



Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Optimalisatie van een UF-pilootinstallatie en eerste
haalbaarheidsonderzoek met betrekking tot hergebruik
van spoelwater voor wortelen

Jonas Ghyselinck

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Industrieel ingenieur in chemie optie biochemie

Academiejaar 2006-2007

Interne promotor:

Dr. Marc Coussement

Externe promotor:

TREVI N.V. – 9050 Gentbrugge

Filip Mergan

Dankwoord

Het realiseren van dit eindwerk was een zeer leerrijke en boeiende ervaring die niet mogelijk zou zijn geweest zonder de hulp en ondersteuning van een aantal personen. Deze personen zou ik dan ook langs deze weg willen bedanken.

Vooreerst zou ik mijn oprechte dank willen betuigen aan mijn promotor Filip Mergan voor de uitstekende begeleiding en de tijd die hij heeft geïnvesteerd in dit eindwerk.

Ook Ir. Stefaan Deboosere en alle medewerkers van TREVI N.V. zou ik langs deze weg willen bedanken voor het mogelijk maken van dit eindwerk en de bereidwillige en vlotte samenwerking.

Daarnaast ook mijn speciale dank aan de heer Dr. Coussement M., mijn promotor binnen de Hogeschool Gent voor de goede begeleiding, hulp en inzet.

Tenslotte zou ik mijn ouders en vrienden willen bedanken voor de morele steun die zij mij gegeven hebben tijdens het jaar en hun interesse in dit eindwerk.

Jonas Ghyselinck
Gent, mei 2007

Abstract

The reuse of waste water in the food industry is not evident. Lots of industrial activities in this industry (for example the washing of vegetables) demand a water that is free of micro - organisms. Membrane filtration provides the possibility to purify waste water in a way that it gives existence to sterile water.

In this work we aim at the reuse of effluent from a biological waste water treatment as rinsing water for vegetables; therefore we use an ultrafiltration system. Continuous functioning of an ultrafiltration system is preceded of an optimisation process. This optimisation process implies a study in which we search for optimal working conditions. Parameters such as production time, cleaning frequency, chemical cleaning frequency, duration of chemical cleaning, etc. play an important role. They will mainly depend on the composition of the waste water: a waste water which contains high concentrations of suspended solids will cause a malfunction of the membrane if the cleaning frequency is too low. Not only the composition of the waste water is important in the optimisation process but the economical aspect is at least just as important. Membrane filtration is an expensive purification system which may arise the quest for alternative purification.

Inhoudstafel

| | |
|--|----|
| Afkortingen | 8 |
| Lijst met figuren | 10 |
| Lijst met tabellen..... | 12 |
| Inleiding | 14 |
| DEEL I: LITERATUURSTUDIE..... | 15 |
| 1 Inleidende begrippen | 16 |
| 1.1 Algemeen..... | 16 |
| 1.2 Wat is membraanfiltratie | 16 |
| 1.3 Definitie van membraan | 17 |
| 1.4 Module | 17 |
| 1.4.1 Plate and frame module..... | 17 |
| 1.4.2 Spiral wound module | 18 |
| 1.4.3 De tubulaire module | 18 |
| 1.4.4 De capillaire module | 19 |
| 1.4.5 De holle vezel module | 19 |
| 1.4.6 Keuze van de module..... | 20 |
| 2 Het filtratieproces..... | 21 |
| 2.1 Het proces | 21 |
| 2.2 Proces parameters..... | 21 |
| 2.3 Configuratie | 22 |
| 2.3.1 Dead – end..... | 22 |
| 2.3.2 Cross – flow..... | 22 |
| 2.3.3 Semi dead – end | 23 |
| 2.4 Vervuiling van het membraan | 23 |
| 2.5 Opsporen van defecten..... | 23 |
| 2.6 Verticale versus horizontale opstelling..... | 24 |
| 3 Ultrafiltratie | 26 |
| 3.1 Algemeen..... | 26 |
| 3.2 Membranen..... | 26 |
| 3.3 Toepassingen | 28 |
| 4 Het verschijnsel vervuiling | 29 |

| | | |
|-----------------------------------|--|----|
| 4.1 | Introductie | 29 |
| 4.2 | Mechanismen | 29 |
| 4.3 | Flux in functie van de aangelegde druk | 31 |
| 4.4 | Vorming van een aangekoekte laag..... | 32 |
| 4.5 | Factoren die vervuiling in de hand werken..... | 32 |
| 4.6 | Tegengaan van vervuiling | 33 |
| 4.6.1 | Voorbehandeling | 33 |
| 4.6.2 | Membraaneigenschappen | 35 |
| 4.6.3 | Reiniging..... | 35 |
| 4.6.4 | Nagaan van vervuiling | 36 |
| 4.6.5 | Samendrukken van het membraan..... | 37 |
| 5 | Reiniging..... | 38 |
| 5.1 | Soorten | 38 |
| 5.1.1 | Backflush, forwardflush en airflush | 38 |
| 5.1.2 | Chemische reiniging | 40 |
| 5.1.3 | Andere methoden | 41 |
| 5.1.4 | Desinfectie..... | 41 |
| 5.2 | Effect van een aantal reinigingsmiddelen | 43 |
| 5.2.1 | Materialen..... | 43 |
| 5.2.2 | pH..... | 44 |
| 5.2.3 | Fluxherstel na chemische reiniging | 46 |
| 5.3 | Tweefasige reinigingen | 47 |
| 5.4 | Praktijk..... | 48 |
| 6 | Toepassing: membraanbioreactoren | 49 |
| 6.1 | Doel | 49 |
| 6.2 | Configuratie..... | 49 |
| 6.3 | Praktisch | 50 |
| 6.3.1 | De referentiestaat en procestechnologische vraagtekens | 50 |
| 6.3.2 | Economische aspecten | 50 |
| DEEL II: TOESTEL & METHODEN | | 51 |
| 1 | Toestelbeschrijving..... | 52 |
| 1.1 | Zandfilter | 52 |
| 1.2 | Eerste membraan (STORK)..... | 53 |
| 1.2.1 | Specificaties | 53 |

| | | |
|----------------------------|---|----|
| 1.2.2 | Reinigingsmiddelen | 53 |
| 1.2.3 | Werking | 54 |
| 1.3 | Tweede membraan (INGE AG) | 55 |
| 1.3.1 | Specificaties | 55 |
| 1.3.2 | Reinigingsmiddelen | 56 |
| 1.3.3 | Werking | 56 |
| 1.4 | Modi | 57 |
| 2 | Verbeteringen aan het toestel | 58 |
| 2.1 | Veiligheid op de voedingspomp | 58 |
| 2.2 | Manometer | 58 |
| 2.3 | Staalname kraantje | 59 |
| 2.4 | Vertraging op de permeaatklep | 59 |
| 2.5 | Aanpassing van de forward flush | 59 |
| 3 | Opstelling ter plaatse | 61 |
| 3.1 | Huidige zuiveringsinstallatie | 61 |
| 3.2 | Opstelling van het membraan | 62 |
| 3.2.1 | Eerste fase van de proefnemingen: zonder zandfilter | 62 |
| 3.2.2 | Tweede fase van de proefnemingen: met zandfilter | 63 |
| 4 | Methodieken | 65 |
| 4.1 | Analyses in het labo | 65 |
| 4.1.1 | Spectrofotometrische analyses | 65 |
| 4.1.2 | Principe van de sneltesten | 66 |
| 4.1.3 | Andere analyses | 68 |
| 4.2 | Uitvoering van de fluxmetingen | 70 |
| 4.3 | Debietinstelling van de zandfilter | 70 |
| DEEL III: RESULTATEN | | 72 |
| 1 | Verwijderingrendementen | 73 |
| 1.1 | STORK membraan | 74 |
| 1.1.1 | Verwijderingrendement voor COD | 74 |
| 1.1.2 | Verwijderingrendement voor ZS | 74 |
| 1.1.3 | Kiemgetal | 74 |
| 1.2 | INGE AG membraan | 75 |
| 1.2.1 | Verwijderingrendement voor COD | 75 |
| 1.2.2 | Verwijderingrendement voor ZS | 76 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2 | Procesvoering..... | 77 |
| 2.1 | Verloop van de genormaliseerde flux en de resistentie | 77 |
| 2.1.1 | Verloop van de genormaliseerde flux i.f.v. de tijd | 77 |
| 2.1.2 | Verloop van de resistentie i.f.v. de tijd | 78 |
| 2.2 | Aanpassing van de forward flush..... | 79 |
| 2.2.1 | Eerste fase: inkorting van de FF – tijd | 79 |
| 2.2.2 | Tweede fase: weglaten van de FF | 81 |
| 2.3 | Productie – en backflushtijden | 81 |
| 2.3.1 | Permeaatopbrengst voor een aantal werksituaties..... | 82 |
| 2.3.2 | Gekozen werksituatie voor de proefnemingen | 83 |
| 2.4 | Efficiëntie van een spoeling | 84 |
| 2.5 | Effect van de zandfilter | 87 |
| 3 | Reinigingen | 89 |
| 3.1 | Reiniging met NaOCl | 89 |
| 3.2 | Reiniging met Ultrasil 110 | 90 |
| 3.3 | Reiniging met citroenzuur | 91 |
| 3.4 | Tweefasige reiniging | 91 |
| 3.5 | Enzymatische reiniging | 92 |
| 3.6 | Samengevat | 93 |
| 4 | Kostprijsberekening | 94 |
| 4.1 | Investeringskosten | 94 |
| 4.2 | Exploitatiekosten | 94 |
| 4.3 | Kost per kubieke meter permeaat | 96 |
| 4.4 | Terugverdientijd | 97 |
| | DEEL IV: BESLUITEN | 99 |
| 1 | Besluiten..... | 100 |
| 1.1 | Haalbaarheid | 100 |
| 1.2 | Optimalisatie | 100 |
| 2 | Voorstellen tot verder onderzoek..... | 102 |
| | Literatuurlijst | 103 |
| | Bijlage 1: Fluxmetingen | 105 |
| | Bijlage 2: Reinigingstesten | 113 |
| | Bijlage 3: Technische fiches | 116 |

Afkortingen

| | |
|-----------------|-----------------------------------|
| A | Oppervlak |
| AF | Airflush |
| BF | Backflush |
| BOD | Biological oxygen demand |
| BSA | Bovine serum albumine |
| C | Concentraat |
| CBF | Chemische backflush |
| COD | Chemical oxygen demand |
| EDTA | Ethyleendiaminetetra – acetaat |
| F | Voeding |
| FF | Forward flush |
| J | Flux |
| J_{∞} | Limietflux |
| J_n | Genormaliseerde flux |
| K _{ve} | Kolonievormende eenheden |
| M.o. | Micro – organismen |
| MBR | Membraanbioreactor |
| η | Dynamische viscositeit |
| P | Permeaat |
| PCA | Plate count agar |
| PES | Polyethersulfon |
| PESM | Polyethersulfon, modified |
| PLC | Programmeerbare logische controle |
| PVP | Polyvinylpyrrolidine |
| Q | Debiet |
| R | Resistentie |
| RO | Omgekeerde osmose |
| SWF | Schoon water flux |
| T | Temperatuur |
| t | Tijd |
| TMP | Transmembraandruk |

| | |
|------|----------------------------------|
| UF | Ultrafiltratie |
| UV | Ultraviolet |
| VSEP | Vibrating shear enhanced process |
| ZF | Zandfilter |
| ZS | Zwevende stoffen |

Lijst met figuren

| | |
|--|----|
| <i>Fig. 1:</i> Schematische voorstelling van membraanfiltratie. | 16 |
| <i>Fig. 2:</i> Indeling van de membraantechnieken op basis van de deeltjesgrootte. | 17 |
| <i>Fig. 3:</i> Spiral wound module. | 18 |
| <i>Fig. 4:</i> Doorsnede van een tubulaire module. | 18 |
| <i>Fig. 5:</i> Afbeelding van een capillair membraan. | 19 |
| <i>Fig. 6:</i> Afbeelding van een holle vezel. | 19 |
| <i>Fig. 7:</i> Dead – end versus cross – flow filtratie. | 22 |
| <i>Fig. 8:</i> Integriteitstest om lekken op te sporen. | 24 |
| <i>Fig. 9:</i> Alternerende filtratie, toegepast door INGE AG. | 25 |
| <i>Fig. 10:</i> Dwarsdoorsnede van een PES – PVP membraan. | 27 |
| <i>Fig. 11:</i> Fluxverloop in functie van de tijd. | 29 |
| <i>Fig. 12:</i> De verschillende mechanismen volgens dewelke vervuiling kan optreden (Roorda, 2004). | 30 |
| <i>Fig. 13:</i> Vergelijking van de flux van zuiver water met de flux van de voeding (water met contaminatie). | 31 |
| <i>Fig. 14:</i> De fluxlimiet (J_{∞}) in functie van de logaritme van de concentratie in de voeding (Mulder, 1996). | 31 |
| <i>Fig. 15:</i> Verloop van de transmembraandruk in functie van de tijd (Roorda, 2004). | 36 |
| <i>Fig. 16:</i> Fluxverloop in functie van de tijd. | 36 |
| <i>Fig. 17:</i> Theoretische invloed van de backflush op het fluxverloop (Roorda, 2004). | 38 |
| <i>Fig. 18:</i> Praktische invloed van een backflush op het resistentie/TMP - verloop (Roorda, 2004). | 39 |
| <i>Fig. 19:</i> pH i.f.v. HOCl – gehalte. | 42 |
| <i>Fig. 20:</i> De bovenste figuur geeft de potentiaal van BSA (zeta potentiaal) weer in functie van de pH, de onderste figuur geeft de potentiaal van het membraanoppervlak (streaming potentiaal) weer in functie van de pH (Kuzmenko <i>et al.</i> , 2005). | 44 |
| <i>Fig. 21:</i> Weergave van de fluxverandering bij verschillende pH – waarden: de flux is lager gelegen bij lagere pH – waarden (Kuzmenko <i>et al.</i> , 2005). | 45 |

| | |
|--|----|
| <i>Fig. 22:</i> Herstel van de permeabiliteit van het membraan na reiniging met verschillende chemicaliën (Kuzmenko <i>et al.</i> , 2005). | 46 |
| <i>Fig. 23:</i> Grotere concentraties aan reinigingsmiddel resulteren in een grotere fluxdaling in een volgende cyclus (verhoging van de resistentie) (Kuzmenko <i>et al.</i> , 2005). | 47 |
| <i>Fig. 24:</i> MBR configuratie. | 49 |
| <i>Fig. 25:</i> Zandfilter met bijhorende sturing. | 52 |
| <i>Fig. 26:</i> Doorsnede van het gebruikte membraan. | 53 |
| <i>Fig. 27:</i> Opstelling van het STORK membraan. | 54 |
| <i>Fig. 28:</i> De linkse figuur geeft de doorsnede van het INGE AG membraan, de rechtse figuur geeft één enkele vezel uitvergoot weer. | 55 |
| <i>Fig. 29:</i> Opstelling van het INGE AG membraan. | 56 |
| <i>Fig. 30:</i> TMP bij het begin van de productie. | 60 |
| <i>Fig. 31:</i> Opstelling van de pilootinstallatie zonder zandfilter. | 62 |
| <i>Fig. 32:</i> Opstelling pilootinstallatie met zandfilter. | 63 |
| <i>Fig. 33:</i> Opstelling van de pilootinstallatie (met zandfilter) met fotomateriaal. | 64 |
| <i>Fig. 34:</i> Hach – Lange spectrofotometer. | 65 |
| <i>Fig. 35:</i> Werking van de kuvettentesten. | 66 |
| <i>Fig. 36:</i> Opstelling zandfilter in labo. | 71 |
| <i>Fig. 37:</i> Vergelijking microbiële inhoud van permeaat t.o.v. voeding. | 75 |
| <i>Fig. 38:</i> Genormaliseerde flux i.f.v. tijd. | 77 |
| <i>Fig. 39:</i> Resistentieverloop i.f.v. de tijd. | 78 |
| <i>Fig. 40:</i> Effect van het inkorten van de forward flush tijd. | 79 |
| <i>Fig. 41:</i> Effect van het weglaten van de forward flush. | 81 |
| <i>Fig. 42:</i> Permeaatopbrengst voor verschillende productie – en backflushtijden. | 83 |
| <i>Fig. 43:</i> Vergelijking van twee werksituaties. | 84 |
| <i>Fig. 44:</i> Schema voor het opstellen van een massabalans. | 85 |
| <i>Fig. 45:</i> Genormaliseerde fluxverloop met en zonder zandfilter. | 87 |
| <i>Fig. 46:</i> Resistentieverloop met en zonder zandfilter. | 88 |
| <i>Fig. 47:</i> Reiniging met NaOCl. | 90 |
| <i>Fig. 48:</i> NaOH – reiniging gevolgd door citroenzuurreiniging. | 92 |
| <i>Fig. 49:</i> Effect enzymatische reiniging. | 93 |

Lijst met tabellen

| | |
|---|----|
| <i>Tabel 1:</i> Vergelijking van een aantal parameters voor verschillende types membranen (Mulder, 1996). | 20 |
| <i>Tabel 2:</i> Overzicht van de aangelegde drukken en de verkregen fluxen bij de verschillende membraanprocessen. | 21 |
| <i>Tabel 3:</i> De chemicaliën, overeenkomstig hun maximale concentraties, die mogen gebruikt worden bij de reiniging van het STORK membraan. | 53 |
| <i>Tabel 4:</i> De chemicaliën, overeenkomstig hun maximale concentraties, die mogen gebruikt worden bij de reiniging van het INGE AG membraan. | 56 |
| <i>Tabel 5:</i> Verwijderingrendement van het STORK membraan voor COD (Chemical Oxygen Demand). | 74 |
| <i>Tabel 6:</i> Verwijderingrendement van het STORK membraan voor zwevende stoffen. | 74 |
| <i>Tabel 7:</i> Verwijderingrendement van het STORK membraan voor micro – organismen. | 75 |
| <i>Tabel 8:</i> Verwijderingrendement van het INGE AG membraan voor COD (Chemical Oxygen Demand). | 75 |
| <i>Tabel 9:</i> Verwijderingrendement van het INGE AG membraan voor zwevende stoffen. | 76 |
| <i>Tabel 10:</i> Effect van het inkorten van de forward flush tijd: (a) geeft de waarden voor de curve '60 s BF met 60 s FF', (b) geeft de waarden voor de curve '60 s BF met 30 s FF'. | 80 |
| <i>Tabel 11:</i> Permeaatopbrengst voor verschillende productie – en backflushtijden. | 82 |
| <i>Tabel 12:</i> Meetgegevens van 5 maart 2007 voor het opstellen van een massabalans. | 85 |
| <i>Tabel 13:</i> Effect van de zandfilter op COD (Chemical Oxygen Demand) en zwevende stof concentraties. | 87 |
| <i>Tabel 14:</i> Resistentieverandering na aangezuurde/niet – aangezuurde NaOCl – reiniging. | 90 |
| <i>Tabel 15:</i> Resistentieverandering na reiniging met Ultrasil 110. | 91 |

| | |
|--|-----|
| <i>Tabel 16:</i> Resistentieverandering na reiniging met citroenzuur. | 91 |
| <i>Tabel 17:</i> Resistentieverandering na tweefasige reiniging. | 92 |
| <i>Tabel 18:</i> Resistentieverandering na enzymatische reiniging. | 93 |
| <i>Tabel 19:</i> Resistentieveranderingen bij de geteste reinigingen. | 93 |
| <i>Tabel 20:</i> Exploitatiekosten. | 94 |
| <i>Tabel 21:</i> Samenvatting van de kosten per onderdeel. | 97 |
| <i>Tabel 22:</i> Resistentieverandering en kostprijs van bruikbare reinigingsmiddelen. | 101 |

Inleiding

Hergebruik van afvalwater binnen een onderneming is een veelbelovend iets, maar is niet zo vanzelfsprekend. Biologische afvalwaterzuivering wordt reeds jarenlang toegepast in de voedingsindustrie om een effluent te produceren dat voldoet aan de lozingsnormen opgelegd in de milieuvergunning. Dit effluent kan niet altijd hergebruikt worden binnen de onderneming omdat de samenstelling niet voldoet aan de gestelde kwaliteitseisen. Een van de belangrijkste voorwaarden hierbij is niet zelden het kiemvrij zijn van het water. Membraanfiltratie toepassen op het effluent van de biologische waterzuivering biedt hier een oplossing. Een andere techniek maakt gebruik van membraanbioreactoren; hierbij wordt het biologisch slib afgescheiden van het gezuiverde afvalwater d.m.v. een membraan zodat ook hier een kiemvrij effluent wordt geproduceerd.

De firma Cool is een tuinbouwbedrijf gevestigd te Dendermonde. Deze firma is een familiebedrijf dat wortelen en ajuinen koopt en verkoopt. De wortelen worden meermaals gewassen en de laatste wassing gebeurt met grondwater. Hierbij wordt een afvalwater geproduceerd dat gezuiverd wordt met een actief – slibstelsel. Het ontstane effluent kan echter niet worden hergebruikt voor het spoelproces omdat het niet kiemvrij is. Wassen van de wortelen met het effluent van de biologische waterzuivering brengt een te snelle bruinkleuring van de wortelen met zich mee, zodat ze niet meer geschikt zijn voor verkoop. De bedoeling is dit effluent een bijkomende zuivering te laten ondergaan zodat hergebruik als spoelwater toch mogelijk wordt. Ultrafiltratie produceert een water (permeaat) dat volledig kiemvrij is, zodat dit permeaat gebruikt kan worden voor het wassen van de groenten, ultrafiltratie biedt dus een oplossing.

Het opstellen van een membraanfiltratietoestel gaat gepaard met een grondige studie waarin op zoek gegaan wordt naar optimale werkcondities. Tal van proefnemingen moeten dus gedaan worden op een pilootinstallatie alvorens over te gaan tot plaatsing van het eigenlijke membraanfiltratietoestel. De bedoeling van de thesis is het optimaliseren van de pilootinstallatie zodat een permanente werking mogelijk wordt. Deze optimalisatie houdt de zoektocht naar goede reinigingsmiddelen, efficiënte spoelingen, optimale productietijden in, we gaan met andere woorden op zoek naar een optimaal werkbaar situatie. Uiteraard speelt ook de economische kant van de zaak een belangrijke rol. Membraanfiltratie is een relatief dure aangelegenheid, een kostprijsberekening is een aspect dat dus zeker niet mag ontbreken.

Deel I

Literatuurstudie

1 Inleidende begrippen

1.1 Algemeen

De recuperatie van afvalwater is een interessante thematiek. Afhankelijk van de toepassing zal het water aan bepaalde kwaliteitseisen moeten voldoen. Op basis van deze kwaliteitseisen zal een keuze gemaakt worden tussen de verschillende technieken die beschikbaar zijn. Een van deze technieken is membraanfiltratie. Door water doorheen een membraan, vervaardigd uit een specifiek materiaal met een welbepaalde poriëngrootte, te sturen zal een zuivering van het water bekomen worden.

1.2 Wat is membraanfiltratie?

Membraanfiltratie kan omschreven worden als een filtratieproces onder invloed van een drijvende kracht (drukverschil, concentratiegradiënt, etc.) waarbij een membraan als filter fungeert. Water wordt doorheen het membraan gestuurd waarbij bepaalde partikeltjes, aanwezig in het water, door dit membraan worden tegengehouden.

Twee belangrijke parameters bij membraanfiltratie zijn de selectiviteit van het membraan voor bepaalde componenten en de stroom doorheen het membraan. Dit laatste, veelal de flux genoemd, wordt gedefinieerd als het volume vloeistof dat per tijdseenheid en per eenheid van oppervlak doorheen het membraan passeert.

Door het membraan stroomt dus een vloeistof met een andere samenstelling dan de oorspronkelijke vloeistof (de voeding). De vloeistofstroom die door het membraan migreert, en die ontlast is van bepaalde componenten, wordt permeaat genoemd, de vloeistofstroom die niet door het membraan passeert wordt concentraat (of retentate) genoemd. Dit wordt schematisch voorgesteld in onderstaande figuur.

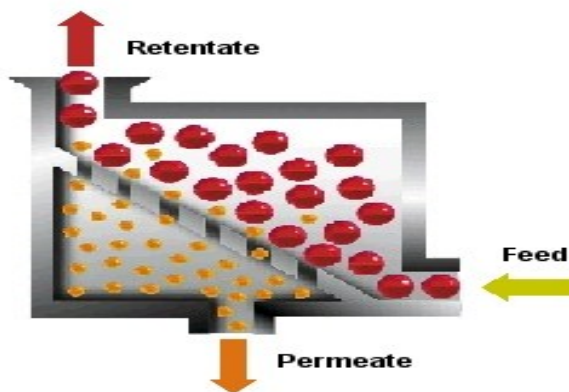


Fig. 1: Schematische voorstelling van membraanfiltratie.

Afhankelijk van de grootte van de deeltjes die door het membraan worden tegengehouden, kunnen we de membraantechnieken opdelen in microfiltratie, ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose. Onderstaande figuur geeft deze opdeling weer (Koenders P.M.D., 2001).

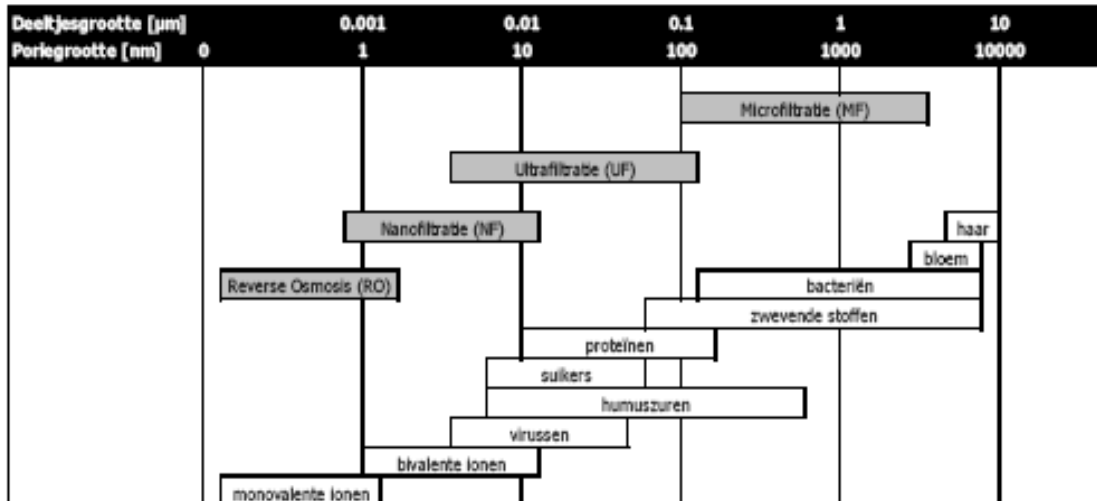


Fig. 2: Indeling van de membraantechnieken op basis van de deeltjesgrootte.

Het is moeilijk de verschillende technieken eenduidig in te delen op basis van deeltjesgrootte of poriëngrootte. Deze indeling verschilt immers van bron tot bron.

1.3 Definitie van membraan

We kunnen een membraan definiëren als zijnde een selectieve wand die twee fasen van elkaar scheidt. Het kan dik of dun zijn, een homogene of heterogene structuur bezitten, natuurlijk of synthetisch zijn van aard en neutraal of geladen zijn. Biologische membranen kunnen levend of dood zijn; synthetische membranen kunnen anorganisch of organisch (polymeren) zijn.

Massatransport kan actief of passief gebeuren. Passief transport kan gebeuren onder invloed van een druk-, temperatuur- of concentratieverschil.

1.4 Module

We kunnen de membranen opdelen in 2 grote categorieën: de vlakke membranen en de tubulaire membranen. De 'spiral wound' en 'plate and frame' membranen behoren tot de eerste categorie; tubulaire modules kunnen, op basis van de dimensies, verder worden opgedeeld in:

- tubulaire membranen (diameter: > 5 mm) ;
- capillaire membranen (diameter: 0,5 – 5 mm) ;
- holle vezelmembranen (diameter: $< 0,5$ mm).

1.4.1 Plate and frame module

Twee vlakke membranen zijn van elkaar gescheiden door een spacer. De voeding komt binnen aan die zijden van de membranen die naar de spacer zijn toe gericht. Langs de andere zijde van het membraan treedt permeaat naar buiten. Een dergelijk stel membranen, gescheiden door een spacer, vormen één set. In de praktijk worden

een aantal sets na elkaar geplaatst en vormen op die manier een 'plate and frame' module.

1.4.2 *Spiral wound module*

De spiral wound module is in feite een meer compacte versie van de plate and frame module. Het is een plate and frame systeem dat gewonden is rond een centrale as waarin het permeaat wordt gecollecteerd (General Electric Company, z.j.). Een voorstelling van dit type module is hieronder weergegeven.

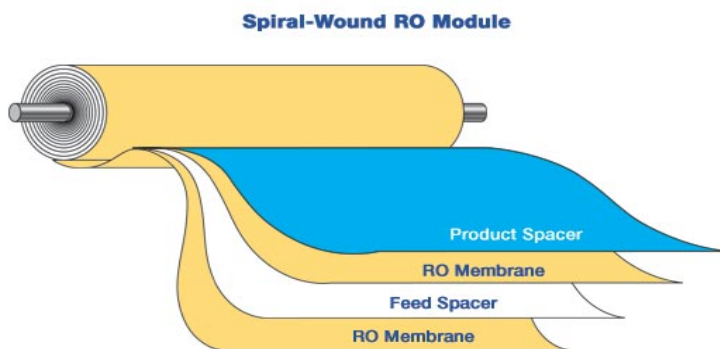


Fig. 3: Spiral wound module.

1.4.3 *De tubulaire module*

Tubulaire membranen worden geplaatst binnenin een poreuze buis vervaardigd uit roestvrij staal, keramiek of plastic. De diameter van de buis is, over het algemeen, groter dan 10 mm. Het aantal buisjes die samen in de module worden gestoken varieert.



Fig. 4: Doorsnede van een tubulaire module.

De voeding stroomt bij de 'in – out configuratie' doorheen de binnenzijde van de buisjes terwijl het permeaat doorheen de poreuze wanden van de buisjes stroomt en terecht komt in de huizing van de module.

De dichtheid van de pakking van een tubulaire module is laag, en neemt waarden aan die kleiner zijn dan $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

1.4.4 De capillaire module

Ze bestaat uit een groot aantal capillaire buisjes die zijn ingebouwd in de module. De vrije uiteinden van de vezels zijn ingebed in epoxyhars.

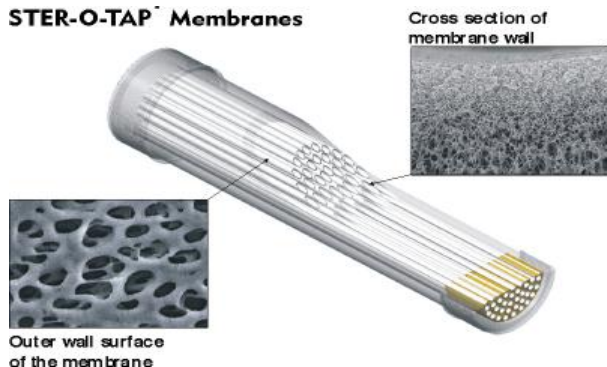


Fig. 5: Afbeelding van een capillair membraan.

Er zijn twee types te onderscheiden: het type waarbij de voeding doorheen de kern van de capillaire buisjes passeert en waarbij het permeaat aan de buitenkant van de buisjes wordt verzameld (in – out configuratie) en een tweede type waarbij de voeding van de buitenkant van de capillaire buisjes naar binnen treedt (out – in configuratie). De keuze tussen de twee types is voornamelijk gebaseerd op de toepassing, waar parameters zoals druk, drukval, type membraan dat voorhanden is, etc. een belangrijke rol in spelen. Afhankelijk van het type zal, in het geval van asymmetrische membranen (bestaan uit twee lagen, zie verder punt 3.2), de dunne toplaag aan de binnenzijde, respectievelijk aan de buitenzijde van de capillaire buisjes aangebracht zijn.

De dichtheid van de pakking zal bij dit type membraan variëren tussen de 600 tot 1200 m²/m³.

1.4.5 De holle vezel module

Hier kan de voeding opnieuw van binnen naar buiten gestuurd worden, of van buiten naar binnen. De dichtheid van de pakking is het grootst bij dit type module en kan waarden aannemen tot 30 000 m²/m³.

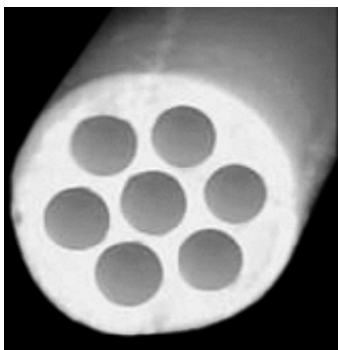


Fig. 6: Afbeelding van een holle vezel.

Op de afbeelding is een holle vezel weergegeven ontworpen door INGE AG. Bij dit type vezel worden 7 holle vezels gecombineerd in één vezel.

De holle vezelmodule wordt gebruikt wanneer de voeding relatief proper is. In vele gevallen is bij gebruik van dit type module een voorbehandeling van het afvalwater vereist, omdat de kans op verstoppingen te groot is.

1.4.6 Keuze van de module

Economische aspecten beïnvloeden de keuze van een membraan. Het is echter zeer belangrijk rekening te houden met het type toepassing waarvoor het membraan zal worden gebruikt. De goedkoopste module is uiteraard niet altijd de beste keuze!

| | Tubulair | Plate en frame | Spiral wound | Capillair | Holle vezel |
|---|----------|----------------|--------------|-----------|-------------|
| Dichtheid van de pakking | laag | -----> | | | zeer hoog |
| Investing | hoog | -----> | | | laag |
| Vervuiling | laag | -----> | | | zeer hoog |
| Reiniging | goed | -----> | | | slecht |
| Mogelijkheid tot vervanging van membranen | ja/nee | ja | nee | nee | nee |

Tabel 1: Vergelijking van een aantal parameters voor verschillende types membranen (Mulder, 1996).

Tabel 1 leert ons dat de keuze van een bepaald type membraan afhankelijk zal zijn van meerdere parameters. Zo zal voor water dat een grote mate van verontreiniging bezit de voorkeur uitgaan naar tubulaire membranen, niettemin deze een hoge investering met zich meebrengen.

2 Het filtratieproces

2.1 Het proces

Het membraan heeft de eigenschap om bepaalde componenten gemakkelijker door te laten dan andere wegens verschillen in fysische en chemische eigenschappen van zowel membraan als componenten. Transport doorheen het membraan grijpt plaats als gevolg van een drijvende kracht die werkt op de componenten in de voeding. In de meeste gevallen is de grootte van de drijvende kracht recht evenredig met de grootte van de permeaatstroom. Deze drijvende kracht kan een elektrisch potentiaalverschil zijn of een druk-, concentratie- of temperatuursgradiënt. Hoe verder doorgedreven het filtratieproces is, anders gezegd hoe kleiner de poriëngrootte van het membraan, hoe groter de weerstand zal zijn die de vloeistof ondervindt bij doorgang door het membraan. De drijvende kracht zal dus groter moeten zijn bij kleinere poriëngroottes, de verkregen fluxen zullen kleiner zijn.

| Membraanproces | Druk (bar) | Flux (l/m ² .h.bar) |
|-------------------|------------|--------------------------------|
| Microfiltratie | 0,1 – 2,0 | >50 |
| Ultrafiltratie | 1,0 – 5,0 | 10 – 50 |
| Nanofiltratie | 5,0 – 20 | 1,4 – 12 |
| Omgekeerde osmose | 10 - 100 | 0,05 – 1,4 |

Tabel 2: Overzicht van de aangelegde drukken en de verkregen fluxen bij de verschillende membraanprocessen.

2.2 Proces parameters

Om het filtratieproces te beschrijven maken we gebruik van een aantal termen. Een aantal frequent gebruikte worden kort beschreven.

Concentratiepolarisatie: het stijgen van de concentratie aan moleculen naar het membraanoppervlak toe. Dit is reversibel.

Cut – off waarde: verwijst naar het moleculaire gewicht van de moleculen waarboven 95% van de moleculen wordt weerhouden door een UF – membraan.

Flux: de hoeveelheid van een vloeistof, gas of vaste stof die door het membraan stroomt per eenheid van membraanoppervlak en per tijdseenheid (uitgedrukt in l/m².h). Meestal wordt de flux weergegeven bij een bepaalde druk, gezien een hogere druk resulteert in een hogere flux.

Retentie: maat voor het tegenhoudend vermogen van een membraan voor een bepaalde component, uitgedrukt in procenten. De *permeabiliteit* is het tegengestelde; en geeft de doorlaatbaarheid van het membraan aan voor een bepaalde component. Ze wordt eveneens uitgedrukt in procenten. De som van retentie en permeabiliteit is 100 %.

Recovery: de fractie van de voedingsstroom die door het membraan gaat of m.a.w. het percentage voedingsvolume dat in permeaat wordt omgezet.

Transmembraandruk: dit is het drukverschil tussen de voedingszijde en de permeatzijde van het membraan.

2.3 Configuratie

Een membraanfiltratie kan op twee manieren uitgevoerd worden. Men kan dead – end of cross – flow filtreren.

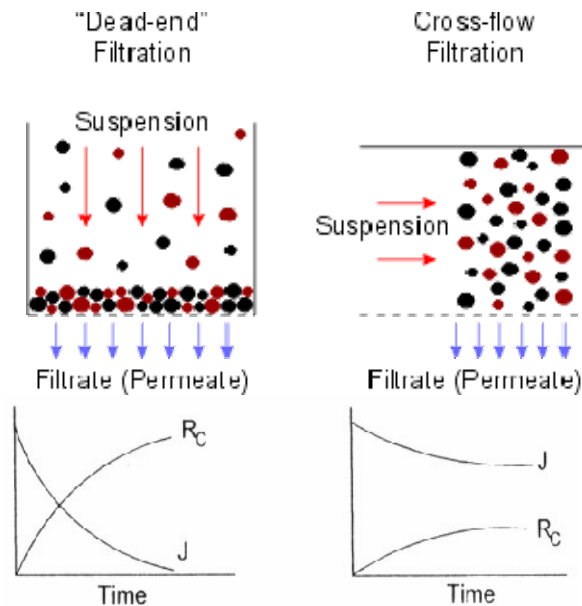


Fig. 7: Dead – end versus cross – flow filtratie.

2.3.1 Dead - end

In een dead – end configuratie wordt de vloeistof doorheen het membraan geperst zodat contaminatie op het membraan achterblijft. Een ophoping van deeltjes op het membraan is het resultaat van deze wijze van filtreren. Dit brengt met zich mee dat het water na verloop van tijd een grotere weerstand (resistentie) zal ondervinden bij het passeren doorheen het membraan zodat ook de flux zal afnemen. Dit is duidelijk te zien in fig. 7: de resistentie (R_c) stijgt sterk, resulterend in een sterke fluxdaling (J).

2.3.2 Cross – flow

Bij een cross – flow filtratie passeert het water langs het membraan met een hoge snelheid waardoor de vorming van een ‘gellaag’ op het membraan wordt tegengegaan. Bij dit type filtratie wordt het water gerecirculeerd om een voldoende hoog debiet aan afvalwater langsheen het membraan te verkrijgen. Een nadeel aan deze wijze van filtreren is de kost van de installatie; deze neemt hogere waarden aan doordat additionele leidingen en pompen vereist zijn, bovendien is het niet moeilijk te begrijpen dat de methode energetisch minder gunstig is dan een dead – end filtratie.

Verbruik van filtermateriaal en frequentie van reinigingen zijn echter kleiner bij dit type t.o.v. dead – end filtratie, wat de kosten enigszins drukt.

2.3.3 *Semi dead – end*

Het voordeel van dead – end filtratie is de hoge recovery; de voeding passeert namelijk volledig doorheen het membraan. Het resultaat van een dergelijke configuratie is echter wel een hoge mate van vervuiling van het membraan en een sterke afname van de flux! Bij cross – flow configuraties echter treedt veel minder vervuiling op van het membraan, maar de recovery is veel lager. Een semi dead – end systeem combineert de voordelen van beide processen.

