

En rystende filterforklaring

Filtrering kan ende som en tilstoppet køkkenvask efter en stor opvask. Men sådan behøver det ikke at være. Her følger en beretning om vibrerende membranfiltrering

Af Søren Prip Beier og Gunnar Jonsson, CAPEC/Institut for Kemiteknik, DTU

Alle os uden opvaskemaskine har prøvet det; efter en større kamp med opvasken er det næste slag at få opvaskevandet ud af køkkenvasken. Diverse udefinerbare komponenter fra det netop overståede måltid har i samspil med solventet (vand i dette tilfælde) dannet en suspension, som ikke så nemt lader sig transportere til kloakken via afløbsristen i køkkenvasken. Indledningsvis er flowet af opvaskevand gennem afløbet højt, men vil dog hurtigt falde i takt med at »filterkagen« vokser. Til sidst vil afløbsristen være næsten tilstoppet, og resultatet er en halvfuld køkkenvask. Separationsprocessen er gået i stå.

Tilsvarende problemer støder man ofte på i en lang række industrier, hvor der er behov for oprensning eller separation af forskellige komponenter i en opløsning eller suspension. Efter en evt. grovfiltrering ses brugen af membraner og membranmoduler ofte til det formål at forestå en given adskillelse. Som for problemet med køkkenvasken støder man tit på tilsvarende problemer i membranmoduler. Indledningsvis er fluxen gennem membranen høj, men vil dog hurtigt falde til et meget lavt niveau, da fødestrømmens forskellige komponenter blokerer og tilstopper membranens porer. Et fænomen der benævnes *fouling*, og som kan sammenlignes med den mere eller mindre udefinerbare filterkage oven på afløbsristen i køkkenvasken.

I dag kan problemer med fouling i membranmoduler løses/minimeres ved at lade fødestrømmen passere tangentielt hen over membranens overflade ved høj hastighed (benævnes *cross-*

flow) og under tryk. Trykket gør, at en del af fødestrømmen »presses« gennem membranen som permeat, og derved opnås den ønskede adskillelse. Det tangentielle cross-flow skaber en hastighedsgradient på membranoverfladen af en vis størrelse (benævnes *shear rate*). Jo større hastighedsgradient på membranoverfladen, jo vanskeligere er det for fødestrømmens komponenter at sætte sig fast på membranoverfladen og i membranens poreåbninger. Derved er der mulighed for at opnå en højere permeatflux gennem membranen ved at øge cross-flow-hastigheden, da membranen derved vil blive mindre tilstoppet. Bagsiden af medaljen ved cross-flow-membranfiltrering er det store pumpeenergiforbrug, der er forbundet med at pumpe fødestrømmen og evt. permeatstrømmen hen over membranen på hver sin side. På den baggrund ville et mål være at kunne udføre en sådan enhedsoperation med stor hastighedsgradient på membranoverfladen, samtidig med at pumpeudgifterne holdes nede.

Stigende modstand

Fluxen (J) gennem en membran er proportional med trykket (ΔP) hen over membranen, når der er tale om ren solvent. Proportionalitetskonstanten er membranens permeabilitet (l_p), og sammenhængen er givet ved Darcys lov [1]:

$$J = l_p \cdot \Delta P = \frac{\Delta P}{\eta \cdot R_m} \quad (1)$$

Når det kun er solvent, som transporteres gennem membranen, er membranens permeabilitet kun afhængig af viskositeten (η) og membranens modstand (R_m). I det øjeblik fødestrømmen indeholder komponenter ud over solvent, afhænger fluxen imidlertid også af en række andre modstande forårsaget af bl.a. membranfouling. Yderligere kan akkumulering af tilbageholdte komponenter ved membranoverfladen (koncentrationspolarisation) udgøre et ikke ubetydeligt osmotisk tryk (π), som nødvendigvis skal modregnes det pålagte hydrostatiske tryk for at give den effektive trykforskel hen over membranen. Derfor skal formel (1) i praksis udvides i forbindelse med oprensning/adskillelse af forskellige fødeblandinger:

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{\eta \cdot (R_m + R_f)} \quad (2)$$

