

*Tomasz Kotlicki**, *Andrzej Wawszczak**

SPALANIE ODPADÓW W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH

1. Wprowadzenie

Gospodarka odpadami w Polsce, podobnie jak w innych krajach rozwiniętych, jest ważnym aspektem ochrony środowiska naturalnego. Ilość i struktura odpadów powstających w naszym kraju jest porównywalna z innymi krajami UE. Co do zagospodarowania — niestety przeważa u nas składowanie. Jest to bardzo niekorzystne dla środowiska naturalnego i niezgodne z polityką UE w tym zakresie, zakładającą wysoki stopień przetworzenia i wykorzystania odpadów. Rząd polski, po naszym wstąpieniu do UE w istotny sposób zmienił prawodawstwo dotyczące ochrony środowiska, w tym gospodarki odpadami — dostosowując je do prawa wspólnotowego [11–16, 18]. Pod koniec 2010 r. Sejm RP przyjął dokument pod nazwą Krajowy plan gospodarki odpadami 2014 (KPGO2014) [19], który ustala główne kierunki działań. Są to m.in.:

- zmniejszenie ilości powstających odpadów;
- wzrost recyklingu połączony z selektywnym zbieraniem i segregacją odpadów;
- ograniczenie ilości odpadów składowych poprzez ich przekształcenie: biologiczne, termiczne, chemiczne ze szczególnym uwzględnieniem procesów odzysku energii.

Termiczne przekształcanie, jako jeden z głównych sposobów zagospodarowania odpadów, może być realizowane zarówno w spalarniach odpadów, jak i w kotłach energetycznych. Zainteresowanie energetyki zawodowej (elektrowni, elektrociepłowni i ciepłowni) spalaniem lub współspalaniem odpadów w kotłach energetycznych wynika przede wszystkim z możliwości wyprodukowania energii ze źródeł odnawialnych (odpady biomasowe kwalifikowane jako paliwo). Na chwilę obecną ilość spalanych odpadów niebiomasowych (nie

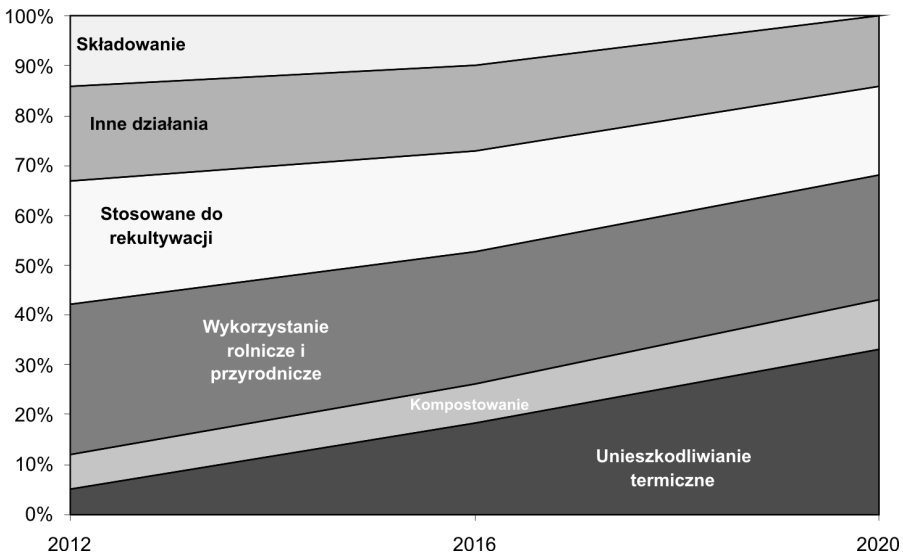
* Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Politechnika Łódzka, Łódź

będących paliwami) w energetyce jest niewielka, co wynika m.in. z konieczności spełnienia dodatkowych wymogów natury eksploatacyjnej i ochrony środowiska. Ostatnie zmiany prawne [20] spowodowały, że część energii powstałej ze spalania odpadów komunalnych można kwalifikować jako tzw. energię „zieloną” (z odnawialnego źródła energii). Tym samym nastąpił wzrost zainteresowania elektrowni współspalaniem odpadów [1, 7].

