

Małgorzata Kabsch-Korbutowicz, Agnieszka Urbanowska

Przydatność membran ceramicznych do usuwania naturalnych substancji organicznych z wody

W układach oczyszczania wód powierzchniowych do usuwania zawieszin oraz naturalnych substancji organicznych najczęściej wykorzystuje się proces koagulacji, połączony z sedymentacją i filtracją pospieszną. Zastosowanie tych procesów może powodować wtórne zanieczyszczenie wody, np. produktami hydrolizy koagulantów, a ponadto przyczynia się do wytworzenia dużych objętości strumieni odpadowych – osadów pokoagulacyjnych i popłuczyn, których objętość stanowi przeciętnie 2÷7% objętości oczyszczanej wody.

W celu zwiększenia stopnia oczyszczania wody oraz ograniczenia objętości strumieni odpadowych coraz częściej do usuwania z wody zawieszin, koloidów oraz mikroorganizmów wykorzystywane są niskociśnieniowe procesy membranowe. W eksploatowanych na całym świecie instalacjach membranowych najczęściej stosowane są membrany wytwarzane z materiałów organicznych, np. polisulfonu, polietersulfonu, poliamidu lub materiałów celulozowych. Powszechność stosowania membran polimerowych wynika przede wszystkim z bardzo dużej dostępności membran o bardzo różnych możliwościach separacyjnych. Ponieważ polimery stosowane do wytwarzania membran są nieodporne na działanie czynników chemicznych, termicznych i biologicznych, od dłuższego czasu trwają prace nad wytwarzaniem membran o znacznie większej odporności na działanie niekorzystnych czynników. Wymogi te spełniają membrany nieorganiczne, wytwarzane z materiałów ceramicznych, które od połowy XX w. znalazły już zastosowanie m.in. w przemyśle chemicznym do oczyszczania cieczy agresywnych oraz do rozdziału izotopów promieniotwórczych [1].

Membrana ceramiczna ma strukturę asymetryczną. Składa się z makroporowatego podłoża i cienkiej warstwy naskórkowej, decydującej o jej zdolnościach separacyjnych. Wielkość porów dostępnych na rynku membran ceramicznych wynosi od 0,005 μm do 1 μm . W typowych membranach grubość warstwy podtrzymującej wynosi 1÷3 mm. W membranach mikrofiltracyjnych warstwa naskórkowa, o grubości 10÷30 μm , wytwarzana jest z tlenku cyrkonu (ZrO_2) lub tlenku glinu (Al_2O_3). Do wytwarzania warstwy naskórkowej w membranach mikrofiltracyjnych zastosowanie znalazł też węgiel krzemu (SiC). Warstwa naskórkowa nieorganicznych membran ultrafiltracyjnych ma grubość kilku mikrometrów i formowana jest najczęściej

z tlenku cyrkonu, tlenku glinu, tlenku tytanu (TiO_2) lub tlenku ceru (CeO_2). W membranach nanofiltrycyjnych skórka o grubości mniejszej od 1 μm wytwarzana jest z tlenku cyrkonu lub tlenku tytanu [2].

Rodzaj materiału użytego do wytwarzania warstwy separacyjnej membran ceramicznych wpływa na jej strukturę, a tym samym na zdolności separacyjne membrany, ale także ma wpływ na ładunek powierzchniowy membran, zależny od wartości punktu izoelektrycznego materiału (tab. 1). W przypadku pH separowanych roztworów mniejszego od wartości punktu izoelektrycznego (IEP – isoelectric point) membrana ma ładunek dodatni, zaś podczas filtracji roztworów o $\text{pH} > \text{pH}_{\text{IEP}}$ membrana przyjmuje ładunek ujemny. Wartość i znak ładunku powierzchniowego membran mają istotny wpływ na intensywność blokowania membran (fouling).

