



## **Sposoby eliminacji odorów w procesie kompostowania**

*Monika Gałwa-Widera, Anna KwarciaK-Kozłowska*  
*Politechnika Częstochowska*

### **1. Wstęp**

#### **1.1. Odoraty powstające podczas kompostowania odpadów**

Gospodarka odpadami komunalnymi jest jednym z głównych źródeł emisji wielu zanieczyszczeń, w tym substancji odorotwórczych do powietrza atmosferycznego. Do najważniejszych zanieczyszczeń odorotwórczych należą lotne związki organiczne (LZO). LZO charakteryzują się nie tylko uciążliwością zapachową, ale również toksycznością i znaczną szkodliwością dla środowiska. Ponadto wśród związków odorotwórczych znajduje się grupa związków nieorganicznych takich jak związki siarki czy azotu (Szklarczyk 1991).

Do powstawania związków zapachowych dochodzi na wszystkich etapach technologicznych unieszkodliwiania odpadów. W pierwszej kolejności generowane są odory z biomasy kierowanej do kompostowania, a unoszący się zapach jest charakterystyczny dla odpadów komunalnych. Po przygotowaniu masy kompostowej i umieszczeniu jej w odpowiednim, przygotowanym miejscu (pryzmy, reaktory, hale) rozpoczyna się proces kompostowania. W pierwszej fazie procesu emitowane są odory gnilne oraz odory będące efektem przemian tlenowo-beztlenowych. Jest to faza mezofilowa trwająca zazwyczaj kilka dni (KwarciaK-Kozłowska i Bańka 2014, Wierzbińska 2010). W fazie termofilnej, w której następuje szybki rozkład materii organicznej, dochodzi do powstawania substancji silnie wydzielających zapachy. Szczególnie intensywny zapach gazów odlotowych podczas kompostowania pojawia się, gdy temperatura procesu przekracza 60°C (KwarciaK-Kozłowska i Bańka 2014).

Poszczególne fazy ukierunkowanego już procesu wiążą się ze zmianami składu gazów, a co za tym idzie jakością i ilością odorantów w nich zawartych.

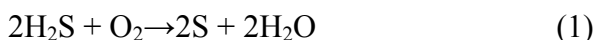
Stężenie odorów w gazie powstającym podczas kompostowania często przekracza 180 000 ou/m<sup>3</sup>. Spośród szerokiej gamy odorogennych związków do najbardziej nieprzyjemnych należą amoniak (NH<sub>3</sub>) oraz siarkowodór (H<sub>2</sub>S). Emisja amoniaku podczas kompostowania organicznych frakcji odpadów komunalnych waha się od 18 do 150 g NH<sub>3</sub>/Mg odpadów (Kwarciak-Kozłowska i Bańka 2014).

Wielkość emisji H<sub>2</sub>S czy merkaptanów można stosunkowo łatwo ograniczyć przez odpowiednie prowadzenie procesu (napowietrzanie, przerzucanie pryzm). Nie ma natomiast możliwości zapobiegania powstawaniu kwasów organicznych czy aldehydów (Kwarciak i Bańka 2014).

## 1.2. Biofiltracja – metoda dezodoryzacji

Do usuwania odorantów z gazów odlotowych stosuje się najczęściej metody absorpcyjne, adsorpcyjne kondensacyjne. Dobór techniki usuwania odorów zależy od wielu czynników, takich jak rodzaj źródła emisji czy właściwości emitowanych gazów i zawartych w nich zanieczyszczeń. Część z tych metod niesie za sobą niestety powstawanie wtórnych zanieczyszczeń, które również należy unieszkodliwić. Ciekawą alternatywą do metod fizycznych i chemicznych są procesy biologiczne, które są metodami praktycznie bezodpadowymi (Van Groenestijn i Kraaman 2005, Szklarczyk 1991). W metodach biologicznych zanieczyszczenia są absorbowane w fazie ciekłej, a następnie ulegają biodegradacji przez mikroorganizmy. Prowadzi to nie tylko do oczyszczenia gazu, ale także samoregeneracji sorbentu (van Groenestijn i Kraaman 2005).

Do substancji odorotwórczych należą przede wszystkim związki organiczne (alifatyczne, aromatyczne, aldehydy, ketony), a także siarkowodór i amoniak (Kapusta 2007). Wszystkie te substancje mogą być z powodzeniem usuwane z wykorzystaniem metod biologicznych. Szczególnie dobre efekty eliminacji drogą biofiltracji uzyskuje się do w stosunku do siarkowodoru. Biologiczne utlenianie H<sub>2</sub>S do siarki elementarnej przez wyspecjalizowaną grupę mikroorganizmów z rodziny *Thiobacillus* zachodzi wg reakcji:



Bakterie te wykorzystują ditlenek węgla z biogazu jako źródło węgla. Produktem przemian jest siarka elementarna oraz siarczany.

