

JANUARY BIEŃ, MARCIN MILCZAREK, JOLANTA SOBIK-SZOŁTYSEK, TOMASZ OKWIET

Inżynieria Środowiska  
Politechnika Częstochowska

## OPTYMALIZACJA FAZY TERMOFILOWEJ W PROCESIE WSPÓLKOMPOSTOWANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH I ODPADÓW KOMUNALNYCH\*

**Streszczenie.** W pracy podjęto próbę optymalizacji fazy termofilowej w procesie kompostowania komunalnych osadów ściekowych, osadów z przemysłu mięsnego i organicznej frakcji odpadów komunalnych. Przeprowadzono sześć prób, w których zmiennymi były zawartość i rodzaj osadów ściekowych oraz ilość odpadów zielonych. Analizowano temperaturę procesu, gazy procesowe ( $\text{CO}_2$  i  $\text{O}_2$ ), obecność bakterii *Salmonella* Sp. oraz żywych jaj *Ascaris*, *Trichuris* i *Toxocara* przed i po procesie. Rezultaty potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia, że podstawowym parametrem regulującym wysokość temperatury i czasu jej trwania jest udział wagowy odpadów zielonych. Optymalnym składem mieszanin, zapewniającym odpowiedni stopień higienizacji uzyskanego kompostu jest zastosowanie udziałów wagowych: 20% – osady ściekowe, 40% – odpady zielone, 30% – organiczna frakcja odpadów komunalnych, 10% – materiał strukturotwórczy w postaci trocin.

**Słowa kluczowe:** kompost, osad ściekowy, przemysł mięsny, nawóz organiczny

### Wstęp

Odpady komunalne i osady ściekowe stwarzają zagrożenie dla środowiska ze względu na możliwość skażenia powietrza, wód gruntowych i powierzchniowych mikroorganizmami chorobotwórczymi, dla których stanowią pożywkę. Najczęściej odpady komunalne zawierają ok. 40-50% substancji organicznej, a w osadach ściekowych zawartość ta może wynosić 51-81% w suchej masie (BIEŃ 2007, JĘDRZAK 2007). Obecnie nadal głównym sposobem unieszkodliwiania tych odpadów jest ich składowanie. W sytuacji, gdy ustawa o odpadach wprowadza stopniowe ograniczanie składowania

---

\*Badania zrealizowane w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej w ramach pracy BW 401/201/08.

odpadów zawierających substancję biodegradowalną, np. do końca 2013 roku do poziomu 50% masy wprowadzanej na składowiska w 1995 roku, należy poszukiwać takich technologii, które pozwolą na zmniejszenie zawartości tej substancji w odpadach. Jedną z takich technologii jest kompostowanie, gdzie z udziałem mikroorganizmów zachodzi rozkład substancji organicznych. Kompostowanie zostało uznane w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami (KPGO) za preferowany kierunek postępowania, szczególnie z osadami ściekowymi. Ze względu na wymogi technologiczne, a także znaczne koszty kompostowania samych osadów ściekowych, KPGO zakłada, że kompostownie będą stanowić odrębne instalacje powiązane z oczyszczalniami ścieków i podmiotami wytwarzającymi duże ilości odpadów organicznych.

Do prawidłowego przebiegu kompostowania niezbędne jest zapewnienie odpowiednich parametrów procesu, takich jak: wilgotność 45-60%, pH w przedziale 6,5-7,5, stężenie tlenu w powietrzu porowym  $> 15\%$ . Kompostowanie przebiega najbardziej efektywnie w zakresie temperatur 45-60°C. Poziom temperatury, czas jej trwania oraz ilość dostarczanego powietrza warunkują dostępność szybko rozkładalnych związków organicznych (JĘDRZAK 2007, LIANG i IN. 2003, SIDELKO 2005). Powstający w procesie kompost jest cennym nawozem, który można wykorzystać w przyrodzie. Jednym z wielu czynników warunkujących wykorzystanie kompostów zgodnie z ROZPORZĄDZENIEM Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 roku jest aspekt higienizacji. Głównym czynnikiem decydującym o stopniu higienizacji jest temperatura oraz długość trwania fazy termofilowej. Jest to istotne, gdy do procesu wprowadza się osady ściekowe i odpady komunalne, stwarzające zagrożenie sanitarne z uwagi na możliwość występowania w nich bakterii chorobotwórczych i jaj pasożytów.

