

## WPŁYW DODATKÓW I NAPOWIETRZANIA NA DYNAMIKĘ PROCESU KOMPOSTOWANIA

Piotr Sołowiej, Maciej Neugebauer, Janusz Piechocki

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

**Streszczenie.** Dokonano porównania wpływu dodatków i intensywności napowietrzania na dynamikę procesu kompostowania. Materiałem kompostowanym były odpady kapusty głowiastej z dodatkiem słomy pszenicznej. Wykonano cztery doświadczenia dla różnych składów materiału kompostowanego i różnych intensywności napowietrzania. Badania wykazały istnienie wyraźnej zależności pomiędzy składem kompostowanego materiału i napowietrzaniem.

**Słowa kluczowe:** kompostowanie, utylizacja odpadów, odpady biologiczne

### Wprowadzenie

Kompostowanie w złożach napowietrzanych jako metoda utylizacji biologicznych odpadów pochodzenia rolniczego oraz z przemysłu rolno-spożywczego jest dosyć szeroko znana [Błaszczyk 2007; Mecalff and Eddy Inc. 2003]. Napowietrzanie stosuje się celem zapewnienia dobrych warunków środowiskowych mikroorganizmom termofilnym, które zapewniają najszybszy sposób utylizacji materiału biologicznego przy jednoczesnym minimalnym stopniu emisji szkodliwych substancji. Uzyskany w ten sposób produkt, jako doskonały nawóz organiczny może uzupełnić lub zastąpić nawożenie obornikiem [Mazur 2000]. Istnieją też rozwiązania umożliwiające wykorzystanie energii cieplnej powstałej w procesie kompostowania jako niskotemperaturowego źródła ciepła [Sołowiej 2007 a b]. W zależności od składu kompostowanego materiału i przebiegu samego procesu kompostowania, stopień dekompozycji oraz skład produktu wyjściowego może wykazywać znaczne różnice. Dlatego proces ten powinien być prowadzony w sposób, który powinien zapewnić optymalne warunki środowiskowe dla mikroorganizmów biorących aktywny udział w humifikacji i mineralizacji materiału biologicznego [Korner et al. 2003; Pilarski, Pilarska 2009]. Do najważniejszych parametrów charakteryzujących procesy zachodzące w kompostowanym materiale biologicznym możemy zaliczyć: temperaturę, wilgotność, stosunek węgla do azotu (stosunek C/N), poziom pH, stopień napowietrzania oraz strukturę fizyczną materiału organicznego [Mecalff and Eddy Inc. 2003; Huang et al. 2004].

Doskonalenie samego procesu kompostowania polega między innymi na doborze składu (stosowanie różnego rodzaju dodatków organicznych – celem uzyskania odpowiedniego stosunku C/N) oraz regulację napowietrzania pryzmy. Odpowiednie napowietrzanie ma na celu optymalizację procesu pod względem czasu trwania, wydzielania się szkodliwych substancji i otrzymania produktu o zadowalających parametrach. Badania takie prowadzi się w specjalnie do tego celu zaprojektowanych adiabatycznych bioreaktorach [Sołowiej 2008].

Najważniejszym i najbardziej reprezentatywnym parametrem procesu kompostowania jest temperatura, która w niektórych przypadkach może przekroczyć nawet 70°C [Yamada, Kawase 2005]. Tak wysoka temperatura wpływa niekorzystnie na większość mikroorganizmów termofilnych biorących udział w rozkładzie materii organicznej w czasie termofilnej (temperatura powyżej 45°C) fazy kompostowania. Można próbować regulować (w tym przypadku obniżyć) temperaturę w kompostowanym złożu poprzez zwiększenie stopnia napowietrzania lecz nie zawsze może to przynieść pożądane skutki.

Niezmiernie ważnym jest także aby utrzymać odpowiednią wilgotność w kompostowanym materiale. Wilgotność materiału kompostowanego pomiędzy 50% a 70% jest najbardziej odpowiednia dla procesu kompostowania i powinna być utrzymywana przez cały czas trwania aktywności mikroorganizmów. Zbyt intensywne napowietrzanie może doprowadzić do przesuszenia przymy, co może spowodować zmniejszenie aktywności mikroorganizmów, a nawet do zatrzymania całego procesu.

