

# WPLYW EFEKTÓW CIEPLNYCH BIODEGRADACJI ZANIECZYSZCZEŃ ORGANICZNYCH NA PROCES BIOFILTRACJI

Mirosław SZKALRCZYK, Waldemar ADAMIAK, Paweł ZWOŹDZIAK  
Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Wrocławska  
Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
[miroslaw.szklarczyk@pwr.wroc.pl](mailto:miroslaw.szklarczyk@pwr.wroc.pl)

## STRESZCZENIE

Biofiltry służą do oczyszczania gazów odlotowych z zanieczyszczeń organicznych. Ich efektywność zależy od aktywności materiału filtracyjnego, w tym w dużej mierze od zasiedlenia złoża mikroorganizmami zdolnymi do rozkładu usuwanych zanieczyszczeń oraz od parametrów decydujących o ich kondycji. Bardzo ważne znaczenie ma wilgotność złoża. Wysychanie materiału filtracyjnego prowadzi zwykle do zmniejszenia, a nawet całkowitego zaniku efektów oczyszczania. Przyczyną utraty wody ze złoża, pomimo intensywnego nawilżania gazów poddawanych biofiltracji, jest wydzielanie się ciepła podczas biologicznego rozkładu zanieczyszczeń organicznych usuwanych z gazów. Omawiany efekt zmusza do dbałości o ciągle nawilżanie złoża. Wzrost temperatury układu może także być istotnym wskaźnikiem pozwalającym monitorować pracę biofiltra.

### 1. Materiały filtracyjne w biofiltrach

Jako materiały filtracyjne w biofiltrach stosuje zwykle takie organiczne materiały jak komposty, produkty z kory, produkty torfowe. Najczęściej są to mieszaniny tych materiałów, uzupełniane materiałami dodatkowymi, polepszającymi strukturę złoża (np. kora, korzenie wrzośca, perlit). Właściwe funkcjonowanie biofiltrów zależy w dużej mierze od aktywności materiału filtracyjnego. Ta z kolei jest zależna od aktywności materiału biologicznego zasiedlającego złożo. Ważne jest, żeby zasiedlenie było obfite a mikroorganizmy były zdolne do usuwanych z gazów zanieczyszczeń. Właściwe zasiedlenie można uzyskać poprzez wprowadzenie odpowiedniego zaszczepu lub na drodze adaptacji. Jest to jednak warunek niewystarczający. Niezbędne jest jeszcze zapewnienie odpowiednich czynników fizykochemicznych [1]. Pod uwagę należy brać, przede wszystkim takie, jak temperatura, odczyn i wilgotność materiału filtracyjnego. W większości wypadków temperatura powinna się mieścić z zakresie  $283 \div 313$  K, pH złoża powinno być zbliżone do wartości 7, a zawartość wody w złożu wynosić  $30 \div 60\%$  wag.

### 2. Zastosowanie biofiltracji

Szersze zastosowanie biofiltracji notuje się od lat 70-tych ubiegłego wieku. W pierwszej kolejności biofiltry były stosowane do dezodoryzacji gazów odlotowych. Do dzisiaj jest to główne zastosowanie tych urządzeń. Powszechnie stosuje się je w obiektach gospodarki komunalnej (oczyszczalnie ścieków, kompostownie) [2] oraz w zakładach przetwórstwa artykułów spożywczych. Są to przypadki gdzie prowadzenie procesu nie napotyka większych trudności. Gazy mają zwykle odpowiednią temperaturę, zanieczyszczenia łatwo ulegają biodegradacji, a ich stężenia są niskie.