W pracy podjęto poszukiwania optymalnych składów mieszanek kompostowych do uzyskania stopnia higienizacji w wymaganym zakresie.

## **Materialy i metody**

Do badań użyto osadów ściekowych z komunalnej oczyszczalni ścieków „Warta” w Częstochowie (Osad I), osady przemysłowe pochodzące z zakładów mięsnych „Aleksandria” (Osad II), organiczną frakcję odpadów komunalnych (OFOK) wydzieloną w Zakładzie Zagospodarowania Odpadów w Sobuczynie k. Częstochowy oraz odpady zielone i materiał strukturotwórczy – trociny. Przeprowadzono sześć doświadczeń, w których udział frakcji organicznej odpadów komunalnych i materiału strukturotwórczego był stały dla każdej z prób i wynosił odpowiednio: 30% i 10%. Pozostałe dodatki dozowano w zmiennych ilościach, przy czym każdorazowo we wsadzie stosowano tylko jeden rodzaj osadów ściekowych. Aby zanalizować wpływ rodzaju zastosowanego osadu ściekowego, przeprowadzono trzy serie doświadczeń dla każdego osadu oddzielnie, zachowując ten sam udział pozostałych dodatków. Przyjęto następujące udziały wagi substratów badań:

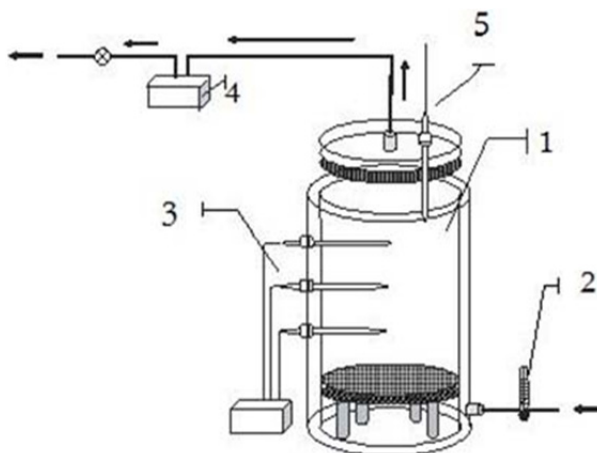
- Próba I – 10% osad I, 50% odpady zielone, 30% OFOK, 10% trociny,
- Próba II – 20% osad I, 40% odpady zielone, 30% OFOK, 10% trociny,
- Próba III – 40% osad I, 20% odpady zielone, 30% OFOK, 10% trociny,
- Próba IV – 10% osad II, 50% odpady zielone, 30% OFOK, 10% trociny,

- Próba V – 20% osad II, 40% odpady zielone, 30% OFOK, 10% trociny,
- Próba VI – 40% osad II, 20% odpady zielone, 30% OFOK, 10% trociny.

Badania prowadzono w bioreaktorze o pojemności 45 dm<sup>3</sup> wyposażonym w system monitoringu temperatury, gazów procesowych oraz pompę ssąco-tłoczącą o wydajności 60 dm<sup>3</sup>/h dla utrzymania odpowiedniego stopnia napowietrzania.

Rysunek 1 przedstawia schemat stanowiska doświadczalnego. Proces kompostowania prowadzono przez 30 dni, monitorując w sposób ciągły temperaturę oraz stężenie CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub>. Aby ocenić stopień higienizacji, przeprowadzono następujące badania mikrobiologiczne zarówno substratów, jak i produktów procesu:

- *Salmonella Sp.* zgodnie z normą PN-EN ISO 6579:2002,
- występowanie i liczebność bakterii termofilowych metodą płytkową Kocha,
- liczbę żywych jaj *Ascaris*, *Trichuris* i *Toxocara* zgodnie z normą PN-Z-19000-4:2001.