## Cel i zakres badań

Celem badań było wstępne określenie wpływu dodatków i intensywności napowietrzania na dynamikę procesu kompostowania z uwzględnieniem wpływu powyższych czynników na długość trwania fazy termofilnej w wspomnianym procesie. Materiał użyty do badań to liście zewnętrzne kapusty głowiastej (odpad zebrany na targu warzywnym) oraz słoma pszenicy ozimej. Słoma została rozdrobniona na kawałki o średniej długości 10 cm, a kapusta na kawałki o średnicy do 5 cm. Oba składniki zostały dokładnie wymieszane i umieszczone w adyabatycznym bioreaktorze umożliwiającym kontrolowanie wymaganych parametrów. Słoma jako dodatek stanowi doskonale uzupełnienie ilości węgla w kompostowanym materiale (poprawienie stosunku C/N), oraz pozwala stworzyć porowatą strukturę mieszaniny kompostowanej co sprzyja lepszemu napowietrzeniu. Na potrzeby niniejszego opracowania rejestrowane były takie parametry jak: temperatura na wyjściu z bioreaktora, temperatura na zewnątrz bioreaktora. Dokonywano także oględzin powstałego w wyniku doświadczeń kompostu. Budowa bioreaktora i całego stanowiska laboratoryjnego została opisana w już przytaczanym wyżej artykule [Sołowiej 2008]. Przeprowadzono cztery doświadczenia. Proporcje zastosowanych składników oraz stopień napowietrzania przedstawia tabela 1.

Table 1. Primary parameters of particular experiments

Table 1. Podstawowe parametry poszczególnych doświadczeń

Nr doświadczenia	Napowietrzanie [m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]	Ilość kapusty [kg]	Ilość słomy [kg]
1	0,3	24	3,5
2	0,42	24	3,5
3	0,45	23	4,5
4	0,6	23	4,5

Badania prowadzono do momentu wyrównania temperatury powietrza na wyjściu z bioreaktora z temperaturą zewnętrzną.

## **Wyniki badań**

Ze względu na to, iż największa aktywność termofilowych mikroorganizmów zachodzi w temperaturze powyżej 45°C wartość tę przyjęto w tym opracowaniu, jako granicę fazy termofilnej procesu kompostowania w przeprowadzonych doświadczeniach.

### **Doświadczenie nr 1.**

Przebieg temperatur w tym doświadczeniu przedstawiony jest na rysunku nr 1. Czas trwania doświadczenia – 298 h; Granicę 30°C osiągnięto po 55 h; Początek fazy termofilnej 119 godzina doświadczenia; Czas trwania fazy termofilnej – 94 h; Jakość otrzymanego produktu: nieliczne nieprzetworzone części słomy, zapach ziemisty, humusowy.

### **Doświadczenie nr 2.**

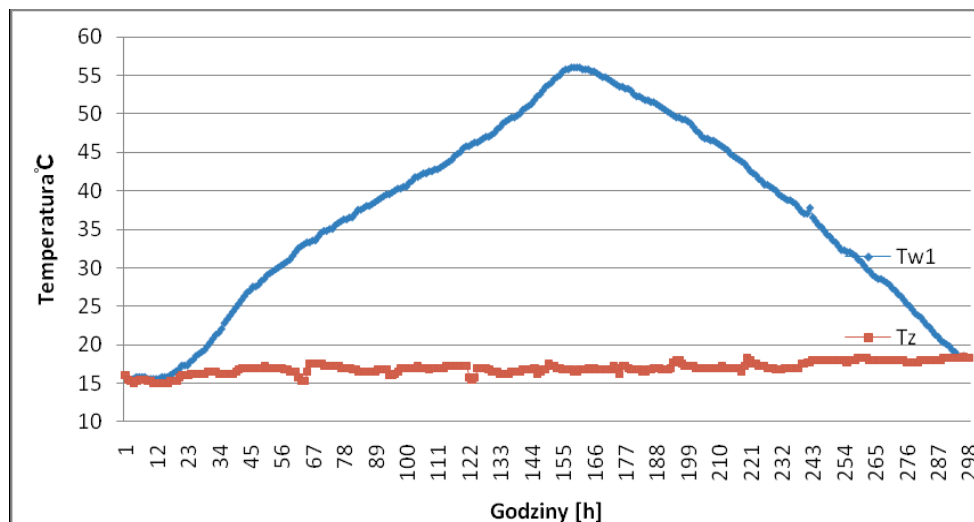
Przebieg temperatur w tym doświadczeniu przedstawiony jest na rysunku nr 2. Czas trwania doświadczenia – 289 h; Granicę 30°C osiągnięto po 47h; Początek fazy termofilnej - 90 godzina doświadczenia; Czas trwania fazy termofilnej – 19 h; Jakość otrzymanego produktu: nieliczne nieprzetworzone części słomy, nieprzetworzone ok. 15% części zielonych.

