



# Lucht/waterspoeling bij ultrafiltratie

IR. I. WORM, TU DELFT SECTIE GEZONDHEIDSTECHNIEK

IR. J. VERBERK, TU DELFT SECTIE GEZONDHEIDSTECHNIEK

PROF. IR. J. VAN DIJK, TU DELFT SECTIE GEZONDHEIDSTECHNIEK

DR. IR. H. FUTSELAAR, STORK FRIESLAND BV

Dead-end ultrafiltratie heeft zichzelf bewezen bij de terugwinning van spoelwater van zandfilters en als voorbehandelingsstap voor spiraalgewonden omgekeerde osmose. Nadeel van de dead-end bedrijfsvoering is het relatief hoge chemicaliënverbruik dat nodig is om een stabiele flux te realiseren. Onderzoek van Van der Meer (NUON) e.a. heeft uitgewezen dat dit met 95 procent verminderd kan worden door het reinigen van de membranen met een lucht/waterspoeling. Op basis van die resultaten is vorig jaar op pompstation Spannenburg een ultrafiltratie-installatie gebouwd voor de behandeling van spoelwater, waarin deze lucht/waterspoeling wordt toegepast.

Voor verwijdering van membraanvervuiling worden momenteel drie reinigingsmethoden gebruikt, namelijk forward flush, back flush en chemische reiniging, en combinaties van deze methodes. Bij een forward flush worden de membranen doorstroomd met voedingswater of permeaat en wel met een hogere snelheid dan tijdens de productie-fase. Deeltjes die op het membraan zijn afgezet worden door de verhoogde turbulentie losgemaakt en afgevoerd. De deeltjes die zich in

de poriën hebben afgezet worden niet weggespoeld. Deze deeltjes kunnen wel verwijderd worden met een back flush. Back flush is eigenlijk het omgekeerde filtratieproces. Permeaat wordt van de permeaat- naar de voedingszijde geperst met een circa tweemaal hogere flux dan tijdens filtreren. Als de flux zich na deze reinigingen onvoldoende heeft hersteld, moeten de membranen chemisch gereinigd worden. De membranen worden vol gezet met een oplossing van chloorbleekloog, zoutzuur of waterstofperoxide. Na een inweekperiode van een aantal

minuten wordt een forward flush en/of een back flush uitgevoerd en wordt het vuil weggespoeld.

De nieuwste reinigingsmethode is de lucht/waterspoeling of AirFlush. Dat is een forward flush waarbij lucht in de aanvoering wordt geïnjecteerd. Door de toevoeging van lucht ontstaat (bij gelijk blijvende netto watersnelheid) een veel turbulenter systeem dan met alleen water.

Om verder inzicht in de optredende fenomenen van de AirFlush te verkrijgen, is onderzoek uitgevoerd aan de TU Delft en wel drie types experimenten: de bellenpatroonproef, de koeklaagproef en het drukvalexperiment.

## Bellenpatroonproef

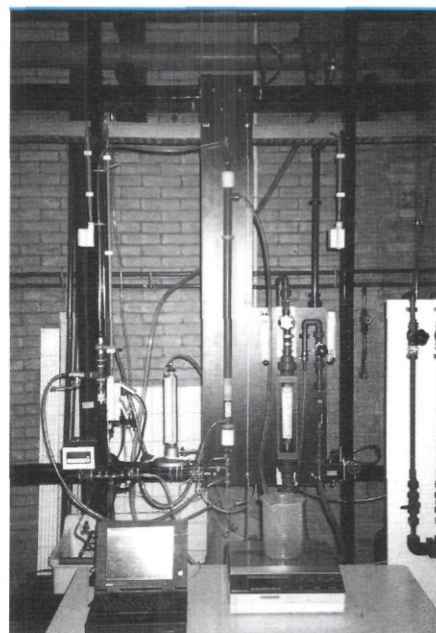
De bellenpatroonproef is uitgevoerd om te bekijken welke belvormen optreden in de membranen bij doorstroming met lucht en water en van welke parameters het ontstaan van een bepaalde belvorm afhankelijk is. Een literatuurstudie wees uit dat de belvorm afhangt van de (superficiële) lucht- en watersnelheid, de buisdiameter en een aantal vloeistofeigenschappen (dichtheid, viscositeit en oppervlaktetension). In het laboratorium van Gezondheidstechniek aan de TU Delft is een proefopstelling gebouwd van glazen buizen (1 mm, 5 mm en 15 mm). De optredende belpatronen zijn belicht met een stroboscoop en gefotografeerd met een eenvoudige digitale fotocamera.