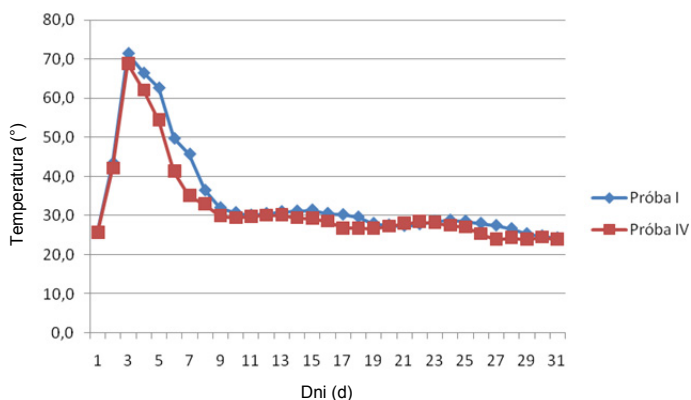
Rys. 1. Model bioreaktora do kompostowania wraz ze sprzętem pozwalającym na monitoring procesu (projekt K. Malińska): 1 – izolowana komora stabilizacji, 2 – zawór regulujący przepływ powietrza, 3 – czujniki temperatury, 4 – system usuwania wilgoci, 5 – miernik przepływu gazu

Fig. 1. Model of bioreactor for composting and the associated monitoring and process control equipment (project K. Malinska): 1 – insulated stabilisation chamber, 2 – regulating valve of the aeration intensity, 3 – temperature sensors, 4 – moisture removal system, 5 – gas flow meter

Rezultaty badań mikrobiologicznych porównano z wymaganiami dla nawozów organicznych wymienionymi w ROZPORZĄDZENIU Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 roku.

## Wyniki i dyskusja

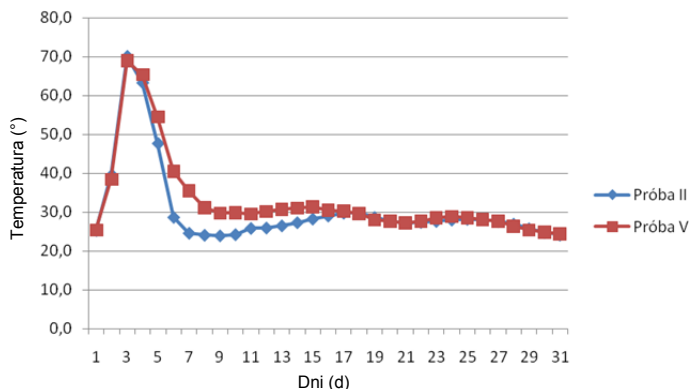
Jak wykazały wcześniejsze, wstępne badania prowadzone przez autorów, zmienny udział odpadów zielonych ma znaczny wpływ na poziom uzyskanej temperatury w fazie termofilowej. Dla ułatwienia analizy wpływu zastosowanego rodzaju osadu ściekowego na rysunkach 2-4 przedstawiono zakres temperatur uzyskanych w trakcie prowadzenia procesu przy założonym, zmiennym udziale odpadów zielonych. Uzyskane rezultaty potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia, że podstawowym parametrem regulującym wysokość temperatury jest udział wagowy odpadów zielonych. Przy ich 20% udziale maksymalną temperaturę uzyskano na poziomie 60,1°C. W analizowanej próbce czas trwania wymaganego dla higienizacji zakresu temperatury, tj. 55-60°C (JĘDRZAK 2007), utrzymywał się przez dwa dni. Maksymalne temperatury (71,4°C) uzyskano w doświadczeniach z 50% udziałem odpadów zielonych, przy jednoczesnym najdłuższym z zarejestrowanych czasem trwania tej fazy wynoszącym 4 doby. Rodzaj osadów zastosowanych w próbach nie wpłynął znacząco na wysokość temperatury i długość trwania warunków minimalnych dla higienizacji. Jedynie w próbce z 20% udziałem osadów ściekowych II uzyskane maksimum temperatury było o 3,2°C niższe od próby z takim samym udziałem osadów ściekowych I. Zaobserwowana zależność potwierdza fakt, że proces kompostowania jest bardziej efektywny, gdy stosuje się większą zawartość substancji organicznych w substratach.