Aktualnie stosuje się różne typy biofiltrów pod względem konstrukcyjnym, jak i stosowanych w nich wypełnień, czy też dodatków i zabiegów mających wpływać na zwiększenie skuteczności oczyszczania gazów.

Ze względów technologicznych dla prawidłowej pracy biofiltra ważne są takie parametry, jak: czas kontaktu gazu ze złożem, obciążenie złoża, porowatość i powierzchnia właściwa, opory przepływu. Czas przebywania gazu w biofiltrze zależy od rodzaju zanieczyszczeń i ich rozpuszczalności w wodzie (Sówka 2011). Kolejnym, równie ważnym elementem jest odpowiedni dobór materiału filtracyjnego, który ma zapewniać dużą porowatość (np. torf: 90%, a kompost: 40-60%) i dużą powierzchnię właściwą oraz, ze względów ekonomicznych, jak najmniejsze opory przepływu (Szklarczyk 1991). Na wydajność procesu biofiltracji wpływają też warunki fizyko-chemiczne panujące w złożu. Mają one wpływ na kondycję i ilość mikroorganizmów odpowiedzialnych za proces oczyszczania gazów. Istotne jest zatem zapewnienie środowiska optymalnego dla ich rozwoju. Efekty oddziaływania danego czynnika mogą być różne w zależności od jego rodzaju i natężenia, a także od cech gatunkowych organizmu. Do najważniejszych czynników wpływających na wzrost, rozmnażanie, przeżywalność oraz aktywność metaboliczną mikroorganizmów należą: temperatura, stężenie jonów wodorowych, potencjał oksydoredukcyjny, zawartość wody w środowisku, dostępność pokarmu oraz szkodliwe substancje chemiczne. Temperatura ma bezpośredni wpływ na procesy życiowe drobnoustrojów. Optymalna temperatura wynosi 25-40°C. W różnym zakresie temperatur aktywność swoją wykazują różne mikroorganizmy, zatem należy brać pod uwagę jakość oczyszczanego gazu, rodzaj usuwanych związków i tak zoptymalizować temperaturę złoża by w danym przypadku mikroorganizmy wykazywały się największą skutecznością. W wyniku aktywności mikrobiologicznej mogą być wydzielane duże ilości ciepła, powodujące wzrost temperatury w złożu filtracyjnym. W zimie temperatura wewnątrz biofiltrów może być wyższa od temperatury otoczenia o 10-20°C (Burgess i in. 2001, Adamiak i in. 2012). Równie ważnym czynnikiem wpływającym nie tylko na żywotność organizmów, ale także absorpcję zanieczyszczeń z fazy gazowej jest wilgotność. Z tego względu gazy zanim trafią na złoża filtracyjne są wstępnie nawilżane (Adamiak i in.2012). Aktywność

życiowa mikroorganizmów jest silnie uzależniona od stężenia jonów wodorowych. Optymalnym jest odczyn neutralny, jednak podczas procesu biofiltracji gazów zawierających np. siarkowodór może dochodzić do zakwaszenia podłoża, co może wpływać na zmniejszenie aktywności bakterii (Adamiak in. 2012, Ulfig K., 2010).

W trakcie przepływu gazu przez warstwę materiału filtracyjnego dochodzi do rozprzestrzeniania zanieczyszczeń z fazy gazowej do aktywnej warstwy pokrytej biofilmem mikroorganizmów. W fazie ciekłej, w której znajdują się zarówno rozpuszczone zanieczyszczenia, mikroorganizmy, jak i enzymy, następuje rozkład zanieczyszczeń gazowych z wytworzeniem CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O i biomasy. Dzięki biomase bogatej w substancje odżywcze dochodzi do rozwoju mikroorganizmów, które w konsekwencji „przetwarzają” większą ilość zanieczyszczeń. W mineralizowaniu zanieczyszczeń organicznych biorą udział przede wszystkim bakterie, a także promieniowce, grzyby i mikotroficzne glony, takie jak sinice. Rezultatem rozkładu biologicznego pochłoniętych w biowarstwie zanieczyszczeń jest samoregeneracja materiału filtracyjnego, na powierzchni którego znajduje się biofilm.