De voeding stroomt door de kern van de capillaire buisjes en het permeaat wordt verzameld in een centrale buis. Door vervuiling van het membraan zal een daling van de flux optreden. Om dit tegen te gaan wordt het membraan regelmatig gespoeld door permeaat in tegengestelde richting doorheen het membraan te sturen. Dit wordt soms gecombineerd met een forward flush waarbij voeding aan een hoog debiet langsheen het membraan wordt gestuurd. Hierop wordt verder ingegaan in het hoofdstuk vervuiling.

2.4 **Vervuiling van het membraan**

Door de afzetting van componenten op het membraan ondervindt het water een grotere weerstand bij het passeren door het membraan, wat resulteert in een daling van de flux en dus ook een daling in de opbrengst aan permeaat. Het is dus belangrijk dat vervuiling tegengegaan wordt. Dit kan door een juiste keuze van materialen zodat interacties tussen componenten en membraan worden tegengegaan, maar nog belangrijker is het regelmatig spoelen van het membraan (de zogenaamde backflush). In volgende hoofdstukken wordt hierop verder ingegaan.

2.5 **Opsporen van defecten**

Bij een spoeling van het membraan is de druk op de capillaire buisjes ongeveer drie maal zo groot als de voedingsdruk. Deze hoge drukken kunnen de oorzaak zijn van het ontstaan van breuken in de buisjes. Breuken moeten te allen tijde worden vermeden omdat dit met zich meebrengt dat het voedingswater ongezuiverd door de breuk sijpelt en in het permeaat terechtkomt. Het is dus belangrijk deze breuken op te sporen. Een mogelijke test is de integriteitstest (INGE AG, 2006).

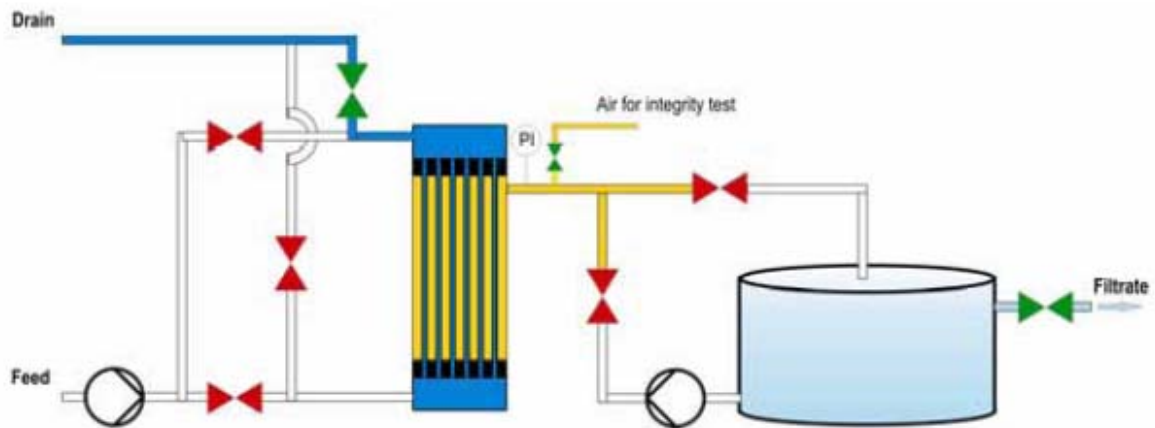


Fig. 8: Integriteitstest om lekken op te sporen.

De integriteitstest is gebaseerd op het fenomeen dat lucht niet doorheen natte poriën zal passeren tenzij een zekere druk wordt overschreden. Deze druk wordt de 'bubble point' druk genoemd. De bubble point druk is veel hoger dan de druk die wordt gebruikt bij deze test.

Lucht wordt in de module gebracht en vervangt er het gefiltreerde water (geel op de figuur). Eens al het gefiltreerde water, dit is het water dat zich buiten de capillaire buisjes bevindt, uit de module verdwenen is wordt de luchttoevoer gesloten. Dit resulteert in een zekere druk afkomstig van de lucht en zal constant zijn indien geen breuken aanwezig zijn én indien de druk onder de bubble point druk wordt gehouden. Is er wel een breuk in een van de buisjes, dan zal lucht ontsnappen via de capillaire buisjes met een drukdaling tot gevolg. Door het registreren van de druk in de module kan men dus lekken opsporen.

2.6 Verticale versus horizontale opstelling

Hieronder wordt uitgelegd wat de grote verschillen zijn tussen een horizontale en verticale opstelling (INGE AG, 2006).

Bij horizontale opstellingen is het in vele gevallen zo dat men, om een dead – end situatie te creëren, het voedingswater aan beide uiteinden in de module gaat introduceren. Dit creëert een 'doodlopend' einde in het midden van de module, zodat daar de meeste vervuiling wordt verzameld. De spoeling van het membraan wordt echter bemoeilijkt aangezien het onmogelijk is een gelijke verdeling van het spoelwater te verkrijgen over de volledige lengte van de module. Er is met andere woorden een grote moeilijkheid wat betreft de verwijdering van componenten in het midden van het membraan, waar net de grootste concentratie aan vervuiling heerst.

Bij verticale opstellingen echter wordt het voedingswater bovenaan of onderaan de module geïntroduceerd. Opnieuw zal de grootste mate van vervuiling optreden in het doodlopend einde, dit wil zeggen onderaan, respectievelijk bovenaan de module. Aangezien spoelwater steeds bovenaan of onderaan de module wordt geïntroduceerd is het nu wel mogelijk de vervuiling te verwijderen op de plaats waar deze in de hoogste concentraties aanwezig is.

Een andere methodiek, toegepast door INGE AG bij verticaal opgestelde modules, zorgt voor een egale blootstelling van de vezels aan het afvalwater en wordt voorgesteld in de onderstaande figuur.

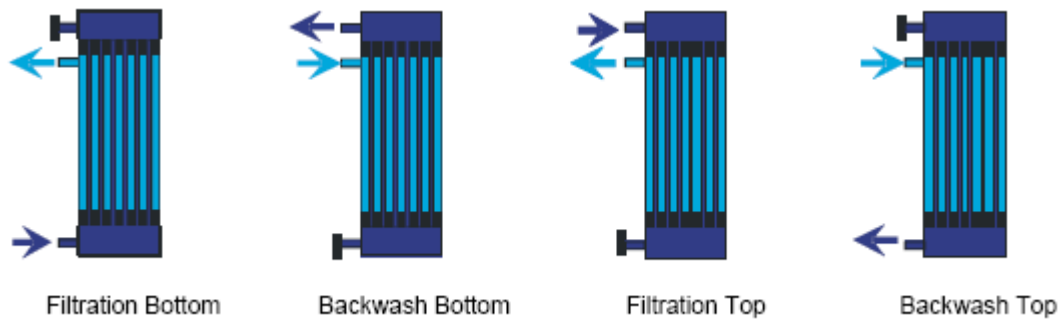


Fig. 9: Alternierende filtratie, toegepast door INGE AG.

De voeding wordt alternerend boven – en onderaan de module geïntroduceerd. Ook de spoelingen gebeuren alternerend. Een nadeel van deze techniek is de complexiteit van de installaties.

Met oog op grotere installaties, waar meerdere modules staan ingeschakeld, is het belangrijk dat, indien er een defect is, de module waarin het defect is opgetreden wordt opgespoord. Dit kan gebeuren door de eerder vermelde integriteitstest. De hierbij vereiste verdeling van de testlucht over de module verloopt eenvoudiger bij verticale dan bij horizontale modules zodat ook hier de verticale modules in het voordeel zijn.

3 Ultrafiltratie

3.1 Algemeen

Ultrafiltratie is een scheidingstechniek die qua af te scheiden deeltjesgrootte gelegen is tussen nanofiltratie en microfiltratie. De poriëngrootte varieert van 50 tot 1 nm. Ultrafiltratie wordt gebruikt om macromoleculen en colloïden uit een oplossing te verwijderen met als laagste limiet verbindingen met een gewicht van enkele 1000 Dalton.

Ultra- en microfiltratieprocessen kunnen beide beschouwd worden als zijnde processen waarbij scheiding voornamelijk bekomen wordt op basis van grootte en vorm van de opgeloste deeltjes en waarbij de grootte van de flux rechtstreeks in verhouding staat tot de aangelegde druk (Mulder, 1996).

In feite is het zo dat microfiltratie en ultrafiltratie beide gebaseerd zijn op hetzelfde scheidingsprincipe. Een belangrijk verschil is echter wel dat ultrafiltratie membranen een veel dichtere toplaag hebben, en daardoor ook een hogere weerstand bieden aan de voeding dan de microfiltratie membranen.

3.2 Membranen

UF - membranen zijn beschikbaar als vlakke platen, spiraal gewonden, capillair en buizen (tubulaire membranen), en hebben een symmetrische of asymmetrische structuur. Een symmetrisch membraan heeft over de gehele dwarsdoorsnede dezelfde poriëndiameter, een asymmetrisch membraan daarentegen bestaat uit twee verschillende aan elkaar gesloten structuren: een zeer dichte en dunne toplaag die zorgt voor de selectiviteit van het membraan (dikte 0,1 tot 0,5 μm) en een poreuze substructuur die als ondersteuning van de toplaag fungeert (dikte 50 tot 150 μm). Het is veelal zo dat ultrafiltratie membranen gebruikt worden als substructuur in membranen voor nanofiltratie en omgekeerde osmose (Mulder, 1996).

De meest gebruikte UF membranen zijn organische membranen gefabriceerd uit polymeren. De chemische en thermische weerstand van het membraan, en de eigenschap om vervuiling zoveel mogelijk te reduceren zijn eigenschappen die in acht moeten worden genomen bij de synthese van het membraan. Een membraan is meer gegeerd naarmate het beter resistent is tegen hoge temperaturen ($>100^\circ\text{C}$), tegen een brede pH – range en tegen organische solventen, wat vooral bij chemische reiniging belangrijk is.

Hierna wordt even dieper ingegaan op een aantal eigenschappen van PES (polyethersulfon) omdat dit een veel gebruikt polymeer is voor de synthese van membranen.

PES vertoont een hoge thermische weerstand en een hoge hydrolytische stabiliteit (het polymeer zal niet worden gesplitst onder invloed van water). Bovendien behoudt het zijn mechanische eigenschappen in warme en natte omgevingen (Kim & Kim, 2005). Deze zaken zorgen ervoor dat PES zeer geliefd is voor de synthese van membranen die dienen voor het scheiden van vloeistoffen (Qin, Oo & Li, 2005). Naast deze positieve eigenschappen heeft PES ook een negatieve eigenschap: het is een hydrofoob materiaal. Vermits hydrofobe materialen niet kunnen worden natgemaakt door water zullen hoge drukken vereist zijn om water doorheen de poriën

van het membraan te sturen. Verder is het zo dat er hydrofobe interacties ontstaan tussen PES en bepaalde componenten aanwezig in het voedingswater wat resulteert in een hoge mate van vervuiling van het membraan (Kim & Kim, 2005). Een hoge mate van vervuiling betekent een achteruitgang van het filtratieproces. Hydrofiele membranen daarentegen, zoals bijvoorbeeld membranen gesynthetiseerd uit cellulose acetaat vertonen deze interacties niet, maar ze vertonen noch een goede thermische stabiliteit, noch een goede chemische weerstand zodat het gebruik als membraan uitgesloten is. Het is dus noodzakelijk een membraan te creëren dat de eigenschappen van hydrofobe en hydrofiele polymeren draagt. Dit wordt mogelijk door het mengen van polymeren, op die manier wordt een product ontwikkeld dat de eigenschappen draagt van de beide polymeren afzonderlijk.

PVP (polyvinylpyrrolidone), een niet – toxisch hydrofiel materiaal, vertoont een goede oplosbaarheid in water. Deze eigenschap heeft als nadeel dat de meeste PVP wordt weggevoerd bij de synthese van het membraan. Er blijft echter nog een kleine hoeveelheid achter in de poriën alsook in de membraanmatrix. De overblijfselen in het materiaal zijn essentieel voor het creëren van een membraan met betere hydrofiele eigenschappen. Uit onderzoek is gebleken dat deze PES – PVP membranen een hogere flux vertonen dan een PES membraan (Kim & Kim, 2005). Dit bevestigt nog eens dat het hydrofiele karakter van het membraan verbeterd wordt door toevoeging van PVP. Bovendien heeft dit als gevolg dat de filtratie energetisch gunstiger is dan in het geval van PES omdat de drukken die moeten aangelegd worden om het water doorheen de poriën te sturen lager zullen zijn.

Onderzoek heeft echter wel aangetoond dat het PES - PVP meer opgeloste deeltjes doorlaat dan een PES membraan, wat een logisch gevolg is van het feit dat de hydrofobe interacties van de componenten met PES worden gereduceerd door toevoeging van PVP (Kim & Kim, 2005).

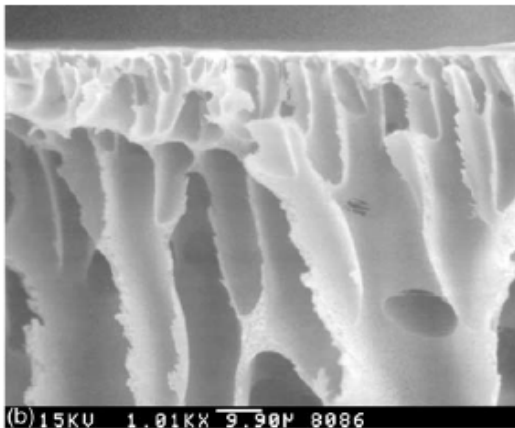


Fig. 10: Dwarsdoorsnede van een PES – PVP membraan.

In figuur 10 kunnen we de twee lagen zien die voorkomen in asymmetrische membranen: onderaan zien we de substructuur met de grotere poriën die fungeert als ondersteunende laag en bovenaan zien we de toplaag met de kleinere poriëngrootte die zorgt voor de selectiviteit van het membraan. We zien ook dat de ondersteunende laag dikker is dan de toplaag.

Andere polymeren die gebruikt worden voor de synthese van UF – membranen zijn (Mulder, 1996):

- polysulfon/gesulfoneerd polysulfon;
- poly(vinylideen fluoride);
- polyacrylonitril;
- cellulose acetaat;
- polyimide/poly(ether imide);
- alifatische polyamides.

3.3 Toepassingen

Ultrafiltratie vindt haar toepassingen in de voedingsindustrie, de chemische industrie, de textielindustrie, de farmaceutische industrie, de metallurgie, de papierindustrie... Voorbeelden van toepassingen in de voedsel- en zuivelindustrie zijn onder andere de herwinning van proteïnen uit de wei en het klaren van fruitsappen en alcoholische dranken.

4 Het verschijnsel vervuiling

4.1 Introductie

Tijdens het filtratieproces zal de flux afnemen in functie van de tijd. Dit verschijnsel is hoofdzakelijk te wijten aan concentratiepolarisatie en vervuiling van het membraan.

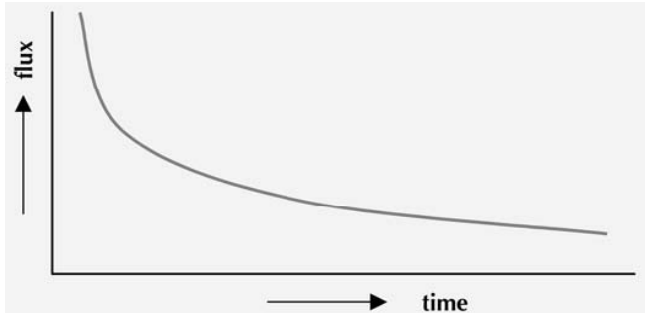


Fig. 11: Fluxverloop in functie van de tijd.

4.2 Mechanismen

Er zijn vijf mechanismen volgens dewelke vervuiling kan optreden (van den Berg geciteerd door Roorda, 2004). Ze worden hieronder opgesomd:

- adsorptie binnenin de membraanporiën (R_a);
- blokkering van de membraanporiën (R_p);
- concentratiepolarisatie (R_{cp});
- afzetting op het membraanoppervlak met vorming van een aangekoekte laag (R_c);
- compressie van de aangekoekte laag.

In fig. 12 zijn deze verschillende mechanismen schematisch weergegeven.

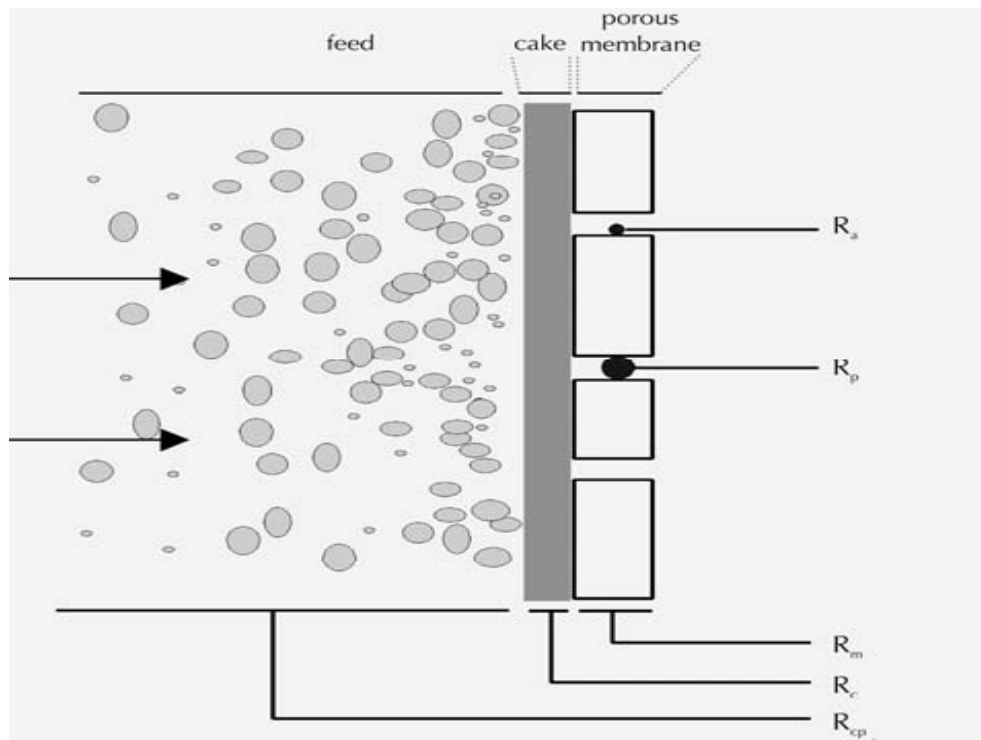


Fig. 12: De verschillende mechanismen volgens dewelke vervuiling kan optreden (Roorda, 2004).

Al deze factoren induceren additionele weerstanden aan de voedingszijde van het membraan zodat de voeding moeilijker doorheen het membraan kan passeren. De mate waarin vervuiling zal optreden is sterk afhankelijk van de samenstelling van de voeding en van het type membraan dat wordt gebruikt.

De verschillende mechanismen die zijn weergegeven in fig. 12 dragen samen bij tot de totale weerstand van het membraan (R_{tot}). In het ideale geval is enkel R_m (dit is de weerstand van het membraan zelf) van toepassing.

Door het feit dat het membraan deeltjes die in het voedingswater aanwezig zijn gaat tegenhouden zullen deze zich accumuleren aan het membraanoppervlak. Dit resulteert in een sterk geconcentreerde laag die een weerstand tegen massatransfer veroorzaakt. Het is mogelijk dat de concentratie aan geaccumuleerde deeltjes zodanig hoog wordt dat een gellaag (R_c) gevormd wordt, dit gebeurt voornamelijk wanneer de voeding proteïnen bevat.

Deeltjes kunnen ook geadsorbeerd worden aan het membraan. Deze adsorptie kan optreden aan het membraanoppervlak (R_a) en (in het geval van poreuze membranen) in de poriën van het membraan (R_p).

Afname van de flux heeft een negatieve invloed op de opbrengst aan permeaat en zal dus economisch ongunstig zijn. Vervuiling dient dus zoveel mogelijk vermeden te worden.

4.3 Flux in functie van de aangelegde druk

De zuiver water flux doorheen een poreus membraan in drukgedreven processen is evenredig met de aangelegde druk. We vinden volgende relatie (Wet van Darcy):

$$J = \frac{\Delta P}{\eta \cdot R_m}$$

met J = de flux
 ΔP = de transmembraandruk
 η = de dynamische viscositeit
 R_m = de weerstand van het membraan

R_m is een constante, eigen aan het membraan en is onafhankelijk van de samenstelling van de voeding, of van de aangelegde druk.

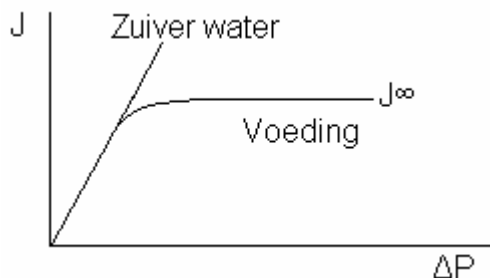


Fig. 13: Vergelijking van de flux van zuiver water met de flux van de voeding (water met contaminatie).

Voor zuiver water is te zien dat een drukverhoging een evenredige verhoging van de flux tot gevolg heeft. Wanneer het water echter opgeloste stoffen bevat, dan zien we dat de flux, in cross – flow configuratie, bij een bepaalde druk een limiet bereikt (J_∞): bij verdere drukverhoging zal de flux geen hogere waarden aannemen (Bacchin, Aimar & Field, 2006). De waarde van J_∞ is afhankelijk van de concentratie aan opgeloste stoffen in het water, hoe hoger deze concentratie hoe kleiner J_∞ zal zijn.

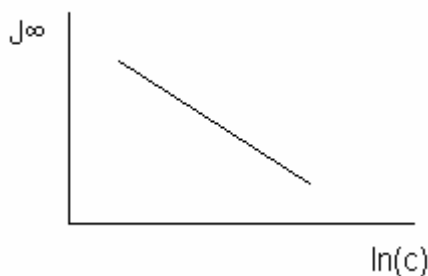


Fig. 14: De fluxlimiet (J_∞) in functie van de logaritme van de concentratie in de voeding (Mulder, 1996).

Het gedrag van deze limietflux is vooral van toepassing voor een ultrafiltratie, minder voor een microfiltratie. Een verklaring voor het verschijnsel heeft te maken met de eigenschappen van geconcentreerde macromoleculaire oplossingen.

4.4 Vorming van een aangekoekte laag

De vorming van een aangekoekte laag op het membraan kan mogelijk een verklaring geven voor het optreden van een limietflux. Veronderstel dat alle opgeloste stoffen worden tegengehouden door het membraan. Een drukverhoging resulteert in een evenredige stijging van de flux tot de limietflux wordt bereikt. Deze limietflux zal optreden wanneer een bepaalde concentratie aan opgeloste stoffen rond het membraanoppervlak wordt bereikt (fig. 14). Een te hoge concentratie aan opgeloste stoffen zal namelijk resulteren in de vorming van een laagje op het membraanoppervlak. Bij verdere verhoging van de druk zal dit laagje dikker worden en harder worden aangedrukt, met als resultaat een verhoging van de resistentie (weerstand). M.a.w. door de druk te verhogen wordt ook de resistentie verhoogd zodat de flux constant blijft.

De totale weerstand die de voeding ondervindt bij het passeren door het membraan is de som van de weerstand van het membraan zelf en de weerstand veroorzaakt door het laagje: $R_{\text{tot}} = R_m + R_g$.

4.5 Factoren die vervuiling in de hand werken

Contaminatie kan optreden door anorganische en organische verbindingen, door colloïden en door microbiële groei (biofouling). In dit deel wordt even verder ingegaan op contaminatie van organische oorsprong omdat deze een groot aandeel heeft in het vervuilingproces.

Factoren zoals structuur en lading van de contaminant en samenstelling, hydrofoob karakter en oppervlaktepotentiaal van het membraanoppervlak spelen een rol in het vervuilingproces. Met structuur van de contaminant worden hoofdzakelijk zijn afmetingen bedoeld, grotere moleculen beschikken immers over meer groepen die kunnen interageren met het membraanoppervlak. Daarnaast zal het hydrofoob/hydrofiel karakter van grote moleculen meer uitgesproken zijn dan bij kleine moleculen (grotere moleculen dragen uiteraard meer hydrofobe/hydrofiële groepen dan kleinere moleculen). Ook dragen organische macromoleculen en membranen meestal ladingen: gelijkaardige ladingen leiden tot afstoting, tegengestelde ladingen leiden tot aantrekking tussen moleculen en membraan.

De structuur van het membraan speelt ook een rol: ten eerste vertonen ruwe membraanoppervlakken meer oppervlak zodat meer interactie mogelijk is met contaminanten en ten tweede kunnen bepaalde liganden, aanwezig op het membraanoppervlak, het ontstaan geven aan covalente bindingen met contaminanten. De heterogeniteit van het membraanoppervlak speelt ook een rol: bepaalde gebieden van het oppervlak zullen verschillend interageren.

Een hydrofoob karakter van het membraanoppervlak promoot de binding van organische moleculen.

Vervuiling hangt af van fysische en chemische parameters zoals concentratie, temperatuur, pH, interacties tussen ionen, waterstofbruggen, dipool – dipool interacties, etc. Het is zo dat de samenstelling van het vervuilde water voortdurend verandert, wat het tegengaan van vervuiling bemoeilijkt. De manier van bestrijding, en de daarbij horende reinigingsmethodes, hangen af van de samenstelling van het

water en de interacties die optreden tussen het membraan en de componenten aanwezig in het water. Zoeken naar een efficiënte reinigingsmethode zal grotendeels gebaseerd zijn op proefondervindelijke waarnemingen.

4.6 Tegengaan van vervuiling

Wegens de complexiteit van het verschijnsel zullen de neergeschreven methodes eerder een indicatie zijn van hoe vervuiling mogelijks kan worden verholpen. Indien we echter meer in detail zouden treden, meer specifiek zouden gaan werken, dan zou het kunnen dat voor de ene installatie een bepaalde methode zeer efficiënt blijkt te zijn terwijl deze voor een andere installatie eerder negatieve effecten vertoont. Om dit te verduidelijken wordt een kort voorbeeld aangehaald: permeaat wordt bij een bepaald type reiniging terug in de module gebracht samen met een reinigingsmiddel (bijv. NaOH) om de aangekoekte deeltjes op te lossen. Beschouw nu twee afvalwaters (AW1 en AW2), afkomstig van 2 verschillende installaties. Uiteraard zullen permeaat 1 (P1) en permeaat 2 (P2), afkomstig van respectievelijk AW1 en AW2, ook een verschillende samenstelling hebben. Toevoeging van NaOH aan P1 geeft een probleem: er treedt uitvloeking op, toevoeging van NaOH aan P2 geeft geen probleem. Het is nu vanzelfsprekend dat NaOH wel als reinigingsmiddel zal kunnen worden gebruikt in het tweede geval, maar niet in het eerste geval. In het eerste geval zou de uitvloeking zorgen voor een bijkomende resistentie van het membraan.

Niettemin het moeilijk is de efficiëntie van een reiniging te voorspellen wordt in hoofdstuk 5 even dieper ingegaan op het effect van een aantal verschillende reinigingsmiddelen die werden gebruikt voor de reiniging van een UF – membraan dat werd vervuild met BSA (bovine serum albumine).

4.6.1 Voorbehandeling

Een voorbehandeling van het afvalwater zal ervoor zorgen dat het membraan minder snel verstopt. Er zijn verschillende mogelijkheden:

Coagulatie

Bourgeois *et al.* (2001) vond door het vergelijken van de resultaten van drie verschillende afvalwaters dat de filtratie - efficiëntie meer gerelateerd was aan de grootte van de partikels dan aan de concentratie van deze partikels in het afvalwater. Het is zo dat kleine partikels (<5 μm) een belangrijker aandeel hebben in de filtratiekarakteristieken dan de grotere partikels: verwijderen van kleine partikels met een backflush blijkt minder vanzelfsprekend te zijn dan de verwijdering van grotere partikels.

Toevoegen van coagulatiemiddelen, zijnde stoffen die elementen bevatten die een grote lading dragen (FeCl_3 bevat ijzer onder de vorm van Fe^{3+} , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ bevat aluminium onder de vorm van Al^{3+}), zorgen ervoor dat de kleine partikeltjes samenklitten tot grotere partikels. Deze kunnen gemakkelijker worden verwijderd d.m.v. een backflush zodat de filtratie beter zal verlopen.

Aan deze vorm van pre – filtratie zijn een aantal nadelen verbonden:

Ten eerste dient vermeld te worden dat door de toevoeging van coagulantia het sulfaatgehalte of het chloridengehalte in het water sterk kan stijgen (Carpentier *et al.*, 2004). Deze ionen zullen ook in het permeaat terecht komen aangezien ionen niet worden tegengehouden door een ultrafiltratiemembraan. Aangezien dit water in de meeste toepassingen bestemd is voor hergebruik is dit zeer nadelig. Het sulfaatgehalte of het chloridengehalte kan zo hoog oplopen dat er corrosie kan optreden aan de installatieonderdelen. Op regelmatige tijdstippen moet een deel van het gerecupereerde water verwijderd worden en een evenredige hoeveelheid vers water toegevoegd worden aan het productiewater.

Een bijkomend probleem is de juiste dosering. Aangezien de samenstelling van afvalwaters kan variëren is dit niet zo vanzelfsprekend. De chemicaliën worden gewoonlijk debietproportioneel toegevoegd: telkens de voedingspomp werkt, doseren de chemicaliënpompen vaste hoeveelheden. Het is onbegonnen werk om telkens de dosering aan te passen aan de toekomstige belasting. In vele gevallen wordt de dosering ingesteld volgens de hoogste belasting. Aangezien de belasting van het afvalwater varieert zal in vele gevallen een overdosis aan chemicaliën worden gedoseerd. Daarom is een goede buffering vereist zodat de kwaliteit van het afvalwater zo weinig mogelijk varieert. Een mogelijkheid is het apart houden van sterk belaste stromen zodat aan deze een hogere dosis kan worden toegevoegd.

Verder is voor de dosering van de chemicaliën een doseringspomp vereist wat de kosten van de installatie enigszins opdrijft. Bovendien dragen de coagulantia ook een zekere kostprijs:

- FeCl_3 kost per ton 170 à 220 euro;
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kost per ton 300 à 400 euro

Zandfilter

Door het plaatsen van een zandfilter voor het membraan worden de grootste deeltjes uit het afvalwater weg gefilterd. In ons geval, waar het membraanfiltratie toestel aangesloten is op een actief slib systeem, kan de concentratie aan zwevende stoffen in het effluent problemen opleveren. Is deze concentratie te hoog, dan kan een te snelle verstopping van het membraan optreden.

We kunnen de concentratie aan zwevende stoffen enigszins reduceren door het plaatsen van een zandfilter. Dit zal niet enkel resulteren in een concentratiedaling van de zwevende stoffen, daarnaast zal een verdere reductie van de COD, BOD, fosfor, stikstof, etc. plaatsvinden.

De zandfilter zal na verloop van tijd verstopten. Dit wordt verholpen door hem op regelmatige tijdstippen terug te spoelen met een deel van het gezuiverde water.

Nadelen zijn echter de bijkomende kostprijs van de installatie, inclusief de pompen die vereist zijn. Verder kan het nut van de membraanfiltratie in vraag worden gesteld wanneer een zandfilter wordt ingeschakeld na een actief slibstelsel. In dit geval heeft het membraanfiltratie toestel nog enkel een desinfecterende werking en een verdere reductie van de COD, BOD, etc. wat de zoektocht doet ontstaan naar andere, goedkopere desinfecteermiddelen (bijv. UV – straling), membraanfiltratie is immers een relatief dure aangelegenheid.

Andere mogelijkheden tot pre – filtratie zijn hitte behandeling, pH regeling, toevoeging van complexvormers (EDTA etc.), adsorptie op actieve kool, ...In het geval van ultrafiltratie kan een microfiltratie als pre – filtratie worden gebruikt.

4.6.2 Membraaneigenschappen

Een verandering van de membraaneigenschappen kan vervuiling reduceren (Mulder, 1996). Vervuiling bij poreuze membranen is over het algemeen veel ernstiger dan bij dichte membranen (cf. Omgekeerde osmose). Verder kan een nauwkeurige verdeling van de poriëngrootte vervuiling reduceren. Een juiste keuze tussen een hydrofiel of hydrofoob membraan kan er eveneens voor zorgen dat vervuiling enigszins tegengegaan wordt. Het is zo dat proteïnen in het algemeen sterker adsorberen aan hydrofobe dan aan hydrofiele oppervlakken. Een juiste keuze van de ladingen op het membraan kan een factor zijn: zijn er veel positief geladen colloïden in het water aanwezig, dan zal, indien gebruik gemaakt wordt van een positief geladen membraan, minder vervuiling plaatsvinden dan bij een membraan dat negatieve ladingen draagt. Hetzelfde in het omgekeerde geval.

4.6.3 Reiniging

Op regelmatige tijdstippen een reiniging van het membraan doorvoeren is een belangrijk aspect binnen de membraanfiltratie. We kunnen 2 soorten reinigingen onderscheiden: een reiniging met permeaat, de zogenaamde backflush, en een chemische reiniging waarbij permeaat samen met een hoeveelheid chemicaliën in de module wordt gebracht.

Optimalisatie van een membraanfiltratieproces houdt onder andere het vooropstellen van de frequentie waarmee een membraan moet worden gereinigd in. Belangrijk is ook een juiste keuze van het reinigingsmiddel. Een afweging moet worden gemaakt tussen de efficiëntie van de reiniging en een maximale dosering zodat het membraan niet wordt aangetast. Dit wordt bemoeilijkt door het feit dat het debiet van de terugspoelpomp afhankelijk is van de vervuiling van het membraan (vervuiling van het membraan betekent een hogere resistentie zodat water moeilijker doorheen het membraan kan passeren met een debietdaling van de terugspoelpomp tot gevolg) en dus kan variëren. Aangezien de dosering van chemicaliën wordt afgesteld op basis van het debiet van de terugspoelpomp (voor de juiste verdunning van de chemicaliën) is een goede instelling van de dosering belangrijk. Een ander aspect is de afstelling van de tijd tussen twee opeenvolgende backflushen. Enerzijds betekent een langere productietijd een verhoging van de opbrengst aan permeaat, wat vanuit economisch standpunt gunstig is, anderzijds zal een langere productietijd resulteren in een hogere graad van vervuiling en een toename van de irreversibiliteit van de vervuiling. Ook belangrijk is een exacte instelling van het juiste aantal spoelingen (backflushen) met permeaat vooraleer een chemische reiniging wordt uitgevoerd. Dit wordt in het volgende hoofdstuk verduidelijkt.

Al deze factoren moeten proefondervindelijk worden vastgesteld en hangt van vele parameters af (samenstelling van het afvalwater, materialen waaruit het membraan is opgebouwd, etc.). Uiteraard zal dit voor alle installaties verschillend zijn.

4.6.4 Nagaan van vervuiling

De membranen zitten in een module ingekapseld en zijn niet zichtbaar. Vervuiling kan dus niet op het zicht worden afgeleid en zal op een andere manier moeten worden nagegaan. Dit kan op verschillende manieren gebeuren, deze worden afzonderlijk belicht:

Een eerste mogelijkheid is het bekijken van de transmembraandruk (TMP) bij constante flux. We krijgen het volgende verloop:

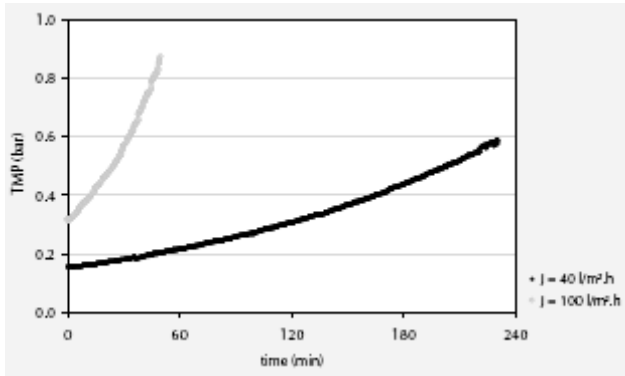


Fig. 15: Verloop van de transmembraandruk in functie van de tijd (Roorda, 2004).

Uit de grafiek kunnen we afleiden dat de TMP, bij een constante flux, zal toenemen met de tijd. Een verklaring voor dit fenomeen is relatief eenvoudig. Initieel zal met een bepaalde druk een bepaalde flux overeenstemmen. Het aangevoerde water, dat gecontamineerd is, zal het membraan vervuilen zodat minder water door het membraan kan passeren (fluxdaling). Willen we de flux echter constant houden, dan zal een grotere drijvende kracht nodig zijn, er zal een grotere druk moeten worden aangelegd. Een stijging van de TMP bij constante flux is dus een indicatie voor vervuiling.

Hiermee wordt reeds een tweede techniek aangegeven om vervuiling op te sporen: de flux zal dalen wanneer de vervuiling toeneemt:

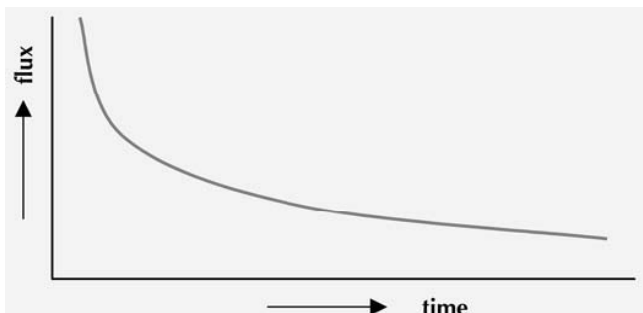


Fig. 16: Fluxverloop in functie van de tijd.

Een daling van de flux bij constante TMP betekent dus dat er vervuiling optreedt.

Een indicatie voor de vervuiling is dus gevonden. Er rest ons enkel nog het probleem om de mate waarin vervuiling is opgetreden te berekenen. Dit wordt mogelijk wanneer we een gemodificeerde vorm van de wet van Darcy toepassen, deze zegt:

$$J = \frac{TMP}{\eta \cdot R}$$

met J = flux ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)
 TMP = transmembraandruk (Pa)
 R = totale resistentie van het membraan (m^{-1})
 η = dynamische viscositeit (Pa.s)

Omvorming van deze formule laat ons toe de resistentie van het membraan te berekenen:

$$R = \frac{TMP}{\eta \cdot J}$$

De dynamische viscositeit, gerelateerd aan de temperatuur T ($^{\circ}\text{C}$) van het voedingswater, wordt als volgt berekend (Huisman, 1996):

$$\eta = \frac{0,497}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

4.6.5 Samendrukken van het membraan

Samendrukken van het membraan is de mechanische deformatie van polymeermembranen die kan optreden in drukgedreven filtraties (Mulder, 1996). De dichtheid van de poreuze structuur neemt toe met als gevolg een afname van de flux. Dit proces is over het algemeen irreversibel, de flux zal dus niet terugkeren naar zijn initiële waarde na een periode van rust. Indien een backflush geen effect meer zou hebben, dan hebben we mogelijks te maken met dit verschijnsel. Het komt er dus op aan de druk, indien mogelijk, zo laag mogelijk te houden.

5 Reiniging

5.1 Soorten

Reiniging van membranen gebeurt volgens verschillende mechanismen. Een aantal worden in dit hoofdstuk nader toegelicht.

5.1.1 Backflush, forwardflush en airflush

Na een zekere filtratietijd (productietijd) wordt het membraan gespoeld. Dit gebeurt door permeaat doorheen het membraan te sturen in een richting die tegengesteld is aan de richting bij filtratie. Hierdoor wordt een deel van de vervuiling die gedurende de filtratie tegen het membraan werd gedrukt terug losgemaakt en weggespoeld. Het is vanzelfsprekend dat hoe harder de vervuiling tegen het membraan wordt gedrukt, hoe moeilijker het is deze terug te verwijderen. Het komt er dus op neer om op geregelde tijdstippen een dergelijke reiniging uit te voeren om de reversibiliteit van de vervuiling te behouden. Indien de backflush efficiënt verloopt zou in theorie de flux bij een bepaalde TMP terug moeten gelijk zijn aan de initiële flux. Het verloop van de flux bij een efficiënte backflush wordt in volgende figuur weergegeven.

