

# WPLYW JAKOŚCI ZŁOŻA FILTRACYJNEGO NA EFEKTY BIOFILTRACJI BENZENU

Mirosław SZKLARCZYK, Waldemar ADAMIAK, Janusz ŚWIETLIK  
Politechnika Wroclawska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

## STRESZCZENIE

Biofiltrację benzenu badano początkowo na złożu torfowym, zaszczipionym osadem czynnym. Przez pierwszy miesiąc pracy biofiltr usuwał benzen z szybkością około  $3 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ . Dopiero po tym okresie szybkość biofiltracji zaczęła powoli rosnać osiągając wartość maksymalną około  $13 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$  przy obciążeniu rzędu  $24 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ . Modyfikacja złoża, polegająca na odkwaszeniu torfu, dodaniu drobnziarnistego perlitu i zaszczipieniu zaadaptowaną uprzednio w warunkach *in vitro* mikroflorą bakteryjną, skróciła okres adaptacji do paru godzin i umożliwiła usuwanie benzenu z bardzo dużą szybkością ponad  $70 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ , przy wysokiej sprawności oczyszczania. Praca złoża przy wysokim obciążeniu wymagała dostarczania dużych ilości pożywki mineralnej.

### 1. Wstęp

Biologiczne oczyszczanie gazów polega na rozkładzie zanieczyszczeń, pochłanianych z gazów odlotowych, przez mikroorganizmy. Warunkiem niezbędnym do zajścia procesu jest przejście zanieczyszczeń (sorpcja) do środowiska życia mikroorganizmów (woda, wilgotne materiały pochodzenia organicznego) oraz podatność tych związków na biodegradację. Najczęściej stosowaną techniką biologicznego oczyszczania gazów jest biofiltracja. Głównym elementem biofiltru, rzutującym na jakość jego pracy, jest warstwa wilgotnego materiału pochodzenia organicznego (jak torf lub kompost), zasiedlona przez mikroorganizmy.

Jakość materiału filtracyjnego, rzutująca na efekty biofiltracji, jest zdeterminowana przez wiele czynników. Głównymi cechami materiału, które wpływają na jego jakość są:

- struktura,
- zasiedlenie (rodzaj i liczba mikroorganizmów),
- wilgotność,
- zawartość składników biogennych,
- odczyn.

Materiał organiczny spełnia tutaj rolę nośnika dla mikroorganizmów, ale także wody oraz substancji biogennych jak azot, fosfor, mikroelementy.

Duże znaczenie dla efektów biofiltracji mają także takie czynniki jak [1]:

- podatność zanieczyszczenia na biodegradację,
- czas przebywania oczyszczanych gazów w warstwie filtracyjnej,
- stężenie zanieczyszczeń w oczyszczanych gazach.

W prezentowanej pracy przedstawiono wpływ cech materiału filtracyjnego na efekty biofiltracji powietrza zanieczyszczonego parami benzenu. Ocena zostanie wykonana na podstawie badań w skali laboratoryjnej.

## 2. Materiały i metody

Badania prowadzono na złożach torfowych oraz torfowo-perlitowych, o różnych parametrach i gęstości zasiedlenia. Wysokość pojedynczej warstwy wypełnienia wynosiła około 0,3 m, a powierzchnia jego przekroju –  $7,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ . Wilgotność złoża wahała się w granicach 30÷50%. Badania prowadzono w temperaturze pokojowej. Biofiltracji poddawano powietrze zawierające pary benzenu w szerokim zakresie stężeń, nasycone parą wodną, o wilgotności względnej zbliżonej do 100%. Strumień objętości oczyszczanego powietrza wynosił  $0,25 \text{ m}^3/\text{h}$ , co odpowiadało prędkości przepływu przez złożo  $0,88 \text{ cm/s}$ .

Doświadczenia polegały na monitorowaniu ciągłej pracy układu badawczego przez kilkadziesiąt dni. Stężenia benzenu w gazach przed oraz po złożu filtracyjnym oznaczano metodą chromatografii gazowej, przy użyciu chromatografu GCHF 18.3 z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym FID, z kolumną o długości 1 m i średnicy 5 mm wypełnioną chromosorbem WAW 80/100, z naniesionym carbowaxem w ilości 10%. Ocenę efektów biofiltracji opisano za pomocą następujących parametrów:

– masowe obciążenie złoża 
$$O = \frac{c_p \cdot \dot{V}}{V_z} \quad [\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})] \quad (1)$$

– szybkość biofiltracji benzenu 
$$V = \frac{(c_p - c_k) \cdot \dot{V}}{V_z} \quad [\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})] \quad (2)$$

– skuteczność usuwania benzenu z gazów 
$$\eta = \frac{c_p - c_k}{c_p} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:  $c_p$  - stężenie benzenu przed złożem,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,

$c_k$  - stężenie benzenu za złożem,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,

$V_z$  - objętość złoża,  $\text{m}^3$ ,

$\dot{V}_z$  - objętościowe natężenie przepływu gazów (powietrza),  $\text{m}^3/\text{s}$ .

