



Gabriela Jaglarz • Agnieszka Generowicz

CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNE ODPADÓW KOMUNALNYCH PO PROCESACH ODZYSKU I RECYKLINGU

Gabriela Jaglarz, mgr inż. – Politechnika Krakowska

Agnieszka Generowicz, dr hab. inż. – Politechnika Krakowska

adres korespondencyjny:

Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

e-mail: g.jaglarz@gmail.com

ENERGY CHARACTERISTICS OF THE MUNICIPAL WASTE AFTER RECOVERY AND RECYCLING PROCESSES

SUMMARY: Waste management has become one of the main problems in the management of the environment in recent years. Many years of neglect and implementation of the provisions of the European Union have caused the need for urgent changes in this sector. Applied modifications of the law in relation to the existing provisions require continuous monitoring of technological parameters of waste, in terms of their suitability for different processes like recovery, recycling or disposal. The application of these processes may change the humidity and calorific value, and hence build up the difficulty in successive sequences waste treatment, and thus adaptation of the system to the binding legislation. The purpose of the article was to present the ways of waste treatment in such a way which would reduce as much as possible their amount and harmfulness, and that the technological process to be viable, and the waste management system in accordance with the binding law.

KEYWORDS: waste management, recycling, management of the environment

Wstęp

Określone cele i priorytety w obszarze gospodarki odpadami to jeden z głównych priorytetów polityki ekologicznej Unii Europejskiej (UE), zapisanych i realizowanych według programów działań. Według nich głównymi zadaniami mającymi na celu realizację skutecznej i efektywnej gospodarki odpadami są:

- zapobieganie powstawania odpadów;
- wykorzystanie odpadów jako zasobów surowców i energii;
- oddzielenie tempa wzrostu ilości wytwarzanych odpadów od tempa wzrostu gospodarczego;
- ograniczenie składowania odpadów.

Najistotniejszą regulacją prawną UE w zakresie gospodarki odpadami jest dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy¹. Ustanawia ona ramy prawne dotyczące postępowania z odpadami, określa podstawowe cele gospodarki odpadami. Jej głównym celem jest ochrona środowiska i zdrowia ludzkiego przez zapobieganie negatywnemu wpływowi gospodarowania odpadami, ograniczenie ilości wytwarzanych odpadów komunalnych. Promuje zachowania proekologiczne i ma na celu zbliżenie państw członkowskich do „społeczeństwa recyklingu” w celu odzyskania i poddania recyklingowi jak największej ilości odpadów.

Jako kraj członkowski UE, Polska również musi realizować postanowienia Unii w tym zakresie. Powstają więc kolejne regulacje prawne zakładające redukcję strumienia odpadów przez ich jak największe wykorzystanie w procesach odzysku i recyklingu oraz bezpieczne unieszkodliwienie pozostałości, zachowując bezpieczeństwo środowiskowe, opłacalność ekonomiczną oraz jak największą akceptację społeczną. Głównymi regulacjami prawnymi zawierającymi przepisy dotyczące zasad prawidłowego postępowania z odpadami w naszym kraju są:

- ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach²;
- ustawa z dnia 25 stycznia 2013 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach³.

Celem nowelizacji było uszczelnienie systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, zmniejszenie ilości odpadów komunalnych, dotychczas kierowanych na składowiska odpadów jako nieprzetworzone, prowadzenie skutecznej selektywnej zbiórki odpadów „u źródła”, likwidacja nielegalnych wysypisk oraz budowa profesjonalnych instalacji do odzysku, recyklingu i unieszkodliwiania odpadów komunalnych. Istotą wprowadzonych regulacji było wzmocnienie

¹ Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Dz. U. UE. L.08.312.3).

² (Dz. U. 2013 poz. 21).