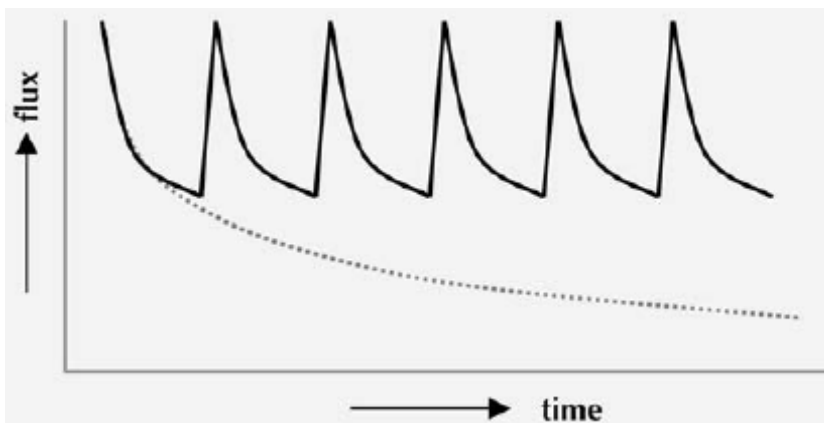


Fig. 17: Theoretische invloed van de backflush op het fluxverloop (Roorda, 2004).

In de figuur geeft de stippellijn het fluxverloop weer wanneer geen backflush wordt doorgevoerd, de volle lijn geeft het fluxverloop weer wanneer op regelmatige tijdstippen wordt gespoeld.

De toppen van de tanden zijn op één hoogte gelegen en geven dus aan dat de initiële flux na iedere backflush bekomen wordt.

In de praktijk komt dit verloop niet voor, de backflush zal niet in staat zijn telkens alle vervuiling weg te nemen. Een deel van de vervuiling blijft achter op het membraan. Dit zorgt voor een accumulatie en een verloop zoals weergegeven in figuur 18. Deze accumulatie is gemakkelijker weer te geven via de resistentie, in de figuur is dan ook de resistentie uitgezet in functie van de tijd.

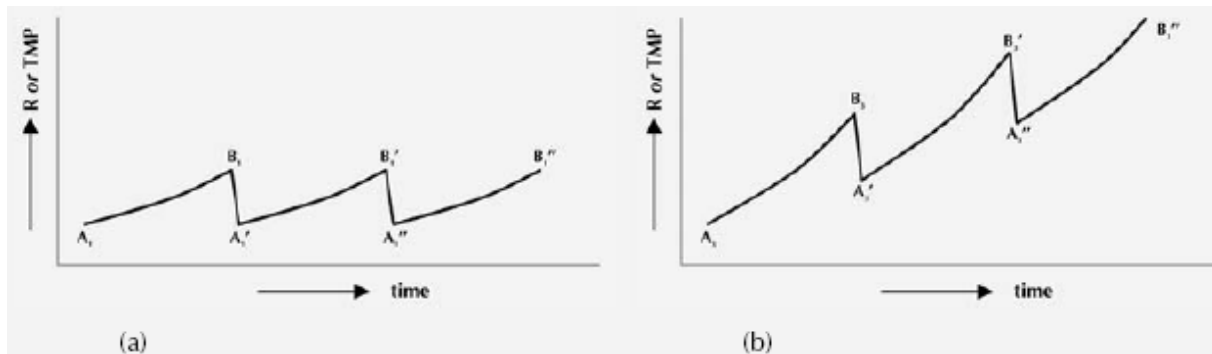


Fig. 18: Praktische invloed van een backflush op het resistentie/TMP - verloop (Roorda, 2004).

Fig. 18: lijn A naar B geeft de resistentiestijging weer gedurende filtratie, lijn B naar A' geeft de resistentiedaling weer gedurende de backflush. Fig. 18 (a) zet de resistentie uit in functie van de tijd in geval van een efficiënte backflush (theoretisch). Fig. 18 (b) geeft de resistentie weer in functie van de tijd zoals het in de praktijk zal voorkomen, m.a.w. niet alle vervuiling kan door de backflush worden verwijderd.

Door een backflush die niet voldoende efficiënt is zal een accumulatie optreden van de vervuiling. Accumulatie moet te allen tijde tegengegaan worden, er zal dus een bijkomende reiniging moeten worden uitgevoerd. Deze bijkomende reiniging kan door chemicaliën in de module te brengen. De chemicaliën zullen de aangebrachte contaminatie in de mate van het mogelijke oplossen en uit de module verwijderen. Een chemische reiniging gebeurt door in het water dat gebruikt wordt voor de backflush (het permeaat) een exact gedoseerde hoeveelheid chemicaliën te injecteren. Hiervoor wordt een doseerpomp aangesloten op de leiding die het water voor de backflush levert. Exacte dosering is noodzakelijk opdat het membraan geen schade zou oplopen, te hoge concentraties kunnen immers irreversibele veranderingen aan het membraan teweegbrengen. Na de dosering kan een zekere rusttijd worden ingevoerd gedurende dewelke de chemicaliën op de vervuiling kunnen inwerken.

In sommige gevallen wordt de backflush gecombineerd met een forwardflush. Een forwardflush zorgt ervoor dat voedingswater aan een hoog debiet langsheen de voedingszijde van het membraan wordt gestuurd; men gaat als het ware tijdelijk cross – flow condities creëren. Door het hoge debiet van het voedingswater worden deeltjes (contaminatie) losgerukt van het membraan en uit de module verwijderd langs de concentraatzijde. Deze forwardflush is eveneens vereist om de chemicaliën volledig uit de module te verwijderen zodat ze niet in het permeaat terechtkomen.

Mogelijks wordt de backflush gecombineerd met een airflush. Gedurende de airflush wordt lucht onder druk in de module geïnjecteerd (langs de voedingszijde van het membraan) door middel van een compressor. De lucht creëert turbulentie in de module zodat de vervuiling gemakkelijker loskomt van het membraan, en dus ook gemakkelijker kan worden verwijderd uit de module.

5.1.2 Chemische reiniging

Zoals hoger vermeld kan tijdens de backflush een chemische stof worden toegevoegd aan het terugspoelwater. Deze chemicaliën worden gebruikt om de chemische binding tussen vervuilende stof en membraan te breken. Het mechanisme volgens hetwelk dit gebeurt is meestal gebaseerd op een verhoging van de elektrostatische afstoting tussen contaminant en membraan door een drastische wijziging van de pH of door een oxidatie van de contaminant tot een meer hydrofiele verbinding (Kuzmenko *et al.*, 2005). De pH – wijziging wordt veelal teweeggebracht door additie van een basische verbinding (zoals bijvoorbeeld NaOH) aan het spoelwater, met een pH stijging (tot 12 à 13) tot gevolg. Dit veroorzaakt deprotonering van carboxyl – en fenolgroepen zodat er een negatieve lading op de contaminant achterblijft. In sommige gevallen zoals deze zich voordoen bij polysacchariden en proteïnen kan de introductie van NaOH ervoor zorgen dat de verbinding zelf uit elkaar valt (door hydrolyse). In dit geval heeft NaOH het ontstaan gegeven aan negatieve ladingen op verschillende plaatsen binnen de macromolecule zelf, resulterend in een elektrostatische afstoting *binnen* de molecule. In het algemeen echter zal hydrolyse optreden door het introduceren van sterke oxidantia (vrij chloor, waterstofperoxide) zodat verbindingen die ketonen, aldehyden en carboxylgroepen dragen kunnen worden geoxideerd.

Vermits reiniging van membranen geschiedt door het verbreken van chemische bindingen tussen membraan en contaminant is het duidelijk dat de efficiëntie van een reiniging afhangt van de concentratie van de chemicaliën en de tijd gedurende dewelke de chemicaliën kunnen inwerken.

Een verschijnsel waar aandacht aan moet worden besteed is dat hogere dosissen van het reinigingsmiddel leiden tot een verhoging van de flux in een eerste stap, maar dat deze eveneens leidt tot ergere vervuiling in volgende stappen (Kuzmenko *et al.*, 2005). Een tweede chemische reiniging zal dus na een korter tijdsinterval moeten worden uitgevoerd dan in de vorige stap (de productietijd zal dus korter zijn). Dit verschijnsel is te wijten aan de oxidatie van de eerste laag geadsorbeerd organisch materiaal op het membraanoppervlak, resulterend in de vorming van hydrofiele residu's die het inwendige oppervlak van de poriën bedekken. Water, vergezeld van vervuilende componenten, zal bijgevolg gemakkelijker worden doorgelaten. Deze componenten blijven achter op het membraan en veroorzaken samen met de initiëel aanwezige (van voor de reiniging, bijv. door concentratiepolarisatie) een snellere vervuiling van het membraan.

Een andere reinigingsmethode maakt gebruik van enzymen. Een enzym is een eiwit dat organische macromoleculen afbreekt en omzet in kleinere, in water oplosbare componenten. Dit zou resulteren in een hoog reinigingsvermogen door de diepgaande werking van de enzymen, een daling van het aantal reinigingsbeurten, arbeidsvriendelijkere werkomstandigheden (neutrale pH), langere levensduur van het membraan en een gunstige weerslag op het milieu. Een nadeel dat verbonden is aan het gebruik van deze producten is de grote specificiteit van een enzym voor een bepaald substraat, zodat dergelijke reinigingsmiddelen enkel gebruikt kunnen worden voor systemen waarbij de aard van de contaminant gekend is.

5.1.3 Andere methoden

Een aantal andere methoden zullen hier kort aangekaart worden. De efficiëntie van de reinigingen moet uiteraard met een kritisch oog bekeken worden.

Een eerste reinigingsmethode maakt gebruik van een trillen van het membraan. Het systeem wordt VSEP (Vibrating Shear Enhanced Process) genoemd. Het elimineert de afzetting van partikels op het membraanoppervlak door het membraan te laten trillen aan hoge frequentie (50 tot 55 Hz). Deze vibratie veroorzaakt het ontstaan van golven die zich sinusoïdaal voortplanten vanaf het membraanoppervlak. Contaminatie wordt afgeweerd door het membraan en worden naar beneden in de module gestuurd waar ze meer en meer worden geconcentreerd tot ze het systeem verlaten.

Elektrische reiniging is nog een andere methode (Mulder, 1996). Door het aanleggen van een elektrisch veld over het membraan zullen geladen partikels afhankelijk van hun lading migreren naar de positieve of negatieve pool. Deze reinigingsmethode kan doorgevoerd worden zonder een onderbreking van het filtratieproces. Het elektrisch veld wordt op geregelde tijdstippen aangelegd. Het nadeel van deze methode is de noodzaak aan een elektrisch geleidbaar membraan en een speciale inrichting met elektroden.

Een andere methode is gesteund op het gebruik van ultrasone geluidspulsen. De hoge energie van deze pulsen veroorzaakt het breken van bindingen tussen de geadsorbeerde partikeltjes en het membraanoppervlak.

5.1.4 Desinfectie

Tijdens de productie is het noodzakelijk dat het ontstaan van een bacteriële laag op het membraan tegengegaan wordt. Dit kan door het membraan op regelmatige tijdstippen te desinfecteren. Desinfectie kan geschieden d.m.v. NaOCl.

Chloor heeft een steriliserende werking. De doding van bacteriën door chlorering steunt op de oxidatie van mercaptogroepen van enzymen in bacteriën door atomaire zuurstof die wordt vrijgesteld uit waterstofhypochloriet: $\text{HClO} \rightarrow \text{HCl} + \text{O} \cdot$. HClO lijkt qua structuur op water, zodat het doorheen de celwand van de bacteriën kan migreren. Bij de chlorering komt het er dus op aan HClO in het water te brengen. Dit gebeurt d.m.v. NaOCl. Via een doseerpomp wordt dit in de waterleiding geïnjecteerd waarbij volgende reactie plaatsgrijpt: $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HClO} + \text{OH}^-$. Een nadeel van deze desinfectiemethode is de invloed van de pH, deze wordt in onderstaande figuur weergegeven (IRH Environnement & Roubaty, 2001).

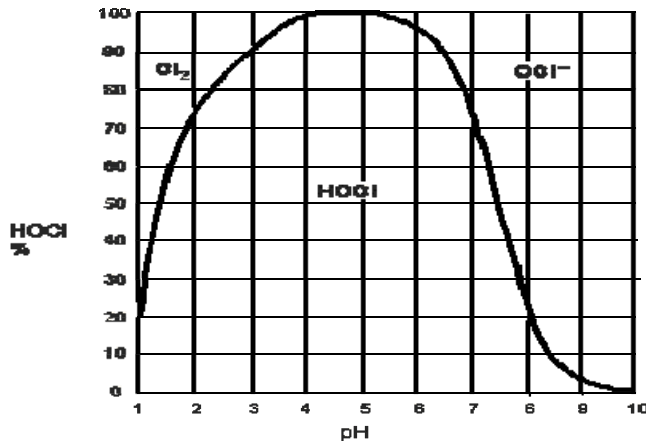


Fig. 19: pH i.f.v. HOCl – gehalte.

Uit de figuur kunnen we afleiden dat het gehalte aan hypochlorigzuur in een oplossing significant daalt vanaf een pH van 7, dit wegens volgende reactie:
 $\text{HOCl} + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{OCl}^- + \text{H}_2\text{O}$

Bij hogere pH – waarden dan 7 komt het hypochlorigzuur voornamelijk voor in geïoniseerde vorm; als OCl^- . De desinfecterende werking van hypochlorigzuur is 40 tot 80 keer groter dan deze van het hypochlorietion. Dit laatste kan als volgt verklaard worden: de celwand van ziekteverwekkende organismen is van nature negatief geladen en kan dus beter gepenetreerd worden door het elektrisch neutrale HOCl dan door het negatief geladen OCl^- (Lenntech Water – en Luchtbehandeling, z.j.).

Desinfectie gebeurt dus best bij neutrale of licht zure pH. De pH mag ook niet te laag zijn vermits bij lage pH chloorgas wordt gevormd volgens de reactie $\text{HOCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$. Chloorgas is een groengeel gas met een sterk prikkelende geur en is reeds in lage concentraties toxisch voor mens, plant en dier. Men zal er dus naar streven de desinfectie te laten gebeuren bij een lagere pH die toch nog voldoende hoog is om de vorming van chloorgas tegen te gaan (bijv. pH 5). Aanzuren van de oplossing is een mogelijkheid. Een bijkomend voordeel van de aanzuring is dat de vorming van hydroxideneerslagen wordt tegengegaan. Het is mogelijk dat in het permeaat bepaalde metalen aanwezig zijn die met hydroxide – ionen een neerslag vormen dat bij desinfectie achterblijft op het membraan en leidt tot verstoppingen.

Een tweede nadeel dat verbonden is aan het gebruik van vrij chloor als desinfectans is dat het rendement van desinfectie afhankelijk is van de samenstelling van het afvalwater. In dit opzicht is het belangrijk het principe van breekpuntchlorering aan te halen. Door de restverontreiniging in het afvalwater treden met chloor een aantal opeenvolgende reacties op (Carpentier *et al.*, 2004):

- de eerste hoeveelheid chloor die wordt toegevoegd reageert met de aanwezige organische stoffen en met ammonium;
- bij verhoogde dosering vormen zich gechloreerde organische verbindingen en chlooramines waardoor gebonden chloor ontstaat;
- verdere verhoging van de dosering leidt tot een vernietiging van de eerder gevormde stoffen zodat het gehalte aan gebonden chloor daalt;
- vanaf een bepaalde concentratie wordt vrij chloor gevormd (het breekpunt) en ontstaat een kiemdodend effect.

Het is belangrijk even op te merken dat desinfectie enkel duidt op de doding van micro – organismen; een efficiënte desinfectie gaat dus niet noodzakelijk gepaard

met de verwijdering (het oplossen) van organisch materiaal en een daarbij horende fluxstijging!

Opmerking: de verschillende vormen waarin chloor in het water aanwezig kan zijn (namelijk ClO^- , HClO en Cl_2) wordt vrij actief chloor genoemd (Carpentier *et al.*, 2004).

We kunnen dus besluiten dat de bepaling van een optimale chloordosering moeilijk is vermits het rendement van de desinfectie afhankelijk is van de samenstelling van het afvalwater, de pH en de temperatuur. Ook spelen de contacttijd en de aard van de organismen die men wil elimineren een rol. Verder moet bij de dosering in het membraan rekening gehouden worden met de maximale concentraties aan actief chloor waaraan het membraan mag worden blootgesteld.

Bepaalde micro – organismen zijn ingebed in een slijmlaagje bestaande uit extracellulaire polysacchariden. Dergelijke organismen zijn in staat te overleven in een ‘vrij actief – chloor omgeving’. Een desinfectie met NaOCl zal in dit geval niet resulteren in een tegengaan van het ontstaan van een biofilm. Een oplossing voor dit probleem bestaat erin bepaalde chemicaliën te combineren: men gaat gebruik maken van een mengsel van een alkalimiddel en een desinfectant. Het alkalimiddel zal ervoor zorgen dat de extracellulaire polysacchariden worden afgebroken zodat het micro – organisme nu wel gevoelig is voor het actieve chloor (Dudley L.Y. & Baker J.S., z.j.). Men moet hierbij wel opletten dat de pH niet te hoog wordt, anders zal de desinfectie inefficiënt verlopen!

5.2 Effect van een aantal reinigingsmiddelen

Zoals hoger vermeld is het praktisch onmogelijk het effect van een reiniging te voorspellen. Om ons hieromtrent toch een beeld te kunnen vormen wordt in dit deel het effect en de efficiëntie van een aantal reinigingsmiddelen op een membraan weergegeven. Deze gegevens zijn niet het resultaat van een zelf uitgevoerd experiment, maar zijn afkomstig van in de literatuur teruggevonden gegevens. De proefnemingen werden uitgevoerd door Kuzmenko *et al.* (2005). Opgelet, dit deel handelt enkel over organische contaminatie!

5.2.1 Materialen

In het teruggevonden artikel wordt het effect onderzocht van een aantal reinigingsmiddelen op een PES (polyethersulfon) membraan. Deze gegevens zijn van toepassing vermits de proefnemingen in de thesis gebeuren met een PES - membraan.

Het is nuttig een aantal gegevens kort te vermelden omtrent de uitvoering van de proef.

Drukken in een range van 0,1 tot 2 bar worden aangelegd. Een asymmetrisch UF vlakke plaatmembraan vervaardigd uit PES wordt gebruikt.

De te filtreren oplossing bevat het eiwit BSA (bovine serum albumine), opgelost in gedemineraliseerd water.

Reiniging van de membranen wordt doorgevoerd met gedemineraliseerd water, met 100, 500, 1000 en 3000 ppm NaOH oplossingen, met 100, 1000, 3000 en 5000 ppm vrij chlooroplossingen en met 100, 1000 en 3000 ppm waterstofperoxideoplossingen. De vrij chlooroplossingen worden verkregen door commercieel verkrijgbaar NaOCl.

5.2.2 pH

Om de werking van bepaalde reinigingsmiddelen te kunnen begrijpen moeten we eerst de invloed van de pH op de filtratie bespreken. De pH heeft een invloed op de lading van het membraan en van de aanwezige organische contaminanten zoals blijkt uit fig. 20.

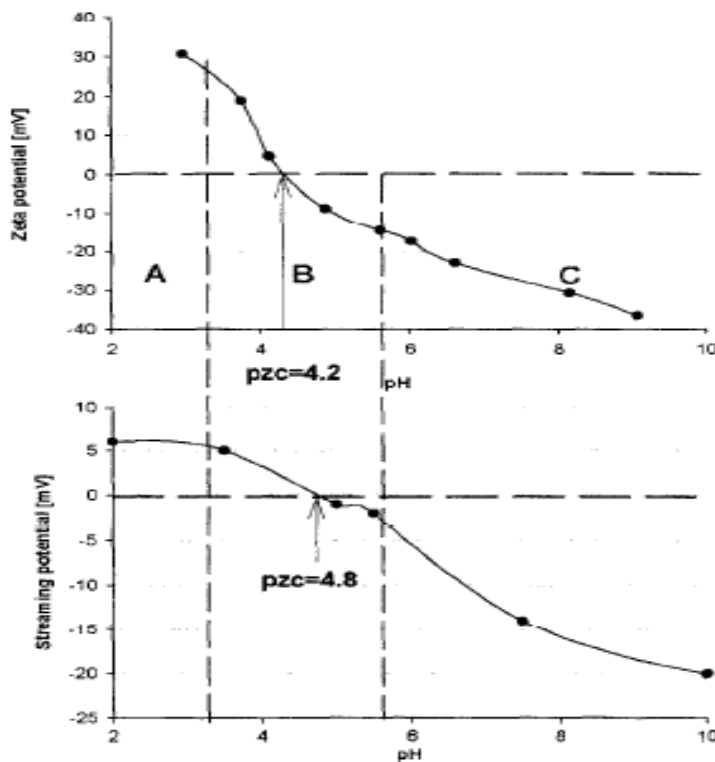


Fig. 20: De bovenste figuur geeft de potentiaal van BSA (zeta potentiaal) weer in functie van de pH, de onderste figuur geeft de potentiaal van het membraanoppervlak (streaming potentiaal) weer in functie van de pH (Kuzmenko *et al.*, 2005).

Uit de fig. 20 kunnen we afleiden dat BSA geen lading heeft bij een pH van 4,2. Op basis hiervan wordt de curve ingedeeld in drie regio's A, B en C. In regio A draagt het BSA een positieve lading, regio B geeft het gebied aan waarbij BSA elektrisch neutraal is en in regio C draagt BSA een negatieve lading. Eenzelfde indeling kunnen we terugvinden voor de membraancurve met het enige verschil dat de pH, waarvoor het membraan elektrisch neutraal is, 4,8 bedraagt.

Om de invloed van de pH op de flux na te gaan wordt de flux gemeten bij verschillende pH's (2,9; 5,3; 7,4 en 10,1). pH 2,9 correspondeert met regio A zodat membraan en BSA beide een positieve lading dragen; pH 5,3 correspondeert met regio B zodat membraan en BSA beide praktisch elektrisch neutraal zijn en pH 7,4 en 10,1 corresponderen met regio C zodat membraan en BSA beide negatief geladen zijn. Nu blijkt dat de hogere pH waarden overeenkomen met een kleinere daling van de flux (fig. 21). De elektrostatische afstoting tussen het membraan en BSA zorgt

ervoor dat het BSA op een afstand blijft. Dit effect is meer uitgesproken bij hogere pH waarden omdat de negatieve lading op beide verbindingen in dat geval ook groter is, resulterend in een sterkere afstoting. Bij een lage pH is de positieve lading op het membraan te klein om te resulteren in een efficiënte afstoting zodat de flux ook hier sneller zal dalen dan bij hoge pH.

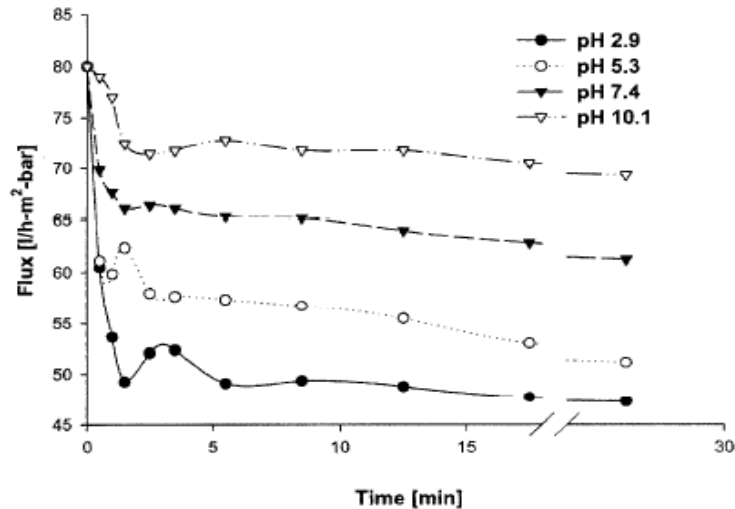


Fig. 21: Weergave van de fluxverandering bij verschillende pH – waarden: de flux is lager gelegen bij lagere pH – waarden (Kuzmenko *et al.*, 2005).

Een andere belangrijke factor is de aanwezigheid van elektrolyten (zoals KCl). Een hoge elektrolytconcentratie zorgt ervoor dat de ladingen op membraan en BSA worden afgeschermd zodat de elektrostatische afstoting wordt afgezwakt (en dus resulterend in een fluxdaling).

5.2.3 Fluxherstel na chemische reiniging

Beschouw fig. 22.

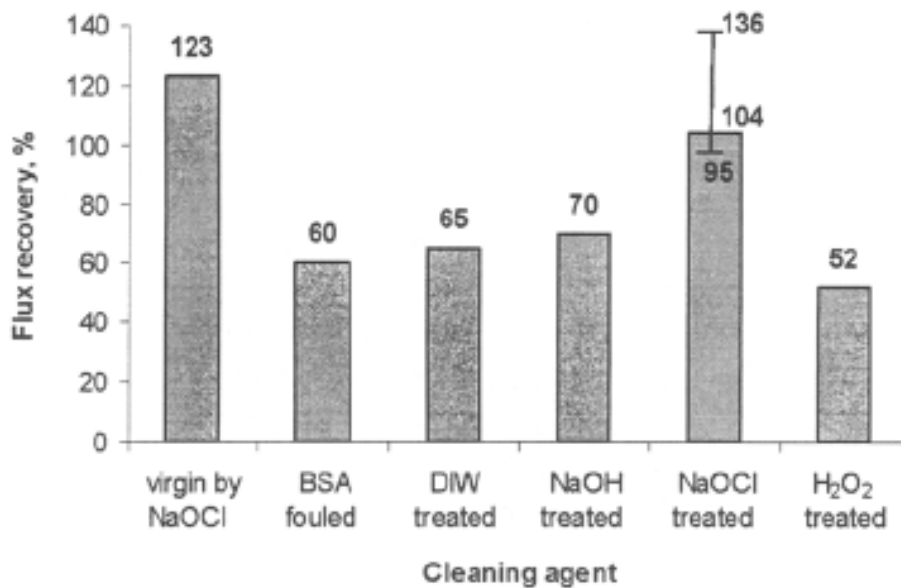


Fig. 22: Herstel van de permeabiliteit van het membraan na reiniging met verschillende chemicaliën (Kuzmenko *et al.*, 2005).

De eerste balk geeft de initiële permeabiliteit van het membraan weer. De tweede balk geeft de permeabiliteit weer na filtratie van een BSA oplossing. Vervolgens worden een aantal reinigingen doorgevoerd met respectievelijk gedemineraliseerd water, NaOH, NaOCl en H₂O₂.

Nu blijkt NaOCl het meest efficiënte reinigingsmiddel te zijn. Het zorgt voor een lichte wijziging van de pH en het oxideert het BSA. H₂O₂ resulteerde in een verdere daling van de flux. De mogelijkheid bestaat dat waterstofperoxide het ontstaan geeft aan een gellaag op het membraanoppervlak. NaOH heeft weinig effect op het verwijderen van de contaminatie (in het geval van BSA, dit is niet te veralgemenen), het zorgt wel voor een verhoogde flux tijdens de filtratie zelf. NaOH is dus niet in staat het BSA dat reeds gebonden is aan het membraan te verwijderen, maar is wel in staat het BSA af te weren van het membraan tijdens de filtratie door het creëren van een negatieve lading op membraan en BSA.

Een concentratieverhoging van het reinigingsmiddel zorgt, zoals hoger vermeld, voor een sterkere vervuiling in een volgende cyclus. Dit wordt aangetoond in fig. 23.

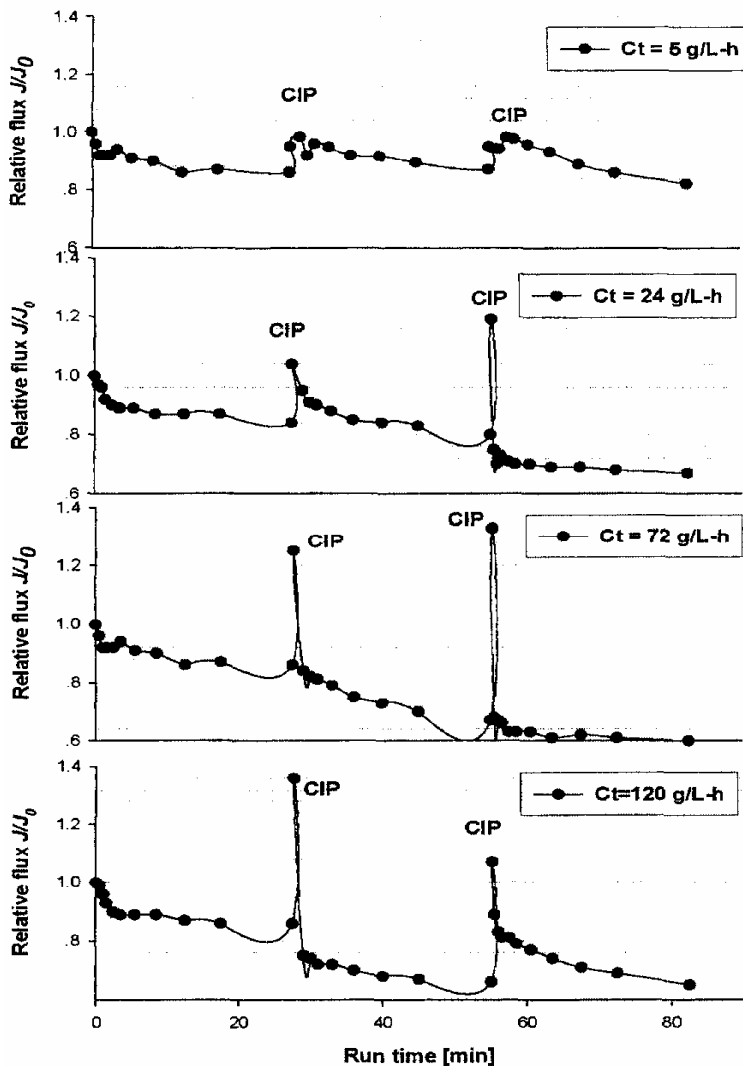


Fig. 23: Grotere concentraties aan reinigingsmiddel resulteren in een grotere fluxdaling in een volgende cyclus (verhoging van de resistentie) (Kuzmenko *et al.*, 2005).

Deze experimenten worden aangehaald in deze thesis omdat ze een idee geven over het mechanisme volgens dewelke een chemische reiniging gebeurt. Dit leidt tot betere inzichten omtrent de keuze van een bepaald reinigingsmiddel en kan een verklaring geven voor mogelijke onregelmatigheden in grafieken. Ze geven eveneens een verklaring voor het feit dat de resistentie stijgt na een chemische reiniging wat op het eerste zicht niet vanzelfsprekend is. Door een verlaging van de concentratie aan reinigingsmiddel daalt de resistentie mogelijks. Het is uiteraard niet de bedoeling deze gegevens te gaan veralgemenen voor alle organische verbindingen!

5.3 Tweefasige reinigingen

Onder tweefasige reiniging verstaan we een basische reiniging gevolgd door een zure reiniging. De volgorde basisch - zuur is een bewuste keuze en heeft te maken met het feit dat eiwitten denatureren in zuur milieu. Hierbij gaan ze over van een goed oplosbare vorm naar een slecht oplosbare vorm waardoor ze moeilijker te verwijderen zijn. In basisch milieu worden de eiwitten afgebroken tot een vorm waaronder ze oplosbaar blijven.

5.4 Praktijk

In de praktijk zal men dus in de eerste plaats op zoek gaan naar een optimale productietijd, dit zal een compromis zijn tussen opbrengst aan permeaat en vervuiling van het membraan. Daarna zal het aantal cycli (één cyclus= filtratie + backflush) alvorens een chemische reiniging door te voeren vastgelegd worden. Verder zal er proefondervindelijk een keuze gemaakt moeten worden tussen de verschillende reinigingsmiddelen die op de markt zijn. Een keuze kan gemaakt worden uit volgende chemicaliën:

- zuren (sterke of zwakke) worden gebruikt om calciumzouten en metaaloxides op te lossen;
- alkali worden gebruikt om anorganische colloïden en vele organische vervuiling te verwijderen;
- enzymen voor het knippen van bepaalde contaminanten;
- complexvormers voor de verwijdering van metaalkationen uit de oplossing;
- desinfectiemiddelen worden gebruikt voor de oxidatie van organisch materiaal en bacteriën;
- stoom – en gassterilisatie.

In de praktijk zal een installatie veelal drie verschillende chemicaliën gebruiken voor de reiniging van de membranen. Dit zal een zuur (bijv. citroenzuur), een base (bijv. NaOH) en een desinfectiemiddel (bijv. NaOCl) zijn. Deze worden afzonderlijk gedoseerd.

6 Toepassing: membraanbioreactoren

6.1 Doel

Bij de aërobe afvalwaterzuivering is het globale zuiveringsrendement sterk afhankelijk van het afscheidend vermogen tussen het actief slib en het behandelde water (Lambert, 2004). Slechte afscheiding leidt tot een effluent dat sterk beladen is met zwevende stoffen, dat op zijn beurt aanleiding geeft tot verhoogde parameters zoals COD, BOD, stikstof en totale fosfor.

De scheiding tussen slib en behandeld water kan op verschillende manieren gebeuren gaande van gravitaire bezinking (in een nabezinktank) en geforceerde flotatie tot het fixeren van slib op een dragermateriaal (vast bed reactoren). Het rendement van deze technieken is afhankelijk van de slibkwaliteit en dus variabel. Een ander nadeel is dat in het effluent van een actief – slibstelsel nog steeds zwevende stoffen aanwezig zijn. Bovendien is het zo dat er in een actief – slib systeem geen verwijdering is van bacteriën en virussen, wat hergebruik voor bepaalde toepassingen limiteert.

De doelstelling van een MBR (membraanbioreactor) is de voordelen van een actief – slibstelsel en een membraanfiltratie combineren: de biologische zuivering zorgt voor de afbraak van organische componenten terwijl het membraanfiltratie proces zorgt voor een effluent dat vrij is van zwevende stoffen, bacteriën en virussen.

6.2 Configuratie

De membraanbioreactor bestaat uit een biologische reactor en een membraaneenheid. Deze laatste kan in de biologie of droog opgesteld worden, zoals aangegeven in onderstaande figuur (Lambert, 2004).

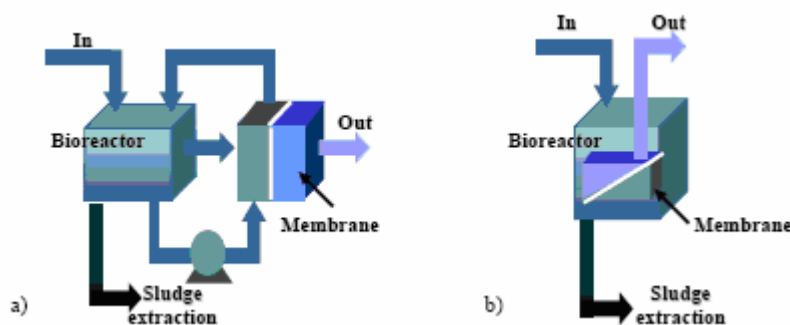


Fig. 24: MBR configuratie.

Bij de meeste MBR – toepassingen zijn de membranen ondergedompeld in het actief slibbekken. Een belangrijk nadeel is dat de toegankelijkheid van de membranen beperkt is, een voordeel echter is een verlaagd energieverbruik: een onderdruk op het membraan zorgt ervoor dat het filtraat door het membraan gezogen wordt.

Bij andere toepassingen wordt het membraan droog opgesteld en wordt het actief slib naar de membraaneenheid gepompt en teruggestuurd. De membranen zijn goed toegankelijk en laten een agressieve reiniging toe.

6.3 Praktisch

Het is bewezen dat deze techniek een zeer hoogwaardig biologisch effluent produceert dat per definitie vrij is van zwevende stoffen, bacteriën en virussen. Het is daarom zeer geschikt in toepassingen waarbij bijvoorbeeld het hergebruik als spoelwater een doelstelling is. Er zijn echter een aantal redenen waarom de techniek nog niet zo ver staat. Deze worden hieronder aangehaald.

6.3.1 *De referentiestaat en procestecnologische vraagtekens*

Voor communaal afvalwater schuilt hier niet direct een probleem vermits de samenstelling van dit afvalwater nagenoeg constant is. Eens een systeem volledig op punt is gesteld is het mogelijk deze configuratie te gaan hergebruiken voor andere installaties voor de verwerking van communaal afvalwater. 'Copy/paste is hier dus mogelijk!

In de industriële markt ligt dit enigszins anders, elke industriële toepassing moet voorafgegaan worden van een uitgebreide testfase om na te gaan of de MBR – technologie geschikt is voor de behandeling van dat specifieke afvalwater. Hoger werd reeds vermeld dat de verschillende parameters die bij een membraanfiltratie moeten worden ingesteld (met name productietijd, chemicaliën, spoeltijd, etc.) voornamelijk proefondervindelijk worden achterhaald. Bovendien is niet altijd duidelijk welk type membraan de beste resultaten oplevert voor een bepaald productieproces. Hiervoor moet een zekere testperiode worden voorzien. Dit verhoogt de drempel voor de overstap naar de MBR techniek en dus ook de verdere opmars van de technologie.

6.3.2 *Economische aspecten*

De investeringskosten voor een MBR liggen ongeveer tien tot twintig procent hoger dan voor een andere aërobe techniek. De grootste kostenfactor is de werkingskost, met in het bijzonder het energieverbruik en de kosten die gepaard gaan met het vervangen van de membranen.

Deel II

Toestel & Methoden

1 Toestelbeschrijving

In dit hoofdstuk worden de zandfilter (die dienst doet als pre – filtratie) en de gebruikte modules beschreven. Er dient opgemerkt te worden dat proefnemingen worden uitgevoerd op twee membranen. Deze proefnemingen verlopen echter niet gelijktijdig: gedurende een eerste periode wordt gebruik gemaakt van een STORK membraan, gedurende een daarop volgende, tweede periode, wordt gebruik gemaakt van een INGE AG membraan.

1.1 De zandfilter

Wanneer zich problemen voordoen met de biologie kan de kwaliteit van het effluent sterk variëren. Op deze momenten wordt het membraan te sterk belast zodat de poriën te snel verstopten. Door een zandfilter in te schakelen als pre – filtratie wordt deze belasting gereduceerd.

De gebruikte zandfilter is een toestel dat wordt toegepast voor de verwijdering van partikeltjes uit zwembadwater. Hij is weergegeven in onderstaande figuur.



Fig. 25: Zandfilter met bijhorende sturing.

Het vervuilde water treedt via de bovenste opening in de zandfilter en wordt over het zand uitgesproeid. Het beweegt doorheen de filter naar beneden waarbij partikeltjes door het zand worden tegengehouden. Na een zekere tijd zal de ophoping van partikeltjes op het zand een verhoogde weerstand bieden aan het doorsijpelende water. Op dat moment moet de filter worden gereinigd. Reiniging gebeurt automatisch wanneer een zekere (instelbare) druk wordt bereikt. Hierbij wordt water tegenstroom door het zand gestuurd (van onder naar boven) zodat het vastgezette vuil van de zandkorrels wordt verwijderd.

1.2 Eerste membraan (STORK)

1.2.1 Specificaties

Voor de proefnemingen wordt gebruik gemaakt van een asymmetrisch capillair membraan van het merk STORK, type E 015-030. Het membraan is gesynthetiseerd uit het polymeer polyethersulfon (PES) dat ook een hoeveelheid polyvinylpyrrolidine (PVP) bevat. De gemiddelde poriëngrootte bedraagt 30 nm, de diameter van de capillairen is 1,5 mm. Het actieve membraanoppervlak bedraagt 2,1 m². Een doorsnede van het gebruikte membraan is weergegeven in onderstaande figuur.



Fig. 26: Doorsnede van het gebruikte membraan.

De technische fiche van het membraan is terug te vinden in bijlage 3.