Czynnikiem zmieniającym istotnie gospodarkę odpadami w Polsce będzie niewątpliwie wejście w życie od 1 stycznia 2013 roku przepisu o niemożności składowania wybranych grup odpadów (m.in. osadów ściekowych i niesegregowanych odpadów komunalnych) o ciepłe spalania suchej masy większym od 6 MJ/kg [11]. Ponadto należy wziąć pod uwagę prawne ograniczenia emisji CO₂ dla energetyki na lata 2008–12 [12, 13] i to, że odpady biomasowe mają zerowy wskaźnik emisji CO₂.

W Polsce corocznie wytwarzanych jest około 12 mln ton odpadów komunalnych, z czego w sposób zorganizowany zbiera się około 10 mln ton. Zdecydowana większość zebranych odpadów jest deponowana na składowiskach. Szacuje się, że w masie odpadów składowanych, ponad 4 mln ton stanowią frakcje biodegradowalne (więcej niż połowa masy zmieszanych odpadów komunalnych). Według [19], w roku 2020 wytwarzanych będzie ponad 14,2 mln ton odpadów, w tym około 7,5 mln ton odpadów biodegradowalnych. Z tego, w myśl nowych przepisów [11], dopuszczonych będzie do składowania około 1,5 mln ton. Oznacza to, że około 6 mln ton odpadów biodegradowalnych będzie trzeba poddać różnego rodzaju procesom przeróbki, w tym spalaniu.

Na rysunku 1 pokazano przewidywane w perspektywie 2020 r. sposoby gospodarowania odpadami komunalnymi.



Rys. 1. Zmiany w strukturze odzysku i unieszkodliwiania osadów z komunalnych oczyszczalni ścieków w perspektywie do 2020 r. [19]

Należy zauważyć, że planuje się spalanie około 30% odpadów (4,3 mln ton). Obecnie działa w kraju tylko jedna spalarnia odpadów o zdolności przerobowej około 40 tys. ton na rok. Wprawdzie na etapie budowy lub projektowania jest kilka tego typu obiektów (8), ale ich łączna wydajność będzie za mała (ok. 1,5 mln ton) aby termicznie przekształcić tak duży strumień odpadów.

W krajowej energetyce zawodowej współspala się dzisiaj odpady biomasowe pochodzenia leśnego, rolniczego i z upraw energetycznych, głównie w celu wytwarzania energii „zielonej”. W świetle przedstawionych faktów i prognoz, wydaje się że kotły energetyczne staną się również „narzędziem” do unieszkodliwiania lub/i odzysku odpadów komunalnych.

2. Uwarunkowania techniczno-eksploatacyjne dla kotłów

Najbardziej rozpowszechnioną grupą kotłów energetycznych eksploatowanych w krajowej energetyce zawodowej są kotły pyłowe, opalane zarówno węglem kamiennym, jak i brunatnym. Dzięki wysokowydajnym filtrom elektrostatycznym, rozbudowanym instalacjom odsiarczania spalin i coraz liczniejszym modernizacjom powodującym ograniczenie emisji tlenków azotu (spalanie niskoemisyjne), kotły pyłowe mają dość duże szanse spełnić standardy emisyjne dla współspalania odpadów, szczególnie tych, które są ze swojej natury mocno rozdrobnione (osady ściekowe [4, 7, 9]) lub stosunkowo łatwo można je rozdrobnić (np. drewno rozbiórkowe [7]).

