

**JANUARY BIEŃ, TOMASZ OKWIET, MONIKA GAŁWA-  
WIDERA, MAŁGORZATA WORWAĞ, MARCIN MILCZAREK\***

**WSPOMAGANIE PROCESU KOMPOSTOWANIA  
KONDYCYJONOWANYMI ODCIEKAMI KOMPOSTOWYMI**

*Streszczenie*

*W pracy podjęto próbę kompostowania osadów ściekowych w mieszankach z materiałem strukturotwórczym i odpadami zielonymi. Proces prowadzono w czterech próbach w tym jedną kontrolną ze wspomaganiami, dodając kondycjonowane odcieki kompostowe. Odcieki kondycjonowano polem ultradźwiękowym o częstotliwości 22 kHz oraz amplitudzie 12  $\mu$ m przy czasie 5 oraz 15 sek. Mieszanki kompostowe były zaszczipiane w 7 dobie procesu. Wyniki badań wskazują, że zaszczipianie wsadu kompostowego kondycjonowanymi odciekami kompostowymi wydłuża fazę właściwą rozkładu biomasy. Produkt końcowy cechuje się dobrymi właściwościami fizyko-chemicznymi i może być wykorzystany w celach przyrodniczych.*

**Słowa kluczowe:** kompostowanie, osady ściekowe, biomasa

**WSTĘP**

Proces kompostowania należy do grupy tlenowych procesów biologicznych wykorzystywanych do stabilizacji osadów ściekowych, jest to proces recyklingu organicznego (R3), którego głównym celem jest wytworzenie kompostu – produktu, który nie będzie już odpadem, jeżeli spełniać będzie kryteria jakościowe dla nawozów organicznych lub środków wspomagających uprawę roślin. Produkty procesów biologicznych, które nie spełniają kryteriów jakościowych dla nawozów organicznych lub środków wspomagających uprawę roślin są klasyfikowane jako odpady [Bień 2007].

Odpady przeznaczone do biologicznego przetwarzania powinny spełniać określone wymagania pod względem składu chemicznego i właściwości fizycz-

---

\* Instytut Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej

nych. Jeśli poszczególne rodzaje odpadów spełniają tylko niektóre z tych wymagań, możliwe jest mieszanie ze sobą różnych odpadów dla uzyskania optymalnego składu przetwarzanej mieszanki oraz uzyskania materiału o odpowiedniej jakości [Bień i in. 1999] Mieszanie ze sobą różnych rodzajów odpadów w celu poprawy warunków prowadzenia procesów biologicznych spełnia wymagania ustawy o odpadach. Podstawowe parametry jakościowe odpadów do przetwarzania biologicznego to:

- zawartość substancji organicznej – min. 60 % s.m. w procesach kompostowania jeśli głównym celem procesu jest wytworzenie nawozów organicznych, zawierających substancję organiczną w ilości ponad 30 % s.m.;
- min. 40% s.m., gdy celem przetwarzania jest wytworzenie środków wspomagających uprawę roślin lub biologiczne unieszkodliwianie odpadów;
- wilgotność – uwodnienie odpadów musi zostać doprowadzone do poziomu optymalnego dla stosowanej technologii przetwarzania (45-60% dla procesów tlenowych - maks. 70%);
- zawartość składników biogennych – NPK: generalnie ze względu na przebieg procesów biologicznych konieczne jest zachowanie we wszystkich mieszankach odpadów do biologicznego przetwarzania odpowiednich proporcji węgla organicznego do azotu i fosforu, stąd jako zalecane przyjmuje się wartości C/N ok. 25-35 oraz C/P ok. 100. W przypadku odpadów przeznaczonych do wytworzenia nawozów organicznych, minimalne zawartości azotu w przetwarzanej mieszance nie powinny być mniejsze od 0,3% s.m. (uwzględniając ubytek azotu podczas procesu, zażęzanie azotu w produkcji oraz wymaganą minimalną zawartość w nawozie 0,3 % s.m.). Zawartości fosforu nie powinny być mniejsze od 0,2% s.m. jako  $P_2O_5$  (gwarancja zachowania w nawozie minimalnej ilości 0,2% s.m. jako  $P_2O_5$ ), a zawartości potasu nie mniejsze niż 0,2% s.m. jako  $K_2O$  (gwarancja zachowania w nawozie minimalnej zawartości  $K_2O$  – 0,2% s.m.);
- zawartość metali ciężkich – ograniczenie stanowią dopuszczalne zawartości metali w nawozach organicznych i środkach wspomagających uprawę roślin, przy czym należy tu również uwzględnić 1,5-2 krotne zażęzanie metali w produkcji w stosunku do ich zawartości w mieszance przetwarzanych odpadów (tabela 1) [Sidelko 2005, Jastrzębska i in. 2000].