³ (Dz. U. 2013 poz. 228).

funkcji gminy jako zarządzającej odpadami, które powstają na jej terenie. Jako narzędzie ekonomiczne dla gmin została wprowadzona tak zwana opłata za gospodarowanie odpadami obciążająca mieszkańców, a uzyskane w ten sposób pieniądze gmina jest zobowiązana przeznaczyć na odbieranie, transport, zbieranie, odzysk oraz unieszkodliwiania odpadów komunalnych, tworzenie i utrzymanie punktów selektywnego zbierania odpadów komunalnych, a także na obsługę administracyjną tego systemu. Do obowiązków gmin należy również budowa, utrzymanie i eksploatacja regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych. Wszelkie te działania mają na celu zwiększenie ilości odpadów przetworzonych, w taki sposób, aby jak najmniejszy strumień trafiał ostatecznie na składowisko odpadów.

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości takiego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, aby w jak największym stopniu zmniejszyć ich ilość i szkodliwość, a proces taki był technologicznie uzasadniony.

Charakterystyka energetyczna i właściwości odpadów komunalnych w Polsce w aspekcie możliwości ich przetwarzania

W 2012 roku zebrano w Polsce 9,6 mln ton odpadów komunalnych. Podstawowym sposobem postępowania z nimi było deponowanie ich na zorganizowanych składowiskach. W 2012 roku unieszkodliwiono przez składowanie 62% ogólnej ilości zebranych odpadów. Unieszkodliwieniu termicznemu w zakładach termicznego przekształcania poddano zaledwie około 51 tys. ton odpadów komunalnych (co stanowi 0,9% wszystkich odpadów zebranych), unieszkodliwieniu biologicznemu w kompostowniach – 214 tys. ton (niecałe 4%). Zmieszane odpady komunalne stanowiły blisko 90% wszystkich zebranych odpadów komunalnych (8,6 mln ton). Polska jest na jednym z ostatnich miejsc w UE, jeżeli chodzi o energetyczne wykorzystanie odpadów⁴.

Tabela 1

Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne

Parametr	Wartość graniczna
Ogólny węgiel organiczny (TOC)	5% suchej masy
Strata przy prażeniu (LOI)	8% suchej masy
Ciepło spalania	maksimum 6 MJ/kg suchej masy

Składowanie bez przetworzenia jest w zasadzie niemożliwe w świetle zapisów rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowi-

⁴ Rocznik statystyczny. Ochrona Środowiska, Warszawa 2013.

skach odpadów danego typu⁵, które narzuca kryteria dopuszczenia odpadów do składowania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne (tabela 1). Należy pamiętać, że nie każdy rodzaj i technologia przetwarzania odpadów umożliwi później ich zdeponowanie na składowisku.

Parametry przytoczone w tabeli 1 stanowią wartości graniczne, przy których odpady mogą być składowane. Dla prowadzenia procesu termicznego istotne są właściwości energetyczne: wartość opałowa, ciepło spalania, wartości, wilgotność odpadów, zawartość części palnych oraz niepalnych. Przeciętnie wartość opałowa odpadów w polskich aglomeracjach wynosi zazwyczaj ponad 9 MJ/kg, a w dużych miastach średnio około 6-7 MJ/kg. Wysoka wartość opałowa wynika z obecności odpadów wysokoenergetycznych takich, jak tworzywa sztuczne (22÷42 MJ/kg), makulatura (15÷26 MJ/kg), drewno (18÷20 MJ/kg) oraz tekstylia (~16 MJ/kg). Ich segregacja u źródła może znacznie zmienić strukturę odpadów i ich właściwości. Wysegregowanie i przetworzenie frakcji odpadów organicznych również znacznie zmieni charakterystyki energetyczne odpadów⁶.

Odzysk i recykling frakcji użytkowych

Według ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach do 31 grudnia 2020 roku gminy są obowiązane osiągnąć:

- poziom recyklingu i przygotowania do ponownego użycia następujących frakcji odpadów komunalnych: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła w wysokości co najmniej 50% wagowo;
- poziom recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych w wysokości co najmniej 70% wagowo.