Et ekstra bidrag, som beskriver foulingmodstanden (R_f), er tilføjet, og yderligere er den osmotiske trykforskel hen over membranen modregnet den hydrostatiske trykforskel. Foulingmodstanden vil ofte stige under filtrering og medføre faldende flux, hvilket i køkkenvasktilfældet ses ved, at opvaskevandet løber langsommere ud. I cross-flow-filtrering er det foulingmodstanden og den osmotiske trykforskel, som minimeres ved at have en høj hastighedsgradient på membranoverfladen. Det er imidlertid dyrt at minimere foulingmodstanden og den osmotiske trykforskel ved cross-flow-membranfiltrering pga. pumpeudgifterne.

Pipettecenteret

Kalibrering og service af alle fabrikater pipetter.

Vi kalibrerer både ved indsendelse eller på kundens adresse.

Salg af pipetter og laboratorie varer.



Pipettecenteret

Skovkanten 41 · 4700 Næstved
Tlf. 55 73 62 05 · Mobil 30 33 32 49
Email. nielslindgaard@stofanet.dk
www.pipettecenteret.dk



SKANLAB

MM 301 Svingmølle

Retsch
Reproducerbar formaling
og kornstørrelsesanalyse



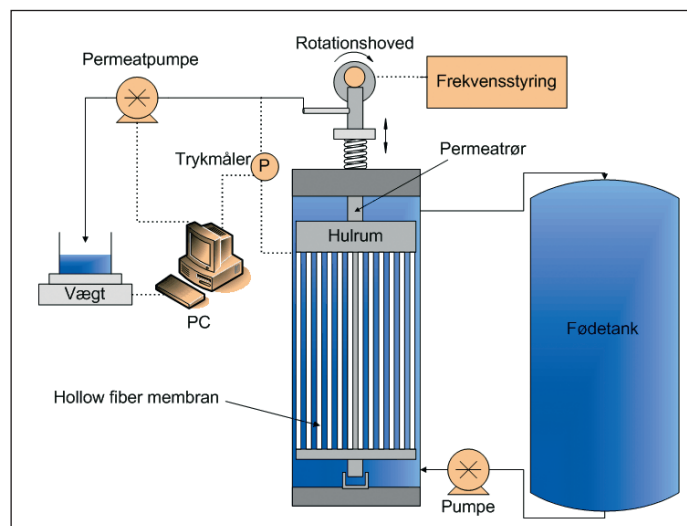
Velegnet til nedbrydning af biologiske celler i f.m. DNA/RNA undersøgelser.

Tlf. 47 38 10 14 www.skanlab.com

En rystende løsning

I stedet for at lade membranen være i stilstand og pumpe føde- og permeatstrømmen hen over denne, kan hastighedsgradienten på membranoverfladen skabes ved at lade selve membranen bevæge sig. Således kan bevægelser mellem fødestrømmen og selve membranen skabe den nødvendige hastighedsgradient, som kan minimere foulingmodstanden og den osmotiske trykforskel. Dermed er behovet for høj cross-flow-hastighed ikke længere eksisterende. Et sådan vibrerende system er skitseret i figur 1.

Kernen i systemet er selve membranmodulet, som består af hollow fiber-membraner placeret lodret i et modul. Modulet er via en fjeder forbundet til rotationshovedet, som, når det roterer, forplanter vertikale oscillationer til modulet. Frekvensen kan ændres, og ved udskiftning af rotationshovedet kan vibrationsamplituden ligeledes varieres. Vibrationerne skaber den fornødne hastighedsgradient på overfladen af membranfibrene, således at foulingmodstanden minimeres. Modsat den konstante hastighedsgradient i cross-flow-fil-



Figur 1. Skitse af et vibrerende membranfiltreringssystem [2].