*Tab. 1. Maksymalne stężenia metali w mieszaninie odpadów do biologicznego przetwarzania oraz dopuszczalne zawartości metali w nawozach i środkach wspomagających*

*Tab.1. Maximum metal concentration in the mixture of waste for biological treatment and limit the content of metals in fertilizers and means of supporting*

Metal	Jednostka	Zawartości metali ciężkich, mg/kg s.m.	
		Maksymalne zalecane w odpadach przed biologicznym przetwarzaniem	Dopuszczalne w nawozie organicznym lub środku wspomagającym uprawę roślin*
Nikiel, Ni	mg/kg s.m.	≤ 40	≤ 60
Chrom, Cr	mg/kg s.m.	≤ 65	≤ 100
Cynk, Zn	mg/kg s.m.	-	-
Miedź, Cu	mg/kg s.m.	-	-
Ołów, Pb	mg/kg s.m.	≤ 90	≤ 140
Kadm, Cd	mg/kg s.m.	≤ 3	≤ 5
Rtęć	mg/kg s.m.	≤ 1	≤ 2

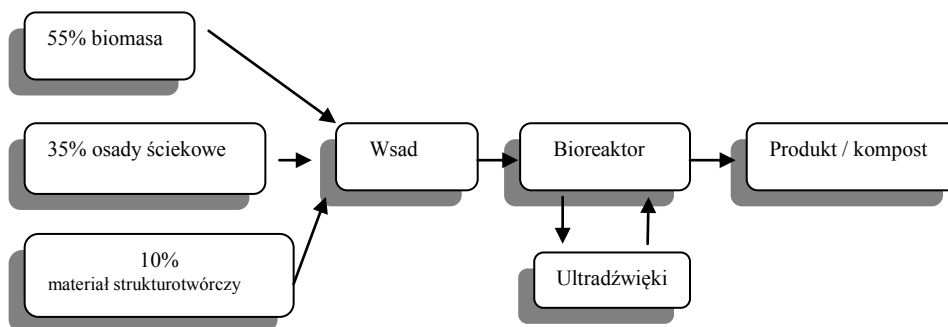
\* zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu

## CEL BADAŃ

Celem badań była analiza możliwości zastosowania procesu kompostowania dla mieszanki składającej się z 55% biomasy, 35% osadów ściekowych i 10% materiału strukturotwórczego. Modyfikacja procesu kompostowania polegała na zaszczipianiu wsadu kompostowego kondycjonowanymi odciekami z procesu kompostowania. Dezintegrację odcieków prowadzono przy wykorzystaniu ultradźwięków. Celem było również określenie wpływu dezintegrowanych odcieków na jakość otrzymywanego kompostu.

## PRZEBIEG BADAŃ

Serie badań prowadzono zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1. Proces kompostowania prowadzono w bioreaktorze (rys. 2), w którym można prowadzić proces w zakresie temperatur od 5°C do 85°C. Zestaw badawczy składał się z izolowanego bioreaktora ze stali nierdzewnej o pojemności 45 l, systemu czujników temperatury, rotametu, pompki napowietrzającej złoża, regulatora natężenia przepływu, oraz stacyjki kontrolnej. Waga wsadu kompostowego wynosiła 15 kg.



