

stowa

ONDERZOEK MBR VARSEVELD

DEELSTUDIE SIMULATIE-UNIT

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 SIMULATIE-UNIT

INHOUD

	SAMENVATTING	363
1	INLEIDING	365
2	OPZET VAN HET ONDERZOEKSPROGRAMMA	367
2.1	Inleiding	367
2.2	Beschrijving van de simulatie-unit	367
2.3	Opzet van het onderzoek	368
2.4	Activiteitenoverzicht	369
3	WERKING MEMBRAANINSTALLATIE	370
3.1	Inleiding	370
3.2	Installatie en testen van de membranen	370
3.3	Ontwerpevaluatie van de membranen	372
3.4	Membraanwerking	377
3.5	Chemische reiniging	379
3.6	Energiebesparing in procesmode	384
3.7	Energiebesparing in paraatmode	390
3.8	Industrieel polymeer	393
3.9	Relaxatie experimenten	397

4	WERKING VAN DE BIOLOGIE	401
4.1	Inleiding	401
4.2	Procescondities	401
4.3	Resultaten	403
4.4	Slibeigenschappen	406
5	REFERENTIES	409

SAMENVATTING

Het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) heeft, in samenwerking met STOWA, DHV en Zenon, een onderzoek uitgevoerd met een simulatie-unit (pilot-installatie) op de MBR Varsseveld. De simulatie-unit is een schaalmodel van de praktijkinstallatie in Varsseveld. De simulatie-unit is in mei 2004 in bedrijf genomen. De belangrijkste doelstellingen van het onderzoek met de simulatie-unit zijn als volgt gedefinieerd:

- beperking van de risico's op de praktijkinstallatie;
- versnelde opstart van de praktijkinstallatie;
- toename van de efficiëntie van het onderzoek;
- besparing van de onderzoekskosten op de praktijkinstallatie;
- verdieping van de MBR-kennis van bedrijfsvoerders en ander personeel.

De simulatie-unit heeft een belangrijke rol gespeeld bij de opstart van de praktijkinstallatie. De besturingssoftware van de praktijkinstallatie is voor een groot deel op de simulatie-unit getest. Ook tijdens de bedrijfsvoering van de MBR Varsseveld is de simulatie-unit regelmatig gebruikt, bijvoorbeeld om de keuze voor bepaalde chemicaliën te onderbouwen, of om de invloed van verontreinigingen op de permeabiliteit te testen.

MEMBRANEN

In eerste instantie is het onderzoek uitgevoerd met "oude" membranen, afkomstig van de pilot-installatie van Beverwijk. Deze membranen bleken niet aan de gestelde eisen te voldoen en daarom zijn op 7 juli 2004 nieuwe membranen in de simulatie-unit van Varsseveld geïnstalleerd. Met de simulatie-unit is vervolgens ca. 8 maanden gedraaid. Na de opstart van de praktijkinstallatie is half januari 2005 de filtratie-unit van de simulatie-unit direct aangesloten op de MBR Varsseveld. De biologie van de simulatie-unit is ontmanteld en afgevoerd.

De belangrijkste resultaten met de nieuwe membranen en enkele specifieke testen zijn:

- De zogenaamde Clean Water Permeability (CWP), welke een maat is voor de kwaliteit van het membraan, is karakteristiek voor een goed Zenon ZW500d membraan. Op basis van deze metingen is het membraan goedgekeurd.
- Alhoewel de uitgevoerde testen bij relatief hoge procestemperaturen zijn uitgevoerd kan gesteld worden dat de membraanresultaten onder normale omstandigheden zeer acceptabel zijn. Tijdens een periode waarin verkleving van de membranen heeft plaatsgevonden was de werking duidelijk slechter. Door middel van een aantal experimenten kan een directe relatie worden gelegd tussen de lozing van een industrieel polymeer en de verkleving van de membranen. Bij deze experimenten is ook aangetoond dat het gebruik van ijzerchloridesulfaat een enigszins remmende werking heeft op de verkleving van de membranen.
- De chemische reiniging van de membranen is op de simulatie-unit geoptimaliseerd. Door het relatief hoge vetgehalte van het Varssevelds afvalwater is de toepassing van waterstofperoxide niet effectief gebleken. Goede resultaten zijn in eerste instantie gehaald met de combinatie van natriumhydroxide en warm water. In een later stadium is gebleken dat deze strategie niet onder alle omstandigheden optimaal is. Sinds de koppeling van de simulatie-unit aan de praktijkinstallatie vindt er namelijk voorbehandeling van het

influent plaats met een fijnrooster en een zand- en vetvang, waardoor het vetgehalte naar verwachting is afgenomen. Natriumhydroxide bleek niet meer effectief. Een reinigingsprocedure met natriumhypochloriet en citroenzuur gaf het beste resultaat.

- Op basis van energie-optimalisatietesten lijkt een significante verlaging van het energieverbruik van de membraaninstallatie mogelijk te zijn. Tijdens procesmode kan onder bepaalde omstandigheden (hoge temperatuur) een verlaging van de luchthoeveelheid en luchtfrequentie worden gerealiseerd. Ook tijdens paraatmode (de periode waarin geen permeaat wordt onttrokken) is het mogelijk om energie te besparen. Dit laatste wordt inmiddels al op de praktijkinstallatie toegepast.
- Om het energieverbruik nog verder te verlagen, kan de recirculatie en beluchting tijdens paraatmode ook compleet uitgeschakeld worden. Dit heeft geen negatieve invloed op de permeabiliteit. Wel moet in de gaten gehouden worden dat, als de installatie weer in bedrijf gaat, er eerst minimaal één hydraulische verblijftijd gerecirculeerd en belucht wordt, om verstoringen van de effluentkwaliteit te voorkomen.
- Uit experimenten lijkt dat het toepassen van relaxatie tijdens procesmode nadelig is voor de membraanwerking. De permeabiliteit neemt geleidelijk af als er geen terugspoeling van permeaat tussen de onttrekkingscycli plaatsvindt. Mogelijk dat de invloed van relaxatie op langere termijn wel positief is.

BIOLOGIE

De eerste biologische opstartprocedure van de simulatie-unit is afgebroken vanwege softwareproblemen. Als gevolg hiervan ontving de simulatie-unit tijdens de opstart te weinig afvalwater waardoor de slibkwaliteit slecht was en overmatige schuimvorming plaatsvond. Nadat de software was hersteld is de biologie op 7 juni 2004 opnieuw opgestart.

Hoewel het aantonen van de biologische werking geen vooropgesteld onderzoeksdoel is van de simulatie-unit, zijn de resultaten veelbelovend. De effluenteis voor de MBR Varsseveld is 5,0 mg N_{totaal}/l . Het stikstofeffluentgehalte is, op een enkele kleine overschrijding na, gedurende de gehele onderzoeksperiode ruim onder deze norm gebleven. Gedurende een periode van enkele weken is zelfs de MTR-norm van 2,2 mg N_{totaal}/l gehaald. De simulatie-unit van Varsseveld is hiermee de eerste installatie in Nederland waarmee de MTR-norm voor stikstofverwijdering wordt gehaald, zonder dosering van een koolstofbron. De belangrijkste verklaringen voor deze goede prestaties zijn de gunstige influentsamenstelling, de gunstige procesomstandigheden en het optimale procesontwerp.

Het fosfaateffluentgehalte is sterk afhankelijk van de instelling van de ijzerdosering. Vanaf begin september wordt bij een ijzerdosering van ca. 0,8 mol Fe/mol P een fosfaatgehalte gehaald van circa 0,1-0,3 mg P_{totaal}/l . Op basis van balansen en fosfaatafgifte-proeven kan worden geconcludeerd dat biologische fosfaatverwijdering plaatsvindt, en dat de ijzerdosering een negatief effect heeft op de biologische fosfaatverwijderingscapaciteit.

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. Het programma bestaat uit acht deelstudies, waaronder het onderzoek met een simulatie-unit. 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
	Deelstudie Membranen
	Deelstudie Simulatie-Unit

Het onderzoek met de simulatie-unit van de MBR Varsseveld is uitgevoerd door het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ), in samenwerking met DHV en Zenon. De belangrijkste doelstellingen van het onderzoek met de simulatie-unit zijn als volgt gedefinieerd:

- beperking van de risico's op de praktijkinstallatie;
- versnelde opstart van de praktijkinstallatie;
- toename van de efficiëntie van het onderzoek;
- besparing van de onderzoekskosten op de praktijkinstallatie;
- verdieping van de MBR-kennis van bedrijfsvoerders en ander personeel.

De simulatie-unit is in mei 2004 in bedrijf genomen. Het onderzoek met de simulatie-unit is in te delen in twee fasen. In de eerste fase, welke van mei 2004 t/m januari 2005 heeft geduurd, bestond de simulatie-unit uit een biologische reactor en een filtratie-unit. In fase 2 van het onderzoek is de filtratie-unit, van januari 2005 t/m februari 2006, direct aan de MBR Varsseveld gekoppeld en is de biologische reactor buiten bedrijf gesteld.

In deze eindrapportage zijn de resultaten van de experimenten op de simulatie-unit beschreven. In hoofdstuk 2 is de opzet van het onderzoek en de stand van zaken kort beschreven. De belangrijkste resultaten van het onderzoek met de membraaninstallatie zijn weergegeven in hoofdstuk 3. De resultaten van de biologie (in fase 1) zijn beschreven in hoofdstuk 4.

AFBEELDING 2 DE SIMULATIE-UNIT IN FASE 1 (LINKS) EN FASE 2 (RECHTS) VAN HET ONDERZOEKSPROJECT



2

OPZET VAN HET ONDERZOEKSPROGRAMMA

2.1 INLEIDING

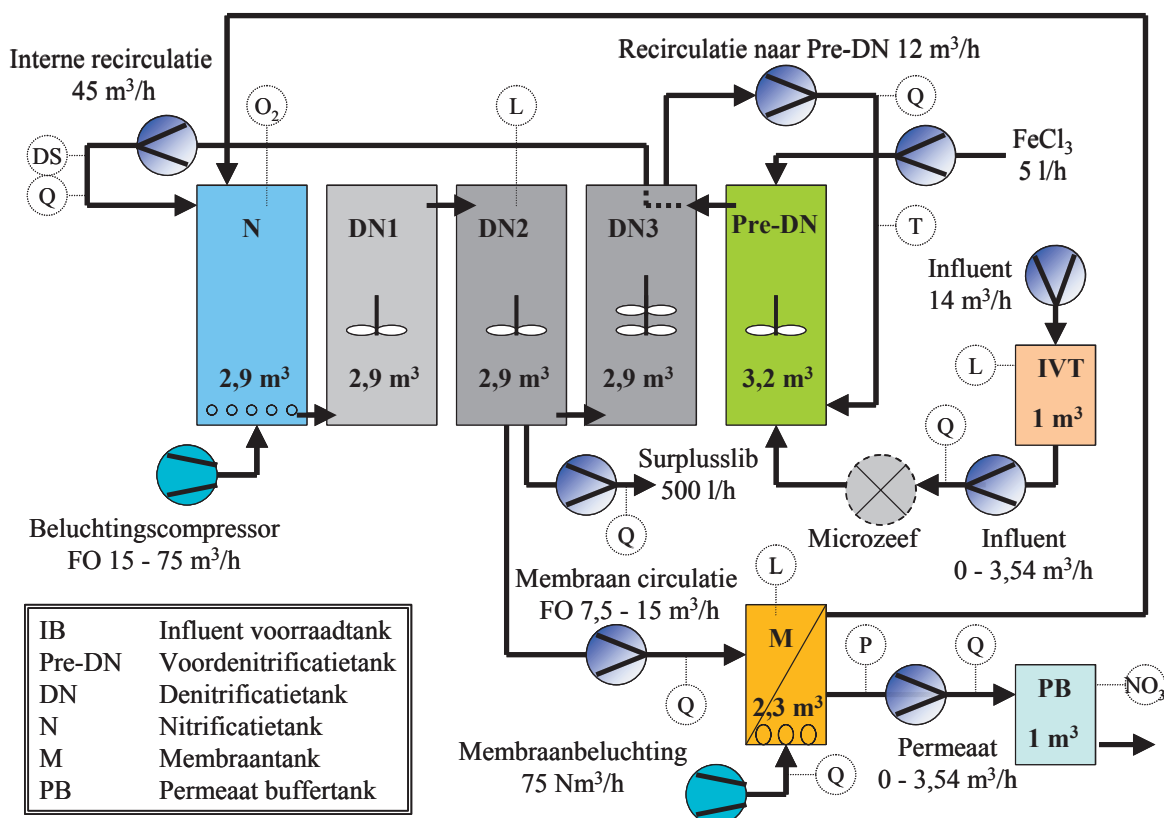
Nadat het onderzoeksprogramma was opgesteld is maandelijks het programma bijgesteld op basis van tussentijdse resultaten en de behoefte van betrokken partijen om bepaalde aspecten nader te onderzoeken. In fase 2 van het onderzoeksprogramma is bijvoorbeeld veel aandacht besteed aan ondersteunend onderzoek ten behoeve van de opstart van de praktijkinstallatie.

De opbouw van de simulatie-unit is beschreven in §2.2. De onderzoeksitems zijn kort gepresenteerd in §2.3. Een overzicht van de activiteiten die in de loop van het onderzoek zijn uitgevoerd is weergegeven in §2.4.

2.2 BESCHRIJVING VAN DE SIMULATIE-UNIT

De opbouw van de simulatie unit is weergegeven in Afbeelding 3.

AFBEELDING 3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE SIMULATIE-UNIT (FASE 1)



De belangrijkste afmetingen van de simulatie-unit zijn weergegeven in Tabel 1. De verhouding tussen de capaciteit van de praktijkinstallatie en de simulatie-unit is een factor 213.

TABEL 1

BELANGRIJKSTE AFMETINGEN VAN DE SIMULATIE-UNIT

Onderdeel	Eenheid	Waarde
Ontwerpdebiet maximaal	m ³ /h	3,54
Volume		
- voordennitrificatie	m ³	3,2
- omloopsysteem	m ³	11,8
- totale biologie	m ³	15,0
Volume membraantanks	m ³	2,3
Aantal ZW500D elementen	-	3
Membraanoppervlak	m ²	94,5

De belangrijkste verschillen tussen de simulatie-unit en de praktijkinstallatie zijn:

- de simulatie-unit heeft geen zand/vetverwijdering;
- de filtratie-unit van de simulatie-unit worden gevoed vanuit een onbeluchte zone, in de praktijkinstallatie is de voeding vanuit een zone die soms wel en soms niet wordt belucht;
- in de simulatie-unit is de ruimte rond de membranen geringer dan in de praktijkinstallatie ($24 \text{ l}_{\text{tank}}/\text{m}^2_{\text{membraan}}$ in de simulatie-unit, $33 \text{ l}_{\text{tank}}/\text{m}^2_{\text{membraan}}$ in de simulatie-unit).

2.3 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek met de simulatie-unit maakt onderdeel uit van een groot onderzoeksproject op de MBR Varsseveld. Het onderzoeksprogramma met de simulatie-unit heeft met name tot doel om de opstart en de procesinstellingen van de praktijkinstallatie te kunnen optimaliseren. Op basis van dit uitgangspunt en de beschreven doelstellingen is een aantal concrete onderzoeksitems beschreven. Deze hebben met name betrekking op de optimalisatie van de membraanfiltratie-installatie. Het optimaliseren van de effluentkwaliteit van de simulatie-unit is geen doelstelling van het onderzoek.

Het onderzoek met de simulatie-unit is in twee fases opgedeeld. Fase 1 heeft plaatsgevonden in de periode vóórdat de praktijkinstallatie was opgestart, van mei 2004 tot januari 2005. De belangrijkste onderzoeksitems in deze fase zijn geweest:

- besturing en visualisatie testen op simulatie-unit;
- opstart biologie;
- installeren en testen van de membranen;
- opstart en ontwerpevaluatie van de membraaninstallatie;
- automatische maintenance cleaning;
- relaxatie/paraat mode;
- energiebesparing.

In fase 2, na de opstart van de MBR Varsseveld is de membraanfiltratie-unit van de simulatie-unit direct aan de praktijkinstallatie gekoppeld. In deze fase is de simulatie-unit met name gebruikt voor het testen en optimaliseren van de membraaninstellingen.

2.4 ACTIVITEITENOVERZICHT

Het onderzoek met de simulatie-unit is gestart op 12 mei 2004. De belangrijkste activiteiten die sindsdien zijn uitgevoerd zijn weergegeven in Tabel 2. Een toelichting op de verschillende activiteiten is gegeven in de hoofdstukken 3 en 4.

TABEL 2 OVERZICHT VAN DE ACTIVITEITEN

Periode (jaar/week)	Activiteit
t/m 04/20	Plaatsing van de simulatie-unit
	<i>FASE 1 – Filtratie-unit met biologie</i>
04/21	Opstart van de biologie, eerste keer
04/21 – 04/23	Continue belasting, problemen met schuimvorming en slibkwaliteit
	Opstart van de biologie, tweede keer
04/24	Opstart membraanfiltratie-installatie met oude membranen
	Ontwerpfluxtest
04/24 – 04/31	Continue belasting
04/28	Installatie nieuwe membranen en CWP-test
04/32 – 04/34	Proportionele belasting
04/32 – 04/38	Optimalisatie MC-procedure (membraanreiniging)
04/34	Zuurstofmeter vervangen
04/36	Ontwerpflux test
04/37	Semi intensive maintenance cleaning
04/38 – 04/47	Onderzoek naar de optimalisatie van het energieverbruik in procesmode
04/44 – 04/50	IJzerdosering tijdelijk uitgeschakeld
04/51 – 05/01	Testen ten behoeve van deelstudie "Slibkwaliteit"
	<i>FASE 2 – Filtratie-unit gekoppeld aan MBR Varsseveld</i>
	Verplaatsen van de simulatie-unit:
05/02 – 05/03	o biologische reactor geleegd en afgevoerd;
	o filtratie-unit direct aan de praktijkinstallatie gekoppeld
05/04 – 05/06	Inbedrijfname filtratie-unit bij constante flux
05/07 – 05/12	Onderzoek naar de optimalisatie van het energieverbruik in procesmode
05/13 – 05/20	Onderzoek naar de reinigingsstrategie voor de praktijkinstallatie
05/17	Ontwerpflux test (met industriële polymeer)
05/20 – 05/22	Onderzoek naar de optimalisatie van het energieverbruik in paraatmode
05/23 – 05/24	Ontwerpflux test (zonder industriële polymeer)
05/25 – 05/28	Periode zonder specifieke experimenten
05/29 – 05/35	Eerste polymeerexperiment
05/36 – 05/39	Periode zonder specifieke experimenten
05/40 – 05/45	Tweede polymeerexperiment
05/46 – 05/51	Derde polymeerexperiment
05/52 – 05/01	Periode zonder specifieke experimenten
06/02 – 06/03	'Anaërobie tijdens paraatmode' experimenten
06/04 – 06/05	Periode zonder specifieke experimenten
06/06 – 06/09	Relaxatie experimenten

3

WERKING MEMBRAANINSTALLATIE

3.1 INLEIDING

Het onderzoek met de membraaninstallatie is begin juni 2004 begonnen met “oude” membranen, afkomstig van de pilot-installatie van de rwzi Beverwijk. Deze membranen zijn begin juli 2004 vervangen door nieuwe membranen. De reden voor deze vervanging en de beschrijving van de installatie en het testen van de nieuwe membranen is beschreven in §3.2.

In dit hoofdstuk over de membraaninstallatie wordt de periode met de nieuwe membranen beschreven, dus vanaf 7 juli 2004. In §3.3 zijn de testen beschreven ten behoeve van de ontwerpevaluatie van de membranen. De membraanwerking en de optimalisatie van de chemische reiniging zijn beschreven in §3.4 en §3.5. De resultaten van de energiebesparingstesten zijn in §3.6 (in procesmode) en §3.7 (in paraatmode) beschreven. In §3.8 is een aantal experimenten beschreven waarin het effect van het industriële polymeer op de membraanwerking is onderzocht. Ten slotte staan in §3.9 de resultaten van experimenten waarbij de toepassing van relaxatie is onderzocht.

In bijlage 1 van de deelstudie “Membranen” is een aantal aan de membranen gerelateerde begrippen nader toegelicht.

3.2 INSTALLATIE EN TESTEN VAN DE MEMBRANEN

De eerste membranen in de simulatie-unit waren afkomstig uit de Zenon pilot op de rwzi Beverwijk. Deze membranen waren ca. 6 maanden in bedrijf geweest en hebben ca. 8.000 m³ water verwerkt. Dit komt overeen met een equivalente leeftijd van 1 jaar. Gedurende deze periode zijn de membranen continu op een relatief hoge flux van 27 l/(m².h) belast. Nadat de simulatie-unit op Varsseveld met slib was opgestart daalde de permeabiliteit in zeer korte tijd tot een relatief stabiel niveau rond de 220 l/(m².h.bar). Reinigingstesten leidden tot de conclusie dat de membranen irreversibel vervuild waren en dat vervanging door nieuwe membranen zeer wenselijk was ten behoeve van het onderzoek.