Tabela 1. Punkt izoelektryczny materiałów stosowanych do wytwarzania membran ceramicznych [3]
Table 1. Isoelectric points of materials used in the production of ceramic membranes [3]

Materiał	Punkt izoelektryczny (pH_{IEP})
Al_2O_3	8,3 i 9,8
SiC	2,7
TiO_2	6,0
ZrO_2	7,5

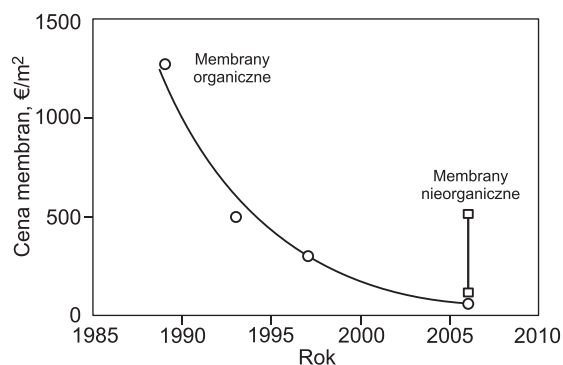
Spośród wielu zalet membran ceramicznych, na szczególne podkreślenie zasługują [4]:

- odporność na działanie czynników chemicznych, termicznych i biologicznych,
- odporność na uszkodzenia mechaniczne,
- możliwość czyszczenia membran przy użyciu silnych kwasów lub zasad, co pozwala na wieloletnią ich eksploatację,
- możliwość przechowywania w stanie suchym (po wypłukaniu),
- możliwość sterylizacji parą,
- możliwość wykorzystania zużytych membran, jako materiału ceramicznego.

Podstawowy problem związany z eksploatacją membran ceramicznych, poza ich łamliwością, wynika z różnej rozszerzalności termicznej membran i obudów, co powoduje problemy z uszczelnieniami obiegów koncentratu i permeatu [5].

W latach 80. XX w. do oczyszczania cieczy coraz częściej zaczęto stosować membrany nieorganiczne, jednak

ze względu na ich znacznie wyższe koszty, w porównaniu do cen materiałów organicznych, powszechność ich użycia była bardzo ograniczona. Obecnie ceny membran nieorganicznych są bardzo zróżnicowane i zależą od typu membrany i wielkości porów. Analizując ceny membran organicznych (rys. 1), które na przestrzeni ostatnich lat uległy znaczącemu zmniejszeniu, można przypuszczać, że podobna tendencja będzie obserwowana w przypadku membran nieorganicznych. Ponadto większa wydajność hydrauliczna membran ceramicznych pozwoli na użycie mniejszych powierzchni membran, w porównaniu do membran polimerowych, w celu uzyskania określonej wydajności instalacji.



Rys. 1. Ceny membran organicznych i ceramicznych [8]
Fig. 1. Prices of organic and ceramic membranes [8]

Kolejnym czynnikiem przemawiającym na korzyść membran ceramicznych jest ich dłuższy czas eksploatacji, co rekompensuje wyższe koszty inwestycyjne układów, w porównaniu do systemów z membranami polimerowymi. Bardzo dobre właściwości membran ceramicznych oraz ich malejące ceny przyczyniają się do wzrostu sprzedaży membran nieorganicznych, które w 2003 r. stanowiły 7% światowego rynku membran [6]. Zgodnie z przewidywaniami Freedonia Group, wartość sprzedaży membran nieorganicznych w perspektywie do 2012 r. będzie rosła rocznie o ponad 10% [7].