*Rys. 1. Schemat procesu kompostowania*  
*Fig. 1. Diagram of the composting process*



*Rys.2. Bioreaktor z systemem kontrolnym*  
*Fig.2. Bioreactor control system*

Badania prowadzono przez 40 dób przy ciągłym pomiarze temperatury oraz wydzielających się w procesie gazów (metan, dwutlenek węgla oraz tlen). Masa kompostowa w bioreaktorze była napowietrzana z intensywnością  $60 \text{ dm}^3/\text{h}$ . Nadźwiękawianie odcieków prowadzono przy użyciu dezintegratora ultradźwiękowego UD-20 w zakresie 22 kHz w czasie 5-10 sec, przy amplitudzie 8-12  $\mu\text{m}$ .

### **Charakterystyka substratów**

W badaniach wykorzystano: osady ściekowe z oczyszczalni ścieków „WARTA” w Częstochowie, biomasę odpadów zielonych (skoszona trawa, liście, chwasty) pochodzącą z zakładu zajmującego się utrzymaniem zieleni miejskiej oraz zrębki drewna jako materiał strukturotwórczy. Wykonano 4 serie badań, oznaczone jako Próba 1, 2, 3 i 4.

W substratach oraz w kompostach wykonano następujące oznaczenia:

- wilgotność –metodą wagową [PN-75/C-04616.01],

- zawartość suchej masy [PN-75/C-04616.01],
- azot ogólny [PN-Z-15011-3],
- fosfor ogólny [PN-Z-15011-3],
- odczyn [PN-Z-15011-3],
- węgiel organiczny [PN-Z-15011-3],
- liczbę mikroorganizmów metodą płytkową na podłożach wzrostowych,
- metale ciężkie [BN-88/9103],
- emisję gazów (przy użyciu analizatora GEM 400).

### WYNIKI BADAŃ

Charakterystykę substratów oraz uzyskane parametry kompostu przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tab. 2. Oznaczenia fizyczno-chemiczne; próba 1 oraz 2

Tab. 2. Physico-chemical marking; attempt 1 and 2

Wskaźnik	Jedn.	Próba 1				
		trawa	osad	zrębki	wsad	kompost
odczyn	pH	-	8,6	-	6,78	7,9
azot Kiejdahla	mg/g	7,6	18,4	11,3	14,9	14,7
fosfor	mg/g	0,9	5,3	0,7	1	0,9
węgiel organiczny	mg/g	448,4	320,3	475,3	305,2	278,5
C/N		-	-	-	20,4	19
s.m.	%	32,9	26,3	82,5	27,4	25,8
s.m. <sub>org</sub>	%	29,2	15,0	75,0	19,5	14,0
wilgotność	%	67,1	73,7	17,5	72,6	74,2
waga	kg	8,25	5,25	1,50		11,70
		Razem : 15,0				
Wskaźnik	Jedn.	Próba 2				
		trawa	osad	zrębki	wsad	kompost
odczyn	pH	-	8,6	-	7,01	7,8
azot Kiejdahla	mg/g	7,6	18,4	11,3	16,2	15,1
fosfor	mg/g	0,9	5,3	0,7	1	0,9
węgiel organiczny	mg/g	454,1	321,6	463,1	320,1	314,1
C/N		-	-	-	19,8	21
s.m.	%	32,9	26,3	82,5	29,9	29,0
s.m. <sub>org</sub>	%	29,2	15,0	75,0	18,3	14,3
wilgotność	%	67,1	73,7	17,5	70,1	71,0
waga	kg	8,25	5,25	1,50		11,44
		Razem : 15,0				+0,25

				odciek
--	--	--	--	--------

W wyniku rozkładu substancji organicznych następują zmiany C i N czego widocznym skutkiem jest zmiana stosunku C:N. W czasie trwania kompostowania, dwutlenek węgla jest emitowany jako metaboliczny produkt końcowy, dlatego całkowita zawartość węgla w masie kompostowej spada w miarę trwania procesu. We wszystkich próbach zaobserwowano spadek ilości materii organicznej, oraz wilgotność na poziomie 70% co jest efektem biomasy w postaci świeżo skoszonej trawy. Podczas procesu temperatura była na bieżąco monitorowana przez system czujników.