## 2. Metodyka prowadzonych badań pilotażowych

### 2.1. Charakterystyka procesu kompostowania

Badania miały charakter pilotażowy i prowadzono je w skali półtechnicznej. Skupiono się głównie na eliminacji odorów pochodzenia nieorganicznego (siarkowodoru i amoniaku) powstających podczas kompostowania odpadów komunalnych.

Sam proces kompostowania prowadzono w komercyjnej kompostowni działającej w systemie „MUT”. Bioreaktor kontenerowy składał się z 5 modułów każdy o pojemności roboczej 25 m<sup>3</sup>. Kontenery wypełniono w 75%. Bioreaktor kontenerowy był termoizolowany i możliwe było prowadzenie w nim sztucznego napowietrzania i zraszania mieszaniny kompostowej. Przebieg procesu monitorowano poprzez zestaw czujników tj. temperatury, tlenu, odczynu i wilgotności. Poziom aeracji wynosił 4 dm<sup>3</sup>/min.

Proces kompostowania prowadzono przez 5 tygodni. Wszystkie jego parametry utrzymywano zgodnie z wymaganiami zawartymi w wytycznych dotyczących wymagań dla procesów kompostowania, fermentacji

i mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów Ministerstwa Środowiska (Dz. U. z 2013 r. poz. 21). W tabeli 2 zestawiono wartości parametrów procesowych.

**Tabela 1.** Parametry prowadzenia procesu kompostowania i biofiltracji  
**Table 1.** Parameters of composting and biofiltration processes

Parametr	Wartość
pH mieszaniny kompostowej	5,8-7,5
pH złoża filtracyjnego	6-7
Wilgotność względna mieszaniny kompostowej	45%-60%
Wilgotność względna złoża filtracyjnego	50%-60%
C/N (mieszanina kompostowa)	24-30:1

Mieszaninę kompostową stanowiły odpady kuchenne z selektywnej zbiórki na terenie jednej z gmin woj. śląskiego oraz organiczna frakcja odpadów komunalnych. Materiał strukturotwórczy stanowiły zręby drzewne. Średni stosunek C/N wynosił 27:1.

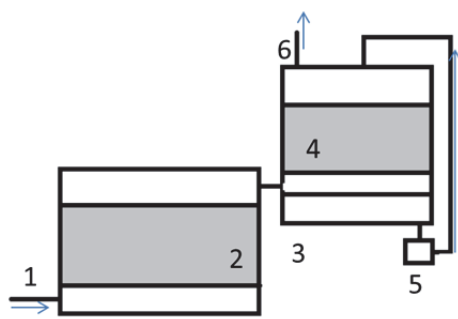
## 2.2. Charakterystyka biofiltra

Eksperymentalny biofiltr zainstalowano na ostatniej jednostce bioreaktora kontenerowego. Składał się on z obudowy oraz warstwy wypełniającego go materiału filtracyjnego, zasiedlonego przez mikroorganizmy przystosowane do rozkładu zanieczyszczeń. Objętość biofiltra wynosiła 2 m<sup>3</sup>. Jego wpracowanie polegało na zasiedlaniu złoża preparatem komercyjnym.

Eksperyment prowadzono z wykorzystaniem dwóch rodzajów wypełnienia – torfu oraz trocin.

Zanieczyszczone gazy z układu bioreaktorów doprowadzono bocznie do biofiltra (rys. 1.). Zainstalowane zawory kulowe pozwalały na pobór gazu przed i po biofiltrze w celu określenia efektywności jego pracy.

W zastosowanym rozwiązaniu istnieje możliwość zwracania kondensatu zgromadzonego na ścianach biofiltra. Może on być wykorzystany do ponownego zraszania złoża.



1 – Doprowadzenie powietrza do reaktora, 2 – Reaktor kontenerowy do kompostowania, 3 – Biofiltr, 4 – Złoże, 5 – Odciek kondensatu, 6 – Czyste powietrze

**Rys. 1.** Schemat układu zastosowany w eksperymencie

**Fig. 1.** Schematic system used in the experiment

### 2.3. Zastosowane oznaczenia

Do analizy powstających gazów podczas kompostowania wykorzystano przenośny analizator biogazu serii GA 5000 certyfikowany ATEX II 2G Ex ib IIA T1 Gb ( $T_a = -10^{\circ}\text{C}$  do  $+50^{\circ}\text{C}$ ) IECEX, CSA. W składzie mieszaniny kompostowej oznaczono suchą masę i straty przy prażeniu (PN – EN 12879 i PN – EN 128800). Określono również zawartość azotu ogólnego (PN – EN 12176), fosforu ogólnego (PN – EN 14672) i węgla ogólnego w kompoście z wykorzystaniem analizatora TOC Multi N/C 2100.

