

Aneta M. CZECHOWSKA-KOSACKA¹

Robert KOSACKI²

Daniel BANCER³

Jan M. OLCHOWIK⁴

ZASTOSOWANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH JAKO KOMPONENTU PALIWA ALTERNATYWNEGO

Streszczenie: Podczas oczyszczania ścieków miejskich powstają znaczne ilości osadów ściekowych. Jedną z metod jest ich wykorzystanie na cele nieprzemysłowe, a więc zagospodarowanie osadów do celów nawożenia, ulepszenia gleb oraz rekultywacji. Często jednak na przeszkodzie rolniczemu wykorzystaniu stoi zbyt wysoka zawartość metali ciężkich. Wówczas należy rozważyć bardziej radykalne metody np. spalanie. Podstawą procesu jest maksymalne wykorzystanie ciepła spalania osadu oraz zmniejszenie tego typu odpadu. Przy prawidłowym doborze technologii osad może być spalony bez znacznego dodatku paliwa. W pracy podjęto próbę wykorzystania osadów ściekowych z mechaniczno biologicznej oczyszczalni ścieków jako paliwa alternatywnego i przeprowadzono próby uzyskania mieszaniny osadów ściekowych z odpadowym olejem powalcowniczym przy użyciu ogólnie dostępnych niejonowych substancji powierzchniowo czynnych. W trakcie badań określono następujące parametry decydujące o przydatności mieszaniny: wartość opałowa, trwałość oraz lepkość. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły stwierdzić, że sporządzenie trwałej mieszaniny osadów ściekowych z olejem powalcowniczym o odpowiedniej wartości opałowej nie stanowi problemu, a wartość opałowa najkorzystniejszych mieszanin wynosi 18,62 - 25,71 MJ/kg co jest wyższe od zalecanej minimalnej wartości opałowej wynoszącej 16 MJ/kg. Badania wykazały, że sporządzenie trwałej mieszaniny osadów ściekowych z odpadowym olejem powalcowniczym o odpowiedniej wartości opałowej nie stanowi większego problemu. Zastosowanie tego rodzaju paliwa wymaga jednak modernizacji obiegu gazów odlotowych zapobiegających emisji odorów do atmosfery.

Słowa kluczowe: spalanie, olej odpadowy, immobilizacja, mieszanki paliwowe

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Aneta M. Czechowska-Kosacka, Politechnika Lubelska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, +48 81 538 4700, a.czechowska-kosacka@pollub.pl

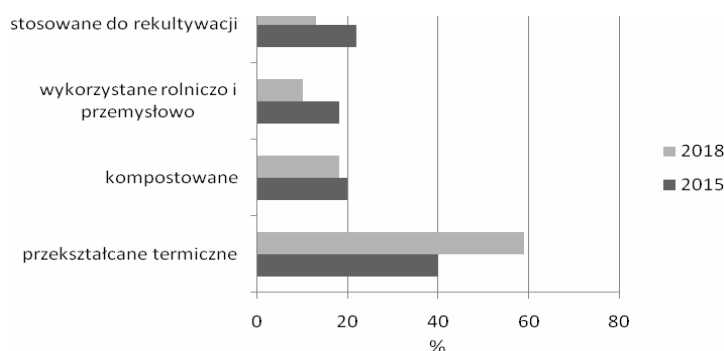
² Robert Kosacki, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin

³ Daniel Bancer, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin

⁴ Jan M. Olchowik, Politechnika Lubelska, Instytut Inżynierii Odnowialnych Źródeł Energii, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, +48 81 538 4700, j.olchowik@pollub.pl

1. Wstęp

Problem osadów ściekowych, który od zawsze towarzyszy procesom oczyszczania zawsze był marginalizowany i nie traktowany równorzędnie z problemem oczyszczania ścieków. Przyjmowane były proste metody przeróbki osadów, które później w znaczący sposób wpływały na ich późniejsze wykorzystanie (Rys. 1).