Tab. 3. Oznaczenia fizyczno-chemiczne; Próba 3 oraz 4

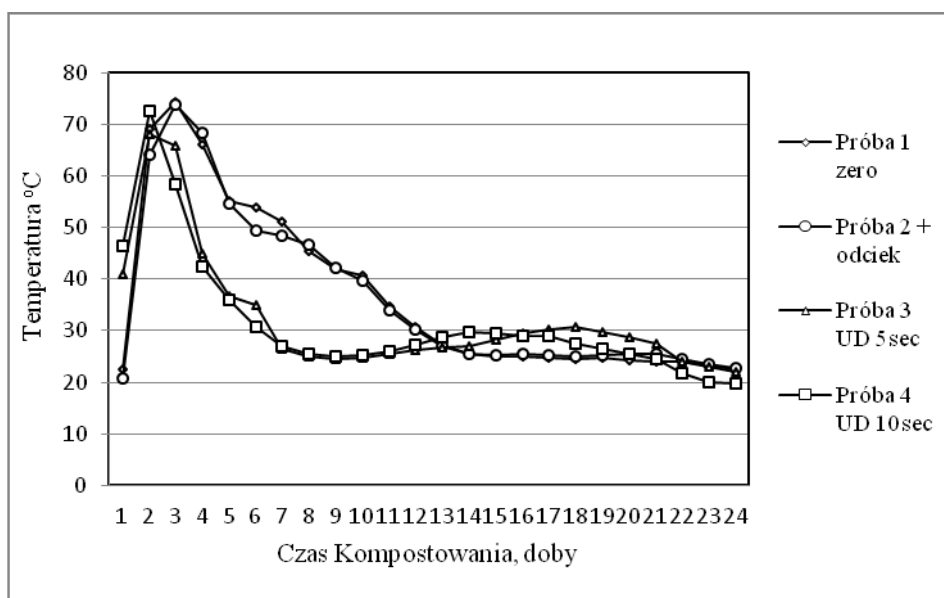
Tab. 3 Physico-chemical marking; attempt 3 and 4

Wskaźnik	Jedn.	Próba 3				
		trawa	osad	zrębki	wsad	kompost
odczyn	pH	-	8,8	-	7,1	8,1
Azot Kiejdahla	mg/g	11,5	16,2	3,9	15,8	15,3
fosfor	mg/g	0,9	6,8	0,6	1	0,9
Węgiel organiczny	mg/g	310,4	331,9	473,8	312,8	293,1
C/N		-	-	-	19,8	19,2
s.m.	%	32,9	26,3	82,5	24,5	21,9
s.m.org	%	29,2	15,0	75,0	15,2	11,3
wilgotność	%	67,1	73,7	17,5	75,5	78,1
waga	kg	8,25	5,25	1,50		12,1
		Razem 15,0				+0,25
		odciek				
Wskaźnik	Jedn.	Próba 4				
		trawa	osad	zrębki	wsad	kompost
odczyn	pH	-	8,8	-	6,9	7,6
Azot Kiejdahla	mg/g	11,5	16,2	3,9	14,1	13,0
fosfor	mg/g	0,9	6,8	0,6	1	0,9
Węgiel organiczny	mg/g	310,4	322,6	487,5	324,6	314,2
C/N		-	-	-	23,1	24,1
s.m.	%	32,9	26,3	82,5	27,9	23,6
s.m.org	%	29,2	15,0	75,0	15,6	12,1
wilgotność	%	67,1	73,7	17,5	72,1	76,4
waga	kg	8,25	5,25	1,50		11,9
		Razem 15,0				+0,25
		odciek				