De “oude” membranen leverden acceptabele prestaties maar waren niet geschikt om de specifieke vervuilingkarakteristieken van Varsseveld met voldoende nauwkeurigheid aan te tonen. De membranen konden niet voldoende hersteld worden om ook het specifieke permeabiliteitsverloop voor het Varssevelts afvalwater te kunnen bepalen. Deze wordt onder andere gebruikt om het toekomstige permeabiliteitsverloop en de levensduur van de membranen te voorspellen. Bovendien komt het effect van bijvoorbeeld energiebesparende maatregelen veel sterker tot uitdrukking bij nieuwe membranen met een hoge permeabiliteit. Hetzelfde geldt voor de ontwerpfluxtesten en het optimaliseren van de schoonmaakprocedure. Voor het onderzoek heeft de toepassing van nieuwe membraan daarom een grote meerwaarde. Naar aanleiding hiervan is daarom besloten om de membranen te vervangen door nieuwe membranen.

3.2.1 INSPECTIE EN INSTALLATIE

De nieuwe membranen zijn op 7 juli 2004 geïnstalleerd. De verwijderde oude membranen bleken voor 95% vrij van slib te zijn en in een goede mechanische staat. Bij de onderste header werd een geringe slibopbouw geconstateerd.

Na de installatie van de nieuwe membranen zijn deze gecontroleerd, waarbij aandacht is besteed aan het waterpas zijn van de membranen, de werking van de bellenbeluchting en de ontluchting en de aanwezigheid van lekkages. Bij deze controle bleek alles in orde te zijn. Het conserveringsmiddel is vervolgens van de nieuwe membranen verwijderd door voorzichtig met warm water terug te spoelen en vervolgens permeaat te onttrekken. De beschikbaarheid van warm water heeft deze procedure aanzienlijk versneld. Nadat alle conserveringsmiddel was verwijderd is de Clean Water Permeabiliteit (CWP) test uitgevoerd. Glycerine heeft geen invloed op de biologie, maar wel op de CWP van de membranen. Dit is het gevolg van de relatief hoge viscositeit van glycerine. Een volledige verwijdering is daarom van belang.

3.2.2 CLEAN WATER PERMEABILITY (CWP)

De CWP is een meting van de kwaliteit van het membraanmateriaal. Het resultaat van een CWP-test is een grafiek waarin de relatie tussen de permeabiliteit en de flux (gecorrigeerd voor 15°C) is weergegeven bij filtratie van schoon water. Deze permeabiliteit is gerelateerd aan een schoon membraan is daardoor altijd hoger dan de uiteindelijke procespermeabiliteit. Het verlies van CWP in de loop van de tijd is het gevolg van onomkeerbare vervuiling en bepaalt mede de levensduur van de membranen. Tijdens de test vindt geen terugspoeling van de membranen plaats.

De CWP-test heeft plaatsgevonden op 7 juli 2004. Het verloop van permeabiliteit in de tijd en tegen de flux is in de Tabel 3 aangegeven.

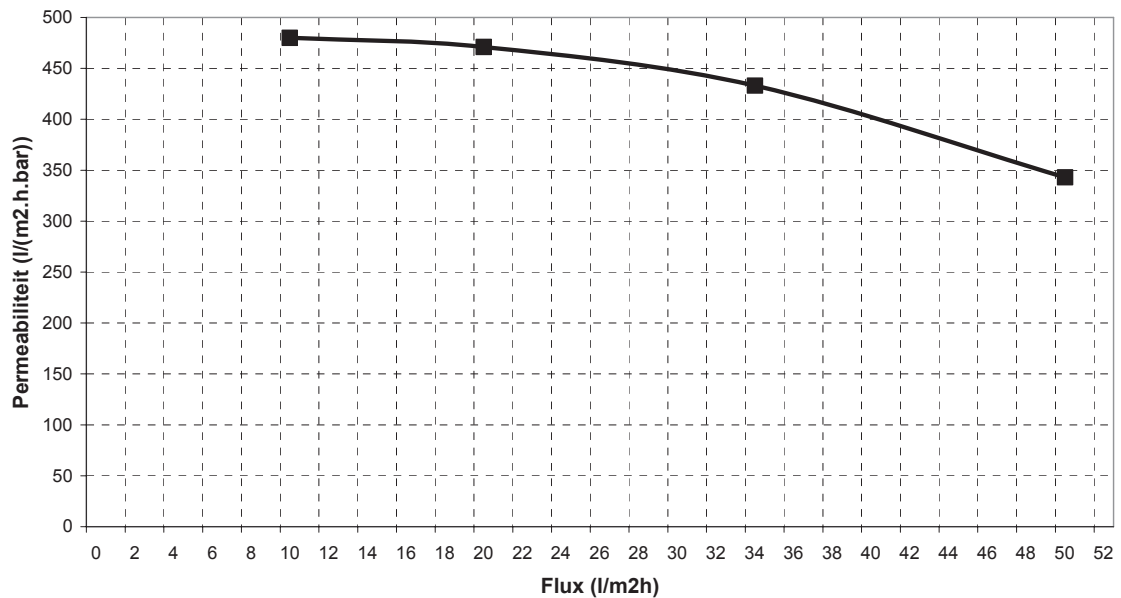
TABEL 3

RESULTATEN VAN DE CWP-TEST

Tijd [min.]	Flux [l/(m ² .h)]	Transmembraandruk (TMD) [kPa]	Permeabiliteit (bij 15°C) [l/(m ² .h.kPa)]	Opmerking
0	19	21,2-16,2 = 5,0	3,80	Laag = glycerine
15	21	21,2-16,7 = 4,5	4,67	Goed
30	21	21,1-16,6 = 4,5	4,68	Goed, Glycerine weg
45	34	21,5-13,7 = 7,8	4,36	Goed
60	34	21,3-13,4 = 7,9	4,30	Goed en stabiel
75	44	21,3-9,5 = 11,8	3,73	Goed (meer weerstand)
90	50	21,3-6,7 = 14,6	3,42	Goed (nog meer weerstand)

Het conserveringsmiddel was uitgespoeld na circa 30 minuten. Het resultaat van de CWP-test is grafisch weergegeven in Afbeelding 4. Hierbij is de relatie tussen de flux en de permeabiliteit (gecorrigeerd voor 15°C) weergegeven bij filtratie van schoon water.

AFBEELDING 4 WEERGAVE VAN DE RESULTATEN VAN DE CWP-TEST



De gemeten CWP-curve is karakteristiek voor een goed werkend Zenon ZW500d membraan. Op basis hiervan zijn de nieuwe membranen goedgekeurd.

3.2.3 PROCESPERMEABILITEIT

De CWP zegt weinig over de werking van de membranen onder procescondities bij een slibgehalte van circa 10 g DS/l en een operationele procestemperatuur die kan variëren van 5 tot 30°C. Direct na de inbedrijfname van de membranen is daarom de procespermeabiliteit in actiefslib gemeten. De membranen zijn in bedrijf genomen op 7 juli 2004. De procesomstandigheden op dit moment waren:

- Slibgehalte : 10 g/l;
- Procestemperatuur : 24 °C;
- Statische druk : 22,3 kPa.

Onder deze omstandigheden is de procespermeabiliteit gemeten bij een permeaatdebiet van 1.910 l/h. Dit komt overeen met een flux van 20,2 l/(m².h). De gemeten dynamische druk was 18,3 kPa. De permeabiliteit bij 24°C was 505 l/(m².h.bar). Gecorrigeerd voor 15°C is de permeabiliteit 405 l/(m².h.bar). Deze waarden zijn een factor 2 beter dan voor de oude membranen bij hetzelfde slib en dezelfde procestemperatuur. De nieuwe membranen voldeden daarmee aan de verwachtingen voor een nieuwe Zenon ZW500d membraan.

3.3 ONTWERPEVALUATIE VAN DE MEMBRANEN

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. De ontwerpuitgangspunten van de praktijkinstallatie en de simulatie-unit met betrekking tot de flux zijn weergegeven in Tabel 2.

TABEL 2 DE ONTWERPFLUXEN EN DEBIETEN VAN DE SIMULATIE-UNIT EN DE PRAKTIJKINSTALLATIE

Belasting	Flux (netto)	Periode (max.)	Simulatie-unit	praktijkinstallatie
	[l/(m ² .h)]	[uren]	totaal debiet [l/h]	debiet per straat [m ³ /h]
Minimum	10	-	950	50
Optimum	20	-	1.900	100
RWA-ontwerp	37,5	3 x 24	3.550	190
Maximum	50	8	4.725	250

De netto ontwerpflux is 37,5 l/(m².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 flux van 50 l/(m².h) bij een maximale aanvoer gedurende 8 uur te kunnen functioneren.

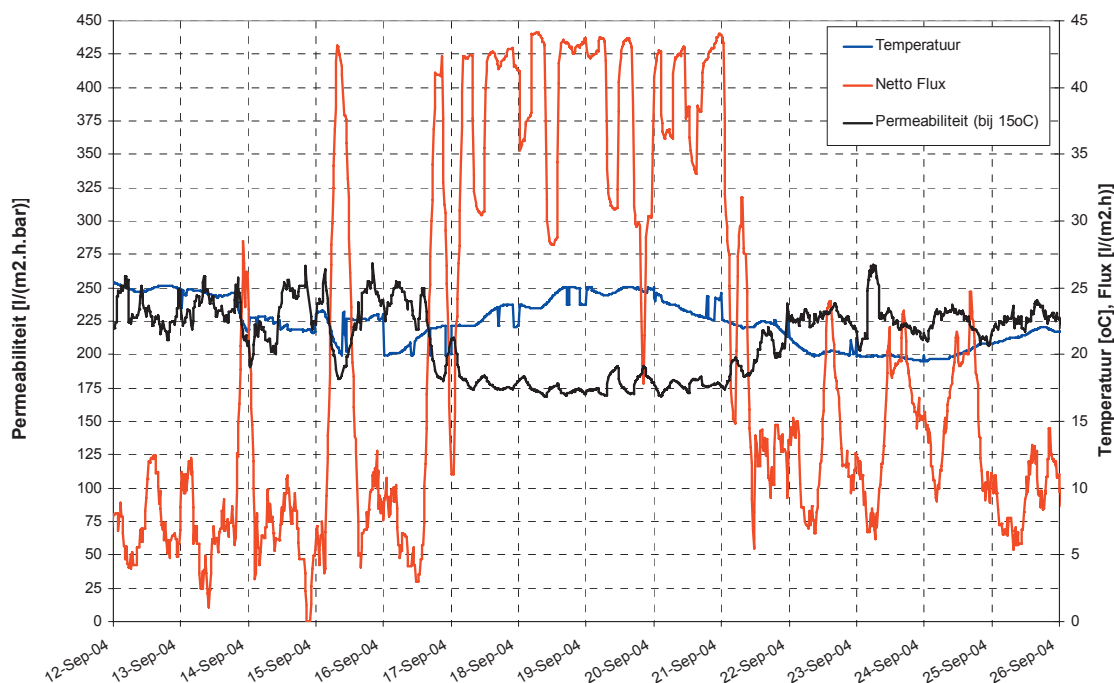
Ten behoeve van de garantiestelling van de membraanleverancier zijn deze ontwerpuitgangspunten getest. Deze testen zijn bovendien de basis voor de ontwerpevaluatie. Hiertoe worden twee testen uitgevoerd; de ontwerpfluxtesten en de kritische-fluxtesten, welke achtereenvolgens zijn beschreven in §3.3.1 en §3.3.2.

3.3.1 ONTWERPFLUX

Tijdens de ontwerpfluxtesten zijn de membranen gedurende enkele dagen continu belast met verschillende fluxen. De ontwerpfluxtesten van 10, 20 en 37,5 l/(m².h) zijn uitgevoerd op 3 augustus 2004. Na uitvoering is gebleken dat de meting teveel verstoord is door de ingestelde relaxatie/paraat mode van de installatie. Ten behoeve van deze metingen dient de flux constant te zijn, zonder de relaxatie periodes. De resultaten zijn acceptabel en permeabiliteit herstel is aangetoond, maar de 8 uur tijdsduur van de proef was onvoldoende om de ontwerpflux van 37,5 l/(m².h) te kunnen beoordelen.

Begin september 2004 is een nieuwe ontwerpfluxtest bij 37,5 l/(m².h) uitgevoerd. Deze test viel samen met het vervangen van de zuurstofmeter (zie §4.2). Ten gevolge hiervan was het zuurstofgehalte in de beluchtingstank gedurende deze ontwerpfluxtest veel te laag waardoor waarschijnlijk de slibkwaliteit in de membraantank niet optimaal was. Het is daarom niet zinvol om deze resultaten in beschouwing te nemen.

De test is medio september 2004 opnieuw uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Afbeelding 5.

AFBEELDING 5 ONTWERPFLUXTEST BIJ DE RWA-ONTWERPFLUX VAN 37,5 L/(M².H) GEDURENDE 5 DAGEN BIJ T > 20°C

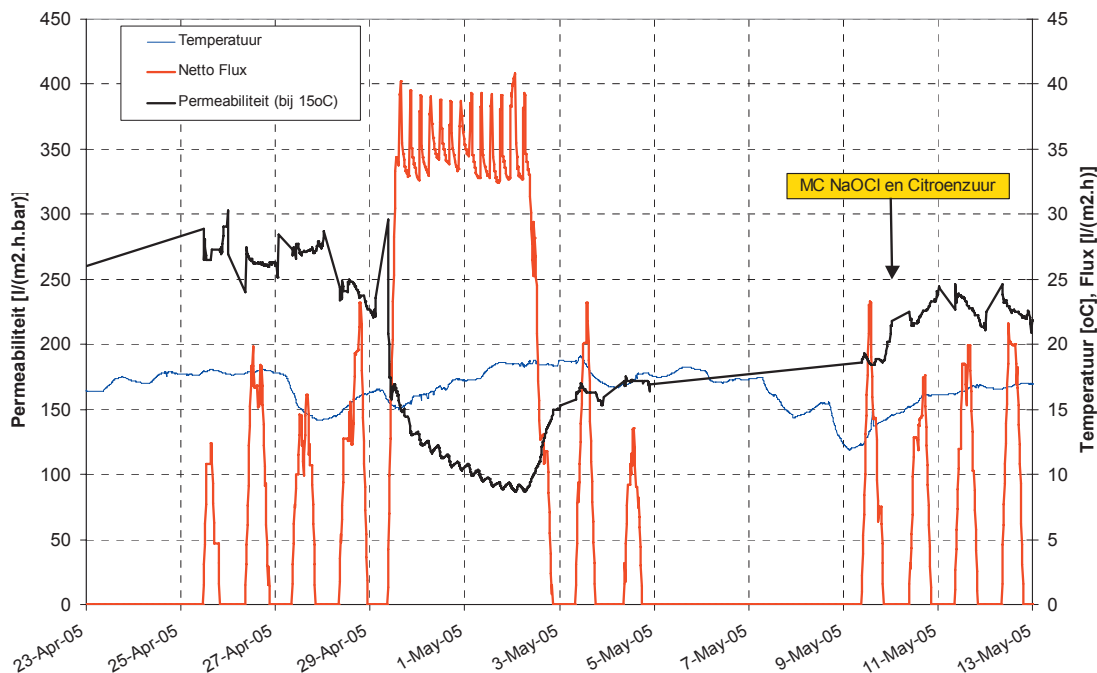
Oorspronkelijk was de planning om de test bij hoge en lage procestemperatuur uit te voeren. Door de verkleavingsproblematiek van de membranen (zie §3.4.2) is de tweede meting echter pas in april uitgevoerd en was de temperatuur inmiddels opgelopen tot boven de 15 °C.

Uit de ontwerpfluxtest bij de RWA-ontwerpflux in september 2004 blijkt dat de membranen goed in staat zijn deze gedurende 5 dagen te verwerken. De permeabiliteit daalt na aanvang van de test van 225-250 naar circa 175 l/(m².h.bar) en stabiliseert vervolgens op deze waarde. Nadat de test is afgelopen herstelt de permeabiliteit zich binnen een dag op de waarde van circa 220 l/(m².h.bar).

INDUSTRIEEL POLYMEER

Na intensieve reiniging van de membranen met NaOCl en citroenzuur, zoals in §3.5.2 is beschreven, is de toevoer van de industriële polymeer, dat als mogelijke oorzaak van de membraanverkleving werd gezien, stopgezet. Om te kunnen beoordelen of dit polymeer inderdaad invloed heeft op de verkleving, is er meteen na het stopzetten van de aanvoer van het polymeer een piektest (72 uur 37,5 l/(m².h), 8 uur 50 l/(m².h)) uitgevoerd op de simulatie-unit. Een maand later is dezelfde test uitgevoerd, waarbij de hoeveelheid geaccumuleerd polymeer in het slib door het afvoeren van spuislub verminderd is. De resultaten zijn te zien in Afbeelding 6 en Afbeelding 7.

AFBEELDING 6 PERMEABILITEITSVERLOOP TIJDENS DE PIEKTEST IN MEI 2005 (MET INDUSTRIEEL POLYMEER)



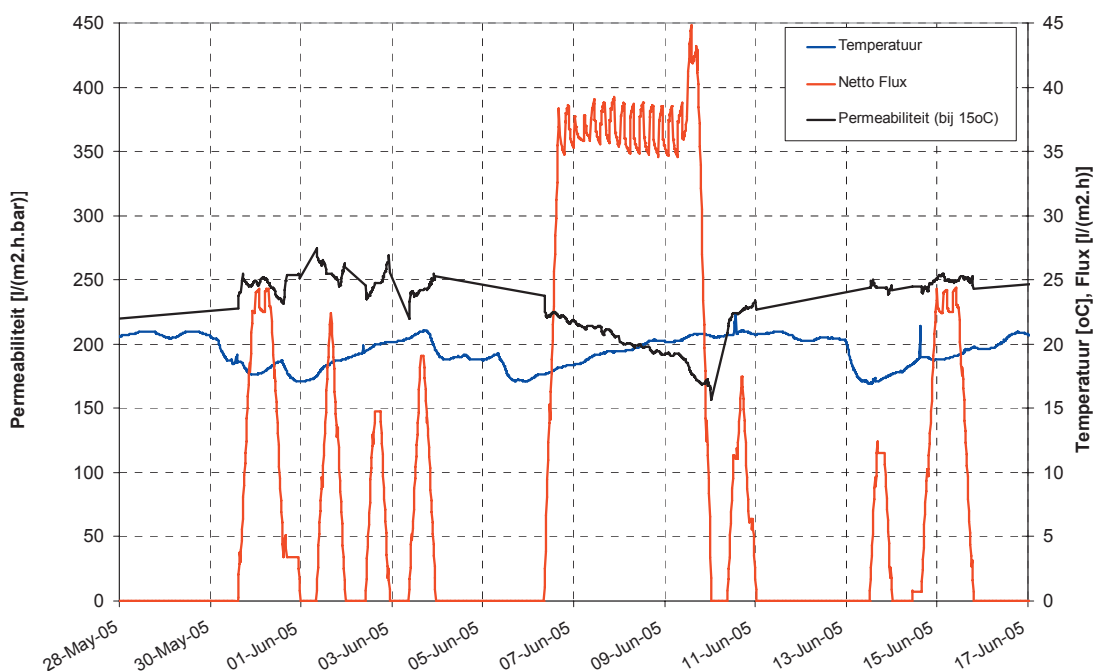
Tijdens de eerste piektest op 1 mei 2005 (Afbeelding 6) wordt de ingestelde flux van 37,5 l/(m².h) niet gehaald doordat de permeaatpomp de vereiste frequentie niet kan halen vanwege een begrenzing op de pompfrequentie. Ook neemt de permeabiliteit in korte tijd af van circa 170 naar slechts 90 l/(m².h.bar). Dit duidt op verkleving van de membranen waardoor het beschikbare oppervlak drastisch afneemt en 'plaatselijke' fluxen veel hoger zijn dan 37,5 l/(m².h), waardoor de TMD enorm toeneemt (exponentieel binnen een cyclus) en de permeabiliteit dus afneemt.

Ook is het herstel van de permeabiliteit matig. Was deze vóór het experiment nog 275 l/(m².h.bar), na het experiment was deze slechts 175 l/(m².h.bar), bij een flux van ca. 20 l/(m².h). Na een maintenance cleaning komt deze terug tot 225 l/(m².h.bar). Dit is echter nog steeds niet het niveau van vóór het experiment. Uit visuele inspectie van de membranen na het experiment bleek dat de membranen inderdaad ernstig verkleefd waren door een 'snotterige' substantie.

Een maand later (Afbeelding 7) is het permeabiliteitsverloop een stuk minder verontrustend. 37,5 l/(m².h) wordt nu wel gehaald. Echter 50 l/(m².h) wordt net niet bereikt. De permeabiliteit neemt aanzienlijk minder sterk af en ook het herstel van de permeabiliteit na het experiment is veel beter. Vóór het experiment lag deze rond 250 l/(m².h.bar) en na het experiment komt deze terug tot hetzelfde niveau.

