

Marek GRYTA

e-mail: marek.gryta@zut.edu.pl

Instytut Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

## Membranowy moduł kapilarny z podwójnie uszczelnioną głowicą

### Wstęp

Proces membranowy prowadzi się w module membranowym, który stanowią membrany wraz z ich konstrukcją nośną. W modułach kapilarnych membrany uformowane w postaci rurek są umieszczone w obudowie rurowej, równoległe do jej osi. Końce membran kapilarnych są szczelnie zamocowane, z obydwu stron obudowy, w masach polimerowych tworząc razem z przyłączami głowicę modułu [1].

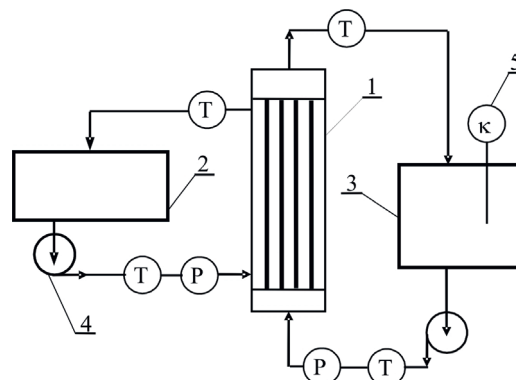
Moduły kapilarne pozwalają uzyskać dobre warunki wymiany masy i ciepła, stąd często są wykorzystywane do prowadzenia procesu destylacji membranowej (*Membrane Distillation*) [2–4]. W procesie tym stosowane są niezwilżone membrany hydrofobowe. Lotne składniki roztworu zasilającego (np. H<sub>2</sub>O) odparowują na granicy roztwór/membrana i dyfundują przez gaz wypełniający pory membrany na jej drugiej stronie, gdzie są kondensowane. W przypadku bezpośredniej kontaktowej destylacji membranowej (*Direct Contact Membrane Distillation*) para kondensuje bezpośrednio w strumieniu chłodnego destylatu przepływającego po drugiej stronie membrany [2, 3]. W podobny sposób kondensację par prowadzi się w osmotycznej (*Osmotic Membrane Distillation*) [5]. W tym wariantcie roztwory przepływające po obu stronach membrany mają podobną temperaturę, a różnicę prężności pary uzyskuje się stosując stężone roztwory soli (np. NaCl), które pochłaniają wodę.

Wypełnienie porów membran w MD jedynie przez fazę gazową oznacza, że roztwór zasilający (nadawa) jest oddzielony szczeliną gazową od przepływającego po drugiej stronie membrany destylatu. Umożliwia to w procesie MD nawet ze stężonych roztworów soli uzyskać wodę o wysokim stopniu czystości (przewodnictwo właściwe poniżej 0,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) [2]. Przeniknięcie przez ściankę membran zaledwie kilku kropli nadawy może spowodować kilkukrotny wzrost wartości przewodnictwa właściwego destylatu. W przypadku OMD przenikanie soli mogłoby zdyskwalifikować zateżany produkt, na przykład sok owocowy [5].

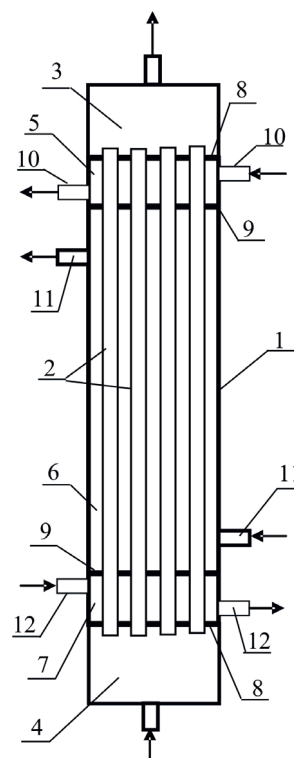
Stosowane kleje polimerowe z trudem łączą się z powierzchnią hydrofobowych membran, co może być powodem powstania nieszczelności w głowicy modułu. W pracy przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne modułu kapilarnego, które ogranicza przenikanie nadawy przez ewentualne nieszczelności w mocowaniu membran. Skuteczność proponowanego rozwiązania sprawdzono w badaniach długoterminowych OMD.

### Część doświadczalna

Badania doświadczalne prowadzono używając zautomatyzowaną instalację OMD przedstawioną na rys. 1. Składała się ona z dwóch obiegow zamkniętych, połączonych z pionowo ustawionym kapilarnym modulem membranowym. Moduły (MK1 i MK2) wykonano z rury PCV (3/4 cala), wewnątrz której zamontowano cztery polipropylenowe membrany kapilarne *Accurel PP V8/2 HF* (*Membrana GmbH*, Niemcy), o średnicy  $d_w/d_z = 5,5/8,6$  mm i długości 70 cm. W nowym rozwiązaniu (moduł MK2) zastosowano podwójne mocowanie końców membran, wykonane 6 cm jedno od drugiego. W ten sposób, zamiast jednej przestrzeni pomiędzy kapilarami, uzyskano dodatkowo dwie mniejsze (–5 i 7, Rys. 2). Komory te są otwarte do otoczenia, co umożliwia swobodny wypływ cieczy w przypadku zaistnienia ewentualnego przecieku. W rozwiązaniu istnieje również możliwość stosowania przepłukiwania tych komór (dodatkowe króćce boczne –10 i 12, Rys. 2)