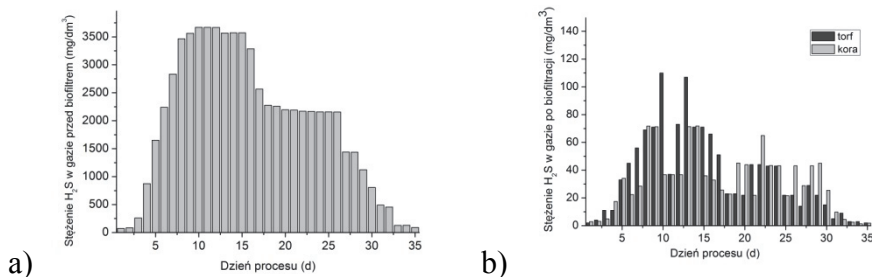
## 3. Omówienie wyników badań

Przyjąć należy, że optymalny zakres temperatur w biofiltrze wynosi  $25\text{--}33^{\circ}\text{C}$ . W okresie zimowym temperatura wewnątrz biofiltrów jest wyższa od temperatury otoczenia o  $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ . Jest to spowodowane faktem wydzielania dużych ilości ciepła w procesach mikrobiologicznych. Ponadto sam proces kompostowania jest procesem wytwarzającym wysoką temperaturę, zwłaszcza w ciągu pierwszych 14 dni. Dzięki temu procesowi powietrze odprowadzane z reaktora trafia do biofiltra już w formie ogrzanej. W trakcie prowadzonego eksperymentu prowadzono ciągły monitoring zmian temperatury.

Dla większości bakterii optymalną wartością jest pH 7,0-7,5. Spadek pH do wartości poniżej 4 oraz wzrost powyżej 11 powoduje znaczne zmniejszenie aktywności bakterii, podobnie jak częste i gwałtowne zmiany odczynu środowiska. Niektóre gatunki mają zdolność do aktywnego oddziaływania na pH zewnętrzne i zmieniają je do wartości

dla nich korzystnych. Stwierdzono, że w przeprowadzonych badaniach pilotażowych pH nie ulegało gwałtownym zmianą i utrzymywało się w zakresie 5,8-7,5.

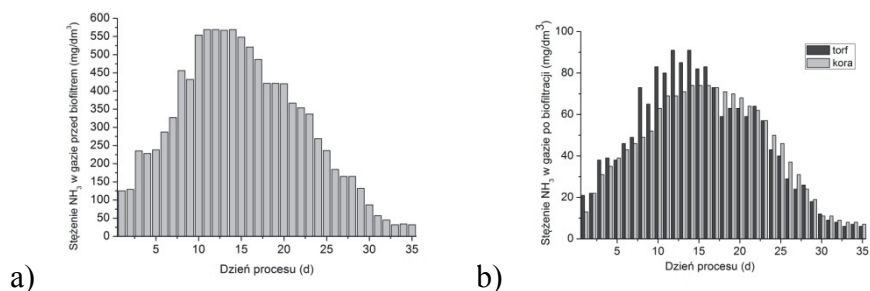
W badaniach zastosowano i porównano wyniki jakie otrzymano przy wykorzystaniu dwóch materiałów filtracyjnych- trocin oraz torfu. Analiza gazów przed i po biofiltracji wykazały, iż bardziej skuteczne usuwanie związków odorowych następuje w biofiltrze wypełnionym torfem. Spowodowane jest to prawdopodobnie większą porowatością materiału a tym samym większą powierzchnią zasiedlaną przez mikroorganizmy. Dolna warstwa biofiltra została wypełniona grubszym materiałem filtracyjnym w postaci zrębów drewnianych. Stanowiło to pierwszy etap adaptacji oczyszczanego biogazu. Również jakość materiału filtracyjnego ma wpływ na rozwijanie biofiltra. Posiewowe analizy mikrobiologiczne wykazały, iż na powierzchni torfu rozwijanie biofilm następuje szybciej niż w przypadku trocin. Bioróżnorodność składników pokarmowych zawartych w torfie pozytywnie wpłynęła na szybkość zasiedlania złoża. Czas przepływu biogazu przez złożo ustalony był wymuszonym obiegiem powietrza.