De membraanverkleving komt dus in een veel geringere mate voor. Hiermee lijkt aangetoond te zijn dat het polymeer een grote invloed heeft op de membraanprestaties.

AFBEELDING 7 PERMEABILITEITSVERLOOP TIJDENS DE PIEKTEST IN JUNI 2005 (ZONDER INDUSTRIEEL POLYMEER)



3.3.2 KRITISCHE FLUX

Met behulp van de kritische fluxtesten wordt de flexibiliteit van de membraaninstallatie onderzocht. Tijdens deze testen is bij verschillende fluxen de daling van de permeabiliteit gemeten. De kritische flux is gedefinieerd als de maximale flux waarbij de verschildruk binnen een half uur met niet meer dan 10% stijgt.

De kritische fluxtesten zijn uitgevoerd op 23 juli 2004 bij een procestemperatuur van gemiddeld $26^{\circ}C$. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4. De kritische flux ligt tussen de 30 en $35 l/(m^2 \cdot h)$. Dit resultaat is vergelijkbaar met de metingen in Beverwijk.

TABEL 4

RESULTATEN VAN DE KRITISCHE FLUXTESTEN

Nr.	Flux	Begindruk	Einddruk	Toegestane einddruk	Oordeel	Opmerking
[-]	$[l/(m^2 \cdot h)]$	$[kPa]$	$[kPa]$	$[kPa]$	[-]	[-]
1	25	16,4	16,2	14,8	goed	
2	30	15,6	14,1	14,0	goed	
3	30	15,0	14,1	13,5	goed	
4	35	13,0	11,1	11,7	fout	na 10 minuten gestopt
5	35	13,0	11,6	11,7	fout	na 15 minuten gestopt

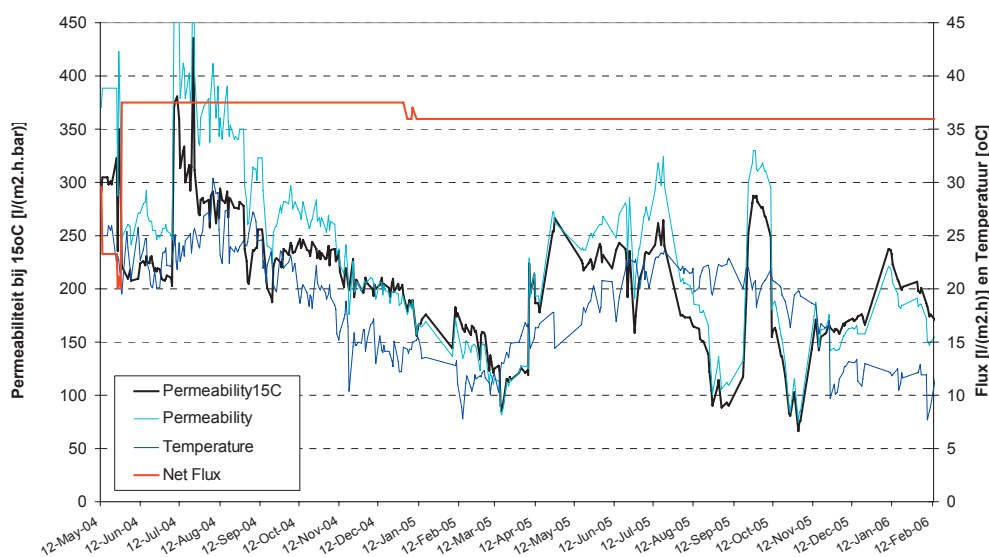
Het is niet mogelijk om deze kritische fluxwaarde direct te relateren aan de ontwerpflux. Het ontwerp van de MBR Varsseveld is gebaseerd op een flux van $37,5 l/(m^2 \cdot h)$. In de praktijk is de maximale procestijd echter 360 seconden, oftewel 6 minuten, waarna terugspoeling gedurende 20 seconden plaatsvindt. De kritische fluxtest is echter gebaseerd op een continue permeaatonttrekking gedurende 30 minuten.

3.4 MEMBRAANWERKING

3.4.1 INLEIDING

De beoordeling van de werking van de membranen vindt op twee manieren plaats, op basis van de handmatige metingen en op basis van on-line data. De bedrijfsvoerders van de rwzi voerden dagelijks een standaard membraan permeabiliteitstest uit bij een vaste (hoge) flux. Op basis hiervan wordt inzicht verkregen over de permeabiliteit bij gelijke omstandigheden, en over de maximum performance van de membraan en de permeabiliteit beschikbaar voor RWA verwerking. De resultaten van deze metingen voor de gehele onderzoeksperiode zijn weergegeven in Afbeelding 8.

AFBEELDING 8 PERMEABILITEIT VERLOOP IN DE TIJD OP BASIS VAN DE DAGELIJKSE METINGEN

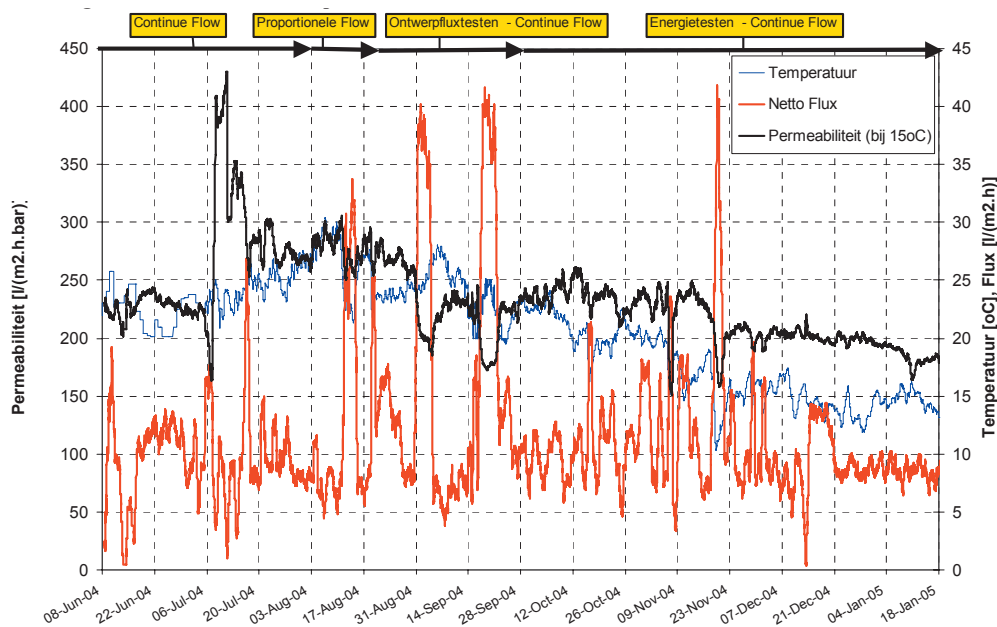


Daarnaast wordt op basis van de on-line data (datapunten elke minuut) de actuele permeabiliteit berekend. Dit geeft informatie over de membraanvervuiling, de mate waarin de vervuiling kan worden verwijderd en de noodzakelijkheid van het schoonmaken van de membranen.

In Afbeelding 9 zijn de resultaten van de permeabiliteitsberekeningen op basis van de on-line data gepresenteerd voor fase 1 van het onderzoek. De resultaten van fase 2, met het slib van de praktijkinstallatie zijn gepresenteerd in Afbeelding 10.

3.4.2 FASE 1

AFBEELDING 9 PERMEABILITEITSVERLOOP IN FASE 1 VAN HET ONDERZOEK



De plaatsing van de nieuwe membraan op 7 juli is duidelijk te herkennen door een sterke stijging van de permeabiliteit. Punten van aandacht zijn vooral tijdens de piektesten naar voren gekomen. De verlaging van de permeabiliteit is zoals verwacht maar het herstel van de permeabiliteit na een piekflux is teleurstellend, zoals bijvoorbeeld na de piek op 24 juli 2004. Vanaf begin augustus is daarom intensief aandacht besteed aan het optimaliseren van de chemische reiniging van de membranen. Deze optimalisatie is beschreven in §3.5.

Ten gevolge van de optimalisatie van de reinigingsprocedures is de stabiliteit van de membraan permeabiliteit verbeterd. De overgang van continu debiet tot volledig proportioneel debiet heeft geen negatief effect gehad op de membranen. De noodweer periode van 10 t/m 15 augustus 2004 en de stortbui in de nacht van 18 op 19 augustus 2004 zijn succesvol verwerkt. In beide periodes heeft de simulatie-unit gedraaid op de ontwerpflux van $37,5 l/(m^2 \cdot h)$. Het herstel van de permeabiliteit tussen de buien was goed.

In september is tweemaal een ontwerpflux test uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn beschreven in §3.3.1. Na deze periode stabiliseert de permeabiliteit tussen de $240 - 280 l/(m^2 \cdot h \cdot bar)$. In oktober neemt de permeabiliteit tijdens de energietesten (zie §3.6) toe, ondanks de daling van de procestemperatuur. De biologische slibkwaliteit in deze periode was zeer goed.

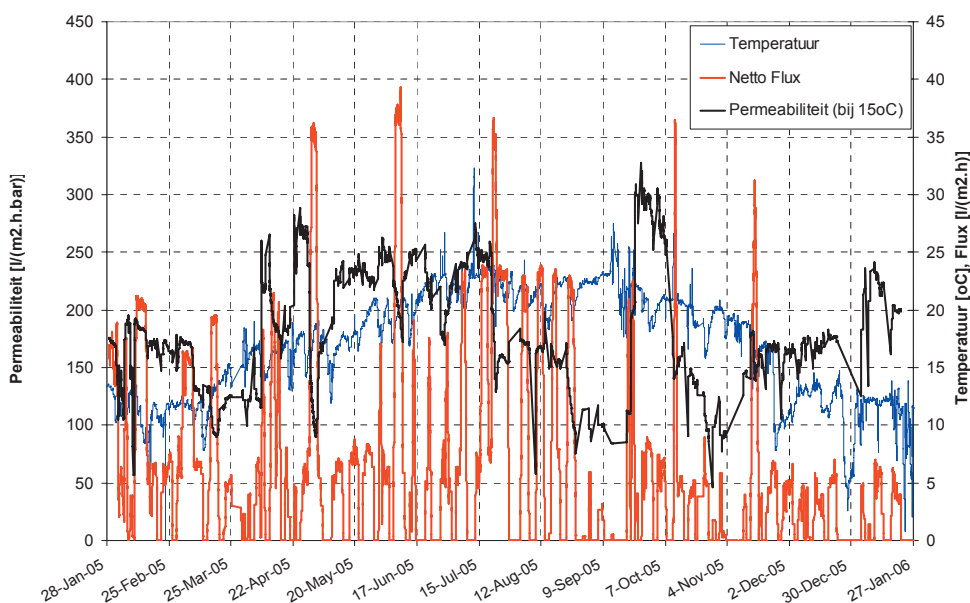
Vanaf november 2004 daalt de permeabiliteit relatief sterk. De oorzaak hiervan is niet eenduidig vast te stellen. Begin december is een witte vetachtige substantie in het simulatie-unit waargenomen. De oorzaak werd in eerste instantie gezocht in het lekken van olie uit de motoren van de mixers. In februari 2005 is echter op de praktijkinstallatie een (mogelijk) soortgelijke snotterige substantie op de membranen waargenomen. Deze is (waarschijnlijk) het gevolg van een combinatie van de lozing van een industriële polymeer en aangroei van slijmerige biomassa, met name ciliaten. Mogelijk heeft een calamiteitlozing van het poly-

meer hiertoe de aanzet gegeven. Achteraf is niet meer vast te stellen of een dergelijke lozing ook eind november heeft plaatsgevonden, en daarbij de werking van membranen van de simulatie-unit negatief heeft beïnvloedt.

3.4.3 FASE 2

Het verloop van de flux, temperatuur en permeabiliteit in fase 2 van het onderzoek is weergegeven in Afbeelding 10. Na afloop van fase 1 zijn de membranen gereinigd en in water bewaard. Het niveau van de permeabiliteit was bij de opstart van fase 2 even hoog als na het afronden van fase 1, namelijk 180 l/(m².h.bar).

AFBEELDING 10 PERMEABILITEITSVERLOOP IN FASE 2 VAN HET ONDERZOEK



In de maanden januari t/m maart 2005 is met name aandacht besteed aan de energietesten in procesmode. De resultaten hiervan zijn in §3.6.5 gepresenteerd. Vanaf die tijd is de simulatie-unit gebruikt om de chemische reinigingsprocedure voor de praktijkinstallatie te testen. Dit is beschreven in §3.5.2. Op verschillende tijdstippen zijn piektesten uitgevoerd. In de maanden juli t/m oktober 2005 staan de experimenten met industrieel polymeer centraal.

3.5 CHEMISCHE REINIGING

3.5.1 FASE 1 – OPTIMALISATIE MAINTENANCE CLEANING

De membranen van de simulatie-unit zijn wekelijks gereinigd. In fase 1 van het simulatie-unit onderzoek is een aantal verschillende reinigingsmethoden toegepast. In het begin van het onderzoek is een zogenaamde Maintenance Cleaning (MC) uitgevoerd. Deze methode, met achtereenvolgens waterstofperoxide en citroenzuur met warm water, is gebaseerd op de ervaringen in Beverwijk. Uit de resultaten op de simulatie-unit is echter gebleken dat deze MC-procedure niet effectief is, en niet in een herstel van de permeabiliteit resulteerde. Op basis van deze conclusie is de MC-procedure aangepast. Het afvalwater van rwzi Varsseveld bevat significante hoeveelheden vet van een lokale industrie. De MBR Varsseveld is met een gecombineerde zand/vetvanger uitgevoerd, een stap die in de voorbehandeling van de simulatie-unit ontbreekt. Uit microscopisch onderzoek van de biomassa is gebleken dat deze

vettig is. Dit heeft een negatief effect op de membraanvervuiling en de effectiviteit van de reiniging.

Waterstofperoxide is effectief tegen biologische vervuiling in of op de membraan, maar ineffectief tegen vet op het membraan. Vet lost op bij een hoge pH-waarde en bij hogere temperaturen. In eerst instantie is natriumhypochloriet gebruikt om het vet op te lossen en de biologisch vervuiling tegen te gaan. Vervolgens is de werking van natriumhydroxide onderzocht. Ook is de toepassing van warm water zonder chemicaliën bekeken.

De belangrijkste instellingen voor de chemische reiniging zijn weergegeven in Tabel 5. In de periode van juli t/m november 2004 is 14 maal een MCinAir toegepast en éénmaal een semi-intensieve reiniging. De resultaten van de schoonmaakprocedures zijn weergegeven in Afbeelding 11.

TABEL 5 BASISINSTELLING VAN DE MCINAIR PROCEDURE

Nr.	Datum	Reinigingsmethode	Concentratie [mg/l]	Opmerkingen
-	t/m 25/07/04	H ₂ O ₂ en Citroenzuur (2 wekelijks)	2.000 / 2.500	warm water, T ≈ 30°C
MC 1	02/08/04	NaOCl en Citroenzuur	500 / 2.500	warm water, T ≈ 30°C
MC 2	09/08/04	NaOCl en Citroenzuur	1.000 / 2.500	warm water, T ≈ 35°C
MC 3	16/08/04	NaOH (pH = 9,5) en Citroenzuur	- / 2.500	warm water, T ≈ 35°C
MC 4	24/08/04	NaOH (pH = 10,5) en Citroenzuur	- / 2.500	warm water, T ≈ 40°C
MC 5	30/08/04	Geen chemicaliën, wel warm water	-	warm water, T ≈ 40°C
MC 6	06/09/04	NaOH (pH = 10,5) en Citroenzuur	- / 2.500	warm water, T ≈ 40°C
SIMC 1	13/09/04	NaOH (pH = 10,5) en Citroenzuur	- / 2.500	warm water, T ≈ 40°C
MC 7 - 14	vanaf 20/09/04	NaOH (pH = 10) en Citroenzuur	- / 2.500	warm water, T ≈ 35°C

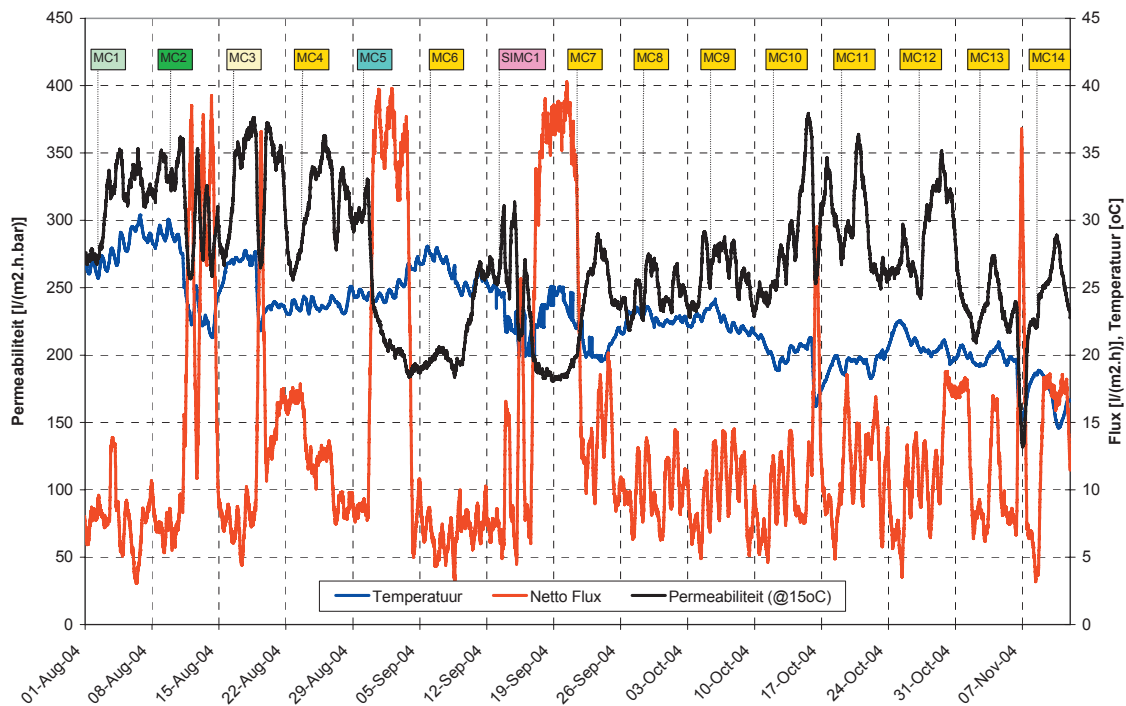
De eerste MC (NaOCl) heeft een verbetering van de permeabiliteit van 270 tot 340 l/(m².h.bar) tot gevolg. De herstelperiode na de MC-procedure was 24 uur. Na de tweede MC (NaOCl) blijft de permeabiliteit constant.

De derde MC (NaOH) heeft geleid tot een toename van het herstel van de permeabiliteit, waarbij het effect zeer snel optreedt. De permeabiliteit stijgt tot boven de 350 l/(m².h.bar), een niveau dat met dergelijke membranen mag worden verwacht. Het effect van de vierde MC (NaOH) was vergelijkbaar met die van de derde MC. Ook hierbij neemt in korte tijd de permeabiliteit toe.

De vijfde MC is een cleaning met alleen warm water en zonder chemicaliën. Het effect hiervan was aanzienlijk minder dan met chemicaliën. Het toepassen van chemicaliën is noodzakelijk. MC6 is daarom weer gelijk aan MC4. MC6 vond plaats tijdens een mislukte piektest (zie §3.3.1) en had niet het gewenste effect. Vervolgens is daarom de eerste SIMC uitgevoerd. Het doel hiervan was om de permeabiliteit weer terug op niveau te brengen. Dit is gedeeltelijk gelukt.

Vanaf MC7 was de warmwatertemperatuur ca. 35°C bij een pH van ca. 10. Vanaf dat moment hebben alle MC's geleid tot een herstel of behoud van de permeabiliteit.

AFBEELDING 11 OPTIMALISATIE VAN DE MEMBRAANREINIGING (FASE 1)



Aan het eind van fase 1, in december 2004 en begin januari 2005, is de werking van de membranen achteruitgegaan. De reden hiervoor is niet met zekerheid vast te stellen, er is een aantal factoren die mogelijk van invloed zijn geweest:

- de energietesten, waarbij de beluchttingscapaciteit in de membraantank laag was;
- er is begin december een witte vette snottige substantie in de membraantank waargenomen. Of dit gelekte olie was of polymeer, is niet meer vast te stellen;
- tijdens de opstart van de MBR Varsseveld, vanaf 20 december 2004, was de belasting van de simulatie-unit zeer onregelmatig.

