

**ROBERT SIDEŁKO, KAZIMIERZ SZYMAŃSKI,  
BARTOSZ WALENDZIK\***

## **ZASTOSOWANIE KOMPOSTOWANIA DO PRZETWARZANIA FRAKCJI ORGANICZNEJ ODPADÓW KOMUNALNYCH**

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono rezultat badań, których celem było określenie możliwości biologicznego przetwarzania frakcji organicznej wydzielonej ze zmieszanych odpadów komunalnych. Badania strukturalne odpadów komunalnych, z uwzględnieniem charakteru zabudowy, przeprowadzono na terenie Koszalina. Badania fizykochemiczne próbek odpadów, ograniczono do wskaźników pozwalających stwierdzić przydatność surowca do dalszego wykorzystania w procesie tlenowej stabilizacji. W badaniach uwzględniono również zawartość metali ciężkich, jako potencjalnego czynnika inhibitującego procesy biologiczne. Ocenę zastosowania metody biologicznego przetwarzania frakcji organicznych odpadów, przeprowadzono w kontekście wymogu zagospodarowania odpadów biodegradowalnych i ograniczenia kosztów eksploatacyjnych ZUO.*

Słowa kluczowe: odpady komunalne, frakcja organiczna, stabilizacja, kompostowanie

### **WPROWADZENIE**

Kompostowanie, jako proces przebiegający w warunkach tlenowych, jest jedną z dwóch uznanych metod biologicznego przekształcania odpadów organicznych, stosowaną w ramach tzw. recyklingu organicznego. Jeżeli surowiec wykorzystywany w tym procesie jest odpowiedniej jakości, to uzyskany kompost, klasyfikowany zgodnie z obowiązującymi przepisami jako nawóz organiczny, można wykorzystać w rolnictwie [Sidełko, Szymański 2008]. W sytuacji, kiedy substrat organiczny zawiera balast obniżający walory użytkowe kompostu, to wykorzystanie produktu końcowego jest mocno ograniczone. W konsekwencji powstają wątpliwości, co do sensu stosowania tej metody, chyba że celem nadrzędnym jest uzyskanie materiału biologicznie stabilnego

---

\* Politechnika Koszalińska, Katedra Gospodarki Odpadami

o odpowiednio niskiej zawartości substancji organicznej, umożliwiającej jego składowanie (kod odpadu: 190503). Wówczas, biorąc pod uwagę tzw. opłaty depozytowe, jest to uzasadnione ekonomicznie.

Problem ten dotyczy głównie zagospodarowania odpadów organicznych zawartych w odpadach komunalnych i wynika wprost z ustawy o odpadach. W praktyce, wydzielenie części organicznych z odpadów zmieszanych, polega najczęściej na zastosowaniu wyłącznie przesiewania i wydzieleniu tzw. *frakcji organicznej*, której skład warunkuje jakość surowca poddanego dalszemu przetwarzaniu. I chociaż ciągle trwa dyskusja, co do definicji pojęcia - *frakcja organiczna*, to wykorzystanie metody tlenowej do stabilizacji takiej frakcji jest rozwiązaniem coraz częściej stosowanym [Bilitewski 2003, Jędrzak 2007].

### CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem badań było określenie możliwości zastosowania kompostowania do przeróbki, wydzielonej w procesie przesiewania, frakcji odpadów umownie nazywanej frakcją organiczną.

Zakres przeprowadzonych badań obejmował w zasadzie trzy etapy polegające na: etap 1 - oszacowaniu potencjału odpadów gminy Koszalin w kontekście biologicznego ich przetwarzania, etap 2 - wykonaniu badań fizykochemicznych wydzielonych frakcji pozyskanych z reprezentatywnej próbki odpadów zmieszanych oraz przeprowadzeniu analizy uzyskanych wyników (etap 3).

Podstawą wykonania etapu pierwszego był materiał źródłowy dotyczący badań strukturalnych odpadów komunalnych z terenu gminy Koszalin, przeprowadzonych w 2009 roku [PGK 2009].