O ile membrany ceramiczne znalazły już powszechne zastosowanie w przemysłach chemicznym i spożywczym, o tyle mało jest informacji na temat ich stosowania do oczyszczania wody. W doniesieniach literaturowych ceramiczne membrany mikrofiltracyjne stosowane były w układach hybrydowych, łączących procesy koagulacji i filtracji membranowej [9–13], co pozwalało na znaczące zmniejszenie mętności wody oraz usunięcie z niej wirusów. Japońska firma NGK, światowy producent membran ceramicznych, w 1996 r. dostarczyła na rynek instalacje do oczyszczania wody z membranami ceramicznymi o średnicy 30 mm i długości 1000 mm, które zaspokajały potrzeby małych odbiorców wody. Pod koniec 2006 r. firma ta oddała do użytku stację oczyszczania wody o wydajności 51900 m³/d, wyposażoną w mikrofiltracyjne membrany ceramiczne o średnicy 180 mm i długości 1000 mm [14].

Celem przeprowadzonych badań było określenie przydatności ceramicznych membran ultrafiltracyjnych o różnej granicznej rozdzielczości (cut-off) do oczyszczania wody, ze szczególnym uwzględnieniem skuteczności usuwania naturalnych substancji organicznych.

Materiały i metody badawcze

Przedmiotem badań była woda powierzchniowa z Odry oraz roztwory modelowe przygotowane po zmieszaniu wody wodociągowej (po dechloracji) i wody zawierającej

naturalne substancje organiczne, którą pobrano ze strumienia wypływającego z Wielkiego Torfowiska Batorowskiego w Górach Stołowych. Charakterystykę badanych roztworów przedstawiono w tabeli 2. Miarą zawartości substancji organicznych w wodzie była intensywność barwy oraz absorbancja w UV przy długości fali 254 nm.

Tabela 2. Właściwości badanych roztworów
Table 2. Feed water properties

Roztwór	Absorbancja w UV _{254 nm} ¹	Barwa gPt/m ³
Woda z Odry	15,8	28,7
Roztwór 1	18,7	31,4
Roztwór 2	29,8	51,4
Roztwór 3	51,7	78,8
Roztwór 4	71,4	120,2
Roztwór 5	74,6	125,4

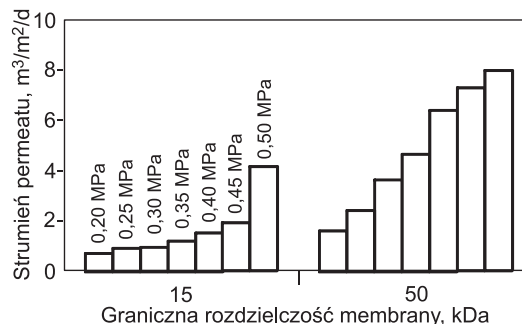
Do badań użyto ceramiczne membrany ultrafiltracyjne (Tami Industries) wytworzone z mieszaniny ZrO₂ i TiO₂. Graniczna rozdzielczość testowanych membran wynosiła 15 kDa i 50 kDa. Zastosowano jednokanałowe membrany rurowe o długości 25 cm, średnicy zewnętrznej 10 mm i wewnętrznej 6 mm. Czynna powierzchnia filtracyjna membrany wynosiła 40 cm².

Badania mające na celu określenie właściwości transportowych i separacyjnych membran przeprowadzono wykorzystując wielkolaboracyjną instalację J.A.M. INOX PRODUKT, której zasadnicze elementy stanowiły moduł membranowy, pompa Grundfos, umożliwiająca cyrkulację wody w układzie, zbiornik zasilający o pojemności 10 dm³ oraz obieg termostowania wody. Badania zrealizowano przy ciśnieniach transmembranowych z przedziału 0,2–0,5 MPa.

Wyniki badań

Właściwości transportowe membran

Analiza strumienia permeatu w stosunku do wody redestylowanej (rys. 2) pokazała, że wydajność hydrauliczna membrany zależała zarówno od ciśnienia transmembranowego, jak i jej granicznej rozdzielczości. W przypadku testowanych membran zwiększenie siły napędowej procesu powodowało wzrost strumienia permeatu (w analizowanym zakresie ciśnień). Jednocześnie przepuszczalność hydrauliczna membran o granicznej rozdzielczości 50 kDa była znacznie większa niż membran o granicznej rozdzielczości 15 kDa.



