
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 16
(styczeń–marzec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VII

Warszawa–Opole 2014

DARIA GAŚSIOR*
EWELINA ŚLĘZAK**
AGNIESZKA SZEWCZYK***

Wpływ stopnia stabilizacji zmieszanych odpadów komunalnych na wybrane parametry fizykochemiczne

Słowa kluczowe: zmieszane odpady komunalne, mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów, stabilizacja odpadów.

W związku z intensywnym rozwojem cywilizacyjnym oraz wzrostem jakości życia mieszkańców miast i gmin, zmieszane odpady komunalne stały się jedną z głównych przyczyn zanieczyszczeń środowiska. Istotnym zadaniem gospodarki odpadami komunalnymi, zwłaszcza odpadami ulegającymi biodegradacji, jest sukcesywne zmniejszanie ich ilości przed składowaniem. Proces mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBP) odpadów jest metodą zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych, która zmierza do redukcji ich masy i objętości, a także pozwala na stabilizację substancji organicznej zawartej w odpadach oraz na zmniejszenie ich potencjału gazotwórczego. W artykule przedstawiono wyniki badań fizykochemicznych próbek zmieszanych odpadów komunalnych poddanych procesowi mechaniczno-biologicznego przetwarzania. Badane próbki pobierano w kolejnych etapach stabilizacji z dwóch zakładów gospodarki odpadami w czasie ośmiu oraz siedmiu tygodni. W pobranych próbkach oznaczono zawartość wody, strat przy prażeniu suchej masy (LOI) oraz zawartość ogólnego węgla organicznego z wykorzystaniem analizatora TOC z detektorem NDIR. Próbki zostały również przebadane w zakresie oznaczenia zawartości pierwiastków C i N przy użyciu analizatora elementarnego CHNS. Celem prowadzonych badań była ocena wpływu stopnia stabilizacji zmieszanych odpadów komunalnych na wymienione parametry fizykochemiczne. Uzyskane wyniki analiz próbek materiałów poddanych procesom MBP, przy zastosowaniu odmiennych technologii stabilizacji, mieściły się w znacznym stopniu w dopuszczalnych wartościach granicznych określonych przez ustawodawcę.

** Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, d.gasior@icimb.pl

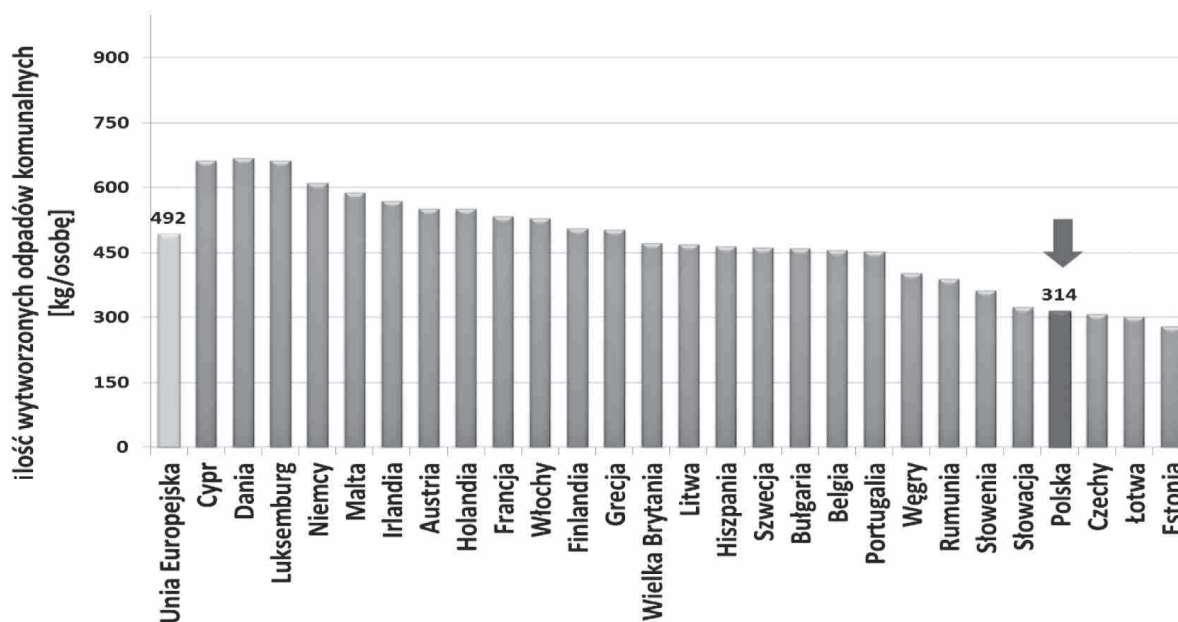
** Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, e.slezak@icimb.pl

*** Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, a.szewczyk@icimb.pl

1. Wprowadzenie

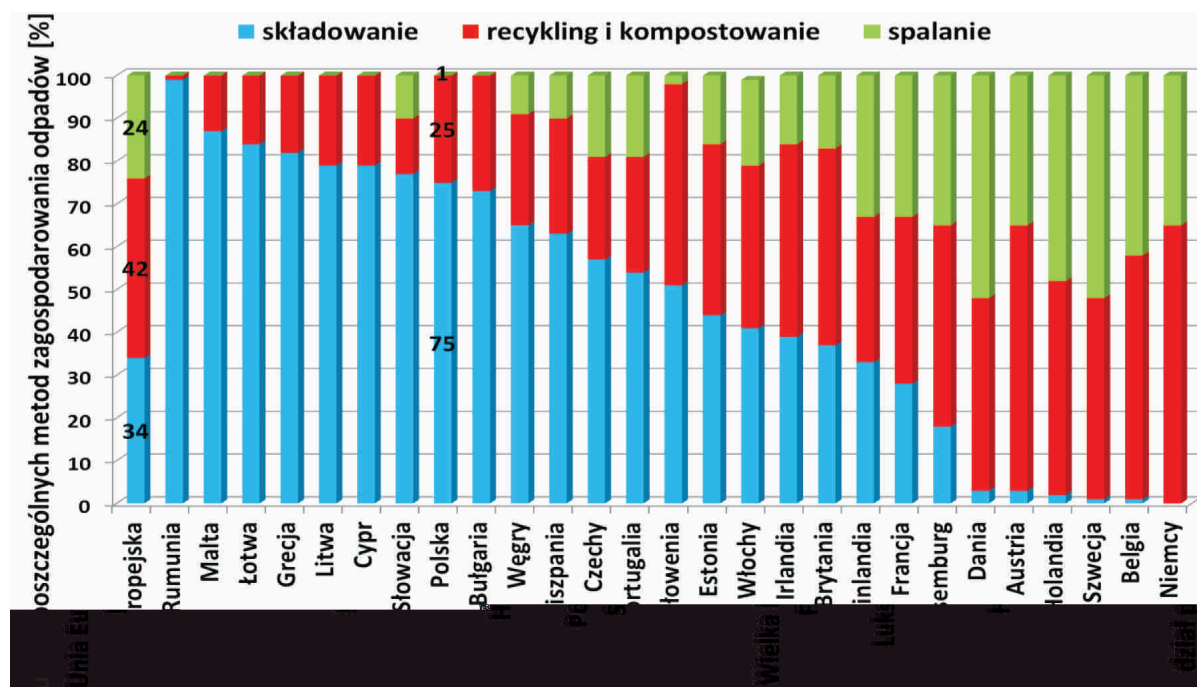
Intensywny rozwój cywilizacyjny powiązany z jednoczesnym brakiem dbałości o stan środowiska w znacznym stopniu przyczynił się do jego degradacji. Elementy zanieczyszczające środowisko pochodzą ze zróżnicowanych źródeł. Postęp cywilizacyjny powoduje wzrost jakości życia mieszkańców miast i gmin. Okupiony jest on jednak zwiększonym zużyciem energii oraz coraz większą objętością wytwarzanych odpadów trudnych w swej masie do zagospodarowania. Odpady komunalne stanowią jedną z podstawowych przyczyn zanieczyszczeń środowiska, dlatego też istotnym zagadnieniem jest określenie zarówno ich charakterystycznych parametrów, jak i kierunków dalszego ich zagospodarowania. Współczesne społeczeństwo wytwarza wiele rodzajów odpadów, takich jak odpady komunalne powstające w gospodarstwach domowych czy obiektach użyteczności publicznej, odpady szpitalne oraz różnego rodzaju odpady przemysłowe. W Polsce definicję odpadów, zasady postępowania z odpadami oraz wysokość opłat, jakie należy uiszczać za wywóz oraz dalsze ich zagospodarowanie reguluje ustawa o odpadach z 14 grudnia 2012 r. [1].

Według przytoczonej ustawy z grudnia 2012 r., za odpad uważa się każdą substancję lub przedmiot, której posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia jest obowiązany. Natomiast definicja dotycząca odpadów komunalnych określa, że są to odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych [1].



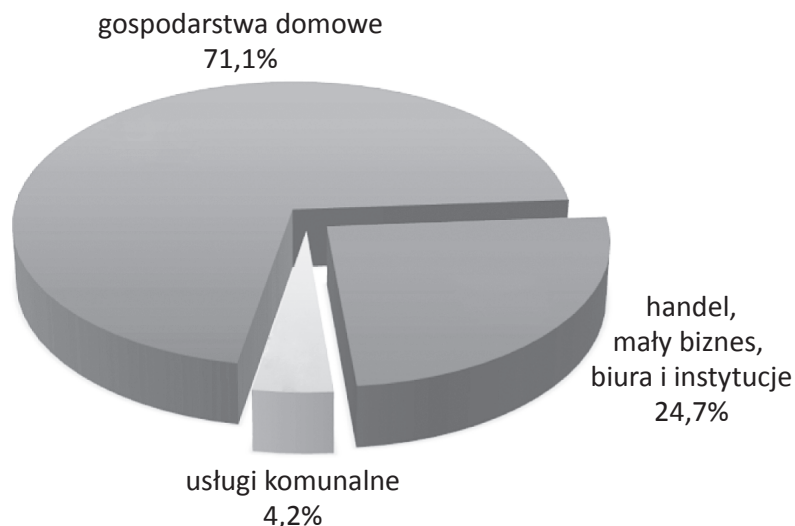
Ryc. 1. Ilość wytworzonych odpadów komunalnych na mieszkańca w krajach UE w 2012 r. [2]

