

Andrzej NOWORYTA¹

MIKROBIOLOGICZNY REAKTOR MEMBRANOWY W PROCESACH OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

Streszczenie. Rozpatrzono przypadek reaktora mikrobiologicznego wykorzystującego membranę jako przegrodę separacyjną dla mikroorganizmów, w którym zanieczyszczenie ścieków stanowi składnik limitujący ich wzrost. Określono wpływ parametrów procesowych na stopień przereagowania zanieczyszczenia ścieków. Wskazano na istotny wpływ wartości stężenia zredukowanego. Uzyskaną zależność zweryfikowano doświadczalnie.

MICROBIOLOGICAL MEMBRANE REACTOR IN THE PROCESSES OF WASTEWATER TREATMENT

Summary. In the case of microbiological membrane reactor, that employs membrane as the separation barrier for microorganisms, the influence of process parameters on conversion degree of wastewater treatment, that is growth limiting component, was studied. Significant influence of the value of reduced concentration was pointed out. Obtained dependence was verified experimentally.

1. Wprowadzenie

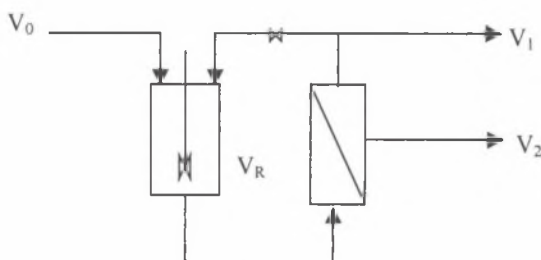
Idealnym przypadkiem wykorzystania membran w zagadnieniach oczyszczania ścieków jest taki proces, w którym dzięki zastosowaniu technik separacji membranowej możliwe jest wydzielenie danej substancji stanowiącej zanieczyszczenie, po czym zawrócenie jej do procesu macierzystego lub wykorzystanie w innym procesie. Jest to idea tzw. czystych technologii.

W praktyce, głównie ze względu na złożony skład oczyszczanych ścieków, możliwość zastosowania takiego rozwiązania występuje w nielicznych przypadkach. Techniki membranowe, które z definicji jedynie rozdzielają składniki układu, muszą być uzupełnione o dodat-

¹ Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych, ul. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław, e-mail: noworyta@iic.pwr.wroc.pl

kowe techniki utylizacji lub degradacji danego zanieczyszczenia. Składowanie skoncentrowanych zanieczyszczeń jest ostatecznością, której w nowoczesnych technologiach powinno się unikać.

Efektywne wyniki w procesie unieszkodliwiania zanieczyszczeń można uzyskać poprzez wykorzystywanie metod oferowanych przez mikrobiologię. Interesującym rozwiązaniem pod względem technologicznym i procesowym jest mikrobiologiczny reaktor membranowy, w którym wykorzystuje się określoną kulturę mikrobiologiczną do przeprowadzenia biodegradacji danego zanieczyszczenia. Mikroorganizmy usuwają ten składnik ścieków wykorzystując go jako źródło węgla lub przeprowadzając jego częściową transformację. Możliwe jest również wiązanie cząstek zanieczyszczenia z powierzchnią lub masą mikroorganizmów, ale wówczas nie obserwuje się zjawiska jego degradacji, a jedynie następuje skuteczniejsza separacja.



Rys. 1. Schemat mikrobiologicznego reaktora membranowego
Fig. 1. Scheme of microbial membrane reactor

W pracy rozpatrzona została wersja mikrobiologicznego reaktora membranowego z membraną jako barierą separacyjną dla wykorzystywanych mikroorganizmów (rys.1). Żaden ze składników roztworu, a zwłaszcza zanieczyszczenie będące obiektem biologicznego rozkładu, nie jest przez stosowaną membranę zatrzymywane.

2. Namnażanie mikroorganizmów w bioreaktorze membranowym

Rozwiązanie równania bilansu masy mikroorganizmów w rozpatrywanym układzie aparaturowym dla warunków ustalonych prowadzi do zależności [1, 2]

$$D = \Psi \cdot \mu \quad (1)$$

gdzie

$$\Psi = \frac{1}{1 - \frac{V_2}{V_0}} \quad (2)$$

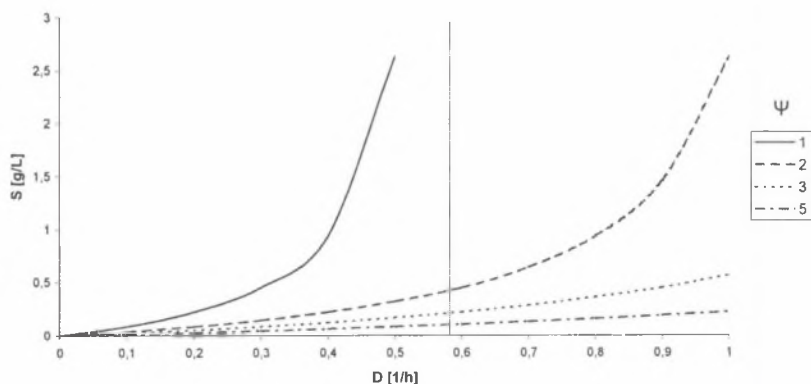
jest współczynnikiem intensyfikacji mikrobiologicznego reaktora membranowego [1, 2] (przypadek $\Psi = 1$ odpowiada klasycznemu przepływowemu reaktorowi mieszalnikowemu).