Rys. 2. Wpływ granicznej rozdzielczości membran ceramicznych na strumień permeatu (w stosunku do wody redestylowanej) przy różnym ciśnieniu transmembranowym
Fig. 2. Effect of membrane cut-off and transmembrane pressure on permeate flux (for redistilled water)

W przypadku ultrafiltracji roztworów modelowych lub wody z Odry (rys. 3) zaobserwowano podobne tendencje jak podczas filtracji wody redestylowanej, jednakże wartości bezwzględne strumienia były znacznie mniejsze niż wyznaczone w przypadku wody redestylowanej. Wynikało to ze zwiększenia oporności membran, będącego wynikiem ich blokowania. Gdy filtracji poddano wodę redestylowaną, opór membrany, wyznaczony z równania Hagena-Poiseuille'a:

$$J = \frac{\Delta p}{\mu R_m} \quad (1)$$

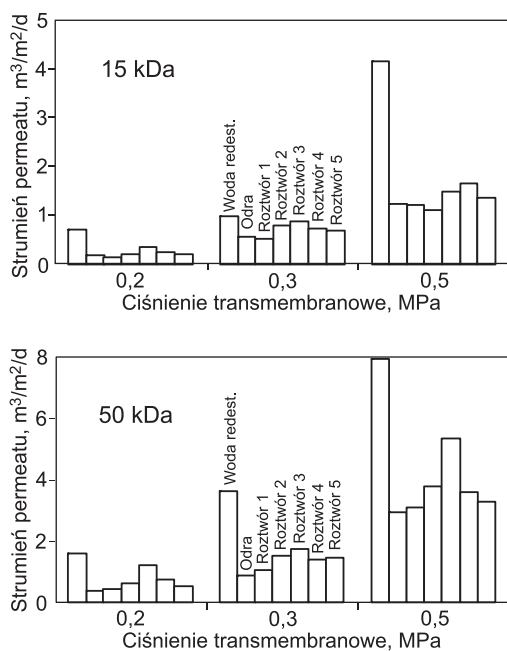
w którym:

Δp – ciśnienie transmembranowe, MPa

μ – dynamiczny współczynnik lepkości, Pa·s

R_m – opór membrany, 1/m

przy ciśnieniu transmembranowym 0,35 MPa w przypadku membrany o granicznej rozdzielczości 15 kDa wynosił $2,38 \cdot 10^{13}$ 1/m, zaś w przypadku membrany o granicznej rozdzielczości 50 kDa – $6,17 \cdot 10^{12}$ 1/m. Opór membrany o większej rozdzielczości był o rząd wielkości mniejszy, w porównaniu do wartości stwierdzonej w przypadku membrany bardziej zwartej.



Rys. 3. Wpływ ciśnienia transmembranowego na strumień permeatu membran ceramicznych

Fig. 3. Effect of transmembrane pressure on the permeate flux of ceramic membranes

W przypadku ultrafiltracji roztworów zawierających substancje organiczne i nieorganiczne, równanie Hagena-Poiseuille'a przyjmuje postać:

$$J = \frac{\Delta p}{\mu(R_m + R_f + R_p)} \quad (1)$$

w której:

R_f – opór membrany wynikający z blokowania powierzchni i porów membrany przez substancje znajdujące się w roztworze, 1/m

R_p – opór warstwy polaryzacyjnej przy powierzchni membrany, 1/m

Wartości całkowitego oporu membran, w przypadku filtracji roztworów o różnej zawartości związków organicznych, przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Całkowity opór membran podczas ultrafiltracji roztworów przy ciśnieniu transmembranowym 0,35 MPa
Table 3. Total membrane resistance in the ultrafiltration of the solutions tested at transmembrane pressure of 0.35 MPa

