

Marlena DEBICKA¹, Maria ŻYGADŁO¹ i Jolanta LATOSIŃSKA¹

BADANIA BIOSUSZENIA ODPADÓW KOMUNALNYCH

INVESTIGATIONS OF BIO-DRYING PROCESS OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Abstrakt: Artykuł prezentuje analizę pracy reaktora służącego do mechaniczno-biologicznej stabilizacji odpadów. Przeprowadzono badania odpadów komunalnych kierowanych do reaktora (0-80 mm), a także stabilizatu (0-20 mm, 20-80 mm) powstałego po 7-dniowym suszeniu. Wyznaczono następujące parametry: straty prażenia (LOI), wilgotność, pH, siarczany, chlorki, metale ciężkie oraz aktywność oddechową. W celu określenia stabilizacji materiału mierzono ubytek O₂ i produkcję CO₂. Uzyskane wyniki pozwoliły ocenić efektywność pracy reaktora przemysłowego do przeróbki zmieszanych odpadów komunalnych. Badania prowadzono z użyciem następujących urządzeń: respirometr OXYMAX ER-10, chromatograf jonowy 883 Basic IC plus, spektrometr z plazmą ICP.

Słowa kluczowe: mechaniczno-biologiczna stabilizacja odpadów, biosuszenie odpadów komunalnych, respirometria

Wstęp

Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie (MBP) odpadów jest procesem zintegrowanym, w skład którego wchodzi: przeróbka mechaniczna (rozdrabnianie, przesiewanie, separacja i klasyfikacja) [1] oraz biologiczna (metody tlenowe i beztlenowe) [2]. Zadaniem instalacji MBP jest przeróbka zmieszanych odpadów komunalnych w celu zmniejszenia ilości odpadów kierowanych na składowiska. W efekcie metoda ta prowadzi do odzysku energetycznego (energia, elektryczność) lub materiałowego (recykling organiczny). Generalnie metody tlenowe dzielimy na kompostowanie oraz mechaniczno-biologiczną stabilizację (MBS), nazywaną również biosuszeniem [3]. Biologiczne suszenie jest stosunkowo nowym kierunkiem. Głównym celem biosuszenia jest produkcja paliwa alternatywnego, natomiast pośrednim - ustabilizowanie odpadów kierowanych na składowisko.

Prezentowane wyniki badań mają na celu weryfikację skuteczności pracy przemysłowego reaktora skonstruowanego na użytek biosuszenia frakcji organicznej zawartej w odpadach komunalnych. Reaktor jest częścią składową linii mechaniczno-biologicznej przeróbki odpadów (MBP).

Charakterystyka linii technologicznej

W skład analizowanej linii technologicznej wchodzi: sita, reaktor, moduł aktywnego napowietrzania z nagrzewnicą oraz biofiltr roślinny do usuwania odorów. Reaktor stanowi prostopadłościan zbudowany ze stali poddanej kąpeli cynkowania ogniowego. Do reaktora kierowana jest frakcja zmieszanych odpadów komunalnych o średnicy 0-80 mm. Wysokość warstwy odpadów wynosi ~ 2/3 wysokości komory suszącej. Czas przebywania odpadów

¹ Zakład Gospodarki Odpadami, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia PP 7, 25-314 Kielce, tel. 41 342 47 33, fax 41 342 45 27, email: mdebicka@tu.kielce.pl, zygadlo@tu.kielce.pl, jlatosin@tu.kielce.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

w bioreaktorze waha się między 7 a 14 dni. Proces wspomagają wentylatory: nawiewny (napowietrzania złoża) i wywiewny (odprowadzenie wilgoci). Moc silnika wentylatora nawiewnego wynosi 7,5 kW. Maksymalna ilość powietrza nawiewanego do reaktora wynosi 4500 m³/h. Wentylator wywiewny o mocy silnika 4,0 kW, stanowiący jednocześnie wyciąg powietrza wilgotnego i nawiew dla biofiltra, pracuje z wydajnością 3000 m³/h.

Omawiana koncepcja technologiczna z wykorzystaniem reaktora zakłada rozdział odpadów po biologicznym suszeniu na frakcje 0-20 mm i 20-80 mm. Zgodnie z koncepcją, przewiduje się skierowanie na składowisko wysuszonej frakcji 0-20 mm, oznaczonej kodem 19 12 12. Frakcję 20-80 mm o kodzie 19 12 10 (odpady palne, paliwo alternatywne) kieruje się natomiast do termicznego przekształcania odpadów, co jest zgodne z § 5.6. rozporządzenia [4].