Rys. 1. Prognozowane zmiany w postępowaniu z komunalnymi osadami ściekowymi w Polsce [8]

Fig. 1. Forecasts concerning changes in municipal sewage sludge management in Poland [8]

Jedną z metod wykorzystywania właściwości energetycznych osadów jest wykorzystanie go jako biomasy, wówczas mógłby być on wykorzystany jako odnawialne źródło energii. Podczas fermentacji beztlenowej z osadów powstaje biogaz, który można wykorzystać do celów grzewczych, do napędzania silników gazowych i produkcji energii elektrycznej.

Osady ściekowe, powstające w oczyszczalniach ścieków są odpadami, które skutecznie, mogą być również unieszkodliwiane i zagospodarowane w rekultywacji gleb, produkcji kompostów czy też w rolnictwie [5]. Z uwagi jednak na ograniczenia związane z przyrodniczym wykorzystaniem spowodowane zawartością metali ciężkich i ryzyka przedostawania się ich do środowiska gleby, wód gruntowych i podziemnych należy rozważyć wykorzystanie termicznych metod przekształcania osadów [3,6]. W Polsce pracuje ponad 3900 oczyszczalni ścieków w tym 2200 oczyszczalni ścieków komunalnych, które produkują rocznie ok. 450 tys. Mg suchej masy (s.m.) osadów ściekowych, z której aż 188 tys. Mg s.m. kierowane jest na składowiska oraz do spalania. Produkty spalania osadów ściekowych kierowane są również na składowiska [2].

O realności stosowania termicznych metod unieszkodliwiania osadów ściekowych decydują w głównej mierze: ciepło spalania, zawartość substancji lotnych oraz mineralnych. Wymienione powyżej czynniki wpływają głównie na przebieg procesu oraz bilans energetyczny. Zawartość substancji organicznej w osadzie jest wskaźnikiem informującym o właściwościach paliwowych przy wykorzystaniu osadów w procesach termicznych. Wartość opałowa osadów ściekowych zależy od rodzaju osadów ściekowych i wynosi dla osadu surowego zawierającego 70% substancji lotnych 16 750-17 170 kJ/kg, dla osadu czynnego 14 650- 15 490 kJ/kg, a osadu przefermentowanego o zawartości 50% substancji palnych ok. 10 470 kJ/kg. W przypadku, gdy jedna trzecia masy osadów ściekowych stanowi część niepalną wartość opałowa suchego osadu wynosi około 14 MJ/kg. Wartość opałowa osadu przefermentowanego jest zwykle niższa od osadów przed fermentacją o około 2 MJ/kg [4]. W przypadku, kiedy wartość opałowa związków organicznych zawartych w osadach ściekowych nie zawsze wystarcza do odparowania wody w nich zawartej, wówczas osady ściekowe mogą być stosowane jako paliwo wspólnie z innym paliwem np. węglem, olejem opałowym, biogazem czy słomą.

W Polsce można wytworzyć kilka milionów ton paliwa alternatywnego, które zgodnie z szacunkami ma wartość opałową równą około 2 mln Mg węgla, czyli około 5% paliwa potrzebnego dla systemu energetycznego.

Termiczna utylizacja osadów ściekowych nabiera również większego znaczenia mając w perspektywie 2016 r., od początku którego nie będzie można składować osadów ściekowych zawierających w swoim składzie ponad 6% masy organicznej.

Jednym ze sposobów wykorzystania osadów ściekowych jest ich spalanie w piecach cementowych m. in. do produkcji eko-cementu [7].

Doświadczenia techniczne, zwłaszcza przeprowadzone w Niemczech, wskazują, że możliwe jest bezpieczne współspalanie wysuszonych osadów ściekowych stosując je jako paliwo uzupełniające strumień paliwa pierwotnego, w piecach cementowych, elektrowniach, elektrociepłowniach czy innych kotłowniach. Należy jednak pamiętać, że systemy oczyszczania gazów spalinyowych w elektrowniach, ciepłowniach czy kotłowniach nie są przystosowane do usuwania wielu zanieczyszczeń emitowanych w procesie spalania czy współspalania osadów ściekowych w stopniu wymaganym dla bezpiecznej emisji.

