

BOŻENNA KAWALEC-PIETRENKO

Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Gdańska, Gdańsk

# Biofiltracja powietrza w okresie od uruchomienia biofiltra do ustalenia warunków procesowych

## Wstęp

Wśród metod oczyszczania gazów, biofiltracja jest stosowana coraz częściej, ponieważ jej koszt jest znacznie niższy niż innych metod. Biofiltracja powietrza jest zintensyfikowanym odtworzeniem procesów biodegradacji zachodzących w naturze. Intensyfikacja wynika stąd, że w biofiltrze powierzchnia kontaktu strumienia gazu i złoża aktywnego jest znacznie rozbudowana, a czas kontaktu gazu z unieruchomionymi mikroorganizmami jest dostosowany do potrzeb oczyszczania. Efektywności biofiltracji gazu sprzyja wysoka wilgotność. Proces biofiltracji opiera się na zdolności wielu mikroorganizmów do degradacji niektórych substancji organicznych. Substancje te ulegają biodegradacji, bo są źródłem węgla organicznego niezbędnego w procesach metabolizmu bakterii.

Najogólniej biofiltracja zanieczyszczonego powietrza obejmuje dwa główne procesy tj. sorpcję zanieczyszczeń oraz ich rozkład. W wyniku sorpcji oczyszczeniu ulega gaz wprowadzony do biofiltra. Biologiczny rozkład zanieczyszczeń skutkuje oczyszczeniem sorbentu. Z tego też powodu wysoka aktywność złoża może trwać przez wiele lat [1–3].

Matematyczne modele procesu biofiltracji prowadzonej w warunkach ustalonych przedstawiono w pracach [2] i [3]. Modele pozwalają przewidywać sprawność biofiltracji, gdy znany jest rząd reakcji biodegradacji. Jednakże od uruchomienia biofiltra ze świeżym złożem do czasu ustalenia warunków procesowych upływa długi okres czasu. W warunkach nieustalonych w danej chwili w różnych miejscach biofiltra przebiegają reakcje o różnej rzędowości i z różną szybkością. Ze względu na to, że nieustalona praca biofiltra trwa wiele dni, istotna jest możliwość przewidywania sprawności oczyszczania gazów w biofiltrze w tym okresie i dlatego to zagadnienie jest przedmiotem niniejszej pracy.

## Aparatura i przebieg pomiarów

W badaniach użyto biofiltra kolumnowego ( $dz/dw = 0,09/0,08$  m;  $H = 1$  m) wypełnionego torfem. Przed uruchomieniem biofiltra złoże wyjaławiano ( $t = 70^\circ\text{C}$ ) i szczepiono bakteriami *A. calcoaceticus*. Złoże zraszano roztworem soli mineralnych  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2$ .

Powietrze wprowadzono przez dystrybutor umieszczony w dnie kolumny. Strumień powietrza o żądanym stężeniu par substancji organicznej wytwarzano łącząc w wymaganej proporcji strumień powietrza czystego i powietrza nasycanego propanolem podczas przepływu przez kolumnę barbotażową wypełnioną alkoholem. Tuż przed wejściem do biofiltra mierzono temperaturę i ciśnienie powietrza oraz stężenie propanolu. Wilgotność powietrza opuszczającego biofiltr mierzono za pomocą czujnika wilgotności. Próbkę powietrza pobierano

za pomocą gazoszczelnej mikrostrzykawkki *Hamiltona*. Próbkę, zarówno ciekłą, jak i gazową, analizowano za pomocą chromatografu gazowego *Perkin Elmer AutoSystem XL*.

## Metodyka obliczeń

Rozkłady stężeń propanolu w czasie na różnych wysokościach kolumny obliczono według zaczerpniętego z pracy [6] modelu biofiltracji w nieustalonych warunkach procesowych.

