

Dorota Anders, Lech Nowak

OCENA PROCESU KOMPOSTOWANIA Z UDZIAŁEM ODPADÓW POCHODZENIA ZWIERZĘCEGO

ASSESSMENT OF COMPOSTING PROCESS WITH ANIMAL WASTE SHARE

Streszczenie

W artykule przedstawiono charakterystyczne cechy przebiegu procesu kompostowania z udziałem odpadów pochodzenia zwierzęcego. Badania w zakresie kompostowania odpadów pochodzenia zwierzęcego prowadzone są od 2006 roku w kompostowni komorowej Spółki z o. o. „Beskid” w Żywcu, działającej według technologii Herhof. Proces kompostowania składa się z dwóch etapów: kompostowania intensywnego w bioreaktorze oraz dojrzewania kompostu na przyzmach. Komponentami zastosowanymi do procesu kompostowania są odpady biodegradowalne pochodzące z gospodarstw domowych, odpady zielone (trawa, liście) oraz odpady z Zakładów Mięśnych S.A. w Żywcu (kości, skóry, fragmenty mięsa).

Proces kompostowania z udziałem wyżej wymienionych odpadów podlegał ocenie zarówno w trakcie przebiegu procesu w bioreaktorze (temperatura masy wsadowej jako parametr obrazujący intensyfikację przemian biochemicznych, skład chemiczny mieszanki wsadowej), jak i w trakcie dojrzewania kompostu na przyzmach (stan sanitarny kompostu po rozładunku bioreaktora, temperatury przyzmac kompostowych). Po zakończeniu procesu kompostowania, kompost z udziałem odpadów pochodzenia zwierzęcego oceniono w zakresie wszystkich parametrów, charakterystycznych dla nawozów organicznych.

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2008 jako projekt badawczy nr 2P06S04130.

Summary

The article presents the characteristic features of the process of composting with animal waste share. The investigation on composting animal waste have been conducted since 2006 in a chamber composting plant belonging to "Beskid Ltd." at Żywiec that operates on the Herhof technology. The composting process consists of two stages: intensive composting in a bioreactor and seasoning in heaps. Components used for composting process are biodegradable waste from household, green waste (grass, leaves) and waste from a Slaughterhouse S.A. at Żywiec (bones, skins, meat fragments).

The composting process with participation of the materials mentioned underwent assessment both during its bioreactor stage (temperature of the matter as a parameter indicating the intensity of biochemical processes, chemical composition of the matter) and during seasoning of the compost in heaps (sanitary state after unloading the bioreactor, temperature of compost prisms). After ending of the composting process, the compost with animal waste share was evaluated with respect to all the parameters characteristic for organic fertilizers.

WSTĘP

Kompostowanie odpadów, jako najstarsza metoda wykorzystania odpadów ulegających biodegradacji, eliminuje problem usuwania ich innymi metodami, a jednocześnie stwarza możliwości uzyskania znacznych ilości cennego substitutu nawozu naturalnego. Pomimo to, kompostowanie w warunkach krajowych jest trudną do prowadzenia metodą wykorzystania odpadów biodegradowalnych. Te trudności wynikają z dwóch aspektów. Jednym z nich są uwarunkowania prawne prowadzenia procesu recyklingu organicznego, drugim niski poziom selektywnej zbiórki odpadów biodegradowalnych i niewystarczająca ilość instalacji.

Ograniczenie składowania odpadów ulegających biodegradacji na składowiskach odpadów, w wyznaczonych w ustawie o odpadach [Ustawa... 2001] poziomach, wymusza na jednostkach administracyjnych selektywną zbiórkę odpadów bio z gospodarstw domowych. Zgodnie z Krajowym Planem Gospodarki Odpadami i Krajową strategią ograniczenia ilości składowanych odpadów ulegających biodegradacji [Ministerstwo... 2004], masa odpadów komunalnych ulegających biodegradacji wytworzonych w Polsce w 1995 roku wynosiła 4380 tys. Mg. To oznacza, że do składowania może być przeznaczonych w roku 2010 – 3285 tys. Mg, w roku 2013 – 2 190 tys. Mg, a w roku 2020 – 1533 tys. Mg biodegradowalnych odpadów komunalnych (tab. 1).

Zgodnie z prognozami wytwarzanej w warunkach krajowych masy odpadów biodegradowalnych można oszacować, że od roku 2007 roczna redukcja składowanych odpadów ulegających biodegradacji powinna wynosić około 4,6%, gdzie przez ostatnie 6 lat wynosiła jedynie 0,3% i dotyczyła głównie odpadów zielonych. Z analizy dostępnych danych w Krajowym Planie Gospodarki

Odpadami wynika, że dla wypełnienia ustawowych wymagań odzysku i recyklingu odpadów biodegradowalnych konieczna jest selektywna zbiórka odpadów kuchennych ulegających biodegradacji oraz pilna potrzeba budowy instalacji kompostowania odpadów.