In afbeelding 1 worden vier kenmerkende belvormen getoond (lucht en water stromen omhoog), namelijk bubble flow, cap flow, slug flow en annular flow. Bij de in praktijk gehanteerde lucht- en watersnelheden (beide 0.1 tot 0.5 m/s) zal cap- of slug flow voorkomen. Bubble- en annular flow zullen in praktijk nooit voorkomen, omdat zij optreden bij zeer lage respectievelijk zeer hoge luchtsnelheden. Verder is gebleken dat in buizen met een diameter kleiner dan drie millimeter de belvorm niet afhangt van horizontale of verticale opstelling. Bij deze diameters is de oppervlaktetension dominant over zwaartekracht-effecten.

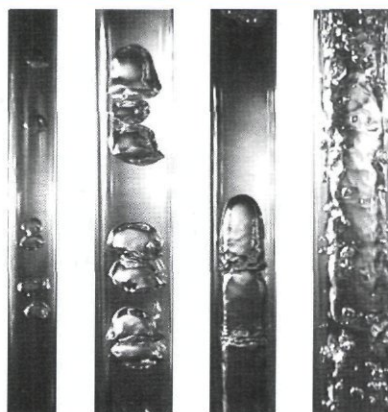
## Koeklaagproef

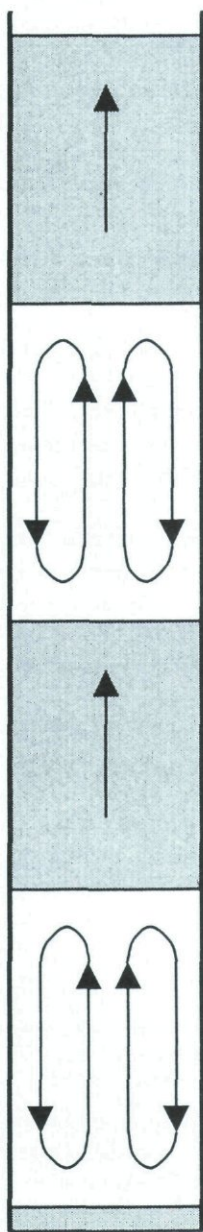
Na identificatie van de verschillende bellenpatronen is onderzocht hoe groot de reinigende kracht van die verschillende instellingen nu eigenlijk is. Voor dit doel is de proefopstelling waarin de bellenpatroonproeven zijn uitgevoerd, uitgebreid met een 1 inch module met daarin een membraan met een doorsnede van 5,2 millimeter. Door het filtreren van 500 ml spoelwater is steeds een vaste hoeveelheid droge stof op het membraan aangebracht. Vervolgens is een lucht/waterspoeling met een

Proefopstelling op het laboratorium van de sectie Gezondheidstechniek van de TU Delft.



Afb. 1: Belpatronen in een buis met een doorsnede van vijf millimeter (vloeistofsnelheid 0.71 m/s). Van links naar rechts: bubble flow (gassnelheid 0.056 m/s), cap flow (gassnelheid 0.23 m/s), slug flow (gassnelheid 0.57 m/s) en annular flow (gassnelheid 2.8 m/s).