Obciążenie złoża  $G$  obliczano jako stosunek początkowego stężenia propanolu w gazie do czasu przebywania  $t_p$  w biofiltrze tj. czasu kontaktu gazu ze złożem

$$G = c_0/t_p \quad (2)$$

Szybkość biofiltracji wyznaczano następująco:

$$R = (c_0 - c_k)/t_p \quad (3)$$

a wydajność biofiltracji jak niżej:

$$\eta = (c_0 - c_k)/c_0 \quad (4)$$

Biorąc pod uwagę spadek ciśnienia dla niskich prędkości gazu ( $0,45 < Re = u_G d_e / [(1 - \epsilon)v_G] < 3,4$ ):

$$\Delta P = 2,2 \frac{64}{Re} \left( \frac{0,4}{\epsilon} \right)^{0,78} \frac{3H(1 - \epsilon)\rho_G u_G^2}{4d_e \epsilon^3} \quad (5)$$

zastępczą średnicę cząstki w złożu o porowatości  $\epsilon$  obliczono następująco:

$$d_e = 7,188 \sqrt{\frac{H(1 - \epsilon)\eta_G u_G}{\Delta P \epsilon^{3,78}}} \quad (6)$$

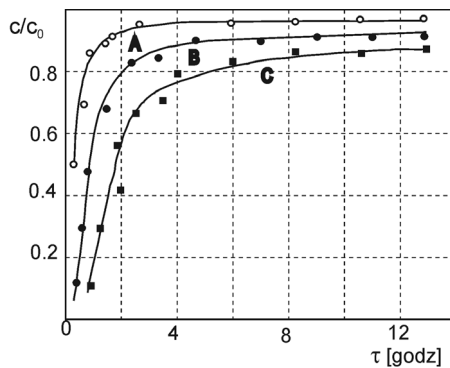
## Dyskusja wyników

Stężenia alkoholu zmieniano w zakresie od  $8 \cdot 10^{-5}$  do  $1,5 \cdot 10^{-3}$  kg na kg powietrza. Wilgotność powietrza na wylocie z biofiltra utrzymywano na stałym poziomie  $95 \pm 1\%$ . Na podstawie eksperymentalnych wartości spadku ciśnienia wyznaczono z zależności (6) przeciętną średnicę cząstki złoża świeżego jako wynoszącą 0,66 mm. W oparciu o tę wartość oraz porowatość, określono powierzchnię właściwą złoża jako wynoszącą ok.  $3700 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ . Jest to wartość zbliżona do wartości literaturowych [5].

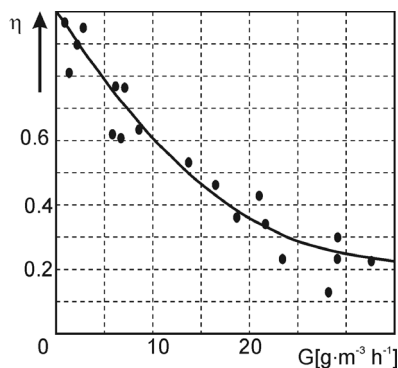
Stabilizacja warunków pracy złoża wymaga czasu, po upływie którego złoże staje się aktywne w całej swej objętości. W okresie nieustalonym chwilowa wydajność biofiltracji jest zmienna mimo tej samej prędkości powietrza i początkowych stężeń zanieczyszczeń. Wyniki badań pokazują (Tabl. 1), że uzyskanie pełnej stabilizacji warunków pracy użytego złoża wymaga około miesiąca.

Tablica 1  
Stężenie par alkoholu propylowego w powietrzu opuszczającym biofiltr.  $u_G = 0,88 \text{ mm m}\cdot\text{s}^{-1}$ .  $t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

H [m]	$c_k \text{ [g}\cdot\text{m}^{-3}]$			
	$\tau = 1 \text{ godz}$	$\tau = 120 \text{ godz}$	$\tau = 360 \text{ godz}$	$\tau = 600 \text{ godz}$
0,4	0,728	0,325	0,222	0,208
0,8	0,537	0,431	0,124	0,104
1,2	0,344	0,269	0,126	0,108