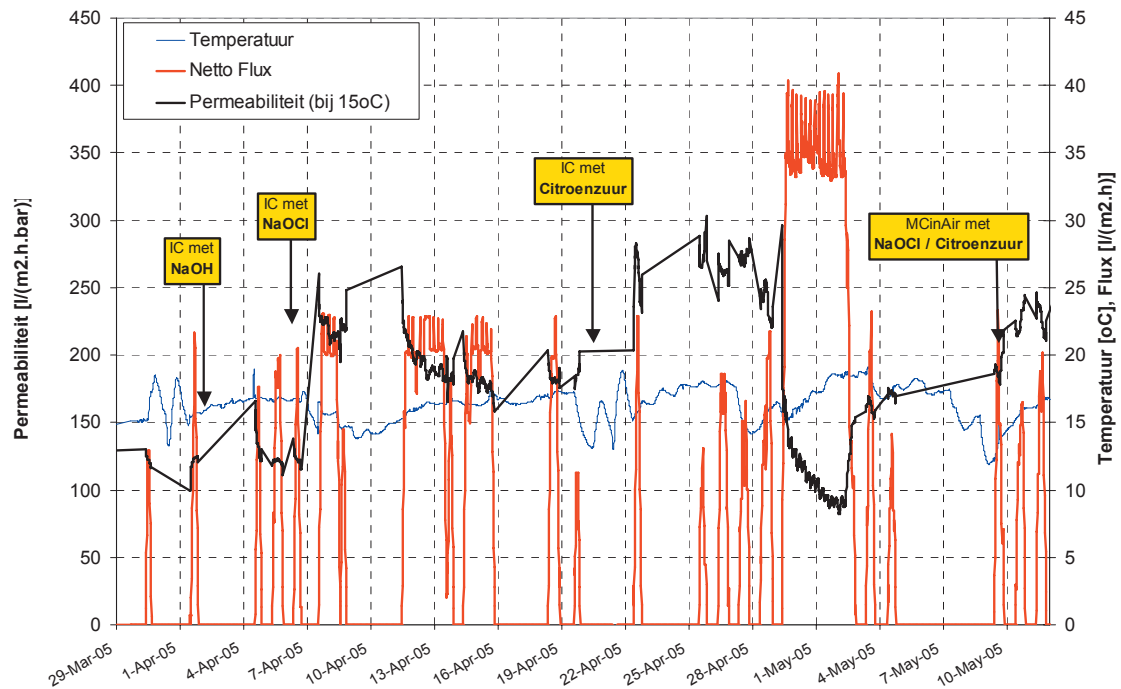
In deze periode heeft de reiniging plaatsgevonden zoals in de weken daarvoor. Ondanks de wekelijkse reiniging is de permeabiliteit gedaald van 225 tot ca. 180 $l/(m^2 \cdot h \cdot bar)$ aan het eind van het fase 1 onderzoek. De natronloog/citroenzuur reiniging was niet in staat deze daling tegen te gaan. Op basis van deze trend kan worden geconcludeerd dat deze reinigingsmethode niet in staat is de permeabiliteit onder alle omstandigheden op peil te houden. Een conclusie die in fase 2 van het onderzoek en op de praktijkinstallatie is bevestigd.

3.5.2 FASE 2 – INTENSIEVE REINIGING

In fase 2 van het onderzoek is de simulatie-unit gebruikt om de chemische reiniging verder te optimaliseren. De membraanverklefingsproblemen welke half februari 2005 op de MBR Varsseveld werden waargenomen, traden ook op in de simulatie-unit. Dit leidde ook op de simulatie-unit tot een verlaging van het beschikbare membraanoppervlak en daarmee tot een verlaging van de permeabiliteit. Zoals in Afbeelding 12 is waar te nemen neemt de permeabiliteit in deze periode af van ca. 170 tot ca. 90 $l/(m^2 \cdot h \cdot bar)$.

Aangezien de verklefing niet met de maintenance cleaning in air kon worden tegengegaan, is besloten op de praktijkinstallatie een intensieve cleaning uit te voeren. Hiervoor is allereerst op de simulatie-unit een aantal procedures getest. De resultaten zijn weergegeven in Afbeelding 12.

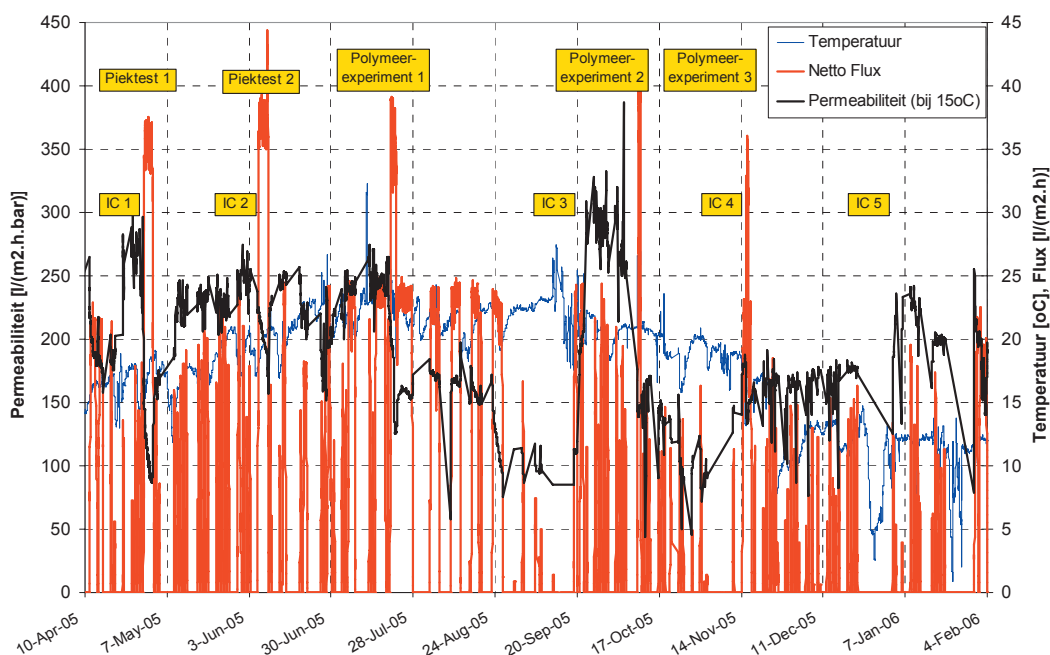
AFBEELDING 12 OPTIMALISATIE VAN DE MEMBRAANREINIGING (FASE 2)



Een intensieve reiniging met natronloog (pH = 10,5 gedurende 24 uur) had nagenoeg geen effect op de permeabiliteit. De toepassing van natriumhypochloriet (1.000 ppm, gedurende 24 uur) daarentegen had een aanzienlijk herstel van de permeabiliteit tot gevolg. De permeabiliteit steeg van 120 tot 225 $l/(m^2.h.bar)$. Een aanvullende intensieve citroenzuurreiniging (2.500 ppm, gedurende 24 uur) zorgde voor een verdere verhoging van de permeabiliteit tot ca. 275 $l/(m^2.h.bar)$. Na de piekstest van april 2005 (zie §3.3.1) is de permeabiliteit opnieuw gezakt tot ca. 170 $l/(m^2.h.bar)$. Na een standaard MCinAir met NaOCl en citroenzuur is de permeabiliteit weer teruggebracht op ca. 240 $l/(m^2.h.bar)$.

Vervolgens zijn nog enkele experimenten met de industriële polymeer uitgevoerd op de simulatie-unit, die de permeabiliteit aanzienlijk verlaagden (zie §3.8). Aangezien een MC niet in staat was de permeabiliteit na deze ingrijpende experimenten te herstellen, is regelmatig een IC uitgevoerd. De effecten van deze IC's zijn te zien in Afbeelding 13.

AFBEELDING 13 EFFECT VAN DE INTENSIEVE REINIGINGSPROCEDURES (IC'S)



IC 1 t/m 3 hebben goed effect en houden de permeabiliteit boven 250 l/(m².h.bar). Deze IC's zijn met 1.000 ppm NaOCl uitgevoerd. IC 4 brengt de permeabiliteit echter niet hoger dan 150 l/(m².h.bar) en IC 5 brengt de permeabiliteit wel terug naar boven 200 l/(m².h.bar), maar deze neemt al snel weer af tot minder dan 200 l/(m².h.bar). De laatste IC's zijn echter 3-voudig uitgevoerd, met respectievelijk H₂O₂, NaOCl en citroenzuur. Een verklaring hiervoor is wellicht vervuiling/verstopping van de binnenkant van de membranen. Na het tweede polymeerexperiment is regelmatig vertroebeling in de permeaatbuffer waargenomen. De oorzaak hiervoor is niet bekend. Een eventueel lek in de headers van de membranen is een mogelijkheid. Terugspoelen met troebel permeaat leidt echter tot membraanvervuiling aan de permeatzijde, waardoor de permeabiliteit zal dalen. Een IC lijkt hier niet in staat de permeabiliteit weer in voldoende mate te herstellen. Ook MC's hebben in deze periode geen herstellend effect gehad op de permeabiliteit.

De effectiviteit van de verschillende reinigingschemicaliën en reinigingsprocedures verschilt gedurende het onderzoek. Een nadere analyse van de reinigingsprocedure en de ervaringen op de praktijkinstallatie zullen leiden tot meer inzicht en begrip in de voor MBR Varsseveld optimale reinigingsstrategie.

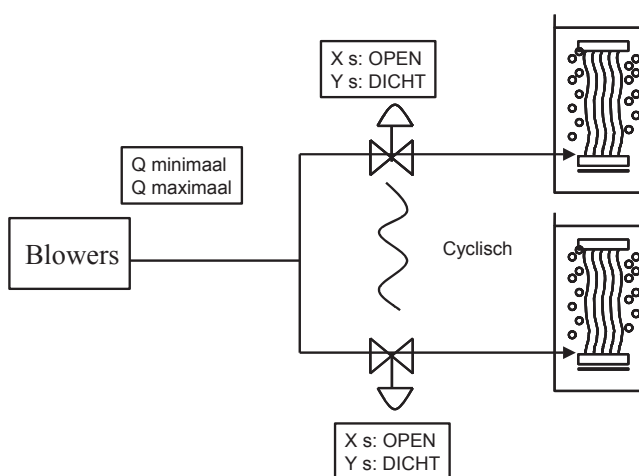
3.6 ENERGIEBESPARING IN PROCESMODE

3.6.1 INLEIDING

Één van de belangrijkste doelstellingen van de simulatie-unit en de praktijkinstallatie is het optimaliseren van het energieverbruik van een MBR. Onderzoek aan de Zenon pilot-installatie op Beverwijk heeft aangetoond dat op het gebied van de membraanbeluchting mogelijk grote winst te behalen valt. Met de simulatie-unit is dit item daarom uitvoerig onderzocht in de maanden september en oktober 2004.

De beluchting in de membraantank heeft als doel om de vervuiling van de membranen tegen te gaan. Bij de Zenon membranen is hierbij het principe van “air-cycling” ontwikkeld, waarbij de beluchting gedurende korte tijd aan en uit wordt geschakeld (bijvoorbeeld 10 of 15 seconden). Dit principe is schematisch weergegeven in Afbeelding 14.

AFBEELDING 14 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE AIR-CYCLING



Het uitzetten van de beluchting heeft (op praktijkschaal) tot gevolg dat energiebesparing optreedt. Daarnaast heeft de air-cycling ook een positief effect op de effectiviteit. Door het uitzetten van de beluchting verandert de turbulentie rondom de membranen, wat de membraanvervuiling vermindert.

3.6.2 OPZET VAN HET TESTPROGRAMMA

De simulatie-unit heeft de mogelijkheid om de membraanbeluchting aan (klep open) en uit (klep dicht) te sturen met onafhankelijk timers. Met behulp van deze timers kan het luchtdebiet naar de membraan worden gewijzigd. Bij het onderzoek naar de mogelijkheden van energiebesparing is begonnen met de standaard instellingen, waarbij het beluchtingsdebiet $75 \text{ Nm}^3/\text{h}$ is voor de $94,5 \text{ m}^2$ membraanoppervlak van de simulatie-unit. De testen zijn uitgevoerd bij een constante flux van $20 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ gedurende maximaal 8 uur. Tussen deze testen is de membraanbeluchting teruggezet in de standaard instellingen.

In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde procesinstellingen die op de simulatie-unit zijn uitgevoerd. Hierbij is instelling 1, de standaardinstelling, als uitgangspunt genomen. De beluchtingscapaciteit en het energieverbruik voor deze instelling zijn gedefinieerd als 100%. De resultaten hiervan zijn beschreven in §3.6.3. Op basis van de resultaten van de 1-dags metingen zijn een aantal metingen uitgevoerd over een langere periode, welke zijn beschreven in §3.6.4.

3.6.3 FASE 1 – 8 UUR TESTEN

Op basis van de permeabiliteitsgrafieken is de werking van de membranen onder de opgelegde omstandigheden beoordeeld. Hierbij is gelet op het verloop van de permeabiliteit (trend) en het herstel van de permeabiliteit na afloop van de procesinstelling. Deze beoordelingen zijn met plussen en minnen weergegeven in de grafieken en in Tabel 6.

In Afbeelding 15 en Afbeelding 16 zijn twee voorbeelden weergegeven van deze permeabiliteitsgrafieken. Dit betreft een voorbeeld waarbij de resultaten positief zijn (Afbeelding 15: 15 sec aan / 40 sec uit / 75% beluchttingscapaciteit) en één waarbij de resultaten negatief zijn (Afbeelding 16: 15 sec aan / 60 sec uit / 100% beluchttingscapaciteit).

Uit Tabel 6 blijkt dat de resultaten niet altijd een eenduidige trend laten zien. Zo is bijvoorbeeld de beoordeling bij 10s/20s/50% slechter dan bij 10s/30s/50%, waarbij de beluchting langer uitstaat. Dit is een gevolg van veranderende procesomstandigheden gedurende het onderzoek. Niet alleen de procesinstellingen maar ook de influentsamenstelling (RWA of DWA), de slibkwaliteit, de reiniging en de procesomstandigheden (b.v. temperatuur) zijn van invloed.

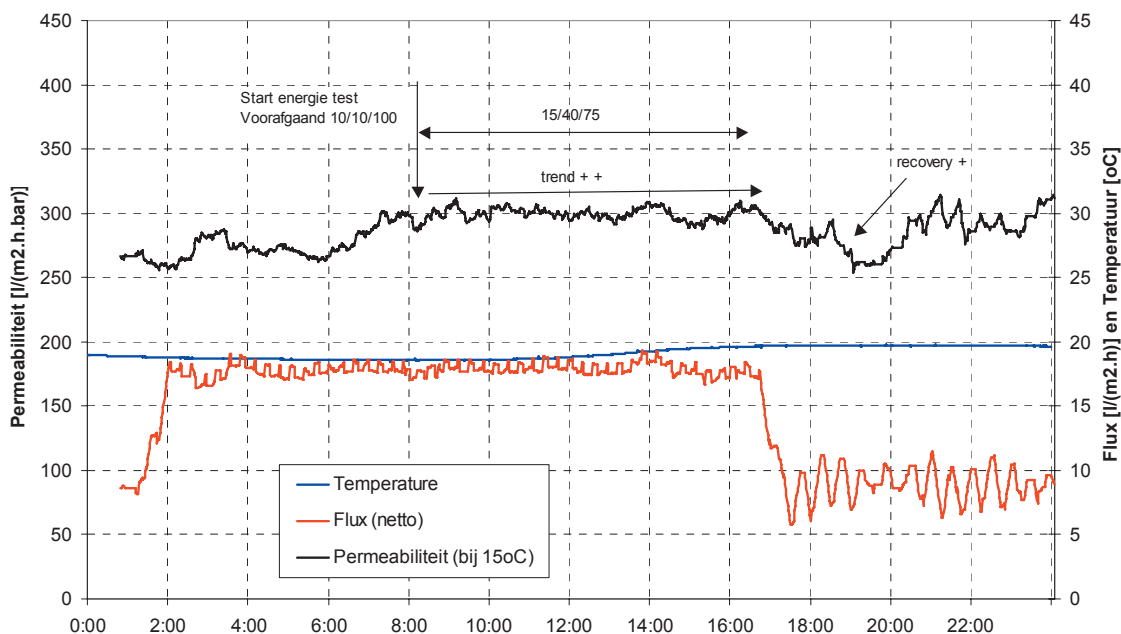
De eerste resultaten van de energietesten tonen echter aan dat bij een procestemperatuur boven de 20°C een aanzienlijke energiebesparing mogelijk is. Voorzichtig kan worden geconcludeerd dat bij een procesinstelling van bijvoorbeeld 15s/40s/75% het verloop en herstel van de permeabiliteit gelijk is aan die bij de standaardinstellingen. Dit zou leiden tot een energiebesparing van ca. 60% onder de genoemde omstandigheden. Verder onderzoek met langere testperiodes dient dit echter te onderbouwen (zie §3.6.4).

De procestemperatuur is een belangrijke factor in dit onderzoek. De resultaten in de winter en in de zomer zullen naar verwachting aanzienlijk kunnen verschillen. In de winter, in fase 2 van het onderzoek, is daarom een deel van de energietesten herhaald. De resultaten hiervan zijn beschreven in §3.6.5.

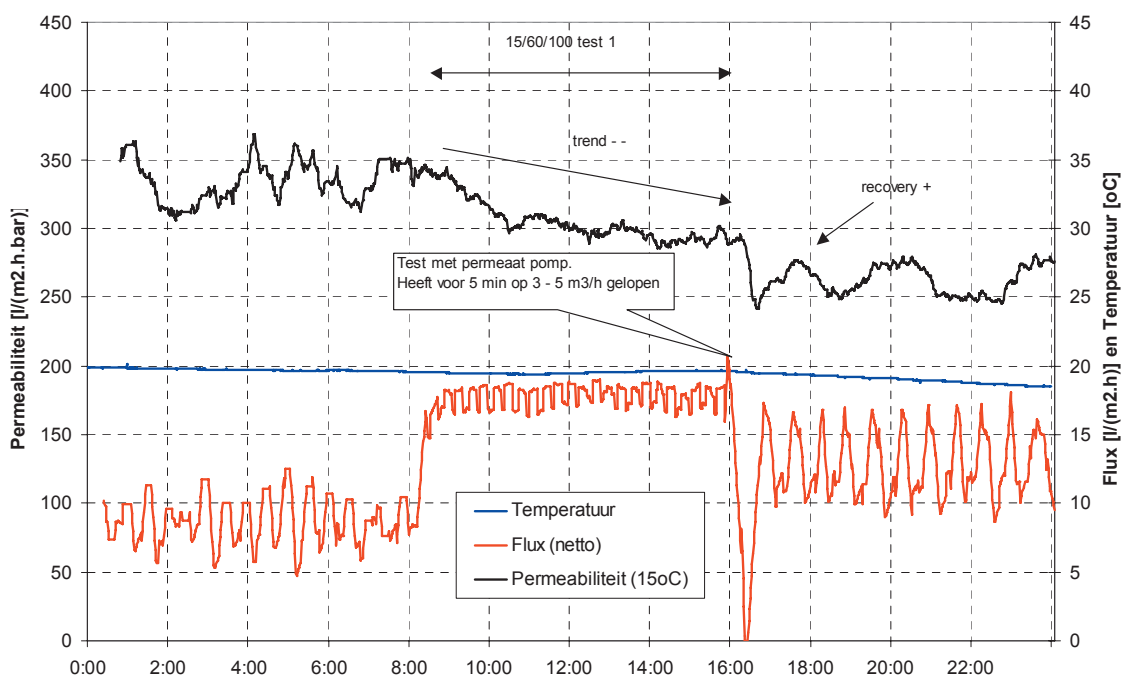
TABEL 6 PROCESINSTELLINGEN TIJDENS DE 8-UUR TESTEN

Nr. [-]	Capaciteit [Nm ³ /h]	Air-Cycling		Energieverbruik [%]	Beoordeling	
		aan [sec]	uit [sec]		trend	recovery
1	100	10	10	100%	++	++
2	100	10	20	67%	+	+
3	100	10	30	50%	++	-
4	100	10	50	33%	++	-
5	100	15	20	86%	++	++
6	100	15	30	67%	++	-
7	100	15	40	55%	+	+
8	100	15	50	46%	++	++
9	100	15	60	40%	--	+
10	75	10	10	75%	++	+
11	75	10	20	50%	+	-
12	75	10	30	38%	-	++
13	75	15	20	64%	++	+
14	75	15	30	50%	++	+
15	75	15	40	41%	++	+
16	75	15	50	35%	+/-	+/-
17	75	15	60	30%	+	+
18	50	10	10	50%	-	++
19	50	10	20	33%	-	+
20	50	10	30	25%	++	+
21	50	15	20	43%	+	+
22	50	15	30	33%	++	+
23	50	15	40	27%	+	++

AFBEELDING 15 PERMEABILITEITSVERLOOP VAN ÉÉN VAN DE ENERGIETESTEN MET EEN POSITIEF RESULTAAT (19 OKT. 2004)



AFBEELDING 16 PERMEABILITEITSVERLOOP VAN ÉÉN VAN DE ENERGIETESTEN MET EEN NEGATIEF RESULTAAT (21 OKT. 2004)



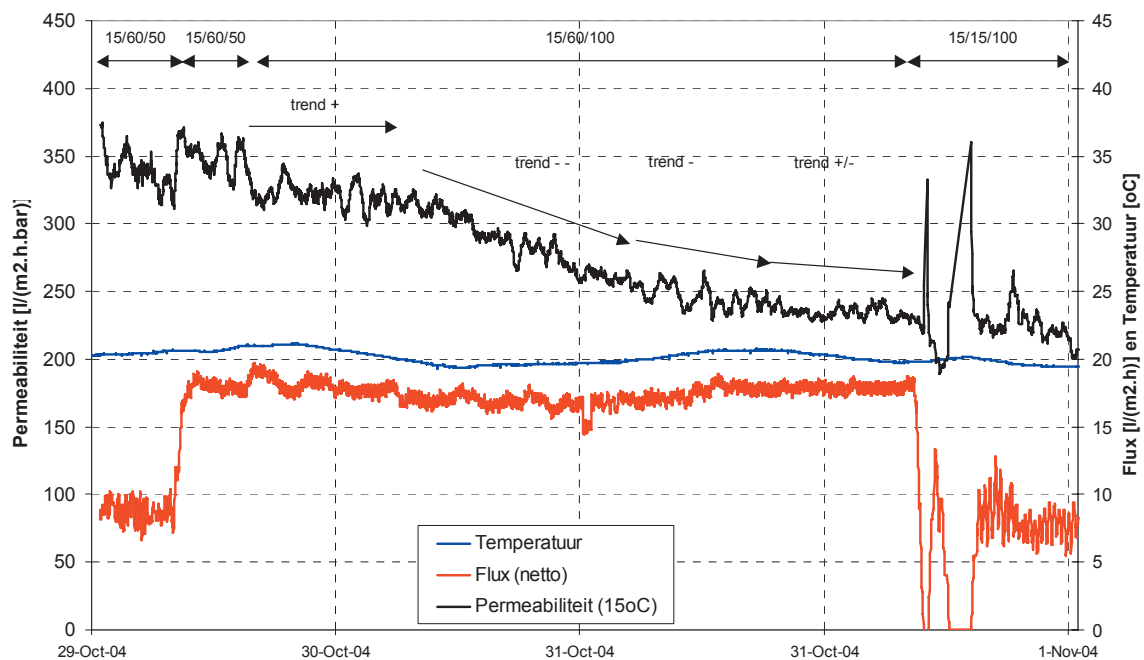
3.6.4 FASE 1 – 3 DAG TESTEN

Op basis van de 8-uur testen is een aantal duurtesten uitgevoerd onder verschillende procesomstandigheden. De toegepaste procesinstellingen, in de periode tussen 29 oktober en 22 november 2004, zijn weergegeven in Tabel 7. De trending van één van de testen (nr. 1) is weergegeven in Afbeelding 17.