Na podstawie przeprowadzonych już wcześniej analiz stwierdzono, że wysegregowanie wyżej wymienionych frakcji spowoduje znaczny spadek w wartości opałowej odpadów⁷. Przeprowadzone badania wykazały, że z początkowej wartości opałowej

⁵ (Dz. U. 2013 poz. 38).

⁶ A. Generowicz, M. Olek, *Assessment of the loss of mass, organic substance and combustible elements in the waste biodegradation process*, "Polish Journal of Chemical Technology" 2010 nr 12, t. 2, s. 67-69; A. Generowicz, J. Kulczycka, Z. Kowalski, M. Banach, *Assessment of waste management technology using BATNEEC options, technology quality method and multi-criteria analysis*, "Journal of Environmental Management" 2011 nr 92, t. 4, s. 1314-1320; A. Generowicz, Z. Kowalski, J. Kulczycka, M. Banach, *Ocena rozwiązań technologicznych w gospodarce odpadami komunalnymi z wykorzystaniem wskaźników jakości technologicznej i analizy wielokryterialne*, „Przemysł Chemiczny” 2011 nr 90/5, s. 747-753; J. Nadziakiewicz, *Spalanie stałych substancji odpadowych*, Katowice 2001; J. Wandrasz, A. Wandrasz, *Paliwa formowane – biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych*, Warszawa 2006.

⁷ G. Jaglarz, *Symulacja zmian parametrów energetycznych odpadów komunalnych w wyniku budowy systemu gospodarki odpadami w nowych ramach prawnych*, „Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska (Archives of Waste Management and Environmental Protection)” 2014 nr 16, t. 1.

wej 9,147 MJ/kg, przy wysegregowaniu 50% wagowo czterech frakcji, pozostanie zaledwie wartość 6,614 lub 7,227 MJ/kg w zależności od sposobu segregacji.

Obowiązkiem gmin jest również ograniczyć masę odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania do 16 lipca 2020 roku – do nie więcej niż 35% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania.

Obecnie odpady komunalne w 2012 roku zbierane selektywnie objęły następujące frakcje: szkło – 2,9%, papier i makulatura – 2,0%, tworzywa sztuczne – 1,8%, odpady wielkogabarytowe – 0,9%, tekstylia – 0,4%, metale – 0,1% oraz odpady biodegradowalne – 2,1%. Unieszkodliwieniu biologicznemu w kompostowniach podlegało w naszym kraju 214 tys. ton (niecałe 4%)⁸.

Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów

Według rozporządzenia Ministra Środowiska mechaniczno-biologiczne przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych jest zintegrowanym procesem, który ma przygotować odpady do procesów odzysku, recyklingu, odzysku energii lub termicznego przekształcania odpadów⁹.

Według zapisów w rozporządzeniu odpady po procesie biologicznego przetwarzania powinny zostać unieszkodliwione jednym z dwóch sposobów:

- składowanie na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne;
- termiczne przekształcanie odpadów w instalacjach lub urządzeniach zlokalizowanych na lądzie.

Dla procesów składowania odpady muszą spełnić wymagania podane w tabeli 1. Spalanie odpadów jest procesem uzasadnionym energetycznie w momencie, gdy odpady te spalają się w sposób autotermiczny, czyli nie wymagają dodatkowego paliwa. Konieczna jest tym samym odpowiednio niska wilgotność i zawartość popiołu oraz odpowiednio wysoka zawartość części palnych. Alternatywnie można ocenić poziom wartości opałowej, poniżej której nie zachodzi spalanie autotermiczne (< 6 MJ/kg). Istotna pozostaje ocena, czy możliwe będzie termiczne unieszkodliwianie odpadów po procesach przetwarzania mechaniczno-biologicznego, przy świadomości, że sam proces segregacji odpadów już znacznie obniża ich wartość opałową.

⁸ *Rocznik statystyczny. Ochrona Środowiska*, Warszawa 2013.

