

Beata NOWAK\*

## Dylematy efektywności ekonomicznej przedsięwzięć termicznego przekształcania odpadów komunalnych

**STRESZCZENIE.** Polska wytwarza ponad 12 milionów ton odpadów komunalnych rocznie i jest szóstym największym wytwórcą odpadów w Unii Europejskiej. Paradoksalnie nasz kraj wytwarza jeden z najniższych poziomów odpadów na mieszkańca, tj. 315 kg, podczas gdy średnia w Unii Europejskiej wynosi 503 kg. Dysproporcja ta może wynikać z różnic w poziomie rozwoju gospodarczego oraz faktu, że jedynie 80% Polaków jest objętych systemem zorganizowanego odbioru odpadów.

Wprowadzane w ostatnich latach w Polsce zmiany w systemie ustawodawczym w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi mają na celu zagwarantować nie tylko dostosowanie polskich przepisów do wymogów Dyrektyw Unii Europejskiej, ale także ograniczyć ilość składowanych odpadów komunalnych. Podstawowym celem zarządzania gospodarką komunalną jest zwiększenie osiągnięcia wyższego poziomu odzysku i recyklingu i tym samym podjęcia wyzwania budowy instalacji do termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Nadal kontrowersyjną, a jednocześnie skuteczną metodą utylizacji odpadów jest proces spalania. Metoda ta polega na termicznym przekształceniu odpadów powodując zmniejszenie ilości odpadów oraz umożliwia przetworzenie zawartej w nich energii chemicznej. Dzisiejsze technologie pozwalają na redukcję od 80% objętości odpadów (bez przetwarzania żużla) do 95% (z przetwarzaniem żużla), a redukcja masy wynosi od 60 do 70%. Oferowane na rynku nowe konstrukcje budowy pieców pozwalają na wykorzystywanie energii z procesów spalania z przetworzeniem jej w ciepło i/lub energię elektryczną bez konieczności dodawania paliw konwencjonalnych.

W artykule przedstawiono charakterystykę oraz hierarchię sposobów postępowania z odpadami komunalnymi. Szczególną uwagę zwrócono na uwarunkowania prawne i ekonomiczne

---

\* Mgr – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;  
e-mail: [beatan@min-pan.krakow.pl](mailto:beatan@min-pan.krakow.pl)

termicznego przekształcania odpadów, w odniesieniu do całkowitej sprawności spalarni obliczanej na podstawie wzoru zawartego w przepisach prawnych.

SŁOWA KLUCZOWE: odpady komunalne, termiczne przekształcanie odpadów, odnawialne źródła energii

## Wprowadzenie

Ochrona środowiska w ostatnich latach stała się ważnym zadaniem dla obecnych i przyszłych pokoleń. Znajduje swoje odbicie w planach gospodarki odpadami, opartej na zasadzie zrównoważonego rozwoju (Gawłowski 2011, 2010; Piecuch 1999, 2000). Gospodarka odpadami komunalnymi obejmuje działania związane ze zbieraniem, transportem, odzyskiem oraz unieszkodliwianiem odpadów. Głównym jej celem jest ograniczenie wytwarzania odpadów oraz ich utylizacja (Piecuch 2006).

Różne są definicje odpadów i czasami także dzieli się odpady na odpady stałe oraz ciekłe. Jest to jednak podział rzadko spotykany i najczęściej mówiąc o odpadach ma się na uwadze odpady stałe. Odpady stałe najczęściej dzieli się na odpady przemysłowe i odpady komunalne (Piecuch 2002) przy czym odpady przemysłowe systematyzuje się resortowo (np. odpady resortu chemii, resortu górnictwa, resortu hutnictwa żelaza, hutnictwa metali kolorowych, budownictwa i ceramiki, pogarbarskie, przetwórstwa drewna, przetwórstwa spożywczego itd.). Natomiast odpady komunalne dzieli się w ramach tzw. morfologii na rodzaje odpadów i właśnie ten podział prowadzi także do tego, że poszczególne typy odpadów są odpadami przemysłowymi, np. metale, szkło i ceramika, gruz, papier, tektura i drewno, farby, lakiery i wreszcie te, które potocznie najbardziej kojarzą się z odpadami przemysłowymi, tzw. biodegradowalne, a więc typu BIO (Piecuch 2003).

## 1. Charakterystyka odpadów

W celu uporządkowania gospodarki zasobami i ochrony środowiska niezbędna jest na wstępie klasyfikacja odzwierciedlająca genezę odpadów, ich właściwości, ekologiczną szkodliwość, użyteczność i masowość ich wytwarzania (Gawłowski 2011; Mokrzycki, Uliasz-Bocheńczyk 2005; Pająk 1998; Piecuch 2000, 2006; Rosik-Dulewska 2012; Wandrasz 2000; Yucheng Cao, Pawłowski 2012).

Podstawą klasyfikacji są odpowiednio dobrane kryteria o charakterze fizykochemicznym, biologicznym, technologicznym, ekonomicznym, między innymi (Rosik-Dulewska 2012):

- ✧ źródło pochodzenia – sfera powstawania,
- ✧ kryterium surowcowe,

- ✧ stan skupienia,
- ✧ skład chemiczny,
- ✧ toksyczność,
- ✧ stopień zagrożenia dla środowiska,
- ✧ stopień przydatności (branżowej) do dalszego wykorzystania.

W kontekście ochrony środowiska, odpady rozpatruje się pod kątem powstawania w procesach produkcji lub konsumpcji oraz stopnia, w jakim zanieczyszczają środowisko. W kryteriach zagrożenia dla przyrody oraz potencjału toksycznego o klasyfikacji odpadów decydują (Pająk 1998; Piecuch, Dąbrowski, Piekarski, Dąbrowski 2/2007 oraz 3/2007; Piecuch, Dąbrowski, Dąbrowski, Piekarski 2008; Piecuch 2006, 1999; Piecuch, Dąbrowski, Hryniewicz, Żuchowicki 1999; Piecuch 2000; Piecuch i in. 2003; Wandrasz 2000):

- ✧ najbardziej niebezpieczny składnik, który określa poziom szkodliwości oraz możliwe metody przetworzenia odpadów,
- ✧ stopień szkodliwości odpadu dla żywych organizmów,
- ✧ stopień zagrożenia wodom powierzchniowym, glebie lub atmosferze,
- ✧ właściwości rakotwórcze,
- ✧ ocena organoleptyczna (zapach, pylność).