TABEL 7 PROCESINSTELLINGEN EN RESULTATEN VAN DE 3 DAG TESTEN

Nr.	Datum	Aanvoer	Capaciteit	Air-Cycling		Beoordeling	
				Aan [sec]	Uit [sec]	Trend	Recovery
1	29/10/04 - 01/11/04	constant	100	15	60	- -	-
2	05/11/04 - 08/11/04	proportioneel	100	15	40	++	++
3	08/11/04 - 11/11/04	constant	100	15	40	+ / -	+ / -
4	11/11/04 - 14/11/04	proportioneel	100	15	45	+ / -	+ / -
5	18/11/04 - 22/11/04	proportioneel	100	15	15	+ / -	+ / -

AFBEELDING 17 HET VERLOOP VAN DE 3-DAGEN TEST NR.1 BIJ CONSTATE FLOW EN 15S/60S/100% (29 OKT.- 1 NOV. 2004)



3.6.5 FASE 2 – 1 WEEK TESTEN

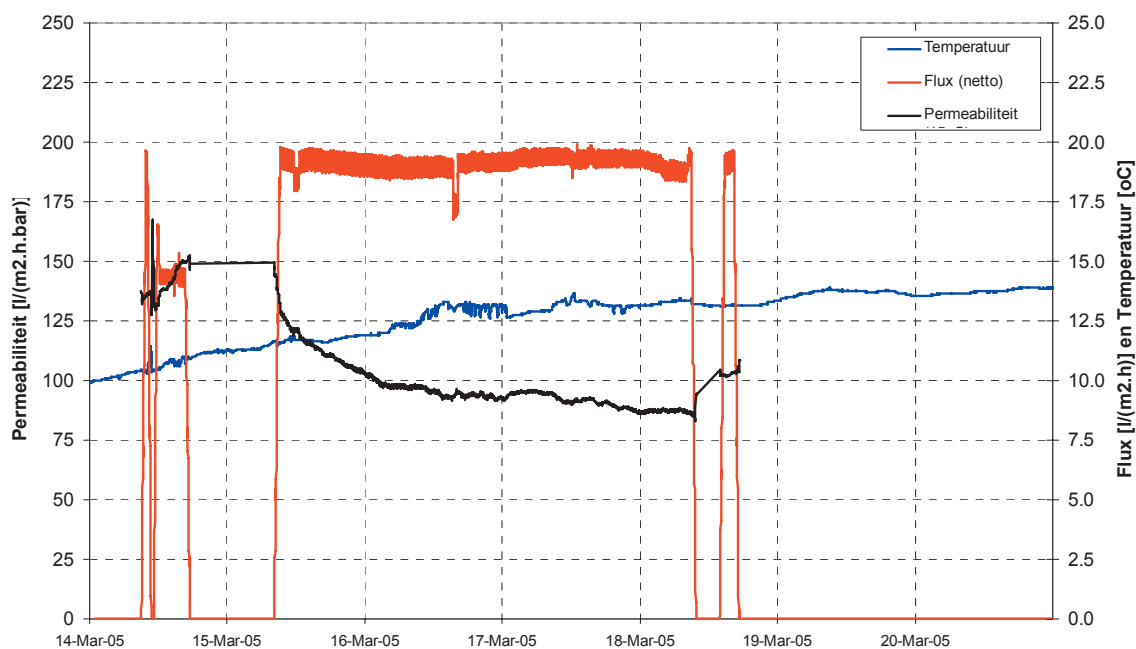
Op basis van de resultaten van de 8-uur en 3-dagen testen bij hogere procestemperaturen (> 15 °C) is een aantal langeduurtesten uitgevoerd bij lagere procestemperaturen (< 15 °C). De toegepaste procesinstellingen, in de periode tussen 14 februari en 25 maart 2005, zijn weergegeven in Tabel 8. Alle testen zijn uitgevoerd bij een netto flux van 20 l/(m².h).

TABEL 8 PROCESINSTELLINGEN EN RESULTATEN VAN DE 1-WEEK TESTEN

Nr.	Week	Test periode	Capaciteit	Air-Cycling		Beoordeling	
				Aan [sec]	Uit [sec]	Trend	Recovery
1	7 - 2005	5 x 8 h	100	15	45	+	+/-
2	8 - 2005	5 x 8 h	100	15	30	+	+/-
3	9 - 2005	5 x 8 h	100	15	60	-	-
4	10 - 2005	5 x 8 h	75	15	45	-	-
5	11 - 2005	1 x 3 d	100	15	45	-	-
6	12 - 2005	-	100	15	15	-	-

De eerste vier weken is een aantal procesinstellingen getest gedurende vijf achtereenvolgende dagen van 8-uur. Gedurende de tussenliggende 16 uur (avond en nacht) waren de membranen in de paraatmode gezet. Op basis van deze resultaten is één van de procesinstellingen (15s/45s/100%) gedurende een periode van 3 dagen getest. De procestemperatuur varieerde tussen de 10 en 13 °C. Het resultaat van deze test (nr. 5 uit Tabel 8) is weergegeven in Afbeelding 18.

AFBEELDING 18 RESULTAAT VAN DE 3-DAGEN TEST BIJ 15S/45S/100%



De interpretatie van de resultaten is zeer lastig aangezien in de testperiode de membranen van de simulatie-unit, evenals die van de praktijkinstallatie, verontreinigd waren met een slijmerige substantie, welke de membranen deed verkleven. Het gevolg hiervan was dat het beschikbare membraanoppervlak afnam en daarmee ook de permeabiliteit. Dit aspect speelde met name een grote rol tijdens bovengenoemde 3-dagen test.

Tijdens de 3-dagen test daalt de permeabiliteit binnen een dag van 150 tot <math><100\text{ l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})</math>. De volgende dag daalt de permeabiliteit verder tot een minimaal niveau van 85-90 $\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})$. Nadat de membranen een weekend lang in paraat-mode zijn gezet, zijn ze in week 12 gedurende 3 dagen (telkens 8 uur) bij standaard procesmode instellingen (15s/15s/100%) bedreven. In deze periode stijgt de permeabiliteit licht tot 125-140 $\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})$. De slechte werking van de membranen bij deze procesinstellingen zijn zeer waarschijnlijk een gevolg van de membraanverkleefing.

3.6.6 CONCLUSIES

De energietesten op de simulatie-unit van Varsseveld hebben het inzicht in de invloed van de beluchting op de membraanperformance aanzienlijk vergroot. Het is echter nog te vroeg om vergaande conclusies te kunnen trekken over de energiebesparingsmogelijkheden. Op basis van de energietesten op de simulatie-unit van Varsseveld lijkt een verlaging van de beluchtingscapaciteit tijdens procesmode mogelijk.

In Tabel 9 is een overzicht gegeven van de mogelijke procesinstellingen en de bijbehorende beluchtingscapaciteit. Hierbij is de standaardinstelling 15s/15s/100% als basis (=100%) genomen. Uitgangspunt in deze tabel is bovendien dat de beluchtingstijd 15 seconden is. In verschillende kleuren is aangegeven welke instellingen zondermeer mogelijk zijn (groen) en welke instellingen een te hoog risico met zich meebrengen (rood). De gele vakjes geven de instellingen weer waarbij de effecten nader dienen te worden onderzocht.

TABEL 9 HET EFFECT VAN RELAXATIETIJD EN BELUCHTINGSCAPACITEIT OP HET ENERGIEVERBRUIK TIJDENS PROCESMODE

Beluchtingscapaciteit [%]	Relaxatietijd (in seconden)						
	15	20	30	40	45	50	60
100	100	86	67	55	50	46	40
75	75	64	50	41	38	35	30
50	50	43	33	27	25	23	20

Een energiebesparing tijdens procesmode van 14% lijkt zonder problemen mogelijk te zijn. Mogelijk kan het energieverbruik gedurende een deel van het jaar verder worden verlaagd. Uitgaande van een procesinstelling van 15s/45s/100% gedurende de helft van het jaar, is een energiebesparing tijdens procesmode van 25% mogelijk.

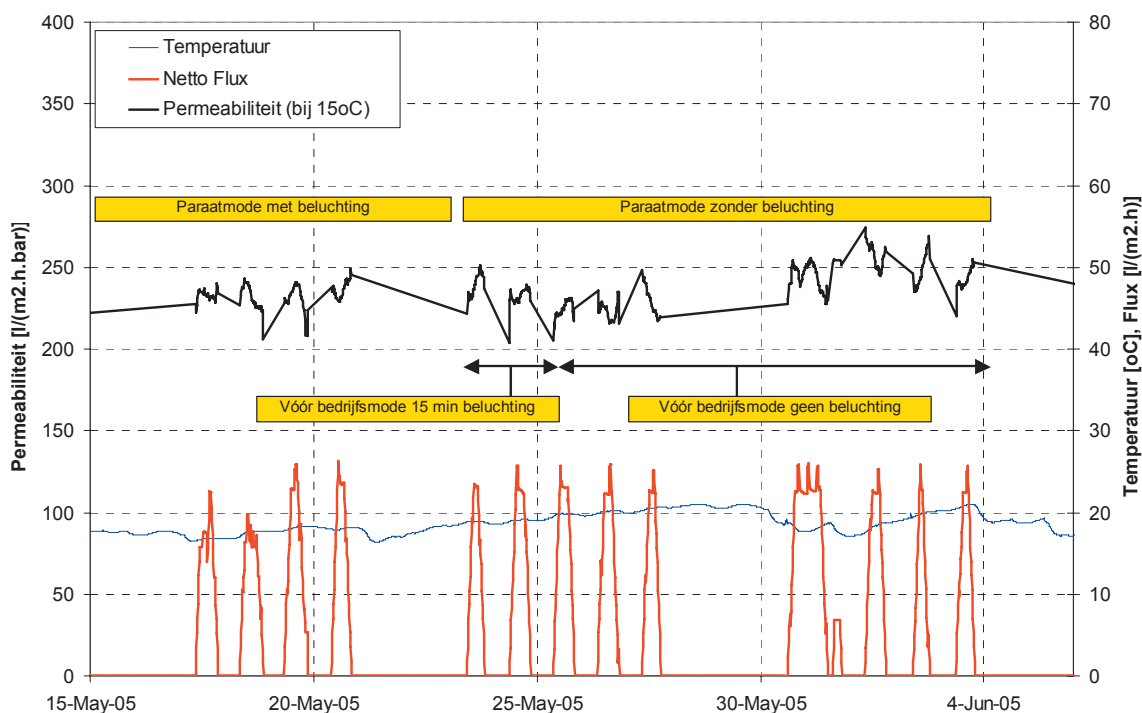
3.7 ENERGIEBESPARING IN PARAAATMODE

3.7.1 VERLAGING BELUCHTINGSCAPACITEIT TIJDENS PARAAATMODE

De membraanbeluchting is de grootste energieverbruiker van de MBR. Ook in paraatmode wordt er flink belucht. Aangezien er geen permeaat wordt onttrokken, is deze beluchting mogelijk niet noodzakelijk en kan er energie worden bespaard. Om dit te bepalen is er een aantal experimenten uitgevoerd op de simulatie-unit waarbij geen beluchting heeft plaatsgevonden in de paraatmode.

Tijdens deze experimenten is enkele keren 15 minuten lang belucht voordat de simulatie-unit vanuit paraatmode weer in bedrijfsmode werd genomen en is de simulatie-unit enkele keren direct vanuit paraatmode in bedrijfsmode genomen. De resultaten met betrekking tot en met de permeabiliteit zijn weergegeven in Afbeelding 19.

AFBEELDING 19 RESULTATEN VAN DE ENERGIETESTEN IN PARAAATMODE



Uit het permeabiliteitsverloop komt naar voren dat het uitzetten van de beluchting tijdens paraatmode geen direct aantoonbare invloed heeft op de permeabiliteit van de membranen. Ook het wel of niet toepassen van beluchting voordat de simulatie-unit in bedrijf wordt genomen, heeft nauwelijks tot geen effect. Op basis van deze resultaten is op de praktijkinstallatie vanaf juni 2005 de beluchting tijdens paraatmode aanzienlijk beperkt. Er worden nog slechts één keer per uur tien beluchtinscycli toegepast. Dit levert een forse energiebesparing op van circa 0,14 kWh/m³.

3.7.2 BELUCHTING EN RECIRCULATIE UITGESCHAKELD TIJDENS PARAAATMODE (ANAËROBIE)

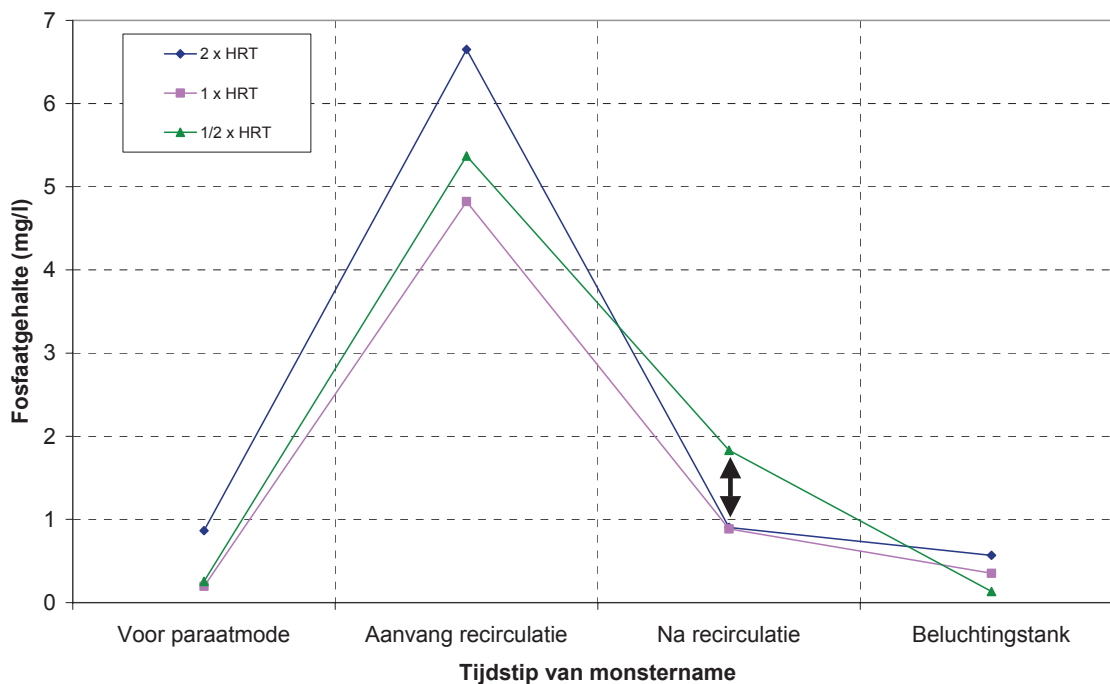
Tijdens paraatmode op de praktijkinstallatie vindt continu recirculatie van slib plaats en wordt regelmatig (elke 60 minuten) een aantal perioden (10) belucht. Om verdere energiebesparing te realiseren kan worden overwogen om de recirculatie en beluchting tijdens paraatmode volledig uit te zetten. Dit heeft echter mogelijk de volgende nadelige effecten:

1. Door anaërobe omstandigheden zullen slibvlokken uit elkaar vallen waardoor er kleinere deeltjes in het slib voorkomen die een grotere kans op pore-blocking teweeg brengen;
2. Door anaërobe omstandigheden zal P-afgifte plaatsvinden waardoor de effluentkwaliteit verslechtert;
3. Door anaërobe omstandigheden kan zich chemische neerslag vormen naar aanleiding van de P-afgifte (ijzerzouten) en de vorming van CO₃²⁻.

Er is een aantal oriënterende experimenten uitgevoerd om deze effecten te beoordelen. Hierbij is gedurende 16 uur (op de praktijkinstallatie duurt een paraatmode in principe nooit langer dan 12 uur) de simulatie-unit in paraatmode gezet, waarbij geen recirculatie of beluchting plaatsvond. Na deze paraatmode is eerst een bepaalde periode maximaal gerecirculeerd en belucht alvorens de simulatie-unit in bedrijf is genomen. Deze tijd is bij de verschillende experimenten gevarieerd: 28, 14 en 7 minuten, respectievelijk 2x, 1x, ½x de hydraulische verblijftijd in de membraantank. Tijdens de experimenten zijn op ver-

schillende momenten monsters genomen uit het membraancompartiment om zo de mate van P-afgifte te bepalen. Daarbij is vlak voor recirculatie een monster genomen van het bezonken slib onderin de tank en van het bovenstaande water. Na de beluchting/recirculatie periode is ook een monster genomen uit het membraancompartiment. De resultaten van deze fosfaatanalyses zijn te zien in Afbeelding 20. De punten in deze grafiek zijn de gemiddelden van twee metingen.

AFBEELDING 20 INVLOED ANAËROBE PARAATMODE OP FOSFAATCONCENTRATIES



Het aanwezige slib in het membraancompartiment, dat voor het experiment is aangevoerd vanuit de beluchtingstank van de praktijkinstallatie, had bij alle experimenten een $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie tussen 0 en 1 mg/l. Na 16 uur paraatmode loopt deze op naar een gemiddelde $\text{PO}_4\text{-P}$ -concentratie in bezonken slib en bovenstaand water tussen 4,5 en 7 mg/l. Na de recirculatie/beluchtingstijd neemt deze waarde bij één en twee keer de hydraulische verblijftijd af tot lager dan 1 mg/l. Bij een half keer de hydraulische verblijftijd is deze waarde nog een stuk hoger. De toename van de concentratie $\text{PO}_4\text{-P}$ in het membraancompartiment van de simulatie-unit is groter naarmate de recirculatie/beluchtingsperiode korter is.

Ook is gekeken of de anaërobe paraatmode invloed heeft op de permeabiliteit. Na elk experiment bleef de permeabiliteit echter constant gedurende enkele uren bedrijfsmode na de paraatmode.

