

## WPŁYW NAPOWIETRZANIA ZŁOŻA NA PRZEBIEG PIERWSZEJ FAZY PROCESU KOMPOSTOWANIA

Piotr Sołowiej, Janusz Piechocki, Maciej Neugebauer

*Katedra Elektrotechniki i Energetyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

**Streszczenie.** Kompostowanie jest znane od dawna jako sposób efektywnej i bezpiecznej utylizacji odpadów biologicznych pochodzenia rolniczego. W fazie pierwszej-mezofilnej badanego procesu występuje wysoka aktywność mikroorganizmów, wykorzystujących łatwo-degradowalną materię organiczną – zwłaszcza cukry i aminokwasy. Badania przedstawione w artykule prowadzą do rozpoznania w jaki sposób dynamika napowietrzania kompostowanego materiału wpływa na czas trwania fazy mezofilnej.

**Słowa kluczowe:** kompostowanie, utylizacja odpadów biologicznych, faza mezofilna

### Wstęp

Utylizacja odpadów biologicznych pochodzących z przemysłu rolnego i rolno-spożywczego metodą kompostowania jest dość szeroko znana. Badania nad wybranymi rodzajami odpadów takimi jak np. zużyte podłoże z pieczarkarni [Nizewski i in. 2006], a zwłaszcza nad kompostowaniem osadów ściekowych [Dach i in. 2007] prowadzone są między innymi w Uniwersytecie Rolniczym w Poznaniu.

Kompostowanie jest procesem biotechnologicznym, w którym stała materia organiczna ulega biodegradacji w warunkach tlenowych [Haug 1993]. Głównymi parametrami charakteryzującymi proces kompostowania to parametry środowiska (temperatura, zawartość wilgoci, pH, i dostępność tlenu) i naturalne parametry substratu (stosunek C/N, struktura oraz zawartość składników odżywczych) [Diaz i in. 2002]. W kompostowaniu z napowietrzaniem, materiał organiczny zostaje rozłożony na ditlenek węgla, wodę, mineralną i stabilną organicznie materię poprzez sukcesywną aktywność metaboliczną mikroorganizmów mezofilnych i termofilnych [Metcalf i in. 2003; Sundberg i in. 2004].

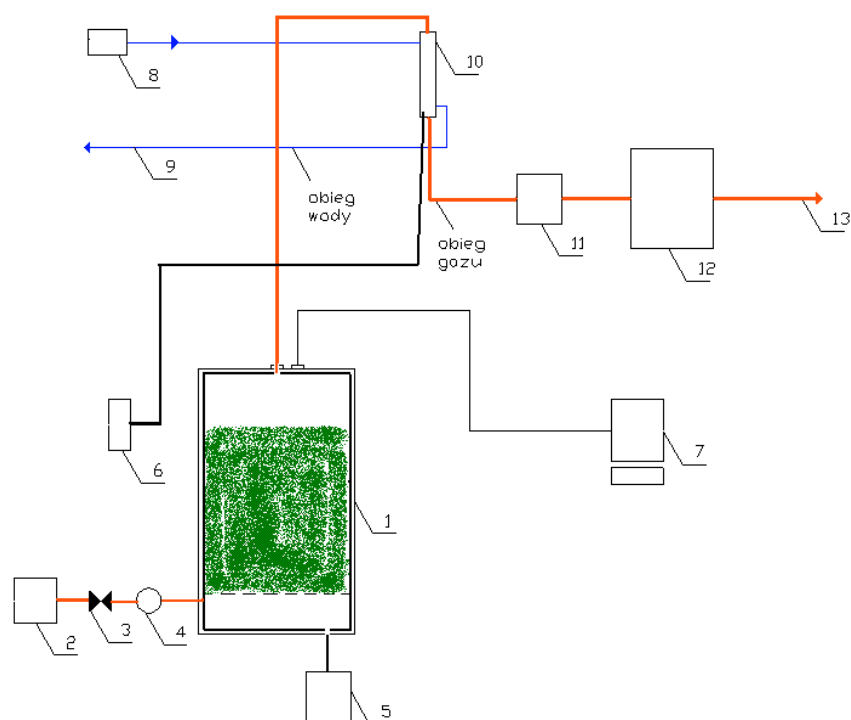
Jednym z problemów takiego sposobu utylizacji jest możliwość wydzielania się metanu w pierwszej – mezofilnej, jak i ostatniej – zimnej fazie procesu kompostowania. Intensywność napowietrzania wiąże się bezpośrednio z ilością dostarczonego tlenu niezbędnego do życia organizmom termofilnym. Odpowiednia ilość tlenu dostarczona w fazie pierwszej, może znacznie ją skrócić, a co za tym skrót przebieg całego procesu kompostowania. Nie bez znaczenia jest tu też energia cieplna dostarczona z powietrzem pozwalająca na skrócenie czasu wytworzenia odpowiednich warunków dla zaktywizowania i życia pożądaných w tym przypadku organizmów termofilnych.