W Polsce zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27.09.2001 roku (Rozporządzenie 2001) odpady klasyfikuje się na 20 podstawowych grup. Jedną z grup stanowią odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie.

Pod pojęciem odpady komunalne rozumie się substancje lub przedmioty powstające w gospodarstwach domowych (z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji), a także odpady nie zawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych.

W 2011 roku w Polsce zebranych zostało 9 827,6 tys. ton odpadów komunalnych (w porównaniu z 2010 rokiem spadek o 2,2%). Jednak ilość odpadów wytworzonych wzrosła – w 2011 roku było to 12 128,8 tys. ton, podczas gdy w roku poprzednim 12 038,4 tys. ton, co prezentuje tabela 1. Najwięcej odpadów komunalnych (w tys. ton) zebrano w województwach: mazowieckim (1449,9), śląskim (1360,5), wielkopolskim (928,4) i dolnośląskim (914,9), podczas gdy najmniej w województwach: świętokrzyskim (195,6), podlaskim (252,1) i opolskim (256,8) (Infrastruktura... 2012).

Szczególny wpływ na ilość i jakość odpadów wywiera standard życia mieszkańców, którzy wytwarzają te odpady, ich przyzwyczajenia i tradycje żywieniowe zmienne w róż-

TABELA 1. Odpady komunalne wytworzone w Polsce w latach 2005–2011 w tys. ton (Roczniki Statystyczne)

TABLE 1. Waste generated in Poland 2005–2011 in thousand tons (Roczniki Statystyczne)

Wyszczególnienie	2005	2009	2010	2011
Ogółem odpady wytworzone w ciągu roku	133 956	123 113	125 517	135 653
Odpady komunalne	12 169	12 053	12 039	12 129

nych porach roku. Rozwój technologii powoduje, że rośnie tzw. spożycie społeczne, a to w konsekwencji wpływa na coraz większą ilość wytwarzanych odpadów; morfologia odpadów komunalnych jest pochodną miejsca ich powstawania (miasto – duże, małe, miejscowość przemysłowa, letniskowa – sezon, po sezonie, wieś – mała, duża – produkcja rolna, produkcja bydła i trzody itd. itd.) (Gawłowski 2011; Piecuch 2006, 1999, 2000; Rosik-Dulewska 2012).

TABELA 2. Skład odpadów domowych w 2008 roku (Uchwała 2010)

TABLE 2. Waste generated by type in 2008 (Uchwała 2010)

Lp.	Rodzaj odpadów	Masa wytworzonych odpadów [tys. Mg]			
		ogółem	w tym		
			w dużych miastach (>50 tys.)	w małych miastach	na terenach wiejskich
1.	Papier i tektura	1 520,5	1 045,0	302,5	173,0
2.	Szkło	1 216,3	545,9	323,4	347,0
3.	Metale	279,0	146,0	48,5	84,5
4.	Tworzywa sztuczne	1 533,6	830,9	346,1	356,6
5.	Odpady wielomateriałowe	401,2	134,7	124,5	141,9
6.	Odpady kuchenne i ogrodowe	3 888,6	1 582,3	1 156,7	1 149,7
7.	Odpady mineralne	467,9	173	89,1	205,8
8.	Frakcja < 10 mm	1 030,7	229,7	215,7	585,3
9.	Tekstylia	325,8	124,8	126,8	74,2
10.	Drewno	44,8	12,8	9,3	22,7
11.	Odpady niebezpieczne	89,4	41,1	20	28,2
12.	Inne kategorie	485,7	173	142,4	170,3
13.	Odpady wielkogabarytowe	268,3	141,8	82	44,5
14.	Odpady z terenów zielonych	549,4	292,1	166,8	90,6
Razem		12 101	5 472,9	3 153,8	3 474,4

Narastające problemy z zagospodarowaniem odpadów powstałe w wyniku wieloletnich zaległości inwestycyjnych spowodowały, że Polska znajduje się obecnie na końcu listy dotyczącej zagospodarowania odpadów wśród państw UE. Celem krajowego planu gospodarki odpadami jest system oparty na zasadzie zrównoważonego rozwoju, w którym realizowane są zasady postępowania z odpadami zgodnie z hierarchią zapisaną w ustawie o odpadach (Czop, Kajda-Szcześniak 2013).

Zgodnie z hierarchią sposobów postępowania z odpadami, najbardziej pożądanym działaniem jest przede wszystkim zapobieganie ich powstawaniu. Każdy kto podejmuje działania powodujące lub mogące powodować powstanie odpadów, w pierwszej kolejności powinien zapobiegać powstawaniu odpadów lub ograniczać ilość odpadów i ich negatywne oddziaływanie na życie i zdrowie ludzi oraz na środowisko, a następnie przygotować do recyklingu lub innych metod odzysku. Przez odzysk należy rozumieć jakikolwiek proces, którego głównym wynikiem jest to, aby odpady służyły użytecznemu zastosowaniu przez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym przypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji, lub w wyniku którego odpady są przygotowywane do spełnienia takiej funkcji w danym zakładzie lub ogólnie w gospodarce. Szczególną uwagę należy zwrócić na odzysk energii, czyli termiczne przekształcanie odpadów w celu odzyskania energii (Ustawa 2012).