Odpady komunalne stanowią jedną z najbardziej istotnych grup odpadów wytwarzanych w Polsce. Według danych Eurostatu, statystyczny mieszkaniec Polski wytwarza jedną z najmniejszych ilości odpadów, w 2012 r. było to 314 kg, podczas gdy średnia wartość w Unii Europejskiej kształtowała się wówczas w granicach 492 kg (ryc. 1). Dysproporcja ta może wynikać z różnic w poziomie rozwoju gospodarczego. Największym problemem jest jednak znaczny udział procesu składowania w ogólnym zagospodarowaniu odpadów. W Polsce w 2012 r. ilość deponowanych na składowiskach odpadów komunalnych stanowiła 75% [2], podczas gdy średnia dla wszystkich krajów Unii Europejskiej wynosiła wówczas 34% (ryc. 2). Zgodnie z hierarchią postępowania z odpadami, zawartą w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE [3], składowanie jest ostatnim i najmniej pożądanym sposobem zagospodarowania odpadów.



Ryc. 2. Metody zagospodarowania odpadów komunalnych w krajach Unii Europejskiej wg danych z 2012 r. [2]

Według danych GUS [4–5] w 2012 r. w Polsce zostało zebranych 9580,9 tys. Mg odpadów komunalnych. Większość zmieszanych odpadów komunalnych (ok. 71%) pochodziło z gospodarstw domowych, kolejne znaczące źródła tego rodzaju odpadów (24,7%) stanowiły handel, mały biznes, biura i instytucje. Pozostałe 4,2% ogólnej masy zmieszanych odpadów komunalnych zebranych w 2012 r. pochodziło z działalności miejskich i gminnych służb komunalnych, w ramach której prowadzono prace mające na celu czyszczenie ulic, utrzymanie w czystości parków czy cmentarzy.



Ryc. 3. Wykres źródeł pochodzenia zmieszanych odpadów komunalnych w Polsce w 2012 r. [4–5]

W związku z sukcesywnie wzrastającą ilością odpadów deponowanych na składowiskach, głównym celem gospodarki odpadami komunalnymi jest zmniejszenie ich masy i objętości. Jedną z możliwych metod zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych jest proces mechaniczno-biologicznego przetwarzania. Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych definiuje się jako procesy rozdrabniania, przesiewania, sortowania, klasyfikacji i separacji, ustawione w różnorodnych konfiguracjach, ich celem jest mechaniczne rozdzielanie strumienia zmieszanych odpadów komunalnych na frakcje dające się w całości lub w części wykorzystać materiałowo lub/i energetycznie oraz na frakcję ulegającą biodegradacji, wymagającą dalszego biologicznego przetwarzania [6].

W technologiach MBP wyróżnia się dwa podstawowe etapy postępowania ze zmieszanyimi odpadami komunalnymi:

- mechaniczne sortowanie odpadów,
- biologiczna stabilizacja odpadów ulegających biodegradacji.

W procesie mechanicznego przetwarzania zmieszane odpady komunalne rozdziela się na dwie frakcje granulometryczne: frakcję pozostającą na sicie, tzw. odsiew oraz frakcję podsitową, której wielkość nie przekracza 80–100 mm (tzw. przesiew). Frakcję podsitową kieruje się do biologicznego przetwarzania [7]. Na etapie obróbki mechanicznej możliwy jest odzysk surowców wtórnych, takich jak: papier, tworzywa, szkło czy metale, kierowanych następnie do gospodarczego wykorzystania. Frakcja wysokokaloryczna może być wyodrębniona na etapie mechanicznego przetwarzania do produkcji paliwa alternatywnego z odpadów (RDF – Refuse Derived Fuel).

Procesy biologiczne zmieszanych odpadów biodegradowalnych pozyskanych ze zmieszanych odpadów komunalnych przeprowadzane są w celu ich ostatecznego składowania lub przygotowania tego rodzaju odpadu do procesów odzysku, w tym odzysku energii. Biologiczne przetwarzanie oparte jest na reakcjach biochemicznych, takich jak mineralizacja i humifikacja, przebiegających naturalnie przy udziale mikroorganizmów. Proces ten można podzielić na dwa etapy odbywające się w warunkach tlenowych.

Pierwszy etap to tzw. faza termofilna, w której temperatura procesu może przekraczać nawet 70°C. W tej fazie materiał poddawany przetwarzaniu ulega higienizacji [8], a frakcje zawierające związki o prostej budowie zostają niemal całkowicie rozłożone. W tej fazie biologicznego przetwarzania maleje również w znacznym stopniu emisja odorów z materiału poddanego procesowi.