Rys. 1. Schemat instalacji doświadczalnej OMD. 1 – moduł kapilarny, 2 – zbiornik solanki z odparowaniem naturalnym, 3 – zbiornik wody, 4 – pompa wirowa, 5 – miernik konduktometryczny, T – termometr, P – manometr



Rys. 2. Moduł kapilarny z podwójnie uszczelnioną głowicą. 1 – obudowa, 2 – membrany kapilarne, 3 – głowica górna, 4 – głowica dolna, 5 – górna przestrzeń, międzykapilarna, 6 – środkowa przestrzeń międzykapilarna, 7 – dolna przestrzeń międzykapilarna, 8 – zewnętrzne klejenie kapilar (płaszczyzna wlotów do kapilar), 9 – wewnętrzne klejenie kapilar, 10 – króćce boczne górny, 11 – króćce boczne środkowy, 12 – króćce boczne dolny

Instalacja OMD pracowała w sposób ciągły i badania prowadzono przez kilkanaście miesięcy. W trakcie badań po zewnętrznej stronie membran przepływał nasycony roztwór NaCl, a do środka kapilar współpracowo podawano wodę destylowaną. Roztwór solanki był otwarty, co pozwalało utrzymać stałe stężenie soli poprzez naturalne odparowanie odbieranej wody do otoczenia. Ciśnienie hydrauliczne na wlocie do modułu po obu stronach membran było podobne i wynosiło 0,32–0,36 bara. Temperatura wody wynosiła 300–303 K, natomiast solanki była niższa o 1–2 K. W celu sprawdzenia szczelności modułu obieg wody okresowo

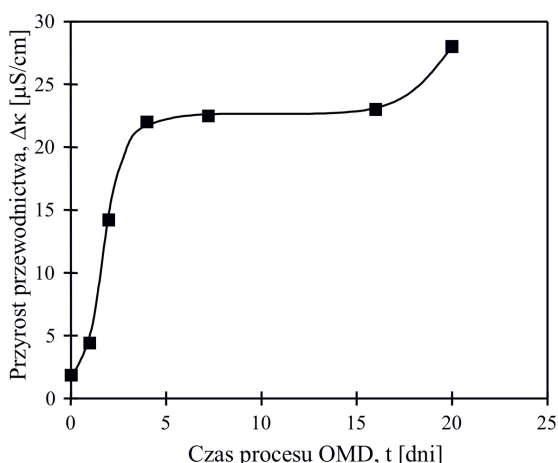
wo dokładnie przepłukiwano, a następnie napełniano nową porcją wody zdemineralizowanej, uzyskując startowe przewodnictwo na poziomie 1–1,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Intensywność przecieków oceniano na podstawie pomiarów zmian przewodnictwa właściwego wody w trakcie kolejnych 10 h pracy instalacji (miernik *Multimeter 6L*, *Myron*, USA).

### Omówienie wyników

Przeprowadzone badania procesu OMD wykazały, że nowa konstrukcja modułu kapilarnego nie pogorszyła wydajności procesu. W obydwu przypadkach (moduły MK1 i MK2) uzyskiwano podobne wielkości strumienia permeatu, który w zależności od temperatury wody zmieniał się w zakresie 0,25–0,3  $\text{dm}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Stwierdzono natomiast istotny wpływ sposobu uszczelnienia membran kapilarnych na wielkość przecieku solanki do obiegu cyrkulującej wody destylowanej.

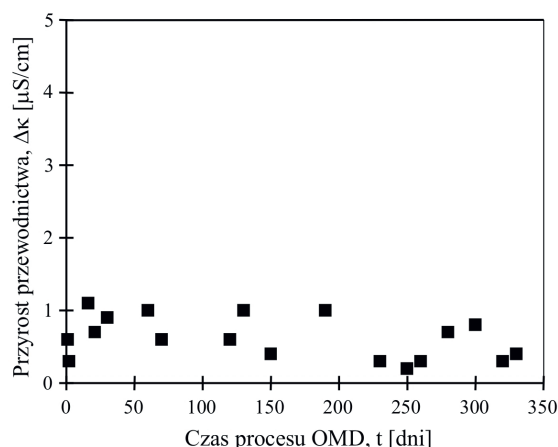
Badając proces OMD z użyciem modułu kapilarnego o tradycyjnej konstrukcji, z pojedynczym klejeniem, zaobserwowano systematyczny wzrost przewodnictwa właściwego cyrkulującej wody. Okresowo prowadzone 10 h pomiary zmian jego wartości wykazały, że podczas 20 dni pracy modułu MK1 odnotowane przyrosty wartości przewodnictwa wzrosły z 4,4 do 28  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Rys. 3). Taki wynik wskazuje na powstanie niewielkiego przecieku nadawy, rzędu kilku kropeł. Jednak nawet tak niewielka ilość zanieczyszczeń może w pewnych aplikacjach, jak produkcja ultraczystej wody czy zateżnianie soków, stanowić problem.