Dokonując z kolei bilansu masy substratu limitującego wzrost mikroorganizmów, którym w tym przypadku jest degradowany składnik ścieków, przy założeniu stosowalności równania Monoda oraz stałości współczynnika $Y_{X/S}$, uzyskuje się wyrażenia na stężenie biomasy (3) i substratu limitującego wzrost (4).

$$X = Y_{X/S} \cdot \Psi \cdot \left(S_0 - \frac{K_M}{\mu_{\max} \frac{\Psi}{D} - 1} \right) \quad (3)$$

$$S = \frac{K_M}{\mu_{\max} \frac{\Psi}{D} - 1} \quad (4)$$

Na rys. 2 przedstawiono przykładową zależność wiążącą wartość współczynnika intensyfikacji ze stężeniem substratu w strumieniu opuszczającym reaktor [2].



Rys. 2. Wpływ współczynnika intensyfikacji na stężenie substratu
($K_M=5.0$ g/L, $\mu_{\max}=0.58$ h⁻¹)

Fig. 2. Substrate concentration vs. intensity coefficient ($K_M=5.0$ g/L, $\mu_{\max}=0.58$ h⁻¹)

Widoczny jest silny wpływ tego parametru oraz dodatkowo możliwość stosowania w mikrobiologicznym reaktorze membranowym wyższych niż μ_{\max} wartości szybkości rozcieńczenia.

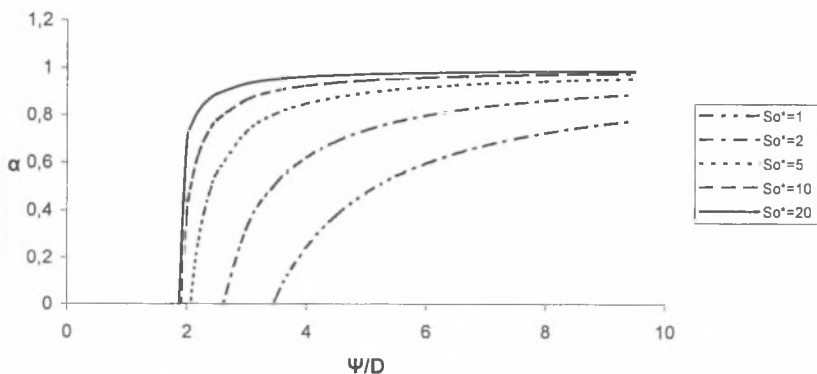
Wprowadzając pojęcie stężenia zredukowanego

$$S^* = \frac{S}{K_M} \quad (5)$$

uzyskujemy wyrażenie na stopień przereagowania substratu o postaci

$$\alpha = 1 - \frac{1}{S_0^* (\mu_{\max} \cdot \frac{\Psi}{D} - 1)} \quad (6)$$

Zależność tę przedstawiono na rys.3.



Rys. 3. Stopień przereagowania w mikrobiologicznym reaktorze membranowym ($\mu_{\max}=0.58$ g/L)

Fig. 3. Conversion degree in microbial membrane reactor ($\mu_{\max}=0.58$ g/L)

Parametr Ψ/D odkładany na osi odciętych może być w danym procesie ustalony poprzez zmniejszenie szybkości rozcieńczania (może to być również zrealizowane w klasycznym reaktorze mieszalnikowym) lub poprzez zwiększenie współczynnika intensyfikacji, parametru charakterystycznego dla mikrobiologicznego reaktora membranowego.

Dla stężenia zredukowanego w strumieniu zasilającym bioreaktor składnika limitującego wzrost mikroorganizmów $S_0^* > 10$ zależność przedstawiona na rys.3 jest bardzo ostra, co oznacza, że efekt wysokiego stopnia przereagowania surowca można uzyskać już w klasycznym reaktorze przepływowym stosując wartości szybkości rozcieńczania z zakresu:

$$0,75 \mu_{\max} < D < 0,90 \mu_{\max} \quad (7)$$

tj. z zakresu zalecanego dla tego typu reaktora. Korzyść z zastosowania w tym przypadku reaktora membranowego polega na możliwości zmniejszenia gabarytów reaktora, proporcjonalnie do wartości parametru Ψ .