Tabela 1. Planowany odzysk i unieszkodliwianie odpadów komunalnych ulegających biodegradacji [tys. Mg]

Table 1. Planned recovery and disposal of communal waste that undergoes biodegradation [Mg 10³]

Działania Action	Tys. Mg frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych w roku Biodegradable fraction of communal waste per year [Mg 10 ³]			
	1995	2006	2010	2013
Wytworzenie Produced	4380	5760,6	6409,8	7261,2
Kompostowanie odpadów zielonych Composted green waste	–	118,6	184,4	313,0
Odzysk i recykling opakowań z papieru Recovery and recycling of paper packaging	219	778,5	1056,0	1435,0
Konieczny odzysk Mandatory recovery	–	570,3	1883,9	3322,8
Dopuszczalne składowanie Storage limit	4161	4293,2	3285,6	2190,4

Źródło: Krajowa strategia ograniczenia ilości składowanych odpadów ulegających biodegradacji [Rozporządzenie... 2002]

Odpady kuchenne z gospodarstw domowych traktowane są jako uboczne produkty pochodzenia zwierzęcego. Odpady pochodzenia zwierzęcego zostały zdefiniowane w rozporządzeniu (WE) 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 października 2002 roku ustanawiającym przepisy zdrowotne związane z ubocznymi produktami zwierzęcymi nie przeznaczonymi do spożycia przez ludzi [Rozporządzenie... 2002]. Według obowiązującego ustawodawstwa uboczne produkty pochodzenia zwierzęcego dzieli się na trzy kategorie. Przedmiotem rozważań w artykule jest materiał kategorii trzeciej, w skład którego wchodzi zarówno elementy ubijanych zwierząt, które ze względów handlowych nie nadają się do spożycia, jak również odpady żywnościowe, w tym także odpady kuchenne ulegające biodegradacji. Dla wymienionych rodzajów odpadów brak jest w warunkach krajowych metod zagospodarowania. Największy problem stanowią odpady kuchenne ulegające biodegradacji, które według zapisów krajowego planu gospodarki odpadami stanowią 30–40% całości odpadów komunalnych. Odpady te, bez względu na udział w nich frakcji pochodzenia zwierzęcego, są w całości klasyfikowane jako materiał kategorii 3. Wprawdzie tego typu odpady mogą podlegać procesowi kompostowania, ale przy specjal-

nych wymaganiach procesowych. Wymagania technologiczne stawiane przez ustawodawstwo unijne, dotyczące procesu kompostowania ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego, to przede wszystkim graniczne parametry: wielkości cząstek przed wprowadzeniem do bioreaktora (maksymalnie 12 mm), temperatury całego surowca podczas obróbki w reaktorze (minimalnie 70° C) oraz czasu obróbki przy temperaturze 70° C (minimum 60 minut). Proces kompostowania musi być prowadzony w zamkniętych bioreaktorach. Zapisy rozporządzenia Komisji (WE) nr 208/2006 w zakresie norm przetwarzania dla wytwórni biogazu i kompostowni oraz wymagań dotyczących obornika [Rozporządzenie... 2006] dopuszczają możliwość zastosowania innych parametrów procesu, o ile zapewnią one minimalizację ryzyka biologicznego.

Biorąc pod uwagę wymagania instalacyjne do prowadzenia procesu kompostowania odpadów pochodzenia zwierzęcego, w warunkach polskich brak jest kompostowni spełniających te wymagania. Wymienione rozporządzenie dopuszcza możliwość krajowych aktów uzupełniających do jego zapisów, zgodnych z ogólnie pojętą ochroną środowiska. Niestety w warunkach polskich żaden taki akt nie powstał, pomimo faktu, że odpady biodegradowalne z gospodarstw domowych w znacznym stopniu zawierają substancję organiczną pochodzenia roślinnego. Z badań autorów przeprowadzonych w 2006 roku w kompostowni w Żywcu, udział odpadów pochodzenia zwierzęcego w odpadach biodegradowalnych z gospodarstw domowych, zebranych selektywnie, znajduje się w przedziale od 5 do 10% .