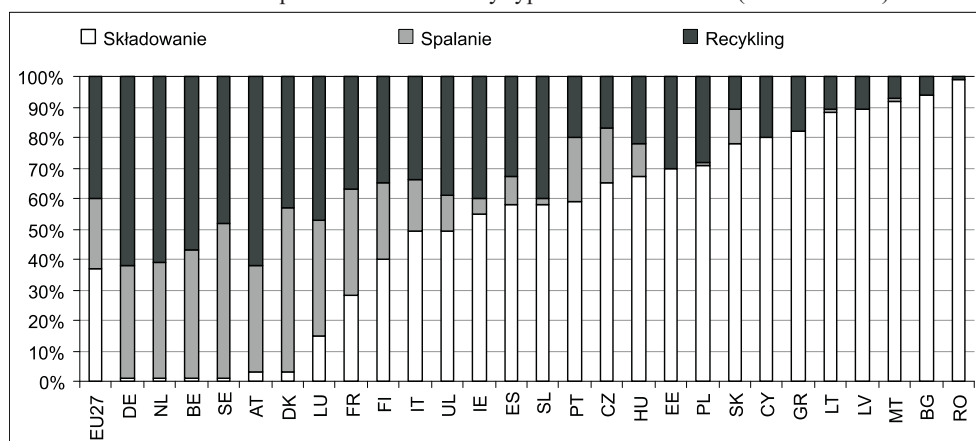
Problemem polskiej gospodarki odpadami jest brak alternatywnych dla składowisk odpadów, instalacji ich zagospodarowywania. Według danych Eurostat (2013), w 2010 r. w krajach UE-27 wytworzono 2502 mln ton odpadów komunalnych, z których w 2011 roku, wyznaczając średnią dla wszystkich krajów członkowskich UE, 37% podlegało recyklingowi i kompostowaniu, 23% spalaniu, a 40% składowaniu. Największy udział spalarni odpadów w systemach gospodarki odpadami komunalnymi widoczny jest w takich krajach UE jak: Dania, Luksemburg, Szwecja, Holandia, Francja, Belgia czy Niemcy. W Szwecji, udział ilości unieszkodliwianych odpadów poprzez ich spalanie wynosi 51%, a przetwarzanych biologicznie 12,5%. Na składowiska odpadów trafia tylko 3–4% odpadów, głównie w postaci lotnych popiołów ze spalania. W Polsce jest zupełnie odwrotnie, większość odpadów komunalnych unieszkodliwiana jest poprzez składowanie, metodą najmniej pożądaną z punktu widzenia środowiska (Mokrzycki, Uliasz-Bocheńczyk 2005; Pająk 1998; Piecuch 1999, 2000; Piecuch i zespół 2003).

W gospodarce odpadami komunalnymi przyjęto następujące cele:

- ❖ objęcie zorganizowanym systemem odbierania odpadów komunalnych 100% mieszkańców,

TABELA 3. Sposoby zagospodarowania odpadów komunalnych w UE w 2011 (Eurostat 2013)

TABLE 3. Municipal waste treatment by type in the UE in 2011 (Eurostat 2013)



- ✧ zmniejszenie ilości odpadów komunalnych ulegających biodegradacji kierowanych na składowiska odpadów, aby nie było składowanych,
- ✧ ilość odpadów komunalnych kierowanych na składowiska wynosić ma nie więcej niż 75% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 r. do dnia 31 grudnia 2010 r.,
- ✧ ilość odpadów komunalnych kierowanych na składowiska wynosić ma nie więcej niż 50% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 r. do dnia 31 grudnia 2013 r.,
- ✧ ilość odpadów komunalnych kierowanych na składowiska wynosić ma nie więcej niż 35% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 r. do dnia 31 grudnia 2020 r.
- ✧ zmniejszenie masy składowanych odpadów komunalnych do maks. 85% odpadów wytworzonych do 2014 r.,
- ✧ zredukowanie liczby składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, na których są składowane odpady komunalne do maks. 200 obiektów do 2014 r.

Tradycyjna i powszechna praktyka składowania odpadów na składowiskach jest stopniowo zastępowana zaawansowanymi metodami unieszkodliwiania odpadów. Coraz częstsze stosowanie metod biologicznego i termicznego przekształcania odpadów wiąże się z korzyściami dotyczącymi odzyskiwania energii z odpadów, wyselekcjonowania odpadów nadających się do ponownego użycia oraz mniejszej ilości odpadów do składowania. Odejście od metody składowania odpadów jest krokiem koniecznym dla zrównoważonej gospodarki odpadami, wymaga jednak konsekwentnego działania w kategoriach odzyskiwania surowców oraz ścisłego egzekwowania prawa. Zgodnie z dyrektywą w sprawie składowania odpadów (1999/31/WE), która stała się podstawą prawną tej wizji w państwach członkowskich Unii Europejskiej, odpady ulegające biodegradacji powinny być wyłączone ze składowania i przed składowaniem muszą zostać poddane obróbce wstępnej. Co więcej, przewiduje się ostateczne zamknięcie wszystkich składowisk w niedalekiej perspektywie czasowej. Oznacza to, że konieczne jest podjęcie kroków dla zmniejszenia ilości odpadów do składowania oraz zwiększenia skali przetworzenia i utylizacji wszystkich odpadów.

## 2. Uwarunkowania ekonomiczno-prawne termicznego przekształcania odpadów

Koncepcja utylizowania odpadów poprzez spalanie w urządzeniach specjalnie zaprojektowanych do tego celu pojawiła się w Europie w drugiej połowie XIX wieku. Jako przyczyny budowy tego typu zakładów wymienia się:

- ✧ możliwość produkcji energii dzięki wykorzystaniu pary wodnej wytwarzanej przez spalarnie,
- ✧ konieczność „sterylizacji bakteriologicznej” śmieci, w obawie przed możliwością szerzenia się chorób i zarazy,

✧ rozwiązanie problemu zwiększającej się ilości odpadów jako efektu gwałtownej industrializacji i rozwoju miast.