W związku z koncepcją technologiczną, zakładającą skierowanie frakcji 0-20 na składowisko, przeanalizowano straty prażenia dla tej frakcji i odniesiono do wymogów Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie składowania odpadów [12]. Zgodnie z zapisami rozporządzenia [12], odpady o kodzie 19 12 12 mogą być przyjmowane na składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, jeżeli spełnią wymagania zawarte w załączniku 4:

- ogólny węgiel organiczny (TOC) 5% s.m.
- strata przy prażeniu (LOI) 8% s.m.
- ciepło spalania maksimum 6 MJ/kg s.m.

Biorąc pod uwagę zapisy § 7 [12], kryteria te zaczną obowiązywać dopiero od dnia 1 stycznia 2016 r. Jednakże wybiórcza kontrola parametrów odpadów kierowanych do składowania pozwoli uświadomić, jak trudno spełnić te restrykcyjne parametry. Wymogi te przyczynią się do znacznego ograniczenia ilości składowanych odpadów.

Warunki stawiane produktom mechaniczno-biologicznego przetwarzania

W procesie mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów zmieszanych wydziela się frakcję biodegradowalną 0-80 mm, oznaczoną kodem 19 12 12 (odpady zmieszane z mechanicznej obróbki) [4]. Proces biologicznego suszenia powinien być prowadzony w zamkniętym reaktorze z aktywnym napowietrzaniem przez minimum 7 dni. Finalnie frakcja 0-80 mm powinna spełnić jeden z poniższych warunków:

- straty prażenia stabilizatu poniżej 35% suchej masy, a zawartość węgla organicznego poniżej 20% suchej masy lub
- ubytek masy organicznej w stabilizacie w stosunku do masy organicznej w odpadach mierzony stratą prażenia lub zawartością węgla organicznego jest większy niż 40%, lub
- wartość AT₄ poniżej 10 mg O₂/g suchej masy.

W celu oceny prawidłowości przeprowadzonego procesu biosuszenia przeanalizowano straty prażenia i aktywność oddechową AT₄ dla frakcji 0-20 mm oraz straty prażenia dla frakcji 20-80 mm.

Miarą stopnia ustabilizowania odpadów jest aktywność oddechowa AT₄, rozumiana jako 4-dniowe zapotrzebowanie próbki na tlen. Parametr AT₄ określa zdolność odpadów do dalszego rozkładu biologicznego [3]. Aktywność oddechową mierzy się w atmosferze tlenowej na próbce o masie min. 30 g i wilgotności 40-50% [5]. Ilość zużytego przez

mikroorganizmy tlenu może być mierzona metodami: statycznymi (bez ciągłej podaży tlenu) oraz dynamicznymi (stały dopływ tlenu). Należy zaznaczyć, że obecnie najczęściej wykonuje się pomiary AT_4 na Sapromacie i OxiTopie (metoda statyczna). W urządzeniach tych może wystąpić ryzyko niedotlenienia próbki i zafałszowanie ostatecznego wyniku. Ponadto na zakłócenie wyników mają również wpływ produkty rozkładu, które aparat błędnie interpretuje jako CO_2 . Wśród aparatów działających metodą dynamiczną są respirometry kompostowe Mico-Oxymax oraz Costech [6, 7].

Materiały i metody badawcze

Zakres badań obejmował dwa etapy: badania odpadów kierowanych do stabilizacji oraz badania przetworzonych odpadów metodą MBP, czyli stabilizatu. Charakterystykę materiałów poddawanych badaniom ze względu na analizowane parametry zestawiono w tabelach 1 i 2. Próby odpadów zmieszanych 0-80 mm kierowanych do reaktora pobrano zgodnie z metodą kwartowania [8]. Oznaczenie wilgotności polegało na wagowym określeniu straty masy odpadów suszonych w temperaturze $105^{\circ}C$ wg [9]. Masa analizowanej próby wynosiła ok. 1000 g. Dla próby 5 g oznaczono straty prażenia wg [10]. Podstawą do analizy ilości chlorków, siarczanów oraz metali ciężkich: Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn było sporządzenie wyciągu wodnego z odpadów wg [11]. Zawartość anionów mierzono za pomocą chromatografu jonowego 883 Basic IC plus, natomiast metali ciężkich za pomocą spektrometru z plazmą ICP. Aktywność oddechową prób określano metodą dynamiczną, wykorzystując respirometr kompostowy Oxymax ER-10. Urządzenie rejestrowało w odstępach 5 minut ilość zużytego tlenu i wyprodukowanego ditlenku węgla. Masa próby badawczej dla frakcji 0-80 mm wynosiła 100 g, wilgotność wejściowa 41,39%, rozdrobnienie < 9 mm.