1.2.2 Reinigingsmiddelen

Om vervuiling tegen te gaan is het noodzakelijk dat het membraan op regelmatige tijdstippen wordt gereinigd. De hiervoor gebruikte chemicaliën mogen het membraan niet aantasten en moeten daarom beneden bepaalde maximale concentraties in de module worden gebracht. De chemicaliën die mogen gebruikt worden voor de reiniging worden samen met hun maximale concentraties weergegeven in een technische fiche die bij het membraan wordt gevoegd. Tabel 3 geeft deze gegevens weer voor het gebruikte membraan.

| Product | Concentratie |
|-------------------|--------------|
| Vrij chloor | 250 ppm |
| Waterstofperoxide | 500 ppm |
| Natriumhydroxide | pH 13 max |
| Salpeterzuur | pH 1 min |
| Fosforzuur | pH 1 min |
| EDTA | pH 13 max |
| Citroenzuur | Niet vermeld |
| Enzymen | Niet vermeld |

Tabel 3: De chemicaliën, overeenkomstig hun maximale concentraties, die mogen gebruikt worden bij de reiniging van het STORK membraan.

Indien het toestel voor langere tijd wordt uitgeschakeld is het aan te raden het membraan te desinfecteren opdat de aanmaak van een biofilm wordt verhinderd. Door desinfectie worden de op het membraan aangebrachte bacteriën gedood. Wij gebruiken hiervoor javel (<5% actief chloorgehalte, commercieel verkrijgbaar), zodanig gedoseerd dat de concentratie aan actief chloor in de module ongeveer 200 ppm bedraagt. Dit laten we vervolgens 30 minuten inweken waarna de javel wordt uitgespoeld.

1.2.3 Werking

De module (het membraan) is verticaal geplaatst en heeft vier uitgangen: onderaan komt de voeding binnen, bovenaan stroomt concentraat uit, via de bovenste zijuitgang stroomt permeaat naar buiten en de onderste zijuitgang levert het water voor de backflush. Onderstaande figuur geeft dit weer.

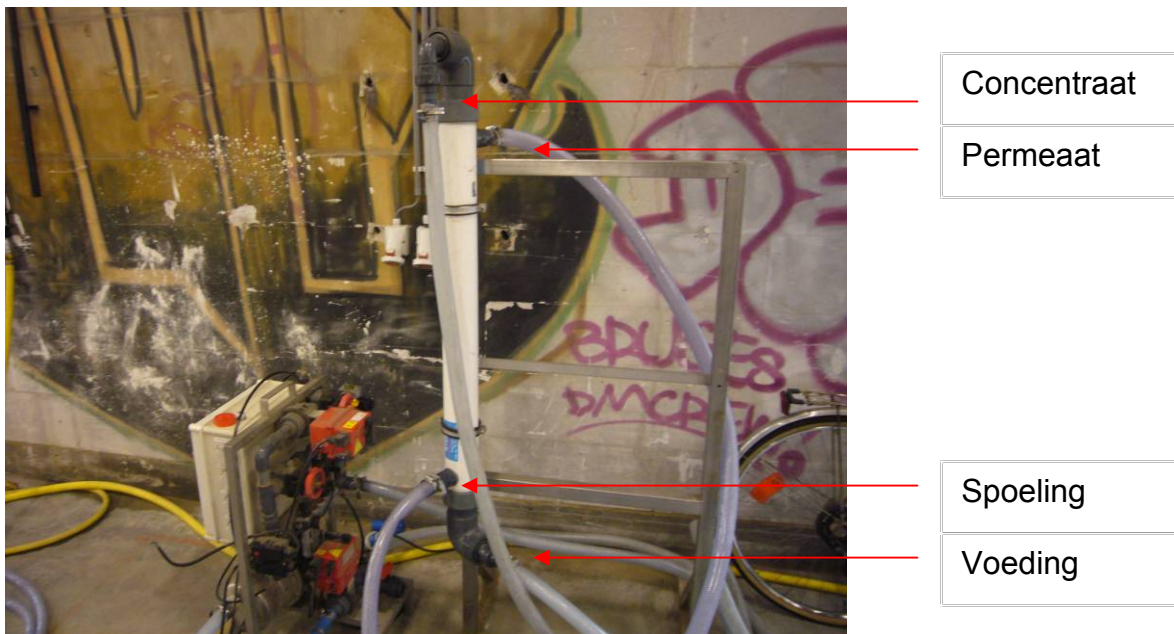


Fig. 27: Opstelling van het STORK membraan.

De pilootinstallatie wordt PLC – gestuurd door LOGO!, ontworpen door Siemens. Het is mogelijk volgende parameters in te stellen:

- Productietijd
- Backflushtijd
- Luchtspoeltijd
- Inweektijd
- Opstartvertraging voedingspomp na inweken
- Vertraging luchtspoelenheid bij een luchtspoeling
- Luchtspoelteller
- Reinigingsteller

Veranderingen kunnen worden aangebracht aan het programma. Hiervoor wordt de besturingsmodule (LOGO!) aangesloten op een PC die de software bevat die bij

LOGO! hoort. Wijzigingen worden geprogrammeerd via deze software waarna het hernieuwde programma wordt gedownload naar de besturingsmodule.

1.3 Tweede membraan (INGE AG)

1.3.1 Specificaties

Het membraan is een holle vezelmembraan van het merk INGE AG, type Dizzer 220. Het is gesynthetiseerd uit het polymeer PESM (polyethersulfon, modified). Per vezel zijn 7 capillairen aangebracht met een diameter van 0,9 mm (wat groter is dan gewoonlijk voor holle vezelmembranen). De poriëngrootte is gemiddeld 20 nm. Het actieve membraanoppervlak bedraagt 2,2 m². Een doorsnede van dit membraan is weergegeven in onderstaande figuur.



Fig. 28: De linkse figuur geeft de doorsnede van het INGE AG membraan, de rechtse figuur geeft één enkele vezel uitvergoot weer.

Eerder werd reeds aangegeven (Literatuurstudie, hoofdstuk 3) dat men bij de ontwikkeling van membranen polymeren gaat mixen met de bedoeling een membraan te creëren dat de positieve eigenschappen draagt van de afzonderlijke polymeren (weerstand tegen extreme pH – waarden, thermische stabiliteit, hydrofiel karakter, etc.). Om deze reden wordt bij de ontwikkeling van het gebruikte membaan (type dizzer 220 van INGE AG) PES gemodificeerd door dit polymeer te mixen met andere, meer hydrofiële polymeren. In de handleiding werd echter niet weergegeven welke deze hydrofiële polymeren zijn.

Bij dit type module wordt gebruik gemaakt van ‘Multibore®’ membranen, ontwikkeld door INGE AG. Dit houdt in dat 7 capillairen, elk met een diameter van 0,9 mm gecombineerd worden in één enkele vezel (fig. 28), resulterend in een grotere mechanische weerstand. Op die manier wordt het risico op scheuren, welke kunnen ontstaan door drukveranderingen die optreden bij overgang van de filtratie – naar backflushmodus of door ‘waterhamers’ ten gevolge van de werking van kraantjes, verkleint.

De technische fiche van het membraan is terug te vinden in bijlage.

1.3.2 Reinigingsmiddelen

De reinigingsmiddelen die mogen aangewend worden, en de daarbij horende maximale concentraties zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

| Product | Concentratie/pH |
|-------------------|-----------------|
| Vrij chloor | 200 ppm |
| Waterstofperoxide | 500 ppm |
| Natriumhydroxide | pH 13 max |
| Zoutzuur | pH 1 min |
| Zwavelzuur | pH 1 min |
| Citroenzuur | pH 1 min |

Tabel 4: De chemicaliën, overeenkomstig hun maximale concentraties, die mogen gebruikt worden bij de reiniging van het INGE AG membraan.

1.3.3 Werking

De module (het membraan) is verticaal geplaatst en heeft drie uitgangen: onderaan komt de voeding binnen, bovenaan stroomt concentraat uit en via de zijuitgang stroomt permeaat naar buiten. Het is ook via deze laatste uitgang dat de spoeling gebeurt; m.a.w. via deze uitgang wordt permeaat in tegengestelde zin (van buiten naar binnen) in de module gebracht. Dit is mogelijk door het plaatsen van een T – stuk. De opstelling is weergegeven in onderstaande figuur.

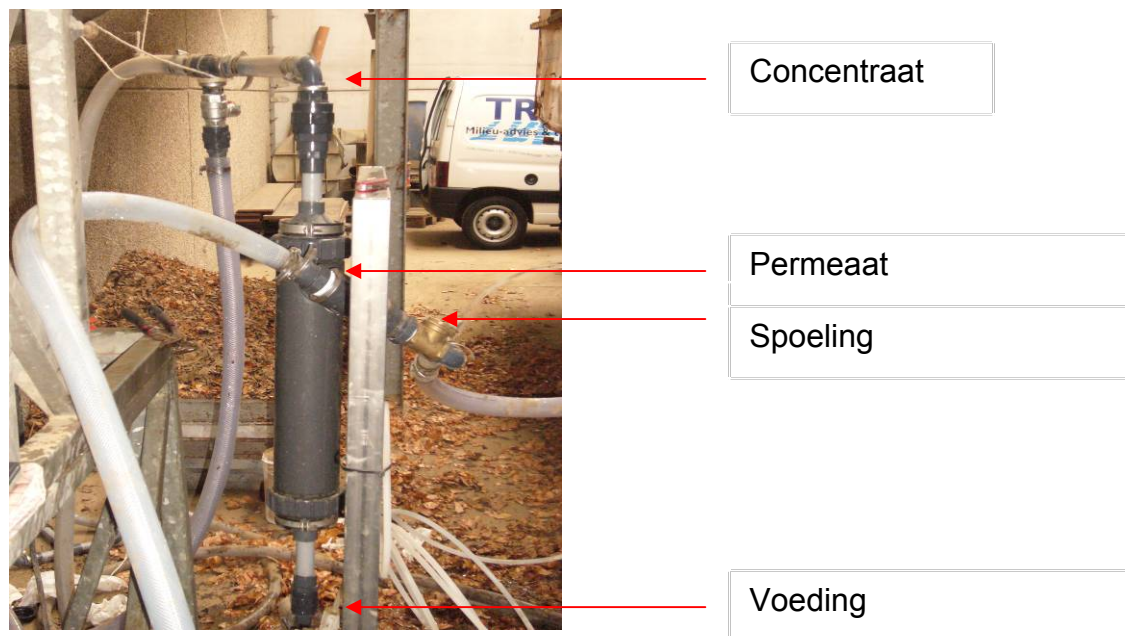


Fig. 29: Opstelling van het INGE AG membraan.

Verder moeten we nog opmerken dat het filtratieproces gestuurd wordt door hetzelfde programma als hetgeen gebruikt werd voor de sturing van het eerste membraan (LOGO!), dezelfde parameters kunnen dus worden ingesteld.

Opmerking: De airflush kan niet worden gebruikt bij dit membraan.

1.4 Modi

Het zuiveringsproces bestaat uit een opeenvolging van cycli. Elke cyclus bestaat uit een periode van productie gevolgd door een backflush (eventueel aangevuld met een airflush). Na een aantal cycli wordt een chemische reiniging doorgevoerd.

De hiernavolgende tekst is opgesteld aan de hand van het STORK - schema. Deze figuur kan worden teruggevonden in bijlage 3.

Tijdens productie vindt de eigenlijke zuivering plaats. Voeding wordt aanvankelijk onttrokken aan de effluenttank van de biologie en later aan de filtraattank van de zandfilter d.m.v. de voedingspomp P1. De gevraagde voedingsdruk kan worden ingesteld d.m.v. de handbediende klep HV 1.

Tijdens de productie is de concentraatklep AV 1 (automatisch bediend) gesloten, resulterend in een dead – end filtratie. De gewenste productietijd kan worden ingesteld in LOGO!.

Wanneer de ingestelde productietijd ten einde is zal automatisch een backflush doorgevoerd worden. Deze wordt gedreven door dompelpomp P2. De permeaatklep AV2 wordt gesloten en de concentraatklep AV 1 wordt geopend. Tijdens de backflush zal de forward flushklep AV 3 geopend worden, zodat voeding aan een hoog debiet langs het membraan gestuurd wordt. Dit debiet kan handmatig ingesteld worden dmv een kraantje HV 2. De bedoeling van deze forward flush is om een zo goed mogelijke spoeling van het membraan te verkrijgen: losgemaakte deeltjes en eventueel chemicaliën worden met de voeding meegesleurd.

Tijdens de backflush is het mogelijk lucht onder hoge druk in de module te brengen d.m.v. een compressor. De bedoeling van de airflush is turbulentie creëren in de module zodat de contaminatie gemakkelijker loskomt van het membraan. De tijd gedurende dewelke lucht in het membraan wordt gestuurd kan worden ingesteld.

Opmerking: De airflush is enkel van toepassing op het STORK membraan en kan niet gebruikt worden voor het INGE AG membraan!

Na een aantal cycli (productie en backflush) wordt een chemische reiniging doorgevoerd. Dit is in feite een backflush met een chemisch product opdat een meer efficiënte reiniging zou worden verkregen. Het aantal cycli alvorens deze reiniging wordt doorgevoerd wordt bijgehouden door een teller.

Tijdens de chemische reiniging wordt een exact gedoseerde hoeveelheid reinigingsmiddel samen met de permeaatstroom in de module gebracht. De dosering gebeurt door middel van een doseerpomp.

Tijdens de chemische backflush wordt de voedingspomp P1 stilgelegd. Op het einde van de backflushtijd (doseertijd) wordt de doseerpomp stilgelegd en wordt de concentraatklep AV 1 gesloten waarna het inweken begint. De gewenste inweektijd kan worden ingesteld.

Op het einde van de inweektijd worden de chemicaliën uit de module gespoeld door een backflush (gecombineerd met een forwardflush).

2 Verbeteringen aan het toestel

In het toestel en het programma zitten een aantal fouten die een continue werking en een goede interpretatie van resultaten bemoeilijken. Om deze reden worden een aantal aanpassingen gemaakt aan het programma en de installatie om een betere werking te garanderen.

2.1 Veiligheid op de voedingspomp

Bij het ontwerp van een membraanfiltratie toestel mag er niet vanuit gegaan worden dat er op elk ogenblik voldoende voeding (effluent van het actief slib systeem) voorhanden is. Gedurende bepaalde periodes van het jaar zal de industriële activiteit van het bedrijf kleiner zijn zodat ook minder afvalwater wordt geproduceerd. In dergelijke gevallen is het noodzakelijk dat het toestel voorzien is van een beveiliging die verhindert dat de aanzuigpomp werkzaam blijft wanneer geen voeding meer voorhanden is. Was deze er niet, dan zou de pomp lucht aanzuigen en verbranden. Uit de eerste testen blijkt al snel dat de beveiliging op het toestel defect is: de voedingspomp slaat voortdurend af, niettemin er voldoende voeding voorhanden is. Het toestel is als dusdanig niet bruikbaar voor een continue werking, daarom zoeken we een alternatief: we gebruiken een vlottersysteem. In de tank, van waaruit de voeding geleverd wordt, wordt een vlotter, waarin een contact aanwezig is, geplaatst. Drijft de vlotter op het water, dan is dit contact onderbroken (er wordt geen stopsignaal doorgegeven naar het programma) en het filtratieproces gaat door; hangt de vlotter vrij, met andere woorden is het waterniveau te laag, dan wordt wel een contact gemaakt in de vlotter (nu wordt wel een signaal doorgegeven naar het programma) dat de voedingspomp stopzet: er wordt geen voeding meer naar de module gestuurd en er zal geen forward flush meer plaatsvinden.

Met oog op een permanente installatie is het echter gewenst dat de volledige installatie wordt uitgeschakeld en niet enkel de voedingspomp. In het laatste geval blijven de chronometers en tellers verder lopen zodat spoelingen en chemische reinigingen gewoon doorgaan. Voor een gewone backflush is dit niet direct een probleem, maar voor een chemische reiniging, waarbij chemicaliën in de module worden geïntroduceerd, ontstaan wel problemen: de chemicaliën zullen niet uit de module verwijderd worden, er is immers geen forward flush werkzaam. Zonder de forward flush is het debiet van de spoelingen te klein om de chemicaliën uit de module te verwijderen. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat zij terechtkomen in het permeaat of dat ze zich ophopen in de module zodat de maximaal toelaatbare concentraties na een tijdje worden overschreden. Voor de pilootinstallatie is er niet direct een risico op droogdraaien aangezien de volumes die onttrokken worden aan de effluenttank niet in die mate groot zijn dat ze een leegtrekken van de tank zouden kunnen veroorzaken, niettemin is dit toch een aandachtspunt.

2.2 Manometer

Om exacte metingen uit te voeren is het noodzakelijk dat de TMP exact kan worden afgelezen zodat afleesfouten worden gereduceerd.

Op het toestel is een manometer aangebracht waarop we de TMP kunnen aflezen. De kleinste schaalverdeling van de manometer is 0,20 bar. Dit is veel te groot om exact te kunnen aflezen tot op een honderdste na de komma. Om deze reden wordt op het toestel een nieuwe manometer geplaatst met als kleinste schaalverdeling 0,02 bar.

2.3 Staalname kraantje

Eén staalname kraantje wordt geïnstalleerd aan de concentraatzijde van de module, een tweede wordt geïnstalleerd op de backflushleiding, net na het injectiepunt van de chemicaliën. Deze aanpassing laat ons toe te controleren of het chemisch product de volledige module heeft bereikt: door stalen te nemen aan beide kraantjes en deze te analyseren kunnen we te weten komen of het reinigingsmiddel al dan niet de volledige module heeft bereikt.

2.4 Vertraging op de permeaatklep

Bij de overgang van productie naar backflush opent de concentraatklep en sluit de permeaatklep. Deze kleppen zijn echter niet van hetzelfde type, de permeaatklep opent/sluit zich sneller dan de concentraatklep. Dit verschil zorgt voor problemen bij de overgang van productie naar backflush. Het is namelijk zo dat de permeaatklep zich bij deze overgang sneller sluit dan dat de concentraatklep zich opent. Dit brengt met zich mee dat beide kleppen op een bepaald ogenblik gesloten zijn. Doordat de terugspoelpomp permeaat in de module brengt, dat nergens naar buiten kan treden wanneer de beide kleppen gesloten zijn, krijgen we een kortstondige drukopbouw in de module; deze kan het membraan beschadigen. Door een vertragingstijd op de permeaatklep in te stellen kunnen we ervoor zorgen dat deze zich later sluit zodat de concentraatklep volledig geopend is vooraleer de permeaatklep gesloten is. Het permeaat dat nu in de module gebracht wordt kan op elk moment naar buiten treden en een drukopbouw is uitgesloten.

Achteraf gezien blijkt de invloed van deze aanpassing niet zo groot te zijn, een ander probleem, namelijk het niet goed functioneren van een kraantje (HV1), veroorzaakte de drukstijgingen. Het probleem werd verholpen door het plaatsen van een nieuw kraantje.

2.5 Aanpassing van de forward flush

Aanvankelijk was het zo dat de forward flush werkzaam was gedurende de volledige backflush. Een dergelijke configuratie brengt echter een aantal problemen met zich mee. In de eerste plaats lijkt het ons doeltreffender om gedurende de eerste seconden een backflush uit te voeren zonder forward flush, omdat contaminanten dan efficiënter teruggedrongen worden uit het membraan (de forward flush oefent immers een zekere weerstand uit tegen het terugdrijven van de contaminanten). Daarna wordt de forward flush ingevoerd om de losgekomen deeltjes uit de module te verwijderen.

Een tweede probleem dat zich voordoet is dat de forward flush werkzaam blijft tot op het einde van de backflush: wanneer de concentraatklep zich sluit is nog water van de forward flush in de module aanwezig. De voedingspomp pompt verder voeding in de module (productie), resulterend in een drukverhoging. De TMP bij het begin van de productie kent een verloop als weergegeven in fig. 30.

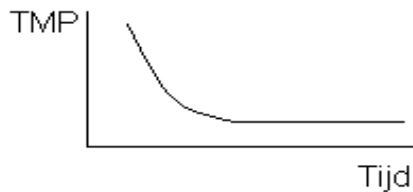


Fig. 30: TMP bij het begin van de productie.

Een verklaring voor dit verschijnsel is relatief eenvoudig. De druk is aanvankelijk hoger omdat het water van de forward flush (dat werd ingesloten nadat de concentraatklep werd gesloten) ook doorheen het membraan moet passeren. Dit zet namelijk een extra druk op het membraan (bovenop de druk die ontstaat gedurende productie). Naarmate meer en meer water doorheen het membraan sijpelt, dus naarmate de tijd vordert, daalt de druk op het membraan en dus ook de TMP tot uiteindelijk een stabiele waarde bekomen wordt. De forward flush stopzetten vooraleer de concentraatklep wordt gesloten is een oplossing voor dit probleem.

We kunnen de aanpassing aan de hand van volgend voorbeeld verduidelijken: een backflush van 60 seconden kan als volgt worden opgedeeld:

- 15 s backflush zonder forward flush
- 30 s backflush met forward flush
- 15 s backflush zonder forward flush

3. Opstelling ter plaatse

In dit deel wordt kort weergegeven hoe de pilootinstallatie is opgesteld bij de firma Cool. Om hieromtrent een goed beeld te verkrijgen geven we eerst een korte weergave van het huidige zuiveringssysteem.

3.1 Huidige zuiveringsinstallatie

Het spoelwater van de wortelen komt in een vijver terecht waarna het gravitair naar een eerste voorbezinkingsbekken stroomt. Dit voorbezinkingsbekken is d.m.v. een overloop gescheiden van een tweede voorbezinkingsbekken zodat enkel de bovenste waterlaag, vrij van de grootste en zwaarste deeltjes, overloopt. Het water aanwezig in dit tweede bekken is influent voor de biologie en wordt naar een beluchtingsbekken gepompt waar het in contact komt met het slib. Dit slib bestaat voornamelijk uit actieve bacteriën, een deel afgestorven bacteriën en een fractie anorganisch materiaal. In het beluchtingsbekken wordt een zo goed mogelijk contact verwezenlijkt tussen bacteriën en vervuild water, en worden de bacteriën eveneens voorzien van voldoende zuurstof. Het organisch materiaal wordt afgebroken.

Na een bepaalde beluchtingstijd wordt het water overgepompt naar een nabezinker waarin de actief – slibvlokken naar de bodem zakken. Op die manier wordt een scheiding verkregen tussen de bacteriecultuur en het gezuiverde water dat zich bovenaan in de nabezinker bevindt. Na een bepaalde bezinkingstijd wordt gezuiverd water overgepompt naar 2 effluentcontainers van waaruit dit water gravitair naar een bekken kan lopen.

Een figuur van de huidige actief – slib installatie is terug te vinden in bijlage 3.

3.2 Opstelling van het membraan

3.2.1 Eerste fase van de proefnemingen: zonder zandfilter

Fig. 31 geeft deze opstelling weer .

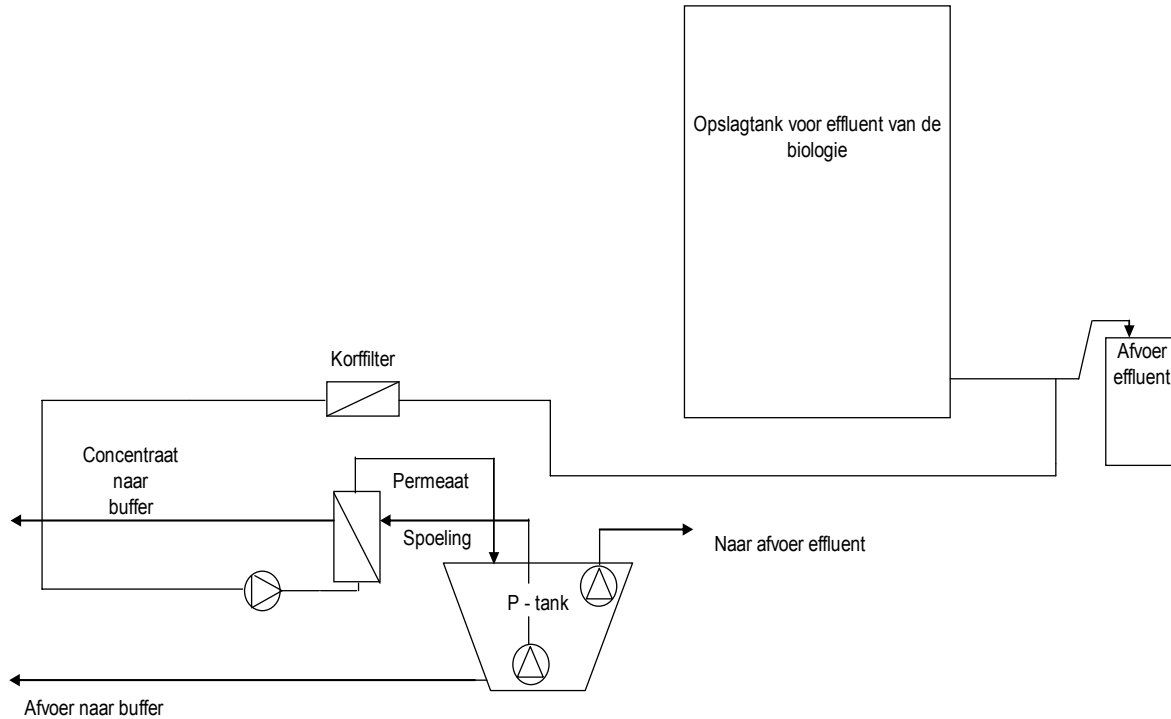


Fig. 31: Opstelling van de pilotinstallatie zonder zandfilter.

Op een van de leidingen die zorgen voor de afvoer van het effluent wordt de ultrafiltratie aangesloten, op die manier is het effluent van de biologie de voeding van de ultrafiltratie. Het effluent passeert een korffilter alvorens door het membraan gestuurd te worden, dit is nodig ter bescherming van de pomp. Na de korffilter is een kraantje aangebracht zodat het mogelijk is de toevoer van water te snoeren.

Het tijdens de filtratie ontstane permeaat wordt opgevangen in een tank van 250 l die op een halve meter boven de grond is geplaatst. Het permeaat kan, indien nodig, gemakkelijk uit de tank worden verwijderd d.m.v. een kraantje dat onderaan de tank werd aangebracht. Op dit kraantje is een leiding aangesloten die rechtstreeks naar de eerste voorbezinker (buffer) leidt. Door de tank in de hoogte te plaatsen is het mogelijk het water te laten wegvloeien zonder inschakeling van een extra pomp.

In de tank zijn twee pompompen geïnstalleerd van de fabrikant Dujvelaar: één op de bodem en één bovenaan in de tank. Deze laatste werd bevestigd dmv een touw en hangt als het ware bovenaan in de tank. Ze is geïnstalleerd met oog op een continue werking van de ultrafiltratie en zorgt ervoor dat de tank niet gaat overlopen: ze slaat automatisch aan wanneer het waterniveau in de tank te hoog wordt. Op deze pomp is een leiding aangesloten die uitmondt op de plaats waar het effluent van de biologie wordt gestort. De pomp op de bodem van de tank is via een leiding verbonden met de module en zorgt voor de backflush. Op deze leiding is een doseerpomp aangesloten met oog op een chemische reiniging. Tijdens deze reiniging wordt een exact gedoseerde hoeveelheid product in de leiding geïnjecteerd zodat een verdunning optreedt met het permeaat dat wordt opgepompt door de

dompelpomp. Om de exacte concentratie van het product in het membraan te kennen zullen de debieten van beide pompen moeten gekend zijn. Het concentraat wordt naar de eerste voorbezinker gevoerd d.m.v. een leiding die op de concentraatzijde van het membraan werd aangesloten. Door het concentraat naar de voorbezinker af te voeren zal het opnieuw in de biologie terecht komen, en dus opnieuw zuivering ondergaan.

3.2.2 Tweede fase van de proefnemingen: mét zandfilter

Fig. 32 geeft deze opstelling weer.

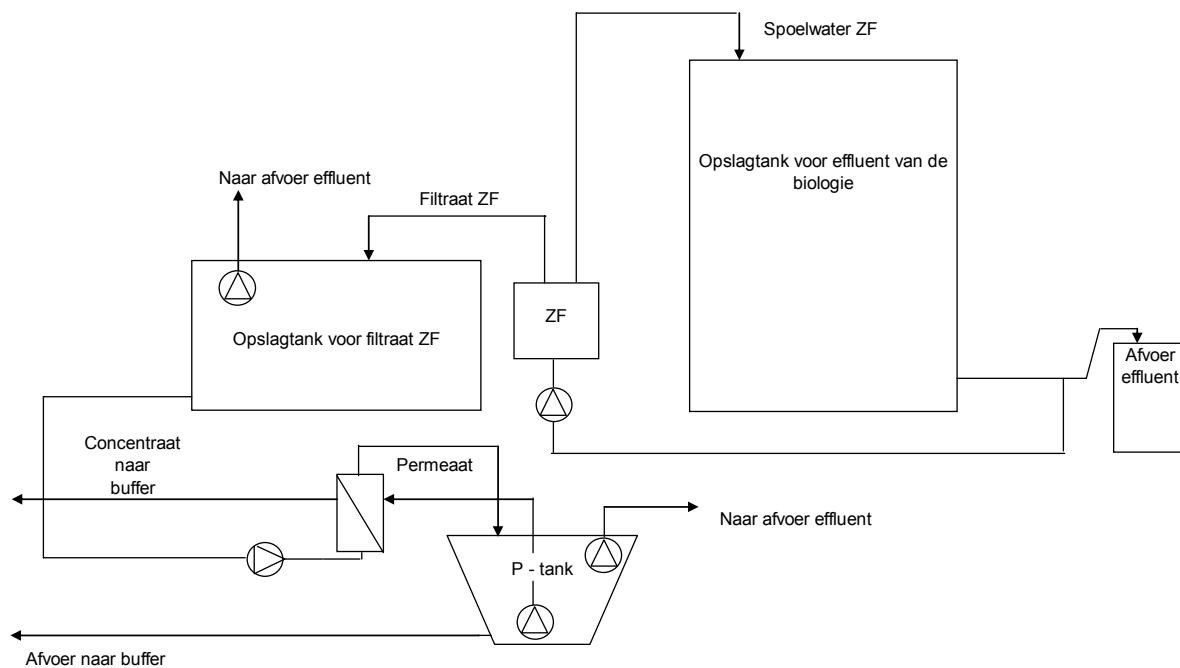


Fig. 32: Opstelling pilotinstallatie met zandfilter.

Om alle verwarring te vermijden moet worden vermeld dat het niet zo is dat de zandfilter werd geplaatst samen met het tweede membraan (INGE AG), de zandfilter werd reeds geplaatst voor proefnemingen op het eerste membraan (STORK).

Wat de opstelling van de zandfilter betreft kunnen we het kort houden door te zeggen dat de zandfilter geplaatst is tussen de effluenttank van de biologie en het membraan; de korffilter werd weggenomen.

Het effluent van de zandfilter wordt in een opslagtank opgevangen van waaruit het naar het membraan wordt gestuurd. In deze tank is een dompelpomp aangebracht die aanslaat wanneer het waterniveau in de tank te hoog wordt, dit om overlopen te beletten. De vlotter die dient ter beveiliging van de voedingspomp van het membraan (die in de eerste fase geplaatst was in de effluenttank van de biologie) wordt in de opslagtank geplaatst. Een tweede vlotter is aangebracht in de effluenttank van de biologie zodat de pomp van de zandfilter wordt uitgeschakeld wanneer geen effluent meer beschikbaar is, dit om het aanzuigen van lucht door de pomp te verhinderen. Fig. 33 geeft deze opstelling weer, gebruik makend van fotomateriaal.

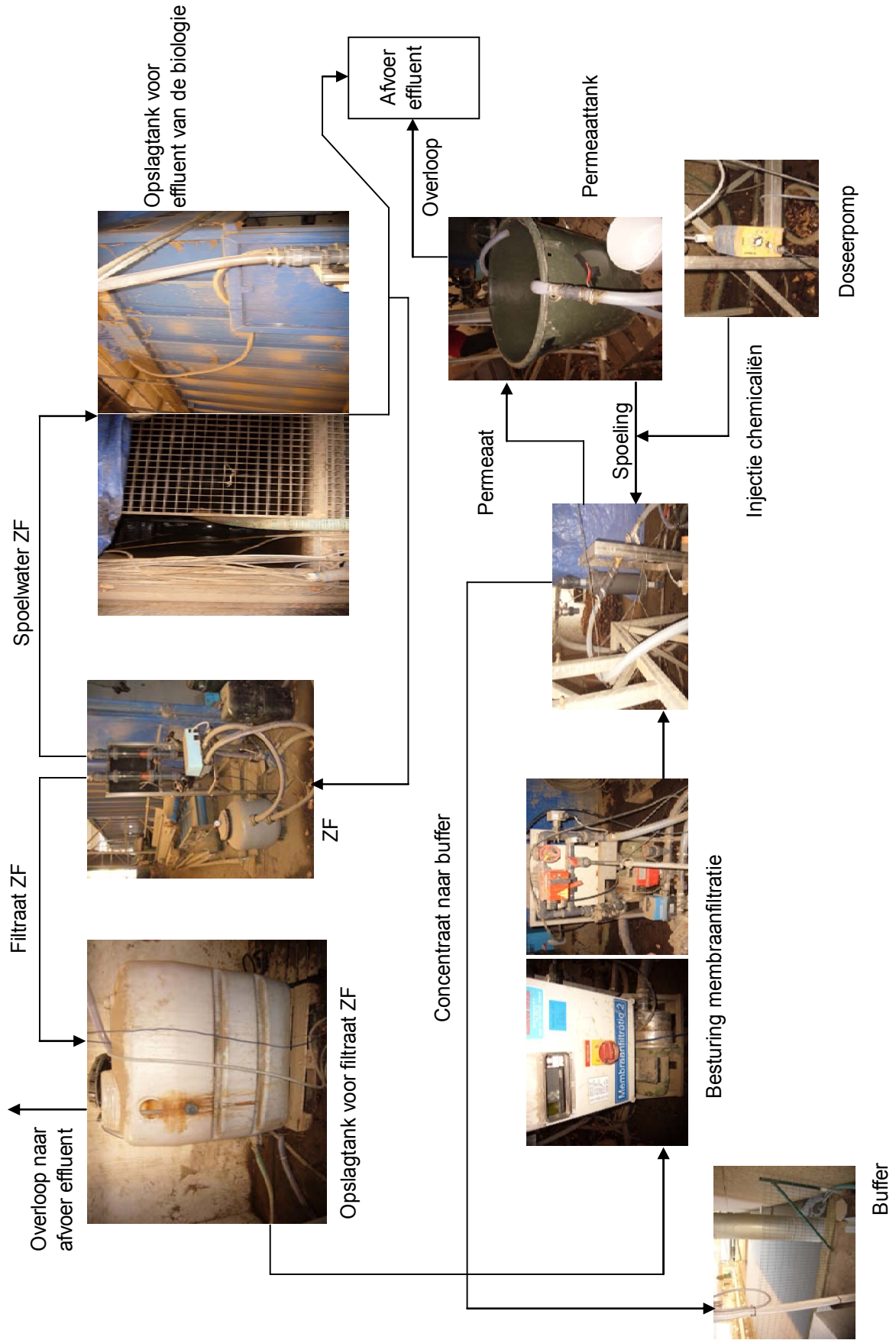


Fig. 33: Opstelling van de pilotinstallatie (met zandfilter) met fotomateriaal.

4 Methodieken

4.1 Analyses in het labo

Om een controle op de goede werking van het toestel mogelijk te maken is het aangewezen regelmatig een aantal stalen te nemen, te analyseren en te interpreteren. Op regelmatige tijdstippen wordt een staal genomen van voeding en permeaat zodat vergelijking van de situatie voor en na filtratie mogelijk is. Voor het opmaken van een massabalans is het noodzakelijk dat we ook een staal nemen van het concentraat.

De stalen worden op een aantal parameters geanalyseerd, de meest frequente analyses houden een bepaling in van de COD en de zwevende stoffen. Minder frequent wordt het staal geanalyseerd op droge stof, BOD, nitriet, ammonium, nitraat, fosfaat, totaal stikstof en totaal kiemgetal. Ook de geleidbaarheid en de pH worden regelmatig gemeten.

4.1.1 Spectrofotometrische analyses

Spectrofotometrische analyses worden uitgevoerd met een spectrofotometer van het merk Hach – Lange die in onderstaande figuur wordt afgebeeld.



Fig. 34: Hach – Lange spectrofotometer.

De parameters worden bepaald door middel van sneltesten: aan kuvetten waarin een vloeistof (al dan niet in evenwicht met een neerslag) is aangebracht wordt een exact volume afvalwater toegevoegd. Afhankelijk van de te bepalen parameter moet de kuvet nog een aantal processen ondergaan, zo is het bij de bepaling van de COD noodzakelijk dat de kuvet gedurende twee uur wordt opgewarmd bij een temperatuur van 148 °C. Nadat de gevraagde stappen werden uitgevoerd wordt de kuvet in de spectrofotometer geplaatst in de daarvoor voorziene houder. De werking wordt weergegeven in volgende figuur.

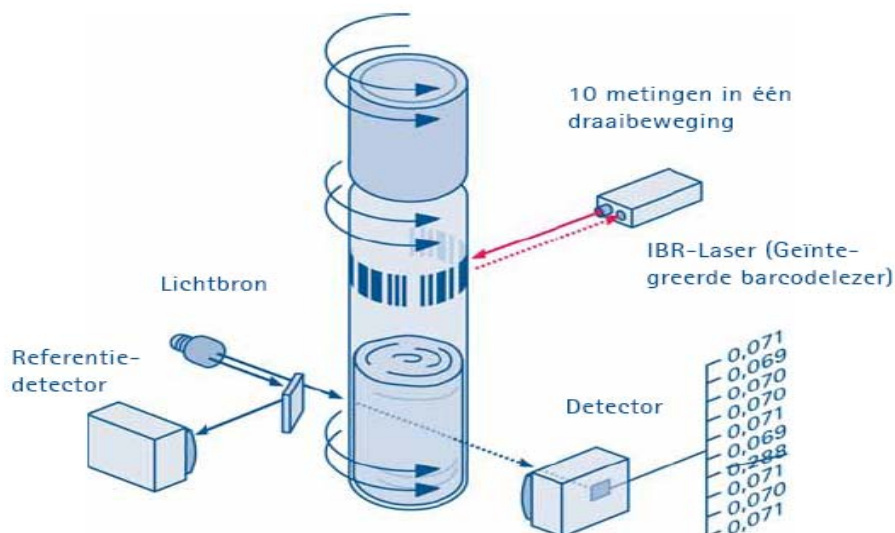


Fig. 35: Werking van de kuvettentesten.

Op de kuvet is een barcode aangebracht die door een laser in de spectrofotometer gelezen wordt. De bedoeling hiervan is een identificatie van de kuvet (welke parameter?) en het oproepen van de correcte testgegevens in het toestel. Tijdens het draaien van de kuvet wordt er tien maal gemeten. Een automatische eliminatie van uitschieters levert een juist resultaat dat wordt weergegeven op het scherm in mg/l (HACH LANGE NV, 2006).

De lamp die gebruikt wordt voor de spectrofotometrische bepalingen is een wolframamp met een golflengtebereik van 340 tot 900 nm. Er wordt gebruik gemaakt van een referentiedetector om eventuele fluctuaties van de lichtbron te elimineren. Op het toestel is een USB – poort aangebracht zodat directe overdracht van gegevens naar de PC mogelijk is via de aangepaste software. Verder is in het toestel een Li – batterij aangebracht die het mogelijk maakt bepaalde metingen ter plaatse uit te voeren.

4.1.2 Principe van de sneltesten

In dit deel zal kort de samenstelling en het werkingsprincipe van de verschillende kuvetten worden weergegeven. Enkel die kuvetten waarvan gebruik gemaakt wordt in dit werk worden toegelicht.

a. COD – bepaling (Lange LCK 014, LCK 314, LCK 414, LCK 514 & LCK 614):

De COD – bepaling berust op een oxidatie van het organische materiaal met $K_2Cr_2O_7$. De reactie vindt plaats in zuur milieu (in aanwezigheid van zwavelzuur). Zilversulfaat wordt aan de oplossing toegevoegd omdat het de oxidatie van lange rechte ketens bevordert, het doet als het ware dienst als katalysator.