Termiczne przekształcanie odpadów, według ustawy z dnia 14 grudnia 2012 roku, to proces spalania odpadów przez ich utlenienie lub inne w tym pirolizę, zgazowanie i proces plazmowy, o ile substancje powstające podczas tych procesów są następnie spalane (Ustawa 2012). W przepisach UE można także odnaleźć główne elementy zakładu spalania odpadów komunalnych, na który składają się: piec do spalania, układ wprowadzający odpady, paliwo i powietrze oraz urządzenia służące do kontroli procesu spalania. Taki projekt przykładowego, kompleksowego Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów dla Województwa Zachodniopomorskiego opracował profesor Tadeusz Piecuch (2003), co prezentuje rysunek 1. Zaproponował w ramach zakładu obok typowego ciągu spalarnianego niezależne węzły termicznej przeróbki odpadów, tj. węzeł plazmy oraz węzeł pirolizy, w którym przerabiane będą także odpady mięsne, drobiowe i rybne. Uwzględniając inne możliwe metody przeróbki odpadów (recykling po wysortowaniu) przyjął jako wydajność wystarczającą dla Województwa Zachodniopomorskiego przerób wsadu do pieca spalarni rzędu 150 tys. ton/rok (w tę liczbę nie wchodzi odpady kierowane do pirolizy, do plazmy oraz większość odpadów mięsnych, drobiowych i rybnych, kierowanych do produkcji pasz, i kompostowania).

Spalanie odpadów jest problematyczne w aspekcie środowiskowym i społecznym, a także jest objęte licznymi wymaganiami i ograniczeniami natury prawnej (Gawłowski 2011; Piecuch, Dąbrowski, Piekarski, Dąbrowski 2/2007 oraz 3/2007; Piecuch 2006, 1999, 2000). Zachodzi zatem potrzeba wybrania takiej technologii spalania, która nie będzie budzić sprzeciwu społecznego oraz będzie akceptowana w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym (Mokrzycki, Uliasz-Bocheńczyk 2005; Piecuch 2006; Poskrobko, B, Poskrobko 2012).

Spalanie jest to intensywne utlenianie substancji organicznej w wysokiej temperaturze (Piecuch 2006, Piecuch 2000 i Piecuch 1999). Odpady jako paliwo są wprowadzane do pieców spalarni – najczęściej rusztowych lub bębnowych wraz z określoną ilością powietrza, a niezależnie drugi strumień powietrza podawany jest np. pod ruszt spalarni przy prędkości rzędu powyżej 10 m/s. Zatem najczęściej powietrze (praktycznie prawie zawsze) jest źródłem tlenu. Wynikiem pełnego stechiometrycznego spalania jest więc powstały dwutlenek węgla, a przy niedostatku powietrza (tlenu) powstaje niezwykle toksyczny tlenek węgla zwany potocznie czadem. Spaliny mają różny skład zależny od składu chemicznego odpadów (Piecuch 2006, 2003, 1999, 2000; Piecuch i zespół 2003, Piecuch, Dąbrowski 2009; Szkarowski, Janta-Lipińska 2013; Czechowska-Kosacka 2013; Wielgosiński 2006, 2009; Dąbrowski, Piecuch 2011; Dąbrowski, Piecuch 2010; Miller 2009; Piecuch i zespół 2008). Zarówno powietrze, jak i paliwa doprowadzane do komory spalania noszą nazwę substratów. Końcowym efektem spalania są: ciepło i produkty, które mogą być stałe, ciekłe i gazowe (Czarny 2006).

Istnieje w świecie wiele różnych propozycji wdrożonych już układów technologicznych ciągu spalarnianego, z których wszystkie mają wady i zalety, a im droższy inwestycyjnie układ technologiczny tym jest on jakościowo lepszy, mniej szkodliwy dla środowiska lecz oczywiście droższy inwestycyjnie, a także eksploatacyjnie gdyż rośnie składowa kosztów eksploatacyjnych jaką jest amortyzacja (Pająk 1998; Piecuch 1999, 2000, 2006; Wandrasz





2000). Oczywiście także trwa nieustanna modernizacja konstrukcji i optymalizacja pracy kotłów między innymi (Gumuła, Piaskowska-Silarska 2010; Czechowska-Kosacka 2013; Miller 2009; Szakrowski, Janta-Lipińska 2013)

Paliwem podstawowym w gospodarce krajowej jest węgiel. Przynajmniej częściowo mogą go zastąpić paliwa alternatywne, tj. odpowiednio przetworzone odpady palne. Korzyści z wykorzystania paliw alternatywnych są bardzo duże zarówno dla środowiska jak i gospodarki. Odpady stosowane jako paliwa muszą posiadać odpowiednią wartość opałową, która zależy od zawartości składników, takich jak: wilgotność, części palne, substancja mineralna (Mokrzycki, Uliasz-Bocheńczyk 2005).

Wartość opałowa jest tym parametrem wśród fizykochemicznych cech odpadów, który bezpośrednio determinuje efektywność odzysku ciepła w instalacjach termicznej utylizacji odpadów. Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej bądź cieplnej, produkowanej z odpadów nie są dominującym czynnikiem w bilansie ekonomicznym spalarni, niemniej jej eksploatacja nie może powodować ujemnego bilansu energetycznego wynikającego ze zbyt niskiej wartości opałowej odpadów. W przypadku zastosowania konwencjonalnych technologii spalania odpadów, wartość opałowa powinna wynosić minimum 5,8 GJ/Mg. W 2011 roku wartość opałowa jednej tony odpadów dostępnej dla spalarni wynosiła 9,36 GJ/Mg, a według prognoz w 2020 roku wartość ta zmniejszy się do 8,17 GJ/Mg. Spadek wartości opałowej odpadów komunalnych jest charakterystyczny dla wszystkich krajów europejskich, w których nastąpił wzrost selektywnej zbiórki odpadów i ich recyklingu. Profesor Piecuch w swoich licznych publikacjach zwraca uwagę, iż ogromnie ważnym czynnikiem dla dobrego spalania odpadów – a w szczególności destrukcji węglowodorów aromatycznych WWA w tym także polichlorowanych dibenzodioxyn (PCDD) i polichlorowanych dibenzofuranów (PCDF) – jest wysoka temperatura w piecu spalarni i w kolejnym węźle, którym jest tzw. komora dopalania. Aby uzyskać pozytywny efekt konieczna jest temperatura powyżej 1200°C i czas działania tej temperatury powyżej 2,5 s, a najlepiej powyżej 3 s. Jest to trudne do osiągnięcia jak ze względu na zbyt niską wartość opałową odpadów, która waha się dla odpadów komunalnych średnio w granicach od 8–15 MJ/kg, a dla osadów z oczyszczalni ścieków od 8 do około 14 MJ/kg. Zatem są to wartości zbyt małe dla dobrego spalania i chronienia środowiska przed największymi toksynami PCDD oraz PCDF. (m.in. Piecuch 2003, 2006, 1999, 2000; Dąbrowski, Piecuch 2011). Z drugiej jednak strony wysoka temperatura powoduje wzrost emisji do atmosfery w spalinach tlenków azotu  $\text{NO}_x$ , a one łączą się z rodnikami węglowodorowymi tworząc niezwykle kancerogenne tzw. nadtlenki acetylu. Aby do tego nie dopuścić Szkarowski i Janta-Lipińska (2013) proponują tzw. niedopał chemiczny, a więc spalanie odpadów w niskiej temperaturze, aby ograniczyć emisję  $\text{NO}_x$  lecz z drugiej strony potęguje to wzrost w spalinach WWA, a więc i także PCDD oraz PCDF. Przed badaczami stoi więc otwarty problem do rozwiązania.