BROEN REDLINE

- nødbrusere iht. EN-norm 15154 - 1&2



Rekvirer ny REDLINE brochure hos BROEN

- ✓ Mangeårig erfaring med professionelle nødbruserløsninger i ind- og udland
- ✓ Nye fleksible løsninger giver nem og hurtig montage
- ✓ Skaber sikkerhed på arbejdspladsen
- ✓ I henhold til EN-norm 15154 - 1&2
- ✓ Unik kombination af kvalitet og design

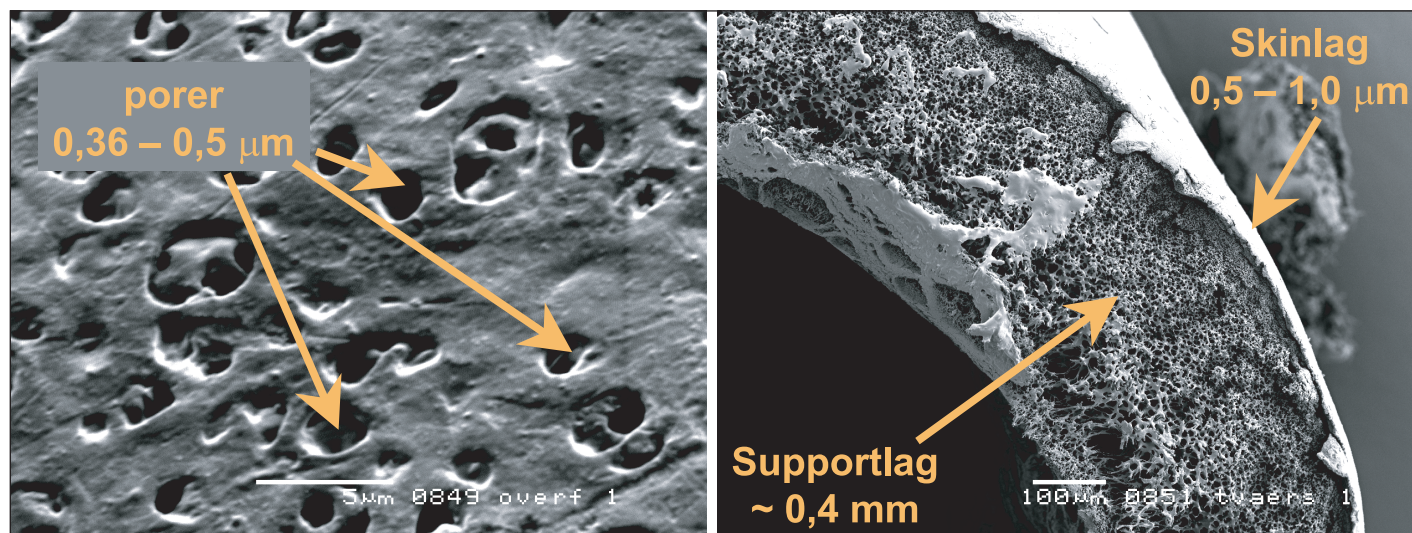
BROEN

for the Professionals

BROEN LAB GROUP · Skovvej 30 · DK-5610 Assens · Tlf. 64 71 20 95 · Fax 64 71 24 76 · E-mail: lab@broen.com

www.broen.com

AI Dansk Patent



Figur 2. Scanning elektronmikroskopi (SEM)-billeder af en PES hollow fiber. Tv.: Overfladebillede med porestørrelser mellem 0,36 og 0,5 µm. Th.: Tværsnitsbillede af en hollow fiber. På ydersiden ses skinlaget med en tykkelse på mellem 0,5 og 1 µm, som er støttet af et supportlag med en tykkelse på ca. 0,4 mm [3].