Als de permeabiliteit wel noemenswaardig was afgenomen, dan hadden experimenten uitgevoerd kunnen worden om de mate van chemische neerlag te bepalen, door middel van redox-, pH-, geleidbaarheids- en alkaliteitsbepalingen. Aangezien de permeabiliteit echter constant bleef, zijn deze experimenten niet uitgevoerd.

Aan de hand van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat een recirculatie/beluchtingsperiode van één keer de hydraulische verblijftijd noodzakelijk is voor het behouden van een goede effluentkwaliteit. De anaërobe paraatmode heeft vooralsnog op korte termijn geen invloed op de permeabiliteit.

3.8 INDUSTRIEEL POLYMEER

3.8.1 INLEIDING

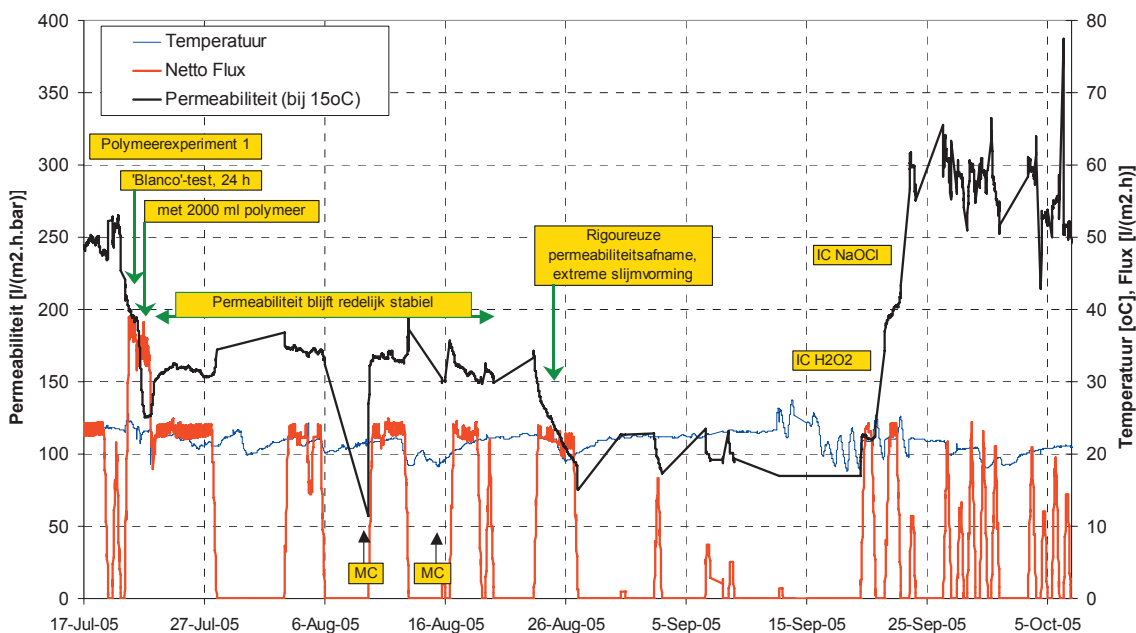
Om meer inzicht te verkrijgen in de invloed van het industriële polymeer op de membraanverkleving is nog een drietal experimenten uitgevoerd op de simulatie-unit. Het doel van de experimenten was om te bewijzen dat het polymeer de oorzaak was van de verkleavingsproblemen op de praktijkinstallatie. Daarnaast is getracht inzicht te verkrijgen in de oorzaak van deze verkleving. De experimenten zijn uitgevoerd onder verschillende omstandigheden en zijn in de volgende paragrafen beschreven.

3.8.2 EXPERIMENT 1

Bij dit experiment is de slibaanvoer vanuit de beluchtingstank van de MBR Varsseveld aan de simulatie-unit stopgezet, en is gedurende 24 uur slib gecirculeerd over het membraancompartiment vanuit de multi-box naast de simulatie-unit. Bovenin het membraancompartimenten is in totaal 2.000 ml polymeer aan het slib toegevoegd. Dit komt ongeveer overeen met de hoeveelheid polymeer die zich opgehoopt zou hebben in de praktijkinstallatie sinds de opstart hiervan. Permeaat werd onttrokken met 37,5 l/(m².h.) en dit werd via de permeaatbuffer weer teruggeleid in de multi-box, waar het weer met het slib gemengd werd. Na 24 uur is de simulatie-unit weer aan de praktijkinstallatie gekoppeld. In Afbeelding 21 is te zien dat tijdens dit experiment de permeabiliteit van de membranen afnam van ca. 200 l/(m².h.bar) naar 125 l/(m².h.bar). De recovery is ca. 175 l/(m².h.bar) bij een flux van 24 l/(m².h). Deze was vóór het experiment echter ca. 250 l/(m².h.bar).

Opvallend is dat de permeabiliteit na vier weken opeens in zeer sterke mate afneemt naar 80-90 l/(m².h.bar). Na inspectie van de membranen blijkt dat de membranen opnieuw verkleefd zijn en dat er een dikke slijm laag op de membranen aanwezig is, echter alleen op de membranen aan de buitenkant van de modules. Dit is te zien in de linker foto Afbeelding 23.

AFBEELDING 21 PERMEABILITEITSVERLOOP TIJDENS HET POLYMEER EXPERIMENT



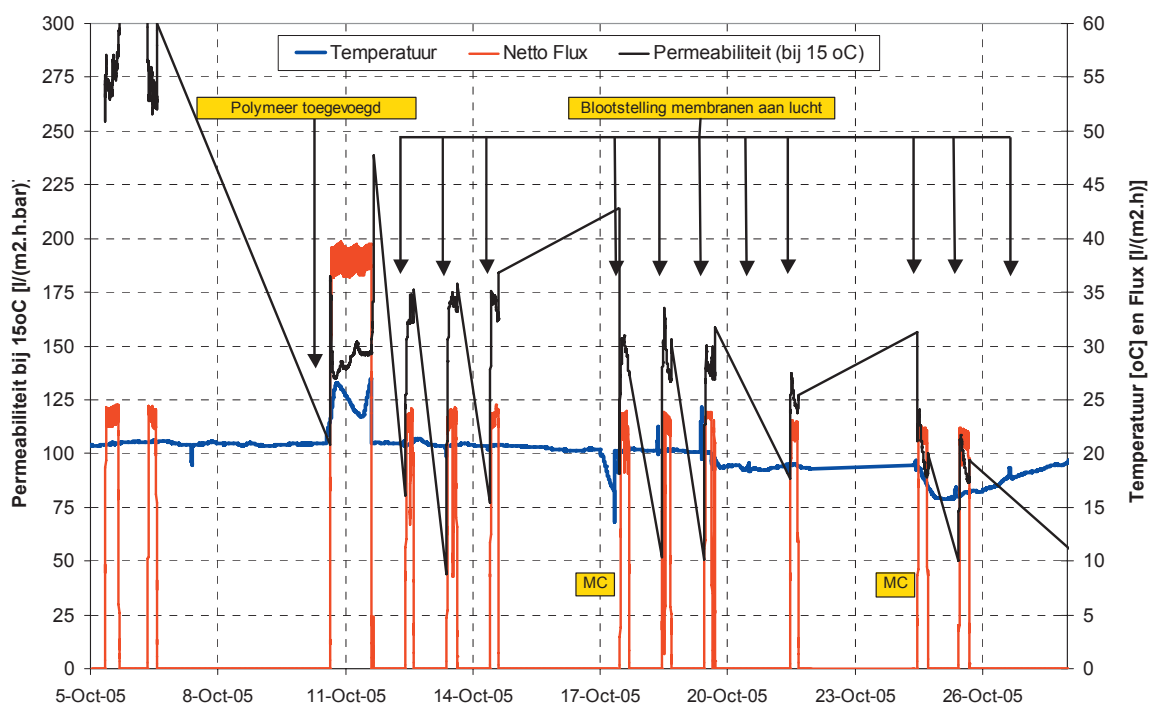
Het nadeel van dit experiment is dat het polymeer boven in het membraancompartiment is gegoten en daardoor niet de kans heeft gehad om goed met het slib te mengen. Daardoor bestaat de mogelijkheid dat het polymeer in ruwe vorm direct aan de membranen is gaan hechten en daardoor een sterker effect heeft dan in de praktijk. In de praktijk heeft het polymeer ruim de kans om met het slib te mengen, voordat het in contact komt met de membranen. Om deze reden is er besloten het experiment nogmaals uit te voeren.

3.8.3 EXPERIMENT 2

Bij het tweede experiment is het industrieel polymeer eerst goed gemengd met het slib in de multi-box, alvorens opnieuw gedurende 24 uur permeaat is onttrokken met een flux van 37,5 l/(m².h). Hierna zijn de membranen gedurende twee weken elke dag voor een periode van minimaal een half uur aan de lucht blootgesteld door het slib uit het membraancompartiment te pompen. Dit is gedaan om te onderzoeken welke invloed lucht heeft op de vorming van de slijm laag in combinatie met het polymeer. Ook is er aan het begin van elke week een MC met NaOCl en citroenzuur uitgevoerd. Gedurende deze twee weken is het verloop van de permeabiliteit gevolgd. Dit verloop staat weergegeven in Afbeelding 22.

Aan het begin van dit tweede polymeerexperiment was de permeabiliteit ongeveer 260 l/(m².h.bar) bij een flux van 24 l/(m².h) netto. Na het polymeerexperiment herstelde de permeabiliteit zich, net als bij het eerste experiment, slechts tot 175 l/(m².h.bar). Opvallend is dat deze permeabiliteit redelijk stabiel blijft, ook na blootstelling van de membranen aan lucht. Echter na het uitvoeren van een MC verslechtert de permeabiliteit. Uiteindelijk neemt de permeabiliteit wederom af tot minder dan 100 l/(m².h). Inspectie van de membranen wees opnieuw op de vorming van een slijm laag op de membranen aan de buitenkant van de module. Dit is weergegeven in de rechterfoto van Afbeelding 23. De laag is echter niet zo dik als bij het eerste experiment. Wel is heel duidelijk te zien dat de membranen ernstig verkleefd zijn.

AFBEELDING 22 PERMEABILITEITSVERLOOP TIJDENS HET TWEEDE POLYMEEREXPERIMENT



AFBEELDING 23 SLIJMLAAG ROND DE MEMBRANEN BIJ EXPERIMENT ÉÉN (LINKS) EN EXPERIMENT TWEE (RECHTS)



Bij het eerste experiment duurt het ongeveer vier weken voordat de permeabiliteit onder de $100 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ komt, terwijl dit bij het tweede experiment al na twee weken gebeurt. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de simulatie-unit tijdens het tweede experiment veel frequenter, maar voor veel kortere periodes bedreven werd dan tijdens het eerste experiment. Wellicht vindt de afzetting van de kleefstof op de membranen in grotere mate plaats als de membranen in 'rust' zijn en wordt dit proces bemoeilijkt als de membranen permeaat onttrekken.

De exacte oorzaak van de verkleving blijft onduidelijk. Er zijn vele bekende en onbekende factoren die hierbij een rol kunnen spelen. Echter is wel door het reproduceerbare experiment aangetoond dat industrieel polymeer een belangrijke rol speelt bij deze verkleving.

3.8.4 EXPERIMENT 3

Uit experimenten op labschaal bleek dat ijzerchloridesulfaat als flocculant voor het industrieel polymeer kan optreden. Het mengen van ruw afvalwater, afkomstig van het productieproces van dit polymeer, met ijzerchloridesulfaat (ongeveer 1 ml/l) gaf bij een groot aantal experimenten een neerslag, waardoor de CZV-waarde van het bovenstaande water aanzienlijk afnam, tot maar liefst een concentratieverlaging van 90 tot 95%. Bovendien zijn de verklevingsproblemen altijd opgetreden, zowel op de praktijkinstallatie als op de simulatie-unit, in de periode waar geen ijzerdosering plaatsvond. Ook dit zou er op kunnen duiden dat ijzer het polymeer (gedeeltelijk) neutraliseert.

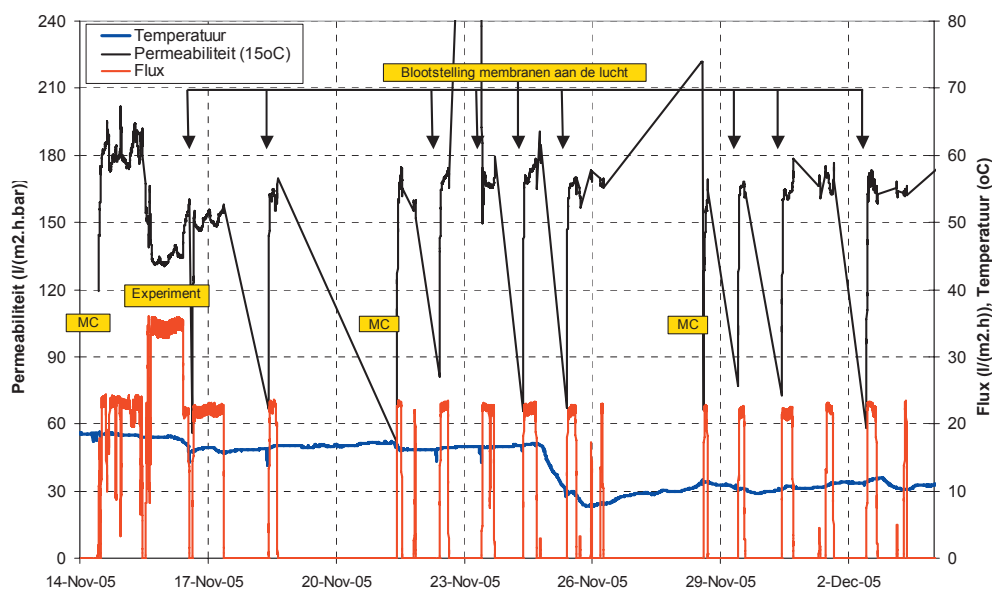
Aan de hand van deze informatie is besloten om nog een derde polymeerexperiment uit te voeren op de simulatie-unit, waarbij naast industrieel polymeer ook ijzerchloridesulfaat gedoseerd werd. Het doel hiervan was te onderzoeken of het doseren van ijzerchloridesulfaat de membraanverkleving ten gevolge van het polymeer kan voorkomen/matigen.

Voorafgaand aan het experiment is opnieuw een intensive cleaning met NaOCl uitgevoerd. Deze bracht de permeabiliteit echter niet meer terug naar 250 l/(m².h.bar), zoals bij voorgaande intensive cleanings het geval was, maar naar slechts 180 l/(m².h). Voorafgaand aan het experiment is het polymeer gedurende een aantal uren in de multi-box opgemengd met het slib. Hieraan is het ijzerchloridesulfaat toegevoegd, dat ook gedurende een aantal uren is opgemengd met het slib. Vervolgens is 24 uur lang permeaat onttrokken bij 37,5 l/(m².h). Aan het einde van het experiment is de simulatie-unit weer gekoppeld aan de biologie van de praktijkinstallatie en heeft continue slibrecirculatie plaatsgevonden. Hierbij zijn de membranen opnieuw elke dag gedurende minimaal een half uur blootgesteld aan de lucht, waarna enkele uren permeaat is onttrokken. De resultaten hiervan staan in Afbeelding 24.

Aan het einde van het experiment, na het verversen van het slib, herstelt de permeabiliteit zich niet meteen, maar blijft op ongeveer 150 l/(m².h.bar) steken. Na een aantal dagen loopt deze op tot 165 l/(m².h.bar). Deze waarde blijft stabiel tot 3 weken na het experiment. Noch het droogzetten van de membranen, noch het uitvoeren van een MC lijkt effect te hebben op de permeabiliteit, in positieve of negatieve zin. De permeabiliteit neemt echter niet af tot beneden 100 l/(m².h.bar). Ook is er geen slijmlaag waarneembaar.

Ijzerchloridesulfaat lijkt een positieve invloed te hebben op het tegengaan van de verkleving van de membranen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de concentratie polymeer ongeveer 30% lager was dan bij de vorige twee experimenten, doordat er een gedeelte verloren is gegaan tijdens een storing van de simulatie-unit. Ook lag de temperatuur tijdens en na het experiment een stuk lager dan bij de eerste twee experimenten.

AFBEELDING 24 PERMEABILITEITSVERLOOP POLYMEEREXPERIMENT 3



Er is een behoorlijke hoeveelheid ijzerchloridesulfaat gedoseerd (± 500 ml op 3 m³). Wellicht heeft scaling van ijzerzouten op de membranen mede bijgedragen aan de lichte permeabiliteitsdaling. Daarbij is er sinds november/december 2005 met steeds grotere regelmaat vertroebeling van het permeaat in de permeaatbuffer waargenomen. Dit is het gevolg geweest van een lekkage in de header van de membraanmodule, welke waarschijnlijk is veroorzaakt door de relatief vele membraaninspecties waarbij de membranen uit de tank werden getakeld. De lekkage is medio maart 2006 door Zenon vastgesteld en gerepareerd.

Dit zou ook kunnen verklaren dat de permeabiliteit na het tweede polymeerexperiment niet in voldoende mate meer herstelt, zelfs niet met een intensive cleaning. Wordt er namelijk met vertroebeld permeaat teruggespoeld, dan vervuult de binnenkant van het membraan, wat een stuk lastiger te reinigen is. De resultaten van het derde experiment zijn dus waarschijnlijk niet helemaal representatief, al lijkt ijzerchloridesulfaat verkleving van de membranen in zekere mate tegen te gaan. Eventuele nadelige effecten zijn echter ook mogelijk door dosering van extra ijzerchloridesulfaat.

3.8.5 CONCLUSIES

Op basis van de verschillende experimenten met het industriële polymeer kunnen de volgende twee conclusies worden getrokken:

- Het industriële polymeer is verantwoordelijk voor de verkleving van de membranen en de achteruitgang van de permeabiliteit op de praktijkinstallatie en op de simulatie-unit.
- De dosering van ijzerchloridesulfaat lijkt de verkleving van de membranen in zekere mate tegen te gaan.

3.9 RELAXATIE EXPERIMENTEN

Om het rendement van de zuivering te verbeteren kan er voor worden gekozen om in plaats van een terugspoeling, relaxatie in te stellen. Bij relaxatie worden de membranen tussen twee onttrekkingscycli gedurende enkele seconden in rust gehouden. Er wordt niet onttrokken, maar er wordt ook geen permeaat teruggespoeld. Een voordeel van relaxatie is dat het rendement van de cyclus kan worden verhoogd en energie kan worden bespaard. Een mogelijk bijkomend voordeel zou kunnen zijn dat de membraanwerking kan worden verbeterd. Ervaringen op andere Zenon-installaties met een dergelijke bedrijfsvoering zijn positief. De theorie hierachter is als volgt. Tijdens permeaatonttrekking ontstaat een sliblaag op de membranen die als een soort beschermende filtratielaag fungeert. Tijdens back-pulse wordt deze laag verwijderd waardoor 'fines' de membranen kunnen binnendringen en daarmee de weerstand kunnen vergroten. Bij toepassing van relaxatie zou dit niet het geval zijn.

De invloed van relaxatie op de permeabiliteit is gedurende een aantal dagen getest. Daarbij is de simulatie-unit gedurende zes dagen, afwisselend enkele uren met terugspoelen en met relaxatie bedreven. De resultaten met betrekking tot de permeabiliteit zijn te zien in Afbeelding 25, waar links de dagen met terugspoelen staan afgebeeld en rechts de dagen met relaxatie.

Over het algemeen lijkt de permeabiliteit tijdens procesmode met terugspoelen stabiel te blijven dan bij procesmode waarbij relaxatie wordt toegepast. Bij relaxatie lijkt de permeabiliteit geleidelijk af te nemen. Vooral bij 9 en 17 februari is dit duidelijk te zien. Deze korte experimenten lijken aan te tonen dat de toepassing van relaxatie tijdens procesmode niet voordelig is voor de werking van de membranen.