Zważywszy na fakt istnienia w warunkach polskich jednej zatwierdzonej biogazowni w województwie pomorskim², nie można mówić o instalacjach zagospodarowania tych odpadów, a tym samym o możliwościach wypełnienia zapisów ustawy o odpadach [Ustawa... 2001] w aspekcie ograniczenia składowania odpadów ulegających biodegradacji. Pozostały materiał kategorii 3, pomimo częściowego zagospodarowania w zakładach utylizacyjnych, zakładach technicznych, zakładach produkujących zanęty i przynęty wędkarskie oraz karmę dla zwierząt wymaga poszukiwania metod pełnego wykorzystania.

PROCEDURY BADAWCZE

Przedmiotem prowadzonych badań były mieszanki kompostowe sporządzone z odpadów biodegradowalnych, pochodzących z selektywnej zbiórki odpadów na terenie miasta Żywca, jak i pozostałości poprodukcyjnych z Zakładów Mięsnych w Żywcu (fragmenty mięsa, kości). Całość eksperymentów była prowadzona w kompostowni Spółki z o. o. „Beskid” w Żywcu, wyposażonej w bioreaktor. W artykule zostały zaprezentowane trzy doświadczalne procesy

² Według listy zakładów sektora utylizacyjnego zatwierdzonych zgodnie z obowiązującym prawem. Stan na kwiecień 2008.

kompostowania z udziałem odpadów pochodzenia zwierzęcego (w tym dwa procesy z udziałem odpadów z zakładów mięsnych), których produkcję zakończono w 2007 roku. Udział odpadów pochodzenia zwierzęcego w masie kompostowej był na poziomie 90% wagowych, przy czym około 35% stanowiły odpady z Zakładów Mięsnych, pozostałą część odpady kuchenne z gospodarstw domowych. W składzie odpadów biodegradowalnych z gospodarstw domowych, udział odpadów pochodzenia zwierzęcego był niewielki i nie przekroczył 5%. Ze względu jednak na fakt klasyfikowania tych odpadów w całości do odpadów pochodzenia zwierzęcego daje to nieco mylny obraz bilansowania poszczególnych komponentów.

Kompostowanie z udziałem odpadów pochodzenia zwierzęcego prowadzone było dwuetapowo. Pierwszym etapem było intensywne kompostowanie w bioreaktorze działającym według technologii Herhof, wyposażonym w instalację napowietrzania i nawilżania masy wsadowej. Bioreaktor to żelbetowa komora z zewnętrzną izolacją termiczną. Zadaniem bioreaktora w procesie kompostowania jest intensyfikacja rozkładu zawartej w odpadach substancji organicznej i odciążenie środowiska na tym etapie procesu. Proces intensywnego kompostowania dzieli się na cztery fazy i obejmuje: fazę wstępną (nagrzewu, czas trwania około 2 dni, temperatura do 40° C), fazę rozkładu (czas trwania około 3 dni, temperatura 40–45° C), fazę higienizacji (czas trwania około 4 dni, temperatura do 60° C) oraz fazę wychładzania (temperatura poniżej 40° C). Całość procesu w bioreaktorze trwa od 7–11 dni, a w jego wyniku uzyskuje się kompost świeży, który należy poddać procesowi dojrzewania na pryzmach.

Eksperymentalne procesy kompostowania trwały 11 dni. Podczas ich trwania monitoringiem objęta była temperatura masy wsadowej. Standardowo we wszystkich funkcjonujących bioreaktorach monitoring temperatury obejmuje tylko temperaturę powietrza wychodzącego. W przypadku opisywanych doświadczeń, pomiar temperatury odbywał się w trzydziestu punktach masy wsadowej poprzez zainstalowane czujniki pomiarowe [Anders, Rząsa 2007]. Po okresie 11 dni następował rozładunek bioreaktora i formowanie pryzm, na których kompost dojrzewał. Proces dojrzewania na pryzmach kompostowych trwał od 4 do 6 miesięcy. Pryzmy kompostowe były przerzucane i nawilżane. Monitoring temperatury w pryzmach kompostowych był jednym z działań, dzięki któremu można było określić prawidłowość przebiegu procesu oraz stan pełnej dojrzałości kompostu. Dla porównania przebiegu procesu na pryzmach kompostowych dla kompostów z udziałem odpadów mięsnych i bez takiego udziału zastosowano model zależności temperatury kompostowania od czasu jego trwania w postaci funkcji $T_p = \log t^{A \exp(Bt)}$, gdzie T_p jest temperaturą pryzmy [°C], t – czas kompostowania [dni], A i B – estymowane parametry. Funkcja nie odzwierciedla rzeczywistych temperatur ale dobrze dopasowuje model do danych eksperymetalnych [Anders, Nowak 2004]. Za dojrzały kompost uznano ten, którego temperatura zrównała się z temperaturą otoczenia.