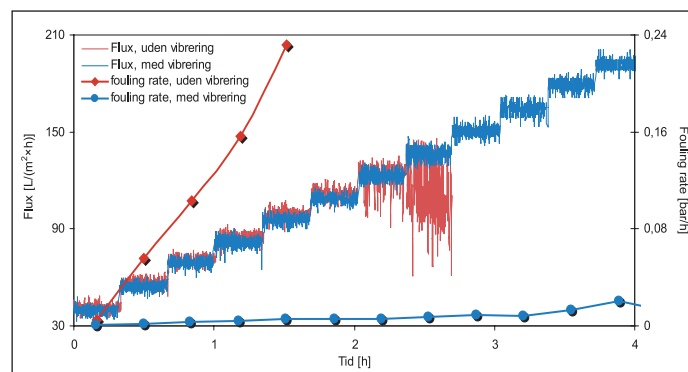
trering ændres hastighedsgradienten periodisk i »sinus-bevægelser«. Trykket hen over membranen skabes af en permeatpumpe, som genererer undertryk i »hulrummet«. Alle membranfibrene er åbne i den ende, der er forbundet til hulrummet, og de er lukkede i bunden, hvor de er fastmonteret i en stålplade. Undertrykket i hulrummet forplanter sig til hulrummet inde i de enkelte hollow fiber-membraner, og derved suges permeat gennem de vibrerende fibre. Fødeblandingen recirkuleres mellem selve membranmodulcyklinderen

og fødetanken ved lav hastighed. Fluxen gennem membranmodulet måles af pc'en ved at veje permeatet, og trykket måles af en trykmåler.

Selve hollow fiber-membranerne kan være lavet af forskelligt materiale. Et polymermateriale og et keramisk materiale er blevet testet. Ens for begge membran typer er, at selve membranlaget (skinlaget) er placeret på ydersiden af fibrene. De testede polymer hollow fibers er lavet af polyethersulfon (PES). På figur 2 ses scanning elektronmikroskopi (SEM)-billeder af hhv. overfladen på en PES hollow fiber og et tværsnit. Polymer hollow-fibrene er produceret af X-flow i Holland, mens de keramiske hollow fibers er produceret af Copenhagen Membrane Technology A/S (CoMeTAS) Danmark i materialet siliciumkarbid (SiC).

Kritisk flux

Målet med et vibrerende membransystem er at kunne klare en given filtrering længst mulig tid, således at antallet af stop til bl.a. rensning af systemet minimeres. Vibrationerne bidrager til, at mængden af komponenter fra fødestrømmen, som aflejres og »fouler« membranen, minimeres. Dog kan fouling af membranen alligevel forekomme, hvis fluxen overstiger et vist niveau. Et sådant fluxniveau benævnes ofte *kritisk flux*. Hvis fluxen holdes under den kritiske flux, minimeres foulingproblemerne, mens en flux over den kritiske flux fører til fouling og tilstopning af membranen selv under vibrering. Den kritiske flux kan bestemmes eksperimentelt ved måling af samhørende værdier af flux og tryk. Effekten af vibrering ses i figur 3, hvor to identiske



Figur 3. Effekten af vibrering. Fouling rate som funktion af tid for to identiske forsøg, hvor fluxen trinvis øges, hhv. uden og med vibrering af membranmodulet (25 Hz og 1,375 mm amplitude). Fødeblandingen består af 4 g/L tørgær suspenderet i vand, og membranmodulet består af SiC hollow fibers.



GILSON

Pipetman® Neo

NYHED !

Stempeltryk reduceret med op til 50 %

TILBUD:

“Neo Intro-kit”

Dækker hele området fra 1µl til 1000µl:

P10N + P100N + P1000N

3.495,- dk.kr.

(Tilbud gældende til 01-12-07

- Normalpris: 5.350,- ekskl. moms.)



**BIO
LAB**

Biolab A/S · Sindalsvej 29

DK-8240 Risskov

Telefon 8621 2866

Telefax 8621 2301

E-mail: sales@biolab.dk

Kalibrering af pipetter. - DANAK akkreditering nr. 482.

Specialister i:

