

## **PORÓWNANIE SKUTECZNOŚCI DEZODORYZACJI POWIETRZA METODAMI BIOLOGICZNYMI**

**Milena Gospodarek<sup>a</sup>, Piotr Rybarczyk<sup>a</sup>, Jacek Gębicki<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii  
Chemicznej, 80-233 Gdańska, ul. Narutowicza 11/12*

[milena.gospodarek@pg.edu.pl](mailto:milena.gospodarek@pg.edu.pl)

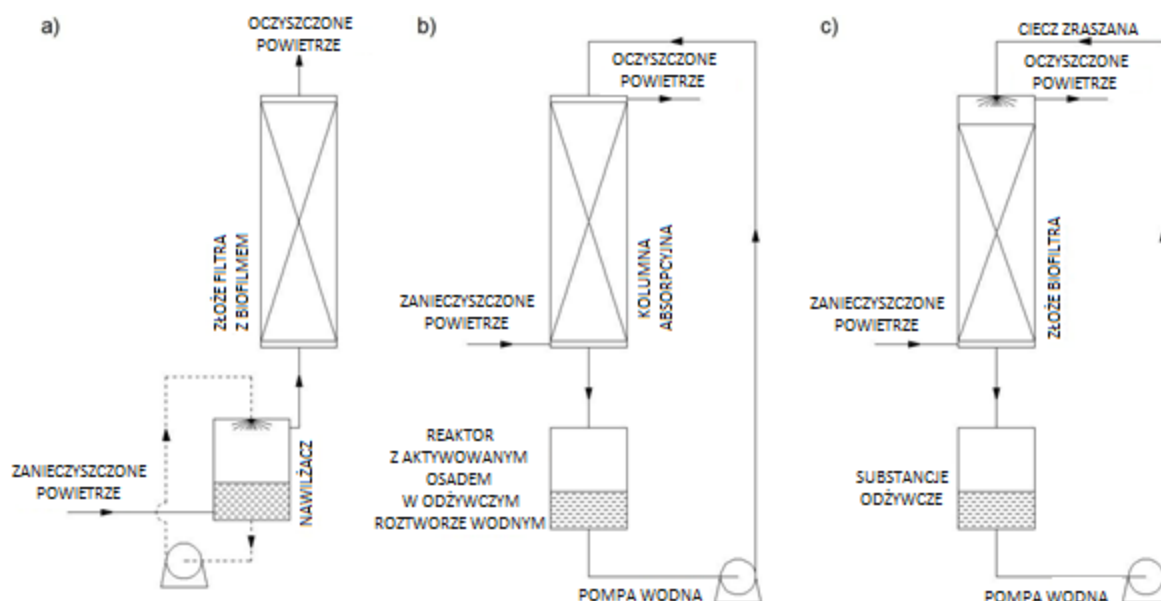
Słowa kluczowe: odory, metody dezodoryzacji, biofiltracja, wydajność

### **1. WPROWADZENIE**

Problematyka uciążliwości zapachowej, wywołanej emisjami substancji odorotwórczych z różnych źródeł, stanowi ważny problem społeczno – środowiskowy. Związki o charakterze odorowym są emitowane z wielu sektorów działalności człowieka, m.in. z zakładów oczyszczania ścieków i składowisk odpadów komunalnych. Związki te mogą być usuwane w procesach fizycznych, chemicznych i biologicznych. Ze względu na niskie koszty eksploatacyjne oraz niską odpadowość, metody biologiczne, w tym różne typy biofiltracji, są powszechnie stosowane do oczyszczania dużych objętości powietrza o względnie niskich stężeniach odorantów.