Od wielu lat rozszerza się stosowanie biofiltracji do oczyszczania gazów z zanieczyszczeń organicznych emitowanych z obiektów przemysłu chemicznego, lakierni,

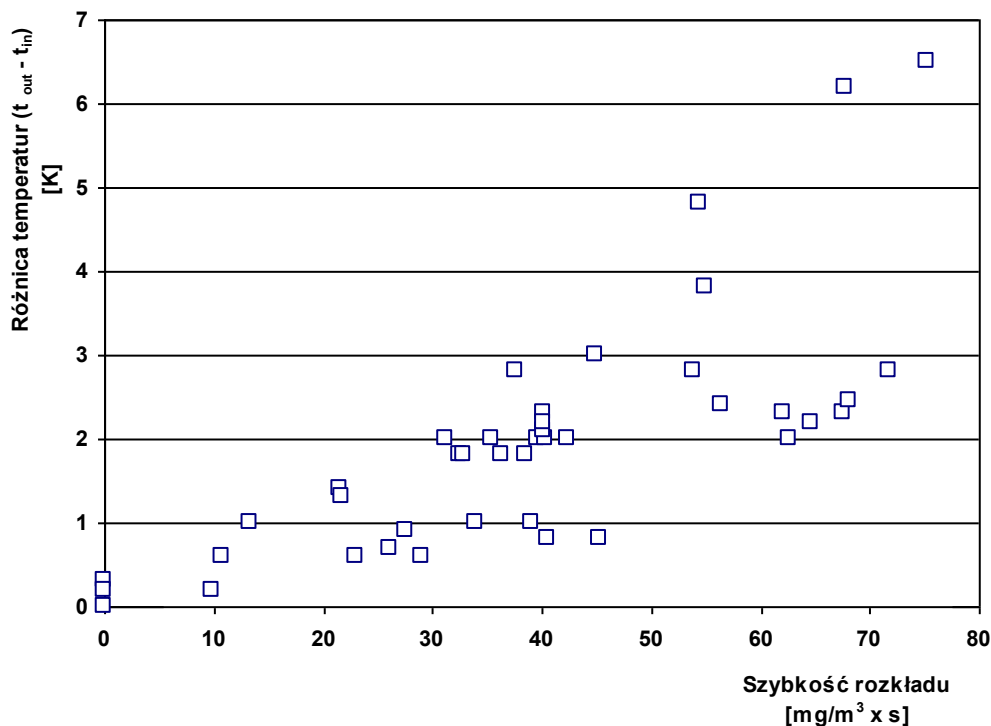
itp. [3]. W tym obszarze zastosowań prowadzenie procesu może być związane z nieco większymi kłopotami. Najczęściej są to problemy związane z adaptacją złoża do rozkładu związków, które są obce naturze. Zwykle na początku, w fazie uruchamiania biofiltru, złoże przechodzi proces adaptacji mikroorganizmów do rozkładu zanieczyszczeń występujących w oczyszczanych gazach. Potem jeszcze dodatkowo, podczas przerw w pracy instalacji, obserwuje się efekt częściowego odadaptowania złoża, co przejawia się okresowym osłabieniem jego aktywności po wznowieniu pracy instalacji.

Efektem mogącym utrudniać prowadzenie biofiltracji jest fakt, iż w procesie biodegradacji zanieczyszczeń organicznych dochodzi do wydzielania się ciepła. W przypadku dezodoryzacji gazów, gdy stężenia zanieczyszczeń w oczyszczanych gazach są niskie, a tym samym masowe obciążenia złoża są również niskie, co sprawia że ilość wydzielanego ciepła jest mała, wpływ tego efektu mógł być nie postrzegany. Inaczej przedstawia się to zagadnienie wtedy, gdy stężenia zanieczyszczeń są wysokie, a tym samym obciążenia masowe złoża są duże.