Bardzo ważnym zagadnieniem dotyczącym współspalania osadów ściekowych jest oczyszczanie spalin i emisja zanieczyszczeń mieszczących się w wyznaczonych prawem standardach. W krajach Unii Europejskiej obowiązującym aktem prawnym jest Dyrektywa 2000/76/WE w sprawie spalania odpadów [1]. Nie mniej ważna jest również dyrektywa o odnawialnych źródłach energii, która narzuca interpretację, że odpady biodegradowalne stanowią źródło energii odnawialnej.

W artykule 3 ramowej dyrektywy o odpadach odzysk definiowany jest jako „proces, którego głównym wynikiem jest to, aby odpady służyły użytecznemu

zastosowaniu, poprzez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym wypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji, lub w wyniku którego odpady są przygotowywane do spełnienia takiej funkcji w danym zakładzie lub w szerszej gospodarce”. W załączniku II do dyrektywy zapisane jest, że odpady należy używać głównie jako środka generującego energię.

2. Materiały

W badaniach wykorzystano osady ściekowe pochodzące z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków o ciepłe spalania wysuszonego osadu 14,50 MJ/kg i zawartości suchej masy 250,00 g/kg. Wysuszony osad jest więc paliwem porównywalnym energetycznie z drewnem, którego wartość opałowa waha się w granicach 14-19 MJ/kg. Należy jednak zwrócić uwagę na wartość opałową mokrego osadu, która wynosi 1606,57 kJ/kg. Trudno zatem uznać mechanicznie odwodniony osad ściekowy za atrakcyjne paliwo, jednak połączenie jego utylizacji z innym paliwem uzyskuje ekonomiczne uzasadnienie.

W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny osadów ściekowych wykorzystanych w badaniach.

Tabela 1. Skład chemiczny osadów ściekowych

Table 1. Chemical composition of sewage sludge

Parametr	Jednostka	Zawartość	W przeliczeniu na metal
CaO	g/kg s.m.	385	275
Fe ₂ O ₃		189	132
SiO ₂		135	67,5
S		19,3	-
P ₂ O ₅		95	41,5
K ₂ O		18,2	15,1
Al ₂ O ₃		22,3	11,8
C		-	482
H		-	61,8
H ₂ O		%	76
Pozostałość po prażeniu		6,81	-

Należy zwrócić uwagę na znaczącą zawartość siarki w osadzie ściekowym (w suchej masie) porównywalną z zawartością w węglu kamiennym nie najlepszej jakości, która w procesie spalania może uwolnić się do fazy gazowej i wraz z gazami odlotowymi przedostać się do atmosfery.

W badaniach użyto odpadowy olej powalcowniczy powstający w dawnej Hucie im. Sendzimira obecnie ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Krakowie, w ilości 50-120 Mg/m-c, którego wartość opałowa wynosi ok. 35 MJ/kg.

Porównując wartości opałowe oleju powalcowniczego z olejem opałowym (ok. 43 MJ/kg) należy stwierdzić, że jest on o klasę gorszy od oleju opałowego. Posiada on również szereg zanieczyszczeń (Tabela 2.) w postaci siarki (0,5-4,0%) i metali ciężkich takich jak: Pb, Cd, Cr, Zr, Mo, Ni i Cu. Biorąc pod uwagę wykorzystanie osadów ściekowych jako paliwa alternatywnego w picach cementowych z literatury wiadomo, że wszystkie te metale doskonale wiążą się z klinkierem w warunkach jego wytwarzania.

Tabela 2. Wyniki badań fizykochemicznych odpadowych olejów powalcowniczych

Table 2. Results of the physic-chemical analysis of waste rolling oil

Parametr	Jednostka	Wynik
Gęstość	kg/m ³	930-1080
Lepkość w 80 ^o C	^o E	6,5-7,9
Zawartość wody	%	18,2-21,3
Zawartość siarki	%	0,5-4,1
Zawartość substancji stałych	%	5,3-8,1
Pozostałość po prażeniu	%	6,8-7,3
Zawartość:		
Cu	mg/kg	420-640
Cd		<5
Cr		89-112
Pb		23-48
Ni		110-150
Zn		205-355
Mo		19-25
Wartość opałowa	MJ/kg	34,8-35,6

2.1. Wytwarzanie i spalanie mieszaniny osadów ściekowych z odpadowym olejem powalcowniczym

Z wielu metod otrzymywania emulsji zawierających wodę i ciekłe węglowodory wybrano najprostszą metodę zapewniającą realizację doświadczenia.