Pobieranie i przygotowywanie próbek, w ramach etapu drugiego, wykonano zgodnie z normami:

- PN-Z-15011-1 pt. Kompost z odpadów komunalnych. Pobieranie próbek,
- PN-R-04006 pt. Nawozy organiczne. Pobieranie i przygotowanie próbek obornika i kompostu.

Do badań fizykochemicznych przeprowadzonych w etapie drugim, wykorzystano próbki frakcji organicznych pozyskanych w trakcie badań terenowych z zastosowaniem sit o wymiarach oczek: 100x100, 40x40 i 20x20 mm. Badania laboratoryjne obejmowały oznaczenia następujących wskaźników: wilgotność / substancja organiczna (s.o.) wg PN-Z-15011-3 - metodą wagową, azot ogólny ( $N_{og}$ ) wg PN-R-04006 - makroanalizatorem VARIOMAX CN firmy Elementar, azot amonowy ( $N-NH_4^+$ ) wg PN-R-04006 - przy zastosowaniu spektrofotometru UV mini 1240, ogólny węgiel organiczny (OWO) wg PN-Z-15011-1 i PN-Z-15011-3 - makroanalizatorem VARIOMAX CN firmy Elementar, fosfor ogólny ( $P-PO_4^{3-}$ ) wg PN-Z-15011-1 i PN-Z-15011-3 przy zastosowaniu spektrofotometru UV mini 1240. W wydzielonych próbkach oznaczono również, całkowite

zawartości: Cu, Cr, Cd, Ni, Pb, Zn i Hg metodą płomieniowej spektrometrii absorpcji atomowej (FAAS) przy zastosowaniu aparatu PU Philips 9100X. Oznaczenie rtęci wykonano techniką zimnych par (CV AAS).

### WYNIKI BADAŃ

Ilość surowca, wydzielonego ze zmieszanych odpadów komunalnych, który ze względu na właściwości chemiczne można poddać procesowi stabilizacji biologicznej w warunkach tlenowych, zależy od ilości odpadów i technologii ich mechanicznego przetwarzania. Czynnikiem ekonomicznym powoduje, że wiodącym procesem jednostkowym stosowanym w fazie mechanicznego przetwarzania odpadów jest przesiewanie. Przesiewanie odpadów w zakładzie przetwarzania odpadów bytowo-gospodarczych z terenu gminy Koszalin (ZUO), docelowo będzie realizowane na dwóch sitach o wymiarach oczek 100x100 mm (ewentualnie 90x90 mm) i 40x40 mm. Zastosowanie w/w sit, jest zgodne z wytycznymi zawartymi w dokumencie umieszczonym na stronie Ministerstwa Środowiska traktowanym jako materiał referencyjny (<http://www.mos.gov.pl>).

*Tab. 1. Udziały procentowe części biodegradowalnej w wydzielonych frakcjach oraz poszczególnych frakcji w całej masie odpadów [PGK 2009]*

*Tab. 1. Percentage of investigated fractions in waste and percentage of biodegradable waste in this fractions [PGK 2009]*