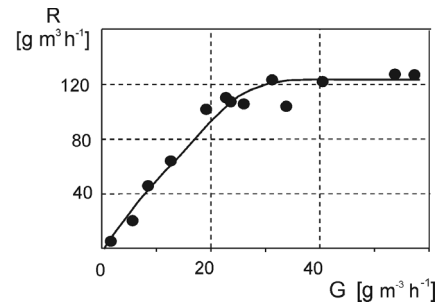


Rys. 1. Rozkład stężeń alkoholu propylowego w gazie w czasie biofiltracji.  $c_0 = 0,003 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $u_G = 0,003 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $H_{\text{złoża}}$ : A – 0,28 m; B – 0,56 m; C – 0,84 m. (Linie ciągłe – model [6] oraz punkty doświadczalne)



Rys. 2. Sprawność procesu biofiltracji propanolu w zależności od obciążenia złoża w warunkach ustalonych. (Linia ciągła – model Ottengrafa [3] oraz punkty doświadczalne)

Przykładowe stężenia par propanolu  $c$  w okresie po uruchomieniu biofiltra ze świeżym złożem tj. dla biofiltracji niestabilnej (Rys. 1) odniesiono do stężenia początkowego  $c_0$  w powietrzu. Stężenie propanolu w gazie wlotowym zmieniano w zakresie od  $0,0007 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  dla  $u_G = 0,003 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  do  $0,0032 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  dla  $u_G = 0,096 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jak widać przebieg krzywych jest typowy dla procesów adsorpcji. Krzywe dążą asympto-



Rys. 3. Porównanie wyników eksperymentalnych szybkości biofiltracji propanolu (punkty) z wartościami szybkości biodegradacji wyznaczonymi za pomocą modelu (linia ciągła)

tycznie do jedności, przy czym czas przebiecia złoża ulega skróceniu wraz ze wzrostem prędkości powietrza. Jak można zauważyć, wartości przewidywane za pomocą modelu oraz wyniki doświadczalne pozostają w dobrej zgodności.

Po ustaleniu warunków pracy biofiltra wyznaczono sprawność biofiltracji dla różnych obciążeń złoża (Rys. 2) oraz szybkość usuwania par propanolu. Wyniki wg modelu [6] porównano z wartościami stężeń wyznaczonymi wg modelu biofiltracji [3] prowadzonej w ustalonych warunkach (Rys. 2). Jak widać, zgodność wyników uzyskanych wg obydwu modeli jest zadowalająca.

## Podsumowanie

Stwierdzono, że na złożu z mieszanki torfowej można prowadzić skuteczną biofiltrację powietrza zawierającego pary propanolu. Pełną stabilizację warunków pracy biozłoża uzyskuje się po około 30 dniach ciągłej eksploatacji biofiltra. W okresie pracy filtra przed osiągnięciem stabilizacji zmieniają się wilgotność powietrza opuszczającego biofiltr oraz wydajność i szybkość biofiltracji. Ze wzrostem obciążenia złoża szybkość usuwania par propanolu rośnie asymptotycznie do pewnej wartości ustalonej. W warunkach przeprowadzonych badań, wydajność biofiltracji propanolu jest bliska jedności. Zaproponowany przez Świsłowskiego [6] model transportu masy w biofiltrze z dobrą dokładnością pozwala przewidywać sprawność biofiltracji w okresie niestabilnej pracy biofiltra.

## LITERATURA

1. M. Szklarczyk, M. Czernomazowicz: Biotechnologia, 36, 108 (1997).
2. S.P.P. Ottengraf, A.H.C. van den Oever: Biotechnol. Bioeng., 25, 3089 (1983).
3. S.P.P. Ottengraf: Exhaust gas purification w: H. J. Rehm: Biotechnology, Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft, 1986.
4. B. Kawalec-Pietrenko, M. Świsłowski: Inż. Chem. Proc., 22, 693 (2001).
5. A. Windsperger: Chem. Ing. Techn., 63, 80 (1991).
6. M. Świsłowski: Praca doktorska, Politechnika Gdańska, 2002.