Zastosowanie metod biologicznych do oczyszczania powietrza znane jest od przeszło 60 lat. Proces biofiltracji polega na rozkładzie zanieczyszczeń przez bakterie lub inne mikroorganizmy, zasiedlające porowate wypełnienie biofiltra. Mechanizm procesu obejmuje dyfuzję zanieczyszczeń z fazy gazowej do biofilmu, pokrywającego powierzchnię elementów wypełnienia. Zaabsorbowane w biofilmie związki ulegają następnie biodegradacji, a oczyszczony gaz opuszcza biofiltr. Grupy aparatów do biofiltracji obejmują: biopłuczki, biofiltry i biofiltry ze złożem zraszanym. W biopłuczkach, składniki z fazy gazowej przenikają do przepływającej w przeciwnym kierunku cieczy z osadem czynnym, który cyrkuluje w układzie zamkniętym, podlegając okresowo regeneracji i napowietrzaniu. W przypadku konwencjonalnego biofiltra, zanieczyszczony gaz jest nawilżany w osobnej komorze, a następnie kierowany do bioreaktora, wypełnionego materiałami pochodzenia naturalnego. W wypełnieniu biofiltra rozwijają się mikroorganizmy, zdolne do degradacji odorantów. W biofiltrze ze złożem zraszanym, absorpcja i rozkład zanieczyszczeń zachodzą w jednym aparacie, którego wypełnienie zraszane jest cieczą wzbogaconą w składniki odżywcze dla mikroorganizmów. Ze względu na szereg zalet, tj. m.in. stabilność procesu, możliwość regulacji pH i temperatury cieczy zraszającej, niskie opory przepływu i niewielkie wymagania przestrzenne, bioreaktory typu strużkowogotj. biofiltry ze złożem zraszanym, są obecnie przedmiotem badań w zakresie biofiltracji powietrza.

Celem niniejszej pracy jest porównanie skuteczności biologicznego oczyszczania gazów w biofiltrach konwencjonalnych, biopłuczkach i biofiltrach ze złożem zraszanym (Rys. 1). Porównanie ww. metod z zastosowaniem procedury numerycznej opiera się na ilościowej analizie zbioru parametrów procesowych, podzielonych na grupy, w celu wskazania najskuteczniejszej metody oczyszczania powietrza ze związków o charakterze odorowym. Dobór parametrów procesowych i uzyskiwaną wydajność oczyszczania powietrza zaproponowano na podstawie przeglądu literatury w zakresie biofiltracji [1–7].



Rys. 1. Schematy aparatów do biofiltracji: (a) biofiltr, (b) biopłuczka, (c) biofiltr ze złożem zraszanym [8].

## 2. MATERIAŁY I METODY

### 2.1. Metodyka

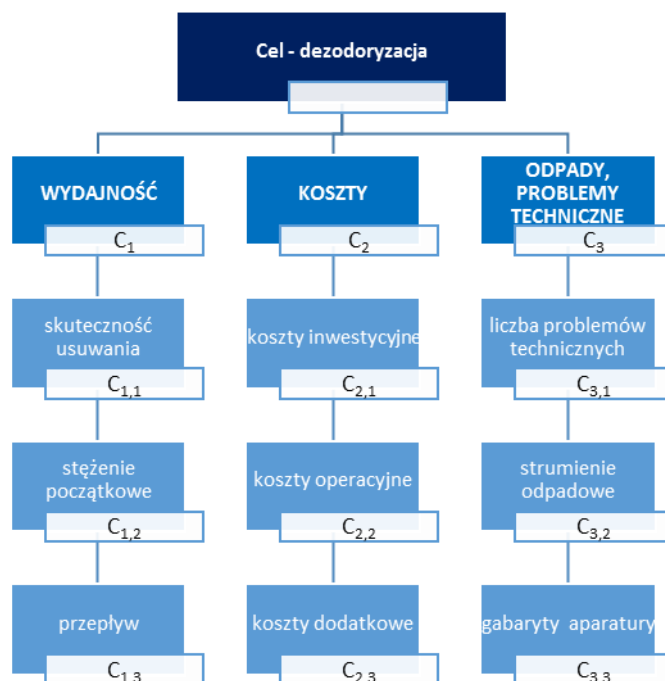
W niniejszej pracy dokonano porównania biologicznych metod dezodoryzacji na podstawie pracy Olivii i współpracowników [9]. Przyjętą dla celów porównania procedurę numeryczną zrealizowano w trzech, opisanych poniżej krokach.