Mieszanina osadów z olejami nie musi być bardzo trwała, powinna jednak zapewniać podawanie do pieca w miarę jednorodnej mieszaniny paliwowej. Dlatego też przeprowadzono badania nad otrzymywaniem zhomogenizowanych mieszanin przy użyciu ogólnie dostępnych niejonowych substancji powierzchniowo czynnych: Rokafenol N-8 i Rokacet S-7.

Parametrami, które wydają się decydować o przydatności mieszaniny jako paliwa są: wartość opałowa, trwałość oraz lepkość.

Wytwarzanie mieszanin prowadzono w homogenizatorze laboratoryjnym przy obrotach noży tnących wynoszącym 500 obr/min i czasie homogenizacji 10 min.

Przeprowadzono również próby otrzymywania trwałych mieszanin przy użyciu sprężonego powietrza, jednak nie dały one oczekiwanego efektu.

Biorąc pod uwagę wartość opałową oleju powalcowniczego wyznaczono minimalną granicę oleju odpadowego na ok. 50%

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Podstawowe parametry mieszanin osadów ściekowych i odpadowego oleju powalcowniczego

Table 3. Basic parameters of sewage sludge and waste rolling oil mixtures

Zawartość osadu ściekowego [%]	Zawartość substancji powierzchniowo czynnej		Trwałość [d]	Lepkość [⁰ E]	Wartość opałowa MJ/kg
	Rokafenol N-8	Rokacet S-7			
27,5	-	5	nietrwały	237	25,23
37,5	-	5	nietrwały	256	22,46
47,5	-	5	nietrwały	284	18,94
27,5	5	-	nietrwały	225	25,64
37,5	5	-	nietrwały	238	22,49
47,5	5	-	nietrwały	251	18,61
27,5	2,5	2,5	4	113	25,71
37,5	2,5	2,5	4	123	22,73
47,5	2,5	2,5	4	149	18,62
48,5	1	2	1	183	18,97
48,0	1	3	1	196	18,46
47,0	1	5	2	194	19,28
48,5	2	1	1	184	17,56
48,0	3	1	2	193	19,88
4,0	5	1	2	174	18,19

Najkorzystniejsze parametry posiadają mieszaniny osadów ściekowych i oleju odpadowego zawierające po 2,5% obu substancji powierzchniowo czynnych. Mieszaniny te są trwałe przez 4 dni co umożliwia ich dłuższe przechowywanie. Mieszaniny te posiadają znaczną lepkość, jednak nie stanowi to przeszkody w podawaniu ich do pieca obrotowego.

Próby otrzymania trwałej mieszaniny osadów ściekowych i oleju odpadowego za pomocą sprężonego powietrza nie dały oczekiwanego efektu.

Spalanie otrzymanej mieszanki paliwowej przeprowadzono w temperaturach 1200, 1400, 1600°C przy nadmuchu powietrza do pieca rurowego wielokrotnie przekraczającym stechiometryczne jego zapotrzebowanie. Czas spalania próbki wynosił 35-55 sekund. W gazach odlotowych oznaczono zawartość SO₂ metodą jodometryczną i NO₂ metodą kolorymetryczną po uprzedniej sorpcji gazów w roztworze NaOH.

Przeprowadzono również próby wypalania klinkieru w piecu rurowym ze szlamu portlandzkiego wymieszanego z mieszanką paliwową zawierającą po 47,5% osadów ściekowych i oleju odpadowego oraz po 2,5% obu substancji powierzchniowo czynnych.

Do próbki 19 g szlamu dodawano 1 g mieszanki, homogenizowano i wypalano w temperaturach 1200, 1400, 1600°C. Czas wypalania próbki po szybkim wysuszeniu (1 min) wynosił 120 min. Uzyskane rezultaty przedstawiono w tabelach 4 i 5.