**Rys. 2.** Stężenie siarkowodoru zawartego w gazach odlotowych z procesu kompostowania (a) oraz po przejściu przez złożo (b)

**Fig. 2.** The concentration of hydrogen sulfide contained in the flue gases from the composting process (a) and after the passage of gas through the filter (b)

Rysunki 2a i 2b przedstawiają poziom stężenia siarkowodoru w gazie odprowadzającym z procesu kompostowania. Największa emisja pojawia się w fazie wysokotemperaturowej. Po przejściu zanieczyszczonego gazu przez złożo zaobserwowano znaczny spadek stężenia siarkowodoru. Większy stopień usunięcia zarejestrowano w większości dla złoża torfowego.



**Rys. 3.** Stężenie amoniaku zawartego w gazach odlotowych z procesu kompostowania (a) oraz po przejściu przez złożę (b)

**Fig. 3.** The concentration of ammonia contained in the flue gases from the composting process (a) and after the passage of gas through the filter (b)

Rysunek 3a przedstawia poziom emisji amoniaku gazowego powstającego w procesie kompostowania. Podobnie jak w przypadku siarkowodoru największy poziom emisji pojawia się w fazie termofilowej procesu. Poziom usunięcia zanieczyszczeń z gazów odlotowych przedstawiono na rysunku 3b. Pierwotnie złożę torfowe wykazuje większą skuteczność eliminacji (rozkładu) odorantu. Przy obniżeniu się temperatury procesu na złożu z kory zaobserwowano większą aktywność mikroorganizmów. Prawdopodobnie jest to związane z większą przestrzenią wolną i dłuższym w stosunku do kory zatrzymaniem biogazu w złożu.

**Tabela 3.** Skuteczność usuwania związków odorowych przy użyciu biofiltra z wypełnieniem torfowym

**Table 3.** Efficiency of removing odorous compounds using a peat-filled biofilter

Zanieczyszczenie	Średnie stężenie przed biofiltrem $\text{mg}/\text{m}^3$	Średnie stężenie po przejściu przez złożę $\text{mg}/\text{m}^3$	Skuteczność usuwania, %
Siarkowodór	3670	37	99
Amoniak	560	44	94

Badania wykazują, że zastosowanie biofiltracji w procesach technologicznych wiąże się z szeregiem korzyści, jednocześnie jest to metoda prosta i nie wymagająca w trakcie stosowania nadmiernych nakładów finansowych. Z uwagi, iż odory to nie tylko siarkowodór i amoniak badania zakładają dalsze analizy i selekcjonowanie złoża do uzyskania optymalizacji procesu.



**Tabela 4.** Skuteczność usuwania związków odorowych przy użyciu biofiltra z wypełnieniem trocinowym

**Table 4.** Efficiency of the removing odorous compounds using a sawdust-filled biofilter

Zanieczyszczenie	Średnie stężenie przed biofiltrem mg/m <sup>3</sup>	Średnie stężenie po przejściu przez złoże mg/m <sup>3</sup>	Skuteczność usuwania, %
Siarkowodór	3588	180	95
Amoniak	570	80	86

#### 4. Podsumowanie

Obiekty kompostowni są potencjalnymi źródłami odorów, jednakże ich uciążliwość można skutecznie zmniejszać poprzez hermetyzację urządzeń oraz stosowanie metod dezodoryzacji. Coraz popularniejsze stają się metody biologiczne, a w szczególności biofiltracja, ze względu na swoją prostotę oraz niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, przy jednoczesnej możliwości uzyskiwania wysokich skuteczności oczyszczania. Ważny jest jednak odpowiedni dobór parametrów urządzeń oraz właściwa eksploatacja, zapewniająca ich sprawne działanie.

Metody biologiczne, a wśród nich biofiltracja, są powszechnie stosowane w procesach dezodoryzacji odorotwórczych gazów, szczególnie w obiektach gospodarki komunalnej (oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów). Prowadzone badania wskazują, że biofiltracja jest skuteczną metodą oczyszczania gazów odlotowych. Uzyskiwane skuteczności oczyszczania gazów, w zależności od zawartych w nim substancji, mieszczą się w przedziale od 40 do 100%. Istotnym zagadnieniem związanym z prawidłowym funkcjonowaniem biofiltrów, oprócz zastosowania odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych, wstępnego oczyszczania i kondycjonowania gazów, jest zapewnienie optymalnych warunków dla rozwoju i aktywności degradacyjnej mikroorganizmów. Zapewnienie określonych reżimów, dotyczących m.in. temperatury czy wilgotności, wpływa na stabilną pracę biofitra oraz zwiększenie skuteczności oczyszczania gazów ze związków odorotwórczych.