Roztwór	Całkowity opór membrany, 1/m	
	15 kDa	50 kDa
Woda redestylowana	$2,38 \cdot 10^{13}$	$0,62 \cdot 10^{13}$
Woda z Odry	$3,62 \cdot 10^{13}$	$2,03 \cdot 10^{13}$
Roztwór 1	$4,91 \cdot 10^{13}$	$2,14 \cdot 10^{13}$
Roztwór 2	$3,33 \cdot 10^{13}$	$1,52 \cdot 10^{13}$
Roztwór 3	$2,60 \cdot 10^{13}$	$0,98 \cdot 10^{13}$
Roztwór 4	$3,79 \cdot 10^{13}$	$1,39 \cdot 10^{13}$
Roztwór 5	$3,97 \cdot 10^{13}$	$1,67 \cdot 10^{13}$

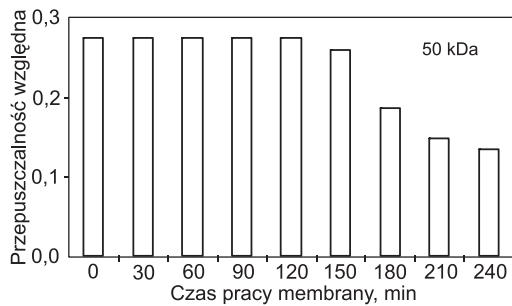
Przykładowo, podczas filtracji wody z Odry całkowity opór membrany ($R_m + R_f + R_p$) w przypadku membrany o granicznej rozdzielczości 15 kDa wynosił $3,62 \cdot 10^{13}$ 1/m, zaś w przypadku membrany o granicznej rozdzielczości 50 kDa – $2,03 \cdot 10^{13}$ 1/m. Analiza przedstawionych danych pozwala stwierdzić, że opór całkowity membrany znacząco rośnie podczas filtracji z użyciem membran o większej granicznej rozdzielczości, a tym samym o większej średnicy porów. Wynika to z faktu, iż blokowanie tych membran następuje głównie na skutek penetracji składników roztworu w pory membrany. W przypadku membran o mniejszej średnicy porów, wzrost oporów membrany związany jest głównie z osadzaniem się składników filtrowanego roztworu na powierzchni membran. Dzięki pracy systemu w układzie z przepływem krzyżowym, odkładające się na powierzchni membran składniki są ciągle z niej usuwane. Analiza danych przedstawionych w tabeli 3 wskazuje także, że zawartość naturalnych substancji organicznych (oznaczonych jako absorbancja w UV_{254}^{1m}) w filtrowanym roztworze nie miała istotnego wpływu na opór całkowity membran. Zaobserwowano także (tab. 4), że wraz ze wzrostem ciśnienia transmembranowego całkowity opór membrany nie ulegał istotnej zmianie.

Tabela 4. Całkowity opór membran podczas ultrafiltracji wody z Odry przy różnym ciśnieniu transmembranowym
Table 4. Total membrane resistance in the ultrafiltration of the Odra River water at different transmembrane pressure

Ciśnienie transmembranowe, MPa	Całkowity opór membrany, 1/m	
	15 kDa	50 kDa
0,2	$9,51 \cdot 10^{13}$	$4,33 \cdot 10^{13}$
0,3	$4,46 \cdot 10^{13}$	$2,86 \cdot 10^{13}$
0,4	$2,88 \cdot 10^{13}$	$2,07 \cdot 10^{13}$
0,5	$3,40 \cdot 10^{13}$	$1,40 \cdot 10^{13}$

Oceniając wpływ czasu pracy membrany na zmianę strumienia permeatu (rys. 4) stwierdzono, że na skutek postępującego blokowania membran ich wydajność hydrauliczna sukcesywnie malała. Podobne zjawisko stwierdzono w badaniach ultrafiltracji wody na membranach polimerowych [15].