Na linii technologicznej frakcję 0-80 mm odpadów komunalnych poddano 7-dniowej stabilizacji z ciągłym napowietrzaniem. Po rozładunku reaktora stabilizat skierowano na sito obrotowe. Frakcję podsitową stanowił stabilizat 0-20 mm, a nadsitową 20-80 mm. Stabilizat 0-20 mm poddano badaniom analogicznym do frakcji 0-80 mm. Sprawdzone podatność frakcji 0-20 mm na rozkład biologiczny dla próby 300 g wilgotności wejściowej 42% i rozdrobnieniu < 9 mm.

Wyniki

Średnie wartości wilgotności, strat prażenia (LOI) oraz zawartości chlorków i siarczanów przedstawiono w tabeli 1. Wyciągi wodne wykonano, przyjmując stosunek suchej masy do wody użytej do wymywania 1:10.

Tabela 2 przedstawia pH i temperaturę wyciągów. Prezentowane wyniki w tabelach 1 i 2 są średnią z trzech oznaczeń.

W tabeli 3 zestawiono dane dotyczące podatności na rozkład poszczególnych frakcji przed i po stabilizacji. Zbadano aktywność oddechową stabilizatu 0-20 w celu sprawdzenia, czy proces stabilizacji został przeprowadzony prawidłowo i spełnił warunek $AT_4 < 10 O_2/g$ s.m. [4]. Odpady kierowane do reaktora charakteryzują się znacznym zapotrzebowaniem na tlen 48,98 mg O_2/g s.m. Uzyskane wyniki badań porównano z wartościami granicznymi dopuszczalnymi przez [4] dla odpadów po MBS.

Tabela 1

Wilgotność, straty prażenia, zawartość chlorków i siarczanów w odpadach przed i po stabilizacji

Table 1

Values of humidity, loss of ignition, chlorides and sulfates in waste before and after stabilization process

Próba	Frakcja	Wilgotność	Straty prażenia LOI	Zawartość chlorków Cl ⁻	Zawartość siarczanów SO ₄ ²⁻
	[mm]	[%]	[% s.m.]	[mg/kg s.m.]	[mg/kg s.m.]
Przed stabilizacją	0-80	45,00	62,10	1135,41	1347,83
Po stabilizacji	0-20	30,48	24,80	2339,20	7614,69
Po stabilizacji	20-80	35,61	49,20	458,08	1416,26

Tabela 2

Parametry wyciągu wodnego dla odpadów przed i po stabilizacji

Table 2

The parameters for waste water extract before and after stabilization process

Próba	Frakcja	pH	Przewodnictwo właściwe	Uwagi
	[mm]	[-]	[mS]	Warunki temperaturowe
Przed stabilizacją	0-80	7,4	18,48	24,33°C
Po stabilizacji	0-20	7,5	19,07	27,80°C
Po stabilizacji	20-80	7,6	28,15	28,40°C