*Badania realizowano w ramach BS/PB-401-301/11*

## Literatura

- Adamiak, W., Kita, U., Sówka, I., Szklarczyk, M. (2012). Rola selekcji mikroorganizmów w procesie biodegradacji benzene. *Przemysł Chemiczny*, 91(5), 655-659.
- Burgess, J.E., Parson, S.A., Stuetz, R.M. (2001). Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review. *Biotechnology Advances*, 11(1), 35-63.
- Kapusta, K. (2007). *Ochrona zapachowej jakości powietrza. Doświadczenia światowe w świetle potrzeby unormowań prawnych w Polsce*. Prace Naukowe GIG, 31-50.
- Kwarciak-Kozłowska, A, Bańka, B. (2014). Biofiltracja jako metoda unieszkodliwiania odorów powstających podczas procesów przemiany materii organicznej. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17(4), 625-639.
- McNevin, D., Barford, J., (2000). Biofiltration as an odour abatement strategy. *Biochemical Engineering Journal*, 5(3): 231-242.
- Ramirez, A., Garcia-Aguilar, B. Jones, P., Heitz M. (2012). Improvement of methane biofiltration by the addition of non-ionic surfactants to biofilters packed with inert materials. *Process Biochemistry*, 47(1), 76-82.
- Sówka, I., Zwoździak, P, Zwoździak, A., Zwoździak, J. (2008). Problemy uciążliwości zapachowej wybranych obiektów gospodarki komunalnej. *Ekotoksykologia w Ochronie Środowiska*, 409-414.
- Sówka, I., (2011). *Metody identyfikacji odorotwórczych gazów emitowanych z obiektów przemysłowych*, Wrocław: Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Sówka, I. Miller, U., Sobczyński, P. (2014). Emisja odorów z procesów kompostowania odpadów komunalnych. *Przemysł Chemiczny I*, 93(15), 1000-1003.
- Szklarczyk, M., (1991). *Biologiczne oczyszczanie gazów odlotowych*. Wrocław: Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej.
- Szynkowska, M. I., Zwoźdzak, J., (2010). *Współczesna problematyka odorów*, Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Ulfik, K. (2010) *Biofiltracja lotnych związków organicznych za pomocą bakterii i grzybów mikroskopowych*. W: Szynkowska I.M. i Zwoździak J. [red.] *Współczesna problematyka odorów*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Wieczorek, A. (1998). Wpływ emisji lotnych związków organicznych na zapach gazów odlotowych z kompostowni odpadów. *Ochrona Środowiska*, 1(68), 33-35.

Wierzbińska, M. (2010). Zastosowanie metod biofiltracji do dezodoryzacji gazów odlotowych przy wykorzystaniu złóż włóknistych. cz. II – Czynniki warunkujące optymalizację procesu biofiltracji. *Ochrona powietrza i problemy odpadów*.

Van Groenestijn, J.W., Kraakman, N.J.R. (2005). Recent developments in biological waste gas purification in Europe. *Chemical Engineering Journal*, 113(2):85-91.

Dz. U. z 2013 r. poz. 21.

## **Methods for Elimination of Odor in the Composting Process**

### **Abstract**

Composting is a process that allows the elimination of pathogenic microorganisms, and includes biological sludge stabilization in aerated heaps or in sealed chambers with the addition of supplementary substances. An organic substance that is converted into compost is a good product for soil improvement and land reclamation. Compost is a good organic fertilizer used as manure in rural agglomerations.

Organic matter included in the compost affects the properties of the soil, improves the relationship between water and air, as well as soil rich in nutrients. Compost has the additional properties for improving the structure of light and heavy soils. The temperature of the resulting compost pile can reach up to 70°C. High temperature affects the removal of pathogenic microorganisms. In wastewater treatment plants, where the processing of sludge includes dewatering process and fermentation composting can be used as the final sludge processing operation, which is a valuable material intended to be used in nature (assuming that it meets the requirement pertaining to heavy metal content).

Treatment processes significantly influence the type of emitted odorant. During the anaerobic process different and more intense odors are produced than under aerobic conditions. Odors are often emitted during the biological treatment processes. They may be released during storage and transportation of raw materials, during the compost and- in each phase of the composting process.

### **Słowa kluczowe:**

kompostowanie, odory, biofiltracja, mikroorganizmy

### **Keywords:**

composting, odors, biofiltration, microorganisms