

ANDRZEJ NOWORYTA  
ANNA TRUSEK-HOŁOWNIA  
ARKADIUSZ SZYDEŁKO  
PAWEŁ MIZER

Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław

# Zintegrowany proces biodegradacji lotnych związków organicznych

## Wprowadzenie

Lotne związki organiczne to grupa substancji zaliczanych do gazów cieplarnianych, których obecność w powietrzu atmosferycznym obniża komfort życia, a nawet wywołuje stany chorobowe [1]. Według obowiązującej definicji zalicza się tu związki organiczne mające w temperaturze 293,15 K prężność par nasyconych nie mniejszą niż 10 Pa, względnie posiadające analogiczną lotność w szczególnych warunkach użytkowania [2, 3]. Przyjęcie tak niskiego progu lotności powoduje, że do zbioru tego zalicza się zdecydowaną większość substancji organicznych. Szkodliwe działanie na środowisko naturalne jest asumptem do podjęcia licznych badań nad opracowaniem technologii ich usuwania z powietrza atmosferycznego. Znanych jest wiele sposobów usuwania lotnych związków organicznych z gazów, a do najważniejszych należy: biofiltracja, adsorpcja, absorpcja, chemiczne utlenienie, kriokondensacja i katalityczne spalanie [1, 4]. Zadanie to nie należy do łatwych, jako że substancje te występują w niskich i bardzo niskich stężeniach (ppm), skutkiem czego siła napędowa proponowanych procesów jest niewielka, stąd skuteczność ich usuwania jest w wielu przypadkach niezadowalająca. Dodatkowo, wprowadzane nowe przepisy i dyrektywy wymagają usunięcia lotnych związków organicznych do bardzo niskich stężeń, nierzadko niemal śladowych [3]. Dużą trudność w realizacji procesu oczyszczania gazu stwarza fakt, że zarówno stężenie danej substancji w gazie jak i strumień zanieczyszczonego gazu wykazują bardzo często małą stabilność w czasie. Spośród wymienionych powyżej metod najlepsze wyniki daje zastosowanie procesów sorpcyjnych. W przypadku małej stabilności i niskich stężeń korzystniejsza jest adsorpcja, w przypadku wyższych stężeń i stabilnej pracy danego emitera można zastosować absorpcję [5]. W obu przypadkach jest to jedynie połowiczne rozwiązanie albowiem w procesach tych nie likwiduje się strumienia danej substancji a jedynie przenosi jej masę z fazy gazowej do fazy sorbentu. Wysokie warunki co do czystości uzyskiwanego strumienia powietrza wymagają stosowania bardziej selektywnych, a tym samym droższych sorbentów [9]. Stąd też konieczna jest regeneracja sorbentu umożliwiająca jego wielokrotne użycie. Jej brak w istotny sposób podniósłby i tak stosunkowo drogi inwestycyjnie i eksploatacyjnie proces oczyszczania gazów z lotnych związków organicznych. Interesującym rozwiązaniem jest regeneracja sorbentu sprzężona z mikrobiologiczną degradacją danej substancji organicznej.

## Warunki zastosowania mikrobiologicznej degradacji

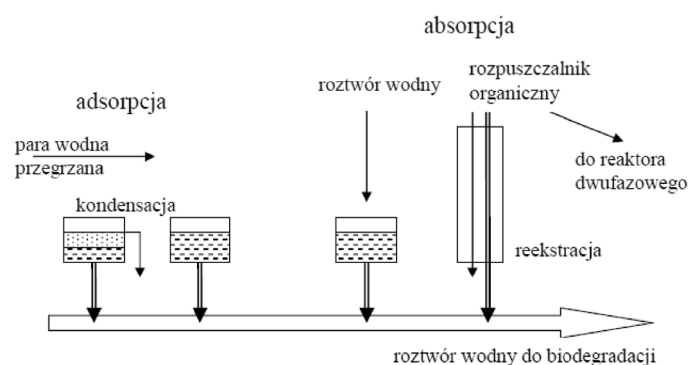
Aby wykorzystać przemiany mikrobiologiczne do regeneracji sorbentu do postaci umożliwiającej jego powtórne użycie w zintegrowanym procesie oczyszczania gazów należy:

1. przeprowadzić masę zaadsorbowanego (zaabsorbowanego) związku organicznego do fazy wodnej,
2. znaleźć odpowiedni szczep mikroorganizmów, wykorzystujący daną substancję jako źródło węgla,
3. opracować statykę i kinetykę procesu.