### **Doświadczenie nr 3.**

Przebieg temperatur w tym doświadczeniu przedstawiony jest na rysunku nr 3. Czas trwania doświadczenia – 284 h; Granicę 30°C osiągnięto po 51h; Początek fazy termofilnej 95 godzina doświadczenia; Czas trwania fazy termofilnej – 36 h. Jakość otrzymanego produktu: nieliczne nieprzetworzone części słomy, nieprzetworzone ok. 10% części zielonych.

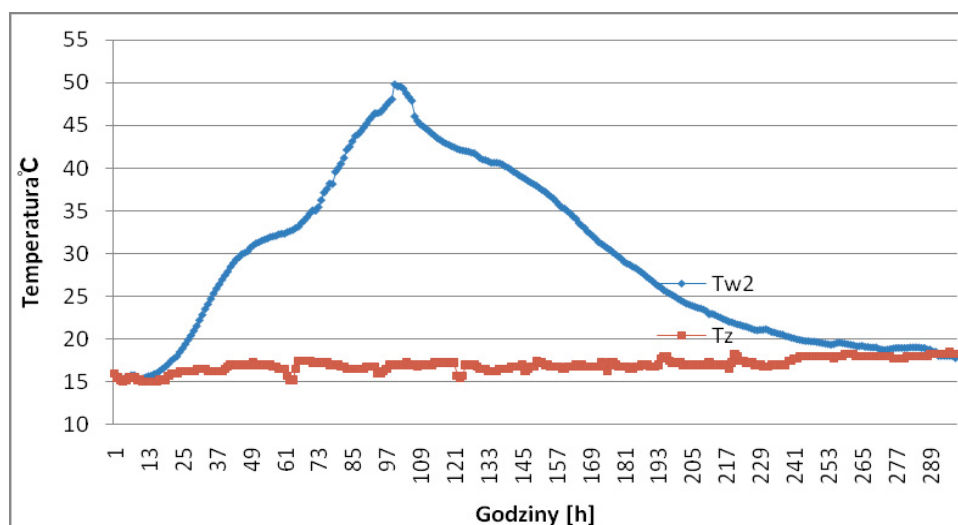
### **Doświadczenie nr 4.**

Przebieg temperatur w tym doświadczeniu przedstawiony jest na rysunku nr 4. Czas trwania doświadczenia – 285 h; Granicę 30°C osiągnięto po 65h; Początek fazy termofilnej – temperatura nie przekroczyła 45°C według założonych kryteriów faza termofilna nie wystąpiła; Czas trwania fazy termofilnej – 0 h. Jakość otrzymanego produktu: nieprzetworzone ok. 30% części słomy, nieprzetworzone ok. 30% części zielonych, materiał przesuszony (wilgotność ok. 40%).



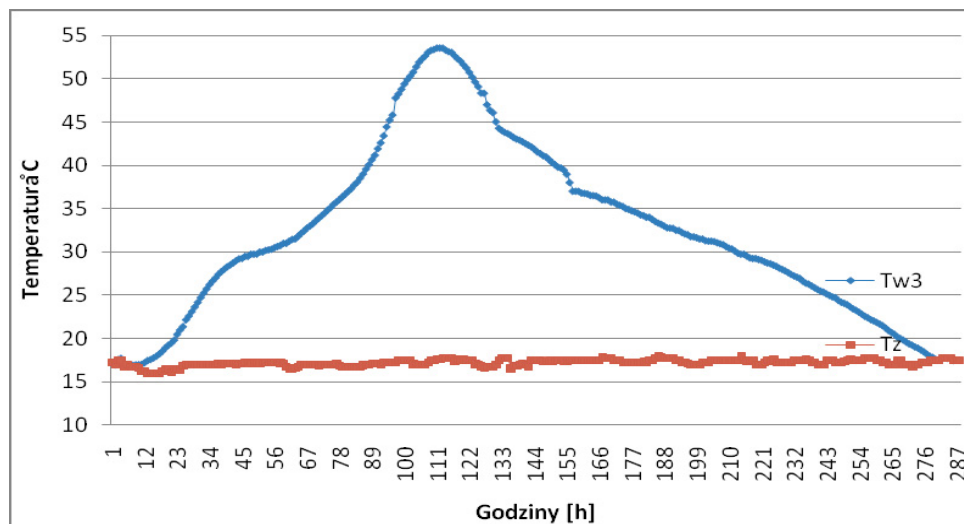
Rys. 1. Wykres temperatur: na wyjściu z bioreaktora ( $T_w$ ) i temperatury na zewnątrz bioreaktora ( $T_z$ ) w doświadczeniu nr 1

