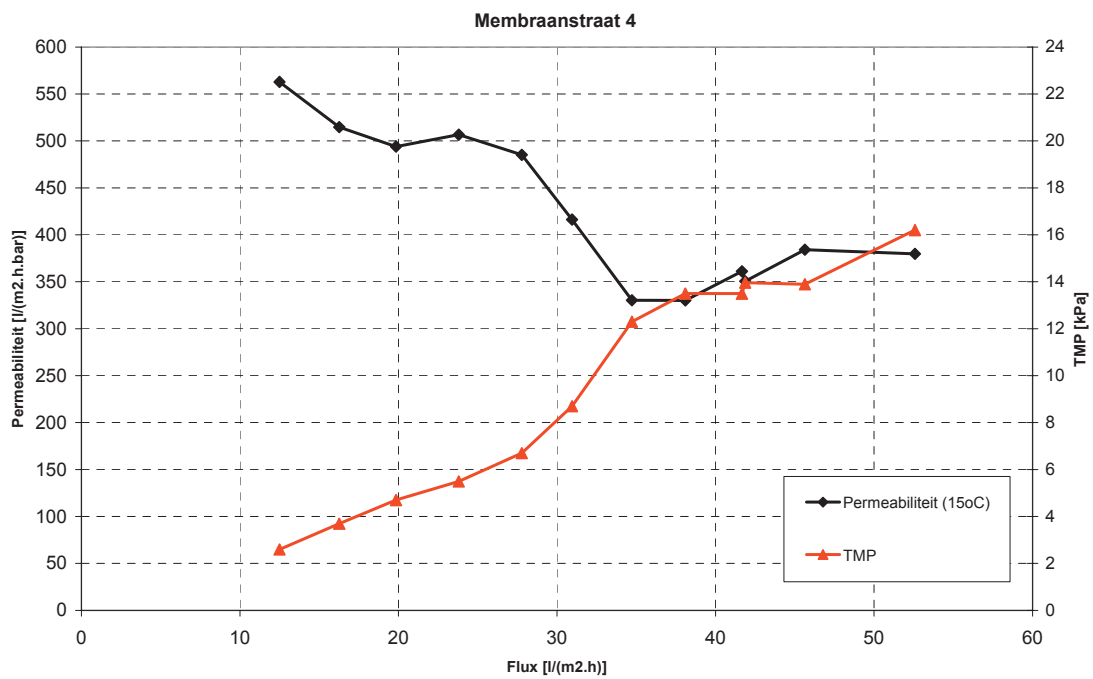
MEMBRAANTANK 2 – RESULTATEN CWP TEST DECEMBER 2004



MEMBRAANTANK 3 – RESULTATEN CWP TEST DECEMBER 2004



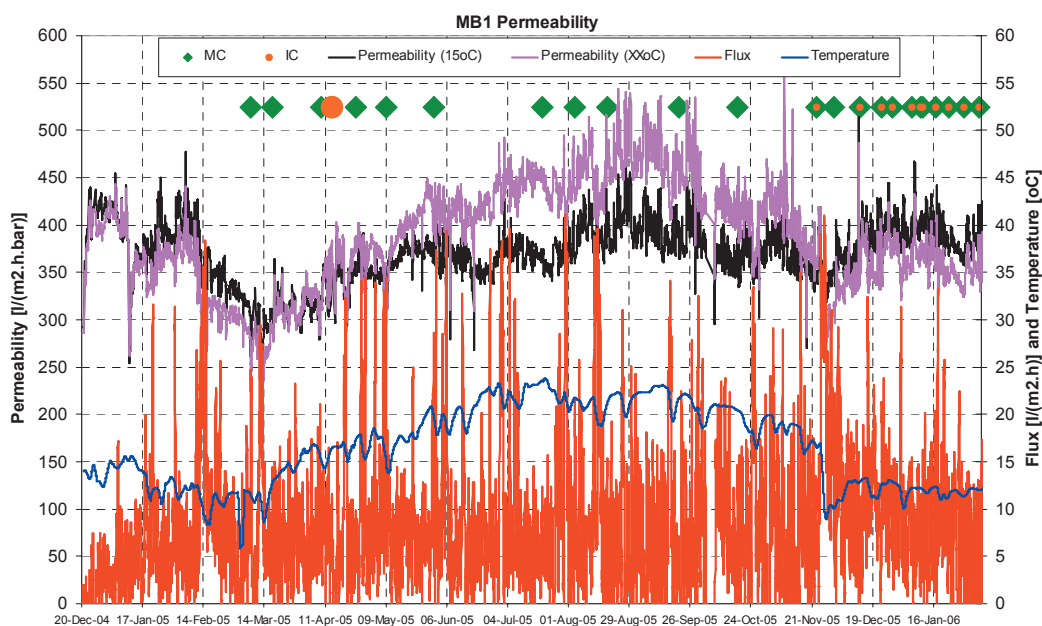
MEMBRAANTANK 4 – RESULTATEN CWP TEST DECEMBER 2004