Na każdym etapie procesu kompostowania zostały pobrane próby do analiz chemicznych, sanitarnych i parazytologicznych. Próby do wszystkich analiz pobierane były metodą uśredniania (operacja ćwiartowania). Z każdej masy wsadowej, kompostu świeżego oraz dojrzałego pobrano po dwie próby do analiz chemicznych oraz po trzy próby do analiz sanitarnych i parazytologicznych. Ze względu na brak rozbieżności w wynikach analiz sanitarnych i parazytologicznych dojrzałych kompostów, w artykule prezentowane są wartości uśrednione.

Analizy chemiczne (N, P, K, Corg., substancja organiczna, pH, sucha masa, Cr, Zn, Cd, Cu, Ni, Pb, Hg) wykonywano w laboratoriach Stacji Chemiczno-Rolniczej w Opolu według metodyki zawartej w biuletynie IUNG, Puławy 1977 [Instytut... 1997]. Analizy sanitarne wykonano w laboratoriach Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach według następującej metodyki: *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* – procedura badawcza odpowiednio wg PN – Z – 19000 – 4:2001, PN – Z – 19000 – 4:2001, SPA/OB/5/A:2.01.2001, bakterie z rodzaju *Salmonella* – procedura badawcza wg PN – Z – 19000 – 1:2001, PKT 9.1, 9.2, 9.3, miano coli, miano coli typu kałowego – procedura badawcza wg SPA/OB/2/A:1.02.2001, miano *Clostridium perfringens* – procedura badawcza wg SPA/OB/1/A:1.02.2001, wartość Enterokoków kałowych – procedura badawcza wg SPA/LE-FCH/SBB/1/A:31.01.2006.

WYNIKI I DYSKUSJA

Z przeprowadzonych analiz chemicznych wynika, że masa wsadowa z udziałem odpadów z zakładów mięsnych charakteryzuje się wyższą zawartością azotu ogólnego aniżeli masa wsadowa pozbawiona tego rodzaju odpadów (tab. 2). Poziom substancji organicznej i węgla organicznego dla wszystkich mas wsadowych był na zbliżonym, wysokim poziomie i wynosił odpowiednio dla substancji organicznej od 63 do 70% w suchej masie, dla węgla organicznego od 32 do 40% w suchej masie (tab. 2). Ocena sanitarna masy wsadowej z udziałem odpadów z Zakładów Mięsnych nie odbiegała w żadnym przypadku od oceny masy wsadowej pozbawionej tego rodzaju odpadów.

System monitorowania temperatury w masie wsadowej pokazał zróżnicowane wartości temperatury w różnych punktach masy wsadowej. Należy wyraźnie podkreślić, że stosowany dotąd we wszystkich bioreaktorach w warunkach europejskich, pomiar temperatury powietrza wychodzącego z bioreaktora, nie jest odzwierciedleniem temperatur wewnątrz masy. Wartości temperatur powietrza wychodzącego z bioreaktora można traktować jedynie jako ogólny trend w przebiegu temperatury w bioreaktorze. Najwyższe wartości temperatur w masie wsadowej, jakie dotąd uzyskano, nie przekraczają 60° C i są związane z udziałem 35% w masie wsadowej odpadów pochodzących z Zakładów Mięsnych. Ta wartość temperatury dotyczy tylko wybranych punktów masy wsadowej, nie zaś jej całości. W masie wsadowej złożonej z odpadów organicznych z gospodarstw domowych (w przeważającej części jest to organika roślinna) wartości temperatur nie przekraczają 50° C.

W kompoście świeżym, zawierającym w swoim składzie odpady z Zakładów Mięśnych widoczne były drobne fragmenty kości, które podczas rozcierania w dłoni ulegały rozkruszeniu, większe fragmenty kości pozostawały bez naruszenia struktury. Zdecydowanie nie znajdowano fragmentów mięsa. Wartości pH kompostów świeżych, zawierających odpady z zakładów mięśnych i bez zawartości tych odpadów były na zbliżonym poziomie w granicach $7,60 \div 7,98$ (tab. 3). Ubytek substancji organicznej w większym stopniu nastąpił w przypadku kompostu świeżego pozbawionego w swoim składzie odpadów z Zakładów Mięśnych i jest to spodziewana konsekwencja łatwo rozkładalnych części organicznych w odpadach roślinnych. Ocena sanitarna kompostu świeżego z udziałem odpadów z zakładów mięśnych nie odbiegała w żadnym przypadku od oceny kompostu świeżego pozbawionego tego rodzaju odpadów. Ogólnie komposty świeże pozbawione były zanieczyszczeń pasożytami przewodu pokarmowego i bakteriami z rodzaju *Salmonella*. We wszystkich próbach miano Coli, miano Coli typu kałowego oraz miano *Clostridium perfringens* znajdowało się na poziomie poniżej 0,001. Wartość *Enterokoków* kałowych w 1g masy wsadowej była na zróżnicowanym poziomie, ale prawdopodobnie niezależnym od udziału odpadów z zakładów mięśnych (tab. 4).