Tabela 4. Wyniki spalania 1 g paliwa (po 47,5% osadów ściekowych i oleju oraz po 2,5% substancji powierzchniowo czynnych)

Table 4. Results obtained while combusting 1 g of fuel (containing 47.5% of sewage sludge, 47.5% of oil and 2.5% of each of the surfactants)

Temperatura procesu [°C]	Ilość powstałego SO ₂ [g/kg paliwa]	Ilość powstałego NO ₂ [g/kg paliwa]
1200	23,6	2,2
1400	23,2	2,6
1600	23,5	4,1

Tabela 5. Wyniki wypalania klinkieru w piecu laboratoryjnym - wsad surowcowy z dodatkiem 5% (1g) paliwa (po 47,5% osadów ściekowych i po 2,5% substancji powierzchniowo czynnych)

Table 5. Results obtained in clinker burning process in a laboratory furnace – raw materials input with the additive of 5% (1g) of fuel (containing 47.5% of sewage sludge, 47.5% of oil and 2.5% of each of the surfactants).

Temperatura procesu [°C]	Ilość powstałego SO ₂ [g/kg paliwa]	Ilość powstałego NO ₂ [g/kg paliwa]
1200	3,3	3,2
1400	3,7	3,6
1600	3,5	3,9

Przeprowadzone próby dowodzą, że ilość powstającego NO₂ nie zależy od rodzaju procesu wysokotemperaturowego a jedynie od wysokości temperatury. Wartość emisji dwutlenku azotu wzrasta wraz ze wzrostem temperatury nawet dwukrotnie tab. 4. Ilość dwutlenku siarki powstającego podczas spalania paliwa jest wynikiem całkowitego utlenienia siarki obecnej w mieszaninie. Wymiesza-

nie paliwa ze szlaczem portlandzkim powoduje jej związanie w 70-80%, przypuszczalnie w postaci siarczanów.

Piece cementowe są jedynymi z najlepszych urządzeń przystosowanych do współspalania odpadów w sposób przyjazny dla środowiska, przede wszystkim ze względu na wysoką temperaturę.

Kolejnym argumentem przemawiającym za spalaniem osadów ściekowych w cementowniach, to alkaliczne środowisko wsadu do pieca. Dzięki takim warunkom - przewadze tlenku wapna możliwe jest doskonałe wiązanie składników o charakterze kwaśnym. Ponadto popiół powstały w wyniku spalania odpadów wbudowuje się w całości w strukturę klinkieru bez szkody dla jego jakości – nie ma więc odpadów po spalaniu. Należy jednak zaznaczyć, że w piecu cementowym nie ma możliwości spalania wszystkich odpadów ponieważ paliwo alternatywne musi być dobrej jakości. Poza zutylizowaniem odpadów, wykorzystanie materiałów odpadowych w cementowniach pozwala na redukcję emisji dwutlenku węgla.

3. Podsumowanie

Zgodnie z wymogami ustawy Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. oraz zapisami Traktatu Akcesyjnego Polska została zobligowana do redukcji ładunków zanieczyszczeń biodegradowalnych poprzez osiągnięcie do 2015 r. 100% redukcji związków azotu i fosforu. Konieczność osiągnięcia powyższych wymagań implikuje konieczność budowy nowych i modernizacji starych oczyszczalni ścieków. Konsekwencją rozbudowy i modernizacji ciągów oczyszczania ścieków jest również konieczność nowoczesnego podejścia do procesów przeróbki i zagospodarowania osadów, których prognozowany jest ogólny wzrost o około 62%.

Krajowy Program Gospodarki Odpadami 2014 przewiduje do roku 2020 następujące sposoby zagospodarowania osadów m.in.: wykorzystanie do rekultywacji, wykorzystanie rolnicze i przyrodnicze, produkcję kompostu oraz metody termiczne. W ostatnich latach wśród wymienionych koncepcji zagospodarowania osadów ściekowych dominującą rolę odgrywał będzie kierunek termicznego przekształcania osadów.

Przeprowadzone badania wykazały, że najkorzystniejsze parametry posiadają mieszaniny osadów ściekowych z odpadowym olejem powalcowniczym zawierające po 2,65% substancji powierzchniowo czynnych. Wartość opałowa tych mieszanin wynosi od 18,62 do 25,71 MJ/kg co jest wyższe od zalecanej minimalnej wartości opałowej przyjętej przez Europejskie Stowarzyszenie Termicznego przekształcania odpadów (EURITS) wynoszącej minimum 15 MJ/kg.