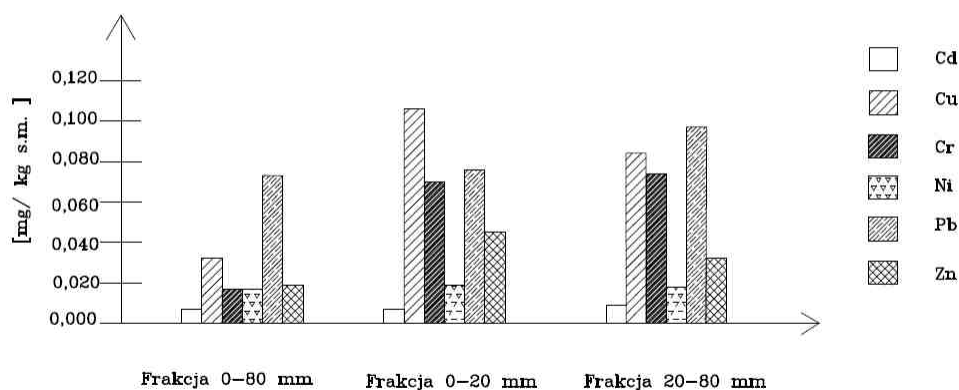
Tabela 3

Zestawienie ilości mierzonych gazów dla poszczególnych frakcji

Table 3

The amounts of measured gases for different fraction

Próba	Frakcja	Skumulowany pobór O ₂	Skumulowana produkcja CO ₂	Średni CO ₂ /O ₂	Zapotrzebowanie O ₂ /96 h
	[mm]	[mg/96 h]	[mg/96 h]	[-]	[mg O ₂ /g s.m.]
Przed stabilizacją	0-80	2870,89	3578,19	1,16	47,85
Po stabilizacji	0-20	1633,23	1939,48	1,04	8,17



Rys. 1. Udział metali ciężkich w odpadach przed i po stabilizacji w bioreaktorze z aktywnym napowietrzaniem

Fig. 1. The participation of heavy metals in waste before and after stabilization process in bioreactor with active aeration

Rysunek 1 ilustruje zmienność metali ciężkich w badanych frakcjach oznaczonych metodą spektrometrii. Przyjęto następujące długości fal [nm] dla poszczególnych pierwiastków:

- Cd 228,802	- Cu 327,393	- Cr 267,716
- Ni 231,604	- Pb 220,353	- Zn 206,200

Wnioski

Proces 7-dniowego biosuszenia odpadów zakończył się utratą 10,61% wilgotności frakcji 20-80 mm, natomiast 14,52% spadek wilgotności zanotowano dla frakcji 0-20 mm. Po stabilizacji skumulowana zawartość chlorków w stabilizatach 0-20 i 20-80, zidentyfikowana w wyciągu wodnym, zwiększyła się 1,5 raza w stosunku do zawartości w odpadach surowych. W żadnej próbie ilość Cl^- nie przekroczyła wartości granicznej 15 000 mg/kg s.m., określanej rozporządzeniem [12]. Zauważalna jest dominacja anionów SO_4^{2-} we frakcji 0-20 mm 7614,69 mg/kg s.m., jednak znajduje się ona poniżej dopuszczalnego poziomu 20 000 mg/kg s.m. określonego w rozporządzeniu [12].

W wyniku procesu stabilizacji następuje rozkład substancji organicznych złożonych na prostsze i częściowa mineralizacja [13]. Zwiększa się zatem ilość metali ciężkich w stabilizacie, co potwierdza wzrostowa tendencja udziału metali ciężkich przedstawiona na rysunku 1. Największy, bo aż ponad 75% przyrost zaobserwowano w przypadku chromu. W efekcie przemian zachodzących w suszonych odpadach wykryto znaczny wzrost zawartości miedzi, który wyniósł 69,55% dla frakcji 0-20 mm oraz 61,44% dla frakcji 20-80 mm. Najmniejszy średni przyrost w wysokości 10,82% zanotowano dla niklu. Zawartość metali w odpadach spowodowana jest obecnością materiałów niepożądanych, takich jak metale żelazne i nieżelazne oraz odpady niebezpieczne, np. baterie, świetlówki. Segregacja odpadów „u źródła” jest doraźnym rozwiązaniem zmniejszającym udział metali ciężkich w odpadach kierowanych do biologicznej przeróbki [14].

Należy jednak zauważyć, iż zawartość metali ciężkich jest znacznie poniżej dopuszczalnych wartości wg załącznika 3 [12], określonych dla metali: Cd = 1 mg/kg s.m., Cu = 50 mg/kg s.m., Cr = 10 mg/kg s.m., Ni = 10 mg/kg s.m., Pb = 10 mg/kg s.m. oraz Zn = 50 mg/kg s.m.

Straty prażenia odpadów przed stabilizacją wyniosły 62,10% s.m. Po stabilizacji próby wykazały zdecydowanie niższe straty (24,80% s.m. dla frakcji 0-20 mm, 49,20% s.m. dla frakcji 20-80 mm). Według warunków prowadzenia procesu biologicznego suszenia, straty prażenia powinny być poniżej 35% s.m. W związku z tym jedynie frakcja 0-20 mm spełniła ten warunek.