Fig. 1. Scope of temperatures: temperature at the exit from the bioreactor ( $T_w$ ) and temperature outside the bioreactor ( $T_z$ ) in the experiment no. 1



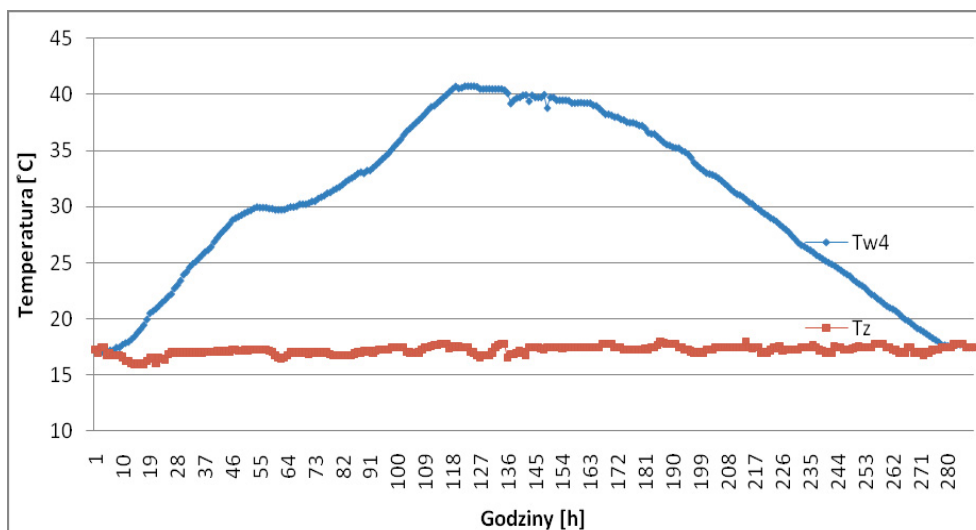
Rys. 2. Wykres temperatur: na wyjściu z bioreaktora ( $T_w$ ) i temperatury na zewnątrz bioreaktora ( $T_z$ ) w doświadczeniu nr 2

Fig. 2. Scope of temperatures: temperature at the exit from the bioreactor ( $T_w$ ) and temperature outside the bioreactor ( $T_z$ ) in the experiment no. 2



Rys. 3. Wykres temperatur: na wyjściu z bioreaktora ( $T_w$ ) i temperatury na zewnątrz bioreaktora ( $T_z$ ) w doświadczeniu nr 3

Fig. 3. Scope of temperatures: temperature at the exit from the bioreactor ( $T_w$ ) and temperature outside the bioreactor ( $T_z$ ) in the experiment no. 3



Rys.4. Wykres temperatur: na wyjściu z bioreaktora ( $T_w$ ) i temperatury na zewnątrz bioreaktora ( $T_z$ ) w doświadczeniu nr 4

Fig. 4. Scope of temperatures: temperature at the exit from the bioreactor ( $T_w$ ) and temperature outside the bioreactor ( $T_z$ ) in the experiment no. 4

## Podsumowanie

Przypadek z doświadczenia nr 4 należy całkowicie wykluczyć spod rozważań gdyż zbyt duża intensywność napowietrzania doprowadziła do obniżenia temperatury i zbyt dużego obniżenia wilgotności, co zaowocowało brakiem fazy termofilnej w przebiegu tego doświadczenia, aczkolwiek ocena powstałego produktu wykazuje wystąpienie nieznacznej aktywności mikroorganizmów termofilnych w badanym złożu.