### 3. Opis obserwacji efektów cieplnych biofiltracji

W warunkach laboratoryjnych badano proces biofiltracji benzenu na złożu torfowo-perlitowym, zaszczerpionym bakteriami wyhodowanymi na benzenie, jako pożywce zawierającej węgiel [4]. Uzyskane w ten sposób złoże było zdolne do pracy w dużym zakresie obciążeń substratem. Biofiltracji poddawano powietrze nasycane parami benzenu. Biofiltr wykonano z rury PCV o średnicy 100 mm. Wysokość złoża wynosiła 0,33 m. Prędkość przepływu gazu przez złoże ustalono na ok.  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s, a stężenie par benzenu zmieniano w zakresie do ok.  $3200 \text{ mg/m}^3$ . Zwiększanie stężenia skutkowało zwiększeniem obciążenia złoża, rozumianym jako masa substratu (benzenu) w miligramach dopływająca do jednostkowej objętości złoża w ciągu 1 sekundy ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Zwiększanie obciążenia powodowało zwiększenie szybkości rozkładu substratu. Szybkość rozkładu wyraża się masą rozkładanego benzenu w jednostce czasu w odniesieniu do objętości jednostkowej objętości złoża ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Obydwie wielkości są wyznaczane na podstawie pomiarów objętości gazów przepływających przez złoże oraz mierzonych stężeń benzenu w gazach przed oraz za złożem. Efektem ubocznym, stanowiącym, przedmiot prezentowanego opracowania było podwyższenie temperatury układu (złoża i przepływających przez niego gazów). Stopień podwyższenia temperatury gazów po przejściu przez złoże w zależności od szybkości rozkładu benzenu przedstawiono na rysunku 1.

Obserwowane ogrzewanie się złoża i gazów wylotowych, jest efektem aktywności metabolicznej mikroorganizmów zasiedlających złoże. Źródłem węgla i energii dla drobnoustrojów jest w omawianym przypadku benzen. W procesie biodegradacji, część atomów węgla budujących cząsteczkę jest użyta do tworzenia nowej biomasy, część natomiast utlenia się do  $\text{CO}_2$ . Procesom utleniania towarzyszy wyzwolenie energii, która jest magazynowana w związkach wysokoenergetycznych (głównie ATP) i wykorzystywana przez komórki do wykonywania różnorodnych prac (np. biosynteza, utrzymanie odpowiedniego ciśnienia osmotycznego czy ruch). Jak wynika jednak z drugiej zasady termodynamiki, wszelkim przekształceniom energetycznym towarzyszy utrata energii, która rozprasza się jako ciepło.



Ry. 1. Efekt ogrzewania złoża w funkcji szybkości rozkładu benzenu

Wydzielanie ciepła w omawianym procesie wywołuje efekty, które można podzielić na pierwotne i wtórne. Do pierwotnych należy zaliczyć:

- podgrzewanie złoża,
- podgrzewanie gazu,
- wymiana ciepła z otoczeniem poprzez ścianki biofiltra.

Efekty wtórne natomiast, to:

- zwiększenie tempa metabolizmu drobnoustrojów,
- zmniejszenie rozpuszczalności zanieczyszczenia w wodzie,
- zwiększenie prężności nasyconej pary wodnej.

Dwa pierwsze efekty pierwotne dają się bezpośrednio mierzyć i mogą dostarczyć informacji o przebiegu procesu oczyszczania. Jednocześnie mogą być one podstawą do oszacowania wielkości efektów wtórnych. Natomiast trzeci z efektów pierwotnych – wymiana ciepła z otoczeniem – może być przyczyną błędów pomiaru temperatury. Będą one tym większe, im mniejszy jest biofiltr i im bardziej złożo będzie się nagrzewać.

Efekty wtórne ogrzewania gazów mogą sprzyjać lub utrudniać proces oczyszczania. Zwiększenie szybkości reakcji biochemicznych ma oczywiście pozytywny wpływ na szybkość rozkładu biologicznego. Zgodnie z regułą Van't Hoffa, reakcje chemiczne ulegają przyspieszeniu przynajmniej dwukrotnie przy wzroście temperatury o 10 K. Z drugiej strony, przenikanie zanieczyszczenia z fazy gazowej do komórek może być wówczas ograniczone, gdyż wraz ze wzrostem temperatury zmniejsza się jego rozpuszczalność w wodzie, oraz zwykle mniejszy jest efekt sorpcji. Najczęściej jednak, jeżeli temperatura nie przekracza 313 K (40°C), złożo ogrzane oczyszcza lepiej, a wspomniane ograniczenia fizyczno-chemiczne mają istotne znaczenie tylko w przypadku zanieczyszczeń bardzo słabo rozpuszczalnych w wodzie [5].