⁹ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych (Dz. U. 2012 poz. 1052).

Charakterystyka energetyczna odpadów komunalnych poddanych procesom odzysku, recyklingu oraz mechaniczno-biologicznego przetwarzania

Próbki badań

Dla wykonania charakterystyki energetycznej odpadów wykonano badania ciepła spalania próbek zmieszanych odpadów komunalnych. Odpady pobrane zostały z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów z różnych etapów prowadzonego procesu. Ponieważ proces mechaniczno – biologicznego przetwarzania odpadów to złożona technologia odzysku odpadów zawierająca w sobie procesy rozdrabniania, przesiewania, sortowania, klasyfikacji i separacji, ustawione w różnorodnych konfiguracjach w celu mechanicznego rozdzielania strumienia odpadów na frakcje dające się w całości lub części wykorzystać materiałowo lub / i energetycznie oraz na frakcję ulegającą biodegradacji, odpowiednią dla biologicznego przetwarzania w warunkach tlenowych lub beztlenowych¹⁰ oraz produkująca wiele frakcji odpadów wstępnie przetworzonych lub odzyskanych, w pracy zaproponowano więc, pobranie próbek do zbadania charakterystyk energetycznych na różnych poziomach przetworzenia odpadów i w różnych miejscach technologii.

Pobrano następujące próbki:

- frakcja podsitowa (<80 mm) z odpadów „suchych” zbieranych selektywnie w segregacji na odpady „suche” i „mokre” (Próbka 1);
- frakcja podsitowa (<80 mm) z odpadów z odpadów „suchych” zbieranych selektywnie w segregacji na odpady „suche” i „mokre” zbieranych selektywnie – odpady po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu z pryzmy po 10 tygodniach (Próbka 2);
- frakcja podsitowa (<80 mm) z odpadów zmieszanych komunalnych (świeża frakcja organiczna) (Próbka 1.1);
- frakcja podsitowa (<80 mm) z odpadów zmieszanych komunalnych – odpady po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu z pryzmy po 4 tygodniach (Próbka 1.2);
- frakcja podsitowa (<80 mm) z odpadów zmieszanych komunalnych – odpady po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu z pryzmy po 8 tygodniach (Próbka 1.3).

Metodyka badań

Badania zostały wykonane w laboratorium pomiarowym z wykorzystaniem bomby kalorymetrycznej, zgodnie z normą PN-93/Z15008/04¹¹. W pierwszej

¹⁰ A. Jędrzak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2008.

¹¹ PN-93/Z15008/04 Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.

kolejności została wyznaczona wilgotność¹² wszystkich próbek w suszarce w procesie suszenia w 105°C. Polega to na wagowym określeniu ubytku masy odpadów w wyniku suszenia. Następnie wydzielono reprezentatywne próbki i dla każdej pobranej frakcji wykonano trzy pomiary na różnych próbkach wartości ciepła spalania.

Zasada oznaczania ciepła spalania, zgodnie z normą PN-93/Z15008/04, polega na całkowitym spalaniu próbki w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej o znanej pojemności cieplnej i pomiarze przyrostu temperatury wody znajdującej się w naczyniu kalorymetrycznym. Po wprowadzeniu poprawek na dodatkowe efekty cieplnej niedokładność odczytu temperatury, odczytanie przyrostu temperatury wody, uwzględnieniu wartości cieplnej kalorymetru oraz ilości wydzielonych w czasie spalania próbki składników kwaśnych można obliczyć wartość ciepła spalania.

Wartość opałową oblicza się przez odjęcie od ciepła spalania ciepła parowania wody i ciepła spalania wodoru, zawartych w badanej próbce odpadów¹³.

Wyniki badań przedstawione zostały w tabelach 2-8.