Załącznik nr I ustawy o odpadach (Ustawa... 2012) zawiera niewyczerpujący wykaz procesów odzysku gdzie R1 jest wykorzystaniem głównie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii, przy czym pozycja ta obejmuje obiekty przekształcania termicznego przeznaczone wyłącznie do przetwarzania komunalnych odpadów stałych (spalarnie), pod warunkiem, że ich efektywność energetyczna (EE) jest równa lub większa niż: 0,60 dla działających instalacji, które otrzymały zezwolenie zgodnie ze stosowanymi przepisami

wspólnotowymi obowiązującymi przed dniem 1 stycznia 2009 r. 0,65 dla instalacji, które otrzymały zezwolenie po dniu 31 grudnia 2008 r., przy zastosowaniu następującego wzoru:

$$\text{Efektywność energetyczna} = \frac{(E_p - (E_f + E_i))}{(0,97 \cdot (E_w + E_f))}$$

- gdzie:  $E_p$  – oznacza ilość energii produkowanej rocznie jako energia cieplna lub elektryczna, oblicza się ją przez pomnożenie ilości energii elektrycznej przez 2,6, a energii cieplnej wyprodukowanej w celach komercyjnych przez 1,1 [GJ/rok],
- $E_f$  – oznacza ilość energii wprowadzanej rocznie do systemu, pochodzącej ze spalania paliw biorących udział w wytwarzaniu pary [GJ/rok],
- $E_w$  – oznacza roczną ilość energii zawartej w przetwarzanych odpadach, obliczanej przy zastosowaniu dolnej wartości opałowej odpadów [GJ/rok],
- $E_i$  – oznacza roczną ilość energii wprowadzanej z zewnątrz z wyłączeniem  $E_w$  i  $E_f$  [GJ/rok], 0,97 – jest współczynnikiem uwzględniającym straty energii przez popiół denny i promieniowanie.

Oczywiście powyższy algorytm jest określonym kompromisem pomiędzy tzw. spalarnianym lobby energetycznym a szeroko rozumianym ruchem zielonych i zapewne będzie on w przyszłych latach modyfikowany; na razie przeważa koncepcja spalania odpadów mimo ich często małej wartości energetycznej, a przez to szkodliwości tego procesu w odniesieniu do jakości spalin (m.in. Piecuch 2006, 2000, 1999).

Wysoki poziom ochrony środowiska przyrodniczego i ochrony zdrowia ludzkiego wymaga ustalenia i utrzymania rygorystycznych warunków działania, wymagań technicznych i dopuszczalnych wielkości emisji dla instalacji spalających lub współpalających odpady. Wszystkie rodzaje spalarni odpadów, bez względu na to czy są to spalarnie odpadów komunalnych, osadów ściekowych, odpadów niebezpiecznych czy odpadów medycznych i weterynaryjnych, obowiązują w zakresie dotrzymania standardów emisyjnych przepisy ujęte w załączniku nr 5 do rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów emisyjnych z instalacji. Obowiązek dotrzymania standardów emisyjnych dotyczy głównie takich substancji zanieczyszczających, jak: pył, całkowity węgiel organiczny, chlorowodór, fluorowodór, dwutlenek siarki, tlenek i dwutlenek azotu w przeliczeniu na dwutlenek azotu oraz tlenek węgla, choć nie tylko.

Analizując efektywność inwestycji budowy zakładu termicznego przekształcania odpadów należy oszacować dane eksploatacyjne instalacji, a w szczególności:

- ✧ rodzaj odpadów poddawanych spalaniu bądź współpalaniu, a także – o ile to możliwe – ich przybliżony skład fizykochemiczny i wartość opałową,
- ✧ przewidywaną ilość odpadów poddawanych spalaniu bądź współpalaniu w zakładzie w odniesieniu do jednostki czasu,
- ✧ rodzaj podstawowego paliwa (kopalnego) stosowanego w danym zakładzie, jego charakterystykę i ilość zużywaną w jednostce czasu oraz przybliżony procentowy udział odpadów w paliwie podstawowym,

- ✧ wydajność produkcyjną zakładu w odniesieniu do godziny, doby oraz roku, a także jej nominalną moc cieplną – jeżeli jest to możliwe – lub moc cieplną zainstalowanych w niej palników,
- ✧ czas pracy instalacji (ilość godzin w ciągu doby, tygodnia, miesiąca oraz w ciągu roku).

Wielkość spalarni powinna zostać określona na podstawie bilansu odpadów komunalnych dostępnych na danym terenie, a także na podstawie analizy efektywności budowy podobnych obiektów w innych miastach. Szacowane całkowite nakłady inwestycyjne na budowę spalarni o dużych zdolnościach przerobowych (ponad 100 tys. ton odpadów rocznie) szacuje się około 650 mln zł, z czego około 70% stanowiłyby nakłady na urządzenia (Piecuch 1999, 2000). Efektywność budowy spalarni może zostać podniesiona poprzez możliwość uzyskania dotacji.