Rys. 2. Przebieg zmian temperatury podczas kompostowania próby nr I i IV

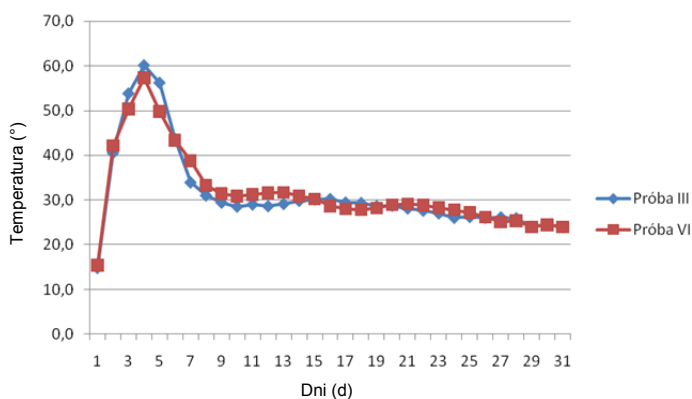
Fig. 2. Course of temperature changes during the composting process, the composting mixture No. I and IV

Obserwowana w doświadczeniach zależność między zawartością tlenu, a zawartością dwutlenku węgla wynika z aktywności mikrobiologicznej bakterii, które rozkładając materię organiczną przyczyniają się do strat węgla uwalnianego w postaci CO<sub>2</sub> (rys. 5-6). Monitoring gazów procesowych pozwolił na ocenę tej aktywności. Największa emisja CO<sub>2</sub> nastąpiła w czasie utrzymywania się wysokiej temperatury, gdy w procesie biodegradacji brały udział głównie bakterie termofilowe. W tabeli 1 zestawiono



Rys. 3. Przebieg zmian temperatury podczas kompostowania próby nr II i V

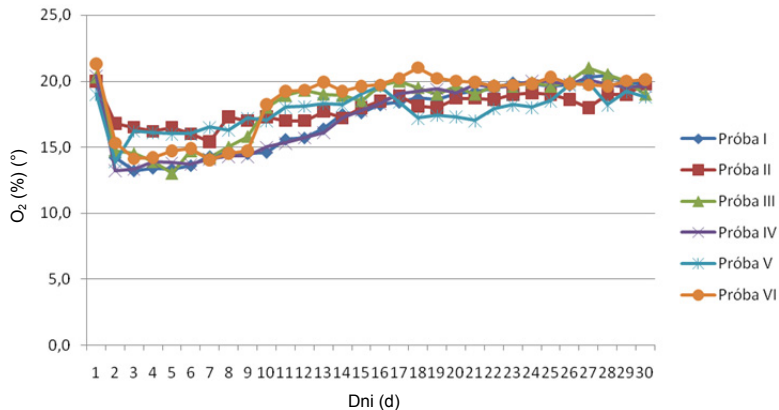
Fig. 3. Course of temperature changes during the composting process, the composting mixture No. II and V