## Cel badań

Celem badań było określenie wpływu napowietrzania na dynamikę pierwszej fazy kompostowania biomasy. Skrócenie pierwszej fazy kompostowania skróci okres kompostowania materiału biologicznego, a co za tym idzie, może mieć wpływ na ekonomikę całego przedsięwzięcia. Ponieważ temperatura jest tradycyjnie używana jako kluczowy parametr do oceny przebiegu procesu kompostowania. Założono, że podstawowym parametrem charakteryzującym dynamikę przebiegu procesu jest temperatura, która pozwoli określić moment zakończenia fazy mezofilnej dla danego eksperymentu. W oparciu o literaturę [Adler 2005; Dincer i in. 2003] koniec fazy mezofilnej następuje po osiągnięciu przez kompostowany materiał 45°C. Taką też granicę przyjęto przy rozpatrywaniu podjętego w artykule problemu.

### Budowa stanowiska pomiarowego

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym, którego koncepcja powstała w 2007 roku [Sołowiej 2008]. Stanowisko zostało zbudowane na Wydziale Nauk Technicznych w Katedrze Elektrotechniki i Energetyki. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiony został na rys. 1. Stanowisko składa się z dwóch identycznych bioreaktorów (1). Bioreaktory zostały wykonane z tworzywa sztucznego o pojemności całkowitej 0,23 m<sup>3</sup> każdy. Bioreaktory zaizolowano warstwą wełny mineralnej o grubości 50 mm oraz folią typu „stretch”. Dodatkowo w miejscu połączenia pokrywy z beczką zastosowano pasy uszczelniające. Napowietrzanie realizowano za pomocą pompy (2) HIBLOW HP-20. Odpowiednią ilość dostarczanego powietrza regulowano za pomocą zaworu (3). Odczytu prędkości przepływającego powietrza dokonywano na przepływomierzu (4) MINI-MASTER DWYER MMA-24 o zakresie pomiarowym 0÷25 l·min<sup>-1</sup>. Zarówno we wnętrzu bioreaktora, jak i poza nim, umieszczone zostały czujniki temperatury podłączone bezpośrednio do komputera (7). Komputer wyposażono w specjalne oprogramowanie, które pozwalało na automatyczną rejestrację wartości temperatur. Dodatkowo w przewodzie wychodzącym bezpośrednio z bioreaktora (w osi pionowej) zamontowano wysokościomierz, za pomocą którego rejestrowano zmiany wysokości masy kompostowej. W skład stanowiska wchodziły również zbiorniki służące do odprowadzenia odcieków (5) oraz skroplin (6) będących produktem procesu kompostowania. W celu schłodzenia gazów emitowanych z bioreaktora w trakcie procesu, zainstalowana została chłodnica (10) zasilana wodą z sieci wodociągowej (8). Do pomiaru składu gazu opuszczającego bioreaktor próbowano adaptować analizator spalin MRU Vario Plus (12) (rys. 1.). Sondę analizatora umieszczano w zbiorniku pomiarowym (11). Jako przewody gazowe oraz do biegu wody zastosowano przewody z PCV o wymiarach 12x2 mm.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego. 1 – bioreaktor, 2 – pompa powietrza, 3 – zawór regulacyjny, 4 – rotametr, 5 – zbiornik na odcieki, 6 – zbiornik na skropliny, 7 – komputer, 8 – źródło wody, 9 – odpływ wody, 10 – chłodnica, 11 – zbiornik pomiarowy, 12 – analizator gazu, 13 – wylot gazu.