SPE * HPLC * GPC * LC * FLASH Spektrofotometre * TLC * CE *

forsøg hhv. uden og med vibrering (25 Hz, 1,375 mm amplitude) vises. Fødeblandingen består af 4 g/l tørgær suspenderet i vand, og membranmodulet består af SiC hollow fibers til mikrofiltrering. Hastigheden, hvormed membranmodulet tilstoppes, tilsmudses og »foules«, udtrykkes som *fouling rate*, der defineres som ændringen i trykket hen over membranen på det pågældende tidspunkt. Således svarer *fouling rate* til hældningen af trykkurven som funktion af tiden. Det ses, at når modulet ikke vibreres, stiger hastigheden, hvormed modulet »fouler« meget hurtigt ift. hvis, der vibreres. Den kritiske flux kan defineres som den flux, hvorunder *fouling rate* holdes nogenlunde konstant. På figur 3 svarer det til, at uden vibrering overskrides den kritiske flux allerede ved første »fluxtrin«, hvorimod den kritiske flux med vibrering ikke overskrides i det afbildede interval. Yderligere ses så massiv fouling af modulet uden vibrering, at fluxen rent faktisk begynder at falde efter godt 2 timer. Den kritiske flux er en stigende funktion af hastighedsgradienten på membranoverfladen. Det betyder, at den kritiske flux øges ved at øge vibreringsfrekvensen eller amplituden [2,3].

... og hvad så?

Det kan altså betale sig at vibrere modulet, da det kraftigt minimerer tilsmudsning og fouling af hollow fiber-membranerne, hvorved foulingmodstanden minimeres. Yderligere minimeres den osmotiske trykforskel pga. en større opblanding under vibrering på fødestrømsiden af membranen (koncentrationspolarisationen minimeres). Alt i alt kan pumpeomkostningerne holdes på et meget lavt niveau. Naturligvis kræver det også energi at vibrere selve modulet, men dette energiforbrug overstiger ikke det energikrav, som normalt er forbundet med at opretholde høj cross-flow-hastighed af både permeat og fødestrøm. Ydermere har modulet i forbindelse med mikrofiltrering vist sig effektiv til at yde høj transmission af makromolekyler (> 90%) [3]. Ofte ses problemer med lav transmission i cross-flow-mikrofiltrering af makromolekyler, idet især proteiner har tendens til at aggregere og tilstoppe membraners porer. Netop kombinationen af foulingreduktion og høj transmission kan tænkes at finde mange anvendelsesområder. Det kunne eksempelvis være i forbindelse med kontinuert at fjerne makromolekyler fra en fermentering; makromolekyler som enten er produkt og/eller inhiberer selve fermenteringen. På den måde kan fermenteringen gøres mere effektiv.

Andre vibrerende membranenheder findes beskrevet i litteraturen, og enkelte anderledes udformede systemer er i brug på kommerciel basis. Mulighederne med vibrering er mange...

.... så hvad er løsningen på den tilstoppede køkkenvask? Ja, normalt hvirvler man jo blot rundt i opvaskevandet med opvaskebørsten for at skabe turbulens og hvirvle madresterne væk fra afløbsristen, så vandet kan passere. Det er i princippet det samme som at vibrere et membranmodul.

E-mail-adresser

Søren Prip Beier: spb@kt.dtu.dk
Gunnar Jonsson: gj@kt.dtu.dk

Referencer

1. Beier, 2006 Pressure driven membrane processes, S. P. Beier, Ventus Publishing, Copenhagen, Denmark (2006)
2. Beier et al., 2006 Dynamic microfiltration with a vibrating hollow fiber membrane module: Filtration of yeast suspensions, S. P. Beier, M. Guerra, A. Garde and G. Jonsson, Journal of Membrane Science. Vol. 281, pp. 281-287 (2006)
3. Beier & Jonsson, 2007 Separation of enzymes and yeast cells with a vibrating hollow fiber membrane module, S. P. Beier and G. Jonsson, Separation & Purification Technology. Vol. 53, pp. 111-118 (2007).



ChemManager®

Software til kemikaliestyling

ChemManager® giver overblik og hjælper virksomheder med kravene i REACH og GHS, herunder:

- ♦ Kommunikation og registrering
- ♦ Eksponeringsscenarier
- ♦ Kemikaliesikkerhedsrapporter
- ♦ Sikkerhedsdatablade
- ♦ Arbejdsbrugsanvisninger
- ♦ Transportdokumenter



Se mere på www.chemmanager.com

DHI Center for Miljø og Toksikologi Agern Allé 5 Hørsholm
Tel: 4516 9200

Ren gas for miljøets skyld



'701 02 107

Den direkte linie til den bedste rådgivning
om gas til alle formål!

STRANDMØLLEN

www.strandmollen.dk