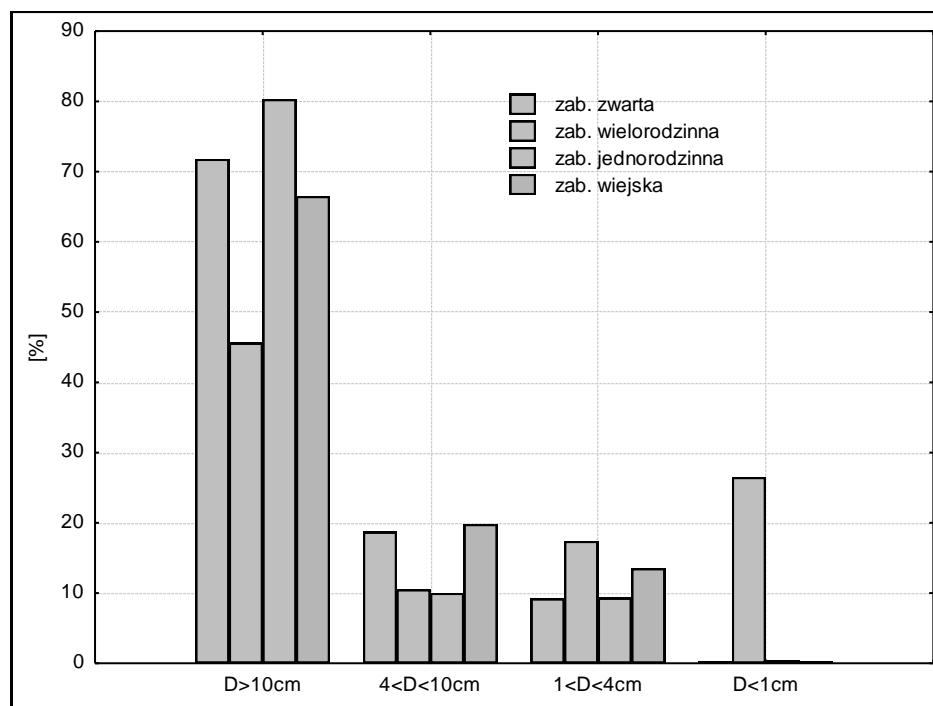
Lp.	Fracja granulometryczna	Rodzaj zabudowy							
		zwarta - centrum		wielorodzinna		jednorodzinna		wiejska	
		1, (%)	2, (%)	1, (%)	2, (%)	1, (%)	2, (%)	1, (%)	2, (%)
1.	> 100 mm	22,1	71,8	11,1	45,6	26,9	80,3	1,4	66,5
2.	40 - 100 mm	67,9	18,7	37,9	10,5	45,4	10,0	67,9	19,8
3.	10 - 40 mm	-	9,2	-	17,4	-	9,3	-	13,5
4.	< 10 mm	-	0,3	-	26,5	-	0,4	-	0,2
		uwagi: 1 - udział części biodegradowalnej w danej frakcji 2 - udział danej frakcji w odpadach zmieszanych							

W tabeli 1, przedstawiono wyniki obliczeń zawartości odpadów ulegających biodegradacji w analizowanych frakcjach, z uwzględnieniem czterech obszarów o różnej strukturze zabudowy wraz z udziałami procentowymi poszczególnych frakcji granulometrycznych. Podstawą obliczeń były badania strukturalne odpadów przeprowadzone na zlecenie PGK Koszalin [PGK 2009]. Określając udział procentowy części biodegradowalnej, zawartej we frakcji powyżej 100 mm, nie

uwzględniono papieru i drewna, które ze względu na walory użytkowe należy traktować jako surowce wtórne. W przypadku frakcji 40-100 mm, część biodegradowalną określono z uwzględnieniem odpadów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz papieru. Frakcje 10-40 mm i poniżej 10 mm, analizowano w całości bez podziału na różne składniki.

W roku 2009, ilość odpadów zmieszanych, dostarczonych na teren ZUO wyniosła 47.444 Mg. Przyjmując przedstawione w tabeli 1 dane oraz zakładając, że udział obszarów o zabudowie: zwartej (centrum), wielorodzinnej, jednorodzinnej i wiejskiej na terenach objętych zbiórką odpadów, wynosi odpowiednio: 25, 40, 25 i 10%, to ilość frakcji ulegającej biodegradacji, zawartej w odpadach zmieszanych, można szacować odpowiednio:

- frakcja granulometryczna > 10 mm	5.432,8 Mg
- frakcja granulometryczna 40-100 mm	3.504,7 Mg
- frakcja granulometryczna 10-40 mm	5.171,4 Mg
- frakcja granulometryczna < 10 mm	5.123,9 Mg



Rys. 1. Udziały procentowe badanych frakcji w odpadach komunalnych  
Fig. 1. Percentage of investigated fractions in municipal waste

Całkowita ilość, określonej w powyższy sposób, frakcji biodegradowalnej zawartej w odpadach bytowo-gospodarczych wyniosła 19.233 Mg, co stanowiło 41% całej masy odpadów. Udział procentowy frakcji organicznych, w całej puli

odpadów biodegradowalnych, wynosił odpowiednio: >100 mm – 28%, 40-100 mm – 18%, 10-40 mm – 27% i < 10 mm – 27%.