Drugi etap stanowi faza mezofilowa, czyli tzw. dojrzewanie materiału wstępnie rozłożonego. Na tym etapie rozkładane są związki o złożonej budowie, takie jak lignina, celuloza, keratyna, które charakteryzują się dłuższym czasem rozkładu aniżeli związki proste. Czas trwania poszczególnych faz jest uzależniony od rodzaju przetwarzanego materiału oraz warunków zapewnionych podczas procesu, a więc od zastosowanej technologii [9]. Produktami biologicznej stabilizacji są tzw. stabilizaty.

Prowadzenie procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania ma na celu [10]:

- zmniejszenie masy i objętości odpadów,
- zmniejszenie zawartości wody w odpadach,
- higienizację powodującą eliminację mikroorganizmów chorobotwórczych,
- stabilizację substancji organicznej oraz zmniejszenie potencjału gazotwórczego,
- zmniejszenie podatności na wymywanie i osiadanie (w przypadku składowania materiału po procesie MBP).

Miarą stopnia ustabilizowania odpadów jest zawartość substancji organicznych w ogólnej ich masie, co może być wyrażone jako parametry: strata przy prażeniu (LOI) oraz ogólny węgiel organiczny (TOC) w suchej masie odpadów [11]. Uzupełnieniem oceny stopnia stabilności odpadów jest parametr AT_4 , ukazujący aktywność oddechową materiału. Van Praagh i in. [12], podobnie jak Bayard i in. [13], przeprowadzając badania nad parametrami fizykochemicznymi odpadów na różnych etapach stabilizacji, potwierdzili, że wartości TOC, LOI, jak i parametru AT_4 (czterodniowe zapotrzebowanie na tlen) zmniejszają się wraz z kolejnym tygodniem przebiegu procesu biologicznego przetwarzania.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunal-

nych [6], proces biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych powinien być prowadzony w taki sposób, aby uzyskany stabilizat spełniał następujące wymagania:

- 1) straty prażenia stabilizatu są mniejsze niż 35% suchej masy, a zawartość węgla organicznego jest mniejsza niż 20% suchej masy lub
- 2) ubytek masy organicznej w stabilizacie w stosunku do masy organicznej w odpadach mierzony stratą prażenia lub zawartością węgla organicznego jest większy niż 40%, lub
- 3) wartość AT_4 jest mniejsza niż 10 mg O_2/g suchej masy.

Do czynników zapewniających skuteczną tlenową stabilizację materiału wejściowego należą: zawartość wody, stabilizacja struktury, wartość pH oraz masowy stosunek węgla organicznego do azotu (TOC/N) [14]. Podczas przebiegu procesu tlenowego zawarta w odpadach substancja organiczna stanowi podstawowe źródło energii i substancji odżywczych dla mikroorganizmów tlenowych. Ponieważ mikroorganizmy przyswajają substancje odżywcze i tlen w postaci rozpuszczonej w wodzie, niezbędne jest utrzymanie odpowiedniego poziomu wilgotności przetwarzanego materiału. Odpowiednia zawartość wilgoci warunkuje również możliwość poruszania się mikroorganizmów [15]. W zależności od rodzaju stabilizowanego materiału, stabilności jego struktury oraz pojemności wody, wilgotność materiału może zmieniać się w szerokim zakresie [14]. Natomiast Norbu i in. [15] oraz Castaldi i in. [16] sugerują, iż optymalna zawartość wilgoci przetwarzanych odpadów mieści się w granicach 40–50%.

Osiągnięcie wymaganej porowatości w celu zapewnienia odpowiedniej wymiany gazowej w znacznej mierze zależy od optymalnego udziału zrębków, rozdrobionych gałęzi i krzaków jako materiału strukturalnego. Udział ten jest zmienny w zależności od rodzaju stabilizowanego materiału [14].

Wartość pH stanowi czynnik warunkujący prawidłową tlenową stabilizację. Zakwaszony materiał o pH od 4 do 6 charakteryzuje się skłonnością do opóźnienia rozkładu węgla oraz wytwarzania kwasów organicznych. Z kolei zbyt wysoka wartość pH prowadzi do uwalniania amoniaku, co powoduje wydzielanie uciążliwych dla środowiska odorów [14].

Stosunek TOC/N jest wskaźnikiem stopnia rozkładu oraz stabilizacji materii organicznej, jak i dostępności azotu w procesie biologicznego rozkładu. Jego spadek świadczy o właściwym przebiegu procesu stabilizacji [17]. Utrzymanie stosunku TOC/N na poziomie od 25/1 do 35/1 gwarantuje szybki rozwój mikroorganizmów i jednocześnie szybki rozkład frakcji organicznej znajdującej się w odpadach. Przy wyższym stosunku TOC/N ($< 35/1$) proces rozkładu biologicznego zostaje zahamowany, natomiast wartość TOC/N, wynosząca poniżej 20/1, powoduje uwalnianie się amoniaku, co skutkuje silną emisją odorów [14].