De aanwezigheid van chloriden is ongewenst bij een COD – bepaling, onder andere omdat deze geoxideerd worden, wat fouten oplevert in de bepaling. Om deze reactie te elimineren voegt men aan de oplossing kwik(II)sulfaat toe zodat het chloride gebonden wordt als een oplosbaar kwikchloride complex. Onder deze vorm kan het chloride niet geoxideerd worden.

Bij de oxidatie van het organisch materiaal wordt het $K_2Cr_2O_7$ gereduceerd. De hoeveelheid $K_2Cr_2O_7$ die nog over is nadat alle organische materiaal is gereduceerd geeft een zekere kleurintensiteit aan de oplossing in de kuvet. Deze intensiteit is een maat voor de hoeveelheid organisch materiaal die in het monster aanwezig is.

b. BOD – bepaling (Lange LCK 555):

Bepaling van het biochemisch zuurstofverbruik na 5 dagen onder uitsluiting van ammoniumoxidatie met 5 mg/l allylthioureum. Het opgeloste zuurstof vormt in een alkalisch milieu met een derivaat van 1,2 – dihydroxybenzeen, in combinatie met tweewaardig ijzer, een rode kleurstof.

c. Totaal fosfaatbepaling (Lange LCK 349 & LCK 350):

Fosfaationen reageren in zure oplossing met molybdaat – en antimoonionen; dit geeft een antimonylfosformolybdaatcomplex dat door ascorbinezuur wordt gereduceerd tot molybdeenblauw.

d. Nitraatbepaling (Lange LCK 339):

In zwavel – en fosforzuuroplossing reageren nitraationen met 2,6 – dimethylfenol tot 4 – nitro – 2,6 – dimethylfenol.

e. Nitrietbepaling (Lange LCK 341 & LCK 342):

In zure oplossing reageert nitriet met primaire aromatische aminen en vormen daarbij diazoniumzouten. Deze geven met aromatische verbindingen die een amino – of hydroxylgroep bevatten een intensief gekleurde azo –kleurstof.

f. Ammoniumbepaling (Lange LCK 303 & LCK 304):

Ammonium – ionen reageren bij een pH van 12,6 met hypochloriet ionen en salicylaat ionen, met natriumnitro – prusside als katalysator. Hierbij wordt de stof indofenolblauw gevormd.

g. Totaal – stikstofbepaling (Lange LCK 138 & LCK 338):

Anorganisch en organisch gebonden stikstof wordt door een ontsluiting met peroxodisulfaat tot nitraat geoxideerd. Nitraat reageert in een zwavel – en fosforzure oplossing met 2,6 – dimethylfenol tot een nitrofenol.

h. Chloridebepaling (Lange LCK 311):

Bij het omzetten van chloride – ionen met kwikthiocyanaat ontstaat het nauwelijks gedissocieerde kwik(II)chloride. Tegelijkertijd komen er een equivalente hoeveelheid thiocyanationen vrij die met Fe(III) – zouten tot ijzer(III)thiocyanaat reageren.

i. Ijzerbepaling (Lange LCK 321):

Ijzer(II) – ionen vormen met 1,10 – fenantroline een oranje rode verbinding. In het watermonster aanwezige ijzer(III) – ionen worden vóór de vorming van het complex door ascorbinezuur gereduceerd tot ijzer(II) – ionen zodat alle ijzerionen worden gedetecteerd.

j. Zinkbepaling (Lange LCK 360):

Zinkionen vormen met 4 – (2 – pyridilazo) – resorcine (PAR) bij een pH – waarde tussen 6 en 11 een oranje rood, in water oplosbaar complex.

4.1.3 Andere analyses

a. Zwevende stof bepaling

Zwevende deeltjes zijn om verschillende redenen niet gewenst in water. Enerzijds is er het esthetische aspect, anderzijds kunnen deze deeltjes drager zijn van verontreinigende componenten of kunnen ze op zichzelf ontbinden en resulteren in schadelijke bijproducten.

De bepaling van zwevende stoffen is relatief eenvoudig en gebeurt door filtratie. Een filter met een poriëngrootte van 0,45 μm wordt bewaard in een exsiccator opdat deze geen water uit de lucht zou opnemen. Net voor de bepaling wordt de filter gewogen op een analytische balans. Een hoeveelheid afvalwater wordt in een maatcilinder gebracht en over de filter gegoten. Vervolgens wordt de filter gedroogd in een oven bij een temperatuur van 105 $^{\circ}\text{C}$ (± 2 $^{\circ}\text{C}$) tot constant gewicht. De gewichtstoename van de filter gedeeld door het volume afvalwater dat over de filter werd gegoten geeft ons de concentratie aan zwevende stoffen in mg/l.

b. Droge stof bepaling

De totale hoeveelheid aan opgeloste en onopgeloste bestanddelen, voor zover deze niet vluchtig zijn bij de aangewende werkomstandigheden, wordt bepaald op niet – gefiltreerd water (Bepaling van de droogrest, 2005). Willen we echter de totale hoeveelheid opgeloste bestanddelen kennen, dan voeren we dezelfde bepaling uit op gefilterd afvalwater.

De droge stof wordt berekend uit het residu dat bekomen wordt na verdamping en achtereenvolgend drogen (bij 105 ± 2 $^{\circ}\text{C}$) van een al of niet gefiltreerd watermonster (Bepaling van de droogrest, 2005).

Een kroesje dat bewaard wordt in een exsiccator wordt afgewogen op een analytische balans. Hierin wordt een volume afvalwater gebracht en de massa wordt opnieuw bepaald. Nu kunnen we de massa, en dus ook het volume van het water berekenen dat in het kroesje werd gebracht. Dit kroesje wordt in een droogoven bij 105 ± 2 $^{\circ}\text{C}$ gedroogd tot constant gewicht. De kroes wordt afgekoeld in een exsiccator tot kamertemperatuur en aansluitend gewogen.

Het bekomen massaverschil van het kroesje gedeeld door het volume water dat in het kroesje werd aangebracht levert ons de hoeveelheid droge stof, uitgedrukt in mg/l.

c. *Bepaling van het kiemgetal*

De grootste moeilijkheid bij het bepalen van het kiemgetal is de staalname. Het is belangrijk dat geen storende bacteriën of virussen in het staal terechtkomen, daarom worden de staalnameflesjes voor gebruik gesteriliseerd. Net voor het nemen van het staal wordt de opening van het flesje in een vlam gehouden, zo ook de leiding van waaruit het staal wordt opgevangen (permeaatleiding, leiding van de voeding). Alvorens het flesje terug te sluiten wordt de opening nog eens in de vlam gehouden. Het is belangrijk dat het flesje slechts kort in contact komt met de lucht zodat geen contaminatie vanuit de lucht kan optreden.

Er wordt een staal genomen van de voeding en van het permeaat.

Voor de analyse is het belangrijk dat we gebruik maken van steriel materiaal, daarom gebruiken we steriel verpakte wegwerppipetten en proefbuisjes.

Bij het openen van het staalnameflesje wordt de opening even in een vlam gehouden. Vervolgens wordt 1 ml gepipetteerd en overgebracht naar een steriel proefbuisje. Dit wordt vervolgens aangelengd met 9 ml fysiologisch water zodat we een verdunning van 1/10 verkrijgen. Uit deze oplossing wordt opnieuw 1 ml gepipetteerd en aangelengd met 9 ml fysiologisch water zodat een verdunning van 1/100 ontstaat. Van beide verdunningen wordt 0,1 ml op een PCA (Plate Count Agar) voedingsbodem aangebracht. Dit wordt vervolgens met een drigalski spatel goed uitgestreken over het agaroppervlak. Opnieuw is het belangrijk dat de spatel kiemvrij is. Door deze in een alcoholoplossing te dompelen en vervolgens in de vlam te houden tot alle alcohol verdampt is kunnen we er zeker van zijn dat dit het geval is.

De voedingsbodems worden in een oven geplaatst. Van elke verdunning worden twee platen bij een temperatuur van 20°C (normaal bij 22°C, maar dergelijke oven is niet beschikbaar) geïncubeerd en twee platen bij een temperatuur van 37 °C, één gedurende 24 uur en de ander gedurende 48 uur.

Na de incubatietijd worden het aantal kve (kolonievormende eenheden) per ml bij een welbepaalde temperatuur bepaald.

Ook een blanco moet worden gemaakt ter controle, deze wordt gelijktijdig met de analyses ingezet. Krijgen we na incubatie van de blanco een positief resultaat (>3 kve/ml), dan wordt de proef niet als betrouwbaar beschouwd (Bepaling van totaal kiemgetal, 2005).

Omtrent de rapportering gelden een aantal afspraken (Bepaling van totaal kiemgetal, 2006):

- Bepaal voor elke temperatuur de kve waarden per ml watermonster.
- Indien geen kolonies aanwezig zijn op schalen geïncubeerd met een onverdund monster, dan wordt het resultaat vermeld als <1 kve/ml.
- Indien meer dan 300 kolonies op de geïncubeerde schalen met grootste verdunning 10^{-x} voorkomen, dan wordt het resultaat als benaderd weergegeven (geschat aantal $>300 \cdot 10^x$ kve/ml).
- Overgroeide telplaten mogen niet worden beoordeeld.
- Bij tellingen met duizendtallen worden waarden afgerond tot op 50 of 100 kve/ml

4.2 Uitvoering van de fluxmetingen

Opstellen van massabalansen, conclusies omtrent de vervuiling van het membraan, de efficiëntie van reinigingen, etc. zijn mogelijk door fluxmetingen. De flux wordt gemeten door het opvangen van permeaat gedurende een bepaalde tijd. Het permeaat wordt hiervoor opgevangen in een maatcilinder, de tijd gedurende dewelke het permeaat wordt opgevangen wordt gemeten met een chronometer. De flux wordt dan gegeven door volgende formule: $J = \frac{V}{t \cdot A}$ (INGE AG, 2006). Hierin is V het opgevangen volume aan permeaat gedurende een bepaalde tijd t. A geeft het membraanoppervlak weer. De flux wordt uitgedrukt in l/m².h.

Blanco bepalingen worden uitgevoerd met stadswater (met een gekende temperatuur) dat we onder een gekende druk doorheen het membraan sturen. Deze meting stelt ons in staat de evolutie van het membraan op te volgen. Het is namelijk zo dat stadswater verondersteld wordt een constante samenstelling te hebben. Dit wil zeggen dat wijziging van de blanco flux met de tijd het gevolg zal zijn van een wijziging van de toestand van het membraan.

Het is belangrijk een blanco op te nemen voordat het membraan in gebruik wordt genomen, het heeft dan nog geen veranderingen ondergaan. Wanneer op een later tijdstip nog eens een blanco wordt opgenomen, en deze verschilt van de initiële waarde, dan weten we dat het membraan gedurende deze periode een verandering heeft ondergaan (beschadiging, vervuiling, etc.). Ook de efficiëntie van een reiniging kan nagegaan worden door het opnemen van een blanco vóór en na de reiniging. Ligt de flux bijvoorbeeld significant hoger na een reiniging dan ervoor, dan betekent dit dat de reiniging efficiënt is.

4.3 Debietinstelling van de zandfilter

De filtratiecapaciteit van een zandfilter is afhankelijk van de snelheid waarmee het afvalwater de zandfilter doorloopt. Hoe hoger deze snelheid, hoe minder zwevende stoffen zullen worden tegengehouden. Voordat men overgaat tot de installatie op locatie wordt het debiet ingesteld in het labo. De opstelling die hiervoor wordt gebruikt is weergegeven in volgende figuur.



Fig. 36: Opstelling zandfilter in labo.

Voor de bepaling gebruiken we water dat in de praktijk door de zandfilter zal moeten passeren. Hiervan worden de zwevende stoffen gemeten. Vervolgens stellen we verschillende doorloopsnelheden in door het bijregelen van het kraantje onderaan de zandfilter (fig. 36). De effluenten worden opgevangen in een maatcilinder. Het opgevangen volume wordt gedeeld door het tijdsinterval gedurende hetwelk het volume werd opgevangen zodat we het debiet kennen. Door dit debiet te vermenigvuldigen met de doorsnede van de buis kennen we de doorstroomsnelheid van het water. Van de effluenten, bekomen bij de verschillende doorstroomsnelheden, worden de zwevende stoffen bepaald en vergeleken met de initiële zwevende stof concentratie. Door kennis van deze gegevens kan men de gewenste doorstroomsnelheid instellen.

Deel III

Resultaten

1 Verwijderingrendementen

De proefnemingsperiode is opgedeeld in twee delen: een eerste deel waarin gebruik gemaakt wordt van een STORK membraan en een tweede deel waarin gebruik gemaakt wordt van een INGE AG membraan.

Gedurende de proefnemingen worden de stalen van permeaat en voeding voornamelijk geanalyseerd op:

- COD (Chemical Oxygen Demand);
- ZS (Zwevende Stoffen).

Deze twee parameters zijn voor ons de belangrijkste; de COD geeft namelijk aan hoe sterk het water vervuild is en in welke mate de graad van vervuiling afneemt bij doorgang door het membraan en de ZS zijn de grootste oorzaak van vervuiling van het membraan.

Een UF – membraan wordt verondersteld een kiemvrij permeaat te produceren, dit wordt nagegaan door bepaling van het kiemgetal.

Het verwijderingrendement wordt als volgt bepaald:

$$\eta_p = \frac{C_f - C_p}{C_f} \cdot 100\%$$

met Cf= concentratie van de parameter in de voeding;
Cp= concentratie van de parameter in het permeaat;
 η_p = verwijderingrendement van de parameter.

Opmerking: We mogen hiernavolgende waarden voor het verwijderingrendement zeker niet gebruiken om een vergelijking te maken tussen beide membranen. Tijdens de testen met het INGE AG membraan nam de ZS – concentratie in de voeding zeer hoge waarden aan (ter verduidelijking: 26 maart 2007, INGE AG membraan, ZS – concentratie na de zandfilter 650 mg/l; 27 februari 2007, STORK membraan, ZS – concentratie na de zandfilter 104 mg/l) door de aanwezigheid van biologisch slib in de voeding. Dit brengt vanzelfsprekend een hoge COD – waarde van de voeding, en een sterke daling bij doorgang doorheen het membraan met zich mee (alle ZS worden immers tegengehouden door het membraan), zodat het lijkt alsof het tweede membraan efficiënter fungeert dan het eerste.

De waarden worden enkel aangegeven om vergelijking mogelijk te maken met andere technieken voor de zuivering van afvalwaters met quasi dezelfde samenstelling. Het verwijderingrendement moet daarom gecorreleerd worden aan de samenstelling van het afvalwater. Om diezelfde reden is het niet nuttig een gemiddelde waarde te berekenen voor het verwijderingrendement.

1.1 STORK membraan

1.1.1 Verwijderingrendement voor COD

Onderstaande tabel geeft de COD – waarden van permeaat en voeding op verschillende tijdstippen weer. Op basis hiervan wordt het verwijderingrendement van het membraan voor de COD berekend en weergegeven in onderstaande tabel.

| Datum | COD _F (mg/l) | COD _P (mg/l) | η_{COD} (%) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 02/10/2006 | 27,8 | 11,5 | 59 |
| 10/10/2006 | 17,2 | 11,7 | 32 |
| 30/10/2006 | 37,7 | 16,5 | 56 |
| 20/11/2006 | 77,8 | 19,3 | 75 |
| 21/11/2006 | 85,2 | 38,6 | 55 |
| 27/11/2006 | 57,5 | 23,6 | 59 |
| 27/02/2007 | 260 | 76,1 | 71 |
| 05/03/2007 | 351 | 116 | 67 |

Tabel 5: Verwijderingrendement van het STORK membraan voor COD (Chemical Oxygen Demand).

1.1.2 Verwijderingrendement voor ZS

| Datum | ZS _F (mg/l) | ZS _P (mg/l) | η_{ZS} (%) |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 02/10/2006 | 79 | 0 | 100 |
| 10/10/2006 | 18 | 0 | 100 |
| 30/10/2006 | 54 | 0 | 100 |
| 20/11/2006 | 120 | 0 | 100 |
| 21/11/2006 | 112 | 0 | 100 |
| 27/11/2006 | 56 | 0 | 100 |
| 27/02/2007 | 104 | 0 | 100 |
| 05/03/2007 | 215 | 0 | 100 |

Tabel 6: Verwijderingrendement van het STORK membraan voor zwevende stoffen.

De zwevende stofconcentratie in het permeaat is steeds 0 mg/l, η_{ZS} is bijgevolg in alle gevallen 100 %.

1.1.3 Kiemgetal

Normaal zouden micro – organismen afwezig moeten zijn in het permeaat van een UF – membraan. We controleren dit door een verdund staal van permeaat en voeding uit te platen op een PCA (Plate Count Agar) – bodem. Het resultaat is weergegeven in volgende afbeeldingen.

(a)



(b)



Fig. 37: Vergelijking microbiële inhoud van permeaat t.o.v. voeding.

Uit fig. 37 is duidelijk af te leiden dat alle m.o. worden tegengehouden door het membraan. In beide figuren is de plaat die het voedingstaal bevat de linkse, de plaat die het permeaatstaal bevat de rechtse. In fig. 37 (a) werden de stalen 10 maal verdund, in fig. 37 (b) werden ze 100 maal verdund. De 4 platen werden geïncubeerd bij een temperatuur van 37 °C gedurende 48 uur.

Eenzelfde beeld werd verkregen na incubatie bij een temperatuur van 22 °C gedurende 48 uur.

| Temperatuur (°C) | Aantal kve in F (kve/ml) | Aantal kve in P (kve/ml) | $\eta_{\text{micro-organismen}}$ (%) |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 22 | Geschat aantal $>300 \cdot 10^{-2}$ | <1 | 100 |
| 37 | Geschat aantal $>300 \cdot 10^{-2}$ | <1 | 100 |

Tabel 7: Verwijderingrendement van het STORK membraan voor micro – organismen.

1.2 INGE AG membraan

1.2.1 Verwijderingrendement voor COD

| Datum | COD _F (mg/l) | COD _P (mg/l) | η_{COD} (%) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 13/03/2007 | 147 | 31,5 | 79 |
| 26/03/2007 | 595 | 30 | 95 |

Tabel 8: Verwijderingrendement van het INGE AG membraan voor COD (Chemical Oxygen Demand).

1.2.2 Verwijderingrendement voor ZS

| Datum | ZS _F (mg/l) | ZS _P (mg/l) | η_{ZS} (%) |
|------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| 13/03/2007 | 124 | 0 | 100 |
| 26/03/2007 | 650 | 0 | 100 |

Tabel 9: Verwijderingrendement van het INGE AG membraan voor zwevende stoffen.

Ook hier bedraagt het verwijderingrendement voor ZS in alle gevallen 100 %.

2 Procesvoering

2.1 Verloop van de genormaliseerde flux en de resistentie

2.1.1 Verloop van de genormaliseerde flux i.f.v. de tijd

De genormaliseerde flux wordt verkregen door de flux op een bepaald tijdstip te delen door de TMP op dat tijdstip ($J_n = \frac{J}{TMP}$) en wordt uitgedrukt in l/m².h.bar.

Bij een goed functionerend filtratieproces moeten we een verloop krijgen zoals weergegeven in onderstaande figuur. Deze figuur werd opgesteld aan de hand van metingen van 20 februari 2007 (zie bijlage 1).

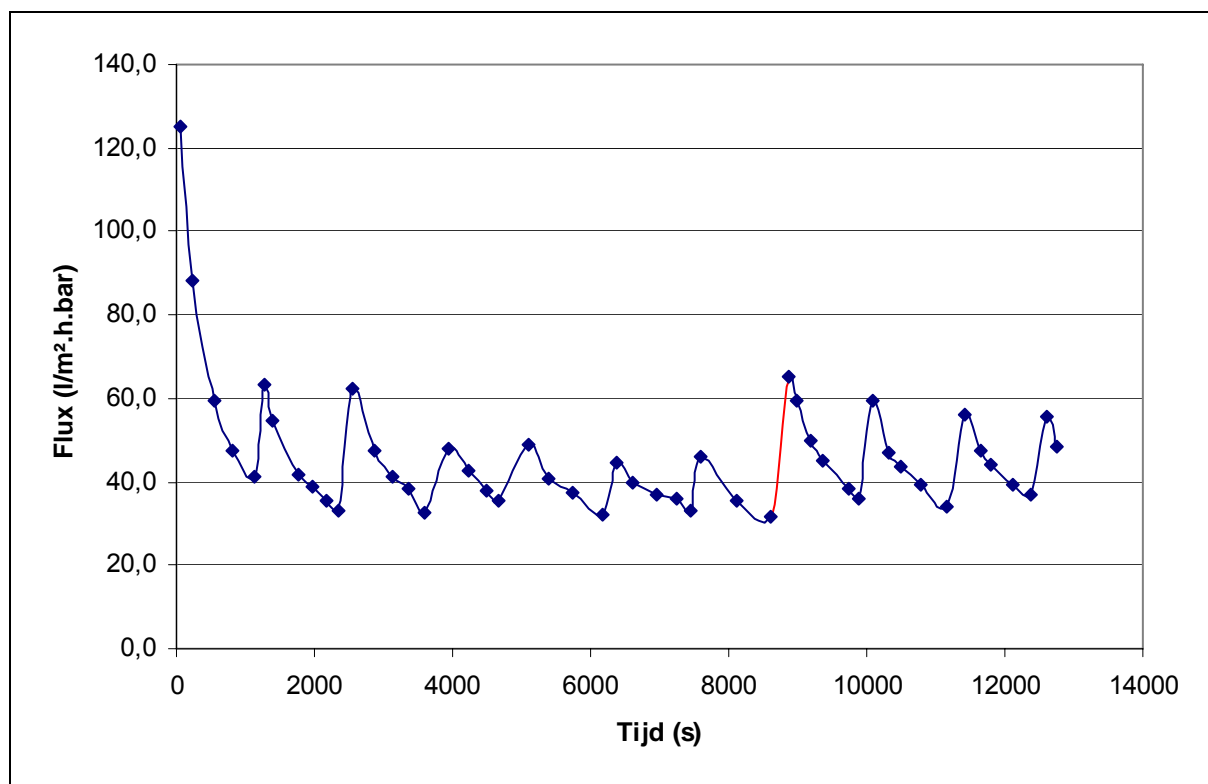


Fig. 38: Genormaliseerde flux i.f.v. tijd.

De grafiek heeft een zaagtandstructuur. Elke tand omvat één spoeling (backflush) van 60 s gevolgd door een productie van 20 min. Gedurende de productie treedt een fluxdaling op ten gevolge van vervuiling. Deze laatste wordt verwijderd gedurende de spoeling zodat de aanvang van een nieuwe cyclus gepaard gaat met een verhoogde flux.

Na de 7^e productie voeren we een chemische reiniging door (de rode lijn in de grafiek duidt op de fluxstijging na een chemische reiniging). De hiermee gepaard gaande fluxstijging is groter dan de stijging na een gewone spoeling. De spoeling op dat tijdstip is een bewuste keuze omdat de 5^e en 6^e spoeling niet langer resulteren in een noemenswaardige fluxstijging, betekendend dat de vervuiling moeilijker te verwijderen is.

Een nadeel van deze voorstelling is dat enkel gecorrigeerd wordt voor de TMP en niet voor de temperatuur. Met de temperatuur wordt wel rekening gehouden wanneer we de resistentie berekenen, daarom zetten we de resistentie uit i.f.v. de tijd.

2.1.2 Verloop van de resistentie i.f.v. de tijd

De resistentie wordt berekend met volgende formule (zie deel I, Literatuurstudie, punt 4.6.4) :

$$R = \frac{TMP}{\eta \cdot J}$$

met J = flux ($m^3/m^2 \cdot s$)
 TMP = transmembraandruk (Pa)
 R = totale resistentie van het membraan (m^{-1})
 η = dynamische viscositeit (Pa.s)

De dynamische viscositeit, gerelateerd aan de temperatuur T ($^{\circ}C$) van het voedingswater, wordt als volgt berekend (Huisman, 1996):

$$\eta = \frac{0,497}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

De grafiek die we verkrijgen door het uitzetten van de resistentie i.f.v. de tijd is hieronder weergegeven. Ook deze grafiek werd opgesteld aan de hand van metingen van 20 februari 2007 (zie bijlage 1).

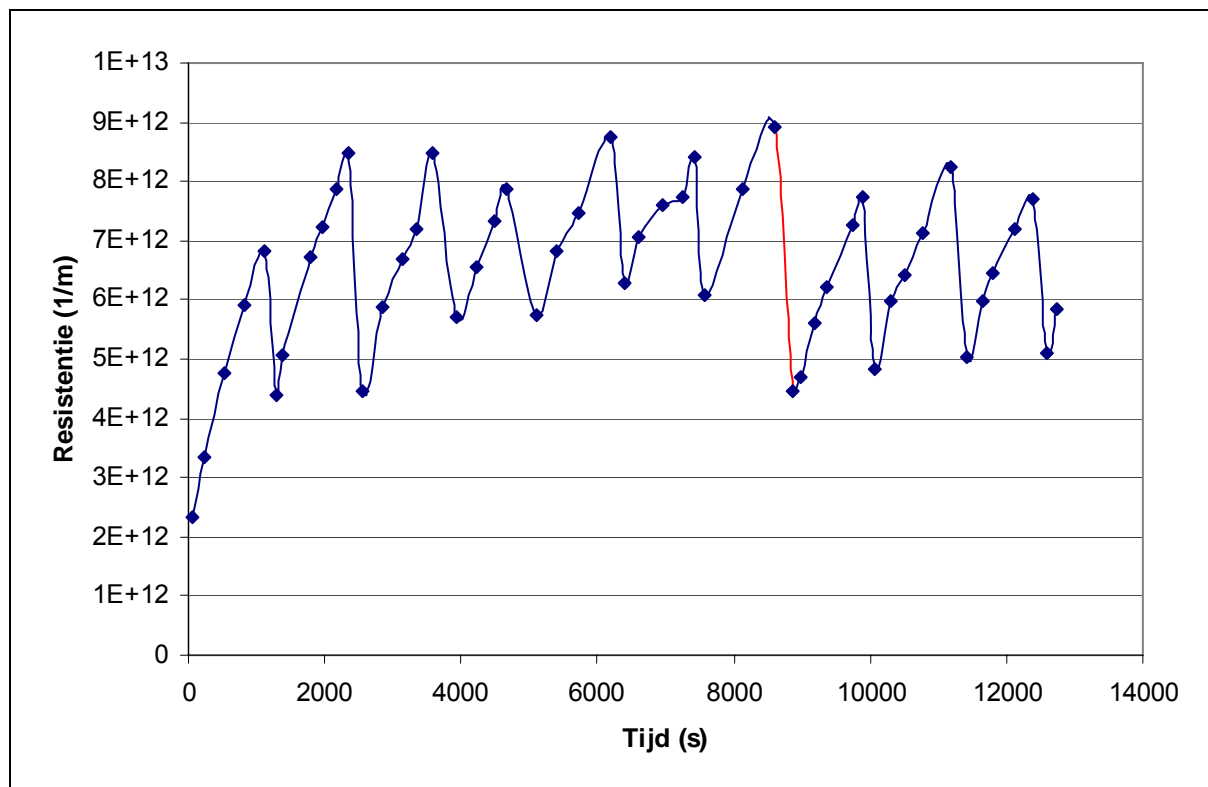


Fig. 39: Resistentieverloop i.f.v. de tijd.

Het verschil met vorige grafiek is dat de curve stijgt gedurende productie door de vervuiling die optreedt, resulterend in een stijging van de resistentie. Tijdens een spoeling daalt de resistentie, deze daling is groter bij een chemische reiniging.

2.2 Aanpassing van de forward flush

Zoals eerder vermeld waren er een aantal problemen met de FF (forward flush) (zie deel II, Toestel en methoden, punt 2.5), deze worden in dit deel verduidelijkt.

2.2.1 Eerste fase: inkorting FF – tijd

Onderstaande figuur geeft de vergelijking van twee spoelingen met een verschillende FF – tijd weer. Deze grafiek is gebaseerd op metingen van 20 februari 2007 (zie bijlage 1).

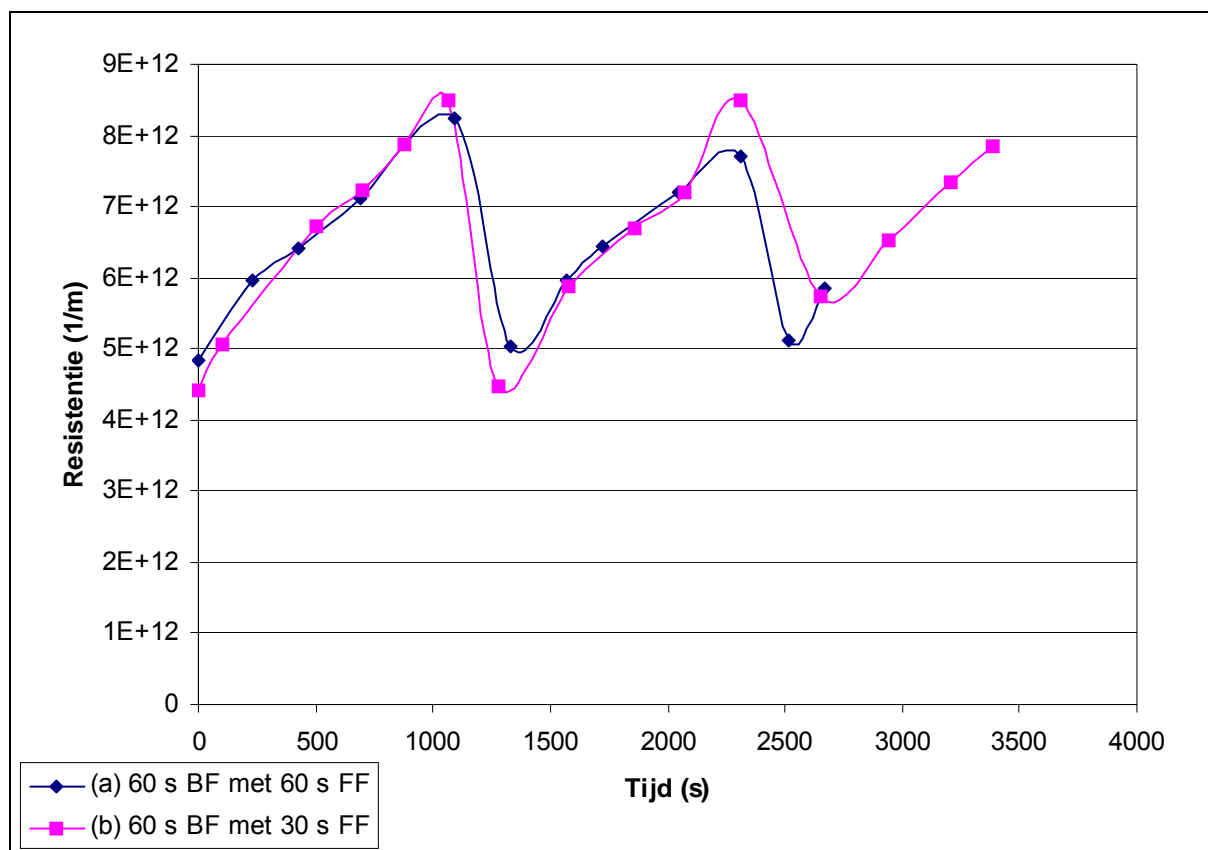


Fig. 40: Effect van het inkorten van de forward flush tijd.

| (a) | | (b) | |
|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| Productietijd (s) | R(1/m) | Productietijd (s) | R(1/m) |
| 0 | $4,84 \cdot 10^{12}$ | 0 | $4,41 \cdot 10^{12}$ |
| 230 | $5,96 \cdot 10^{12}$ | 100 | $5,06 \cdot 10^{12}$ |
| 425 | $6,41 \cdot 10^{12}$ | 500 | $6,73 \cdot 10^{12}$ |
| 690 | $7,12 \cdot 10^{12}$ | 700 | $7,23 \cdot 10^{12}$ |
| 1090 | $8,24 \cdot 10^{12}$ | 880 | $7,89 \cdot 10^{12}$ |
| 1330 | $5,04 \cdot 10^{12}$ | 1070 | $8,48 \cdot 10^{12}$ |
| 1570 | $5,98 \cdot 10^{12}$ | 1280 | $4,48 \cdot 10^{12}$ |
| 1720 | $6,44 \cdot 10^{12}$ | 1580 | $5,88 \cdot 10^{12}$ |
| 2050 | $7,19 \cdot 10^{12}$ | 1860 | $6,69 \cdot 10^{12}$ |
| 2310 | $7,71 \cdot 10^{12}$ | 2070 | $7,20 \cdot 10^{12}$ |
| 2520 | $5,11 \cdot 10^{12}$ | 2310 | $8,49 \cdot 10^{12}$ |
| 2670 | $5,86 \cdot 10^{12}$ | 2650 | $5,72 \cdot 10^{12}$ |
| | | 2940 | $6,54 \cdot 10^{12}$ |
| | | 3210 | $7,34 \cdot 10^{12}$ |
| | | 3390 | $7,86 \cdot 10^{12}$ |

Tabel 10: Effect van het inkorten van de forward flush tijd: (a) geeft de waarden voor de curve '60 s BF met 60 s FF', (b) geeft de waarden voor de curve '60 s BF met 30 s FF'.

Om te weten welke van de twee spoelingen de meest efficiënte is moeten we de daarmee gepaard gaande resistentiedalingen bekijken. Die spoeling die gepaard gaat met de grootste resistentiedaling zal de meest efficiënte zijn.

Situatie a: 60 s BF met 60 s FF

$$\Delta R_1 = 8,24 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} - 5,04 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} = 3,20 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$$

$$\Delta R_2 = 7,71 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} - 5,11 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} = 2,60 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$$

$$\Delta R_{\text{gem}} = 2,90 \cdot 10^{12} \pm 3,00 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-1}$$

De standaardafwijking werd berekend met volgende formule:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N \cdot (N - 1)}}$$

met x_i = individuele meting

\bar{x} = gemiddelde

$N = 2$

Situatie b: 60 s BF met 30 s FF

$$\Delta R_1 = 8,48 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} - 4,48 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} = 4,00 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$$

$$\Delta R_2 = 8,49 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} - 5,72 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1} = 2,77 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$$

$$\Delta R_{\text{gem}} = 3,39 \cdot 10^{12} \pm 6,15 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-1}$$

De resistentiedaling is dus het grootst in situatie 2, dit kon ook worden afgeleid uit fig. 40. De fout op de metingen is relatief groot wat de zekerheid van het experiment enigszins in twijfel trekt.

2.2.2 Tweede fase: weglaten van de FF

Het effect van een spoeling zonder FF werd ook nagegaan. Het resultaat is te zien in onderstaande grafiek. De grafiek is gebaseerd op metingen van 5 en 6 maart (zie bijlage 1).

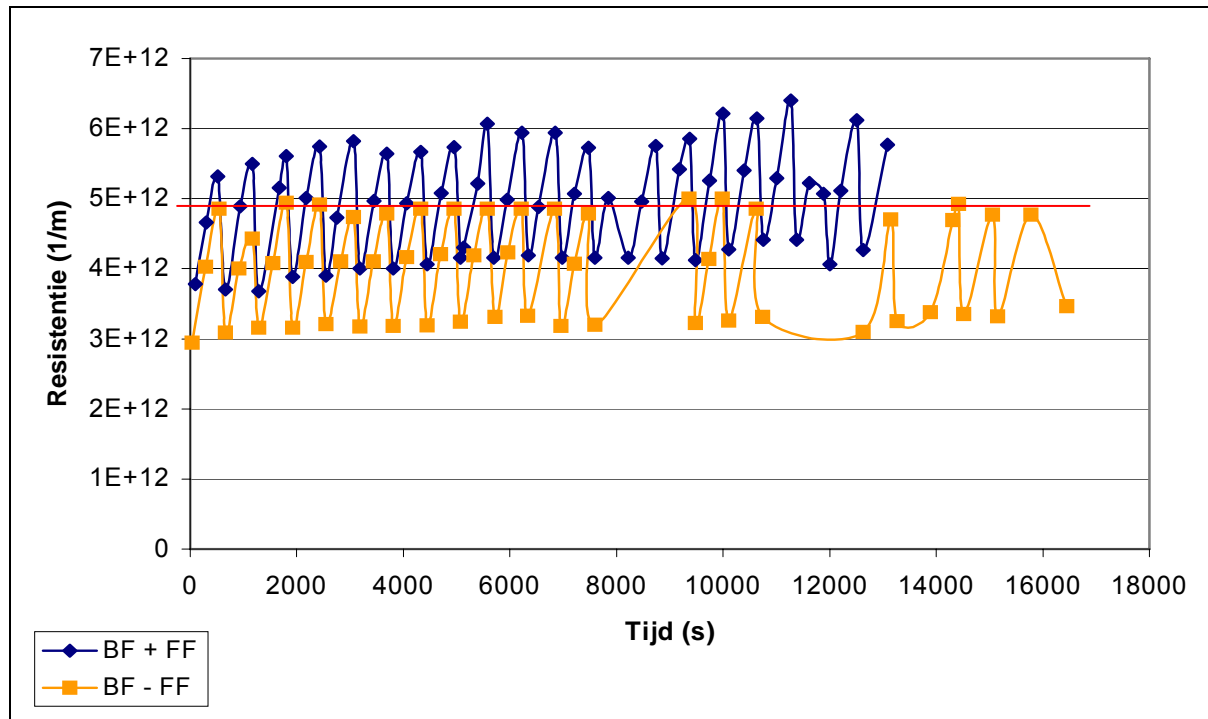


Fig. 41: Effect van het weglaten van de forward flush.

Uit fig. 41 kunnen we afleiden dat de resistentie lager ligt voor het geval BF – FF. We merken hierbij op dat de resistentie bij aanvang ($t=0$ s) lager gelegen is bij de oranje curve dan bij de blauwe curve, wat zou kunnen leiden tot verkeerde interpretaties. We zien echter wel dat de hoogte van de tanden bij de oranje curve nagenoeg constant is (zie rode lijn op de grafiek), terwijl dit niet zo is bij de blauwe curve. De resistentie blijft dus over een lange periode constant bij de oranje curve terwijl deze bij de blauwe curve sneller hogere waarden aanneemt. De spoeling gebeurt dus efficiënter in het geval van de oranje curve, dus in geval van BF – FF.

Het is belangrijk op te merken dat beide testen werden uitgevoerd met hetzelfde afvalwater (afkomstig uit een tank) zodat geen twijfel kan ontstaan omtrent de betrouwbaarheid van het experiment! Verdere testen werden dan ook met deze configuratie uitgevoerd.

2.3 Productie – en backflushtijden

In de praktijk streven we naar een zo lang mogelijke productietijd en een zo kort mogelijke spoeltijd. Dit is niet steeds even eenvoudig: te korte spoeltijden resulteren in een minder efficiënte spoeling en te lange productietijden betekenen een te sterke vervuiling van het membraan. Anderzijds betekent een te korte productietijd (of een te lange spoeltijd) een vermindering aan permeaatopbrengst. We zullen dus op zoek gaan naar een compromis.

2.3.1 Permeaatopbrengst voor een aantal werksituaties

In dit deel wordt de permeaatopbrengst berekend aan de hand van fluxmetingen van 5 maart 2007 (zie bijlage 1). We merken hierbij op dat het debiet aan permeaat gedurende de filtratie niet constant zal zijn. De berekening werd echter uitgevoerd in de veronderstelling dat dit debiet wel constant is.

Het debiet van de terugspoelpomp mag over een langere tijdsperiode als constant worden beschouwd.

$Q_P = 37$ l/h (momentopname, debiet op moment van staalname)

$Q_{BF} = 188$ l/h

Voorbeeldberekening: 20 min productie, 60 s BF.

Opbrengst gedurende productie: $\frac{20 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} \cdot 37 \text{ l/h} = 12,33 \text{ l}$

Verlies gedurende BF: $\frac{60 \text{ s}}{3600 \text{ s/h}} \cdot 188 \text{ l/h} = 3,13 \text{ l}$

Opbrengst aan permeaat per cyclus (20 min, 60 s) is $12,33 \text{ l} - 3,13 \text{ l} = 9,20 \text{ l}$

Dit wil zeggen een opbrengst aan permeaat van $\frac{9,20 \text{ l}}{1260 \text{ s}} \cdot 3600 \text{ s/h} = 26,29 \text{ l/h}$

Opmerking 1: bij de berekening wordt geen rekening gehouden met inweektijden die vereist zijn bij een chemische reiniging. Als we veronderstellen dat deze dezelfde zijn in alle situaties, dan is het mogelijk een vergelijking te maken tussen een aantal werksituaties.