Niezależnie od rodzaju kotła podstawowym problemem przy współspalaniu z węglem odpadów, jest konieczność ograniczenia emisji substancji szkodliwych do otoczenia. Jeżeli przeznaczony do współspalania kocioł ma nowoczesną konstrukcję, komorę paleniskową z niskoemisyjnym spalaniem, rozbudowany układ oczyszczania spalin (elektrofiltr, instalacja odsiarczania spalin) i emisję zanieczyszczeń poniżej odpowiednich standardów, wówczas można przystąpić do wyboru i realizacji instalacji przystosowującej kocioł do współspalania odpadów. Jeżeli natomiast przewidziany do współspalania kocioł jest kotłem starszego typu, wówczas trzeba się liczyć z koniecznością jego modernizacji. Chcąc przystosować kocioł do efektywnego współspalania odpadów z węglem należy w pierwszej kolejności zmodernizować instalację paleniskową, tak aby maksymalnie ograniczyć emisję zanieczyszczeń do otoczenia [9]. Niezbędne jest wprowadzenie: niskoemisyjnych technik spalania, wysokowydajnych instalacji filtrujących spaliny (co najmniej elektrofiltr), instalacji odsiarczania spalin (najlepiej metodą mokrą). Należy również liczyć się z koniecznością realizacji dodatkowej instalacji odazotowywania spalin (SNCR lub SCR).

Przewidzenie poziomu emisji zanieczyszczeń podczas współspalania odpadów może okazać się trudne, szczególnie gdy będą to nieposegregowane mieszanki. Rozwiązaniem tego problemu może być współspalanie odpowiednio uformowanych paliw z odpadów [8] o znanym (zadany) składzie. Można również ograniczyć się do współspalania określonego rodzaju odpadów, które stosunkowo łatwo jest wysegregować, takich jak: drewno rozbiórkowe, odpady z płyt wiórowych, zużyte opony samochodowe, opakowania papierowe lub z tworzywa sztucznych, osady ściekowe itp.

Odpady w zależności od pochodzenia, cechują duże różnice wartości opałowej, zawartości popiołu i części lotnych oraz składu elementarnego. Podwyższona we współspalanych odpadach zawartość: azotu, chloru (odpady z płyt wiórowych), siarki (opony samochodowe), popiołu (osady ściekowe), związków alkalicznych (drewno odpadowe), może prowadzić zarówno do zwiększonego zanieczyszczenia kotła jak i przyspieszonej korozji oraz erozji (kotły rusztowe i pyłowe) [5, 6].

Z emisją pyłów jest związana emisja metali. Znaczną redukcję wielkości emisji większości metali można uzyskać poprawiając sprawności instalacji odpylania spalin (elektrofiltry, filtry workowe).

Popioły ze spalania odpadów o dużej zawartości związków alkalicznych charakteryzują się znacznie większą skłonnością do tworzenia osadów niż popioły ze spalania węgla. Popioły te cechują się niższymi temperaturami mięknięcia zwykle 750–1000°C, podczas gdy analogiczna temperatura dla popiołów z większości węgla jest większa od 1000°C. Niższa temperatura mięknięcia i topnienia powoduje, że warstwa popiołu (częściowo stopiony żużel) zalegająca na rurach jest bardziej podatna na osadzanie się nowych cząstek. Następuje zatem szybki przyrost osadu, szybszy niż przy spalaniu samego węgla i pogorszenie wymiany ciepła. Mechanizm ten jest szczególnie widoczny w wysokotemperaturowych częściach kotłów. Zasadniczy wpływ na skłonność popiołu do żużlowania ma charakterystyka mineralogiczna węgla, dlatego w kotłach, w których spala się dodatkowo odpady, należy unikać węgla żużlujących.

Współspalanie niektórych rodzajów odpadów z węglem może powodować również szybszą korozję wysokotemperaturową, która wzrasta podczas osadzania się pyłów w obecności siarczanów, a zwłaszcza związków chloru. Korozja zwykle występuje w stosunkowo wolnym procesie utleniania. W wyższych temperaturach 650–700°C mogą topić się siarczany znacznie przyspieszając korozję. Również wydzielający się podczas współspalania KCl, może kondensować się na powierzchniach metalowych kotła przyspieszając proces korozji.