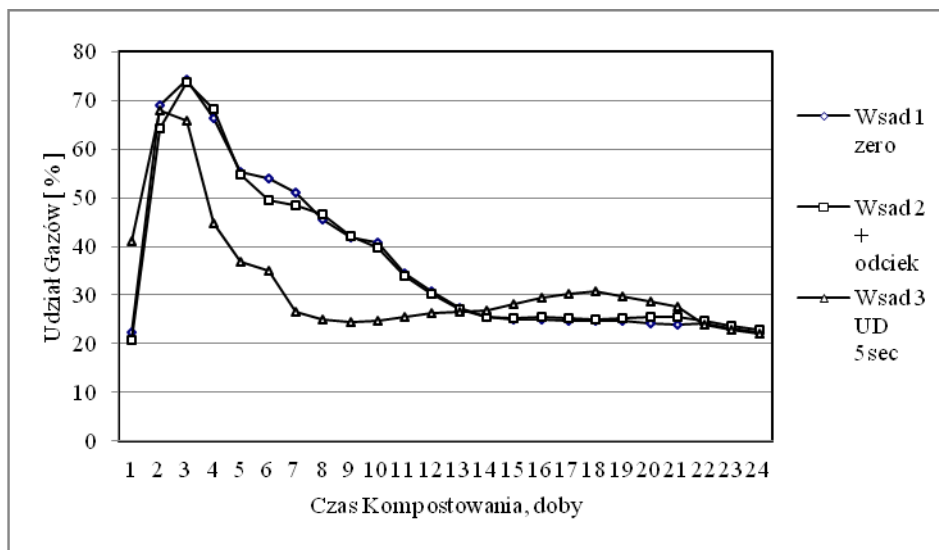
Zmiany temperatury pozwoliły na określenie przejścia charakterystycznych faz. Faza pierwsza zaczyna się od temperatury początkowej 20°C (mezofilna) by w kolejnych dniach rosła gwałtownie aż do osiągnięcia temperatury 77°C w 3-4 dniu procesu (termofilna). Po tym czasie można zaobserwować wyraźny spadek temperatury do fazy schładzania, przebiegającej przez okres do 10 dni, aż do osiągnięcia temperatury ok. 30°C.

W 7 dniu procesu do próby 3,4 zostały dodane kondycjonowane polem ultradźwiękowym odcieki kompostowe, po kolejnych 2 dniach można zaobserwować minimalny wzrost temperatury od 5-8°C. Po tym okresie następowała zmiana temperatury procesu do ok. 24°C – zwana także fazą zimną (rys. 3).

Analiza gazów procesowych wykazała, że w trakcie procesu nastąpił wzrost stężenia tlenu, przy spadku stężenia dwutlenku węgla, co było spowodowane aktywnością mikrobiologiczną. Na podstawie tych pomiarów zaobserwowano konsumpcji tlenu przez mikroorganizmy, jak również efekty zaszczepienia mieszaniny odciekami w poszczególnych dobach procesu.



Rys.3. Rozkład temperatury procesu kompostowania Próba od 1-4  
Fig. 3. The temperature distribution of the composting process attempt of 1-4



Rys. 4. Emisja gazów pobranych z bioreaktora Próby 3  
 Fig. 4. Greenhouse gas taken from the bioreactor attempt 3

## DYSKUSJA WYNIKÓW I PODSUMOWANIE

Prowadzony proces kompostowania pozwala na przetwarzanie osadów ściekowych wraz z odpadami zielonymi w kompost, który może stanowić nawóz organiczny. Może on być wykorzystany do celów rekultywacyjnych. Jakość kompostu zależy od materiału wejściowego, który w tym przypadku stanowi mieszanina osadów ściekowych, traw i zrębek drewnianych.

Stwierdzono, że nadźwiękawianie odcieków w czasie 10 sekund, a następnie dodanie go do procesu wpływa w sposób zdecydowany na przebieg procesu. Przedstawione badania wykazują zmiany po wprowadzeniu kondycjonowanych odcieków do masy kompostowej.

Analiza prób 1 i 2 (osady ściekowe, zrębki drewniane oraz trawę zebraną w miesiącach maj/czerwiec), a także 3 i 4 (osady ściekowe, zrębki drewniane oraz trawę zebraną w miesiącach wrzesień/październik) wskazuje, że jakość trawy ma istotny wpływ na przebieg poszczególnych faz kompostowania.