Spadek tej wartości poniżej 15/1 dla odpadów na końcowym etapie stabilizacji wykazały badania [18].

Istotne znaczenie dla skutecznie przeprowadzanego procesu stabilizacji tlenowej ma utrzymanie optymalnej temperatury wewnątrz komory reakcyjnej nieprzekraczającej 70°C. Wyraźne spowolnienie rozkładu frakcji organicznej ma miejsce już w temperaturze 65°C [14].

2. Przedmiot badań

W pracy przebadano 24 próbki zmieszanych odpadów komunalnych, które poddane zostały procesowi mechaniczno-biologicznego przetwarzania w różnych etapach stabilizacji materiału. Próbki pobierano z dwóch zakładów gospodarczo-odpadami, które stosują odmienne technologie prowadzenia procesów biologicznego przetwarzania. Przeprowadzone badania obejmowały oznaczenie zawartości wody, strat przy prażeniu, ogólnego węgla organicznego oraz analizy elementarnej w zakresie pierwiastków C i N. Próbki zmieszanych odpadów komunalnych, pochodzące z zakładu I, zostały poddane procesowi przetwarzania biologicznego w zamkniętych tunelach foliowych, tzw. rękawach, wykonanych z wytrzymałej folii polietylenowej. Technologia ta została wyposażona w system wymuszonego napowietrzania wsadu oraz system filtrowania powietrza poprocesowego. Cały proces stabilizacji tlenowej badanego materiału zmieszanych odpadów komunalnych odbywał się w ciągu 8 tygodni. Badania rozpoczęto po dwutygodniowym okresie stabilizacji, następnie z każdego tunelu pobrano próbkę po ok. 4 i 8 tygodniach stabilizacji. Rycina 4 przedstawia przykładowy model technologii MBP z wykorzystaniem foliowych tuneli.



Ryc. 4. Przykładowy model technologii do biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych w postaci zamkniętych tuneli foliowych [19]

Zakład II korzystał z technologii stabilizacji tlenowej w reaktorach żelbetowych zamkniętych dachem z tworzywa sztucznego. Instalacja posiadała wymuszony obieg powietrza oraz system nawilżania przetwarzanego materiału. Badanym materiałem była frakcja zmieszanych odpadów komunalnych o wielkości 0–80 mm, która została poddana przetwarzaniu biologicznemu przez 7 tygodni. Próbkę materiału pobierano w dwóch powtórzeniach z jednego z wykorzystywanych reaktorów, rozpoczynając od materiału wsadowego, a następnie po okresie 1, 2, 3, 4 oraz 7 tygodni przebiegu procesu. Zaprezentowane w pracy wyniki badań stanowią średnią arytmetyczną wyników badań przeprowadzonych dla równoległe pobranych próbek.

3. Metodyka badawcza

Próbki pobrano zgodnie z normą PN-Z-15011-1: 1998 [20], po czym oznaczono w nich zawartość wody w oparciu o normę PN-EN 15934: 2013 [21]. W celu uzyskania materiału badawczego o odpowiednim stopniu homogenizacji, badane próbki odpadów poddano wstępnemu rozdrobnieniu w młynie tnącym, uzyskując frakcję o uziarnieniu do 1 mm, a następnie przesiano przez sito o rozmiarze oczek 0,20 mm. Przygotowane w ten sposób próbki odpadów poddano wybranym analizom fizykochemicznym. Oznaczono w nich straty przy prażeniu suchej masy zgodnie z normą PN-EN 12879 [22] oraz zawartość węgla organicznego według PN-EN 13137: 2004 [23], korzystając z analizatora Vario TOC Cube firmy Elementar. Próbki zostały przebadane również w zakresie oznaczenia zawartości pierwiastków C i N zgodnie z normą PN-G 04571: 1998 [24], gdzie wykorzystano analizator elementarny CHNS Vario Macro Cube firmy Elementar.

4. Omówienie wyników badań

W tabeli 1 przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań próbek pochodzących z zakładu gospodarowania odpadami nr I. Z kolei w tabeli 2 widnieją te same parametry charakteryzujące materiał pobrany z zakładu gospodarowania odpadami nr II.

Podobnie jak w przytoczonej wcześniej literaturze [11–13], zarówno w przypadku materiału poddanego procesowi w zakładzie nr I, jak i w zakładzie nr II, zawartość TOC oraz LOI zmniejsza się wraz z postępem procesu stabilizacji. Spadek wartości tych parametrów wskazuje na postępujący proces rozkładu materii organicznej.