Wprowadzenie do kotła energetycznego dodatkowego paliwa jakim jest odpad, powoduje zmianę składu chemicznego spalin oraz może istotnie zwiększyć ich strumień, gdy będą to odpady wilgotne (np. odwodnione osady ściekowe). Zmiany te wpłyną na właściwości radiacyjne (emisyjność, absorpcyjność), a także zmienią prędkości i lepkości spalin, co spowoduje zmianę intensywności konwekcyjnej wymiany ciepła. W efekcie wywołuje to zmianę rozkładów temperatur spalin i czynników ogrzewanych w kotle. Zmiana ta może spowodować niedotrzymanie nominalnych temperatur czynników oraz zmiany temperatur materiału w elementach kotła.

Współspalanie odpadów w kotłach energetycznych często powoduje obniżenie sprawności kotła. Najczęściej przyczyną tego jest wzrost straty wylotowej będący wynikiem większych strumieni (większa wilgotność) i temperatur spalin.

Szczególnie istotnym problemem jest określenie wpływu parametrów prowadzenia procesu spalania na emisję zanieczyszczeń. Parametrem dobrze charakteryzującym prawidłowe warunki spalania jest stężenie tlenu węgla w spalinach. Pozostałe parametry okre-

lające te warunki to przede wszystkim: wartość temperatury, stopień wymieszania oraz czas przebywania spalin w odpowiedniej temperaturze.

Parametry spalania wpływają również na emisję metali. Jest to spowodowane różną lotnością metali, a także ich powstawaniem w zależności od formy występowania. Obecność chloru i chlorowodoru w strefie spalania powoduje, że inne ilości metali znajdują się w żużlu, popiele lotnym, popiele z urządzeń odpylających oraz w gazach emitowanych do atmosfery. Istnieje również wyraźny wpływ temperatury spalania oraz stężenia tlenu w różnych strefach spalania na bilans metali w poszczególnych produktach wtórnych procesu spalania.

Współspalanie dodatkowych paliw w dużych obiektach energetyki zawodowej wyposażonych w nowoczesne węzły oczyszczania spalin bazuje również na założeniu wykorzystania istniejących instalacji. Dodanie do węgla uzasadnionych technicznie i ekonomicznie ilości odpadów (do 5%) nie powoduje znaczących zmian, zarówno w wielkości emisji, jak i nie stwarza problemów ruchowych.

3. Formalnoprawne aspekty spalania odpadów

Przestrzeń formalnoprawna dotycząca różnych technologii spalania lub współspalania odpadów określona jest przez trzy podstawowe akty prawne (ustawy i wynikające z nich rozporządzenia):

- 1) prawo ochrony środowiska,
- 2) ustawę o odpadach,
- 3) prawo energetyczne.

Zgodnie z definicjami zawartymi w wyżej wymienionych aktach prawnych, dla potrzeb energetyki można dokonać podziału odpadów na trzy grupy:

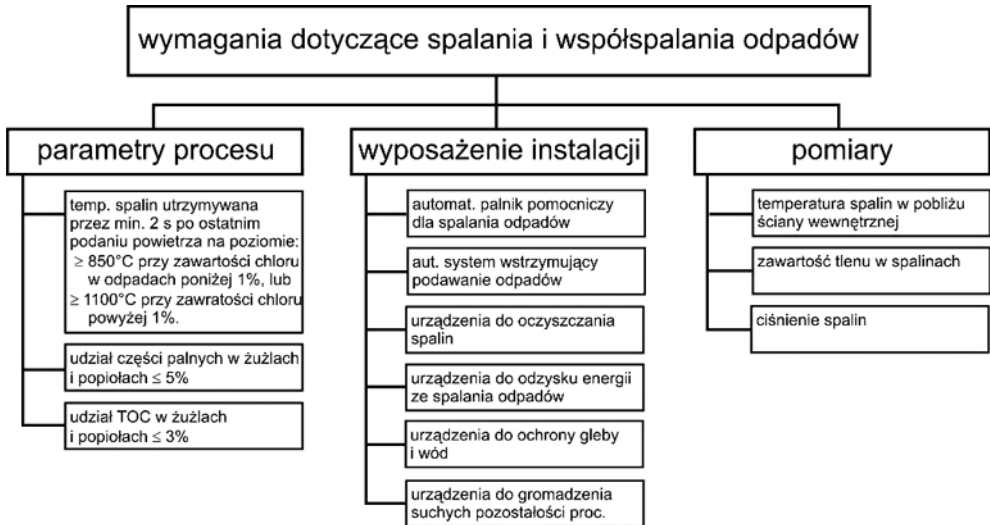
- 1) odpady biomasowe kwalifikowane jako paliwa (np. odpady z rolnictwa i leśnictwa);
- 2) odpady biomasowe nie będące paliwami (np. osady ściekowe);
- 3) odpady nie będące ani biomasą, ani paliwem (np. odpady tworzyw sztucznych, niesegregowane odpady komunalne).