#### 2.1.1. Etap I

Wybrano trzy główne kryteria określające proces dezodoryzacji: wydajność, koszty oraz odpady i problemy techniczne. Każde z przedstawionych kryteriów zostało podzielone na kryteria drugiego rzędu. Kryterium wydajności zorganizowane zostało w trzy podkryteria: skuteczność usuwania, stężenie początkowe oraz przepływ. Następne kryterium, jakim są koszty zostało podzielone na koszty inwestycyjne, operacyjne oraz dodatkowe. Trzecie kryterium dotyczy liczby problemów technicznych, strumieni odpadowych (dwutlenek węgla, toksyczne gazy, odpady wtórne) oraz gabarytów aparatury (Rys. 2).

#### 2.1.2. Etap II

Przyporządkowanie wag do każdego z kryterium i podkryterium przeprowadzono za podstawie przeglądu literatury [1,5,8]. Opracowano pięć głównych matryc, z których pierwsza określa wagi głównych kryteriów, natomiast następane cztery przypisują wagę każdemu podkryterium odpowiadającemu.



Rys. 2. Hierarchia kryteriów z wyszczególnionymi podkryteriami.

### 2.1.3. Etap III

Wyniki wszystkich alternatyw zostały uzyskane dzięki następującemu równaniu (1):

$$S_i A_k = \sum_{j=1}^n \omega_{i,j} \cdot S_{i,j} \quad (1)$$

Gdzie:

- $\omega_{i,j}$  - waga danego kryterium  $C_{i,j}$ ,
- $S_{i,j}$  - wynik alternatywy ( $A_k$ ) względem kryterium  $C_{i,j}$ ,
- $S_i$  - wynik alternatywy ( $A_k$ ) względem kryterium  $C_i$ .

$$S A_k = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot S_i \quad (2)$$

Gdzie:

- $\omega_i$  - waga danego kryterium  $C_i$ ,
- $S_i$  - wynik alternatywy ( $A_k$ ) względem kryterium  $C_i$ ,
- $S$  - ogólny wynik alternatywy ( $A_k$ ).

## 3. WYNIKI ORAZ DYSKUSJA

Na podstawie informacji uzyskanych z przeglądu literatury wybrano kryteria i podkryteria. Każde kryterium oraz podkryterium zostało przekształcone we wskaźnik ( $C_{1,1} - C_{3,3}$ ; tabela 1). Wszystkie indeksy zostały przypisane wskaźnikom na zasadzie „większy jest lepszy”, tzn. wartości przypisano z zakresu 0-1, przy czym wartość 1 oznacza wartość najbardziej korzystną, biorąc pod uwagę całą grupę analizowanych metod.

Tabela 1. Wskaźniki i indeksy.

Wskaźnik	Podkryterium	Jednostka	Zakres
C <sub>1,1</sub>	skuteczność usuwania (R)	-	R/R <sub>max</sub>
C <sub>1,2</sub>	stężenie początkowe (C <sub>i</sub> )	g·m <sup>-3</sup>	C <sub>i</sub> /C <sub>i, max</sub>
C <sub>1,3</sub>	przepływ (Q)	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	Q/Q <sub>max</sub>
C <sub>2,1</sub>	koszty inwestycyjne (IC)	zł·m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	IC/IC <sub>max</sub>
C <sub>2,2</sub>	koszty operacyjne (OC)	zł·m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	OC/OC <sub>max</sub>
C <sub>2,3</sub>	koszty dodatkowe (AC)	zł·m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	AC/AC <sub>max</sub>
C <sub>3,1</sub>	liczba problemów technicznych (TP)	-	TP/TP <sub>max</sub>
C <sub>3,2</sub>	strumienie odpadowe (WS)	m <sup>3</sup>	WS/WS <sub>max</sub>
C <sub>3,3</sub>	gabaryty aparatury (V)	m <sup>3</sup>	V/V <sub>max</sub>

max – oznacza wartość maksymalną danej wielkości.

Wyniki porównań podkryteriów, należących do tego samego kryterium, zostały przedstawione w tabeli 2. Najwyższewagi przypisano kryteriom wydajności oraz powstającym w procesie odpadom oraz problemom technicznym. Były one ważniejsze niż koszty procesu. W procesach usuwania substancji odorotwórczych skuteczność procesu, wielkości początkowe, jak i jego wpływ na środowisko, mają najwyższy priorytet w całej hierarchii procesu. W tabeli 3 zebrano wartości przyjętych wskaźników poszczególnych podkryteriów.