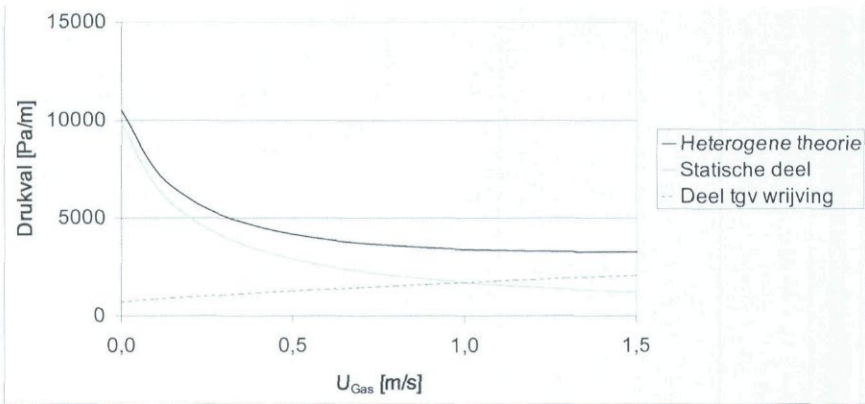
Afb. 2: Circulatiestroming in vloeistofpakketje bij slug flow (gas = grijs, vloeistof = wit).

Tabel 1: Verwijderingspercentages na lucht/waterspoeling in 1 inch module met een membraan met een doorsnede van 5,2 mm, eerste meetserie

| $U_{Liq}$ (m/s) | $U_{Gas}$ (m/s) | Verwijderingspercentage (%) |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| 0.2             | 0               | 9                           |
| 0.2             | 0.3             | 74                          |
| 0.2             | 0.4             | 72                          |

Tabel 2: Tweede meetserie

| $U_{Liq}$ (m/s) | $U_{Gas}$ (m/s) | Verwijderingspercentage (%) |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| 0.5             | 0               | 29                          |
| 0.4             | 0.1             | 69                          |
| 0.3             | 0.2             | 72                          |
| 0.2             | 0.3             | 84                          |
| 0.1             | 0.4             | 81                          |



Afb. 3: Drukvalen per meter bij heterogene theorie als functie van de gassnelheid (diameter 5,2 mm, vloeistofsnelheid = 0.21 m/s).

tevoreen vastgestelde lucht- en watersnelheid uitgevoerd, waarbij een recovery van 90 procent is nagestreefd. Dat wil zeggen dat voor de spoeling 50 ml water (permeaat) wordt gebruikt. Als maat voor de reiniging is een massa balans voor de droge stof opgesteld. Door het meten van de concentratie droge stof in het concentraat kan de hoeveelheid droge stof die na een reiniging achterblijft bepaald worden. Hoe meer droge stof verwijderd is, des te hoger het verwijderingspercentage en des te effectiever de lucht/waterspoeling is.

Uit de eerste meetserie (constante vloeistofsnelheid) blijkt dat introductie van lucht leidt tot een aanzienlijk hoger verwijderingspercentage dan wanneer geen lucht gebruikt wordt (gassnelheid = 0 m/s). In de tweede meetserie is de mengselsnelheid (= vloeistofsnelheid + gassnelheid) constant gehouden en is gevarieerd met de verhouding tussen de lucht- en watersnelheid. Het hoogste verwijderingspercentage treedt op bij een vloeistofsnelheid van 0.2 m/s en een luchtsnelheid van 0.3 m/s. Dit is

cap-/slug flow. Meer algemeen kan geconcludeerd worden dat de lucht/waterspoeling vijf maal meer vuil verwijderd dan een forward flush met gelijke vloeistofsnelheid.

Drukval experiment

Het derde hoofdexperiment betreft het meten en analyseren van drukverliezen in een membraan bij doorstroming met een lucht/watermengsel. De drukval over een verticaal doorstroomde buis bestaat uit een hydrostatisch- en een wrijvingsdeel. Dit wrijvingsdeel is interessant, omdat hogere wandwrijving leidt tot betere reiniging. Met drukvalmetingen over de glazen buis en de 1 inch module met één membraan is voor een lucht/water mengsel de heterogene drukvaltheorie (Heiszwolf) gevalideerd. Deze theorie is gebaseerd op een vereenvoudigde slug flow, dat wil zeggen het afwisselend passeren van een luchtpakketje en een waterpakketje. Het hydrostatische drukverlies van het mengsel wordt beschreven evenals het wrijvingsdeel van de passerende waterpakketjes en de wrijving in de waterpakketjes als gevolg van een interne circulatiestroom (afbeelding 2).