W odniesieniu do ekonomicznej strony inwestycji Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Piecuch zwraca uwagę, że w miarę kompleksowy i nowoczesny Zakład tego typu to rząd kosztów około 1 miliarda złotych i to przy założeniu, że wsad do pieca spalarni będzie rzędu 100 tysięcy ton/ rok przy wartości opałowej średniej w granicach 20 MJ/kg (im wyższa tym lepiej) i przy koszcie przyjęcia odpadów przez spalarnię w granicach 400–450 zł/ Mg. Niezależnie od kosztów transportu odpadów do spalarni pamiętać należy równocześnie o tym, że zawartość chloru w strukturze odpadów nie może przekraczać 0,5% (Piecuch 2006, 2003, 2000, 1999; Piecuch, Dąbowski 2009; Dąbowski, Piecuch 2011, 2010).

Planując lokalizację zakładu termicznego przekształcania odpadów należy poddać analizie usytuowanie w jej pobliżu obiektów, w stosunku do których oddziaływanie tej instalacji może być źródłem ewentualnych skarg oraz potencjalnych zagrożeń ekologicznych. W szczególności w punkcie tym należy uwzględnić (Czarny 2006; Czop, Kajda-Szczeniak 2013; Gawłowski 2011; Mokrzycki, Uliasz-Bocheńczyk 2005; Piecuch 1999, 2000, 2003; Rosik-Dulewska. Cz 2012):

- ✧ powierzchnię zajmowanego terenu oraz obiektu budowlanego, w którym zlokalizowana jest dana instalacja,
- ✧ istniejące w sąsiedztwie lub bezpośrednim zasięgu oddziaływania instalacji obiekty mieszkalne i użyteczności publicznej,
- ✧ istniejące w sąsiedztwie lub bezpośrednim zasięgu oddziaływania instalacji dobra kultury poddane ochronie na podstawie ustawy o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami,
- ✧ istniejące w sąsiedztwie lub bezpośrednim zasięgu oddziaływania instalacji obiekty i obszary poddane ochronie na podstawie przepisów ustawy o ochronie przyrody, ustawy o lasach, ustawy Prawo wodne oraz przepisów ustawy o uzdrowiskach i lecznictwie uzdrowiskowym.

Odbiór społeczny instalacji termicznego przekształcania odpadów jest bardzo istotnym czynnikiem, który musi być brany pod uwagę przy opracowaniu projektu. Kontrowersje wynikają w dużej mierze z niewiedzy na temat nowoczesnych rozwiązań stosowanych w spalarniach. Duże znaczenia ma także edukacja społeczeństwa w kształtowaniu skutecznej i efektywnej gospodarki odpadami. Świadomość konsumentów w zakresie zapobiegania i właściwego postępowania z odpadami wpływa bowiem na decyzje konsumpcyjne (Poskrobko, Poskrobko 2012).

### 3. Zielona energia z odpadów

W zakresie gospodarki paliwami i energią uwzględniane są również paliwa odpadowe pochodzące z palnych odpadów przemysłowych i komunalnych, takich jak: guma, tworzywa sztuczne, odpady olejów i innych podobnych produktów. Mają one postać stałą lub ciekłą i zaliczane są do paliw odnawialnych lub nieodnawialnych, w zależności od tego czy ulegają biodegradacji czy nie.

Do paliw odnawialnych wykorzystywanych w procesie wytwarzania energii elektrycznej i/lub ciepła zaliczane są odnawialne stałe odpady komunalne spalane w odpowiednio przystosowanych instalacjach. Są to odpady z gospodarstw domowych, szpitali i sektora usług (biomasa odpadowa), zawierające frakcje organiczne ulegające biodegradacji (Energia... 2011).

Poprawa efektywności wykorzystania energii z termicznego przekształcania odpadów umożliwi wykorzystanie potencjalnych oszczędności energii w sposób ekonomicznie efektywny. Środki poprawy efektywnego wykorzystania energii mogłyby prowadzić do tych oszczędności, w ten sposób wspomagając Polskę w zmniejszeniu jej uzależnienia od importu energii. Ponadto ukierunkowanie na technologie efektywniej wykorzystujące energię może pozytywnie wpłynąć na innowacyjność i konkurencyjność.

Polskie przepisy prawne, a konkretnie ustawa z 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, zawiera mechanizm wsparcia wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w postaci tzw. zielonych certyfikatów oraz podobny mechanizm wsparcia dla energii elektrycznej wytwarzanej w kogeneracji w formule czerwonych certyfikatów.

Certyfikaty i mechanizmy ich funkcjonowania są korzystne dla elektroenergetyki, powszechnie są akceptowane przez kraje członkowskie UE. Wyróżniamy:

- ❖ certyfikaty zielone, stanowiące wsparcie dla odnawialnych źródeł energii,
- ❖ certyfikaty czerwone, które są wsparciem dla energii elektrycznej wyprodukowanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła,
- ❖ certyfikaty białe, poświadczające uzyskane oszczędności energetyczne po wprowadzeniu konkretnego projektu,
- ❖ certyfikaty błękitne, które mają służyć obniżeniu ryzyka inwestycyjnego w energetyce w nowe źródła wytwórcze.

W celu sprawnego ich wykorzystania w Polsce konieczne jest wdrożenie zmian i uzupełnień, głównie w sferze prawnej.

Sprzedż praw majątkowych do świadectw pochodzenia (ŚP) energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych stanowi główny strumień przychodów wytwórców tej energii elektrycznej. Zgodnie z ustawą Prawo energetyczne, prawa majątkowe wynikające ze świadectwa pochodzenia są zbywalne i stanowią towar giełdowy. Obrót prawami majątkowymi do świadectw pochodzenia prowadzony jest przez Towarową Giełdę Energii na Rynku Praw Majątkowych. W ramach Rynku Praw Majątkowych handel zielonymi certyfikatami odbywa się na sesjach giełdowych oraz w transakcjach pozasesyjnych – za pośrednictwem rejestru praw majątkowych TGE.