Tabela 2. Analizy chemiczne prób masy wsadowej do kompostowania
Table 2. Chemical analysis of samples of composted matter

Oznaczenie prób Designation of probes	Wyniki badań Results						
	Zawartość składnika w % s.m. Content of component [% d.m.]					Wilgotność [%] Humidity [%]	pH w H ₂ O pH in H ₂ O
	K ₂ O	P ₂ O ₅	C org.	Subst. Organ.	N og.		
PWM I/ 1	0,14 ±0,010	0,24 ±0,013	37,26 ±0,170	66,51 ±3,380	0,25 ±0,038	67,15 ±0,290	5,47 ±0,02
PWM I/2	0,16 ±0,010	0,18 ±0,080	39,09 ±0,180	68,20 ±3,410	0,21 ±0,028	63,06 ±0,330	5,43 ±0,02
PWM II/ 1	0,39 ±0,029	0,59 ±0,040	32,31 ±0,140	65,09 ±3,320	0,19 ±0,036	73,38 ±0,240	5,04 ±0,02
PWM II/2	0,60 ±0,026	0,54 ±0,020	40,38 ±0,180	69,12 ±3,530	0,65 ±0,070	53,47 ±0,420	5,25 ±0,02
PWBM III/1	0,49 ±0,027	0,19 ±0,009	35,92 ±0,160	70,05 ±3,600	0,16 ±0,022	63,63 ±0,570	6,41 ±0,02
PWBM III/2	0,63 ±0,034	0,35 ±0,017	33,96 ±0,150	63,31 ±3,250	0,17 ±0,023	63,44 ±0,560	6,03 ±0,02

Oznaczenie prób: I – zawartość w masie wsadowej ok. 10% wagowych odpadów z zakładów mięśnych, II – zawartość około 35% wagowych odpadów z zakładów mięśnych, III – masa wsadowa złożona wyłącznie z odpadów biodegradowalnych z gospodarstw domowych.

Probe designation: I – ca 10%, by weight, of waste from slaughterhouse, II – 35%, by weight, of waste from slaughterhouse, III – input matter composed of biodegradable waste from household exclusively.

Tabela 3. Analizy chemiczne prób kompostu świeżego
Table 3. Chemical analyses of fresh compost

Oznaczenie prób Designation of probes	Wyniki badań Results						
	Zawartość składnika w % s.m. Content of component [% d.m.]					Wilgotność [%] Humidity [%]	pH w H ₂ O pH in H ₂ O
	K ₂ O	P ₂ O ₅	C org.	Subst. Organ.	N og.		
PŚM I/1	0,25 ±0,012	1,22 ±0,024	37,14 ±0,17	65,84 ±3,30	0,50 ±0,060	55,72 ±1,60	7,70 ±0,02
PŚM I/2	0,23 ±0,012	0,28 ±0,015	38,47 ±0,17	67,98 ±3,42	0,41 ±0,048	57,02 ±1,94	7,60 ±0,02
PŚM II/1	0,20 ±0,012	0,28 ±0,015	32,26 ±0,15	63,88 ±3,30	0,28 ±0,044	67,12 ±0,29	7,68 ±0,02
PŚM II/2	0,26 ±0,012	0,18 ±0,007	30,67 ±0,14	57,09 ±2,91	0,49 ±0,051	54,38 ±0,40	7,73 ±0,02
PŚBM III/1	0,28 ±0,015	0,16 ±0,005	30,18 ±0,14	62,53 ±2,73	0,21 ±0,038	63,63 ±0,57	7,80 ±0,02
PŚBM III/2	0,43 ±0,020	0,19 ±0,008	25,24 ±0,26	54,02 ±3,10	0,19 ±0,036	63,44 ±0,56	7,98 ±0,02

Tabela 4. Analizy sanitarne i parazytologiczne prób kompostu świeżego
Table 4. Sanitary and parasitological analyses of fresh compost