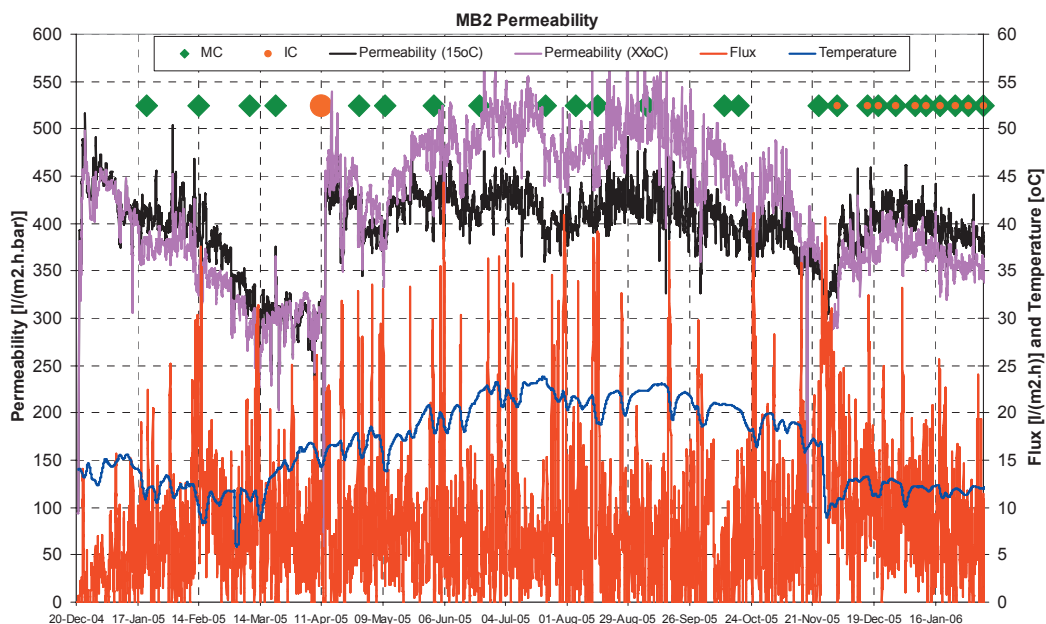
BIJLAGE 3

# PROCESGEGEVENS VAN DE VIER MEMBRAANSTRATEN

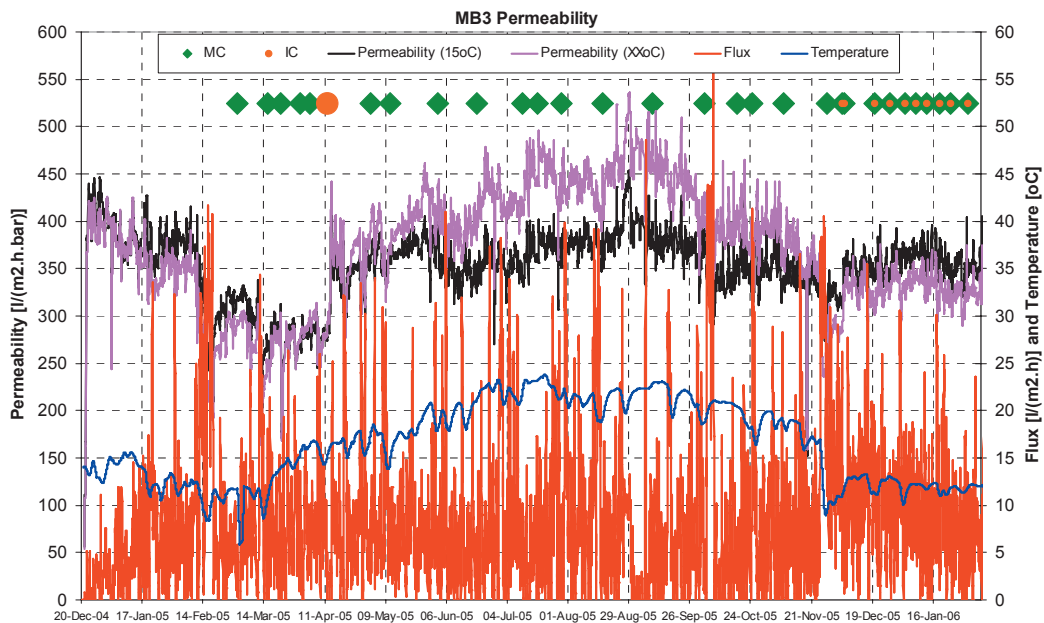
VERLOOP VAN DE PROCESPARAMETERS VAN MEMBRAANSTRAAT 1



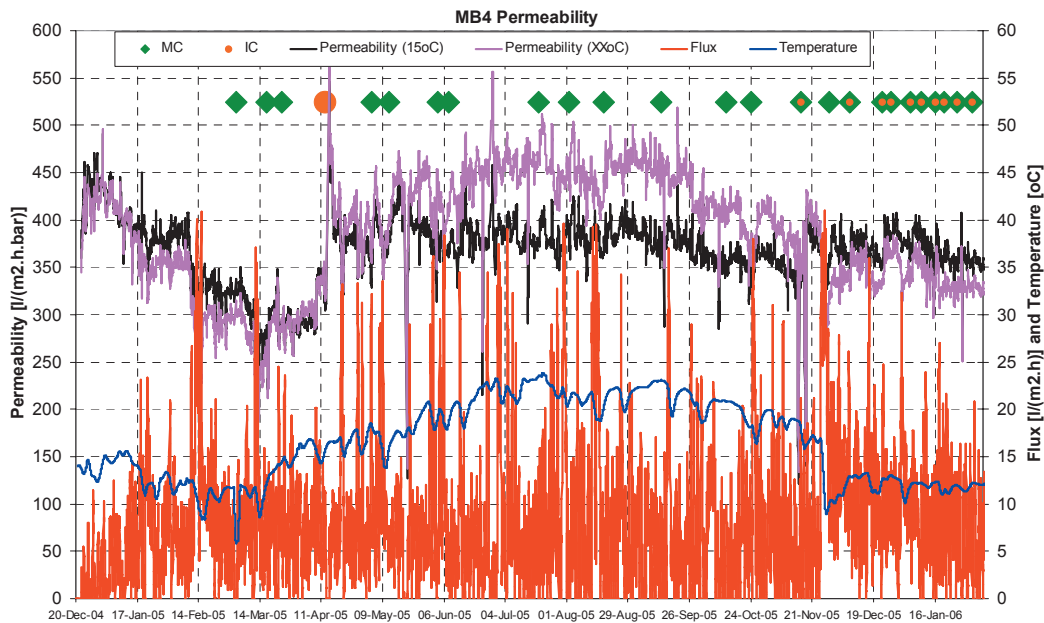
VERLOOP VAN DE PROCESPARAMETERS VAN MEMBRAANSTRAAT 2