Tabela 1

Wybrane parametry fizykochemiczne oznaczone w próbkach zmieszanych odpadów komunalnych w zakładzie gospodarowania odpadami nr I

Oznaczenie tunelu foliowego	Tydzień stabilizacji	Zawartość wody [% s.m.]	Strata prażenia [% s.m.]	TOC [% s.m.]	C [% s.m.]	N [% s.m.]	TOC/N	TOC/C [%]
A	2	12,9	18,5	11,04	11,4	0,61	18,1	96,8
	4	9,5	20,0	11,75	16,9	0,40	29,4	69,5
	8	16,5	19,9	4,90	10,2	0,58	8,4	48,0
B	2	30,7	23,9	12,47	13,1	0,65	19,2	95,2
	4	10,0	25,0	13,68	22,0	0,37	37,0	62,2
	8	12,2	53,2	29,15	30,3	1,16	25,1	96,2
C	2	26,2	24,3	13,26	14,3	0,72	18,4	92,7
	4	27,8	24,1	12,02	15,1	0,70	17,2	79,6
	8	64,0	24,1	10,59	12,2	0,75	14,1	86,8
D	2	30,1	39,5	20,26	24,8	0,94	24,5	92,9
	4	24,7	27,3	13,60	22,2	0,66	20,6	61,3
	8	11,0	25,4	13,78	14,8	0,78	17,6	88,8

Źródło: Opracowanie własne.

Analizując wyniki badań przeprowadzone w materiale poddanym procesowi MBP w zakładzie gospodarowania odpadami nr I, można stwierdzić, że wytworzony stabilizat spełnia wymagania odnośnie do granicznych wartości strat prażenia oraz zawartości procentowej ogólnego węgla organicznego, które zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 11 września 2012 r. [6].

Biorąc pod uwagę stosunek TOC/N, można zauważyć, że w przypadku rękawów A, C oraz D jego wartości zmniejszały się odpowiednio, z początkowych 18,1/1, 18,4/1 oraz 24,5/1, aż do osiągnięcia wartości 8,4/1, 14,1/1 oraz 17,6/1, co koreluje z wynikami przedstawionymi w pracy [18]. Stopniowy spadek wartości stosunku TOC/N świadczy o stabilizacji procesu. Materiał poddany procesowi w rękawie B wykazywał podwyższenie końcowego stosunku TOC/N wobec wartości początkowej, co wskazuje na zaburzenie procesu MBP.

Ponadto należy podkreślić, że badany materiał charakteryzuje się podwyższoną zawartością relacji TOC/N (37/1) w odniesieniu do optymalnego stosunku TOC/N mieszczącego się w granicach od 25 do 35/1. Oznacza to, że mikroorganizmy znajdujące się w badanym materiale mają do dyspozycji nadmiar węgla organicznego, natomiast zawartość azotu jest niewystarczająca. Wyniki

te wskazują, że mikroorganizmy poprzez zmniejszone przyswajanie substancji odżywczych spowolniły proces rozmnażania, przez co zahamowany został rozkład frakcji organicznej znajdującej się w badanych odpadach. W tym przypadku dodanie materiału zawierającego związki azotu wpłynęłoby korzystnie na przebieg procesu, przyspieszając w ten sposób rozkład materii organicznej. Niższe wartości stosunku TOC/N ($< 20/1$) w badanym materiale świadczą o mniejszej zawartości azotu w uzyskanym kompoście. Ponadto, zaobserwowane w toku analizy niższe stosunki TOC/N wskazują na ulatnianie się amoniaku, powodując tym samym silną emisję odorów.

O zaburzeniu procesu MBP odpadów może również świadczyć zwiększona wartość końcowego współczynnika TOC/C (czyli udziału ogólnego węgla organicznego TOC w całkowitej zawartości węgla C), wynosząca 96,2% w stosunku do wartości początkowej 95,2% tego współczynnika. Na podstawie obserwacji zmian współczynnika TOC/C można określić stopień wykorzystania przez mikroorganizmy zasobów ogólnego węgla organicznego dostępnego w danym etapie przetwarzania odpadów.

W przypadku pozostałych tuneli A, C i D końcowe współczynniki TOC/C charakteryzują się znacznie niższymi wartościami w porównaniu do wartości współczynników początkowych.

Tabela 2

Wybrane parametry fizykochemiczne oznaczone w próbkach zmieszanych odpadów komunalnych w zakładzie gospodarowania odpadami nr II

Oznaczenie próbki	Tydzień stabilizacji	Zawartość wody [% s.m.]	Straty prażenia [% s.m.]	TOC [% s.m.]	C [% s.m.]	N [% s.m.]	TOC/N	TOC/C [%]
1	materiał wsadowy	33,6	36,70	18,5	21,2	0,78	25,2	96,8
2	1	38,0	37,00	19,6	26,6	0,63	31,4	73,8
3	2	34,8	30,70	19,3	19,9	0,63	39,4	97,0
4	3	29,4	34,55	16,7	23,9	0,53	31,7	69,6
5	4	36,0	35,60	19,2	22,4	0,71	27,2	85,8
6	7	17,6	27,85	16,1	17,4	0,78	20,8	92,6

Źródło: Opracowanie własne.