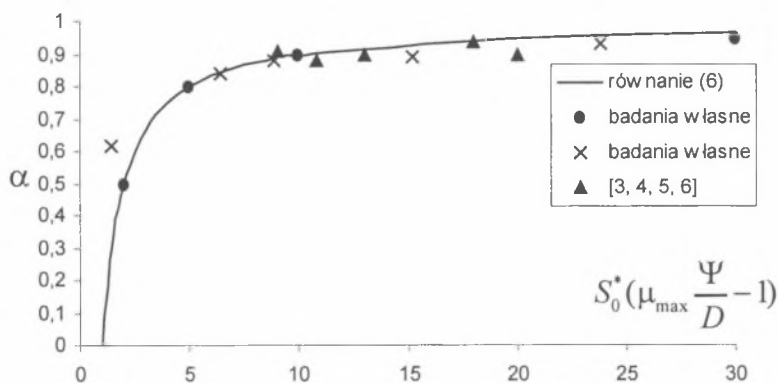
W przypadku niskich wartości stężeń zredukowanych ($S_0^* < 5$) uzyskanie wysokiego stopnia przereagowania wymaga, przy zastosowaniu klasycznego bioreaktora, bardzo małych wartości szybkości rozcieńczania, a tym samym wysokogabarytowej aparatury. W takim przypadku stosując stosunkowo duże wartości szybkości rozcieńczania, wysoki stopień przereagowania można uzyskać dzięki zastosowaniu wysokiej wartości współczynnika intensyfikacji w reaktorze membranowym. Reaktor membranowy oddziałuje korzystnie zarówno na wartość stopnia przereagowania, jak i na wymaganą objętość reaktora.

Ścieki są typowym przykładem układu o niskim stężeniu substratu limitującego wzrost mikroorganizmów, stąd zastosowanie mikrobiologicznego reaktora membranowego do ich oczyszczania może dać istotne korzyści.

Nieczęsto, ale zdarza się, że dysponuje się kilkoma różnymi kulturami mikrobiologicznymi, dla których dane zanieczyszczenie może być wykorzystane jako źródło węgla. W takim przypadku, jak wynika z zależności (6), z procesowego punktu widzenia korzystnie jest zastosować tę kulturę, dla której wartość stosunku maksymalnej specyficznej szybkości wzrostu do stałej Monoda jest najniższa.

3. Weryfikacja doświadczalna

Weryfikację zależności na stopień przereagowania przedstawiono na rys.4. Złożona postać wyrażenia przypisanego osi odciętych wynika z chęci uzyskania uniwersalności wykresu, tzn. możliwości naniesienia na jednym wykresie wyników różnych autorów uzyskanych dla różnych układów.



Rys. 4. Stopień przereagowania dla różnych układów

Fig. 4. Conversion degree for various systems

Idea wykorzystania wartości uzyskanych przez różnych autorów udało się jedynie po części, jako że analizowane dane literaturowe są niepełne i w bardzo wielu przypadkach nie pozwalają na wyznaczenie wartości parametru przedstawionego na tej osi.

Przedstawione wyniki odpowiadają oczekiwaniom modelowym i potwierdzają szczególną rolę mikrobiologicznego reaktora membranowego do procesu oczyszczania ścieków.

Oznaczenia

- D - szybkość rozcieńczania [1/h]
K_M - stała w rów. Monoda [kg/m³]
S - stężenie substratu limitującego wzrost [kg/m³]
S₀ - stężenie początkowe substratu limitującego wzrost [kg/m³]
S* - stężenie zredukowane
S₀* - stężenie zredukowane początkowe
V - strumień objętościowy [m³/h]
X - stężenia biomasy [kg/m³]
Y_{x/s} - współczynnik wydajności biomasy względem substratu
α - stopień przereagowania
μ_{max} - maksymalna specyficzna szybkość wzrostu [1/h]
Ψ - współczynnik intensyfikacji mikrobiologicznego reaktora membranowego

Literatura

1. Noworyta A., Zintegrowane procesy membranowe, Inż. Chem. Proces., 2001, 22/3A, 85-96.
2. Mróz-Łata A., Praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1999.
3. Lamant C., Jaffrin M.Y., Morpholina Biodegradation in a Bioreactor, J. Chem. Tech. Biotechnol. 1996, 67, 291-301.
4. Jarzębski A.B., Malinowski J.J., Modeling of Ethanol Fermentation at High Yeast Concentration, Biotechnology & Bioengineering, 1989, 34, 1225-1230.
5. Moueddeb H., at all, Membrane bioreactor for lactic acid production, Journal of Membr. Sci., 1996, 114, 59-71.
6. Freitas dos Santos L.M., Livingston A.G., Novel membrane bioreactor for detoxification of VOC wastewaters : biodegradation of 1,2-dichloroethane, Wat. Res., 1995, 29, 1, 179-194.

Abstract

Ideal case for membranes employment in the case of wastewater treatment is the process in which, thanks to application of membrane separation techniques, it is possible to reduce particular impurities and to recycle it to the parent process. In practice, mainly due to complex content of treated wastewater, the possibility of this solution application occurs scarcely. Membrane techniques, that are defined only as a separation tool in the system, must be sup-

plemented with additional techniques of particular impurities degradation. The interesting technological and process solution could be microbiological membrane bioreactor, in which particular microbial strain that biodegrades pollution. In the case of the system with membrane as a separation barrier, adjusted for microorganism employed, the equations for biomass concentration and content of growth limiting substrate was proposed. The term of intensification coefficient was introduced and its value was set as the main parameter of the reactor that influences proportionally on decrease in the reactor capacity when related to the classic continuous reactor. The influence of concentration on the value of conversion factor of removed pollutant were pointed out.