Wyniki badań – charakterystyki energetyczne poszczególnych frakcji przetworzonych odpadów

Dla jasności i łatwości przedstawienia wyników badań niniejszy rozdział podzielono na cztery części:

- A – przedstawienie wartości wilgotności badanych próbek odpadów;
- B – przedstawienie wartości charakterystyk energetycznych frakcji podsitowej z odpadów komunalnych selektywnie gromadzonych;
- C – przedstawienie zmian wartości energetycznych frakcji organicznej odpadów komunalnych po procesie stabilizacji biologicznej;
- D – przedstawienie zmian wartości energetycznych całego strumienia odpadów, po procesach odzysku, recyklingu i stabilizacji biologicznej.

Tabela 2

Zmierzona wartość wilgotności poszczególnych próbek analizowanych frakcji

Próbka	Wilgotność [%]
Próbka 1	42,36
Próbka 2	5,32
Próbka 1.1	50,74
Próbka 1.2	37,55
Próbka 1.3	16,57

¹² PN-93/Z-15008/02 Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie wilgotności całkowitej.

¹³ K. Skalmowski i in., *Badania właściwości technologicznych odpadów komunalnych*, Warszawa 2004.

- A. W pierwszej części badań zbadano wartości wilgotności odpadów (tabela 2), z których wynika, że wilgotność odpadów „suchych” z segregacji dwuworkowej jest znaczna. Powodem tego jest brak świadomości w społeczeństwie w kontekście poprawnej segregacji odpadów. Odpady zawierają resztki organiczne, a papier czy inne frakcje, które powinny być suche nie spełniają wymagań.
- B. W tabelach 3–4 przedstawiono wyniki badań charakterystyk energetycznych frakcji podsitowej z odpadów komunalnych selektywnie gromadzonych w segregacji na odpady „suche” i „mokre”. Frakcja (<80 mm) odsiana na sicie w technologii mechaniczno-biologicznego przetwarzania została następnie poddana procesowi stabilizacji biologicznej w procesie kompostowania. Wyniki wartości ciepła spalania i wartości opałowej przedstawione w tabelach 3 i 4 pokazują stabilność parametrów energetycznych zbadanych odpadów, frakcji z worka „suchego”. Oczywiście odpady „suche”, po stabilizacji, mają wartości energetyczne niższe, średnio w zakresie około 7 MJ/kg odpadów, ale są to odpady, które w dalszym ciągu nadają się doskonale do termicznego przekształcania.

Tabela 3
Ciepło spalania i wartość opałowa frakcji podsitowej (<80 mm) z odpadów zbieranych selektywnie (Próbka 1)

Próbka 1	Masa [g]	Wg [kJ/kg]	Wd [kJ/kg]	PODSITOWA SELEKTYWNE
nr1p1	0,6623	16895	15836	
nr2p1	1,6596	17779	16720	
nr3p1	1,6075	17292	16233	
		17322	16263	

wd – wartość opałowa

wg – ciepło spalania

Tabela 4
Ciepło spalania i wartość opałowa frakcji podsitowej (<80 mm) z odpadów zbieranych selektywnie (żółty worek) – odpady po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu z pryzmy po 10 tygodniach (Próbka 2)

Próbka 2	Masa [g]	Wg [kJ/kg]	Wd [kJ/kg]	PRYZMA SELEKTYWNE 10 tygodni
nr1p4	1,3886	7874	7741	
nr2p4	0,9629	7117	6984	
nr4p4	1,3254	9312	9179	
		8101	7968	

wd – wartość opałowa

wg – ciepło spalania

- C. W tabelach 5-7 przedstawiono zmianę wartości energetycznych frakcji organicznej odpadów komunalnych, wydzielonych na sieci instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania. Analizując wartości opałowe, można zauważyć dosyć znaczny ich spadek. Istotna różnica pomiędzy próbkami odpadów „świeżych” a próbkami odpadów występuje po 4 tygodniach. Później widać już stabilność zmian wartości energetycznych.