Wskazane jest więc, podczas analizy inwestycji związanej z budową spalarni odpadów komunalnych, sporządzenie oprócz analizy finansowej także analizy ekonomicznej przed-

stawiającej ekonomiczną efektywność przedsięwzięcia, uwzględniającą zarówno korzyści jak i koszty społeczne w każdej pozycji wpływów i wydatków.

## Podsumowanie

Podstawowym problemem na dzień dzisiejszy jest duża liczba uregulowań prawnych, a co się z tym wiąże konieczność pozyskiwania stosownych zezwoleń na spalanie odpadów. Dla porównania w starej UE funkcjonuje około 400 zakładów termicznej utylizacji odpadów, a w Polsce tylko jeden w Warszawie. Obecnie w budowie znajduje się sześć spalarni odpadów komunalnych (w Krakowie, Białymstoku, Koninie, Bydgoszczy, Szczecinie i Poznaniu) o łącznej mocy przerobowej około 1 mln ton – przy czym plany przewidywały rozpoczęcie budowy już w 2012 r. łącznie dwunastu spalarni odpadów w naszym kraju (Gawłowski 2011; Gawłowski, Gawłowska-Listowska, Piecuch 2010). Wcześniejsze plany przewidywały, że skala inwestycji będzie ponad dwukrotnie większa, a w ramach inwestycji dotyczących termicznego przekształcania odpadów – które miały powstać przy współfinansowaniu ze środków unijnych – planowano, że ich łączna moc przerobowa będzie wynosiła około 2,3 mln ton rocznie.

Bezsporną kwestią jest fakt, iż odpady mogą stanowić źródło energii wykorzystywanej w ciepłownictwie jak i w energetyce zawodowej. Przydatność odpadów do energetycznego wykorzystania zależy przede wszystkim od ich rodzaju, jednorodności i właściwości paliwowych. Energia elektryczna i cieplna jest podstawowym elementem ekonomicznego rozwoju i czynnikiem poprawiającym jakość życia. Szacuje się, że zapotrzebowanie na energię w skali globalnej wzrośnie w ciągu najbliższych lat o prawie 70%. W celu sprostania rosnącemu zapotrzebowaniu na energię należy sięgać po różnorodnego rodzaju dostępne źródła energii.

Najsłabszym ogniwem w zakresie ochrony środowiska pozostaje w Polsce gospodarka odpadami komunalnymi. Usprawnienie jej zdecyduje o możliwości wykonania przyjętych poziomów odzysku i recyklingu odpadów, a więc ponownego wykorzystania surowców i energii. Przedstawione powyżej argumenty wskazują na pilną potrzebę budowy w Polsce instalacji do termicznego przetwarzania odpadów komunalnych.

## Literatura

- CZECHOWSKA-KOSACKA A., 2013 – Sewage Sludge as a Source of Renewable Energy. *Rocznik Ochrona Środowiska* t. 15, s. 314–323.
- CZARNY G., 2006 – Biomasa i odpady jako źródło energii. *Kraking katalityczny. Polityka energetyczna* t. 9, z. spec., s. 489.
- CZOP M., KAJDA-SZCZEŚNIAK M., 2013 – Paliwa z odpadów źródłem energii odnawialnej. *Gospodarka Odpadami i Ochrona Środowiska* t. 15, s. 83–84.

- DĄBROWSKI J., PIECUCH T., 2011 – Mathematical Description of Combustion Process of Selected Groups of Waste. *Rocznik Ochrona Środowiska* t. 13, s. 253–268.
- DĄBROWSKI J., PIECUCH T., 2010 – Badania laboratoryjne nad możliwością współspalania miazgu węglowego wraz z osadami ściekowymi. *Przegląd Górniczy* nr 11.
- Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów.
- Energia ze źródeł odnawialnych w 2011 roku. Główny Urząd Statystyczny Warszawa 2012, s.16.  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Waste\\_statistics#Total\\_waste\\_generation](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics#Total_waste_generation) (05.08.2013)
- GAWŁOWSKI S., 2011 – Zarządzanie pozyskanymi funduszami unijnymi w Polsce w obszarze ochrony środowiska. *Rocznik Ochrona Środowiska* t. 13, s. 269–282.
- GAWŁOWSKI S., GAWŁOWSKA–LISTOWSKA R., PIECUCH T., 2010 – Uwarunkowania i prognoza bezpieczeństwa energetycznego Polski na lata 2010–2010. *Rocznik Ochrona Środowiska* t. 12, s. 127–176.
- GAWŁOWSKI S., LISTOWSKA-GAWŁOWSKA R., PIECUCH T., 2010 – Bezpieczeństwo energetyczne Kraju. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, s. 206.
- GUMUŁA S., PIASKOWSKA-SILARSKA M., 2010 – Odpady komunalne jako odnawialny surowiec energetyczny – problemy i uwarunkowania związane z jego wykorzystaniem. *Polityka energetyczna* t. 13, z. spec., s. 175.
- Infrastruktura komunalna w 2011 roku. Główny Urząd Statystyczny Warszawa 2012, s. 18.
- MILLER U., 2009 – Praktyczne aspekty spalania biomasy w kotłach rusztowych. Doświadczenia eksploatacyjne na przykładzie współspalania biomasy w kotle WR-10 w Ciepłowni DPM w Koszalinie. *Rocznik Ochrona Środowiska* t. 11, s. 739–750.
- MOKRZYCKI E., ULIASZ-BOCHEŃCZYK A., 2005 – Paliwa alternatywne z odpadów dla energetyki. *Polityka energetyczna* t. 8, z. spec., s. 508.
- PAJĄK T., 1998 – Termiczna utylizacja odpadów komunalnych jako element współczesnej kompleksowej gospodarki odpadami. *Przegląd Komunalny* nr 3 (78), s. 17–41.
- PIECUCH T., DĄBROWSKI T., PIEKARSKI J., DĄBROWSKI J., 2007 – Energetyczne wykorzystanie odpadów przemysłu chemii organicznej. *Kwartalnik Gazinform*, Sankt-Petersburg, 2/2007 oraz 3/2007.
- PIECUCH T., DĄBROWSKI T., DĄBROWSKI J., PIEKARSKI J., 2008 – Wykorzystanie odpadów chemii organicznej do produkcji gazu pizolitycznego. *Kwartalnik Inżynierskie Systemy*, Sankt-Petersburg, No 3(36).
- PIECUCH T., DĄBROWSKI T., DĄBROWSKI J., PIEKARSKI J., 2008 – Energetyczne i ekologiczne rozwiązanie problemów utylizacji odpadów na bazie zaawansowanej technologii produkcji gazu pizolitycznego. *Miesięcznik Rynek Instalacji*, Lwów, 10(137).
- PIECUCH T., 2003 – Koncepcja kompleksowego rozwiązania gospodarki odpadami w skali Województwa Zachodniopomorskiego. *Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska*, nr 21, Seria Inżynieria Środowiska, s. 79–113.
- PIECUCH T., 2006 – Zarys metod termicznej utylizacji odpadów. *Podręcznik Politechniki Koszalińskiej*, s. 396.
- PIECUCH T., 1999 – The Pyrolytic Convective Waste Utilizer. *Environmental Science Research*, Volume 58, Kluwer Academic (Plenum Publisher – New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow).
- PIECUCH T., DĄBROWSKI T., HRYNIEWICZ T., ŻUCHOWICKI W., 1999 – Polish Made Pyrolytic Convective Waste Utilizer of WPS Type. *Structure Principle of Operation and Evaluation*.