Sporządzenie trwałej mieszaniny osadów ściekowych z odpadowym olejem powalcowniczym o odpowiedniej wartości opałowej nie stanowi większego problemu. Z ekonomicznego punktu widzenia godne polecenia wydają się spo-

rzędzenie mieszanki paliwowej w miejscu spalania. Zastosowanie jednak tego rodzaju paliwa wymaga modernizacji obiegu gazów odlotowych zapobiegających emisji odorów do atmosfery.

Pomimo, że nie przeprowadzono analizy ekonomicznej nie ma wątpliwości, że koszty energii uzyskanej z mieszaniny osadów ściekowych z olejem powalcowniczym przekraczają koszt energii otrzymywanej z pyłu węglowego.

Z punktu widzenia ochrony środowiska przed odpadami, utylizacja osadów ściekowych i odpadowych olejów powalcowniczych powinna być rozważona jako jedna z alternatywnych metod wykorzystania i unieszkodliwiania tego typu odpadów.

Literatura

- [1] Dyrektywa 2000/76/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 4 grudnia 2000 r. w sprawie spalania odpadów.
- [2] Kosturkiewicz B.: Metoda zagospodarowania osadów ściekowych w przemyśle energetycznym. Monografie Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH, 32, 2006, 249-259.
- [3] Murakami T., Suzuki Y., Nagasawa H., Yamamoto T., Koseki T.: Combustion characteristic of sewage sludge in an incineration plant for energy recovery, *Fuel Processing Technology*, 90, 2009, 778-783.
- [4] Schubering A.: Kompleksowe rozwiązanie problemu odwadniania szlamu, aż do uzyskania suchego granulatu, *Symp. Nauk.-Tech. nt. Nowoczesne technologie ochrony środowiska w Austrii*, Warszawa 1992.
- [5] Siuta J.: Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowiskach odpadów przemysłowych. *Acta Agrophysica*, 5(2), 2005, 417-425.
- [6] Werther J., Ogada T.: Sewage sludge combustion, *Progress in Energy and Combustion Science*, 25, 1995, 55-119.
- [7] Yiming L., Shaoqi Z., Fuzhen L., Yixia L.: Utilization of municipal sewage sludge as additives for the production of eco-cement, *Journal of Hazardous Materials*, 213 - 214, 2012, 457- 465.
- [8] <http://www.kierunekenergetyka.pl/artykul,3029,doswiadczenia-i-potencjal-termicznego-zagospodarowania-osadow-sciekowych.html> [dostęp 10 maja 2014 r.]

APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE AS A COMPONENT OF ALTERNATIVE FUEL

Summary

Significant amounts of sewage sludge are generated in the process of municipal wastewater treatment. One of the methods of its disposal is its reuse for the non-industrial purposes such as fertilization, soil improvement and land reclamation. However, too high content of heavy metals often makes the agricultural use of sewage sludge impossible. In such cases more radical disposal methods, one of which is combustion, should be considered. The basis for the combustion process is the maximum use of the sludge combustion heat and further reduction of this type of waste.

With proper application of the combustion technology sewage sludge can be combusted with no significant additive of fuel. The aim of this research was to analyze the possibilities for the use of sewage sludge produced in the mechanical-biological wastewater treatment plant as an alternative fuel. The authors of the study made attempts to obtain a mixture of sewage sludge and waste rolling oil with the use of commonly available non-ionic surfactants. During the experiments the following parameters decisive for the mixture usefulness were determined: the mixture calorific value, stability and viscosity. The results of the experiments proved that it is not a major problem to obtain a stable mixture of sewage sludge and waste rolling oil with adequate calorific value and the calorific value of the optimal mixtures reaches the level of 18.62 to 25.71 MJ/kg, which is higher than the recommended minimum calorific value of 16 MJ/kg.

Keywords: combustion, waste oil, immobilization, fuel mixture

DOI:10.7862/rb.2014.78

Przesłano do redakcji: 11.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 16.12.2014 r.