Zjawisko to stwierdzono niezależnie od składu roztworu zasilającego. Drastyczne zmniejszenie wydajności hydraulicznej membran (o ponad 70% w stosunku do wydajności stwierdzonej przy filtracji wody destylowanej) wystąpiło bezpośrednio po rozpoczęciu filtracji roztworu, po czym względna przepuszczalność membran utrzymywała się na prawie stałym poziomie. Dopiero po ok. 3 h filtracji, przy



Rys. 4. Wpływ czasu na względną przepuszczalność membrany ceramicznej o granicznej rozdzielczości 50 kDa (woda z Odry, 0,35 MPa)

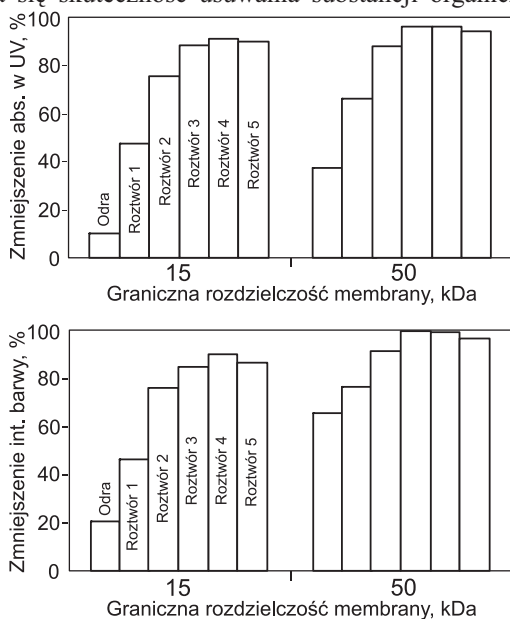
Fig. 4. Effect of process duration on the relative permeability of the membrane with 50 kDa cut-off (water from the Odra River, 0.35 MPa)

stałej prędkości przepływu i ciśnienia transmembranowego, obserwowano dalsze zmniejszenie wydajności membran na skutek ich blokowania, co wskazuje na to, iż po tym czasie konieczne jest płukanie membrany.

Właściwości separacyjne membran ceramicznych

Przedstawiona na rysunku 5 skuteczność oczyszczania wody na membranach ceramicznych pokazała, że o usuwaniu zanieczyszczeń organicznych z wody znacząco decyduje skład oczyszczanego roztworu. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem zawartości substancji organicznych w wodzie zwiększała się wartość współczynnika retencji makrocząstek organicznych. Porównanie skuteczności oczyszczania wody z Odry i z roztworu 1 (charakteryzującego się porównywalną zawartością substancji organicznych) pokazało, że jakość oczyszczonej wody naturalnej była zdecydowanie gorsza niż roztworu rzeczywistego. Wynika stąd, że występujące w wodzie naturalnej substancje nieorganiczne mogą powodować zmianę konfiguracji przestrzennej makrocząstek organicznych, czego skutkiem jest ich łatwiejsza penetracja przez membranę.

Analiza skuteczności oczyszczania wody z wykorzystaniem membran ceramicznych o różnej granicznej rozdzielczości pokazała, że wraz z jej wzrostem zwiększała się skuteczność usuwania substancji organicznych.

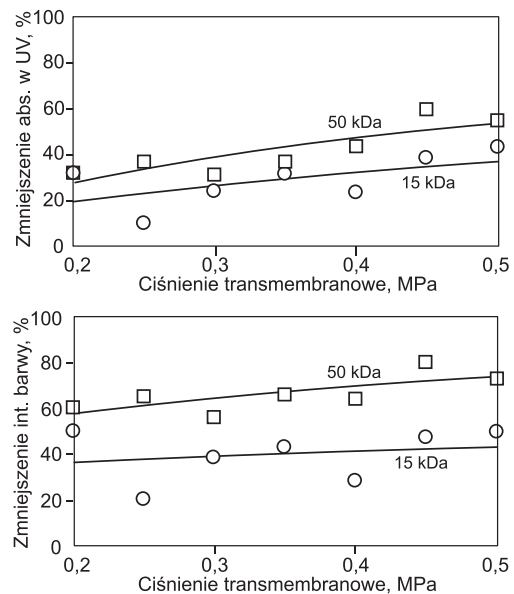


Rys. 5. Właściwości separacyjne ceramicznych membran ultrafiltracyjnych (0,25 MPa)