Uzyskane wyniki badań charakteryzujące otrzymany skutek procesu MBP stabilizat, pochodzący z zakładu gospodarki odpadami nr II, wskazują, że spełnia on wytyczne zamieszczone w rozporządzeniu [6]. Zarówno wartości LOI, jak i TOC mieszczą się w wymaganiach prawodawcy. Z kolei rozpatrując relację TOC/N, można zauważyć, że wszystkie etapy stabilizacji przebiegają prawidłowo, mieszcząc się w optymalnych wartościach wynoszących od 25 do 35, z wy-

jątkiem drugiego tygodnia stabilizacji (39,4), kiedy to stosunek ten przekracza zalecane wartości. Rezultatem takiej zależności jest zanieczyszczenie powietrza wydzielającymi się związkami amoniaku. W ciągu całego analizowanego procesu MBP zaobserwować można, że materiał wsadowy odznaczał się wyższym współczynnikiem TOC/C aniżeli otrzymany stabilizat końcowy. Godnym uwagi jest to, iż znacznie podwyższona wartość współczynnika TOC/C (97%), obliczona dla próbki pobranej w drugim tygodniu stabilizacji, jest uwarunkowana ograniczoną dostępnością składników odżywczych wykorzystywanych przez mikroorganizmy, co potwierdza podwyższona relacja TOC/N w odniesieniu do optymalnych wartości [14].

Analizując postępujące wraz z przebiegiem procesu zmiany wartości stosunków TOC/N, obserwuje się początkowy ich wzrost oraz sukcesywny spadek ich wartości wraz z postępowaniem procesu stabilizacji, co koreluje z wynikami zaprezentowanymi w [17]. Wartości stosunków TOC/N we wstępnej fazie stabilizacji wzrosły z 25,2/1 do wartości 39,4/1, po czym wykazywały one tendencję spadkową, aż do osiągnięcia wartości 20,8/1.

5. Wnioski

Celem pracy było zbadanie wpływu stopnia stabilizacji zmieszanych odpadów komunalnych poddanych procesowi mechaniczno-biologicznego przetwarzania na wybrane parametry fizykochemiczne. Próbkę odpadów pobierano z dwóch zakładów gospodarowania odpadami, wykorzystujących odmienne technologie przetwarzania.

Wyniki badań procesu przetwarzania odpadów w zakładzie I, w którym proces ten odbywał się w zamkniętych tunelach foliowych, wskazują, iż parametry materiałów pochodzących z tuneli A, C i D mieszczą się w wymaganych według rozporządzenia [6] wartościach. Zawartość LOI (35% s.m.), TOC (20% s.m.), oraz końcowe współczynniki TOC/C charakteryzują się znacznie niższymi wartościami w porównaniu do ich wartości początkowych. Natomiast w materiale pochodzącym z tunelu B zaobserwowano zakłócenia w procesie kompostowania, o czym świadczy podwyższona wartość LOI (53,2% s.m.), TOC (29,15% s.m.) i relacji TOC/N (37/1), a także zwiększona wartość końcowego współczynnika TOC/C (96,2%) w stosunku do wartości początkowej (95,2%). Podwyższone parametry fizykochemiczne mogą świadczyć o zahamowaniu przyswajania substancji odżywczych oraz spowolnieniu procesu rozmnażania przez mikroorganizmy znajdujące się w badanym materiale, co wskazuje na spowolnienie rozkładu frakcji organicznej.

Otrzymane rezultaty badań materiału pochodzącego z zakładu II, gdzie wykorzystywano technologię stabilizacji tlenowej w zamkniętych reaktorach żelbetowych, wskazują, że zarówno wartości LOI, jak i TOC mieszczą się w wyma-

ganych zakresach zawartych w uregulowaniach prawnych [6]. Materiał wsadowy wykazuje wyższy współczynnik relacji TOC/C (98,6% s.m.) w odniesieniu do materiału w końcowej fazie stabilizacji (92,6% s.m.). Wartości stosunków TOC/N we wstępnej fazie stabilizacji wzrosły (do 39,4/1), po czym wykazywały tendencję spadkową, aż do osiągnięcia optymalnej wartości (20,8/1), co świadczy, że proces stabilizacji na wszystkich etapach MBP przebiegał w sposób prawidłowy.

Porównując opisane instalacje biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych w zamkniętych tunelach foliowych, tzw. rękawach, oraz technologię wykorzystującą reaktory żelbetowe, można stwierdzić, że obie technologie mogą być z powodzeniem wykorzystywane w celu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Należy jednak pamiętać, że każda technologia wymaga odpowiedniego sterowania procesem oraz właściwego dostosowania optymalnych parametrów, takich jak zapewnienie sprawnego systemu napowietrzania, utrzymanie właściwej temperatury, wilgotności, wartości pH, oraz odpowiedniego stosunku TOC/N. Istotnym czynnikiem mającym wpływ na uzyskanie odpowiednio przetworzonego produktu końcowego jest również rodzaj substratu, który ulega procesowi stabilizacji.