Fig. 1. Measurement setup diagram: 1 – bioreactor, 2 – air pump, 3 – control valve, 4 – rotameter, 5 – effluent tank, 6 – condensate tank, 7 – computer, 8 – water source, 9 – water outlet, 10 – cooler, 11 – measurement tank, 12 – gas analyser, 13 – gas outlet

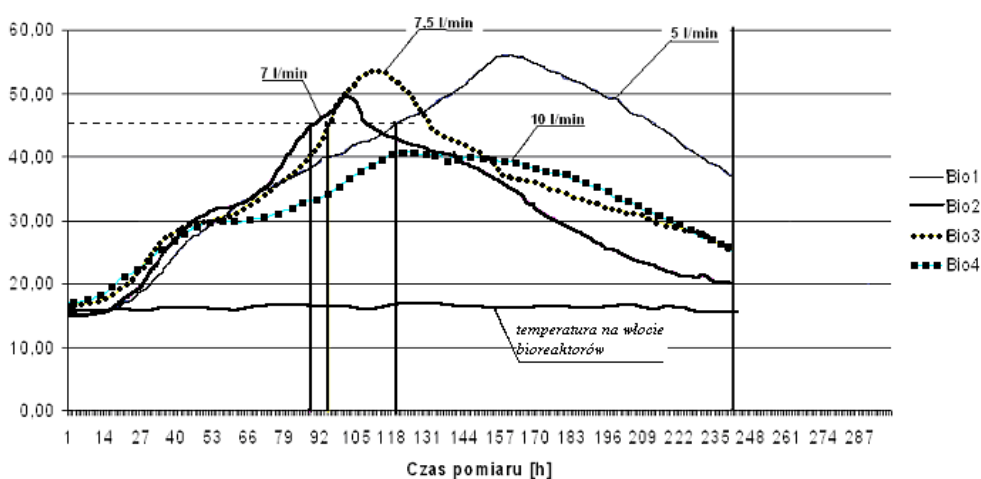
## Przebieg badań

Badania przeprowadzane były w dwóch etapach, po dwa bioreaktory równolegle. Pierwszy etap: bioreaktor nr 1 oraz bioreaktor nr 2, etap drugi: bioreaktor nr 3 i bioreaktor nr 4. Każdy z nich napowietrzano poprzez dostarczenie następujących ilości powietrza:

- bioreaktor nr 1 – 5 [l·min<sup>-1</sup>],
- bioreaktor nr 2 – 7 [l·min<sup>-1</sup>],
- bioreaktor nr 3 – 7,5 [l·min<sup>-1</sup>],
- bioreaktor nr 4 – 10 [l·min<sup>-1</sup>].

Jako materiał do procesu kompostowania posłużyła słoma pszeniczna oraz kapusta (*Brassica L.*). Masa wsadu we wszystkich przypadkach wynosiła tyle samo - 27,5 kg,

w ilościach: słoma – 3,5 kg, kapusta – 24 kg. Przed załadunkiem do bioreaktorów, biomasa została odpowiednio rozdrobniona oraz wymieszana. We wnętrzu bioreaktora został umieszczony czujnik temperatury. Znajdował się on na wierzchniej warstwie masy kompostowanej, tuż przy wylocie gazu z bioreaktora. Drugi czujnik umieszczony został na zewnątrz którego zadaniem był pomiar temperatury w pomieszczeniu (temperatura na wejściu do bioreaktorów wahała się w granicach 17-18,5°C ze względu na umieszczenie laboratorium w nie ogrzewanym piwnicznym pomieszczeniu). Wilgotność wejściowego powietrza wahała się w granicach 50-52% mierzona za pomocą czujnika wilgotności HIH-4000-002 podłączonego do wejść analogowych uniwersalnego modułu pomiarowego USB-4711A z wizualizacją i rejestracją danych zaprogramowaną w środowisku LabView. Pomiary temperatury rejestrowane były co 1 godzinę. Gaz opuszczający bioreaktor, po schłodzeniu w chłodnicy poddawany był analizie. W trakcie badań rejestrowano zawartość następujących składników gazu: tlen ( $O_2$ ) i dwutlenek węgla ( $CO_2$ ). Pomiary prowadzone były przez pierwsze 10 dni trwania procesu.