- Problems of Residue Management After Thermal Waste Utilization, The Journal of Solid Waste Technology and Management. Volume 26, November 3/4, Editor: Iraj Zandi, University of Pensylwania and Editor: Ronald L. Mersky, University Widener – USA.
- PIECUCH T., 1999 – Termiczna utylizacja odpadów – wdrażać czy nie? Polska Akademia Nauk, Oddział Gdańsk, Komisja Ekosfery, Monografia, wydano nakładem Komisji Ekosfery PAN, Szczecin.
- PIECUCH T., 2000 – Termiczna utylizacja odpadów. Rocznik Ochrona Środowiska, t. 2, s. 11–38.
- PIECUCH T., DĄBROWSKI T., DĄBROWSKI J., LUBIERSKI M., JURASZKA B., KOŚCIERZYŃSKA-SIEKAN G., JANTOS K., 2003 – Analiza pracy spalarni odpadów Szpitala Wojewódzkiego w Koszalinie-spaliny, ścieki, wtórny odpad. Rocznik Ochrona Środowiska, t. 5, s. 163–190.
- PIECUCH T., DĄBROWSKI J., DĄBROWSKI T., 2009 – Badania laboratoryjne nad możliwością termicznej utylizacji poprodukcyjnych odpadów poliestrowych. Rocznik Ochrona Środowiska, t. 11.
- POSKROBKO B., POSKROBKO T., 2012 – Zarządzanie środowiskiem w Polsce. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne Warszawa, s.273.
- ROSİK-DULEWSKA Cz., 2012 – Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa, s. 28.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów Dz. U. 2001 nr 112 poz. 1206.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji Dz. U. 2011 nr 95 poz. 558.
- SZKAROWSKI A., JANTA-LIPIŃSKA A., 2013 – Badania energo-ekologicznych wskaźników pracy kotłów przy spalaniu paliwa ze sterowanym resztkowym niedopałem chemicznym. Rocznik Ochrona Środowiska, t. 15, s. 981–995.
- Uchwała nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014”.
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach Dz. U. 2013 poz. 21.
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne Dz.U. 1997 nr 54, poz. 348 (z późn. zm.).
- WANDRASZ J., 2000 – Gospodarka odpadami medycznymi. Wydawnictwo: Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych, s. 446.
- WIELGOSIŃSKI G., 2009 – Emisja dioksyn z procesów termicznych i metody jej ograniczania. Monografia. Polska Akademia Nauk. Oddział w Łodzi. Komisja Ochrony Środowiska, s. 217.
- WIELGOSIŃSKI G., 2006 – Study of the catalytic decomposition of PCDD/Fs on V2O5-WO3/Al2O3-TiO2 catalyst – rozdział w monografii „Environmental Engineering” ed.: Pawłowski L., Dudzińska M., Pawłowski A., Taylor&Francis, s. 495–499.
- YUCHENG Cao., PAWŁOWSKI L., 2012 – Lubelskie doświadczenia we współspalaniu odpadów komunalnych w przemyśle cementowym. Rocznik Ochrona Środowiska t. 14, s. 132–145.  
<http://www.e-vive.pl> (14.07.2013).

Beata NOWAK

## Dilemmas of economic evaluation of municipal solid waste combustion projects

### Abstract

In Poland over 12 million tones of waste is generated each year. Thus Poland is the sixth largest producer of waste in the European Union. Paradoxically, we have one of the lowest rates of waste generation per capita, i.e. 315 kg, whereas the EU average is 503 kg. This disparity may result from differences in the level of economic growth and the fact that only 80% of Poles are covered by the waste management system.

The legal changes concerning the municipal waste management system introduced in recent years in Poland aim not only to ensure the compliance of Polish regulations with the requirements of EU Directives but also reduce the amount of municipal waste needing to be disposed of. The main aim of the municipal waste management system is to increase the level of waste recycling, which involves the challenge of building a municipal waste incineration plant.

Although still a controversial subject, the waste incineration process is an effective way of waste management. This method consist in thermal processing of waste, which reduces the amount of waste and enables energy recovery. Today's technologies enable waste volume reduction ranging from 80% (without slag processing) to 95% (with slag processing), and waste weight reduction by 60–70%. New available incinerators enable the reuse of energy from combustion. Energy is converted into heat and/or electricity without the necessity of adding conventional fuels.

This paper presents the profile and hierarchy of municipal waste treatment methods. Special attention is given to legal and economic considerations concerning the thermal processing of waste, with particular reference to the total efficiency of a waste incineration plant calculated based on the formula set out in legal provisions.

KEY WORDS: municipal waste, thermal utilization of waste, renewable energy