Przy napowietrzaniu z wydajnością  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (dośw. 1) temperaturę  $30^\circ\text{C}$  osiągnięto po 55 godzinach, a temperaturę maksymalną  $56^\circ\text{C}$  po 158 godzinach, gdy dla tego samego składu, ale zwiększonego napowietrzania (dośw. nr 2) do  $0,42 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  temperaturę  $30^\circ\text{C}$  osiągnięto po 47 godzinach, a temperaturę maksymalną  $50^\circ\text{C}$  po 100 godzinach. Dynamika wzrostu temperatury w drugim przypadku jest znacznie wyższa. Niestety zwiększenie stopnia napowietrzania wpłynęło negatywnie na długość trwania fazy termofilnej, która w pierwszym przypadku trwała 94 godziny, a w drugim tylko 19 godzin, co w znacznym stopniu odbiło się na jakości otrzymanego produktu.

W przypadku dynamiki badanego procesu wynikającej ze składu materiału kompostowanego należy wziąć pod uwagę doświadczenia nr 2 i nr 3. Intensywność napowietrzania jest w obu przypadkach zbliżona (tab. 1) natomiast w oświadczeniu drugim zmieniono proporcje mieszanki na korzyść słomy (poprawiając w ten sposób stosunek C/N). W doświadczeniu nr 2 temperaturę  $30^\circ\text{C}$  osiągnięto po 47 godzinach, a temperaturę maksymalną  $50^\circ\text{C}$  po 100 godzinach, natomiast w doświadczeniu nr 3 temperaturę  $30^\circ\text{C}$  osiągnięto po 51 godzinach, a temperaturę maksymalną  $53,5^\circ\text{C}$  po 111 godzinach. Można więc stwierdzić, że dynamika w drugim przypadku (dośw. 3) jest nieznacznie mniejsza, aczkolwiek należy zwrócić uwagę na dłuższy czas trwania fazy termofilnej, co ma korzystny wpływ na jakość otrzymanego produktu końcowego.

Dynamika przebiegu procesu kompostowania w znacznym stopniu zależy od składu i intensywności napowietrzania złoża.

Przeprowadzone doświadczenia pokazały iż należy dokonać kolejnych badań dla intensywności napowietrzania z zakresu  $0,25\text{-}0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz zwiększoną ilością słomy.

## Bibliografia

- Błaszczak J.K.** 2007. Mikroorganizmy w ochronie środowiska. PWN. Warszawa.
- Huang G.F., Wong J.W.C., Wu Q.T., Nagar B.B.** 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management* 24 pp. 805-813.
- Korner I., Braukmeier J., Herrenklage J., Leikam K., Ritzkowski M., Schlagenmilch M., Stegmann R.** 2003. Investigation and optimization of composting process-test systems and practical examples. *Waste Management* 23. pp. 17-26.
- Mazur T.** 2000. Rolnicza utylizacja stałych odpadów organicznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 472. s. 507-516.
- Metcalf and Eddy Inc.** 2003. Treatment and Reuse, fourth ed. McGraw-Hill. Wastewater Engineering. New York. pp. 1546-1554.
- Sołowiej P.** 2007a. Konceptualizacja zastosowania pryzmy kompostu jako nisko-temperaturowego źródła ciepła w produkcji warzyw. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 6(94). s. 241-247.

- Sołowiej P.** 2007b. Przykład wykorzystania pryzmy kompostu jako niskotemperaturowego źródła ciepła. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(96) s. 247-253.
- Sołowiej P.** 2008. Koncepcja budowy bioreaktora do kompostowania biomasy – stanowisko badawcze. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(109). s. 227-231.
- Pilarski K., Pilarska A.** 2009. Parametry procesu kompostowania. Technika Roln, i Leśna 1. s. 23-24.
- Yamada Y., Kawase Y.** 2006. Aerobic composting of waste activated sludge: Kinetic analysis for microbiological reaction and oxygen consumption. Waste Management 26. pp. 49-61.

## **IMPACT OF ADDITIVES AND AERATION ON THE DYNAMICS OF THE COMPOSTING PROCESS**

**Abstract.** The impact of additives and the intensity of aeration on the dynamics of the composting process were compared. The composted matter consisted of waste head cabbage with wheat straw. Four experiments were performed for various constitutions of composted matter and various intensities of aeration. The tests showed the existence of clear relationship between the constitution of the composted matter and aeration.

**Key words:** composting, recycling of waste, biological waste

**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