Zasady postępowania z poszczególnymi substancjami, wymagania techniczne jakie musi spełniać instalacja do termicznego przekształcania oraz możliwości wykorzystania energii w nich zawartej, zależą od zakwalifikowania spalanych substancji do jednej z wymienionych grup. W szczególności, zaostrome zasady i wymagania występują w stosunku do postępowania z odpadami z grup B i C [4, 8].

3.1. Wymagania techniczne dotyczące procesu spalania

Bardzo istotnym zagadnieniem technicznym, które ze względu na obowiązujące przepisy [14], wymaga oddzielnego potraktowania, jest spełnienie wymagań eksploatacyjnych

dotyczących procesu spalania i wyposażenia instalacji kotłowej. Na rysunku 2 zestawiono schematycznie te wymagania w podziale na parametry procesowe, niezbędne wyposażenie instalacji oraz konieczne pomiary.



Rys. 2. Wymagania dla instalacji spalających odpady [14]

Wyniki badań pokazują, że spełnienie wymagań procesowych w kotłach energetycznych nie jest łatwe i wymaga każdorazowo oddzielnej analizy [1]. Szczególnie warunek przebywania spalin w określonej temperaturze przez 2 sekundy może okazać się trudny do spełnienia przy spalaniu niskoemisyjnym z obniżonymi temperaturami w komorze paleniskowej kotłów, zwłaszcza fluidalnych [3]. Również zmiany obciążenia mogą obniżać temperaturę spalin lub skrócić czas ich przebywania w odpowiedniej temperaturze.

3.2. Wymagania dotyczące pomiarów emisji

O ile dotrzymanie wymagań dotyczących wyposażenia i aparatury pomiarowej jest dość łatwe do spełnienia dla typowych instalacji energetycznych, to spełnienie norm emisji zanieczyszczeń może być problemem utrudniającym spalanie (współspalanie) odpadów w energetyce.

W tabeli 1 zestawiono porównawczo wymagania co do prowadzenia pomiarów, zarówno dla instalacji spalania paliw, jak i odpadów. Należy zaznaczyć, że współspalanie odpadów z węglem jest w tym przypadku traktowane tak samo jak spalanie samych odpadów.

Widać, że w przypadku spalania odpadów — niezależnie od mocy cieplnej instalacji — należy dodatkowo wykonywać pomiary zawartości w spalinach substancji chloro- i fluorowodorowych, węgla organicznego (TOC) oraz metali ciężkich. Oczywiście pomiary same

w sobie nie są uciążliwe (szczególnie dla większych instalacji), niemniej jednak na ich podstawie sprawdza się czy poziom danej substancji nie jest przekroczony.