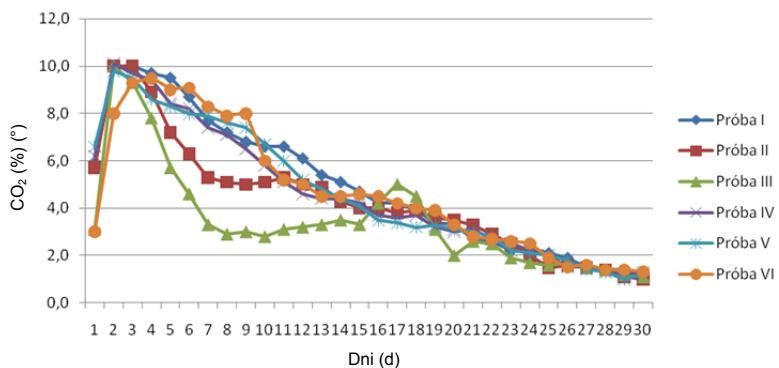
Rys. 4. Przebieg zmian temperatury podczas kompostowania próby nr III i VI

Fig. 4. Course of temperature changes during the composting process, the composting mixture No. III and VI

wyniki analiz mikrobiologicznych, które potwierdziły obecność pasożytów *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. i *Toxocara* sp. oraz bakterii *Salmonella* sp. w mieszankach poddawanych kompostowaniu. Największą ilość jaj stwierdzono w próbach z 40% udziałem osadów ściekowych, a spośród wszystkich prób najwięcej jaj wykryto w mieszaninach sporządzonych z dodatkiem osadów II. Wynika to z tego, że osady ściekowe z przemysłu mięsnego zawierają dużą ilość łatwo rozkładalnej substancji organicznej, która może być pożywką do rozwoju pasożytów. Zaobserwowano wyraźny wpływ uzyskanej temperatury i długości trwania fazy termofilowej na poziom higienizacji, ponieważ w uzyskanych kompostach I'-IV' nie stwierdzono obecności zagrożenia mikrobiologicznego.



Rys. 5. Zmiany zawartości O<sub>2</sub> podczas kompostowania prób nr I-VI  
Fig. 5. Changes in O<sub>2</sub> content during composting trials No. I-VI



Rys. 6. Zmiany zawartości CO<sub>2</sub> podczas kompostowania prób nr I-VI  
Fig. 6. Changes in CO<sub>2</sub> content during composting trials No. I-VI

Tylko w kompostach V i VI wykryto jaja pasożytów, jednak ich ilość uległa odpowiednio dwu- i czterokrotnemu zmniejszeniu w stosunku do ilości początkowej. Największe zmiany ilościowe bakterii termofilowych stwierdzono w próbach z 50% udziałem odpadów zielonych, gdzie czas trwania fazy termofilowej i poziom temperatury były największe, co potwierdza intensyfikację tej fazy.

## Wnioski

Wstępne wyniki badań potwierdziły możliwość regulacji parametrów fazy termofilowej dzięki modyfikacji składu mieszanek kompostowych do uzyskania optymalnych warunków gwarantujących wymagany stopień higienizacji. Analizując wartości uzyskanej temperatury oraz czas trwania fazy termofilowej, nie stwierdzono wpływu rodzaju

Tabela 1. Wyniki analiz mikrobiologicznych  
Table 1. The results of microbiological analysis

Próba	Oznaczenie mikrobiologiczne		
	<i>Salmonella</i> sp.	bakterie termofilowe – ilość żywych bakterii w 1 ml próbki	żywe jaja <i>Ascaris</i> sp., <i>Tichuris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp. [liczba jaj/kg s.m.]
I	Obecne	19·10 <sup>4</sup>	137
I'	Nie wykryto	7·10 <sup>4</sup>	nie wykryto
II	Obecne	8·10 <sup>4</sup>	200
II'	Nie wykryto	5·10 <sup>4</sup>	nie wykryto
III	Obecne	11·10 <sup>4</sup>	256
III'	Nie wykryto	6·10 <sup>4</sup>	nie wykryto
IV	Obecne	9·10 <sup>4</sup>	154
IV'	Nie wykryto	4·10 <sup>4</sup>	nie wykryto
V	Obecne	10·10 <sup>4</sup>	197
V'	Nie wykryto	7·10 <sup>4</sup>	91
VI	Obecne	17·10 <sup>4</sup>	311
VI'	Nie wykryto	8·10 <sup>4</sup>	84