De lucht/waterspoeling leidt tot een vier maal hogere drukval ten gevolge van wrijving dan een zelfde spoeling zonder lucht (zie tabel 3). De totale drukval wordt echter kleiner omdat de hydrostatische opvoerhoogte kleiner is. Het omhoog pompen van een volume lucht/watermengsel kost nu eenmaal minder energie dan het omhoog brengen van een zelfde volume water. Verder neemt de drukval door wrijving toe bij verhoging van de luchtsnelheid (afbeelding 3). Daarbij moet bedacht worden dat de theorie voor een slug flow is afgeleid, dus voor de hoge luchtsnelheden (meer dan circa één meter per seconde) niet meer geldig is.

Conclusies

De resultaten van de drie proeven vullen elkaar aan en bevestigen dat de lucht/water-

| $U_{\text{Liq}}$ (m/s) | $U_{\text{Gas}}$ (m/s) | Totale drukval (Pa/m) | Wrijvingsdeel (Pa/m) | Hydrostatisch deel (Pa/m) |
|------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 0.3                    | 0                      | 10.198                | 388                  | 9.810                     |
| 0.3                    | 0.2                    | 7.486                 | 1.600                | 5.886                     |
| 0.3                    | 0.4                    | 6.106                 | 1.902                | 4.204                     |
| 0.3                    | 0.6                    | 5.445                 | 2.175                | 3.270                     |

Tabel 3: Drukvalen per meter volgens heterogene theorie (1 inch module met één membraan met doorsnede van 5,2 mm).

spoeling aanmerkelijk (vier tot vijf maal) beter reinigt dan een forward flush met gelijke vloeistofsnelheid. Daar moet bij aangemerkt worden dat dit geldt voor het gebruikte spoelwater en dat de proeven in een 1 inch module met daarin één enkel membraan zijn uitgevoerd. Ook moet bedacht worden dat niet naar combinaties van verschillende reinigingsmethoden is gekeken. Het voorlopige praktijkadvies is een watersnelheid van 0.2 m/s en een luchtsnelheid van 0.3 m/s te hanteren.

### Minder chemisch reinigen

Wat zijn nu de gevolgen voor de praktijk? De aangetoonde effectiviteit van de

lucht/waterspoeling maakt minder vaak chemisch reinigen mogelijk. Hierdoor zal de levensduur van de membranen verlengd worden, hetgeen een aanzienlijke besparing zal opleveren op de membraanvervangingskosten en dus op de bedrijfskosten. Verder worden kosten bespaard op de inkoop van chemicaliën, ontstaat minder chemisch afval en gaat minder productietijd verloren, omdat minder tijd nodig is om de chemicaliën te laten inweken en uit te spoelen.

### Verder onderzoek

De resultaten van dit onderzoek zijn zodanig positief dat verder onderzoek op de TU

Delft wordt opgezet. Aspecten die hier onderzocht gaan worden zijn onder andere de validatie van de geconstateerde fenomenen in een module met meer dan één membraan, de invloed van luchtinjectie en aanstroming van een membraanmodule op de stabiliteit van het bellenpatroon en de invloed van de membraandiameter op de stabiliteit en de reinigende werking van het bellenpatroon. Verder zal de invloed van combinaties van lucht/waterspoeling met forward flush, back flush en chemisch reinigen onderzocht worden. 

De volledige onderzoeksresultaten kunnen opgevraagd worden bij de sectie Drinkwater van de TU Delft, Eefje Ooms (015) 278 33 47.

### LITERATUUR

- Heiszwojf J., L. Engelaart, M. Kreutzer, D. Parrillo, F. Kapteijn en J. Moulijn (1999). Hydrodynamics and mass transfer of co-current two-phase flow in monoliths. TU Delft.
- Van der Meer W., R. Termeulen, P. de Moel en H. van Dalen (1999). Luchtspoeling bij ultrafiltratie. H<sub>2</sub>O nr. 4, pag. 20-22.
- Worm I. (2000). Lucht/waterspoeling bij ultrafiltratie. Afstudeerverslag TU Delft.