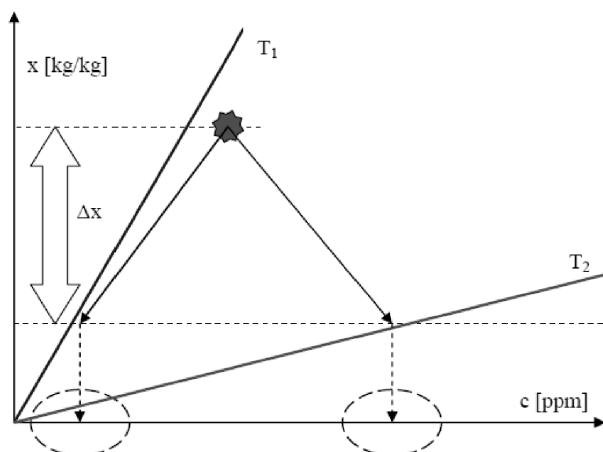
Podstawową kwestią jest wprowadzenie danej substancji organicznej do fazy wodnej, jako że jest to faza, w której mikroorganizmy wykazują aktywność. Jej realizacja zależy od rodzaju sorpcji oraz użytego sorbentu [6]. Ogólny schemat postępowania przedstawiono na rys. 1. W przypadku stosowania adsorpcji najkorzystniej jest regenerację sorbentu przeprowadzić przegrzaną parą wodną [7]. Wynika to z faktu, że ze względu na niskie stężenie danego lotnego związku organicznego w oczyszczanym powietrzu linia operacyjna procesu desorpcji leży w pobliżu przecięcia współrzędnych na wykresie równowagi adsorpcyjnej (Rys.2). Zatem chcąc uzyskać odpowiedni stopień regeneracji ( $\Delta x$ ) faza gazowa podczas desorpcji musi zawierać bardzo niskie stężenie danego związku, co rzutuje na jej strumień. Zastosowanie pary przegrzanej podnosi temperaturę złoża, co istotnie zmienia położenie krzywej równowagi, a tym samym usprawnia przebieg procesu.

W zależności od hydrofobowości danej substancji kondensacja fazy gazowej opuszczającej złożę sorbentu prowadzi bądź do układu dwufazowego, bądź do jednofazowego roztworu wodnego (Rys.1).

Dla substancji hydrofilowych możliwa jest również regeneracja strumieniem wody [10], jednakże w takim przypadku



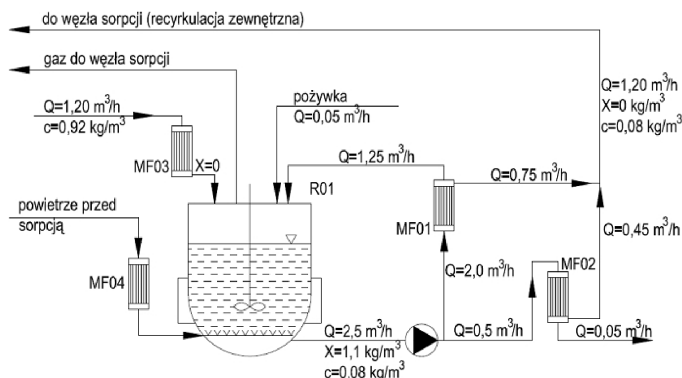
Rys. 1. Sposoby wprowadzania sorbatu do fazy wodnej