Tabela 2. Wagi każdego kryterium i podkryterium.

Kryterium	$\omega_i$	Podkryterium	$\omega_{i,j}$
C <sub>1</sub>	0,4	C <sub>1,1</sub>	0,4
		C <sub>1,2</sub>	0,25
		C <sub>1,3</sub>	0,35
C <sub>2</sub>	0,2	C <sub>2,1</sub>	0,35
		C <sub>2,2</sub>	0,5
		C <sub>2,3</sub>	0,15
C <sub>3</sub>	0,4	C <sub>3,1</sub>	0,3
		C <sub>3,2</sub>	0,5
		C <sub>3,3</sub>	0,2

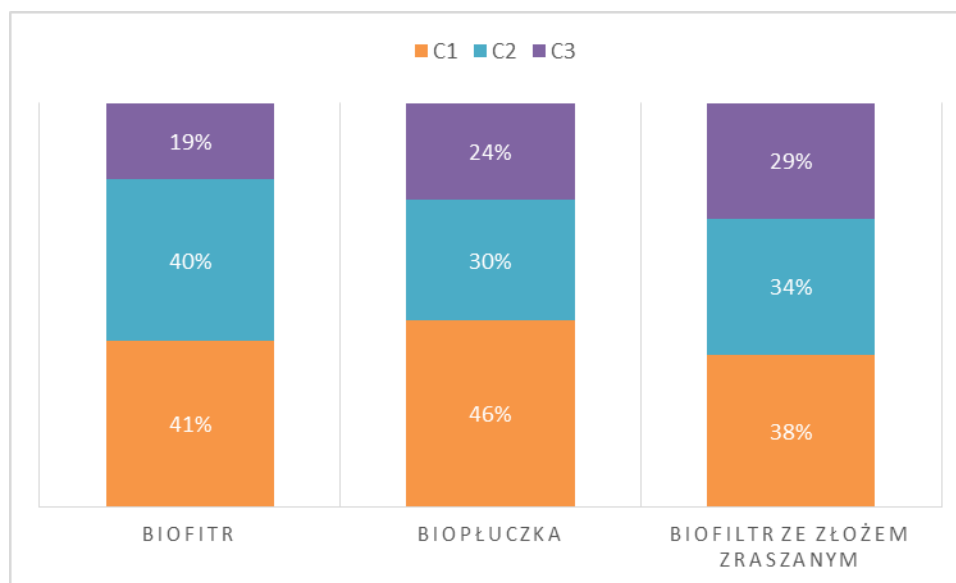
Tabela 3. Wartości wskaźników podkryteriów dla analizowanych biologicznych procesów dezodoryzacji.

Proces	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>			C <sub>3</sub>		
	C <sub>1,1</sub>	C <sub>1,2</sub>	C <sub>1,3</sub>	C <sub>2,1</sub>	C <sub>2,2</sub>	C <sub>2,3</sub>	C <sub>3,1</sub>	C <sub>3,2</sub>	C <sub>3,3</sub>
Biofiltr	0,9	1	1	1	0,9	1	0,1	0,8	0,1
Biopłuczka	0,8	0,9	1	0,6	0,6	0,5	0,9	0,2	0,5
Biofiltr ze złożem zraszanym	1	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,5	1

W tabeli 4 oraz na rysunku 2 przedstawiono rozkłady wyników otrzymanych dla poszczególnych wariantów kryteriów dla wybranych procesów usuwania substancji odorowych. Uzyskane wyniki obliczono na podstawie zależności (1) i (2).

Tabela 4. Wynik alternatyw dla każdego kryterium oraz procesu. Wartość TOT, oznacza uogólniony wynik alternatyw, służący porównaniu wszystkich omawianych metod dezodoracji powietrza.

Proces	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	TOT
Biofiltr	0,96	0,95	0,45	<b>0,754</b>
Biopłuczka	0,895	0,585	0,47	<b>0,663</b>
Biofiltr ze złożem zraszonym	0,915	0,815	0,69	<b>0,805</b>



Rys. 3. Rozkład wyników alternatywnych związanych z różnymi kryteriami.