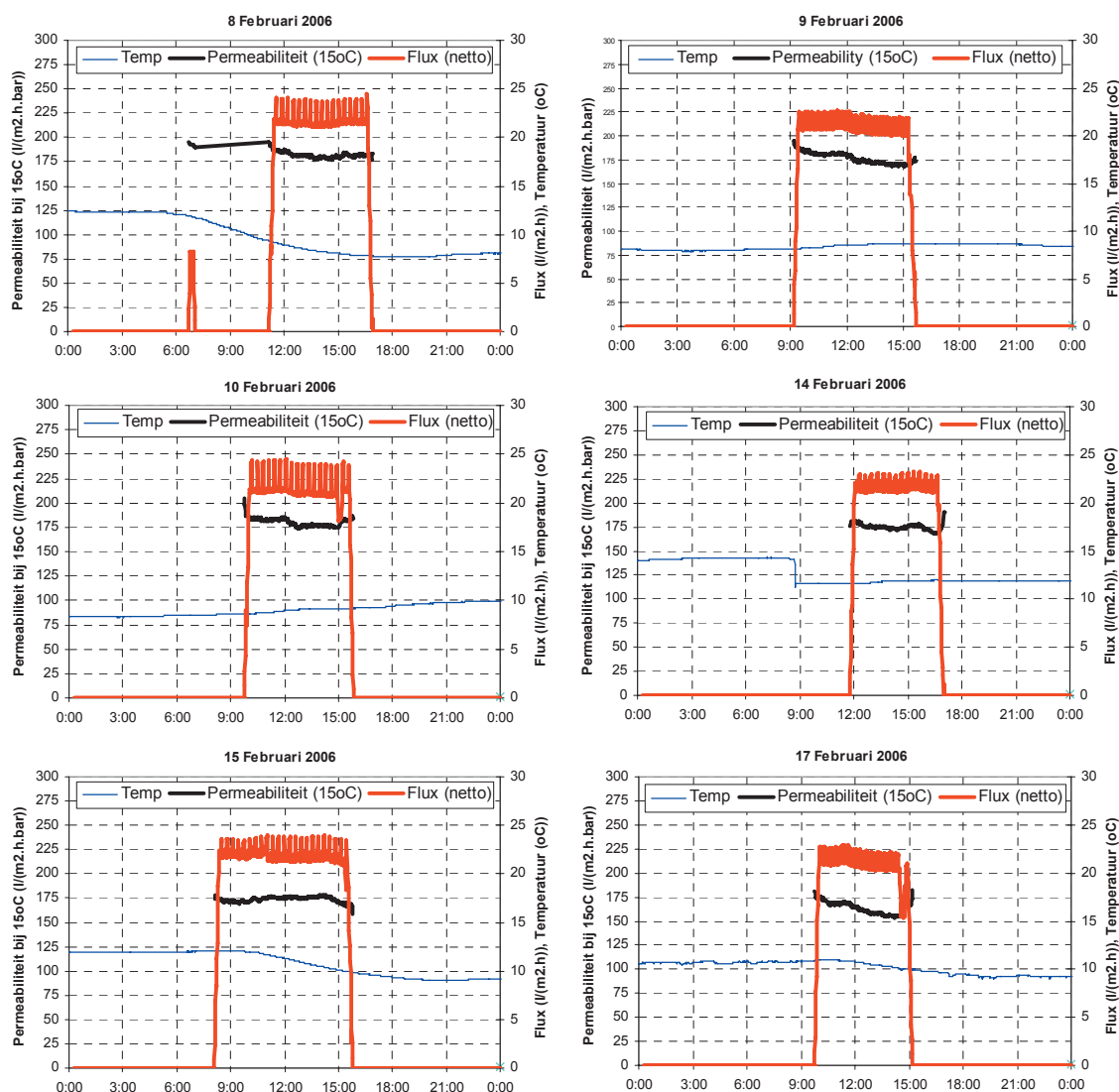
Gezien de relatief korte experimenten is er nog een serie experimenten uitgevoerd om het effect van de relaxatie over langere tijd te onderzoeken. Hierbij is de simulatie-unit gedurende een periode van ongeveer 20 uur in bedrijf geweest met relaxatie. Aan het eind van deze periode is de simulatie-unit nog een aantal uren met terugspoelen in bedrijf geweest. De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in Afbeelding 26 t/m Afbeelding 29.

Uit deze experimenten is af te leiden dat de permeabiliteit lager ligt bij toepassing van relaxatie dan bij toepassing van back-pulse. Bij de laatste twee experimenten neemt de permeabiliteit, na het instellen van de back-pulse, zelfs met $30 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ toe. Het verschil in permeabiliteit wordt dan veroorzaakt door de vorming van de extra filtratielaag zoals hierboven beschreven. De permeabiliteit blijft echter niet lineair afnemen bij toepassing van relaxatie. Op een gegeven moment lijkt deze zich te stabiliseren op een bepaald niveau.

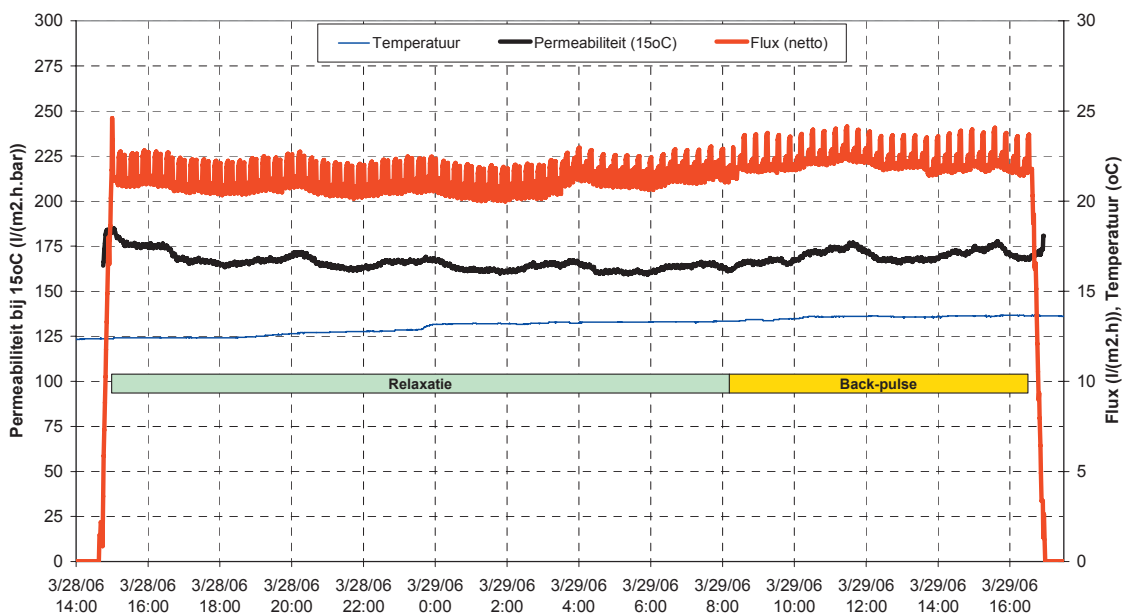
Ondanks de directe afname van de permeabiliteit, zou op lange termijn de extra filtratielaag dus alsnog juist voor behoud van de permeabiliteit kunnen zorgen. De permeabiliteit zou wellicht hoger kunnen worden gehouden dan wanneer er back-pulse wordt toegepast. De simulatie-unit is echter niet geschikt om dit langetermijneffect te onderzoeken.

Toekomstig onderzoek op de praktijkinstallatie zou kunnen uitwijzen wat de langetermijneffecten van relaxatie op de permeabiliteit zijn.

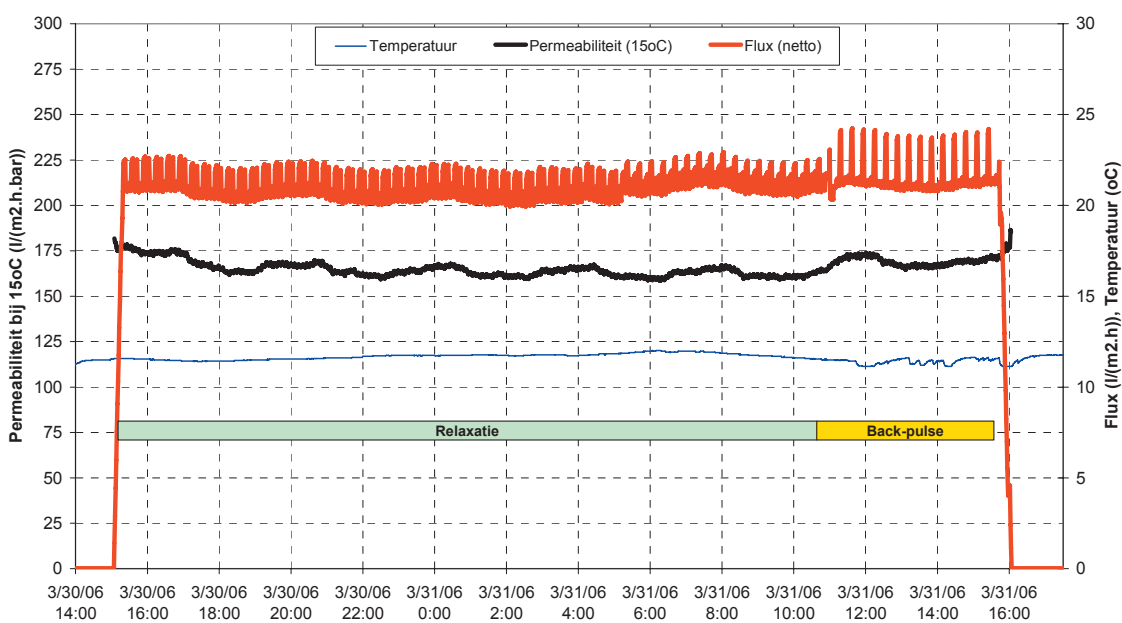
AFBEELDING 25 PERMEABILITEIT TIJDENS TERUGSPOELEN (LINKS) EN RELAXATIE (RECHTS)



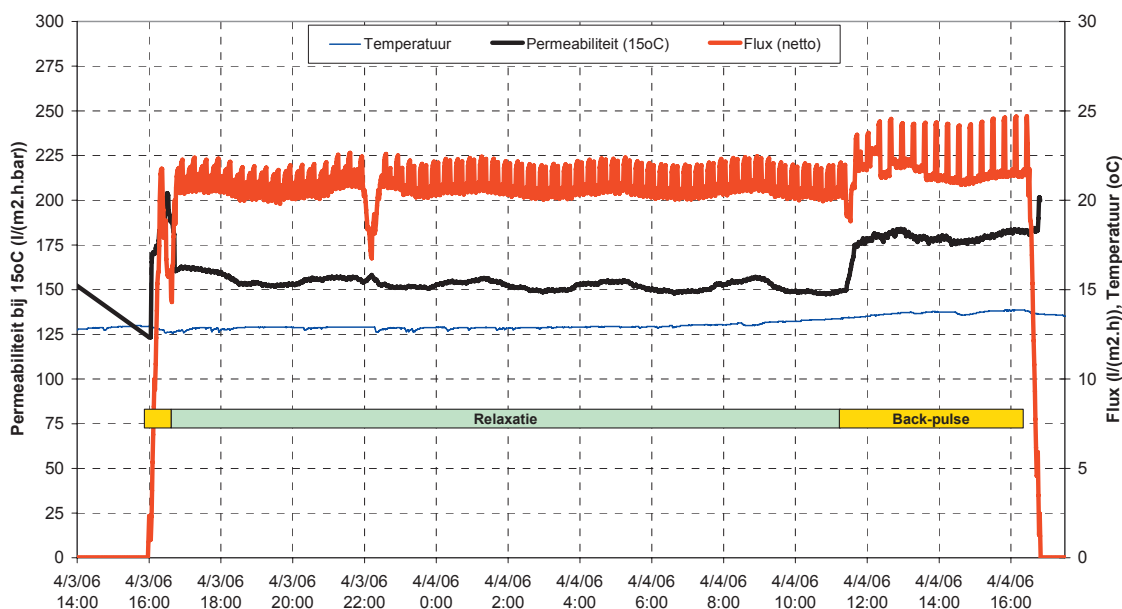
AFBEELDING 26 TWEEDAAGSE RELAXATIE-EXPERIMENTEN – 1^E EXPERIMENT, 28-29 MAART 2006



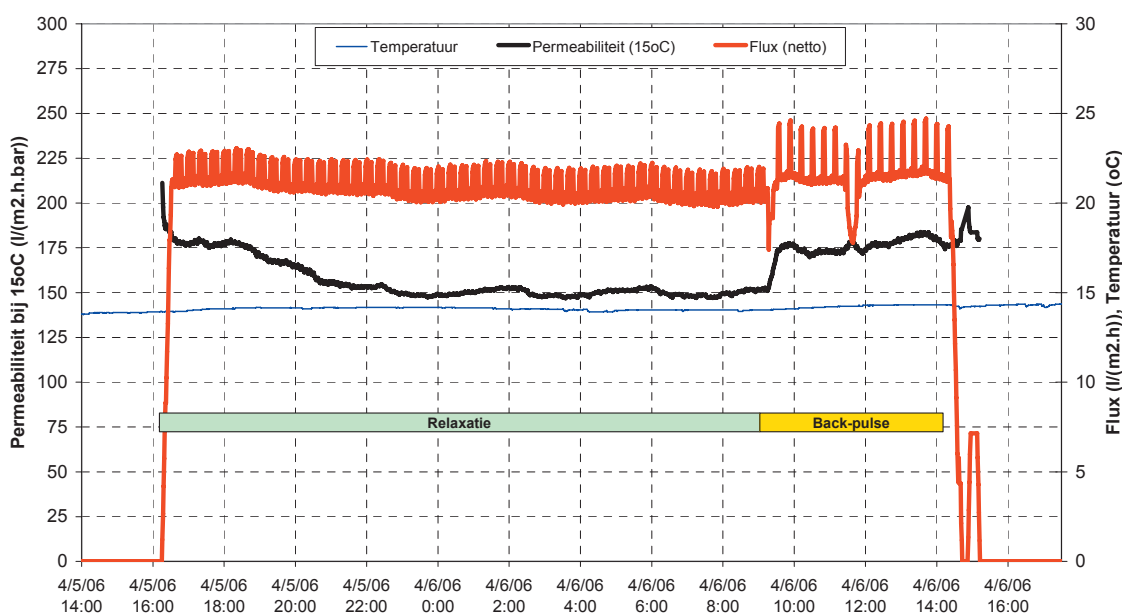
AFBEELDING 27 TWEEDAAGSE RELAXATIE-EXPERIMENTEN – 2^E EXPERIMENT, 30-31 MAART 2006



AFBEELDING 28 TWEEDAAGSE RELAXATIE-EXPERIMENTEN – 3^E EXPERIMENT, 3-4 APRIL 2006



AFBEELDING 29 TWEEDAAGSE RELAXATIE-EXPERIMENTEN – 4^E EXPERIMENT, 5-6 APRIL 2006



4

WERKING VAN DE BIOLOGIE

4.1 INLEIDING

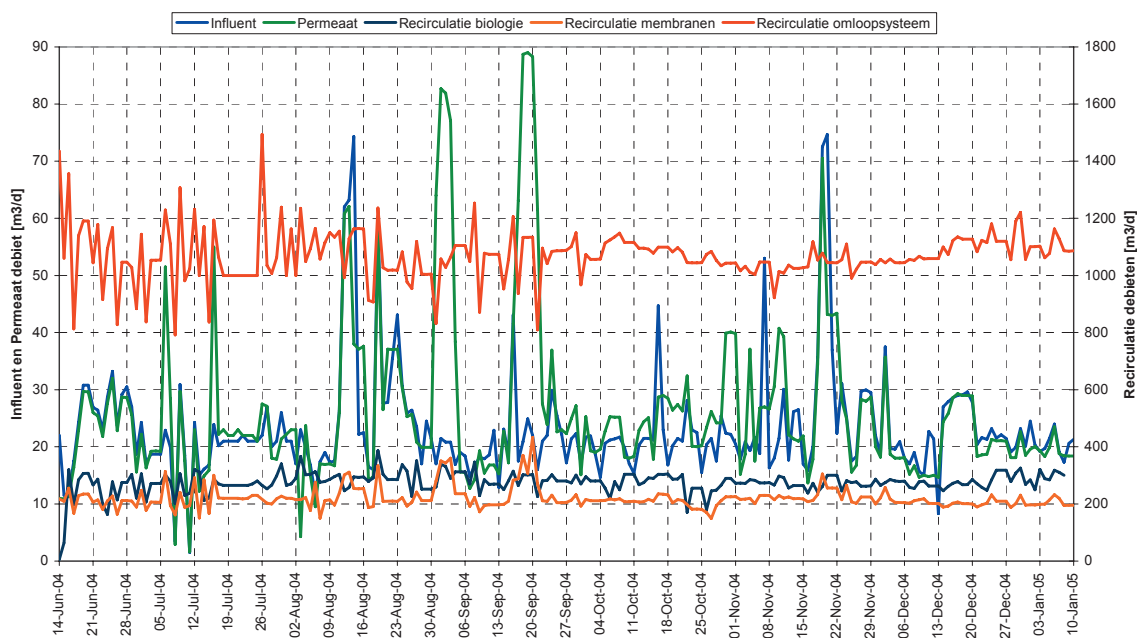
De eerste biologische opstartprocedure (vanaf 12 mei 2004) van de simulatie-unit is afgebroken vanwege problemen met de software en de als gevolg daarvan onregelmatige afvalwater-toevoer. Doordat de simulatie-unit tijdens de opstart te weinig afvalwater ontving was de slibkwaliteit slecht en vond overmatige schuimvorming plaats. Nadat de software was hersteld (6 juni 2004), is de biologie op 7 juni 2004 opnieuw opgestart op continu debiet. De biologie is ontmanteld op 10 januari 2005.

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste resultaten van de biologie gepresenteerd. De belangrijkste procescondities zijn beschreven in §4.2. De biologische prestaties zijn beschreven in §4.3 en de slibeigenschappen in §4.4.

4.2 PROCESCONDITIES

Het verloop van het influentdebiet, het permeaatdebiet en de recirculatie debieten van de simulatie-unit is weergegeven in Afbeelding 30.

AFBEELDING 30 HET VERLOOP VAN DE INFLUENT-, PERMEAAT- EN RECIRCULATIEDEBIETEN IN DE SIMULATIE-UNIT



De instellingen van de verschillende processtromen gedurende de onderzoeksperiode zijn weergegeven in Tabel 10.

TABEL 10 PROCESINSTELLINGEN SIMULATIE-UNIT (PERIODE 1 JULI 2004 – 10 JANUARI 2005)

Parameter	Eenheid	Gemiddeld	Range
Influentdebiet	m ³ /d	23,1	1,5 - 74
Recirculatie N → DN	m ³ /h	12,5	8,7 - 22
Recirculatie Carrousel	m ³ /h	44,4	41 - 48
Toevoer membraantank	m ³ /h	9,7	6,9 - 15,7
Surpluslibdebiet	m ³ /d	0,71	0 - 2,2
IJzerdosering	mol Fe/mol P _{inluent}	1,1	0 - 2,2

De gemiddelde waarden van de belangrijkste procesparameters gedurende de onderzoeksperiode zijn weergegeven in Tabel 11. Het verloop van de belangrijkste procesparameters in de simulatie-unit is weergegeven in Afbeelding 31.

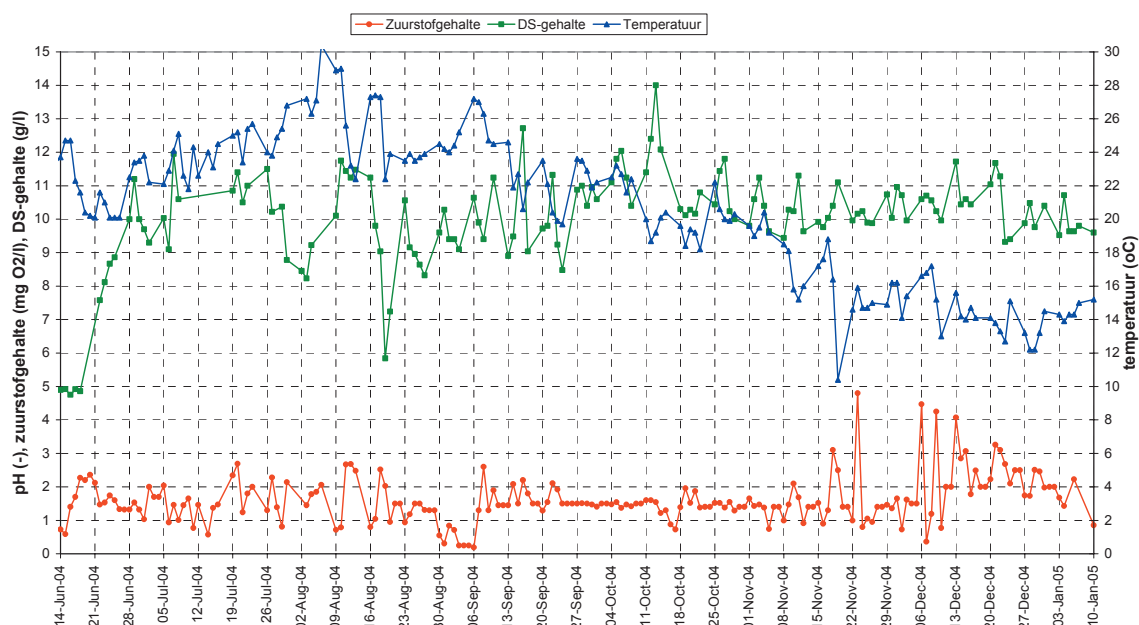
TABEL 11 BELANGRIJKSTE PROCESPARAMETERS VAN DE SIMULATIE-UNIT (PERIODE 1 JULI 2004 – 10 JANUARI 2005)

Parameter	Eenheid	Gemiddeld	Range
Procestemperatuur	°C	20,4	10 - 30
Slibbelasting	g CZV/(kg DS.d)	77	16 - 179
	g N/(kg DS.d)	6,7	1,4 - 14
Slibgehalte	kg/m ³	10,3	5,8 - 14,0
Zuurstofgehalte	mg/l	1,6	0,2 - 4,8
SVI	ml/g	122	85 - 168
Slibproductie	kg DS/d	7,3	-
Slibleeftijd	d	25	-
IJzerdosering	Me/P ratio	0,47	0 - 1,8

Na de opstart is het slibgehalte toegenomen tot 10 à 12 g/l. Vervolgens is getracht het slibgehalte op dit niveau te handhaven. In de nacht van 18 op 19 augustus is een deel van het slib uitgespoeld door overmatige regenweeraanvoer in combinatie met schuimvorming. Na deze verlaging van het slibgehalte van 10 tot 7 g/l is het slibgehalte na een aantal dagen weer terug op niveau gekomen. Vanaf dat moment varieerde het slibgehalte binnen acceptabele grenzen rond de 10-11 g/l.