Tabela 5

Ciepło spalania i wartość opałowa frakcji podsitowej (<80 mm) z odpadów zmieszanych komunalnych (świeża frakcja organiczna) (Próbka 1.1)

Próbka 1.1	Masa [g]	Wg [kJ/kg]	Wd [kJ/kg]	
nr1p1.1	0,8532	13317	12048	PODSITOWA ORGANICZNE
nr2p1.1	1,6601	11821	10552	
nr3p1.1	0,5029	11590	10321	
		12243	10974	

wd – wartość opałowa

wg – ciepło spalania

Tabela 6

Ciepło spalania i wartość opałowa frakcji podsitowej (<80 mm) z odpadów zmieszanych komunalnych – odpady po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu z pryzmy po 4 tygodniach (Próbka 1.2)

Próbka 1.2	Masa [g]	Wg [kJ/kg]	Wd [kJ/kg]	
nr1p2	2,1962	5776	4837	PRYZMA PO 4 TYGODNIACH
nr2p2	1,8383	5784	4845	
nr3p2	1,7318	5442	4503	
		5667	4729	

wd – wartość opałowa

wg – ciepło spalania

Tabela 7

Ciepło spalania i wartość opałowa frakcji podsitowej (<80 mm) z odpadów zmieszanych komunalnych – odpady po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu z pryzmy po 8 tygodniach (Próbka 1.3)

Próbka 1.3	Masa [g]	Wg [kJ/kg]	Wd [kJ/kg]	
nr1p3	2,2698	4196	3782	PRYZMA PO 8 TYGODNIACH
nr2p3	1,5169	4849	4435	
nr3p3	0,9564	4745	4331	
		4597	4182	

wd – wartość opałowa

wg – ciepło spalania

D. Biorąc pod uwagę przedstawione badania właściwości odpadów, można podjąć próbę przedstawienia ich charakterystyki energetycznej po procesach przetworzenia. Analizując cały strumień odpadów komunalnych, można oszacować całkowitą wartość opałową (tabela 8). Uwzględniając udziały poszczególnych frakcji, oszacowana wartość opałowa wynosi 9 816 kJ/kg. Wysoka wartość frakcji organicznej i podsitowej może być wynikiem niecałkowicie reprezentatywnej próbki odpadów, ale również dużej zawartości frakcji palnych w badanych odpadach. Dlatego też wskazane jest prowadzenie badań w tym kierunku, aby próbować uzasadniać i wskazywać, jak najkorzystniejszą formę przewarzenia odpadów w aspektach jak najmniejszego oddziaływania na środowisko przy uzasadnionych kosztach.¹⁴

Tabela 8
Wartość opałowa zmieszanego strumienia odpadów komunalnych

Frakcja		Udziały [%]	Wd [kJ/kg]	Wd [kJ/kg]
Nadsitowa	Tworzywa, papier	46,3	10 678 ¹⁵	9816
	Szkło, metal	10,3	0 ¹⁶	
Organiczna		44,4	10 974	
Podsitowa				

wd – wartość opałowa

wg – ciepło spalania

Źródło: G. Jaglarz, *Symulacja zmian parametrów energetycznych odpadów komunalnych w wyniku budowy systemu gospodarki odpadami w nowych ramach prawnych*, „Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska (Archives of Waste Management and Environmental Protection)” 2014 t. 16, nr 1.

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań odnotowano spadek wartości opałowej w czasie stabilizacji biologicznej odpadów pobieranych z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania. Po przetwarzaniu odpadów znacznie zmienia się ich wilgotność i właściwości energetyczne. Największą wilgotność odnotowano dla odpadów zmieszanych surowych; wynosiła ona 50,7%; nieznacznie mniejsza jest wilgotność surowej frakcji podsitowej odpadów zbieranych selektywnie 42,3%. Warto również podkreślić znaczny spadek wilgotności odpadów po długoterminowym okresie stabilizacji biologicznej w przyzmiu. Dla odpadów zmieszanych spadek następuje do wartości 16,57%, a dla odpadów zbieranych selektywnie do 5,32%.