Opmerking 2: bij de berekening wordt verondersteld dat de flux constant blijft gedurende productie, wat in de praktijk niet het geval zal zijn.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de permeaatopbrengst voor verschillende productietijden en verschillende spoeltijden, berekend volgens bovenstaande methode.

| Productietijd (min) | Permeaatopbrengst (l/h) | | | |
|---------------------|-------------------------|---------|---------|---------|
| | 60 s BF | 50 s BF | 40 s BF | 30 s BF |
| 35 | 30,75 | 31,77 | 32,79 | 33,83 |
| 30 | 29,74 | 30,92 | 32,11 | 33,31 |
| 25 | 28,35 | 29,74 | 31,16 | 32,59 |
| 20 | 26,29 | 28,00 | 29,74 | 31,51 |
| 15 | 22,94 | 25,16 | 27,43 | 29,74 |
| 10 | 16,55 | 19,69 | 22,94 | 26,29 |
| 5 | -0,50 | 4,86 | 10,53 | 16,55 |

Tabel 11: Permeaatopbrengst voor verschillende productie – en backflushtijden.

De gegevens zijn grafisch voorgesteld in onderstaande figuur.

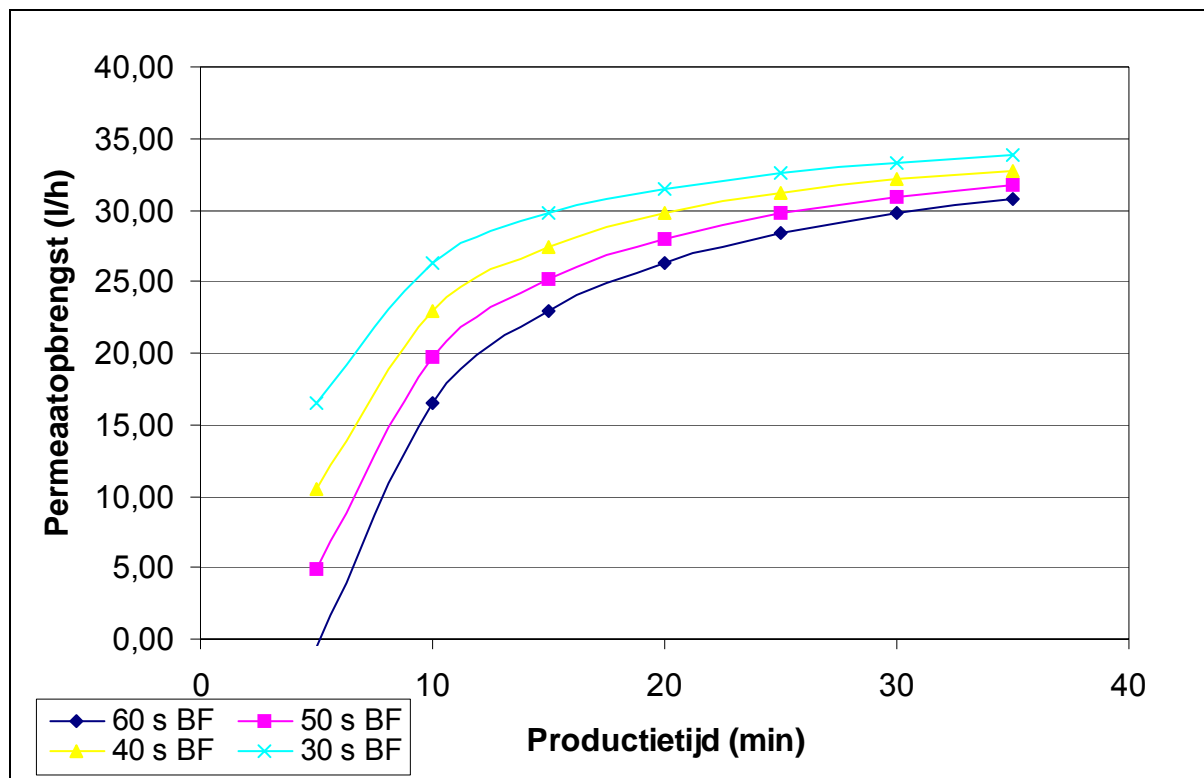


Fig. 42: Permeaatopbrengst voor verschillende productie – en backflushtijden.

De curve heeft een asymptotisch verloop: voor langere productietijden is de stijging van de permeaatopbrengst niet significant meer. Het heeft dus geen zin de productietijd te lang te maken, dit zal enkel resulteren in een grotere vervuiling van het membraan die daarbovenop moeilijker te verwijderen is (de vervuiling zal immers harder aangedrukt worden tegen het membraan).

Kortere BF – tijden resulteren uiteraard in een grotere permeaatopbrengst. Men moet er echter voor opletten dat de BF – tijd niet te sterk wordt ingekort, de contaminatie moet immers nog verwijderd kunnen worden van het membraan.

2.3.2 Gekozen werksituatie voor de proefnemingen

Aanvankelijk werd gewerkt met een productietijd van 20 min en een BF – tijd van 60 s. Later werd een werksituatie getest waarbij beide tijden gehalveerd werden. Beide situaties geven eenzelfde permeaatopbrengst (zie fig. 42). Onderstaande grafiek is gebaseerd op metingen van 2 en 5 maart (zie bijlage 1) en geeft de twee situaties weer.

Opmerking: opnieuw werd bij deze proefneming afvalwater gebruikt met een constante samenstelling.

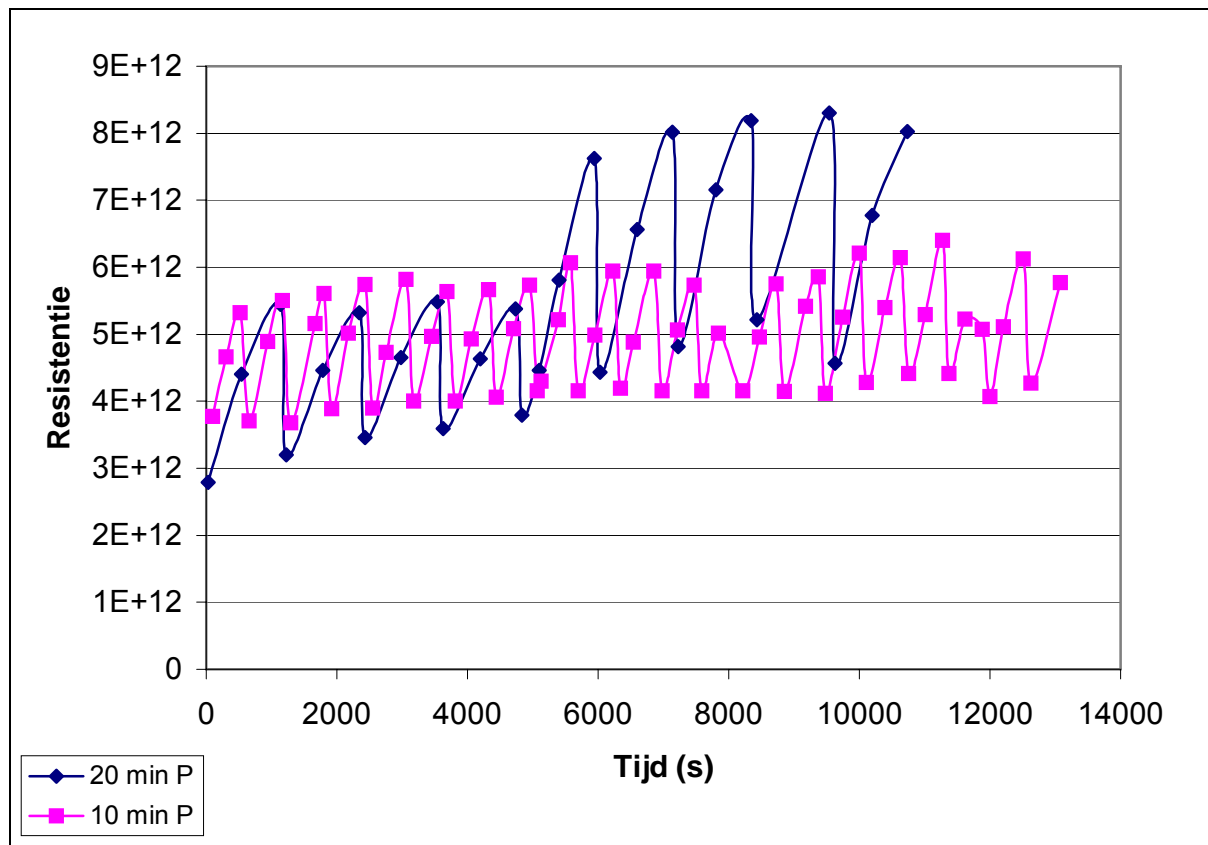


Fig. 43: Vergelijking van twee werksituaties.

We kunnen opmaken uit de grafiek dat het resistentieverloop langer constant blijft bij de roze curve dan bij de blauwe curve. Een verklaring voor dit verschijnsel ligt in het feit dat de dikte en stevigheid van het laagje vervuiling gereduceerd wordt door regelmatig te spoelen. De contaminatie wordt verwijderd vóórdat haar concentratie te hoog wordt en vóórdat ze te hard tegen het membraan wordt aangedrukt, met het gevolg dat ze gemakkelijker loskomt van het membraan.

Een chemische reiniging zal langer kunnen uitgesteld worden in het geval van de roze curve, resulterend in een kleiner aantal chemische reinigingen per dag. Dit betekent een kleiner verbruik van chemicaliën en een verkorting van de stilstandtijd (bij inweken). Bij verdere proefnemingen werd de voorkeur gegeven aan de tweede situatie, nl. 10 min productie en 30 s BF.

2.4 Efficiëntie van een spoeling

De efficiëntie van een spoeling kan worden nagegaan door het opstellen van een massabalans. Als de spoeling efficiënt verloopt, dan moeten de bestanddelen die gedurende één productie in de module worden gebracht deze ook terug verlaten tijdens de spoeling. In dit deel wordt een dergelijke berekening uitgewerkt; de parameter die we beschouwen is de ZS – concentratie.

ZS kunnen in de module gebracht worden via de voeding (tijdens productie), de BF en de FF, ze kunnen eruit worden verwijderd via de concentraatuitgang (dus tijdens een spoeling). Schematisch wordt dit:

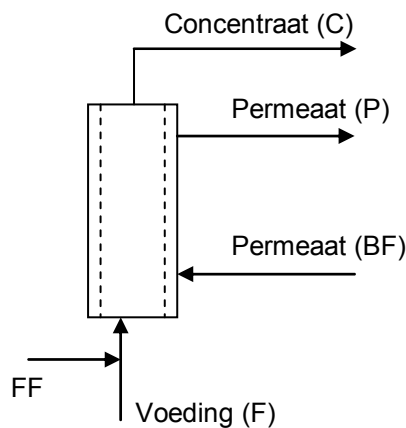


Fig. 44: Schema voor het opstellen van een massabalans.

Het debiet van het concentraat, permeaat (en dus de voeding) en de BF doorheen het membraan kan worden gemeten. Het debiet van de FF kan niet worden gemeten en moet theoretisch worden berekend.

Voorbeeldberekening:

De berekeningen worden uitgevoerd met meetgegevens van 5 maart 2007 (zie bijlage 1). Er werd toen gewerkt met 10 min productie en 30 s BF, waarvan 20 s FF.

| | Q (l/h) | ZS (mg/l) |
|----|---------|-----------|
| F | 37 | 215 |
| P | 37 | 0 |
| BF | 188 | 0 |
| C | 2090 | 280 |

Tabel 12: Meetgegevens van 5 maart 2007 voor het opstellen van een massabalans.

Opmerking 1: $Q_F = Q_P$ want tijdens productie kan de voeding enkel via de permeaatuitgang naar buiten treden (dead – end filtratie).

Opmerking 2: $ZS_P = ZS_{BF}$ want voor de BF wordt permeaat gebruikt.

Opmerking 3: de voedingspomp stopt niet tijdens de BF zodat ook dan ZS aan een debiet Q_F in de module worden gebracht. De tijdsduur gedurende hetwelk dit optreedt is gelijk aan de BF – tijd verminderd met de FF – tijd. Het FF – debiet (Q_{FF+F}) is in feite de som van Q_F en het eigenlijke Q_{FF} !

a. Berekening van het FF – debiet:

Het volume aan water dat per cyclus in de module treedt is gelijk aan het volume water dat per cyclus de module verlaat.

$$V_{in} = Q_F \cdot t_{productie} + Q_F \cdot (t_{BF} - t_{FF}) + Q_{FF+F} \cdot t_{FF} + Q_{BF} \cdot t_{BF}$$

$$V_{in} = 37 \text{ l/h} \cdot \frac{10 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} + 37 \text{ l/h} \cdot \frac{10 \text{ s}}{3600 \text{ s/h}} + 20 \text{ s} \cdot Q_{FF+F} + 188 \text{ l/h} \cdot \frac{30 \text{ s}}{3600 \text{ s/h}}$$

(1)

$$V_{\text{uit}} = Q_C \cdot t_{\text{BF}} + Q_P \cdot t_{\text{productie}}$$

$$V_{\text{uit}} = 2090 \text{ l/h} \cdot \frac{30 \text{ s}}{3600 \text{ s/h}} + 37 \text{ l/h} \cdot \frac{10 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} \quad (2)$$

Door (1) en (2) aan elkaar gelijk te stellen vinden we $Q_{\text{FF+FF}} = 2835 \text{ l/h}$.

b. Nagaan of alle ZS uit de module worden verwijderd bij een BF:

ZS worden in de module gebracht tijdens productie (stel F_1), tijdens de FF (stel FF) en door de voeding die wordt ingebracht in de module tijdens de BF (zie opm. 3) (stel F_2). Er worden geen ZS geïntroduceerd via permeaat, de ZS – concentratie van het permeaat is immers 0 mg/l.

ZS worden uit de module verwijderd met het concentraat (stel C).

IN:

$$F_1 = \frac{10 \text{ min} \cdot 215 \text{ mg/l} \cdot 37 \text{ l/h}}{60 \text{ min/h}} = 1,326 \text{ g}$$

$$F_2 = \frac{10 \text{ s} \cdot 215 \text{ mg/l} \cdot 37 \text{ l/h}}{3600 \text{ s/h}} = 0,0221 \text{ g}$$

$$\text{FF} = \frac{20 \text{ s} \cdot 215 \text{ mg/l} \cdot 2834,5 \text{ l/h}}{3600 \text{ s/h}} = 3,386 \text{ g}$$

UIT:

$$C = \frac{2090 \text{ l/h} \cdot 30 \text{ s} \cdot 280 \text{ mg/l}}{3600 \text{ s/h}} = 4,877 \text{ g}$$

DUS:

$$\sum IN = 4,734 \text{ g} \qquad \sum UIT = 4,877 \text{ g}$$

Het verschil is -0,143 g; deze kleine fout is heel goed mogelijk door fouten die zijn opgetreden bij de debietbepalingen en het niet onmiddellijk, maar geleidelijk sluiten van de kleppen. We kunnen echter besluiten dat alle ZS terug werden uitgespoeld in deze cyclus.

In principe zouden we dit ook kunnen gebruiken om een vergelijking te maken tussen de verschillende BF – methoden (ingekorte FF/weglaten FF). Dit wordt echter niet toegepast in deze thesis wegens een te gering aantal metingen; het opnemen van alle debieten en bepalen van de parameters van het afvalwater is immers een tijdsintensieve procedure.

Massabalansen kunnen worden opgenomen voor alle parameters en niet noodzakelijk voor ZS. Wij hebben dit berekend voor ZS omdat deze de grootste oorzaak van verstopping van het membraan zijn.

2.5 Effect van de zandfilter

Zoals hoger vermeld werd het STORK membraan te zwaar belast door de hoge ZS - concentraties in de voeding. Dit bracht een te lage netto – opbrengst aan permeaat met zich mee. Eenzelfde probleem doet zich voor bij het INGE AG membraan.

De korffilter die aanvankelijk tussen membraan en effluenttank van de biologie geschakeld was raakte zeer snel verstopt tot op een bepaald moment geen voeding meer doorgelaten werd. Het was dus noodzakelijk een zandfilter in te schakelen ter vervanging van de korffilter. Op die manier werd de belasting op de membranen ingeperkt. Een aantal resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel, deze zijn het gevolg van testen met het INGE AG membraan.

| Datum | COD in F vóór ZF (mg/l) | COD in F na ZF (mg/l) | ZS in F vóór ZF (mg/l) | ZS in F na ZF (mg/l) |
|------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 27/02/2007 | 366 | 260 | 180 | 104 |
| 26/03/2007 | 1367 | 595 | 1578,9 | 650 |

Tabel 13: Effect van de zandfilter op COD (Chemical Oxygen Demand) en zwevende stof concentraties.

Tabel 13 vertelt ons dat de ZS – concentratie in het filtraat van de zandfilter nog steeds hoog is. Deze hoge concentratie is te wijten aan de spoeling van de zandfilter die gebeurt met de voeding, dit is uiteraard geen optimale configuratie.

Onderstaande figuur (gebaseerd op testen van 20 en 28 februari 2007 met het INGE AG membraan (zie bijlage 1)) vertelt ons dat de fluxen hoger zijn bij inschakeling van een zandfilter. Eerlijkheidshalve moet gezegd worden dat de fluxmetingen met en zonder ZF niet afkomstig zijn van een afvalwater met eenzelfde samenstelling, de metingen zijn immers niet op eenzelfde dag uitgevoerd. Het verschil met/zonder ZF is echter in die mate groot dat geen twijfel bestaat over de zekerheid van het positieve effect van de ZF. De grafieken kunnen in dit opzicht dus zeker worden aangewend.

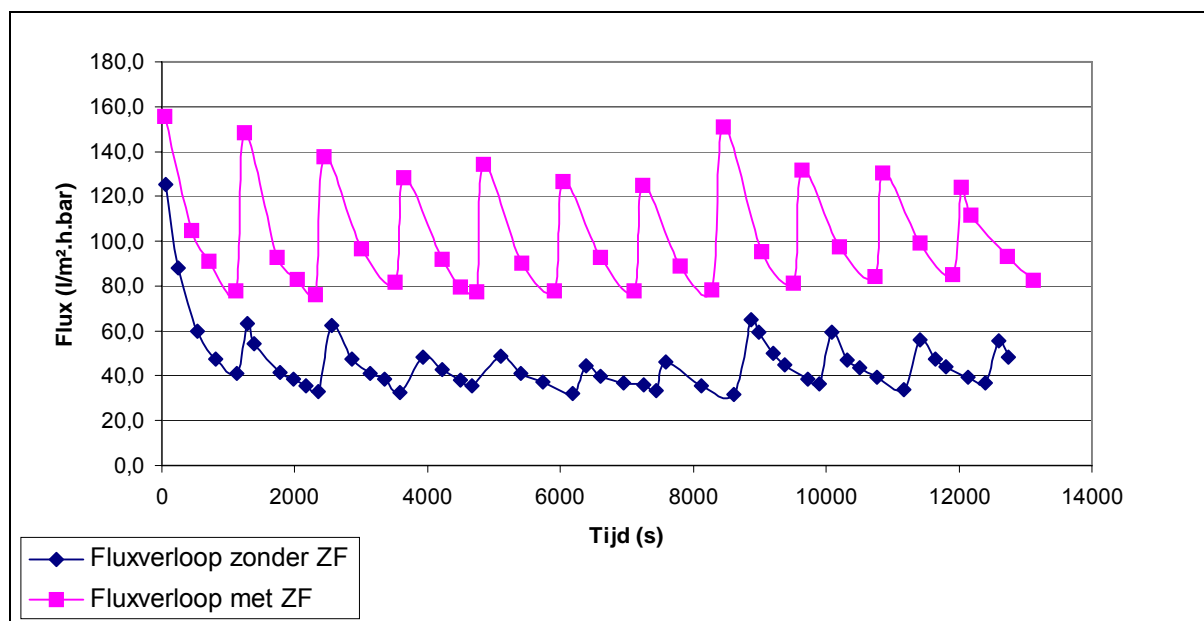


Fig. 45: Genormaliseerde fluxverloop met en zonder zandfilter.

We zien duidelijk dat de flux veel hoger gelegen is wanneer gebruik gemaakt wordt van een ZF. Wat ook opmerkelijk is, is dat de backflush efficiënter verloopt. Dit kan worden verklaard door het feit dat de vuilvracht aanzienlijk wordt verminderd, zodat ze ook gemakkelijker van het membraan kan worden weggespoeld.

Opnieuw wordt in deze figuur niet gecorrigeerd voor de temperatuur, daarom wordt in onderstaande figuur het resistentieverloop weergegeven.

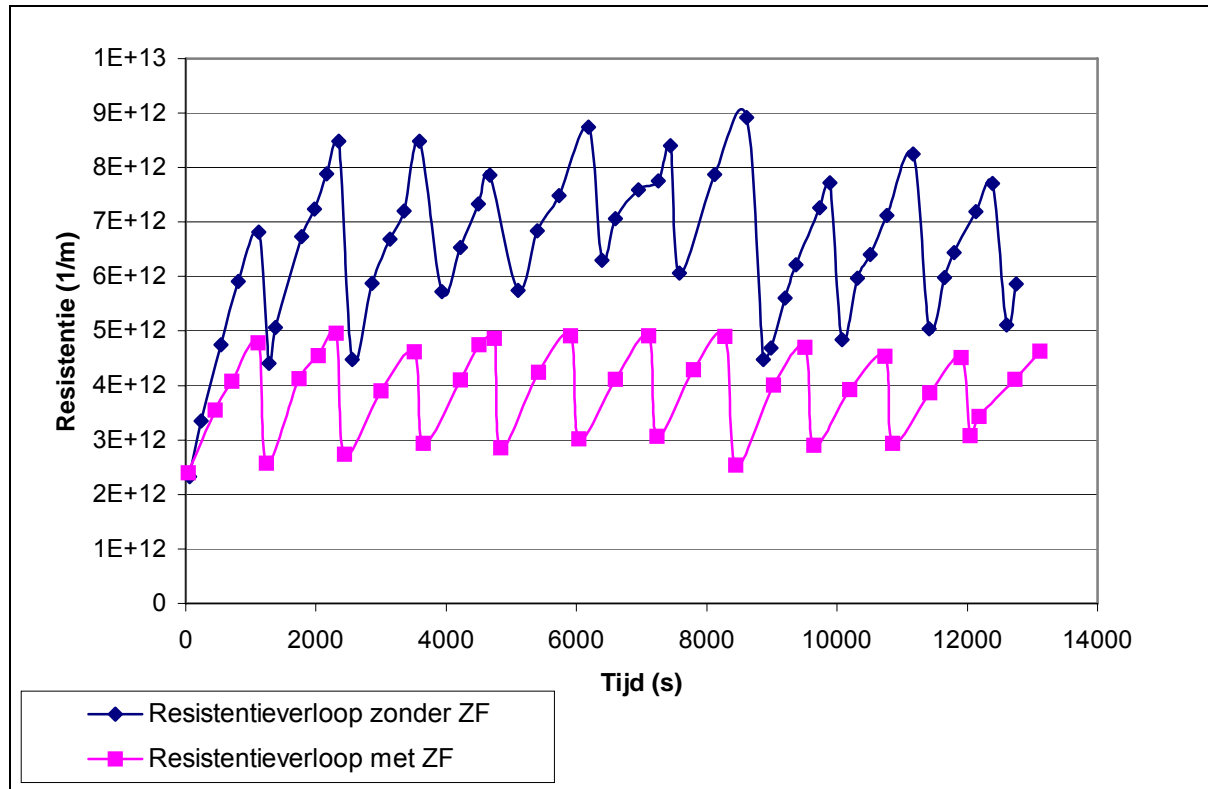


Fig. 46: Resistentieverloop met en zonder zandfilter.

3. Reinigingen

Om de effecten van een aantal reinigingen na te gaan, gaan we als volgt te werk:

- het membraan een aantal cycli laten ondergaan tot een chemische reiniging noodzakelijk geacht wordt;
- opnemen van een schoon water flux (SWF);
- chemische reiniging doorvoeren (inbrengen chemicaliën + inweektijd);
- uitspoelen van de chemicaliën;
- opnemen van een SWF;
- vergelijken SWF vóór en na de reiniging.

Volgende reinigingsmiddelen werden getest op hun efficiëntie:

- NaOCl en aangezuurd NaOCl;
- detergent op basis van NaOH (Ultrasil 110);
- citroenzuur;
- NaOH gevolgd door citroenzuurreiniging;
- enzymen.

3.1 Reiniging met NaOCl

De NaOCl die gebruikt wordt voor de testen is 'Javel' zoals deze in de supermarkten kan worden aangeschaft. Het actief chloor gehalte bedraagt 47,55 g/l.

Deze reiniging werd twee maal getest: een eerste test werd uitgevoerd met een oplossing die (theoretisch berekend) 150 ppm actief chloor bevat, een tweede test werd uitgevoerd met een aangezuurde 150 ppm actief chloor oplossing. De inweektijd is bij beide testen 30 min. We bekomen onderstaande grafiek (gegevens zie bijlage 3).

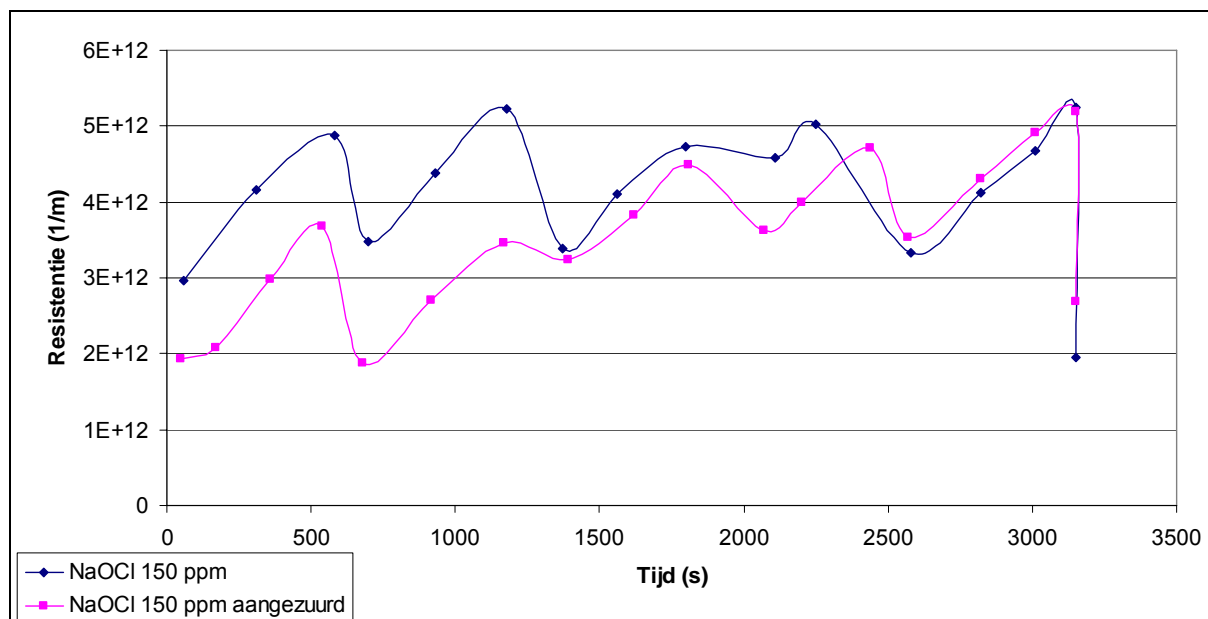


Fig. 47: Reiniging met NaOCl.

De plotse daling uiterst rechts op de figuur is het effect van de reiniging. We kunnen twee zaken opmaken: beide reinigingen leiden effectief tot een fluxstijging (resistentiedaling) die groter is dan een fluxstijging na een gewone spoeling en de niet aangezuurde NaOCl – oplossing leidt tot de grootste fluxstijging.

Met oog op het bekomen van een fluxstijging na een chemische reiniging is het beter de niet – aangezuurde oplossing te gebruiken, met oog op desinfectie voor bijvoorbeeld een langer stilstandtijd van het toestel is het beter de aangezuurde oplossing te gebruiken, dit wegens een verhoogde desinfecterende werking (zie deel I, Literatuurstudie, punt 5.1.4).

Onderstaande tabel geeft de resistentieverandering weer voor beide reinigingsmiddelen.

| Reiniging | R_{voor} (1/m) | R_{na} (1/m) | $\Delta R = R_{\text{na}} - R_{\text{voor}}$ (1/m) |
|----------------|-------------------------|-------------------------|--|
| NaOCl, pH 8,88 | $5,24374 \cdot 10^{12}$ | $1,94465 \cdot 10^{12}$ | $- 3,29908 \cdot 10^{12}$ |
| NaOCl, pH 6,01 | $5,19004 \cdot 10^{12}$ | $2,68272 \cdot 10^{12}$ | $- 2,50732 \cdot 10^{12}$ |

Tabel 14: Resistentieverandering na aangezuurde/niet – aangezuurde NaOCl – reiniging.

3.2 Reiniging met Ultrasil 110

De reiniging met Ultrasil 110 werd twee maal getest en bleek twee maal een negatief effect te hebben. Na reiniging (met een inweektijd van 30 min) lag de resistentie telkenmale hoger dan de resistentie vóór de reiniging. We moeten hierbij opmerken dat dit product enorm sterke schuimvorming vertoont. Na uitspoelen van de chemicaliën treedt nog een tijdlang schuim met het permeaat naar buiten, wat betekent dat niet alle chemicaliën verwijderd zijn na één uitspoeling. Deze factoren maken van Ultrasil 110 een oninteressant reinigingsmiddel voor de pilootinstallatie. Enkele waarden zijn in onderstaande tabel weergegeven.

| $R_{\text{voor}} (1/m)$ | $R_{\text{na}} (1/m)$ | $\Delta R = R_{\text{na}} - R_{\text{voor}} (1/m)$ |
|-------------------------|-------------------------|--|
| $4,03642 \cdot 10^{12}$ | $4,67172 \cdot 10^{12}$ | $6,35303 \cdot 10^{11}$ |

Tabel 15: Resistentieverandering na reiniging met Ultrasil 110.

Uit de tabel kunnen we zien dat ΔR een positieve waarde is, wat wil zeggen dat de resistentie stijgt na de reiniging.

De technische fiche horende bij Ultrasil 110 werd bijgevoegd in bijlage 3.

3.3 Reiniging met citroenzuur

De reiniging met citroenzuur leverde een heel goed resultaat op. Onderstaande tabel geeft de resistentie weer vóór en na reiniging. De inweektijd van het citroenzuur was 60 min, de pH bedroeg 2,3.

| $R_{\text{voor}} (1/m)$ | $R_{\text{na}} (1/m)$ | $\Delta R = R_{\text{na}} - R_{\text{voor}} (1/m)$ |
|-------------------------|-------------------------|--|
| $1,17 \cdot 10^{13}$ | $2,36893 \cdot 10^{12}$ | $-9,33107 \cdot 10^{12}$ |

Tabel 16: Resistentieverandering na reiniging met citroenzuur.

3.4 Tweefasige reiniging

Onderstaande figuur geeft het resultaat weer van een NaOH – reiniging gevolgd door een citroenzuurreiniging. De dalende, rode lijn is de resistentiedaling ten gevolge van de NaOH – reiniging; de daaropvolgende groene lijn is de verdere resistentiedaling die verkregen wordt door een citroenzuurreiniging. We zien meteen de hoge efficiëntie van de reiniging.

Gegevens horende bij de grafiek zijn terug te vinden in bijlage 3.

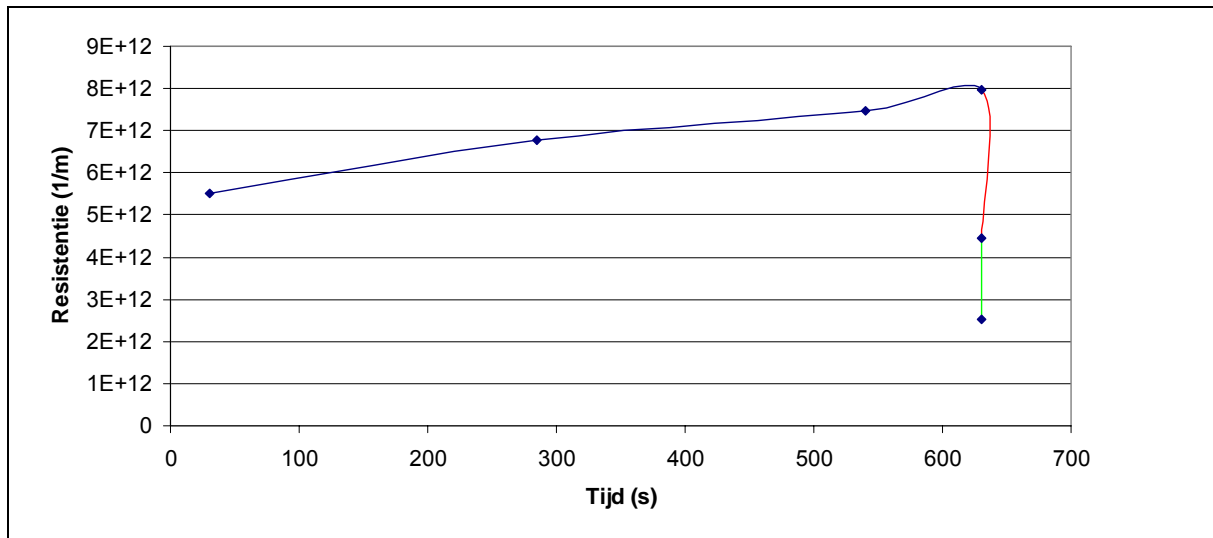


Fig. 48: NaOH – reiniging gevolgd door citroenzuurreiniging.

Getalwaarden zijn weergegeven in onderstaande tabel.

| Reiniging | R_{voor} (1/m) | R_{na} (1/m) | $\Delta R = R_{\text{na}} - R_{\text{voor}}$ (1/m) |
|---------------|-------------------------|-------------------------|--|
| NaOH | $7,97919 \cdot 10^{12}$ | $4,43533 \cdot 10^{12}$ | $-3,54386 \cdot 10^{12}$ |
| Citroenzuur | $4,43533 \cdot 10^{12}$ | $2,53235 \cdot 10^{12}$ | $-1,90298 \cdot 10^{12}$ |
| Totaal effect | | | $-5,44684 \cdot 10^{12}$ |

Tabel 17: Resistentieverandering na tweefasige reiniging.

Op het eerste zicht lijkt deze reiniging minder efficiënt dan een citroenzuurreiniging; we moeten hierbij wel opmerken dat de totale tijdsduur van deze reiniging slechts 30 min bedraagt in tegenstelling tot de citroenzuurreiniging die een volledig uur in beslag nam. Beide types reiniging zijn dus zeker efficiënt!

Opmerking: Een NaOH reiniging uitvoeren werd bemoeilijkt door de hydroxideneerslagen die gevormd werden met bestanddelen uit het permeaat. Deze troebelheid werd reeds gevormd bij een pH 9,5. Door de reiniging te combineren met een zure reiniging werden de eerder gevormde hydroxideneerslagen opgelost en mee verwijderd uit het membraan.

Een tweefasige reiniging kan ook worden doorgevoerd gebruik makend van zwavelzuur i.p.v. citroenzuur.

3.5 Enzymatische reiniging

De reiniging werd uitgevoerd met Filzym P. Dit product wordt onder poedervorm geleverd en een 1,5 % - oplossing is vereist voor reiniging van het membraan. De benodigde inweektijd is 60 min. De technische fiche van dit product is bijgevoegd in bijlage 3.

Het effect van de reiniging is weergegeven in onderstaande grafiek (gegevens zie bijlage 2).

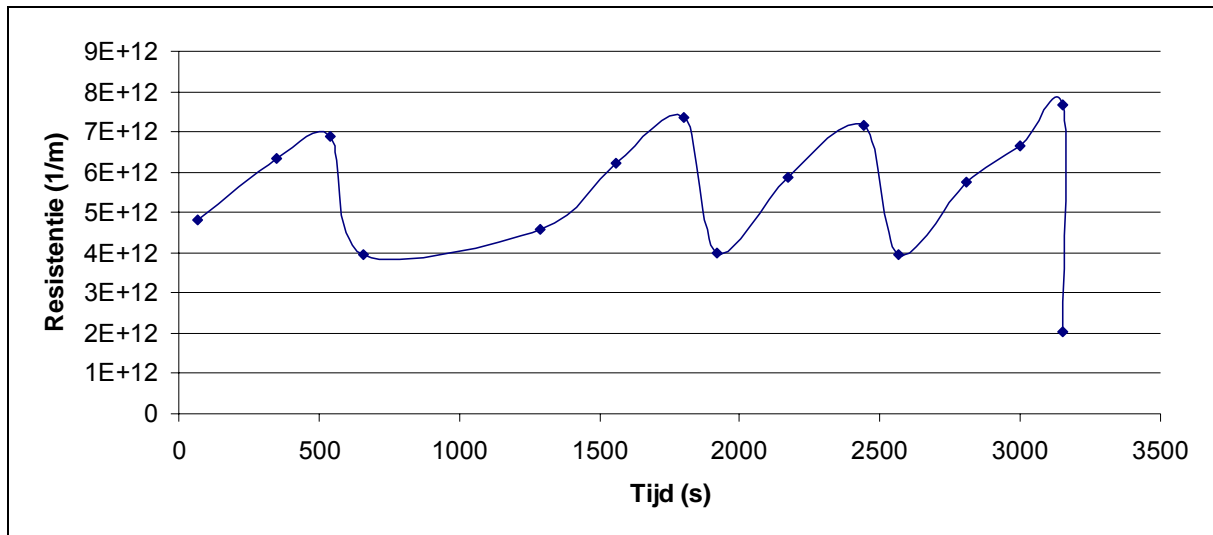


Fig. 49: Effect enzymatische reiniging.

Onderstaande tabel geeft de getalwaarden weer.

| R voor reiniging (1/m) | R na reiniging (1/m) | $\Delta R = R_{na} - R_{voor}$ (1/m) |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| $7,65471 \cdot 10^{12}$ | $2,03108 \cdot 10^{12}$ | $-5,62363 \cdot 10^{12}$ |

Tabel 18: Resistentieverandering na enzymatische reiniging.

De temperatuur speelt in dit geval een belangrijke rol. De temperatuur van het water voor deze reiniging bedroeg 12 °C. Door de temperatuur te verhogen naar het optimum van de enzymen zal de reiniging nog efficiënter verlopen.

3.6 Samengevat

| Reiniging | $\Delta R = R_{na} - R_{voor}$ (1/m) |
|-------------------|--------------------------------------|
| NaOCl | $-3,29908 \cdot 10^{12}$ |
| NaOCl, aangezuurd | $-2,50732 \cdot 10^{12}$ |
| Ultrasil 110 | $6,35303 \cdot 10^{12}$ |
| Citroenzuur | $-9,33107 \cdot 10^{12}$ |
| Tweefasig | $-5,44684 \cdot 10^{12}$ |
| Enzymatisch | $-5,62363 \cdot 10^{12}$ |

Tabel 19: Resistentieveranderingen bij de geteste reinigingen.

4. Kostprijsberekening

In dit deel wordt de kostprijs van een membraanfiltratie zonder pre – filtratie berekend. Deze wordt uitgedrukt in euro per m³ permeaat. De berekening gebeurt uitgaande van volgende configuratie:

- 10 min productie;
- 30 s BF;
- iedere 10 cycli een chemische BF (CBF) met javel; geen inweektijd;
- 1 maal per dag een chemische reiniging met javel met 1 uur inweektijd;
- 1 maal per week een zure reiniging (met citroenzuur/zwavelzuur).

4.1 Investeringskosten

Kostrprijs UF – installatie is 155 000 €.
 Installatie werkvast gedurende 15 jaar.
 Prijs per week is 198,72 €.