Na rysunku 3 przedstawiono rozkład wyników poszczególnych wariantów spośród różnych kryteriów. Otrzymane wyniki obliczeń wskazują, że spośród badanych technik biofiltracji, korzystne jest prowadzenie procesu dezodoracji powietrza metodą ze złożem zraszonym. Najmniej opłacalnym okazał się proces wykorzystujący biopłuczkę. Biofiltr ze złożem zraszonym, charakteryzuje się stosunkowo równym stosunkiem udziału poszczególnych kryteriów, przy czym przydatność biofiltrów ze złożem zraszonym do dezodoracji powietrza wynika głównie z ograniczonej liczby technicznych problemów eksploatacyjnych (kryterium C<sub>3</sub>) oraz dużej skuteczności dezodoracji (kryterium C<sub>1</sub>). Niemniej jednak wszystkie badane rozwiązania ujawniły porównywalne wyniki. Należy też podkreślić, że dokonany przegląd literatury potwierdza wysoką skuteczność dezodoracji (stopień usunięcia powyżej 0,9) w przypadku każdego z omawianych procesów, szczególnie w odniesieniu do usuwania związków odorowych o charakterze hydrofilowym.

Zaproponowana metodologia może wspomóc proces podejmowania decyzji w zakresie doboru metody dezodoracji powietrze, a przedstawione wyniki analizy ujawniły mocne i słabe strony omawianych procesów.

W pracy porównano wyniki wszystkich alternatyw kryteriów oraz podkryteriów. Wyniki uzyskane dla podkryteriów mogą zostać wykorzystane, jako jeden z etapów weryfikacji przydatności oraz wyboru konkretnego procesu. Natomiast analiza wyników dla kryteriów, może pomóc wybrać optymalny proces, biorąc pod uwagę jego cechę dominującą.



## LITERATURA

- [1] Barbusinski K, Kalembe K, Kasperczyk D, Urbaniec K, Kozik V. Biological methods for odor treatment – A review. *J Clean Prod* 2017;152:223–41. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.093.
- [2] Wu H, Yan H, Quan Y, Zhao H, Jiang N, Yin C. Recent progress and perspectives in biotrickling filters for VOCs and odorous gases treatment. *J Environ Manage* 2018;222:409–19. doi:10.1016/J.JENVMAN.2018.06.001.
- [3] Hernández M, Quijano G, Muñoz R, Bordel S. Modeling of VOC mass transfer in two-liquid phase stirred tank, biotrickling filter and airlift reactors. *Chem Eng J* 2011;172:961–9. doi:10.1016/J.CEJ.2011.07.008.
- [4] Iranpour R, Cox HHJ, Deshusses MA, Schroeder ED. Literature review of air pollution control biofilters and biotrickling filters for odor and volatile organic compound removal. *Environ Prog* 2005;24:254–67. doi:10.1002/ep.10077.
- [5] Mudliar S, Giri B, Padoley K, Satpute D, Dixit R, Bhatt P, et al. Bioreactors for treatment of VOCs and odours – A review. *J Environ Manage* 2010;91:1039–54. doi:10.1016/J.JENVMAN.2010.01.006.
- [6] Vikrant K, Kim KH, Szulejko JE, Pandey SK, Singh RS, Giri BS, et al. Bio-filters for the treatment of VOCs and odors - a review. *Asian J Atmos Environ* 2017;11:139–52. doi:10.5572/ajae.2017.11.3.139.
- [7] Schiavon M, Ragazzi M, Rada EC, Torretta V. Air pollution control through biotrickling filters: a review considering operational aspects and expected performance. *Crit Rev Biotechnol* 2016;36:1143–55. doi:10.3109/07388551.2015.1100586.
- [8] Rybarczyk P, Szulczyński B, Gębicki J, Hupka J. Treatment of malodorous air in biotrickling filters: a review. *Biochem Eng J* 2018. doi:10.1016/J.BEJ.2018.10.014.
- [9] Oliva G, Zarra T, Naddeo V, Munoz R, Lebrero R, Angeles R, et al. Comparative Analysis of AOPs and Biological Processes for the Control of VOCs Industrial Emissions. *Chem Eng Trans* 2018;68:451–6. doi:10.3303/CET1868076.