Literatura

- [1] Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r., Dz.U. z 2013 r., poz. 21.
- [2] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-25032014-AP/EN/8-25032014-AP-EN.PDF (26.03.2014).
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy, Dz.Urz. WE L 312/3 z 22.11.2008 r.
- [4] Adamczyk I., Przybylska M., Różańska B., Sobczyk M., *Infrastruktura komunalna w 2012 r.*, GUS, Warszawa 2013.
- [5] <http://www.stat.gov.pl> (19.02.2014).
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych z dnia 11 września 2012 r., Dz.U. z 2012 r., poz. 1052.
- [7] Nolepa A., Gąsior D., *Unieszkodliwianie frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych metodą stabilizacji tlenowej w Polsce południowo-zachodniej*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2012, nr 10, s. 98–114.
- [8] Mucka K., *Gdzie są kierowane odpady?*, „Przegląd Komunalny” 2013, nr 5, s. 260.
- [9] Kilian E., Macedowska-Capiga A., *Parametr AT_4 jako wskaźnik stopnia stabilizacji odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2011, nr 8, s. 88–94.
- [10] *Kompleksowy system gospodarki odpadami komunalnymi z zastosowaniem mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów*, „Siła Ekobiznesu. Ekologia i Biznes w Jednym Miejscu” 2013, nr 5, s. 1–8.
- [11] Smidt E., Lechner P., *Study on the degradation and stabilization of organic matter in waste by means of thermal analyses*, „Thermochimica Acta” 2005, Vol. 438, s. 22–28.

- [12] Van Praagh M., Heerenklage J., Smidt E., Modin H., Stegmann R., Persson K.M., *Potential emissions from two mechanically-biologically pretreated (MBT) wastes*, „Waste Management” 2009, Vol. 29, s. 859–868.
- [13] Bayard R., de Araújo Morais J., Ducom G., Achour F., Rouez M., Gourdon R., *Assessment of the effectiveness of an industrial unit of mechanical-biological treatment of municipal solid waste*, „Journal of Hazardous Materials” 2010, Vol. 175, s. 23–32.
- [14] *Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych. Przewodnik po wybranych technologiach oraz metodach badań i oceny odpadów powstałych w tych procesach*, red. nauk. G. Siemiątkowski, Wydawnictwo Instytut Śląski Sp. z o.o., Opole 2012.
- [15] Norbu T., Visvanathan C., Basnayake B., *Pretreatment of municipal solid waste prior to landfilling*, „Waste Management” 2005, Vol. 25, s. 997–1003.
- [16] Castaldi P., Alberti G., Merella R., Melis P., *Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity*, „Waste Management” 2005, Vol. 25, s. 209–213.
- [17] Said-Pullicino D., Erriquens F.G., Gigliotti G., *Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity*, „Bioresource Technology” 2007, Vol. 98, s. 1822–1831.
- [18] Jiménez E.I., García V.P., *Composting of domestic refuse and sewage sludge. 2: Evolution of carbon and some „humification” indexes*, „Resources, Conservation and Recycling” 1992, Vol. 6, s. 243–257.
- [19] http://www.mos.gov.pl/g2/big/2012_03/4d45cb378c7480d8559c433ae75a1f97.pdf (19.02.2014).
- [20] PN-Z 15011-1: 1998 – Kompost z odpadów komunalnych. Pobieranie próbek.
- [21] PN-EN 15934: 2013-02E – Osady ściekowe, uzdatnione bioodpady, gleba oraz odpady. Oznaczanie suchej masy poprzez oznaczanie zawartości suchej pozostałości lub zawartości wody.
- [22] PN-EN 12879: 2004 – Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie strat przy prażeniu suchej masy osadu.
- [23] PN-EN 13137: 2004 – Charakteryzowanie odpadów. Oznaczanie ogólnego węgla organicznego (OWO) w odpadach, szlamach i osadach.
- [24] PN-G 04571: 1998 – Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości węgla, wodoru i azotu automatycznymi analizatorami. Metoda makro.

DARIA GAŚSIOR
EWELINA ŚLĘZAK
AGNIESZKA SZEWCZYK

EFFECT OF MIXED MUNICIPAL WASTE STABILIZATION DEGREE ON THE SELECTED PFYSICOCHEMICAL PARAMETERS

Keywords: mixed municipal waste, mechanical-biological treatment, waste stabilization.

Mixed municipal waste is one of the main causes of environmental pollution. It is associated with the rapid development of civilization and an increase

of the life quality the inhabitants of cities and communes. An important task of the municipal waste management, especially biodegradable waste, is the gradual waste quantity reduction before their storage. The process of mechanical-biological treatment (MBT) is a mixed municipal waste management method, which aims to reduce their mass and volume. MBT allows to the stabilization of organic matter occurring in the waste and to reduce their gas generating potential.

The paper presents the results of physicochemical studies of mixed municipal waste samples, which were undergo a process of mechanical biological treatment. Tested samples were taken at sequential stages of the stabilization process from the two waste management facilities, at the time of eight and seven weeks. Water content, loss on ignition (LOI) and total organic carbon content by using TOC analyzer with NDIR detector were determined in the collected samples. The samples were tested in the determination of the C and N elements content using an CHNS elemental analyzer. The main aim of the study was assessment the impact of mixed municipal waste stabilization degree to above-mentioned physicochemical parameters. The test results of waste undergoing the MBT process by using different stabilization technologies were within acceptable limits, which are defined by the legislator.