W tabeli 2 przedstawiono właściwości fizyczno-chemiczne frakcji < 20 mm i 20-40 mm oraz części organicznych pochodzenia roślinnego, zwierzęcego i papieru wydzielonych z frakcji 40-100 mm, nazywanej dalej frakcją średnią. W badaniach terenowych nie stwierdzono obecności części organicznych we frakcji powyżej 100 mm.

Tab. 2. Wyniki badań laboratoryjnych wydzielonych frakcji odpadów

Tab. 2. Results of laboratory analysis of fractions separated from waste

Wskaźnik	Frakcja < 20 mm	Frakcja 20-40 mm	Frakcja 40-100 mm		
			papier	części organiczne	średnia ważona
wilgotność [%]	51,5	48,6	28,7	76,2	47,0
sub. org. [% s.m.]	61,4	76,1	85,6	89,2	87,0
N og. [% s.m.]	1,63	1,57	0,31	1,71	0,85
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [% s.m.]	0,026	0,029	0	0,037	0,01
j.w. (105°C)	0,0057	0,0079	0	0,0088	0
OWO [% s.m.]	32,20	38,03	38,76	41,03	39,6
P og. [mg/kg s.m.]	2062	2957	228	499	332,2
Cu [mg/kg s.m.]	36,22	32,27	19,26	16,82	18,3
Cr [mg/kg s.m.]	68,55	113,32	72,89	29,70	56,3
Cd [mg/kg s.m.]	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
Ni [mg/kg s.m.]	39,95	50,88	40,23	17,78	31,6
Pb [mg/kg s.m.]	146,89	74,77	29,41	37,82	32,6
Zn [mg/kg s.m.]	464,50	384,96	136,02	148,17	140,7
Hg [mg/kg s.m.]	0,262	0,200	n.w.	0,137	0,05

Biorąc pod uwagę deponowanie stabilizatu lub wykorzystanie go do budowy warstw technologicznych na składowisku ewentualnie do rekultywacji terenów nieużytkowanych rolniczo, to stwierdzona obecność metali ciężkich w badanych frakcjach nie stwarza problemu. Jednocześnie koncentracja metali ciężkich w substracie jest na tyle niska, że nie może być czynnikiem inhibitującym proces kompostowania [Epstein 1997].

#### ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Podstawowe kryterium, warunkujące prawidłowy przebieg biologicznej stabilizacji frakcji organicznej w warunkach tlenowych, stanowią właściwości fizykochemiczne odpadów wpływające na wartość określonych parametrów technologicznych, a w szczególności dwóch spośród nich charakteryzujących

tw. wsad kompostowy. Są to wilgotność kompostowanego materiału oraz proporcja składników nawozowych tj. C: N i C: P [Baffi 2007, Bernal 1998, Iglesias-Jimenez 1992]. Optymalna wilgotność wsadu powinna wynosić 50÷60%. Zbyt duża zawartość wody powoduje blokowanie porów pomiędzy granulami, co uniemożliwia swobodne przenikanie powietrza [Bilitewski i in. 2003]. Najwyższa, stwierdzona podczas badań, wilgotność próbek odpadów wynosiła niecałe 52% (frakcja poniżej 20 mm), a średnia ważona wartość wilgotności, policzona dla trzech frakcji opisanych w tabeli 2, nie przekracza 50%.