## 3. Wyniki badań

Pierwszą serię badań wykonano na złożu filtracyjnym, sporządzonym na bazie torfu ogrodniczego kwaśnego, o pH w granicach 3,5÷4. Torf jest ubogo zasiedlony przez mikroorganizmy, dlatego wprowadzono dodatkowe inokulum, przez dodanie osadu czynnego hodowanego laboratoryjnie, a jako uzupełnienie pożywek zastosowano melasę. Po takich zabiegach uzyskano złożo o gęstości zasiedlenia około  $9 \cdot 10^6 \text{ jtk/g s.m. złoża}$ .

W początkowym okresie, trwającym około jednego miesiąca, uzyskiwano szybkość biofiltracji poniżej  $3 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ , pomimo stosowania zakresu obciążeń w granicach 2÷9  $\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ . Po tym czasie obserwowano powolną, lecz wyraźną tendencję wzrostową szybkości biofiltracji. Wzrastała także skuteczność usuwania par benzenu z gazu, osiągając maksymalną wartość nieco ponad 70%, przy obciążeniu około  $15 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ . Maksymalna szybkość biofiltracji wyniosła około  $13 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$  przy obciążeniu rzędu  $24 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ . Skuteczność oczyszczania była wówczas niższa i wynosiła około 50%.

Oceniając uzyskane wyniki należy zwrócić uwagę na długi czas adaptacji złoża do rozkładu benzenu. Szybkość biofiltracji narastała bardzo wolno, prawdopodobnie w wyniku powolnego namnażania się szczepów zdolnych do rozkładu benzenu.

W celu polepszenia efektów oczyszczania złożo torfowe zaszczepiono bakteriami, uprzednio zaadaptowanymi do wydajnej biodegradacji benzenu w hodowli wzbogacającej, na

pożywcze mineralnej z benzenem, jako jedynym źródłem węgla. Końcowe zasiedlenie wynosiło około  $10^8$  jtk/g s. m. złoża. Jednak po zaszczepieniu złoża tym inokulum, nie stwierdzono początkowo istotnego polepszenia pracy biofiltra. Dopiero odkwaszenie złoża (jego I warstwy) za pomocą CaO, spowodowało wyraźne zwiększenie skuteczności oczyszczania. (tabela 1).

Tabela 1. Porównanie efektów biofiltracji benzenu na złożu torfowym kwaśnym oraz odkwaszonym, zaszczepionym inokulum otrzymanym *in vitro*

Złoże	Stężenie początkowe $c_p$ mg/m <sup>3</sup>	Stężenie końcowe $c_k$ mg/m <sup>3</sup>	Sprawność oczyszczania $\eta$ %	Obciążenie złoża O mg/(m <sup>3</sup> ·s)	Szybkość biofiltracji V mg/(m <sup>3</sup> ·s)
Kwaśne warstwa I	1200	860	28	35,4	10,0
Kwaśne warstwa II	860	450	48	25,4	12,1
Kwaśne warstwa III	450	220	51	13,3	6,8
Odkwaszone warstwa I	1120	30	97	33,0	32,1

Sprawność oczyszczania jednej warstwy odkwaszonego złoża była wyższa niż sprawność oczyszczania trzech warstw złoża nieodkwaszonego. Należy podkreślić, że po zabiegu odkwaszenia szybkość biofiltracji wzrosła praktycznie od razu, a czas między zaszczepieniem złoża, a jego odkwaszeniem nie przekraczał kilku godzin. Oznacza to, że okres adaptacji zmodyfikowanego złoża uległ bardzo wyraźnemu skróceniu, w porównaniu do złoża torfowego nieodkwaszonego i zaszczepionego niezaadaptowanym inokulum. Podawane w literaturze okresy adaptacji złożeń biofiltracyjnych oczyszczających gazy zanieczyszczone benzenem są nie krótsze niż dwie doby, mimo stosowania zaadaptowanego inokulum i niskich obciążeń złoża, sprzyjających adaptacji [2-4]

Dalsza praca biofiltra, przy wysokich obciążeniach złoża, powyżej 20 mg/(m<sup>3</sup>·s), wiązała się z koniecznością dozowania dodatkowej pożywki. Okazało się bowiem, że pochłanianie związków biogenych jest wówczas na tyle intensywne, że obecne w złożu sole mineralne szybko się wyczerpują (zwykle złoża biofiltracyjne, pracujące przy małych obciążeniach, nie wymagają dodatkowego zasilania w sole biogenne w trakcie eksploatacji). Zasilanie złoża standardową pożywką mineralną nie podtrzymywało jednak wysokiej skuteczności pracy biofiltra. Przeciwnie, częste (dwukrotne w ciągu dnia) podawanie płynnej pożywki, pogarszało strukturę złoża, powodując jego zasklepienie, i przez to obniżało skuteczność oczyszczania.