4.2 Exploitatiekosten

Onderstaande tabel geeft een overzicht weer van de kostprijs per product.

| Product | Kostprijs |
|---|--------------|
| Electriciteit | 0,074 €/kWh |
| NaOCl (15 %) | 0,21 €/kg |
| Citroenzuur (poeder) | 15 €/kg |
| Zwavelzuur (98 %) | 0,16 €/kg |
| Membranen INGE AG, type Dizzer 5000 (50 m ² actief oppervlak, flux 100 l/m ² .h) | 2 500 €/stuk |

Tabel 20: Exploitatiekosten.

Electriciteitskosten

De vermogens van de pompen:

- voedingspomp 1,50 kW;
- dompelpomp 1,50 kW;
- doseerpomp 0,1 kW.

Tijdens productie werkt de voedingspomp:

$$1,50 \text{ kW} \cdot 152,38 \text{ h} = 228,57 \text{ kWh}$$

$$\text{Prijs: } 228,57 \text{ kWh} \cdot 0,074 \text{ €/kWh} = 16,91 \text{ €/week}$$

Tijdens de BF werken de voedingspomp en de dompelpomp:

2 . 1,50 kW . 6,86 h = 20,58 kWh
 Prijs: 20,58 kWh . 0,074 €/kWh = 1,52 €/week

Tijdens de CBF werken de pomp en de doseerpomp:

1,50 kWh . 0,76h + 0,1 kW . 0,76 h = 1,22 kWh
 Prijs: 1,22 kWh . 0,074 €/kWh = 0,09 €/week

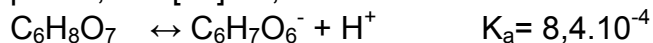
Totale elektriciteitskost is 18,52 €/week.

Kosten van de chemicaliën

Eerst worden de noodzakelijke berekeningen uitgevoerd:

- Voor de zure reiniging streven we naar een pH van 1,5 in de module. Eerst wordt berekend welke hoeveelheid citroenzuur hiervoor nodig is.

$$\text{pH} = 1,5 \rightarrow [\text{H}^+] = 0,0316 \text{ mol/l}$$



Uit deze gegevens vinden we dat de vereiste citroenzuurconcentratie voor een pH 1,5 gelijk is aan 1,189 mol/l.

1,189 mol/l . 192 g/mol = 228g/l citroenzuur in de module.

- Een goedkoper alternatief voor de zure reiniging is een reiniging met 98 % zwavelzuur.



$$\text{pH} = 1,5 \rightarrow [\text{H}^+] = 0,0316 \text{ mol/l, dus } [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{0,0316 \text{ mol/l}}{2} = 0,0158 \text{ mol/l}$$

$$\rho = 1,84 \text{ kg/l}$$

98 % zuiver

Massa H_2SO_4 per liter = 1840 g

Massa zuiver H_2SO_4 per liter = 1840 g . 98 % = 1803,2 g

Aantal mol zuiver H_2SO_4 = 18,39 mol

Dus: concentratie van de 98 % zwavelzuuroplossing is 18,39 mol/l.

Verdunningsregel: 18,39 mol/l . $V_1 = 0,0158 \text{ mol/l} . 93,75 \text{ l}$

V_1 = Volume 98 % H_2SO_4 dat moet worden aangelengd tot 93,75 l (zie eerste streepje) om een pH van 1,5 te verkrijgen in de module = 0,0805 l = 80,5 ml.

Uitgedrukt in massa: 1,84 kg/l . 0,0805 l = 0,148 kg

- Bij de reiniging met javel zorgen we ervoor dat de actief chloor concentratie 150 ppm bedraagt in de module. We beschikken over een oplossing die 47,55 g/l actief chloor bevat. Van deze oplossing hebben we 0,296 l nodig per CBF (wegens de verdunningsregel: 150 ppm . 93,75 l = 47550 ppm . V_2 , dus $V_2 = 0,296 \text{ l}$)

Prijsberekening voor citroenzuur

1 CBF met citroenzuur, pH 1,5

228 g/l in de module
 Hoeveelheid citroenzuur die wordt verbruikt per BF, en dus per week is:
 $228 \text{ g/l} \cdot 93,75 \text{ l} = 21,375 \text{ kg}$
 Prijs: $21,375 \text{ kg/week} \cdot 15 \text{ €/kg} = 320,60 \text{ €/week}$ Dit is niet haalbaar!

Alternatief: zwavelzuur

0,148 kg nodig per BF, en dus per week
 Prijs: $0,148 \text{ kg/week} \cdot 0,16 \text{ €/kg} = 0,02 \text{ €/week}$

Prijsberekening voor NaOCl

91,43 (zonder inweken) + 7 (met inweken) = 98,43 CBF per week
 Wekelijks NaOCl – verbruik: $98,43 \cdot 0,296 \text{ l} = 29,14 \text{ l/week}$
 Prijs: $29,14 \text{ l/week} \cdot 0,21 \text{ €/kg} \cdot 1,1 \text{ kg/l} = 6,73 \text{ €/week}$

Opvolging:

In de veronderstelling dat de installatie gedurende 2 h per week wordt opgevolgd tegen een kostprijs van 30 €/h bedraagt deze kost 60 €/week.

Vervanging van het membraan

De membranen worden iedere 5 jaar vervangen.
 Prijs per jaar is 500 €, prijs per week is 9,62 €.

Opmerking: In de praktijk zullen twee modules moeten worden ingeschakeld om een flux van 100 l/m².h te behalen. Het debiet van de BF, en het daarmee gepaard gaande verlies aan permeaat, zal verhogen bij gebruik van twee modules. Omdat deze berekening puur theoretisch is, en niet gebaseerd op praktische gegevens, is het moeilijk dit debiet in te schatten. De berekening wordt bijgevolg uitgevoerd in de veronderstelling dat één module volstaat.

4.3 Kost per kubieke meter permeaat

Permeaatopbrengst per week:

- Q_{BF} (uit technische fiche) = 11 250 l/h
 $11\,250 \text{ l/h} \cdot \frac{30s}{3600s/h} = 93,75 \text{ l}$ permeaat wordt verbruikt per BF.
 Q_P (uit technische fiche) = 5000 l/h
- Per week: 8 h stilstandtijd (inweektijden); 152,38 h productie; 6,86 uur BF en 0,76 h CBF

In de veronderstelling dat de installatie een debiet van 5 m³/h produceert krijgen we volgende netto – opbrengst:

Per week → 152,38 h productie levert 761,9 m³

Per week → 7,62 h BF levert een verlies van 7,62 h . 11,25 m³/h= 85,7 m³

Netto – opbrengst per week= 676,2 m³/week

Kostenberekening:

We beschouwen twee situaties:

- a. zure reiniging met citroenzuur

Totale kost per week is 614,19€.

Prijs per m³ permeaat is 0,91 €/m³.

- b. zure reiniging met zwavelzuur

Totale kost per week is 293,61 €.

Prijs per m³ permeaat is 0,43 €/m³.

Onderstaande tabel geeft de kosten per onderdeel weer bij wijze van samenvatting:

| | Kostprijs |
|---------------|---|
| Elektriciteit | 18,52 €/week |
| Chemicaliën | NaOCl: 6,73 €/week Citraenzuur: 320,60 €/week Zwavelzuur: 0,02 €/week |
| Membraan | 9,62 €/week |
| Installatie | 198,72 €/week |
| Opvolging | 60 €/week |
| Totaal | Met citroenzuur 0,91 €/m ³ Met zwavelzuur 0,43 €/m ³ |

Tabel 21: Samenvatting van de kosten per onderdeel.

4.4 Terugverdiëntijd

In de veronderstelling dat de kostprijs van de huidige waterzuivering 0,5 €/m³ bedraagt kunnen we de terugverdiëntijd berekenen.

De totale exploitatiekost van het membraanfiltratietoestel bedraagt 94,87 €/week (NaOCl als reinigingsmiddel); 45 werkweken geeft 4 270 €/jaar.

Door de membraanfiltratie heeft de exploitant de mogelijkheid de groenten te spoelen met het gezuiverde water, dit levert hem volgende brutobesparing:

676,2 m³/week, 45 werkweken geeft 30 430 m³/jaar.

Stel huidige kostprijs 0,5 €/m³; dit betekent een besparing van 15 215 €/jaar.

Door hiervan de exploitatiekost af te trekken kunnen we de netto – opbrengst berekenen:

$$15\,215 \text{ €/jaar} - 4\,270 \text{ €/jaar} = 10\,945 \text{ €/jaar}$$

$$\text{De terugverdientijd is dan } \frac{155\,000\text{€}}{10\,945\text{€/ jaar}} = 14 \text{ jaar.}$$

Een terugverdientijd van 14 jaar is niet interessant; we bereken nu de terugverdientijd in de veronderstelling dat stadswater wordt gebruikt voor het wassen van de groenten (prijs stadswater is 1,5 €/m³).

In dit geval zal het membraanfiltratietoestel hem volgende brutobesparing opleveren:

$$1,5 \text{ €/m}^3 \cdot 30\,430 \text{ m}^3/\text{jaar} = 45\,645 \text{ €/jaar.}$$

$$\text{Netto – opbrengst is } 45\,645 \text{ €/jaar} - 4\,270 \text{ €/jaar} = 41\,375 \text{ €/jaar.}$$

$$\text{De terugverdientijd is dan } \frac{155\,000\text{€}}{41\,375\text{€/ jaar}} = 3,7 \text{ jaar.}$$

Membraanfiltratie is hier al veel interessanter.

Deel IV

Besluiten

1 Besluiten

Het doel van dit eindwerk was het vinden van een werkbare situatie voor een ultrafiltratietoestel dat werd ingeschakeld voor een bijkomende zuivering van effluent van een biologisch actief – slibstelsysteem. Conclusies hieromtrent worden hieronder weergegeven; ook een aantal voorstellen tot verder onderzoek worden vermeld.

1.1 Haalbaarheid

- Het ultrafiltratiemembraan voldoet aan de verwachtingen wat betreft de verwijderingrendementen. De pilootinstallatie produceert een permeaat dat volledig kiemvrij is en vrij is van zwevende stoffen. Het membraan is in staat de COD van het water sterk te reduceren (57,5 mg/l naar 23,6 mg/l); dit laatste is uiteraard mede te wijten aan het feit dat het membraan alle zwevende stoffen tegenhoudt (79 mg/l naar 0 mg/l).
Deze factoren, en voornamelijk het feit dat een kiemvrij permeaat wordt geproduceerd, impliceren dat ultrafiltratie de mogelijkheid biedt tot hergebruik van spoelwater.
- Tijdens de proefnemingsperiode is geen stabiele bedrijfsvoering aangetoond. Latere testen tonen aan dat continue filtratie toch mogelijk is. Ultrafiltratie kan dus aangewend worden om effluent van de biologische waterzuivering te zuiveren. De inschakeling van een zandfilter als pre – filtratie voor de pilootinstallatie is wel noodzakelijk vanaf een zwevende stof concentratie van 50 mg/l .
- Het niet vinden van een stabiele werksituatie binnen de proefnemingsperiode betekent ook dat optimalisatie van het membraanfiltratietoestel een sterk arbeidsintensieve procedure is. Ultrafiltratie zal dus een dure aangelegenheid zijn: de optimalisatie – en werkingskosten zijn hoog. De vergelijking met andere technieken, die veel goedkoper zijn dan membraanfiltratie (bijv. UV – desinfectie op effluent van een biologische waterzuivering nadat het door een zandfilter is gepasseerd), dient te worden gemaakt.
- De stap naar de overschakeling op membraanfiltratietechnieken wordt bovendien vergroot door het feit dat een copy/paste – techniek moeilijk is; goede werking van een membraanfiltratietoestel is namelijk afhankelijk van tal van factoren.

1.2 Optimalisatie

- Directe ultrafiltratie op effluent van het biologische waterzuiveringsstelsysteem is moeilijk, inschakeling van een zandfilter als pre – filtratie is noodzakelijk. Pre – filtratie biedt eveneens een zekere veiligheid t.o.v. het membraan tegen schommelingen in de kwaliteit van het effluent van het biologische waterzuiveringsstelsysteem die kunnen ontstaan ten gevolge van problemen met dit stelsysteem (bijv. afpompen van biologisch slib met het effluent). De proefnemingen tonen ons immers aan dat het ultrafiltratiemembraan geen hoge zwevende stof concentraties kan verwerken, dit geeft immers aanleiding tot snelle verstopping.

Daarnaast heeft de inschakeling van een zandfilter een positief effect op de efficiëntie van de spoelingen. Door de lagere vuilvracht in de voeding zal contaminatie gemakkelijker kunnen worden verwijderd van het membraan.

- Voor deze pilootinstallatie blijkt de forward flush een negatieve werking te hebben op de spoelingen. Weglaten van de forward flush maakt het mogelijk reinigingen langer uit te stellen, wat een economisch voordeel biedt. Ook wordt het membraan op die manier minder blootgesteld aan chemicaliën zodat de membraaneigenschappen minder snel zullen achteruitgaan. Inschakeling van de forward flush kan wel noodzakelijk zijn voor het uitspoelen van de chemicaliën zodat deze niet in het permeaat terechtkomen.
- Regelmatig spoelen van het membraan is noodzakelijk, vervuiling wordt hierdoor gemakkelijker verwijderd zodat de flux minder snel achteruitgaat. Ook kan een chemische reiniging op die manier langer worden uitgesteld zodat verbruik van chemicaliën en de stilstandtijd worden gereduceerd. De eigenschappen van het membraan blijven op die manier ook langer behouden.
- Ultrasil 110 kan niet worden aangewend als reinigingsmiddel, het gaat immers gepaard met een stijging van de resistentie van het membraan. De resistentieveranderingen van de andere geteste reinigingsmiddelen worden nog eens samengevat in onderstaande tabel.

| Reiniging | $\Delta R = R_{na} - R_{voor}$ (1/m) | Product | Kostprijs (€/kg) |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| NaOCl | $-3,29908 \cdot 10^{12}$ | NaOCl | 0,21 |
| NaOCl, aangezuurd | $-2,50732 \cdot 10^{12}$ | NaOCl | 0,21 |
| | | H ₂ SO ₄ (98%) | 0,16 |
| Citroenzuur | $-9,33107 \cdot 10^{12}$ | Citroenzuur | 15 |
| Tweefasig | $-5,44684 \cdot 10^{12}$ | Citroenzuur | 15 |
| | | NaOH | 0,15 |
| Enzymatisch | $-5,62363 \cdot 10^{12}$ | Filzym P | 5,59 |

Tabel 22: Resistentieverandering en kostprijs van bruikbare reinigingsmiddelen.

De keuze van het reinigingsmiddel zal afhankelijk zijn van de resistentiedaling die het veroorzaakt en van de kostprijs. Citroenzuur geeft de grootste resistentiedaling, maar draagt ook een hoge kostprijs.

- Een kostprijsberekening laat ons toe de prijs per kubieke meter geproduceerd permeaat te berekenen; deze zal mede afhankelijk zijn van het gekozen reinigingsmiddel. In dit eindwerk werd de berekening doorgevoerd voor een installatie die 5 m³/h permeaat produceert en die frequent wordt gereinigd met NaOCl; ze bedraagt 0,43 € indien wekelijks wordt gereinigd met zwavelzuur en 0,91 € indien wekelijks wordt gereinigd met citroenzuur.
- Een terugverdientijd werd berekend, uitgaande van de veronderstelling dat de kostprijs van de huidige zuiveringsinstallatie 0,5 €/m³ bedraagt; dit zou betekenen dat de installatie op 14 jaar zou zijn terugbetaald. Dit is echter weinig aantrekkelijk.
- Een terugverdientijd werd berekend, uitgaande van de veronderstelling dat de groenten worden gereinigd met stadswater (kostprijs 1,5 €/m³); dit zou betekenen dat de installatie op 3,7 jaar zou zijn terugbetaald. In dit geval is de keuze voor de omschakeling naar membraanfiltratie al sneller gemaakt.

2 Voorstellen tot verder onderzoek

- De proefnemingsperiode bedroeg 6 maanden; dit betekent dat onderzoek naar de veroudering van het membraan niet mogelijk was. Met oog op een kostprijsberekening kan deze informatie nuttig zijn.
- Er werd geen onderzoek verricht naar de invloed van een debietwijziging van de forward flush. Gedurende de proefnemingen werd met een vast debiet gewerkt. De invloed van het forward flush debiet op de efficiëntie van een spoeling kan van belang zijn bij optimalisatie van een membraanfiltratieproces.
- Een optimale configuratie (inweektijden, reinigingsfrequenties, productietijden, etc.) werd niet gevonden gedurende de proefnemingsperiode, dit vereist verder onderzoek.
- De invloed van de watertemperatuur op de filtratie werd niet nagegaan gedurende de proefnemingen. Deze informatie kan van belang zijn om de seizoensinvloeden na te gaan.
- De invloed van de temperatuur op een enzymatische reiniging kan worden bestudeerd. Door te werken bij het temperatuuroptimum van de enzymen kan een efficiëntere reiniging bekomen worden.

Literatuurlijst

Bacchin P., Aimar P. & Field R.W. Critical and sustainable fluxes: theory, experiments and applications. *Journal of Membrane Science*, 281, 15 september 2006, pp. 42–69 (cd – rom)

Bepaling van de droogrest (2005). Geraadpleegd op 3 maart 2007 via <http://www.vito.be/milieu/pdf/wma/WAC%20III%20A%20001.pdf>

Bepaling van totaal kiemgetal (2005). Geraadpleegd op 3 maart 2007 via <http://www.vito.be/milieu/pdf/wma/WAC%20V%20A%20001.pdf>

Bourgeois, K.N., Darby, J.L. & Tchobanoglous, G. (2001). Ultrafiltration of wastewater: effects of particles, mode of operation, and backwash effectiveness. *Water Research*, 35 (1), pp. 77-90.

Carpentier, J. *et al.* (2004). *Jaarboek water 2004*. Mechelen: Kluwer.

Dudley L.Y. & Baker J.S. (z.j.). *The role of antiscalants and cleaning: chemicals to control membrane fouling*. Geraadpleegd op 25 februari 2007 via <http://www.derwentwatersystems.co.uk/chemical-treatments/paper-nine.pdf>.

General Electric Company (z.j.). *Reverse osmosis*. Geraadpleegd op 7 april 2007 via http://www.zenon.com/resources/glossary/reverse_osmosis.shtml.

HACH LANGE NV (2006). *Productinformatie: laboratorium analyse kuvettentest*. Geraadpleegd op 3 maart 2007 via <http://www.nl.hach-lange.be/shop/>.

Huisman, L. (1996). *Rapid filtration*. Department of Civil Engineering, TUDelft, Delft, p. 52.

INGE AG (2006). *Inge ultrafiltration: technical manual*. UF Technical Manual Release 01 (06-09)E.

IRH Environnement & Roubaty, J.L. (2001). *Chlore eau de javel*. Geraadpleegd op 16 maart 2007 via <http://www.legionnellose.com/seminaire/seminaireChlore%20eau%20de%20javel.shtml>.

Kim, J.H. & Kim, C.K. Ultrafiltration membranes prepared from blends of polyethersulfone and poly(1-vinylpyrrolidone-co-styrene) copolymers. *Journal of Membrane Science*, 262, 1 oktober 2005, pp. 60-68 (cd – rom)

Lenntech Water – en Luchtbehandeling (z.j.). *Desinfectiemiddelen: chloor*. Geraadpleegd op 16 april 2007 via <http://www.lenntech.com/waterdesinfectie/desinfectiemiddelen-chloor.htm>.

Koenders, P.M.D. (2001). *Directe nanofiltratie op twentekanaalwater: haalbaarheidsonderzoek naar one – step treatment van oppervlaktewater*. Afstudeerwerk, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen.

Kuzmenko, D. *et al.* Chemical cleaning of UF membranes fouled by BSA. *Desalination*, 179, 2004, pp. 323-333. (cd – rom)

Lambert, K. (2004). *De membraanbioreactor: eendagsvlieg of trendsetter?* Geraadpleegd op 25 februari 2007 via http://www.seewater.org/pdf/Press/Aww_0804.pdf.

Mulder, M. (1996). *Basic principles of membrane technology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Qin J., Oo M. H., & Li Y. Development of high flux polyethersulfone hollow fiber ultrafiltration membranes from a low critical solution temperature dope via hypochlorite treatment. *Journal of Membrane Science*, 247, februari 2005, pp. 137-142 (cd – rom)

Roorda, J.H. (2004). *Filtration characteristics in dead-end ultrafiltration of wwtp-effluent*. Doctoraat, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen.

TREVI N.V. (2006). *Proces Visualisatie Diagram: Waterzuiveringsinstallatie Cool – Dendermonde*.

Bijlage 1: Fluxmetingen

| Datum | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | t (s) | J _n (l/m ² .h.bar) |
|------------|--------|---------|-------------------------|--------|-----------|-------|--|
| 20/02/2007 | 1 | 0,40 | 50,1 | 12,0 | 2,329E+12 | 60 | 125,1 |
| | | 0,40 | 35,3 | 12,5 | 3,350E+12 | 240 | 88,2 |
| | | 0,41 | 24,5 | 11,0 | 4,752E+12 | 540 | 59,7 |
| | | 0,42 | 19,9 | 10,5 | 5,905E+12 | 810 | 47,3 |
| | | 0,42 | 17,2 | 10,5 | 6,817E+12 | 1120 | 41,0 |
| | 2 | 0,40 | 25,4 | 10,5 | 4,406E+12 | 1280 | 63,4 |
| | | 0,41 | 22,3 | 10,0 | 5,061E+12 | 1380 | 54,4 |
| | | 0,42 | 17,4 | 10,5 | 6,728E+12 | 1780 | 41,5 |
| | | 0,42 | 16,2 | 10,5 | 7,233E+12 | 1980 | 38,6 |
| | | 0,43 | 15,2 | 10,5 | 7,887E+12 | 2160 | 35,4 |
| | | 0,43 | 14,2 | 10,5 | 8,480E+12 | 2350 | 33,0 |
| | 3 | 0,41 | 25,6 | 10,5 | 4,476E+12 | 2560 | 62,4 |
| | | 0,42 | 20,0 | 10,5 | 5,880E+12 | 2860 | 47,5 |
| | | 0,42 | 17,3 | 10,0 | 6,691E+12 | 3140 | 41,2 |
| | | 0,42 | 16,1 | 10,0 | 7,199E+12 | 3350 | 38,3 |
| | | 0,42 | 13,6 | 10,0 | 8,486E+12 | 3590 | 32,5 |
| | 4 | 0,41 | 19,7 | 10,0 | 5,725E+12 | 3930 | 48,1 |
| | | 0,41 | 17,5 | 10,5 | 6,539E+12 | 4220 | 42,7 |
| | | 0,41 | 15,6 | 10,5 | 7,337E+12 | 4490 | 38,1 |
| | | 0,42 | 14,9 | 10,5 | 7,861E+12 | 4670 | 35,6 |
| | 5 | 0,41 | 20,0 | 10,5 | 5,740E+12 | 5100 | 48,7 |
| | | 0,41 | 16,8 | 10,5 | 6,836E+12 | 5400 | 40,9 |
| | | 0,41 | 15,3 | 10,5 | 7,483E+12 | 5730 | 37,4 |
| | | 0,41 | 13,1 | 10,5 | 8,744E+12 | 6180 | 32,0 |
| | 6 | 0,41 | 18,2 | 10,5 | 6,293E+12 | 6390 | 44,4 |
| | | 0,41 | 16,2 | 10,5 | 7,061E+12 | 6600 | 39,6 |
| | | 0,41 | 15,1 | 10,5 | 7,596E+12 | 6950 | 36,8 |
| | | 0,41 | 14,8 | 10,5 | 7,752E+12 | 7260 | 36,1 |
| | | 0,41 | 13,6 | 10,5 | 8,402E+12 | 7440 | 33,3 |
| | 7 | 0,41 | 18,9 | 10,5 | 6,064E+12 | 7580 | 46,1 |
| | | 0,41 | 14,6 | 10,5 | 7,874E+12 | 8120 | 35,5 |
| | | 0,41 | 13,0 | 11,0 | 8,920E+12 | 8610 | 31,8 |
| | 8 | 0,40 | 26,1 | 12,0 | 4,474E+12 | 8870 | 65,1 |
| | | 0,40 | 23,8 | 10,5 | 4,688E+12 | 8985 | 59,6 |
| | | 0,40 | 20,0 | 10,5 | 5,600E+12 | 9200 | 49,9 |
| | | 0,40 | 18,0 | 10,5 | 6,217E+12 | 9370 | 45,0 |
| | | 0,40 | 15,4 | 10,5 | 7,264E+12 | 9730 | 38,5 |
| | | 0,40 | 14,5 | 10,5 | 7,723E+12 | 9890 | 36,2 |
| | 9 | 0,40 | 23,8 | 11,5 | 4,837E+12 | 10080 | 59,4 |
| | | 0,40 | 18,7 | 10,5 | 5,965E+12 | 10310 | 46,9 |
| | | 0,40 | 17,4 | 10,5 | 6,407E+12 | 10505 | 43,6 |
| | | 0,40 | 15,7 | 10,5 | 7,123E+12 | 10770 | 39,2 |
| | | 0,40 | 13,6 | 10,5 | 8,243E+12 | 11170 | 33,9 |
| | 10 | 0,40 | 22,5 | 11,0 | 5,044E+12 | 11410 | 56,2 |
| | | 0,40 | 19,0 | 11,0 | 5,976E+12 | 11650 | 47,4 |
| | | 0,40 | 17,6 | 11,0 | 6,442E+12 | 11800 | 44,0 |
| | | 0,40 | 15,8 | 11,0 | 7,189E+12 | 12130 | 39,4 |
| | | 0,40 | 14,7 | 11,0 | 7,710E+12 | 12390 | 36,8 |
| | 11 | 0,40 | 22,2 | 11,0 | 5,114E+12 | 12600 | 55,4 |
| | | 0,40 | 19,4 | 11,0 | 5,859E+12 | 12750 | 48,4 |

| Datum | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | t (s) | J _n (l/m ² .h.bar) |
|------------|--------|---------|-------------------------|--------|-----------|-------|--|
| 27/02/2007 | 1 | 0,40 | 50,1 | 12,0 | 2,329E+12 | 60 | 125,1 |
| | | 0,40 | 35,3 | 12,5 | 3,350E+12 | 240 | 88,2 |
| | | 0,41 | 24,5 | 11,0 | 4,752E+12 | 540 | 59,7 |
| | | 0,42 | 19,9 | 10,5 | 5,905E+12 | 810 | 47,3 |
| | | 0,42 | 17,2 | 10,5 | 6,817E+12 | 1120 | 41,0 |
| | 2 | 0,40 | 25,4 | 10,5 | 4,406E+12 | 1280 | 63,4 |
| | | 0,41 | 22,3 | 10,0 | 5,061E+12 | 1380 | 54,4 |
| | | 0,42 | 17,4 | 10,5 | 6,728E+12 | 1780 | 41,5 |
| | | 0,42 | 16,2 | 10,5 | 7,233E+12 | 1980 | 38,6 |
| | | 0,43 | 15,2 | 10,5 | 7,887E+12 | 2160 | 35,4 |
| | | 0,43 | 14,2 | 10,5 | 8,480E+12 | 2350 | 33,0 |
| | 3 | 0,41 | 25,6 | 10,5 | 4,476E+12 | 2560 | 62,4 |
| | | 0,42 | 20,0 | 10,5 | 5,880E+12 | 2860 | 47,5 |
| | | 0,42 | 17,3 | 10,0 | 6,691E+12 | 3140 | 41,2 |
| | | 0,42 | 16,1 | 10,0 | 7,199E+12 | 3350 | 38,3 |
| | | 0,42 | 13,6 | 10,0 | 8,486E+12 | 3590 | 32,5 |
| | 4 | 0,41 | 19,7 | 10,0 | 5,725E+12 | 3930 | 48,1 |
| | | 0,41 | 17,5 | 10,5 | 6,539E+12 | 4220 | 42,7 |
| | | 0,41 | 15,6 | 10,5 | 7,337E+12 | 4490 | 38,1 |
| | | 0,42 | 14,9 | 10,5 | 7,861E+12 | 4670 | 35,6 |
| | 5 | 0,41 | 20,0 | 10,5 | 5,740E+12 | 5100 | 48,7 |
| | | 0,41 | 16,8 | 10,5 | 6,836E+12 | 5400 | 40,9 |
| | | 0,41 | 15,3 | 10,5 | 7,483E+12 | 5730 | 37,4 |
| | | 0,41 | 13,1 | 10,5 | 8,744E+12 | 6180 | 32,0 |
| | 6 | 0,41 | 18,2 | 10,5 | 6,293E+12 | 6390 | 44,4 |
| | | 0,41 | 16,2 | 10,5 | 7,061E+12 | 6600 | 39,6 |
| | | 0,41 | 15,1 | 10,5 | 7,596E+12 | 6950 | 36,8 |
| | | 0,41 | 14,8 | 10,5 | 7,752E+12 | 7260 | 36,1 |
| | | 0,41 | 13,6 | 10,5 | 8,402E+12 | 7440 | 33,3 |
| | 7 | 0,41 | 18,9 | 10,5 | 6,064E+12 | 7580 | 46,1 |
| | | 0,41 | 14,6 | 10,5 | 7,874E+12 | 8120 | 35,5 |
| | | 0,41 | 13,0 | 11,0 | 8,920E+12 | 8610 | 31,8 |
| | 8 | 0,40 | 26,1 | 12,0 | 4,474E+12 | 8870 | 65,1 |
| | | 0,40 | 23,8 | 10,5 | 4,688E+12 | 8985 | 59,6 |
| | | 0,40 | 20,0 | 10,5 | 5,600E+12 | 9200 | 49,9 |
| | | 0,40 | 18,0 | 10,5 | 6,217E+12 | 9370 | 45,0 |
| | | 0,40 | 15,4 | 10,5 | 7,264E+12 | 9730 | 38,5 |
| | | 0,40 | 14,5 | 10,5 | 7,723E+12 | 9890 | 36,2 |
| | 9 | 0,40 | 23,8 | 11,5 | 4,837E+12 | 10080 | 59,4 |
| | | 0,40 | 18,7 | 10,5 | 5,965E+12 | 10310 | 46,9 |
| | | 0,40 | 17,4 | 10,5 | 6,407E+12 | 10505 | 43,6 |
| | | 0,40 | 15,7 | 10,5 | 7,123E+12 | 10770 | 39,2 |
| | | 0,40 | 13,6 | 10,5 | 8,243E+12 | 11170 | 33,9 |
| | 10 | 0,40 | 22,5 | 11,0 | 5,044E+12 | 11410 | 56,2 |
| | | 0,40 | 19,0 | 11,0 | 5,976E+12 | 11650 | 47,4 |
| | | 0,40 | 17,6 | 11,0 | 6,442E+12 | 11800 | 44,0 |
| | | 0,40 | 15,8 | 11,0 | 7,189E+12 | 12130 | 39,4 |
| | | 0,40 | 14,7 | 11,0 | 7,710E+12 | 12390 | 36,8 |
| | 11 | 0,40 | 22,2 | 11,0 | 5,114E+12 | 12600 | 55,4 |
| | | 0,40 | 19,4 | 11,0 | 5,859E+12 | 12750 | 48,4 |
| 28/02/2007 | 1 | 0,22 | 26,1 | 11,0 | 2,391E+12 | 40 | 155,6 |

| Datum | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | t (s) | J _n (l/m ² .h.bar) |
|-----------|--------|---------|-------------------------|--------|-----------|-------|--|
| | | 0,22 | 17,6 | 11,0 | 3,547E+12 | 455 | 104,9 |
| | | 0,22 | 15,3 | 11,0 | 4,077E+12 | 710 | 91,3 |
| | | 0,22 | 13,0 | 11,0 | 4,781E+12 | 1110 | 77,8 |
| | 2 | 0,20 | 22,6 | 12,0 | 2,579E+12 | 1240 | 148,3 |
| | | 0,22 | 15,6 | 12,0 | 4,120E+12 | 1740 | 92,9 |
| | | 0,22 | 13,9 | 11,5 | 4,551E+12 | 2040 | 82,9 |
| | | 0,22 | 12,7 | 11,5 | 4,964E+12 | 2310 | 76,0 |
| | 3 | 0,20 | 21,0 | 11,5 | 2,743E+12 | 2440 | 137,5 |
| | | 0,20 | 14,7 | 11,5 | 3,907E+12 | 3000 | 96,6 |
| | | 0,20 | 12,5 | 11,5 | 4,617E+12 | 3510 | 81,7 |
| | 4 | 0,21 | 20,5 | 11,5 | 2,940E+12 | 3645 | 128,3 |
| | | 0,21 | 14,7 | 11,5 | 4,097E+12 | 4220 | 92,1 |
| | | 0,21 | 12,7 | 11,5 | 4,745E+12 | 4500 | 79,5 |
| | | 0,21 | 12,4 | 11,5 | 4,867E+12 | 4740 | 77,5 |
| | 5 | 0,20 | 20,4 | 12,0 | 2,852E+12 | 4840 | 134,1 |
| | | 0,21 | 14,4 | 12,0 | 4,239E+12 | 5415 | 90,2 |
| | | 0,21 | 12,4 | 12,0 | 4,917E+12 | 5910 | 77,8 |
| | 6 | 0,20 | 19,3 | 12,0 | 3,020E+12 | 6040 | 126,7 |
| | | 0,20 | 14,2 | 12,0 | 4,117E+12 | 6600 | 92,9 |
| | | 0,20 | 11,9 | 12,0 | 4,907E+12 | 7110 | 77,9 |
| | 7 | 0,20 | 19,0 | 12,0 | 3,068E+12 | 7240 | 124,7 |
| | | 0,20 | 13,6 | 12,0 | 4,294E+12 | 7800 | 89,1 |
| | | 0,20 | 11,9 | 12,0 | 4,901E+12 | 8280 | 78,0 |
| | 8 | 0,20 | 23,0 | 12,0 | 2,538E+12 | 8445 | 150,7 |
| | | 0,21 | 15,3 | 12,0 | 4,005E+12 | 9030 | 95,5 |
| | | 0,21 | 13,0 | 12,0 | 4,697E+12 | 9510 | 81,4 |
| | 9 | 0,20 | 20,1 | 12,0 | 2,905E+12 | 9640 | 131,7 |
| | | 0,19 | 14,1 | 12,0 | 3,929E+12 | 10200 | 97,4 |
| | | 0,19 | 12,2 | 12,0 | 4,542E+12 | 10740 | 84,2 |
| | 10 | 0,18 | 17,9 | 12,0 | 2,934E+12 | 10855 | 130,4 |
| | | 0,18 | 13,6 | 12,0 | 3,862E+12 | 11420 | 99,0 |
| | | 0,18 | 11,6 | 12,0 | 4,507E+12 | 11910 | 84,9 |
| | 11 | 0,18 | 17,0 | 12,0 | 3,081E+12 | 12040 | 124,1 |
| | | 0,18 | 15,3 | 12,0 | 3,426E+12 | 12185 | 111,6 |
| | | 0,18 | 12,8 | 12,0 | 4,111E+12 | 12730 | 93,0 |
| | | 0,18 | 11,3 | 12,0 | 4,627E+12 | 13120 | 82,7 |
| | 12 | 0,18 | 16,1 | 12,0 | 3,251E+12 | 13245 | 117,7 |
| | | 0,18 | 12,5 | 12,0 | 4,210E+12 | 13800 | 90,8 |
| | | 0,19 | 11,3 | 12,0 | 4,897E+12 | 14308 | 78,1 |
| | 13 | 0,18 | 15,2 | 12,0 | 3,444E+12 | 14440 | 111,1 |
| | | 0,18 | 14,2 | 12,0 | 3,706E+12 | 14585 | 103,2 |
| | | 0,18 | 12,5 | 12,0 | 4,195E+12 | 15000 | 91,2 |
| | | 0,18 | 10,8 | 12,0 | 4,862E+12 | 15510 | 78,7 |
| | 14 | 0,18 | 14,7 | 12,0 | 3,560E+12 | 15640 | 107,4 |
| | | 0,18 | 12,2 | 12,0 | 4,311E+12 | 16200 | 88,7 |
| | | 0,18 | 10,8 | 12,0 | 4,865E+12 | 16680 | 78,6 |
| | 15 | 0,18 | 17,8 | 12,0 | 2,942E+12 | 16850 | 130,0 |
| | | 0,18 | 13,9 | 12,0 | 3,779E+12 | 17415 | 101,2 |
| | | 0,18 | 12,2 | 12,0 | 4,290E+12 | 17940 | 89,2 |
| 2/03/2007 | 1 | 0,23 | 22,1 | 9,0 | 2,788E+12 | 30 | 126,0 |
| | | 0,24 | 15,0 | 10,0 | 4,405E+12 | 540 | 82,1 |

| Datum | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | t (s) | J _n (l/m ² .h.bar) |
|-----------|--------|---------|-------------------------|--------|-----------|-------|--|
| | | 0,24 | 12,2 | 10,0 | 5,442E+12 | 1140 | 66,5 |
| | 2 | 0,23 | 19,8 | 10,0 | 3,199E+12 | 1230 | 113,0 |
| | | 0,23 | 14,2 | 10,0 | 4,461E+12 | 1785 | 81,1 |
| | | 0,23 | 11,9 | 10,0 | 5,325E+12 | 2340 | 67,9 |
| | 3 | 0,22 | 17,5 | 10,0 | 3,455E+12 | 2430 | 104,7 |
| | | 0,22 | 13,0 | 10,0 | 4,649E+12 | 2985 | 77,8 |
| | | 0,22 | 11,1 | 10,0 | 5,482E+12 | 3540 | 66,0 |
| | 4 | 0,21 | 16,1 | 10,0 | 3,589E+12 | 3630 | 100,8 |
| | | 0,21 | 12,5 | 10,0 | 4,632E+12 | 4200 | 78,1 |
| | | 0,21 | 10,8 | 10,0 | 5,377E+12 | 4740 | 67,3 |
| | | 0,22 | 20,7 | 11,5 | 3,062E+12 | | 123,2 |
| | | 0,37 | 29,4 | 11,5 | 3,614E+12 | | 104,4 |
| | 5 | 0,39 | 29,6 | 11,5 | 3,791E+12 | 4830 | 99,5 |
| | | 0,39 | 25,8 | 12,5 | 4,466E+12 | 5100 | 86,8 |
| | | 0,39 | 19,6 | 12,0 | 5,806E+12 | 5400 | 65,9 |
| | | 0,39 | 14,7 | 11,5 | 7,621E+12 | 5940 | 49,5 |
| | 6 | 0,38 | 24,3 | 11,0 | 4,429E+12 | 6030 | 84,0 |
| | | 0,38 | 16,4 | 11,0 | 6,565E+12 | 6600 | 56,7 |
| | | 0,38 | 13,6 | 11,5 | 8,017E+12 | 7140 | 47,1 |
| | 7 | 0,37 | 22,1 | 11,5 | 4,819E+12 | 7230 | 78,3 |
| | | 0,38 | 15,3 | 11,5 | 7,157E+12 | 7800 | 52,7 |
| | | 0,38 | 13,3 | 11,5 | 8,191E+12 | 8340 | 46,1 |
| | 8 | 0,37 | 20,4 | 11,5 | 5,213E+12 | 8430 | 72,4 |
| | | 0,37 | 12,8 | 11,5 | 8,302E+12 | 9540 | 45,4 |
| | 9 | 0,38 | 23,9 | 11,5 | 4,569E+12 | 9630 | 82,6 |
| | | 0,38 | 16,1 | 11,5 | 6,769E+12 | 10200 | 55,7 |
| | | 0,38 | 13,6 | 11,5 | 8,025E+12 | 10740 | 47,0 |
| | 10 | 0,37 | 20,4 | 11,5 | 5,204E+12 | 10830 | 72,5 |
| | | 0,37 | 14,6 | 11,5 | 7,285E+12 | 11340 | 51,8 |
| | 11 | 0,37 | 20,7 | 11,5 | 5,145E+12 | 11430 | 73,3 |
| | | 0,37 | 17,6 | 11,5 | 6,058E+12 | 11655 | 62,3 |
| | | 0,37 | 15,6 | 11,5 | 6,833E+12 | 11940 | 55,2 |
| | 12 | 0,36 | 21,1 | 12,0 | 4,984E+12 | 12030 | 76,8 |
| | | 0,36 | 17,3 | 12,0 | 6,072E+12 | 12285 | 63,0 |
| | | 0,36 | 15,6 | 12,0 | 6,714E+12 | 12540 | 57,0 |
| | 13 | 0,36 | 22,5 | 12,0 | 4,665E+12 | 12630 | 82,0 |
| | | 0,36 | 18,1 | 12,0 | 5,797E+12 | 12885 | 66,0 |
| | | 0,36 | 16,1 | 12,0 | 6,502E+12 | 13140 | 58,8 |
| | 14 | 0,35 | 20,9 | 12,0 | 4,873E+12 | 13230 | 78,5 |
| | | 0,36 | 17,5 | 12,0 | 5,992E+12 | 13495 | 63,8 |
| | | 0,36 | 15,7 | 12,0 | 6,699E+12 | 13740 | 57,1 |
| | 15 | 0,35 | 21,2 | 12,0 | 4,816E+12 | 13830 | 79,4 |
| 5/03/2007 | 1 | 0,39 | 29,3 | 11,0 | 3,778E+12 | 100 | 75,0 |
| | | 0,39 | 23,4 | 10,5 | 4,660E+12 | 300 | 60,0 |
| | | 0,39 | 20,2 | 10,0 | 5,322E+12 | 520 | 51,8 |
| | 2 | 0,38 | 29,5 | 11,5 | 3,704E+12 | 660 | 77,6 |
| | | 0,38 | 22,0 | 11,0 | 4,892E+12 | 940 | 57,9 |
| | | 0,38 | 19,6 | 11,0 | 5,501E+12 | 1170 | 51,5 |
| | 3 | 0,37 | 28,5 | 11,0 | 3,680E+12 | 1290 | 77,0 |
| | | 0,38 | 20,9 | 11,0 | 5,160E+12 | 1670 | 54,9 |
| | | 0,38 | 19,2 | 11,0 | 5,610E+12 | 1800 | 50,5 |