Największe przyrosty przewodnictwa wystąpiły podczas kilku pierwszych dni eksploatacji modułu MK1. Najprawdopodobniej były one następstwem nieszczelności powstałych na etapie montażu modułu. W kolejnych dniach przeciek ustabilizował się, po czym od 15 dnia pracy instalacji ponownie zaczął wzrastać. Świadczyło to o pojawieniu się następnych nieszczelności w zamocowaniu membran. Przenikanie soli z solanki do wody może być również efektem częściowego zwilżenie porów membran. Jest to jednak mało prawdopodobne, gdyż ze względu na znaczną grubość ścianek użyte membrany wykazują dużą odporność na zwilżanie, co w pełni potwierdziły wyniki badań modułu MK2.



Rys. 3. Zmiany przyrostu przewodnictwa właściwego wody podczas badań OMD z użyciem tradycyjnej konstrukcji modułu kapilarnego (MK1)

Wyniki badań procesu OMD z modułem, w którym zastosowano podwójne zamocowanie membran przedstawiono na rys. 4. Prowadzone okresowe pomiary zmian przewodnictwa właściwego wykazały, że przez kilkanaście miesięcy pracy modułu MK2 badana woda charakteryzowała się prawie stałym przewodnictwem. Potwierdza to, że przepływający przez moduł stężony roztwór soli nie spowodował zwilżenia zamontowanych w nim membran. Niska wartość przewodnictwa wskazuje również, że nie było przecieku solanki do wody przez zamocowanie membran.



Rys. 4. Zmiany przyrostu przewodnictwa właściwego wody podczas badań OMD z użyciem modułu kapilarnego z podwójnie uszczelnioną głowicą (MK2)

Po kilku tygodniach pracy modułu MK2 w dolnej komorze przestrzeni międzykapilarnej (–7, Rys. 2) zaobserwowano narastanie kryształów soli. Ich obecność wskazywała, że także ten moduł utracił szczelność zamocowania membran, co umożliwiło powolne wyciekanie nasyconego roztworu NaCl. Brak przyrostów wartości przewodnictwa właściwego wody wskazuje, że pomimo nieszczelności w zamocowaniu membran, nowa konstrukcja głowicy zapobiegła przenikaniu soli do obiegu wody. Zbierający się osad soli usuwano okresowo przepłukując komorę – 7 wodą destylowaną (króciec – 12).

Istotą nowego rodzaju modułu kapilarnego jest zastosowanie w nim głowic z podwójnym zamocowaniem membran i z niewielką powietrzną komorą (bezcisnieniową) pomiędzy klejeniami (rodzaj bufora). Ewentualne przecieki wpływają do utworzonej komory i wypływają swobodnie z jej wnętrza. Brak ciśnienia w komorze uniemożliwia przepływ roztworu przez nieszczelności w klejeniu. Mocowania membran pełnią w tym przypadku rolę dławicy, analogicznie jak uszczelnienia dławicowe w zaworach.

### Wnioski

Utrzymanie szczelności zamocowania wszystkich hydrofobowych membran kapilarnych w module MD jest trudne, tym bardziej że sól wykazuje tendencję do penetracji pomiędzy materiałem klejącym a ścianką hydrofobowej kapilary.

Zastosowanie podwójnej warstwy klejenia membran kapilarnych, z utworzeniem pomiędzy nimi bezcisnieniowej komory (korzystnie dodatkowo przepłukiwanej), pozwala zabezpieczyć obieg destylatu przed dostawaniem się do niego nadawy.

Efektywność rozwiązania z podwójnie uszczelnioną głowicą potwierdzono w trwających rok badaniach prowadzonych w instalacji pilotowej OMD (praca non stop). W przypadku wystąpienia ewentualnego uszkodzenia mocowania którejś z membran, swobodny odpływ na zewnątrz solanki z przestrzeni pomiędzy klejeniami przyczynił się do ograniczenia stopnia zanieczyszczenia strumienia cieczy płynącej po drugiej stronie membran.

### LITERATURA

- [1] R. Rautenbach: *Procesy membranowe*. WNT, Warszawa 1996.
- [2] K. Schneider, W. Hölz, R. Wöllbeck, J. Membr. Sci. **39**, 25 (1988).
- [3] M. Gryta, M. Tomaszewska, A. Morawski, W. Judycki, W. Piątkiewicz: *Inż. Ap. Chem.* **37**, nr 4, 3 (1998).
- [4] K.Y. Wang, T.S. Chung, M. Gryta: *Chem. Eng. Sci.*, **63**, 2587 (2008).
- [5] M. Gryta: *J. Membr. Sci.* **246**, 145 (2005).