Przeprowadzone badania wykazały, że w niskich amplitudach pola ultradźwiękowego (12  $\mu\text{m}$ ) i niskim czasie nadźwiękawiania (5-10 sek), następuje wyraźny wzrost liczby mikroorganizmów odpowiadających za rozkład frakcji organicznej. W próbie 2, gdzie zostały dodane odcieki bez nadźwiękawiania, można stwierdzić, że wysoka temperatura fazy intensywnego kompostowania, utrzymywała się przez dłuższy okres a następnie powoli spadała, w porównaniu



do zerowej próby bez dodawania odcieku. W próbach 3-4 wilgotność biomasy była znacznie niższa niż w próbach 1-2, miało to duży wpływ na temperaturę. Odzwierciedleniem tego jest krótszy czas fazy intensywnego kompostowania.

Zwiększona liczba mikroorganizmów takich jak bakterie mezofile i termofilne, przy nadźwierkaniu odcieku kompostowego w 7 dniu (próba 3-4) w niezbyt dużym stopniu podnosi temperaturę masy kompostowej, a jednocześnie rozkład biomasy. Można stwierdzić, że w próbie 3, w którym czas nadźwierkowania wynosił 5 sekund, w minimalnym stopniu wydłuża się czas wyższej temperatury w stosunku do próby 4, co można zaobserwować na (rys. 3).

### WNIOSKI KOŃCOWE

- W procesie kompostowania dobór wskaźników takich jak zawartość substancji organicznych, odczynu i wilgotności należą do bardzo ważnych, rzutujących na jego przebieg.
- Odpowiednia jakość kompostowanej biomasy ma wpływ na przebieg poszczególnych faz kompostowania.
- Dokładne wymieszanie substratów umożliwia maksymalny przepływ powietrza przez całą mieszaninę kompostową oraz zapobiega tworzeniu się martwych stref.
- Zaszczepianie wsadu kompostowego kondycjonowanymi odciekami kompostowymi wydłuża fazę właściwą rozkładu biomasy.
- Tworzenie produktu ostatecznego tzn. humusu uzależnione jest od udziału takich mikroorganizmów jak bakterie mezofilne i termofilne a także promieniowców i grzybów.
- Nadźwierkowanie w czasie 5-10 sekund i amplitudzie 12  $\mu\text{m}$  korzystnie wpływa na przebieg procesu i wyraźną poprawę aktywności mikroorganizmów.
- Wysoka temperatura w granicach 70-80<sup>0</sup>C fazy intensywnego kompostowania jest wystarczająca do pełnej higienizacji produktu końcowego.
- Otrzymany produkt końcowy może być wykorzystany w gospodarce, co jest dużym walorem ekologicznym sprzyjającym poprawie gospodarki osadowej na oczyszczalni ścieków

### LITERATURA

1. BIENŃ J.B.: *Osady ściekowe, Teoria i praktyka*. Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007

2. BIEŃ J.B., BIEŃ J.D., MATYSIAK B.: *Gospodarka odpadami w oczyszczalniach ścieków*, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999
3. SIDELKO R.: *Kompostowanie – optymalizacja procesu i prognoza jakości produktu*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2005
4. JASTRZĘBSKA M., STELMACHOWSKI M., BUJNOWICZ – PILECKA K., ZARZYCKI R.: *Badania procesu kompostowania osadów ściekowych razem z odpadami zielonymi oraz pochodzącymi z selektywnej zbiórki odpadów*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, t. 3, nr 1-2, 63-72, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000

## **COMPOSTING PROCESS POWER CONDITIONING LEACHATE COMPOST**

### *S u m m a r y*

*This paper attempts composting of sewage sludge in mixtures with bulking agent and green waste. The process was conducted in four experiments (one control experiment), improved by adding compost leachate. Leachate was improved by ultrasonic field with a frequency of 22 kHz and an amplitude of 12 $\mu$ m at the time of 5 and 15 sec. Compost mixtures were inoculated in 7 day of the process. The results shows that inoculation of composting leachate extends the correct phase of biomass decomposition. The final product is characterized by good physical and chemical properties, and can be used in nature.*

Key words: sewage sludge, composting, biomass