Wartość opałowa frakcji podsitowej odpadów zbieranych selektywnie jest stosunkowo wysoka, bo wynosi aż 16 262 kJ/kg, a nawet po 10 tygodniach na przyzmiu spada do wartości 7968 kJ/kg, czyli przy wilgotności na poziomie 5,32%

¹⁴ G. Jaglarz, op. cit.

jest w obszarze autotermicznego spalania. Zdecydowanie gorzej prezentują się zmieszane odpady komunalne, których początkowa wysoka wartość opałowa jest na poziomie 10 974 kJ/kg, ale wilgotność 50,74% wykracza nieznacznie poza dopuszczalną (50,0%) dla autotermicznego spalania. W wyniku dalszej stabilizacji biologicznej (po 8 tygodniach na pryzmie) odnotowuje się znaczny spadek wartości opałowej do zaledwie 4182 kJ/kg.

Na podstawie analizy aktów prawnych i badań własnych, wnioskuje się, że:

- procesy mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów znacznie wpływają na zmianę struktury i charakterystyki odpadów w wyniku wydzielenia frakcji surowcowej i stabilizacji frakcji biologicznej, zmieniają się przede wszystkim wilgotność i charakterystyki energetyczne (wartość opałowa i ciepło spalania);
- prawdopodobnie nie jest możliwe termiczne unieszkodliwianie zmieszanych odpadów komunalnych po procesie mechaniczno-biologicznego przetwarzania bez wspomaganie odpadów dodatkowym paliwem konwencjonalnym lub też proces ten będzie nieuzasadniony ekonomicznie;
- odpady po procesie mechaniczno-biologicznego przetwarzania spełniają wymagania dla odpadów przeznaczonych do składowania – ich wartość opałowa jest niższa od 6000 kJ/kg;
- uwzględniając hierarchię postępowania z odpadami, bardziej zalecanym sposobem unieszkodliwiania jest termiczne przekształcanie odpadów niż składowanie; najpierw należy rozważyć współspalanie odpadów zbieranych selektywnie i zmieszanych odpadów komunalnych po procesie mechaniczno-biologicznego przetwarzania, ale obecnie nie są do końca znane proporcje obu rodzajów odpadów w całkowitym strumieniu odpadów.

Literatura

- Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Dz. U. UE. L. 08.312.3)
- Generowicz A., Kowalski Z., Kulczycka J., Banach M., *Ocena rozwiązań technologicznych w gospodarce odpadami komunalnymi z wykorzystaniem wskaźników jakości technologicznej i analizy wielokryterialne*, „Przemysł Chemiczny” 2011 nr 90/5
- Generowicz A., Kulczycka J., Kowalski Z., Banach M., *Assessment of waste management technology using BATNEEC options, technology quality method and multi-criteria analysis*, “Journal of Environmental Management” 2011 nr 92, t. 4
- Generowicz A., Olek M., *Assessment of the loss of mass, organic substance and combustible elements in the waste biodegradation process*, “Polish Journal of Chemical Technology” 2010 nr 12, t. 2
- Jaglarz G., *Symulacja zmian parametrów energetycznych odpadów komunalnych w wyniku budowy systemu gospodarki odpadami w nowych ramach prawnych*, „Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska (Archives of Waste Management and Environmental Protection)” 2014 t. 16, nr 1
- Jędrzak A., *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2008
- Nadziakiewicz J., *Spalanie stałych substancji odpadowych*, Katowice 2001
- PN-93/Z-15008/02 Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie wilgotności całkowitej.

PN-93/Z15008/04 Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.

Rocznik statystyczny – Ochrona Środowiska, Warszawa 2013

Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, (Dz. U. 2012 poz. 1052).

Skalmowski K. i in. *Badania właściwości technologicznych odpadów komunalnych*, Warszawa 2004

Wandrasz J., Wandrasz A., *Paliwa formowane – biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych*, Warszawa 2006