Zawartość składników nawozowych w samej frakcji organicznej, wydzielonej z frakcji średniej (bez papieru) wskazuje, że proporcja pomiędzy węglem organicznym (OWO) i azotem ogólnym wynosi 24:1, a pomiędzy OWO i fosforem ogólnym 820:1 (optymalnie 100:1). Uwzględnienie papieru, ze względu na niską zawartość azotu, powoduje wzrost wartości C:N do 47. Należy zatem stwierdzić, że kryterium ilorazu C:N (optymalnie 20÷30:1) nie jest w pełni spełnione. W przypadku proporcji węgla do fosforu, obliczonej dla średnich ważonych obu wskaźników, ustalona wartość ilorazu C/P = 1193 jest znacznie większa, niż ustalona dla tej frakcji z wyłączeniem papieru (C/P= 822). Niedobór obu makroelementów, a w szczególności fosforu, może ograniczać prawidłowy przebieg kompostowania. W dwóch pozostałych frakcjach stosunek węgla organicznego do azotu ogólnego wyniósł 24 i 20 odpowiednio dla frakcji pomiędzy 20 mm a 40 mm i poniżej 2 mm. W obu frakcjach drobnych, uzyskany wynik również potwierdził niską zawartość fosforu, jakkolwiek stężenie fosforu w odniesieniu do suchej masy było średnio pięciokrotnie wyższe, niż we frakcji średniej.

W związku z powyższym, wykonując bilans wsadu, należy przewidzieć dodatek składnika zwiększającego zarówno wilgotność, jak i zawartość azotu i fosforu w kompostowanym materiale. Surowcem, który mógłby być wykorzystany w tym celu są odwodnione mechanicznie osady z oczyszczalni ścieków komunalnych.

Ogólne równanie bilansu masy, uwzględniające wszystkie składniki wsadu kompostowego, można przedstawić w następujący sposób:

$$\sum_{i=1}^n m_w w_w = m_1 w_1 + m_2 w_2 + \dots + m_i w_i \quad (1)$$

Poszczególne wielkości w równaniu (1), oznaczają masy wszystkich składników wsadu oraz ich wilgotności względne. Przyjmując, że do stabilizacji będzie kierowana w całości frakcja średnia i frakcja drobna powyżej 20 mm, oszacowana ilość odpadów biodegradowalnych w ciągu doby wynosi 29 Mg, a średnia ważona wilgotność mieszaniny obu frakcji nie przekracza 47%. Zakładając wilgotność wsadu na poziomie 55% obliczono, że dobowo ilość odwodnionych mechanicznie osadów ściekowych, które można alternatywnie wykorzystać na etapie formowania wsadu, wynosi 8,5 Mg. Ustalenie wyjścio-

wej wilgotności wsadu na poziomie 60%, powoduje wzrost dobowej ilości dodawanych osadów do 18 Mg.

Wykorzystanie osadów ściekowych, ze względu na wysoką koncentrację azotu i fosforu, znacznie poprawia bilans składników nawozowych stabilizowanej masy. Prowadzone przez autorów badania w latach 2007-2009, dotyczące kompostowania osadów ściekowych wykazały, że średnia zawartość OWO oraz azotu i fosforu ogólnego w osadach, wynosi odpowiednio: 35, 6 i 6% s.m. [Sidelko 2010, Sidelko i in. 2008]. W omawianym przypadku, dodatek osadów ściekowych do wsadu, skutkuje obniżeniem wartości ilorazów C/N i C/P do 25 i 83.

### PODSUMOWANIE

Zastosowanie stabilizacji tlenowej, wydzielanych w procesie przesiewania odpadów komunalnych, frakcji o dużej zawartości części organicznych, umownie nazywanej frakcją organiczną, jest możliwe chociaż wymaga kontroli wybranych parametrów technologicznych warunkujących prawidłowy przebieg procesu biologicznego. Zasadniczym problemem z tym związanym jest wilgotność bilansowanych frakcji oraz zawartość w nich składników odżywczych niezbędnych do funkcjonowania organizmów stanowiących czynną biologicznie biomasę mikroorganizmów heterotroficznych. W tym względzie, dodatek odwodnionych, niestabilizowanych osadów ściekowych jest niezmiernie istotny.