| Datum | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | t (s) | J _n (l/m ² .h.bar) |
|-------|--------|---------|-------------------------|--------|-----------|-------|--|
| | 4 | 0,38 | 27,7 | 11,0 | 3,884E+12 | 1920 | 73,0 |
| | | 0,38 | 21,5 | 11,0 | 5,013E+12 | 2175 | 56,5 |
| | | 0,38 | 18,7 | 11,0 | 5,747E+12 | 2430 | 49,3 |
| | 5 | 0,37 | 26,9 | 11,0 | 3,899E+12 | 2550 | 72,7 |
| | | 0,38 | 22,8 | 11,0 | 4,728E+12 | 2750 | 59,9 |
| | | 0,38 | 18,5 | 11,0 | 5,818E+12 | 3060 | 48,7 |
| | 6 | 0,37 | 26,2 | 11,0 | 4,001E+12 | 3180 | 70,8 |
| | | 0,37 | 21,1 | 11,0 | 4,969E+12 | 3450 | 57,0 |
| | | 0,37 | 18,6 | 11,0 | 5,641E+12 | 3690 | 50,2 |
| | 7 | 0,37 | 26,2 | 11,0 | 4,001E+12 | 3810 | 70,8 |
| | | 0,37 | 21,3 | 11,0 | 4,934E+12 | 4060 | 57,5 |
| | | 0,37 | 18,5 | 11,0 | 5,665E+12 | 4320 | 50,0 |
| | 8 | 0,37 | 25,8 | 11,0 | 4,060E+12 | 4440 | 69,8 |
| | | 0,37 | 20,6 | 11,0 | 5,079E+12 | 4710 | 55,8 |
| | | 0,37 | 18,3 | 11,0 | 5,735E+12 | 4950 | 49,4 |
| | 9 | 0,37 | 25,2 | 11,0 | 4,159E+12 | 5070 | 68,2 |
| | | 0,37 | 24,4 | 11,0 | 4,302E+12 | 5125 | 65,9 |
| | | 0,37 | 20,1 | 11,0 | 5,214E+12 | 5390 | 54,4 |
| | | 0,37 | 17,5 | 11,5 | 6,069E+12 | 5580 | 47,4 |
| | 10 | 0,36 | 24,9 | 11,5 | 4,153E+12 | 5700 | 69,2 |
| | | 0,37 | 21,0 | 11,0 | 4,987E+12 | 5950 | 56,8 |
| | | 0,37 | 17,9 | 11,5 | 5,940E+12 | 6230 | 48,4 |
| | 11 | 0,36 | 24,7 | 11,5 | 4,192E+12 | 6340 | 68,6 |
| | | 0,36 | 21,2 | 11,5 | 4,885E+12 | 6540 | 58,8 |
| | | 0,37 | 17,9 | 11,5 | 5,940E+12 | 6850 | 48,4 |
| | 12 | 0,36 | 24,9 | 11,5 | 4,153E+12 | 6980 | 69,2 |
| | | 0,36 | 20,4 | 11,5 | 5,068E+12 | 7215 | 56,7 |
| | | 0,36 | 18,1 | 11,5 | 5,730E+12 | 7470 | 50,2 |
| | 13 | 0,36 | 24,9 | 11,5 | 4,153E+12 | 7590 | 69,2 |
| | | 0,36 | 20,6 | 11,5 | 5,012E+12 | 7845 | 57,4 |
| | 14 | 0,36 | 24,9 | 11,5 | 4,153E+12 | 8220 | 69,2 |
| | | 0,36 | 20,9 | 11,5 | 4,957E+12 | 8470 | 58,0 |
| | | 0,36 | 18,0 | 11,5 | 5,755E+12 | 8730 | 49,9 |
| | 15 | 0,35 | 24,6 | 12,0 | 4,145E+12 | 8850 | 70,3 |
| | | 0,36 | 19,4 | 12,0 | 5,421E+12 | 9180 | 53,8 |
| | | 0,36 | 17,9 | 12,0 | 5,860E+12 | 9370 | 49,7 |
| | 16 | 0,35 | 24,8 | 12,0 | 4,119E+12 | 9480 | 70,7 |
| | | 0,36 | 20,0 | 12,0 | 5,256E+12 | 9750 | 55,4 |
| | | 0,37 | 17,6 | 12,5 | 6,211E+12 | 10000 | 47,6 |
| | 17 | 0,36 | 24,5 | 12,0 | 4,276E+12 | 10110 | 68,1 |
| | | 0,36 | 19,4 | 12,0 | 5,400E+12 | 10390 | 54,0 |
| | | 0,36 | 17,1 | 12,0 | 6,147E+12 | 10630 | 47,4 |
| | 18 | 0,36 | 23,8 | 12,0 | 4,409E+12 | 10750 | 66,1 |
| | | 0,36 | 19,8 | 12,0 | 5,296E+12 | 11005 | 55,0 |
| | | 0,36 | 16,4 | 12,0 | 6,405E+12 | 11275 | 45,5 |
| | 19 | 0,36 | 23,8 | 12,0 | 4,414E+12 | 11375 | 66,0 |
| | | 0,36 | 19,8 | 11,5 | 5,224E+12 | 11620 | 55,0 |
| | | 0,3 | 17,0 | 11,5 | 5,071E+12 | 11880 | 56,7 |
| | 20 | 0,36 | 25,4 | 11,5 | 4,066E+12 | 12000 | 70,7 |
| | | 0,37 | 20,8 | 11,5 | 5,113E+12 | 12210 | 56,2 |
| | | 0,37 | 17,4 | 11,5 | 6,122E+12 | 12510 | 46,9 |

| Datum | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | t (s) | J _n (l/m ² .h.bar) |
|-----------|--------|---------|-------------------------|--------|-----------|-------|--|
| | 21 | 0,36 | 24,2 | 11,5 | 4,268E+12 | 12630 | 67,3 |
| | | 0,35 | 17,7 | 12,0 | 5,771E+12 | 13080 | 50,5 |
| 6/03/2007 | 1 | 0,36 | 33,7 | 10,0 | 2,946E+12 | 35 | 93,5 |
| | | 0,36 | 24,6 | 10,0 | 4,031E+12 | 285 | 68,4 |
| | | 0,36 | 20,4 | 10,0 | 4,858E+12 | 540 | 56,7 |
| | 2 | 0,35 | 31,7 | 10,5 | 3,086E+12 | 660 | 90,6 |
| | | 0,35 | 24,5 | 10,5 | 4,000E+12 | 915 | 69,9 |
| | | 0,35 | 22,1 | 10,5 | 4,427E+12 | 1170 | 63,1 |
| | 3 | 0,34 | 30,5 | 11,0 | 3,162E+12 | 1290 | 89,6 |
| | | 0,35 | 24,3 | 11,0 | 4,082E+12 | 1545 | 69,4 |
| | | 0,35 | 20,1 | 11,0 | 4,945E+12 | 1800 | 57,3 |
| | 4 | 0,34 | 30,5 | 11,0 | 3,162E+12 | 1920 | 89,6 |
| | | 0,34 | 23,5 | 11,0 | 4,094E+12 | 2175 | 69,2 |
| | | 0,35 | 20,2 | 11,0 | 4,914E+12 | 2430 | 57,7 |
| | 5 | 0,34 | 30,0 | 11,0 | 3,210E+12 | 2550 | 88,3 |
| | | 0,34 | 23,5 | 11,0 | 4,107E+12 | 2820 | 69,0 |
| | | 0,34 | 20,3 | 11,0 | 4,737E+12 | 3060 | 59,8 |
| | 6 | 0,33 | 29,5 | 11,0 | 3,172E+12 | 3180 | 89,4 |
| | | 0,34 | 23,5 | 11,0 | 4,107E+12 | 3435 | 69,0 |
| | | 0,34 | 20,1 | 11,0 | 4,791E+12 | 3690 | 59,2 |
| | 7 | 0,33 | 29,4 | 11,0 | 3,181E+12 | 3810 | 89,1 |
| | | 0,34 | 23,5 | 11,5 | 4,165E+12 | 4065 | 69,0 |
| | | 0,34 | 20,1 | 11,5 | 4,859E+12 | 4320 | 59,2 |
| | 8 | 0,33 | 29,7 | 11,5 | 3,192E+12 | 4440 | 90,0 |
| | | 0,34 | 23,2 | 11,5 | 4,205E+12 | 4700 | 68,3 |
| | | 0,34 | 20,1 | 11,5 | 4,859E+12 | 4950 | 59,2 |
| | 9 | 0,33 | 29,3 | 11,5 | 3,242E+12 | 5073 | 88,7 |
| | | 0,34 | 23,3 | 11,5 | 4,192E+12 | 5325 | 68,6 |
| | | 0,34 | 20,1 | 11,5 | 4,859E+12 | 5580 | 59,2 |
| | 10 | 0,33 | 28,6 | 11,5 | 3,311E+12 | 5720 | 86,8 |
| | | 0,34 | 23,1 | 11,5 | 4,233E+12 | 5955 | 67,9 |
| | | 0,34 | 20,1 | 11,5 | 4,859E+12 | 6210 | 59,2 |
| | 11 | 0,33 | 28,5 | 11,5 | 3,329E+12 | 6330 | 86,3 |
| | | 0,34 | 20,1 | 11,5 | 4,859E+12 | 6840 | 59,2 |
| | 12 | 0,32 | 28,9 | 11,5 | 3,185E+12 | 6960 | 90,2 |
| | | 0,33 | 23,3 | 11,5 | 4,068E+12 | 7215 | 70,6 |
| | | 0,33 | 19,8 | 11,5 | 4,788E+12 | 7470 | 60,0 |
| | 13 | 0,32 | 29,1 | 12,0 | 3,204E+12 | 7590 | 91,0 |
| | 14 | | | | | | |
| | 15 | 0,34 | 19,8 | 12,0 | 5,002E+12 | 9360 | 58,3 |
| | 16 | 0,32 | 28,9 | 12,0 | 3,230E+12 | 9480 | 90,2 |
| | | 0,33 | 23,2 | 12,0 | 4,139E+12 | 9735 | 70,4 |
| | | 0,34 | 19,8 | 12,0 | 5,002E+12 | 9990 | 58,3 |
| | 17 | 0,32 | 28,6 | 12,0 | 3,264E+12 | 10110 | 89,3 |
| | | 0,33 | 19,8 | 12,0 | 4,855E+12 | 10620 | 60,0 |
| | 18 | 0,32 | 28,6 | 12,5 | 3,309E+12 | 10740 | 89,3 |
| | 19 | | | | | | |
| | 20 | | | | | | |
| | 21 | 0,31 | 29,2 | 12,0 | 3,096E+12 | 12630 | 94,1 |
| | | 0,32 | 19,8 | 12,0 | 4,708E+12 | 13140 | 61,9 |
| | 22 | 0,32 | 28,3 | 11,5 | 3,254E+12 | 13260 | 88,3 |

| Datum | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | t (s) | J _n (l/m ² .h.bar) |
|-------|--------|---------|-------------------------|--------|-----------|-------|--|
| | 23 | 0,32 | 27,2 | 11,5 | 3,382E+12 | 13890 | 85,0 |
| | | 0,32 | 19,6 | 11,5 | 4,697E+12 | 14315 | 61,2 |
| | | 0,32 | 18,7 | 11,5 | 4,927E+12 | 14415 | 58,3 |
| | 24 | 0,3 | 25,7 | 11,5 | 3,358E+12 | 14520 | 85,6 |
| | | 0,31 | 18,7 | 11,5 | 4,773E+12 | 15055 | 60,2 |
| | 25 | 0,3 | 26,0 | 11,5 | 3,319E+12 | 15150 | 86,6 |
| | 26 | 0,31 | 18,7 | 11,5 | 4,773E+12 | 15780 | 60,2 |
| | | 0,3 | 24,5 | 11,0 | 3,466E+12 | 16445 | 81,8 |

Bijlage 2: Reinigingstesten

| TEST | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | Rgem (1/m) | Tijd (s) |
|---------------------------|--------|---------|-------------------------|--------|-------------|-------------|----------|
| NaOCl 150 ppm | | | | | | | |
| | 1 | 0,29 | 23,9 | 6 | 2,96569E+12 | | 60 |
| | | 0,29 | 18,4 | 8,5 | 4,1666E+12 | | 310 |
| | | 0,29 | 15,9 | 9 | 4,87537E+12 | | 580 |
| | 2 | 0,28 | 21,6 | 9 | 3,47638E+12 | | 700 |
| | | 0,28 | 17,1 | 9 | 4,37252E+12 | | 930 |
| | | 0,29 | 14,9 | 9 | 5,2254E+12 | | 1180 |
| | 3 | 0,27 | 21,6 | 9,5 | 3,38919E+12 | | 1370 |
| | | 0,28 | 18,5 | 9,5 | 4,10773E+12 | | 1560 |
| | | 0,28 | 16,1 | 9,5 | 4,73071E+12 | | 1800 |
| | 4 | 0,28 | 16,6 | 9,5 | 4,5788E+12 | | 2110 |
| | | 0,28 | 15,2 | 9,5 | 5,01598E+12 | | 2250 |
| | 5 | 0,26 | 21,2 | 9,5 | 3,3341E+12 | | 2580 |
| | | 0,27 | 17,8 | 9,5 | 4,13103E+12 | | 2820 |
| | | 0,27 | 15,7 | 9,5 | 4,67247E+12 | | 3010 |
| | SWF 1 | 0,28 | 14,6 | 9,5 | 5,19885E+12 | | |
| | | 0,27 | 13,9 | 9,5 | 5,28863E+12 | 5,24374E+12 | 3150 |
| | SWF 2 | 0,22 | 30,3 | 9 | 1,94221E+12 | | |
| | | 0,22 | 30,2 | 9 | 1,9471E+12 | 1,94465E+12 | 3150 |
| NaOCl 150 ppm, aangezuurd | | | | | | | |
| | 1 | 0,24 | 34,7 | 10,5 | 1,93066E+12 | | 50 |
| | | 0,24 | 32,3 | 10,5 | 2,07539E+12 | | 170 |
| | | 0,26 | 24,3 | 10,5 | 2,99074E+12 | | 360 |
| | | 0,27 | 20,5 | 10,5 | 3,68189E+12 | | 540 |
| | 2 | 0,24 | 35,7 | 10,5 | 1,88116E+12 | | 680 |
| | | 0,25 | 25,5 | 10 | 2,69886E+12 | | 915 |
| | | 0,26 | 20,7 | 10 | 3,45692E+12 | | 1170 |
| | 3 | 0,26 | 22,2 | 10 | 3,23121E+12 | | 1390 |
| | | 0,26 | 18,7 | 10 | 3,82228E+12 | | 1620 |
| | | 0,27 | 16,5 | 10 | 4,49975E+12 | | 1810 |
| | 4 | 0,26 | 19,7 | 10 | 3,63043E+12 | | 2070 |
| | | 0,26 | 17,9 | 10 | 4,0012E+12 | | 2200 |
| | | 0,27 | 15,8 | 10 | 4,71713E+12 | | 2440 |
| | 5 | 0,26 | 20,3 | 10 | 3,53489E+12 | | 2570 |
| | | 0,26 | 16,6 | 10 | 4,31322E+12 | | 2820 |
| | | 0,27 | 15,2 | 10 | 4,90676E+12 | | 3010 |
| | SWF 1 | 0,26 | 14,0 | 9,5 | 5,03739E+12 | | |
| | | 0,26 | 13,4 | 9,5 | 5,26637E+12 | | |
| | | 0,26 | 13,4 | 9,5 | 5,26637E+12 | 5,19004E+12 | 3150 |
| | SWF 2 | 0,22 | 23,3 | 9 | 2,52614E+12 | | |
| | | 0,24 | 22,6 | 9 | 2,8393E+12 | 2,68272E+12 | 3150 |
| Tweefasig | | | | | | | |
| | 1 | 0,3 | 14,2 | 8 | 5,50289E+12 | | 30 |
| | | 0,3 | 11,5 | 8 | 6,77839E+12 | | 285 |
| | | 0,3 | 10,4 | 8 | 7,47108E+12 | | 540 |
| | SWF 1 | 0,29 | 9,4 | 8 | 7,97919E+12 | | 630 |
| | SWF 2 | 0,26 | 15,2 | 8 | 4,43533E+12 | | 630 |
| | SWF 3 | 0,24 | 25,4 | 9 | 2,53235E+12 | | 630 |
| Enzymatisch | | | | | | | |

| TEST | Cyclus | P (bar) | J (l/m ² .h) | T (°C) | R (1/m) | Rgem (1/m) | Tijd (s) |
|------|--------|---------|-------------------------|--------|-------------|-------------|----------|
| | 1 | 0,27 | 15,9 | 11 | 4,80611E+12 | | 70 |
| | | 0,28 | 12,3 | 10,5 | 6,34019E+12 | | 350 |
| | | 0,28 | 11,4 | 10,5 | 6,89336E+12 | | 540 |
| | 2 | 0,25 | 17,8 | 10,5 | 3,93589E+12 | | 660 |
| | 3 | 0,26 | 16,1 | 11 | 4,58424E+12 | | 1290 |
| | | 0,27 | 12,3 | 11 | 6,23899E+12 | | 1560 |
| | | 0,29 | 11,4 | 11,5 | 7,34256E+12 | | 1800 |
| | 4 | 0,25 | 17,7 | 11 | 4,00893E+12 | | 1920 |
| | | 0,27 | 13,0 | 11 | 5,87413E+12 | | 2170 |
| | | 0,27 | 10,8 | 11,5 | 7,17318E+12 | | 2440 |
| | 5 | 0,25 | 17,9 | 11 | 3,95775E+12 | | 2565 |
| | | 0,26 | 12,8 | 11 | 5,75758E+12 | | 2810 |
| | | 0,27 | 11,5 | 11 | 6,65216E+12 | | 3000 |
| | SWF 1 | 0,24 | 9,4 | 12 | 7,40337E+12 | | |
| | | 0,24 | 9,1 | 12 | 7,71444E+12 | | |
| | | 0,24 | 8,9 | 12 | 7,84631E+12 | 7,65471E+12 | 3150 |
| | SWF 2 | 0,2 | 28,5 | 11,5 | 2,01741E+12 | | |
| | | 0,2 | 28,1 | 11,5 | 2,04475E+12 | 2,03108E+12 | 3150 |

Bijlage 3: Technische gegevens

Material Safety Data Sheet



ULTRASIL 110

Section 1. Chemical product and company identification

Trade name : ULTRASIL 110
Product use : Cleaning product
Supplier : Ecolab Food and Beverage
5105 Tomken Road
Mississauga ON L4W 2X5
1-800-352-5326
Code : 916601
Date of issue : 17-November-2005

EMERGENCY HEALTH INFORMATION: 1-800-328-0026
Outside United States and Canada CALL 1-651-222-5352 (in USA)

Section 2. Composition, Information on Ingredients

| Name | CAS number | % by weight |
|--|------------|-------------|
| acetic acid, (ethylenedinitrilo)tetra-, tetrasodium salt | 64-02-8 | 5- 10 |
| sodium hydroxide | 1310-73-2 | 5- 10 |
| d-gluconic acid, monosodium salt | 527-07-1 | 3 - 7 |
| benzenesulfonic acid, (1-methylethyl)-, sodium salt | 28348-53-0 | 1 - 5 |
| sodium dodecylbenzene sulfonate | 25155-30-0 | 1 - 5 |

Section 3. Hazards identification

Physical state : Liquid. (Liquid.)
Emergency overview : DANGER!
CAUSES RESPIRATORY TRACT, EYE AND SKIN BURNS.
HARMFUL IF SWALLOWED.
Do not ingest. Do not get in eyes, on skin or clothing. Do not breathe vapour or mist. Keep container closed. Use only with adequate ventilation. Wash thoroughly after handling.
Routes of entry : Skin contact, Eye contact, Inhalation, Ingestion
Potential acute health effects
Eyes : Corrosive to eyes.
Skin : Corrosive to the skin.
Inhalation : Severely irritating to the respiratory system.
Ingestion : Harmful if swallowed. Causes burns to mouth, throat and stomach.

See toxicological information (section 11)

Section 4. First aid measures

Eye contact : In case of contact, immediately flush eyes with cool running water. Remove contact lenses and continue flushing with plenty of water for at least 15 minutes. Obtain medical attention immediately.
Skin Contact : In case of contact, immediately flush skin copiously with water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse. Obtain medical attention immediately.
Inhalation : If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Obtain medical attention immediately.
Ingestion : Rinse mouth; then drink one or two large glasses of water. Do not induce vomiting. Never give anything by mouth to an unconscious person. Obtain medical attention immediately.

Section 5. Fire fighting measures

| | |
|---|---|
| Auto-ignition temperature | : Not available. |
| Flash point | : > 100°C |
| Flammable limits | |
| Upper: | Not available. |
| Lower: | Not available. |
| Products of combustion | : Not available. |
| Fire hazards in presence of various substances | : Nonflammable. |
| Fire-fighting media and instructions | : Use an extinguishing agent suitable for surrounding fires. Dike area of fire to prevent product run-off. No specific hazard. |
| Special protective equipment for fire-fighters | : Fire fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode. |
| Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: | Not available. |
| Risks of explosion of the product in presence of static discharge: | Not available. |

Section 6. Accidental release measures

| | |
|---------------------------|---|
| Personal Precautions | : Ventilate area of leak or spill. Do not touch damaged containers or spilled material unless wearing appropriate protective equipment (Section 8). Stop leak if without risk. Prevent entry into sewers, water courses, basements or confined areas. |
| Environmental precautions | : Avoid dispersal of spilled material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers. |
| Methods for cleaning up | : If emergency personnel are unavailable, contain spilled material. For small spills add absorbent (soil may be used in the absence of other suitable materials) scoop up material and place in a sealed, liquid-proof container for disposal. For large spills dike spilled material or otherwise contain material to ensure runoff does not reach a waterway. Place spilled material in an appropriate container for disposal.– |

Section 7. Handling and storage

| | |
|----------|--|
| Handling | : Do not ingest. Do not get in eyes, on skin or on clothing. Keep container closed. Use only with adequate ventilation. Do not breathe vapour or mist. Wash thoroughly after handling. |
| Storage | : Keep out of the reach of children. Keep container tightly closed. Keep container in a cool, well-ventilated area. Do not store above 40°C |

Section 8. Exposure Controls, Personal Protection

| | |
|---------------------------------|---|
| Engineering controls | : Provide exhaust ventilation or other engineering controls to keep the airborne concentrations of vapours below their respective occupational exposure limits. Provide eyewash and safety shower in area if contact or splash hazard exists. |
| Personal protection | |
| Eyes | : Use chemical splash goggles. For continued or severe exposure wear a face shield over the goggles. |
| Hands | : Use chemical resistant, impervious gloves. |
| Skin | : Use synthetic apron, other protective equipment as necessary to prevent skin contact. |
| Respiratory | : Use a properly fitted, air-purifying or air-fed respirator complying with an approved standard if a risk assessment indicates this is necessary. Respirator selection must be based on known or anticipated exposure levels, the hazards of the product and the safe working limits of the selected respirator. |
| Name sodium hydroxide | Exposure limits ACGIH TLV (United States, 1/2004). CEIL: 2 mg/m ³ Form: All forms |

Section 9. Physical and chemical properties

| | |
|----------------------------|--|
| Physical state | : Liquid. (Liquid.) |
| Colour | : Brown. (Light.) |
| Odour | : Faint Odour |
| pH | : 12.3 (100%) |
| Boiling/condensation point | : Not available. |
| Melting/freezing point | : Not available. |
| Specific gravity | : 1.167 (Water = 1) |
| Vapour pressure | : Not applicable. |
| Vapour density | : Not available. |
| Odour threshold | : Not available. |
| Evaporation rate | : Not available. |
| LogK _{ow} | : Not available. |
| Dispersion properties | : Easily dispersed in cold water, hot water. |
| Solubility | : Easily soluble in cold water, hot water. |

Section 10. Stability and reactivity

| | |
|---|---|
| Stability | : The product is stable. |
| Conditions of instability | : Not available. |
| Reactivity | : Highly reactive with acids. Slightly reactive to reactive with metals. |
| Incompatibility with various substances | : Not available. |
| Hazardous Decomposition Products | : Not available. |

Section 11. Toxicological information

Potential acute health effects

| | |
|----------------------|--|
| Eyes | : Corrosive to eyes. |
| Skin | : Corrosive to the skin. |
| Inhalation | : Severely irritating to the respiratory system. |
| Ingestion | : Harmful if swallowed. Causes burns to mouth, throat and stomach. |
| Irritancy of Product | : Hazardous by WHMIS criteria. |

Potential chronic health effects

| | |
|--|---|
| Carcinogenic effects | : No known significant effects or critical hazards. |
| Mutagenic effects | : No known significant effects or critical hazards. |
| Teratogenic effects | : No known significant effects or critical hazards. |
| Reproductive effects | : No known significant effects or critical hazards. |
| Sensitization to Product | : No known significant effects or critical hazards. |
| Synergistic Products (Toxicologically) | : Not available. |

Toxicity data

| Ingredient name | Test | Result | Route | Species |
|--|------|------------|-------|---------|
| sodium hydroxide | LDLo | 500 mg/kg | Oral | Rabbit |
| sodium dodecylbenzene sulfonate | LD50 | 438 mg/kg | Oral | Rat |
| glycine, n,n-bis(carboxymethyl)-, trisodium salt | LD50 | 1330 mg/kg | Oral | Mouse |
| | LD50 | 1100 mg/kg | Oral | Rat |
| | LD50 | 681 mg/kg | Oral | Mouse |
| | LD50 | 750 mg/kg | Oral | Monkey |

Target organs : Contains material which causes damage to the following organs: lungs, upper respiratory tract, skin, eye, lens or cornea.

Section 12. Ecological information

Ecotoxicity data

| Ingredient name | Species | Period | Result |
|--|----------------------------|------------|-----------|
| acetic acid, (ethylenedinitrilo)tetra-, tetrasodium salt | Lepomis macrochirus (LC50) | 96 hour(s) | 486 mg/l |
| | Lepomis macrochirus (LC50) | 96 hour(s) | 1030 mg/l |
| | Lepomis macrochirus (LC50) | 96 hour(s) | 2070 mg/l |
| | Lepomis macrochirus (LC50) | 96 hour(s) | 3092 mg/l |
| sodium dodecylbenzene sulfonate | Daphnia magna (EC50) | 48 hour(s) | 5.88 mg/l |
| | Lepomis macrochirus (LC50) | 96 hour(s) | 1.18 mg/l |
| | Oncorhynchus mykiss (LC50) | 96 hour(s) | 1.68 mg/l |
| | Lepomis macrochirus (LC50) | 96 hour(s) | 6.5 mg/l |

Products of degradation : These products are carbon oxides (CO, CO₂) and water, nitrogen oxides (NO, NO₂ ...), sulphur oxides (SO₂, SO₃, etc.). Some metallic oxides.

Section 13. Disposal considerations

Waste disposal : The generation of waste should be avoided or minimised wherever possible. Avoid dispersal of spilled material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers. Disposal of this product, solutions and any by-products should at all times comply with the requirements of environmental protection and waste disposal legislation and any regional local authority requirements.

Consult your local or regional authorities.

Section 14. Transport information

| Regulatory information | UN number | Proper shipping name | Class | Packing group | Additional Information |
|------------------------|-----------|---------------------------|-------|---------------|---|
| TDG Classification | UN1824 | SODIUM HYDROXIDE SOLUTION | 8 | II | Passenger Carrying Road or Rail Index 1 |

APPLIES ONLY DURING ROAD TRANSPORT

Any variation of the shipping description based on the packaging is not addressed.

Section 15. Regulatory information

WHMIS : Class E: Corrosive material.

This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the *Controlled Products Regulations* and the MSDS contains all the information required by the *Controlled Products Regulations*.

Section 16. Other information


Date of issue : 17-November-2005.

Responsible name : Regulatory Affairs

Date of previous issue : 01-June-2005.

Notice to reader

The above information is believed to be correct with respect to the formula used to manufacture the product in the country of origin. As data, standards, and regulations change, and conditions of use and handling are beyond our control, NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, IS MADE AS TO THE COMPLETENESS OR CONTINUING ACCURACY OF THIS INFORMATION.

| | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|
|  | FICHE DE DONNEES DE SECURITE | Page : 1 |
| | | Edition révisée n° : 2 |
| | | Date : 13/6/2005 |
| | | Remplace la fiche : 27/10/2005 |
| FILZYM P (10/2005) | | FILZYMP |



Irritant

Producteur

REALCO 2001 S.A.
Avenue Albert Einstein, 15
B-1348 Louvain-la-Neuve Belgium
Tel. +32 10 45 30 00
En cas d'urgence : Int+32-70-245.245

1. Identification du produit

Identification du produit : Poudre.
Usage : Industriel. Voir fiche technique pour des informations détaillées.

2. Informations sur les composants

Ce produit est considéré comme dangereux et contient des composants dangereux.

| Nom de la substance | Contenance | No CAS | No CE | Numéro index | Classification |
|--|-------------|------------|-----------|--------------|--------------------------------|
| Carbonate de sodium | : 15 à 30 % | 497-19-8 | 207-838-8 | 011-005-00-2 | Xi; R36 |
| LIPASE | : < 5 % | 9001-82-1 | 232-619-9 | --- | R42 |
| AMYLASE ALCALINE | : < 5 % | 9000-90-2 | 232-565-6 | --- | R42 |
| Sodium carbonate peroxydrate | : 5 à 15 % | 15630-89-4 | 239-707-6 | --- | O; R8 Xn; R22 Xi; R36/38 |
| PROTEASE | : < 5 % | 9014-01-1 | --- | --- | Xi; R36/38 R42 |
| Alcoxyfat d'alcool gras | : < 5 % | --- | --- | --- | Xn; R22 Xi; R38 N; R50 |
| Sodium metasilicate | : 5 à 15 % | 1344-09-8 | --- | --- | C; R34 |
| Acrylates | : < 5 % | --- | --- | 607-133-00-9 | Xi; R36/37/38 |
| Alcoolgras C16-C18 +25 moles d'oxyde d'éthylène (origine soja et sulf) | : < 5 % | 68439-49-6 | 500-212-8 | --- | Xn; R22 |

3. Identification des dangers

Phrases relatives aux dangers : Irritant pour les yeux.
- Inhalation : Toux.
- Contact avec la peau : Le contact répété ou prolongé avec la peau peut provoquer une irritation.
- Contact avec les yeux : Rougeurs, douleur.

4. Mesures de premiers secours

Premiers soins
- Inhalation : Mesures de premiers secours pas nécessaires.
- Contact avec la peau : Laver abondamment la peau avec de l'eau savonneuse.
- Contact avec les yeux : Rincer immédiatement et abondamment à l'eau. Consulter d'urgence un médecin si la douleur, les clignotements, le larmolement ou la rougeur persistent.
- Ingestion : NE PAS FAIRE VOMIR, à cause des effets corrosifs.
Rincer la bouche.

REALCO 2001 S.A.
Avenue Albert Einstein, 15 B-1348 Louvain-la-Neuve Belgium
Tel. +32 10 45 30 00

En cas d'urgence : Int+32-70-245.245



FILZYM P : NEP et nettoyage des filtres à membrane

Nettoyant puissant

Industrie alimentaire

Filtration Trempage

Performance

Application

Détergent industriel enzymatique puissant, pour le nettoyage des process de séparation membranaire, nettoyage en place,...

- Détergent enzymatique recommandé pour l'entretien des filtres à membrane afin de maintenir une efficacité de filtration optimale (débit de filtration) et pour le nettoyage en place ;
- Formulation enzymatique spécifique, qui assure la transformation irréversible des déchets organiques ;
- A faible concentration, la solution correspond à une activité enzymatique optimale.

Utilisation

Industries alimentaires

Dosage / Mode d'emploi

0,5 à 1 %

1. NEP – unités de filtration :

Préparer une solution à 40-50°C, laisser la solution de Filzym P circuler dans l'unité de filtration pendant 30-45 minutes. Si nécessaire, terminer la circulation avec un désinfectant ou une solution acide (0,25%) pendant 10 minutes, rincer à l'eau claire pendant 5 minutes.

2. Trempage :

Préparer une solution à 40-50°C, laisser tremper le matériel 30-45 minutes, rincer à l'eau chaude et, si nécessaire, une solution désinfectante pendant 10 minutes

Avantages

- Performance de nettoyage accrue
- Nettoyage doux et en profondeur grâce à l'action des enzymes
- Non agressif pour l'utilisateur ni pour le matériel
- Préviens les blocages dans les canalisations grâce à son action continue
- Impact positif sur l'environnement (brevet n°00870099.9)

Matières actives

| | |
|----------------------------|-----------|
| Metasilicate | 5 à 15 % |
| Agent de blanchiment | 5 à 15 % |
| Carbonates | 15 à 30 % |
| Enzymes | < 5 % |
| Tensio-actifs non ioniques | < 5 % |

Propriétés physico-chimiques

| | |
|-----------------|------------------|
| Aspect | Poudre |
| Masse volumique | 1,300±0,150 kg/l |
| pH 1 % | 9,8±0,50 |

S.A. REALCO N.V.

Parc scientifique • Wetenschappelijk park • Avenue Albert Einsteinlaan, 15 • B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgium)

Tel. +32 (0)10/45.30.00 • Fax +32 (0)10/45.63.63 • info@realco.be • www.realco.be

TVA/BTW-BE-0444.458.750 • RPM/RPR Nivelles • ING-350-01322306-20

PROVISIONAL

ULTRAFILTRATION CAPILLARY MEMBRANE

Technical data

E 007-030 & 015-030

BASIC CHARACTERISTICS

- Hydrophilic capillary membrane based upon polyethersulfone
- Developed for use in large-scale processes for water purification
- High performance and a very good anti-fouling behaviour
- Membranes are supplied in a standard range of SUPERFIL® membrane elements
- Membrane elements can be backflushed for efficient membrane cleaning resulting in a higher average product flux

APPLICATIONS

- Pre-treatment RO and NF
- Surface water
- Drinking and process water production
- Effluent treatment of waste water

MEMBRANE COMPOSITION

- Membrane material composed of hydrophilic polyethersulfone/polyvinylpyrrolidone blend
- Structure integrally asymmetric
- Capillary geometry

PERFORMANCE DATA

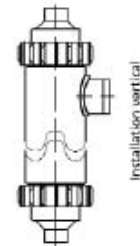
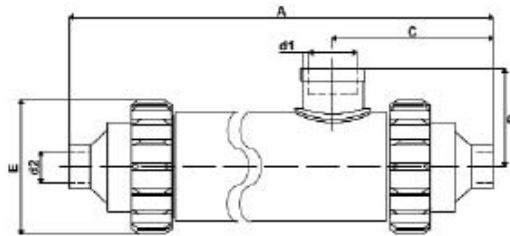
| parameter | unit | E 007-030 | E 015-030 | remarks |
|------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|------------------|
| Initial flux | l/m ² .h.100 kPa | > 600 | > 400 | RO-water at 25°C |
| Transmembrane pressure | kPa | - 200 ..+ 500 | - 200 ..+ 500 | |
| Mean pore size | nm | 30 | 30 | |
| pH | | 1 - 12 | 1 - 12 | at 25°C |
| Chlorine exposure | ppm.h | 150000 | 150000 | at 25°C |
| Temperature | °C | 1 - 45 | 1 - 45 | |
| Hydraulic diameter | mm | 0.7 | 1.5 | |

Operation of membranes at any combination of maximum limits of pH, concentration, pressure or temperature, during cleaning or production, will severely influence the membrane lifetime.

Technical specification **dizzer® 220**

Multibore® ultrafiltration module

dizzer® 450



| Module data | dizzer® 220 | dizzer® 450 | |
|--|-------------|-------------|-----------|
| Length (incl. end caps) (A) | mm | 672 ±1,5 | 1172 ±1,5 |
| Length (excl. end caps) | mm | 500 ±1,5 | 1000 ±1,5 |
| Module OD | mm | 110 | |
| Distance filtrate connectors (C) | mm | 152 ±2 | 162 ±2 |
| Distance feed connector - module center axis (D) | mm | 98 | 99 |
| Outer diameter coupling (E) | mm | 135 | |
| Feed connectors: internal glue type (d2) | mm | 32 | |
| Internal thread filtrate connector (d1) | BSP | 1 1/4" | 1 1/2" |
| Material | | | |
| Housing | | PVC-U | |
| End cap | | PVC-U | |
| Max. operation pressure | bar | 5 | 5 |

| Multibore® capillaries | dizzer® 220 | dizzer® 450 | |
|--------------------------------|-------------|-------------|-----|
| Capillaries per fiber | | 7 | |
| Outer diameter (OD) | mm | 4,3 | |
| Inner diameter (ID) | mm | 0,9 | |
| Material | | PEEM | |
| Molecular weight cutoff (MWCO) | kD | 100-150 | |
| Active membrane surface | m² | 2,2 | 4,5 |

| Typical operation parameters | dizzer® 220 | dizzer® 450 | |
|--|-------------|---------------------------------|-----|
| Operating temperature | °C | max. 40 | |
| Applicable pH - range | | | |
| During operation | | 3-10 | |
| During cleaning | | 1-13 | |
| Cleaning & disinfection chemicals | | | |
| Free chlorine | | max. 200 ppm or 200.000 ppm x h | |
| H ₂ O ₂ (Hydrogenperoxide) | ppm | max. 500 | |
| Fluxrate | | | |
| During filtration | l/(m²h) | 60-140 | |
| During backwash | l/(m²h) | 200-250 | |
| Transmembrane Pressure (TMP) | | | |
| During filtration | bar | 0,1 - max. 0,8 | |
| During backwash | bar | 0,3 - max. 2,5 | |
| Burst pressure (Multibore fiber) | bar | >8 | |
| Filtrate flow | | | |
| at 100l(m³h) | l/h | 220 | 450 |

| Weight | dizzer® 220 | dizzer® 450 | |
|--------------|-------------|-------------|---|
| Weight (dry) | kg | 4 | 7 |

Further special models on request. Membrane modules must be stored wet at all times - long-term storage recommends use of 0,1% sodium bisulfite solution. Do not expose to polar organic solvents or concentrated acids. We believe that the above mentioned information is true and correct. Nevertheless, the contents of this datasheet might be subject to changes without notice. Please contact inge AG for further information.

April 2006

Germany

USA

China