Fig. 5. Separation properties of ceramic ultrafiltration membranes (0.25 MPa)

Zależność tę stwierdzono zarówno w przypadku wody z Odry, jak i roztworów modelowych. Stwierdzona tendencja jest zaskakująca, gdyż dotychczasowe doświadczenia wskazują, że wraz ze wzrostem granicznej rozdzielczości membran, a tym samym średnicy porów membrany, należało się spodziewać pogorszenia skuteczności separacji makrocząstek organicznych. Wyjaśnienie tego nietypowego zjawiska znaleziono analizując zmiany intensywności blokowania membran. Jak wykazano wcześniej, bardziej podatna na blokowanie była membrana o granicznej rozdzielczości 50 kDa, w przypadku której względna przepuszczalność J/J_0 (J – strumień danego roztworu, J_0 – strumień wody redestylowanej) była mniejsza niż stwierdzona w przypadku membrany o granicznej rozdzielczości 15 kDa. Należy przypuszczać, że makrocząsteczki substancji organicznych odkładały się wewnątrz porów membrany, zmniejszając ich średnicę, co skutkowało zmniejszeniem przepuszczalności membran, ale równocześnie zatrzymaniem mniejszych cząstek niż wynikałoby to z wartości ich granicznej rozdzielczości.

Zaobserwowano także (rys. 6), że wzrost ciśnienia transmembranowego przyczynił się do poprawy skuteczności oczyszczania badanych roztworów. Świadczy to o tym, że rosnąca wartość siły napędowej procesu powodowała zwiększenie prędkości transportu rozpuszczalnika (wody) przez membranę, czego skutkiem było malejące stężenie substancji organicznych w permeacie.



Rys. 6. Wpływ ciśnienia transmembranowego na skuteczność oczyszczania wody z Odry na membranach ceramicznych
Fig. 6. Effect of transmembrane pressure on the efficiency of Odra River water treatment using ceramic membranes

Podsumowanie

Badania wykazały, że ultrafiltracyjne membrany ceramiczne mogą znaleźć zastosowanie do usuwania naturalnych substancji organicznych z wody. Membrany nieorganiczne, podobnie jak ma to miejsce w przypadku membran wykonanych z polimerów, charakteryzowały się zmniejszeniem wydajności wynikającym ze zjawiska ich blokowania. Wykazano, że większą intensywnością tego zjawiska charakteryzowały się membrany o większej granicznej rozdzielczości. Konsekwencją silniejszego blokowania wewnętrznej membrany o granicznej rozdzielczości 50 kDa była znacząca poprawa jej właściwości separacyjnych, co

pozwoili na zatrzymanie wikszej ilosci makroczasteczek organicznych niz miało to miejsce w przypadku membrany o granicznej rozdzielczosci 15 kDa.

Praca naukowa zostala sfinansowana ze srodkow przeznaczonych na nauke w latach 2008–2010 jako projekt badawczy nr NN 523 41 63 35.