Ozn. Prób Probe designation	Wyniki badań Results							
	Miano coli*	Miano coli typu kałowego* Miano coli of circular type	Miano Clostridium perfringens*	Enterokoki kałowe w 1 g Enterokoki circular in 1 g	Bakterie z rodzaju Salmonella Bacteria of Salmonella type	Jaja Ascaris sp. w szt./kg s.m. Eggs Ascaris item./kg d.m.	Jaja Trichuris sp. w szt./kg s.m. Eggs Trichuris item./kg d.m.	Jaja Toxocara sp. w szt./kg s.m. Eggs Toxocara item./kg d.m.
PŚM I/1	0,0000004	0,00004	0,000008	14545	Nie wyizol.	0	0	0
PŚM I/2	0,000001	0,0001	0,00002	16364	Nie wyizol.	0	0	0
PŚM I/3	0,000001	0,00004	0,00001	11818	Nie wyizol.	0	0	0
PŚM II/1	0,0000004	0,000008	0,0000004	70000	Nie wyizol.	0	0	0
PŚM II/2	0,000001	0,000001	0,00001	30000	Nie wyizol.	0	0	0
PŚM II/3	0,0000004	0,0004	0,00002	36000	Nie wyizol.	0	0	0
PŚBM III/1	0,0000004	0,0000004	0,000001	80000	Nie wyizol.	0	0	0
PŚBM III/2	0,000002	0,000001	0,000001	95000	Nie wyizol.	0	0	0

* „Miano” należy rozumieć jako najmniejszą objętość badanej próby, w której stwierdzono obecność bakterii. Oznaczenia wykonano metodą rozcieńczeń.

Wartości temperatur na pryzmach kompostowych były wyższe w przypadku kompostów z udziałem odpadów z zakładów mięsnych (maksymalna temperatura w pryzmie kompostowej wyniosła 72° C). Dla wszystkich pryzm kompostowych temperatury powyżej 50° C, gwarantujące higienizację masy kompostowej utrzymywały się minimum przez okres 10 dni. Dzięki zastosowanemu modelowi zależności temperatury masy kompostowej od czasu trwania procesu można stwierdzić, że nie wystąpiły żadne nieprawidłowości (zbyt duże wahania w poszczególnych fazach, zahamowanie procesu) w przebiegu kompostowania dla wszystkich pryzm kompostowych.

Z dotychczas przeprowadzonych eksperymentów kompostowania odpadów pochodzenia zwierzęcego wynika, że dojrzały kompost jest dobrej jakości. Taki wniosek można wyciągnąć na podstawie badań chemicznych. Jest to konsekwencja użycia komponentów o dużym potencjale nawozowym. Badania chemiczne komponentów użytych do procesu kompostowania wykazały dużą zawartość fosforu (odpadowe mięso: 0,116% s.m. – 0,145 % s.m., odpadowe kości: 2,004% s.m. – 2,100% s.m.), azotu (odpadowe mięso: 0,795% s.m. – 0,965% s.m., odpadowe kości: 1,060% s.m. – 1,24% s.m., liście: 0,998% s.m. – 1,120% s.m., trawa: 0,747% s.m. – 0,807% s.m.) i potasu (odpady zielone: 0,285% s.m. – 0,915% s.m.)

Wysoka wartość odczynu pH dojrzałych kompostów (7,53–8,70) ma istotne znaczenie z nawozowego punktu widzenia, zważywszy, że w warunkach polskich przeważają gleby kwaśne i bardzo kwaśne. Zawartość poszczególnych składników nawozowych w wyprodukowanych kompostach (tab. 5) znacznie przewyższa wymagania zawarte w krajowym akcie prawnym dotyczącym wymagań stawianych nawozom organicznym [Rozporządzenie... 2004]. Wymagania te to 0,5% azotu całkowitego lub 0,3% fosforu w przeliczeniu na pięciotlenek fosforu lub 0,3% potasu w przeliczeniu na tlenek potasu. W analizowanych próbach kompostu dojrzałego zawartość azotu zawiera się w przedziale 0,61–1,00% s.m., zawartość fosforu w przeliczeniu na pięciotlenek fosforu to od 0,68% s.m. do 1,83% s.m., zawartość potasu w przeliczeniu na tlenek potasu w suchej masie to od 0,48% s.m. do 0,92% s.m. Jednak zawartość substancji organicznej w doświadczalnych kompostach jest na poziomie niższym aniżeli wymagane prawem krajowym 40% suchej masy. Zawartość substancji organicznej w dojrzałych kompostach z udziałem odpadów z zakładów mięsnych wynosi od 36,9% suchej masy do 43,08% suchej masy. Jest to jednak zawartość wyższa aniżeli w przypadku kompostów z odpadów organicznych pochodzenia roślinnego, gdzie zawartość substancji organicznej nie przekracza 35% suchej masy.

Zanieczyszczenia metalami ciężkimi w kompostach doświadczalnych (tab. 6) są na akceptowalnym poziomie, mieszczącym się w granicach zaklasyfikowania kompostów do nawozów organicznych w warunkach krajowych.