VERLOOP VAN DE PROCESPARAMETERS VAN MEMBRAANSTRAAT 3



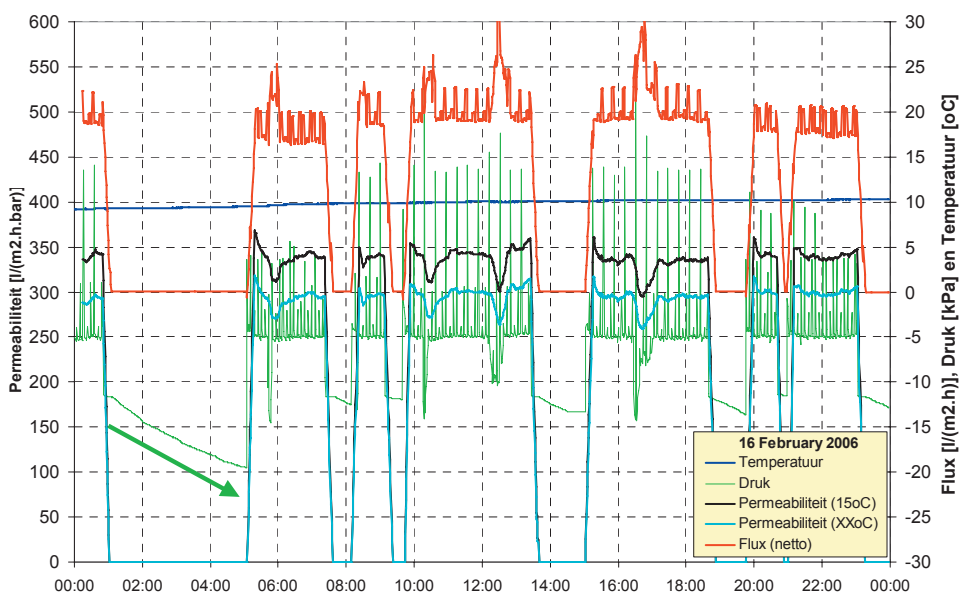
VERLOOP VAN DE PROCESPARAMETERS VAN MEMBRAANSTRAAT 4



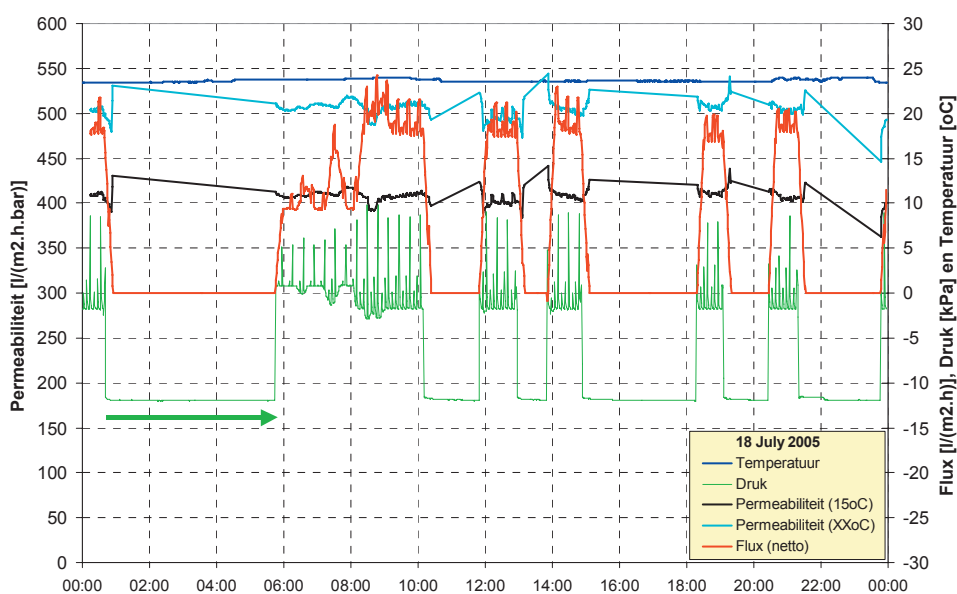
BIJLAGE 4

# DRUKVERLOOP TIJDENS PARAAATMODE

VERLOOP VAN DE FLUX, DRUK, PERMEABILITEIT EN TEMPERATUUR IN DE WINTER  
(16 FEBRUARI 2006, MT2)



VERLOOP VAN DE FLUX, DRUK, PERMEABILITEIT EN TEMPERATUUR IN DE ZOMER  
(18 JULI 2005, MT2)



BIJLAGE 5

# PERMEAATVERDELING BINNEN DE CASSETTES