LITERATURA

1. H. VERWEIJ: Ceramic membranes: Morphology and transport. *Journal of Materials Science* 2003, Vol. 38, pp. 4677–4695.
2. <http://memship.98866.net>.
3. U. MUELLER, M. WITTE: Ceramic membrane applications for filter backwash water treatment. *TECHNEAU* 2008, 17/01/08.
4. R. SONDHAI, R. BHAVE, G. JUNG: Applications and benefits of ceramic membranes. *Membrane Technology* 2003, 11, pp. 5–8.
5. T. MELIN, R. RAUTENBACH: Membranverfahren: Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung. Springer 2003.
6. H.A. MEINEMA, R.W.J. DIRRIX, H.W. BRINKMAN, R.A. TERPSTRA, J. JEKERLE, P.H. KÖSTERS: Ceramic membranes for gas separation – recent developments and state of the art. *Interceram* 2005, Vol. 54 (2), pp. 86–91.
7. Membrane Separation Technologies to 2012. The Freedonia Group Report. Report # FR2307, March 2008.
8. U. MUELLER, M. WITTE: Ceramic membranes – case related protocol for optimal operational conditions to treat filter backwash. *TECHNEAU* 2007, 05/02/07.
9. Y. MATSUI, T. MATUSHITA, T. INOUE, M. YAMAMOTO, Y. HAYASHI, H. YONEKAWA, Y. TSUTSUMI: Virus removal by ceramic membrane microfiltration with coagulation pretreatment. *Water Supply* 2003, No. 3(5), pp. 93–99.
10. H. YONNEKAWA, Y. TOMITA, Y. WATANABE: Behavior of macroparticles in monolith ceramic membrane filtration with pretreatment. *Water Sci. Technol.* 2004, Vol. 50(12), pp. 317–325.
11. T. MATSUSHITA, Y. MATSUI, N. SHIRASAKI, Y. KATO: Effect of membrane pore size, coagulation time, and coagulant dose on virus removal by a coagulation–ceramic microfiltration hybrid system. *Desalination* 2005, Vol. 178, pp. 21–26.
12. A. LERCH, S. PANGLISCH, R. GIMBEL: Research experiences in direct potable water treatment using coagulation/ultrafiltration. *Water Sci. Technol.* 2005, Vol. 51 (6–7), pp. 221–229.
13. K. KONIECZNY, M. BODZEK, M. RAJCA: A coagulation–MF system for water treatment using ceramic membranes. *Desalination* 2006, Vol. 198, pp. 92–101.
14. <http://www.ngk.co.jp/news/2006>.
15. K. KONIECZNY, M. RAJCA, M. BODZEK, B. GEMBOŁYŚ: Wplyw wlasnosci substancji organicznych na blokowanie membran ultrafiltracyjnych. *Ochrona Srodowiska* 2008, vol. 30, nr 3, ss. 3–8.

Kabsch-Korbutowicz, M., Urbanowska, A. Applicability of Ceramic Membranes to the Removal of Natural Organic Matter from Water. *Ochrona Srodowiska* 2009, Vol. 31, No. 1, pp. 15–19.

Abstract: The efficiency of removing natural organic matter (NOM), one of the major micropollutants of surface waters, depends to a great extent on the properties of the membranes used, such as the cut-off and the material of which they have been made. In the past decade the use of membranes manufactured from inorganic materials has become increasingly frequent in water and wastewater treatment. The aim of the study was to assess the applicability of ceramic membranes to water treatment, particular consideration being given to NOM removal. The efficiency of the treatment process was examined by experiments using samples of riverine water (from the river Odra) and model solutions, and two ceramic membranes (with a cut-off equal to 15 kDa and 50 kDa, respectively), at

transmembrane pressure varying from 0.2 to 0.5 MPa. The results obtained have substantiated the significant influence of transmembrane pressure and membrane cut-off on the hydraulic efficiency of the membranes. The rise in transmembrane pressure or membrane cut-off accounted for the increase in the value of the permeate flux. The membranes used were found to be prone to fouling, but this proneness was more pronounced in the case of the 50 kDa membrane. The fouling effect was concomitant with the rise in the total resistance of the membranes. The study has demonstrated that the use of ceramic membranes provides efficient NOM removal from surface water. As a result of the stronger fouling observed in the case of the less compact 50 kDa membrane, the efficiency of organic macromolecule separation with this membrane was higher than the one obtained with the 15 kDa membrane.

Keywords: Ultrafiltration, inorganic membrane, fouling, water treatment, natural organic matter.