Kolejne kryterium decydujące o tym, czy biosuszenie zostało przeprowadzone prawidłowo, to poziom aktywności oddechowej poniżej 10 mg O_2/g s.m. Frakcja surowych odpadów 0-80 cechuje się największą aktywnością biologiczną 47,85 mg O_2/g s.m. Wartość 4-dniowego zapotrzebowaniem na tlen dla frakcji 0-20 mm wynosi 8,17 mg O_2/g s.m. Ponieważ zapotrzebowanie na tlen wynosi poniżej 10 mg O_2/g s.m., można uznać, że proces biosuszenia odpadów dla frakcji 0-20 mm został przeprowadzony prawidłowo.

Jednak w świetle kryteriów zawartych w rozporządzeniu [12], frakcja 0-20 mm nie może być składowana, gdyż poziom strat prażenia dla tej frakcji znacznie przekracza

dopuszczalną wartość 8% s.m. W konkluzji, aby spełnić kryteria określone zapisami [4] i [12] należy wydłużyć proces biosuszenia odpadów w reaktorze przemysłowym do stanu, gdy straty prażenia frakcji kierowanej na składowisko (0-20 mm) osiągną wartości nie wyższe niż 8% s.m.

Literatura

- [1] Bilitewski B. Mechanical Treatment: Unit Processes. Solid Waste Technology & Management. Vol. 1. United Kingdom: A. John Wiley and Sons; 2011.
- [2] Żygadło M. Principles of solid waste treatment and management. Kielce: Kielce University of Technology; 2013.
- [3] Wytyczne Ministerstwa Środowiska dotyczące wymagań dla procesów kompostowania, fermentacji i mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Warszawa: 2008.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych (DzU Nr 0, poz. 1052).
- [5] Pod red. Siemiątkowskiego G. Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych. Przewodnik po wybranych technologiach oraz metodach badań i oceny odpadów powstałych w tych procesach. Opole: Wyd Instytut Śląski; 2012; 61-91.
- [6] Gomez RB, Lima FV, Ferrer AS. The use of respiration indicators in the composting process: a review. Waste Manage Research. 2006; 37:37-47.
- [7] Binner E, Böhm K, Lechner P. Large scale study on measurement of respiration activity (AT4) by Sapromat and OxiTop. Waste Manage Research. 2012;32:1752-1759.
- [8] BN-87-9103-03. Odpady stałe. Pobieranie, przechowywanie i przygotowanie próby laboratoryjnej do badań.
- [9] PN-Z-15008-02. Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie wilgotności całkowitej.
- [10] PN-EN 15169. Charakteryzowanie odpadów. Oznaczanie straty prażenia odpadów, szlamów i osadów.
- [11] PN-Z 15009. Odpady stałe. Przygotowanie wyciągu wodnego.
- [12] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (DzU Nr 0, poz. 38).
- [13] Żygadło M. Gospodarka odpadami komunalnymi. Kielce: Wyd Politechniki Świętokrzyskiej; 2002.
- [14] Latosińska J. Utrzymywanie czystości w gminie. Kielce: Wyd Politechniki Świętokrzyskiej; 2013; 47-48 .

INVESTIGATIONS OF BIO-DRYING PROCESS OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Division of Solid Waste Management, Department of Engineering and Environment Protection
Faculty of Environmental Engineering, Geomatics and Power Engineering
Kielce University of Technology

Abstract: Operation analysis of the mechanical-biological stabilization reactor was presented. Results of investigations of raw MSW (0-80 mm) and stabilat (0-20 mm, 20-80 mm) which are the resulting material after the 7th days bio-drying processes, were discussed. The loss of ignition (LOI), humidity, pH, the amount of sulfur, chlorides, heavy metals and the biologically stable state are the main investigated parameters. To evaluate the material stabilization, the determination of the O₂ uptake and CO₂ production was measured. The results allowed to evaluate the work effectiveness of the industrial reactor constructed for MSW treatment. The experiments were led using an OXYMAX respirometer ER-10 (Columbus Instruments), an ion chromatograph 883 Basic IC plus, spectrometer with plasma ICP.

Keywords: mechanical-biological stabilization, biodrying MSW, respirometry