In Afbeelding 31 is ook het verloop van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank van de simulatie-unit weergegeven. Ten gevolge van een niet goed functionerende zuurstofmeter heeft de beluchterregeling tot augustus niet optimaal gedraaid. Met name in de periode vanaf half juli 2004 is de werking verslechterd. Begin september is de zuurstofmeter vervangen en de beluchterregeling gestabiliseerd. De fluctuaties in de periode vanaf half november zijn een gevolg van het onderzoek naar energiebesparing die in deze periode heeft plaatsgevonden.

AFBEELDING 31 HET VERLOOP VAN DE BELANGRIJKSTE PROCESPARAMETERS IN DE SIMULATIE-UNIT

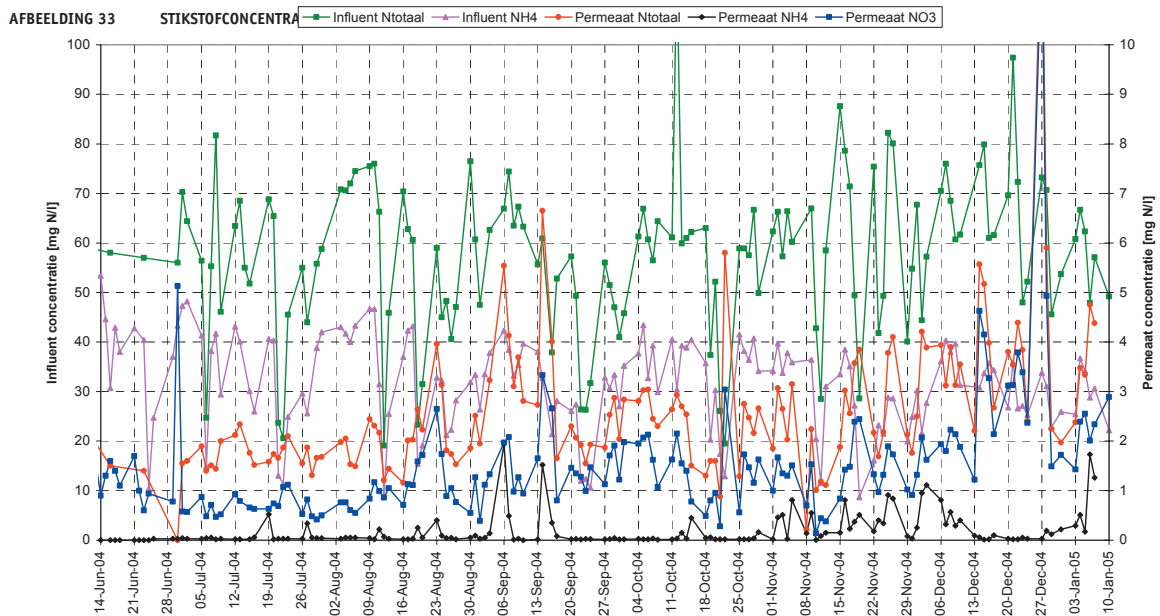
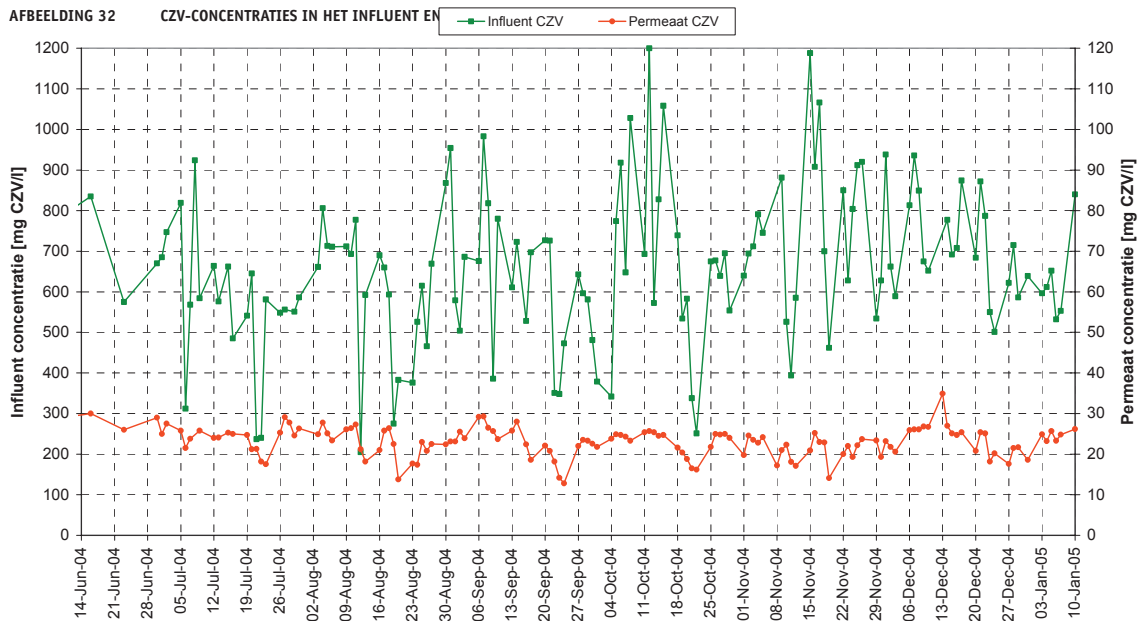


4.3 RESULTATEN

De resultaten van de CZV-verwijdering, de stikstofverwijdering en de fosfaatverwijdering zijn weergegeven in Afbeelding 32, Afbeelding 33 en Afbeelding 34. De influent- en permeaatgehaltenes en de verwijderingsrendementen gedurende de gehele onderzoeksperiode zijn gepresenteerd in Tabel 12.

TABEL 12 INFLUENT EN PERMEAAT CONCENTRATIES (PERIODE 1 JULI 2004 – 10 JANUARI 2005)

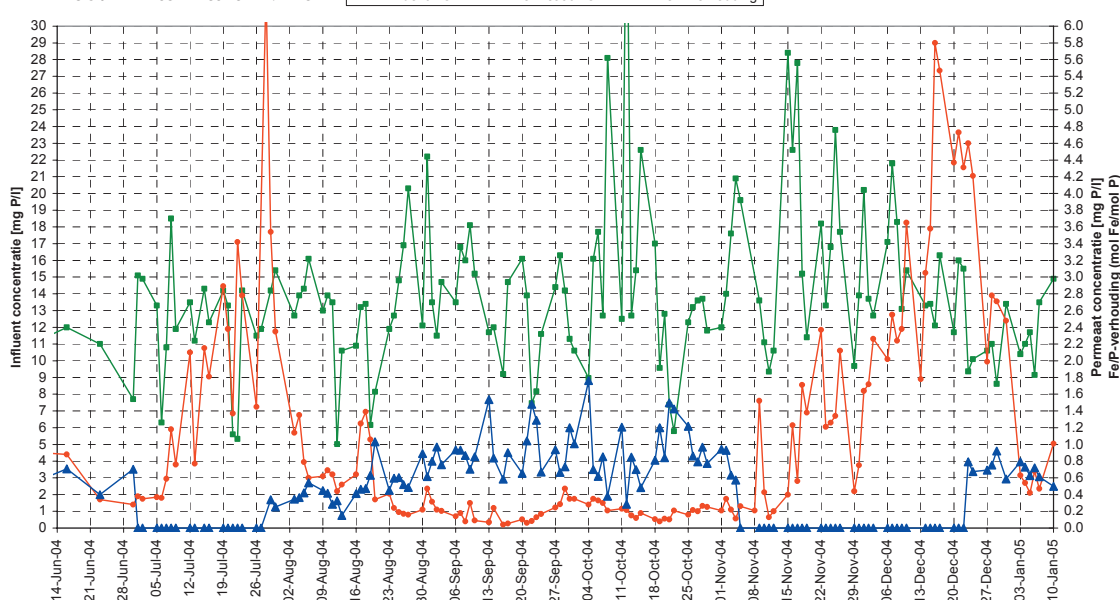
Parameter		Eenheid	Gemiddeld	Range
CZV	Influent	mg/l	656	200 – 1.200
	Permeaat	mg/l	22,9	13 – 29
	Rendement	%	97	-
NH ₄ -N	Influent	mg/l	31,3	9 – 48
	Permeaat	mg/l	0,20	0,01 – 1,9
NO ₃ -N	Permeaat	mg/l	1,5	0,14 – 12,2
	N _{totaal}			
N _{totaal}	Influent	mg/l	58	19 – 117
	Permeaat	mg/l	2,6	0,2 – 13
	Rendement	%	96	-
P _{totaal}	Influent	mg/l	14,0	5,0 – 40
	Permeaat	mg/l	1,1	0,04 – 6,4
	Rendement	%	92	-



Het stikstofeffluentgehalte is, op een enkele kleine overschrijding na, gedurende de gehele onderzoeksperiode onder de effluenteis van $5 N_{\text{totaal}}/l$ gebleven. In de periode van half juni t/m half augustus is zelfs een effluentkwaliteit van $<2,2 \text{ mg } N_{\text{totaal}}/l$ bereikt.

Het NH_4 -gehalte is bijna altijd $<0,1 \text{ mg N/l}$. De uitschieters zijn vaak te wijten aan technische storingen (b.v. O_2 -meter buiten bedrijf) of aan onderzoeksactiviteiten, zoals piektesten of energietesten. Het NO_3 -gehalte is gemiddeld $1,5 \text{ mg N/l}$ en de opgelost organisch-stikstofconcentratie is gemiddeld circa $0,9 \text{ mg N/l}$.

AFBEELDING 34 FOSFAATCONCENTRATIES IN H



De stikstofverwijdering is hiermee zeer goed en presteert boven verwachting. De simulatie-unit van Varsseveld heeft aangetoond vergaand stikstof te kunnen verwijderen ($< 2,2 \text{ mg N}_{\text{totaal}}/\text{l}$) zonder dosering van een koolstofbron. De reden voor deze goede prestaties zijn o.a.:

- de gunstige influentsamenstelling:
 - relatief hoge CZV/N-verhouding van ≈ 10 ;
 - aanwezigheid van vet, waardoor mogelijk CZV langer beschikbaar blijft;
- de gunstige procesomstandigheden:
 - relatief hoge procestemperatuur van gemiddeld 20°C ;
- het procesontwerp:
 - “omloopsysteem” met hoge recirculatie debieten.

Het fosfaateffluentgehalte is sterk afhankelijk van de ijzerdosering. In het begin van het onderzoek was de dosering relatief laag (ca. $0,3\text{-}0,4 \text{ mol Fe/mol P}$) waardoor het effluentgehalte relatief hoog was, variërend van $0,5$ tot $1,5 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$. In de weken 28 t/m 30 is geen ijzerchloridesulfaat gedoseerd. Het gevolg hiervan is een aanzienlijke stijging van het fosfaatgehalte in het permeaat tot $>3 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$. Nadat de ijzerdosering is hervat daalt het fosfaatgehalte bij een dosering van ca. $0,4 \text{ mol Fe/mol P}$ weer naar $0,5\text{-}1,0 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$.

Begin september is het toevoerpunt van de ijzerdosering geoptimaliseerd. In plaats van dosering aan het oppervlak (in de drijfslag!), vindt de dosering vanaf dat moment onder het waterniveau plaats. Dit heeft de effectiviteit van de simultane precipitatie verbeterd; na deze wijziging is het fosfaatgehalte in het permeaat gestabiliseerd en verlaagd tot circa $0,1\text{-}0,3 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$. In deze periode is de ijzerdosering verhoogd tot gemiddeld $0,8 \text{ mol Fe/mol P}$. In september is bij deze dosering zelfs gedurende 3 weken een effluentwaarde van $<0,15 \text{ mg P/l}$ bereikt.

De ijzerdosering heeft in de beschreven periode plaatsgevonden in de voordennitrificatietank. Dit heeft mogelijk de biologische fosfaatverwijdering geremd. Vanaf begin november is de

ijzerdosering uitgezet om de biologische fosfaatverwijdering de kans te geven op het maximale niveau te geraken. Hierbij neemt het fosfaatgehalte in het permeaat geleidelijk toe tot een niveau van 4 à 5 mg P_{totaal}/l . Vanaf eind december vindt de dosering in de beluchtingstank (N1) plaats, (ca. 0,6 mol Fe/mol P) en neemt het fosfaatgehalte af tot 2 à 3 mg P_{totaal}/l .

Op de dag dat ijzerdosering is uitgeschakeld (5 november 2004) is een fosfaatafgifte-proef uitgevoerd. De fosfaatafgifte bedroeg hierbij circa 3,0 mg P/(g ODS.h). Hiermee is aangetoond dat biologische opname van fosfaat plaatsvindt. De gemeten afgiftesnelheid geeft volgens het STOWA Bio-P handboek [ref.1] aan dat de biologische fosfaatverwijdering op de grens van “matig” en “goed” zit. De fosfaatafgifte-proef is herhaald op 29 november 2005, toen de ijzerdosering ruim 3 weken was uitgeschakeld. De fosfaatafgifte was toegenomen tot circa 4,0 mg P/(g ODS.h), waarmee de biologische fosfaatverwijdering “goed” kan worden genoemd.

Voor de periodes met en zonder ijzerdosering is een globale fosfaatbalans opgesteld. Het fosfaatgehalte in het slib tijdens de periode met ijzerdosering (1 augustus t/m 4 november 2004) is ca. 2,5%. Tijdens de periode zonder ijzerdosering (5 november t/m 22 december 2004) is dit ca. 3,1%.

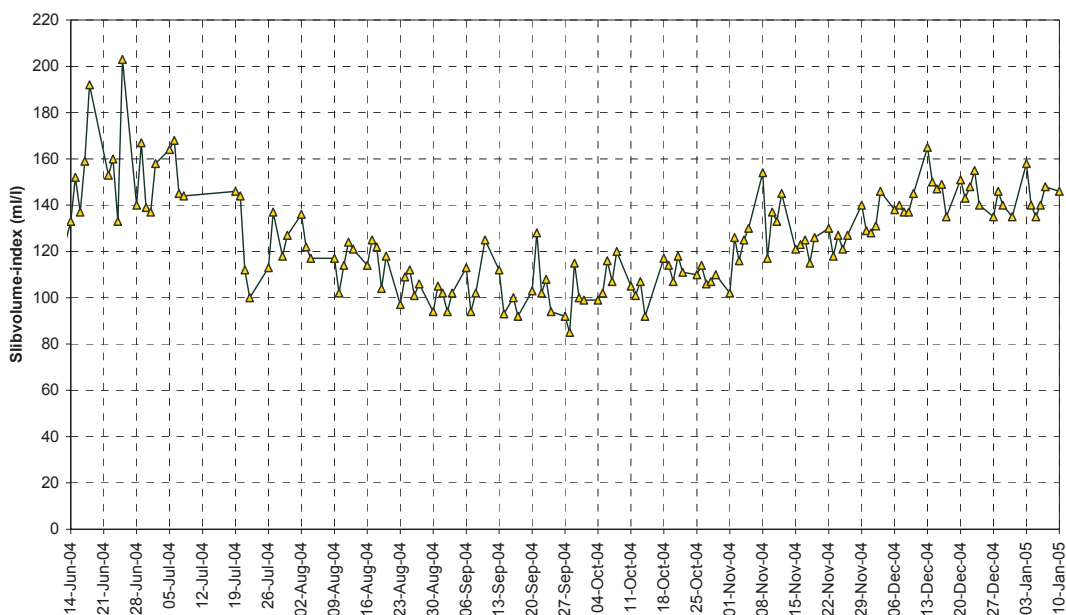
Op basis van deze beide fosfaatafgifte-proeven en de balansen kan worden geconcludeerd dat de ijzerdosering een negatief effect heeft op de biologische fosfaatverwijderingscapaciteit. De invloed van de lokatie van ijzerdosering hierop is niet vast te stellen, aangezien de dosering in het nitrificatiecompartiment slechts tweeënhalve week heeft plaatsgevonden.

4.4 SLIBEIGENSCHAPPEN

SLIBVOLUME-INDEX

Het verloop van de slibvolume-index in de tijd is weergegeven in Afbeelding 35.

AFBEELDING 35 VERLOOP VAN DE SLIBVOLUME-INDEX IN DE TIJD

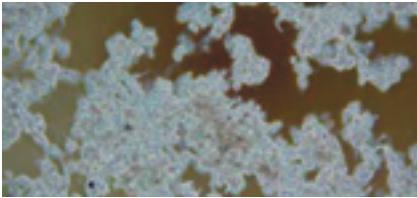


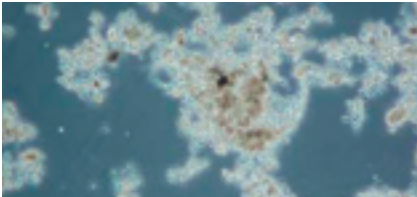
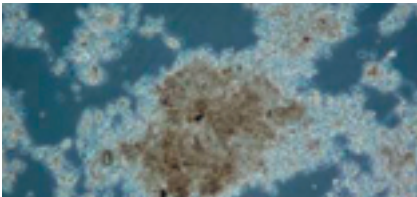


Na een opstartperiode waarin de SVI varieerde tussen 140-200 ml/g is deze gestabiliseerd tussen 100-120 ml/g sinds begin augustus. Begin november 2004 is de SVI enigszins toegenomen. Dezelfde trend is op de rwzi Varsseveld zichtbaar.

MICROSCOPISCH BEELD

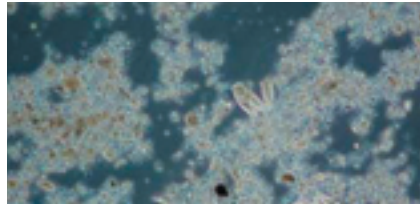
Gedurende het onderzoek is het microscopisch slibbeeld een aantal malen onderzocht. In Afbeelding 36 zijn een aantal representatieve opnames in chronologische volgorde weergegeven.

AFBEELDING 36 MICROSCOPISCHE OPNAME VAN HET SLIB VAN DE SIMULATIE-UNIT (VERGROTING 1.000 X)

10 mei 2004		AT slib Vlak voor de eerste opstart Goede vlokstructuur
24 mei 2004		MBR slib 2 weken na de eerste opstart Verslechtering van de vlokstructuur
7 juni 2004		MBR slib 4 weken na de eerste opstart Slibvlokken uiteengevallen t.g.v. lage onregelmatige voeding Besluit: hernieuwde opstart
17 juni 2004		MBR slib, 5 g/l 1 week na de tweede opstart Goede vlokstructuur
7 juli 2004		MBR slib, 10 g/l 4 weken na de tweede opstart Goede vlokstructuur

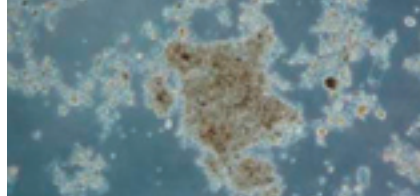
AFBEELDING 36 (VERVOLG) MICROSCOPISCHE OPNAME VAN HET SLIB VAN DE SIMULATIE-UNIT (VERGROTING 1.000 X)

2 augustus 2004



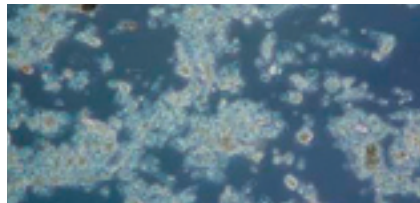
MBR slib, 10 g/l
2 maanden na de tweede opstart
Verslechtering van de slibkwaliteit
EPS- vorming zichtbaar

13 september 2004



MBR slib, 10 g/l
3 maanden na de tweede opstart
Verbetering van de slibkwaliteit
Goede vlokken, weinig EPS
(vet en roetdeeltjes aanwezig, niet op foto)

6 december 2004



MBR slib, 10 g/l
6 maanden na de tweede opstart
Verslechtering van de slibkwaliteit

5

REFERENTIES

- [1] Handboek biologische fosfaatverwijdering
STOWA, 2001-15