Aby zapobiec pogarszaniu się struktury złoża z powodu podawania płynnej pożywki, torf wymieszano z drobnoziarnistym perlitem w stosunku objętościowym 1:1. Perlit ma właściwości spulchniające i jest mało podatny na zmiany, dlatego długo zachowuje swoje właściwości mechaniczne. Dodanie perlitu umożliwiło częste polewanie złoża zagęszczoną pożywką mineralną (o stężeniu 20 g/dm<sup>3</sup>) i spowodowało wyraźną poprawę efektów pracy biofiltra. Przy stężeniach wlotowych benzenu w zakresie 360-2905 mg/m<sup>3</sup> (zakres obciążeń: 9,7-78,4 mg/(m<sup>3</sup>·s)) uzyskano bardzo wysoką sprawność oczyszczania, często powyżej 95%, a maksymalna szybkość oczyszczania wynosiła 73 mg/(m<sup>3</sup>·s). Jest to wartość o rząd wielkości wyższa od stwierdzonej na kwaśnym złożu torfowym, zaszczepionym osadem czynnym, a

także od wartości uzyskiwanych przez innych badaczy zajmujących się biofiltracją benzenu [5-7].

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki dają podstawę do wyciągnięcia następujących wniosków:

1. Odkwaszenie torfu jest niezbędne w celu umożliwienia aktywności mikroorganizmom zaszczipianym na złożu. Wadą torfu jako złoża jest jego mała stabilność, przejawiająca się utratą korzystnych cech strukturalnych w warunkach dużego nawilżenia.
2. Perlit jest dobrym materiałem do preparowania złożów biofiltracyjnych. Po wymieszaniu z torfem tworzy mieszaninę o pożądanym cechach strukturalnych.
3. W celu uzyskania dobrego zaszczepu niezbędna jest odpowiednio długa adaptacja drobnoustrojów do rozkładu zanieczyszczeń, zawartych w oczyszczanych gazach, przeprowadzona *in vitro*, przed wprowadzeniem ich na złożu.
4. Odpowiednie zmodyfikowanie złoża i zastosowanie aktywnego metabolicznie zaszczepu umożliwiło:
  - znaczne skrócenie (do kilku godzin) czasu adaptacji złoża do usuwania benzenu (zwykle wynosi on: od kilku do kilkunastu dni),
  - biofiltrację benzenu z bardzo dużą szybkością przy wysokich obciążeniach: stwierdzone wartości obciążeń krytycznych przekraczały  $70 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ , podczas gdy dla złożów zaszczipionych konwencjonalnie mieszczą się one w zakresie  $1,5 - 13 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ .
5. Biofiltr pracujący w warunkach wysokiego obciążenia wykazuje wysokie zapotrzebowanie na sole biogenne.

#### Literatura

1. VDI-Richtlinien 3477 – Biologische Abgas-/Abluftreinigung Biofilter, Kommission Verlag 19 Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Beuth 91.
2. Sene L., Converti A., Felipe M., Zilli M.: Sugarcane bagasse as alternative packing material for biofiltration of benzene polluted gaseous streams: a preliminary study. *Bioresource Technology*, 2002, vol. 83, 2, 153-157.
3. Zilli M., Daffonchio D., Di Felice R., Giordani M., Converti A.: Treatment of benzene-contaminated airstreams in laboratory-scale biofilters packed with raw and sieved sugarcane bagasse and with peat. *Biodegradation*, 2004, vol. 15, 87-96.
4. Choi S.-Ch., Oh Y.-S.: Simultaneous removal of benzene, toluene and xylenes mixture by a constructed microbial consortium during biofiltration. *Biotechnology Letters*, 2002, vol. 24, 1269-1275.
5. Shareefdeen Z. i Baltzis B., Oh Y. S., Bartha R. In: *Advances in Bioprocess Engineering*, Galindo, E., Ramirez O. T., Eds.; Kluwer Academic: Dordrecht, The Netherlands, 1994, 397-404.
6. Johnson C, Deshusses M.: Quantitative structure-activity relationships for VOC biodegradation in biofilters, in *Proceedings of the Fourth International In Situ and On-Site Bioreclamation Symposium*, vol. 5, Battelle Press, Columbus 1997.
7. Eitner D.: Biofilter in der praxis, in *Biologische Abluftreinigung*, Expert Verlag Ehningen bei Boeblingen, 55, Germany 1990.