Tabela 5. Wyniki badań parametrów nawozowych w dojrzałych kompostach
Table 5. Fertilizer parameters for ripe compost

Oznaczenie próby Probe designation	wilgotność [%] Humidity [%]	pH w H ₂ O pH in H ₂ O	Nog.	P ₂ O ₅	K ₂ O	Corg.	Substancja organiczna Organic substance
KD I/1	44,64 ±0,45	7,58 ±0,02	0,66 ±0,051	0,95 ±0,026	0,55 ±0,025	20,54 ±0,08	43,08 2,11
KD I/2	43,31 ±0,45	7,53 ±0,02	0,66 ±0,051	1,28 ±0,035	0,50 ±0,022	18,54 ±0,07	40,01 ±1,96
KD II/1	36,59 ±0,52	8,66 ±0,02	0,92 ±0,061	1,83 ±0,044	0,75 ±0,03	28,77 ±0,12	39,71 ±1,94
KD II/2	32,77 ±0,55	8,70 ±0,02	1,00 ±0,064	1,20 ±0,027	0,92 ±0,035	23,64 ±0,09	36,90 ±1,81
KD III/1	47,17 ±0,43	7,65 ±0,02	0,52 ±0,051	0,68 ±0,02	0,48 ±0,023	19,09 ±0,07	34,93 ±1,94
KD III/2	47,01 ±0,43	7,67 ±0,02	0,56 ±0,051	0,77 ±0,022	0,48 ±0,023	20,77 ±0,08	32,48 ±1,87

Tabela 6. Wyniki badań zawartości metali ciężkich w dojrzałych kompostach
Table 6. Heavy metals content in ripe compost

Oznaczenie próby Probe designation	Cr	Cu	Cd	Zn	Ni	Pb	Hg
	[mg/kg suchej masy] [mg/kg dry mass]						
KD I/1	87,55 ±15,20	37,00 ±2,90	2,70 ±0,41	355,00 ±22,20	19,00 ±2,29	60,60 ±8,49	0,232 ±0,014
KD I/2	85,60 ±15,25	62,50 ±4,90	2,60 ±0,47	346,00 ±21,60	18,05 ±2,18	55,70 ±7,80	0,228 ±0,014
KD II/1	84,00 ±14,30	62,50 ±4,90	1,00 ±0,15	307,00 ±19,20	19,35 ±2,34	47,25 ±6,62	0,171 ±0,011
KD II/2	81,95 ±14,30	63,50 ±5,00	1,65 ±0,25	334,00 ±20,80	22,20 ±2,68	50,65 ±7,09	0,162 ±0,010
KD III/1	70,75 ±12,30	52,00 ±4,10	2,65 ±0,41	346,50 ±21,60	16,65 ±2,15	59,55 ±8,34	0,218 ±0,013
KD III/2	79,00 ±13,70	57,00 ±4,50	2,85 ±0,56	369,00 ±23,10	17,80 ±2,15	58,55 ±8,20	0,203 ±0,013

Jednak analizując normy ustawowe w tym zakresie w innych państwach, należy stwierdzić (w zależności od normy i ilości klas kompostu), że zawartość kadmu (wartości analizowanych prób mieszczą się w przedziale od 1,00 do 2,85 mg/kg suchej masy) i chromu (wartości analizowanych prób mieszczą się w przedziale od 70,75 do 87,55 mg/kg suchej masy) mogłaby ograniczyć rolnicze wykorzystanie analizowanych kompostów w innych krajach unijnych. Według rozporządzeń austriackich zawartości kadmu to przedział od 0,7 mg/kg suchej masy dla gospodarstw ekologicznych, 1,0 mg/kg suchej masy dla rol-

nictwa i ogródków przydomowych do 3,0 mg/kg suchej masy dla celów rekultywacyjnych. Dla chromu wartość 70 mg/kg w suchej masie kompostu umożliwia jego zastosowanie w gospodarstwach ekologicznych i rolnictwie. Przy wartości granicznej 250 mg/kg suchej masy pozostaje zastosowanie kompostu do celów rekultywacyjnych. Według norm niemieckich dotyczących wymagań w poszczególnych klasach kompostu, graniczne wartości kadmu zawierają się w przedziale od 1 mg/kg suchej masy dla klasy I do 1,5 dla klasy II kompostu. W przypadku chromu, wartość graniczna dla klasy I kompostu wynosi 70 mg/kg suchej masy, dla klasy II to wartość 100 mg/kg suchej masy [Jędrzak... 2007]. Z całą pewnością problem z zawartością kadmu i chromu nie dotyczy odpadów z zakładów mięsnych, są to bowiem odpady z elementów ubijanych zwierząt przeznaczonych do spożycia. Podwyższoną zawartość metali ciężkich mogą zawierać odpady zielone, które pozyskiwane są zarówno z gospodarstw domowych, jak również zieleni miejskiej. Problem zatem dotyczy ogólnego stanu zanieczyszczenia środowiska, ale również intensyfikacji i udoskonalenia selektywnej zbiórki takich odpadów.