Oznaczenie „'” zastosowano dla uzyskanego kompostu z danej próby.

zastosowanych osadów ściekowych na te parametry. Czynnikiem decydującym o wydłużeniu czasu jej trwania i uzyskanym maksymalnym poziomie temperatury był dodatek odpadów zielonych. Z badań wynika, że optymalnym składem mieszanin kompostowych jest zastosowanie udziałów wagowych: 20% – osady ściekowe, 40% – odpady zielone, 30% – organiczna frakcja odpadów komunalnych, 10% – materiał strukturotwórczy. Wynika to z tego, że parametry fazy termofilowej dla tego składu były podobne jak w większym udziale odpadów zielonych, nie jest więc uzasadnione stosowanie wyższych dawek tych odpadów, gdyż ich dostępność jest sezonowa. Badania wykazały, że przy większej dawce osadów ściekowych uzyskane w procesie parametry fazy termofilowej były niewystarczające dla pełnej higienizacji, chociaż nastąpiła znaczna redukcja ilości jaj pasożytów, co dyskwalifikuje takie komposty do wykorzystania przyrodniczego (ROZPORZĄDZENIE Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 roku). Należy zatem nadal optymalizować fazę termofilową tak, aby z materiału o dużym zagrożeniu sanitarnym uzyskać komposty bezpieczne pod względem mikrobiologicznym.

## Literatura

- BIEŃ J.B., 2007. Osady ściekowe. Teoria i praktyka. Wyd. PCz, Częstochowa.  
DYREKTYWA RADY EUROPY w sprawie składowania odpadów, 99/31/WE. Dz. U. L 182, 16.07.1999.  
JĘDRZAK A., 2007. Biologiczne przetwarzanie odpadów. PWN, Warszawa.

Bień J., Milczarek M., Sobik-Szołtysek J., Okwiet T., 2011. Optymalizacja fazy termofilowej w procesie współkompostowania osadów ściekowych i odpadów komunalnych. *Nauka Przym. Technol.* 5, 4, #33.

---

LIANG C., DAS K.C., MCLENDON R.W., 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technol.* 86: 131-137.

ROZPORZĄDZENIE Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2001 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. 2001. Dz. U. 60, poz. 615.

SIDELKO R., 2005. Kompostowanie – optymalizacja procesu i prognoza jakości produktu. Wyd. PKosz, Koszalin.

USTAWA o odpadach z dnia 27 kwietnia 2007 roku. 2010. Tekst jednolity Dz. U. 185, poz. 1243.

## OPTIMIZATION OF THE THERMOPHILIC PHASE IN THE PROCESS OF CO – COMPOSTING SEWAGE SLUDGE AND MUNICIPAL WASTE

**Summary.** This paper attempts to optimise the thermophilic phase in composting process of municipal sewage sludge, sludge from meat industry and the organic fraction of municipal solid waste. Six trials were conducted in which variables were the content and type of sewage sludge and green waste. We analysed the process temperature, process gases (CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>) and the presence of Salmonella Sp. and live eggs of Ascaris, Trichuris and Toxocara before and after the process. The obtained results confirmed earlier observations that the main parameter governing the amount of temperature and its duration is the weight of green waste. Optimal composition of mixtures, providing an appropriate level of hygienization to obtain compost is the use of proportion by weight: 20% – sewage sludge, 40% – green waste, 30% – the organic fraction of municipal waste, 10% – sawdust.

**Key words:** compost, sewage sludge, meat industry, organic fertilizer

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Marcin Milczarek, Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60 a, 42-200 Częstochowa, Poland, e-mail: mmilczarek@is.pczest.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*11.05.2011*

*Do cytowania – For citation:*

*Bień J., Milczarek M., Sobik-Szołtysek J., Okwiet T., 2011. Optymalizacja fazy termofilowej w procesie współkompostowania osadów ściekowych i odpadów komunalnych. *Nauka Przym. Technol.* 5, 4, #33.*