Określając ilość osadów, wykorzystywanych jako składnik wsadu, na etapie opracowywania założeń techniczno-ekonomicznych (ZTE) ZUO, należy uwzględnić szereg czynników wpływających na wartość końcową. Przede wszystkim jest to wilgotność frakcji organicznej ulegająca dużym wahaniom sezonowym. Decydująca jest również ostateczna ilość i rodzaj wydzielanych frakcji kierowanych do stabilizacji. Jeśli na przykład, frakcja poniżej 20 mm zostanie formalnie uznana za frakcję mineralną, to ilość frakcji organicznej w bilansowanych odpadach z 19.233 Mg/rok, spadnie do około 11.500 Mg/rok tj. blisko o 40%. Uwzględniając w bilansie masy frakcję drobną, należy brać pod uwagę również sposób w jaki proces stabilizacji jest prowadzony. Jeżeli przewiduje się zastosowanie rektorów z intensywnym mieszaniem wsadu, wówczas zawartość składników mineralnych w tej frakcji (szkło, piasek, metal), powoduje szybkie zużycie części ruchomych. Istotnej zmianie może ulec również masa frakcji średniej, ponieważ szacując jej ilość w wysokości 3.504,7 Mg/rok, uwzględniono jedynie części organiczne i papier, pomijając pozostałe składniki tej frakcji jako inertne. Obecność składników traktowanych w tym przypadku jako balast, nie wpłynie na zmianę omawianych parametrów technologicznych natomiast istotnie zwiększy porowatość wsadu, polepszając tym samym warunki procesowe.

### LITERATURA

1. BAFFI C.: *Determination of biological stability in compost: a comparison of methodologies*. Soil Biological Biochemistry 39, 1284-1293, 2007
2. BILITEWSKI B., HARDTLE A., MAREK K.: *Podręcznik Gospodarki Odpadami*, Seidel Przywecki Sp.z.o.o. Warszawa 2003
3. BERNAL M.P.: *Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic waste*. Bioresource Technology 63, 91-99, 1998
4. EPSTEIN E.: *The science of composting*. Technomic Publishing Company, USA 1997
5. IGLESIAS-JIMENEZ E., PEREZ-GARCIA V.: *Determination of maturity indices for city refuse composts*. Agr. Ecosyst. Environ. 38, 331-343, 1992
6. JĘDRCZAK A.: *Biological treatment of waste*. PWN 2007
7. PGK Koszalin: *Zestawienie wyników badań składu sitowego, morfologicznego i chemicznego odpadów komunalnych i wysortowanych frakcji*. Laboratorium Zakładu Utylizacji Odpadów Sp.z o.o. w Gorzowie Wlkp. 2009 r.
8. SIEDEŁKO R., SZYMAŃSKI K.: *Application of dynamic bioreactor in composting process of sewage sludge*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Vol. 11, 331-343, Częstochowa 2008
9. SIEDEŁKO R.: *Two composting phases running in different process conditions timing relationship*. Bioresources Technology 101, 6692-6698, 2010
10. SIEDEŁKO R.: *Przeróbka osadów ściekowych – badania wpływu parametrów technologicznych oraz czasu przetrzymania masy kompostowej w bioreaktorze na stabilność i higienizację produktu końcowego*. Raport końcowy projektu rozwojowego nr R14 001 02. Koszalin 2008

### APPLICATION OF COMPOSTING TO PROCESSING OF ORGANIC FRACTION SEPARATED FROM MUNICIPAL WASTE

#### *Abstract*

*In this article a results of investigation tracked to qualify possibility of processing of organic fraction separated from municipal waste has been presented. The research of waste structural was carry in Koszalin. A factor witch has been taken into consideration to have representative samples was differences between infrastructure of commune. A physical and chemical analysis has been limited to indexes need to verify of usefulness of raw material for biological stabilization in the presence of oxygen. One*



*of the analyzed indexes were heavy metals witch can be treated as a limiting factor. Assessment of use of biological method to digested organic fraction has been made in relation to necessity of cultivation of biodegradable waste and cut the ZUO upkeep costs.*

Key words: municipal waste, organic fraction, stabilization, composting