Za najistotniejszy efekt wtórny należy uznać zwiększenie prężności nasyconej pary wodnej w oczyszczanych gazach, powodowane zwiększeniem ich temperatury. Im wyższa

jest bowiem temperatura gazów, tym więcej pary wodnej mogą one wchłoniąć. Jak wiadomo, warunkiem prawidłowej pracy złoża filtracyjnego jest jego odpowiednie nawilżenie. Gazy doprowadzane do biofiltrów są nasycone parą wodną do wilgotności bliskiej 100% tak, aby nie powodowały przesuszenia złoża. Jeśli jednak w czasie przepływu przez biofiltr ich temperatura rośnie, to wchłaniają one wilgoć ze złoża i mogą spowodować jego przesuszenie, a w konsekwencji utratę aktywności. Podczas prowadzonych badań parokrotnie stwierdzano wysychanie złoża w głębszych warstwach, gdzie temperatura była najwyższa, mimo utrzymywania się wilgotności w mniej podgrzanej warstwie powierzchniowej. Utrudnia to kontrolę wilgotności złoża, gdyż stan nawilżenia jego wierzchniej warstwy jest zwykle wskaźnikiem wilgotności w biofiltrze (przy dopływie gazów od góry, jaki stosowano w prezentowanej pracy). Znaczenie omawianego zjawiska może również zilustrować przykładowe obliczenie. Gdy temperatura gazu po przejściu przez złożo wzrasta od 293 K o 4 K, to prężność pary wodnej nasyconej zwiększa się od 2337 Pa do 2982 Pa. Oznacza to, że każdy 1 m<sup>3</sup> gazu wchłonie 4,7 g wody.

#### 4. Wnioski

Z przedstawionych rozważań wynika, że złożo pracujące w warunkach wysokiego obciążenia, powinno być szczególnie intensywnie nawilżane, gdyż jest bardziej narażone na wysychanie niż złożo niskoobciążone. Poza tym, oczyszczane gazy powinny być kierowane na złożo od góry tak, aby ich przepływ zachodził współprądowo z podawaną wodą. Należy też zwrócić uwagę na pozytywny aspekt odparowywania wody: parowanie pochłania znaczne ilości ciepła i przyczynia się do ograniczenia wzrostu temperatury złoża, co ogranicza ryzyko jego przegrzania. Wynika to z wysokiej wartości ciepła parowania wody (ok. 2260 kJ/kg). Prężność pary wodnej rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem temperatury, a więc przy wyższych wyjściowych temperaturach gazu, taka sama ilość wyzwalanego ciepła spowoduje (wskutek intensywniejszego odparowania) mniejszy wzrost temperatury gazu.

#### Literatura:

1. VDI-Richtlinien 3477, Biologische Abgas-/Abluftreinigung, Biofilter
2. Szklarczyk M.: Metody dezodoryzacji gazów w oczyszczalniach ścieków., Przegl. Kom., 2005 nr 11, 119-122
3. Eitner D.: Biofilter in der praxis, in Biologische Abluftreinigung, Expert Verlag, Germany 1990
4. Adamiak W., Możliwości zastosowania mikroorganizmów adaptowanych *in vitro* do rozkładu wybranych zanieczyszczeń powietrza, Praca doktorska w I-15, Politechnika Wroclawska, Wroclaw 2005
5. Devinsky J., Deshusses M., Webster T., Biofiltration for Air Pollution Control. Levis Publishers, CCR Press LLC, USA 1999.