Rys. 2. Zależność zmian temperatury w funkcji czasu w poszczególnych bioreaktorach  
 Fig. 2. Dependence of temperature changes in function of time in individual bioreactors

## Analiza wyników

Otrzymane wyniki zaprezentowane na wykresie przedstawionym na rysunku 2 wskazują na wyraźną zależność przebiegu pierwszej fazy kompostowania od ilości doprowadzonego powietrza. W przeprowadzonych badaniach najszybciej (w 88 godzinie) temperaturę 45°C (po osiągnięciu której- zgodnie z założeniem - kończy się faza mezofilna procesu kompostowania) osiągnięto na bioreaktorze nr 2, w którym ilość dostarczanego powietrza wynosiła 7 l·min<sup>-1</sup>, następnie w 97 godzinie w bioreaktorze nr 3 (7,5 l·min<sup>-1</sup>) i w 120 godzinie w bioreaktorze nr 1 (5 l·min<sup>-1</sup>). Bioreaktor nr 4 nie uzyskał temperatury 45°C

co było zapewne wynikiem zbyt szybkiego przepływu powietrza ( $10 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Skutkiem czego złoże było wychładzane przepływającym powietrzem. Pomiary zawartości tlenu i ditlenku węgla wspomnianym przyrządem nie dały zadowalających korelacji pomiędzy ich zawartością w gazie wylotowym a temperaturą. Na niepewność wskazała mała wpływ zbyt duża wilgotność analizowanego gazu w porównaniu z możliwościami analizatora.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ intensywności napowietrzania na pierwszą (mezofilną) fazę procesu kompostowania materiału pochodzenia biologicznego co może przyczynić się do znacznego skrócenia tej fazy. Otrzymane wyniki sugerują przeprowadzenie dodatkowych badań w przy napowietrzaniu w zakresie  $6\text{-}8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  w celu wyznaczenia dokładnej wielkości napowietrzania.

Należałoby także zbadać czy wprowadzenie do kompostowanego złoża specjalnie przygotowanego powietrza o kontrolowanych parametrach (temperatura i wilgotność) nie przyniosłoby skrócenia omawianej fazy kompostowania, stwarzając w jak najkrótszym czasie optymalne warunki dla organizmów termofilnych.

Zastosowany analizator nie spełnił pokładanych w nim nadziei. W celu należytej oceny składu gazów opuszczających bioreaktor należy zastosować specjalnie dedykowany dla tego rodzaju pomiarów przyrząd.

## Bibliografia

- Adler P.R.** 2005. Effect of a temporal carbon gradient on nitrogen and phosphorus dynamics and decomposition during mesophilic composting. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 36 pp. 2047-2058.
- Dach J., Niżewski P., Jędrus A., Boniecki P.** 2007. Badania wpływu areacji na dynamikę procesu kompostowania osadów ściekowych w bioreaktorze. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*. Vol52(1). s. 68-72.
- Diaz MJ, Madejon E, Lopez F, Lopez R, Cabrera F.** 2002. Optimization of the rate vnasse/grape marc for co-composting process. *Process Biochemistry* 37. s. 1143-1150.
- Dincer S., Guvenmez H., Colak O.** 2003. Mesophilic composting of food waste and bacterial pathogen reduction. *Ann. Microbiol.* 53. s. 267-274.
- Haug, R.T.** 1993. *The practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Metcalf and Eddy Inc.** 2003. In: *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, fourth ed. McGraw-Hill, New York. pp. 1546-1554.
- Niżewski P., Dach J., Jędrus A.** 2006. Zagospodarowanie zużytego podłoża z pieczarkarni metodą kompostowania. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*. Vol52(1). s. 68-72.
- Solowiej P.** 2008. Koncepcja budowy bioreaktora do kompostowania biomasy – stanowisko badawcze. *Inżynieria Rolnicza* 11(109). s. 227-231.
- Sundberg C., Smars S., Jonsson H.** 2004 Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technol.* 95. s. 145-150.

## THE IMPACT OF BED AERATION ON THE PROGRESS OF FIRST COMPOSTING PROCESS PHASE

**Abstract.** Composting has been known for a long time as a method of efficient and safe disposal of biological wastes of agricultural origin. During the first - mesophilous phase of the examined process the researchers have observed high activity of microorganisms, which use easily degradable organic matter – especially saccharides and amino acids. The research presented in the article allows to identify how composted material aeration dynamics affects mesophilous phase duration.

**Key words:** composting, biological waste disposal, mesophilous phase

**Adres do korespondencji:**

Piotr Sołowiej; e-mail: pit@uwm.edu.pl  
Katedra Elektrotechniki i Energetyki  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
ul. Oczapowskiego 11  
10-736 Olsztyn