Rys. 2. Przebieg desorpcji adsorbentu

mogą wystąpić problemy z suszeniem złoza adsorbentu. Przy wykorzystywaniu procesu absorpcji dla związków hydrofilowych stosuje się roztwory wodne natomiast dla substancji hydrofobowych trudno lotne rozpuszczalniki organiczne (np. polidimetylosiloksan) [8]. W takim przypadku konieczna jest reekstrakcja do fazy wodnej lub zastosowanie do biodegradacji reaktorów wielofazowych, w których następuje jednoczesna ekstrakcja i degradacja. Proces reekstrakcji wymaga dodatkowego aparatu, jednakże ze względu na skondensowaną postać obu faz jest to w odróżnieniu od absorbera aparat o małej średnicy.

### System biodegradacji



Rys. 3. Schemat technologiczny procesu biodegradacji butanolu-1

Układ biodegradacji wymaga specyficznych mikroorganizmów, stąd jego stan powinien być pod szczególną kontrolą. Z tej przyczyny w procesie zastosowano bioreaktor membranowy, zapewniający możliwość efektywnej pracy przy pod-

wyższonym stężeniu komórek mikroorganizmów, jak również zabezpieczający układ reakcyjny przed zakażeniem niepożądanym szczepem. Na rys. 3 przedstawiono schemat procesu biodegradacji butanolu-1.

Możliwe jest stosowanie więcej niż jednego szczepu mikroorganizmów wymagających różnych parametrów procesowych. W takim przypadku stosuje się połączone szeregowo układy przedstawione na rys. 3.

### Wnioski

1. Mikrobiologiczna regeneracja sorbentu jest możliwa, szczególnie korzystnie prezentuje się dla sorbatów hydrofilowych.
2. Na wybór metody sorpcji ma wpływ wartość strumienia i stężenie sorbatu w powietrzu oraz stabilność tych parametrów.
3. Wykorzystanie technik membranowych zdecydowanie intensyfikuje proces.
4. Biodegradacja lotnych związków organicznych znanymi szczepami mikroorganizmów jest procesem stosunkowo wolnym i wymaga aparatury wielkogabarytowej. Rezerwa w intensyfikacji procesu tkwi w uzyskaniu zmutowanych mikroorganizmów o lepszej kinetyce degradacji.

### LITERATURA

1. R.E. Hester and R.M. Harrison: Volatile Organic Compounds in the Atmosphere, Cambridge, The Royal Society of Chemistry, 1992.
2. Dyrektywa Rady 1999/13/WE z dnia 11 marca 1999 r. w sprawie ograniczenia emisji lotnych związków organicznych spowodowanej użyciem organicznych rozpuszczalników podczas niektórych czynności i w niektórych urządzeniach.
3. Rozporządzenia Ministra Środowiska z 20 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz.U. 2005 nr 260 poz. 2181).
4. J. Warych: Oczyszczanie Gazów. Procesy i Aparatura, Warszawa, WNT, 1998.
5. A.L. Kohl, R.B. Nielsen: Gas purification, Houston, Teras, Gulf Publishing Comp., 1997.
6. R.W. Rousseau: Handbook of separation process technology, Canada, John Wiley & Sons, Inc., 1987.
7. M.L. Paderewski: Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej, Warszawa, WNT, 1999.
8. R. Zarzycki, A. Chacuk, M. Starzał: Absorpcja i absorbery, Warszawa, WNT, 1995.
9. Ki-Joong Kim, Chan-soon Kang, Young-Jae You i inni: Cat. Today, 111, 223 (2006).
10. G. Bercie, A. Pintar: Ind. Eng. Chem. Res., 35, 4619 (1996).

**Wykonano przy finansowym wsparciu projektu PBZ-MNiSzW-3/2/2006 „Inżynieria procesów ograniczania emisji oraz utylizacji gazów szkodliwych i cieplarnianych”.**