Stan sanitarny i parazytologiczny doświadczalnych kompostów nie budzi zastrzeżeń. W dojrzałych kompostach nie wyizolowano bakterii z grupy *Salmonella*, jak również pasożytów przewodu pokarmowego (*Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*). Zawartość enterokoków jako wskaźnik fekalnego zanieczyszczenia kompostu w 1 g doświadczalnych próbek kompostu wyniosła od 23 do 50. Jest to również wartość zgodna z wymaganiami rozporządzenia UE nr 208/2006 [Rozporządzenie... 2004]. Nienormowane dla kompostu miano bakterii grupy coli można odnieść do badań obornika, jako najbardziej preferowanego nawozu pochodzenia biologicznego. Miano *Coli* w badanych próbach wyniosło 0,002 i 0,00004, miano *Coli* typu kałowego to wartości dla poszczególnych próbek: 0,2, 0,04, 0,06, a miano *Clostridium* – 0,002 i 0,0004. W przypadku badanych kompostów poziom tych mikroorganizmów jest na niskim poziomie. Jednocześnie ich występowanie jest naturalne i związane z materiałem, z którym mamy do czynienia w przypadku procesu kompostowania. Występowanie mikroorganizmów jest nierozłączne z rozkładem substancji organicznej, a szczególna kontrola powinna być poświęcona organizmom chorobotwórczym.

Wszystkie dojrzałe komposty charakteryzowały się brązową barwą, sypką gruzełkową strukturą oraz zapachem świeżej ziemi ogrodowej. Ze względu na selektywną zbiórkę odpadów przeznaczonych do procesu kompostowania, w dojrzałym kompoście nie określano zanieczyszczeń mechanicznych.

WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych doświadczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

1. proces kompostowania odpadów biodegradowalnych z gospodarstw domowych z udziałem odpadów zwierzęcych z zakładów mięsnych przebiegał bez zakłóceń,

2. dodatek odpadów mięsnych powodował wyższe temperatury w przebiegu procesu, zarówno w bioreaktorze, jak i podczas dojrzewania kompostu na przyzmacach,

3. stan sanitarny i parazytologiczny świeżych i dojrzałych kompostów z udziałem odpadów mięsnych nie odbiegał od takiego stanu dla kompostu złożonego wyłącznie z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych,

4. parametry nawozowe oraz zawartość metali ciężkich w dojrzałym kompoście z udziałem odpadów mięsnych wskazują na dobrą jakość kompostu i możliwość wykorzystania go jako nawozu organicznego w warunkach krajowych. Jedynym problemem w wykorzystaniu zgodnie z obowiązującym prawem może być zawartość substancji organicznej. W związku jednak z koniecznymi i długo oczekiwany zmianami legislacji w tym zakresie wkrótce należy spodziewać się obniżenia wymaganej zawartości substancji organicznej w nawozach organicznych.

BIBLIOGRAFIA

- Anders D., Nowak L. *Utilisation of difficult waste from food industry by composting*. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 13, Supplement III, s. 62-65, Olsztyn, 2004.
- Anders D., Rząsa M. *The possibility of composting animal waste products*. Environment Protection Engineering, Vol. 33, No 2, Wrocław 2007.
- Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa: *Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych*, cz. III. Badanie nawozów organicznych, Puławy, 1977.
- Jędrzak A. *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- Ministerstwo Środowiska: *Krajowa strategia ograniczenia ilości składowanych odpadów ulegających biodegradacji*, 2004.
- Rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 października 2002 roku ustanawiające przepisy zdrowotne związane z ubocznymi produktami zwierzęcymi nie przeznaczonymi do spożycia przez ludzi, 2002.
- Rozporządzenie komisji (WE) nr 208/2006 z dnia 7 lutego 2006 roku zmieniające załączniki VI i VIII do rozporządzenia (WE) nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady w zakresie norm przetwarzania dla wytwórni biogazu i kompostowni oraz wymagań dotyczących obornika, 2006.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz. U. nr 236, poz. 2369), 2004.
- Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 roku (Dz.U. nr 62, poz. 628 z póź. zm.), 2001.

Dorota Anders
Katedra Inżynierii Środowiska,
Politechnika Opolska

Lech Nowak
Katedra Rolniczych Podstaw Kształtowania Środowiska,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Kowalski*