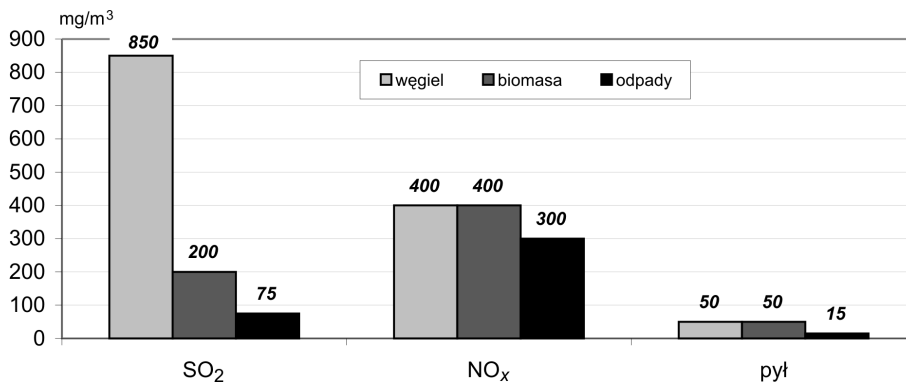
Dopuszczalne poziomy zawartości poszczególnych substancji w spalinach (standardy emisji) dla instalacji spalających odpady są znacznie ostrzejsze niż dla instalacji spalających paliwa. Modernizacja instalacji energetycznej pod kątem współspalania odpadów oznacza także na ogół zmianę standardów emisji na ostrzejsze. Ogólna zasada wyznaczania wartości granicznych emisji SO_2 , NO_x i pyłu w takim przypadku polega na obliczeniu normy emisji jako średniej ważonej z norm dla paliwa konwencjonalnego i odpadów względem ich udziałów w spalinach [16].

TABELA 1

Wymagania w zakresie prowadzenia pomiarów emisji [15]

Parametr	Jednostka	Instalacje spalania paliw o mocy cieplnej		Instalacje spalania lub współspalania odpadów	
		<100 MW	>100 MW		
Pył ogółem	mg/m ³	pomiary okresowe (2 razy w roku)	pomiary ciągłe	pomiary ciągłe	
SO ₂					
NO _x					
CO					
O ₂					
Prędkość przepływu spalin					m/s
Ciśnienie statyczne spalin					Pa
Wilgotność spalin					% obj.
Temperatura spalin					K
HCl	mg/m ³	X		pomiary okresowe	
HF					
TOC					
Metale ciężkie					
Dioksyny i furany					ng/m ³

Na rysunku 3 pokazano przykładowe standardy emisji dla instalacji o mocy cieplnej 50-100 MW spalającej paliwo w postaci węgla lub biomasy oraz odpady. Zaostrzenia norm są szczególnie widoczne dla dwutlenku siarki i pyłu.



Rys. 3. Porównanie standardów emisji dla instalacji o mocy cieplnej 50÷100 MW [16].

4. Podsumowanie

Kierunki działań w zakresie gospodarowania odpadami zakładają istotne zintensyfikowanie procesów przekształcania, w tym spalania. Istniejąca i przewidywana infrastruktura w postaci spalarni odpadów jest niewystarczająca do zrealizowania planów w perspektywie do roku 2020. Wykorzystanie kotłów energetycznych do unieszkodliwiania odpadów będzie więc koniecznością. Należy również zauważyć, że możliwość kwalifikowania części energii odzyskanej z odpadów jako energii „zielonej” w sposób naturalny spowoduje wzrost zainteresowania energetyki zawodowej współspalaniem odpadów.

Współspalanie odpadów w kotle energetycznym może spowodować istotne zmiany w procesie spalania mające negatywny wpływ na eksploatację instalacji i wskaźniki techniczno-ekonomiczne. Należy zatem dokonać szczegółowej oceny tych zmian przed podjęciem decyzji o modernizacji instalacji.

Analiza formalno-prawna inwestycji polegającej na rozbudowie istniejących instalacji lub budowie nowych, skłania do następujących wniosków:

- Spalanie odpadów powoduje znaczne zaostrzenie (nawet dwukrotne) norm emisji SO₂, NO_x i pyłów w stosunku do paliw kopalnych oraz konieczność przestrzegania norm emisji dla dodatkowych substancji. W przypadku zakwalifikowania odpadów biomasowych do paliw, zaostrzenia norm są nieznaczne (kilkuprocentowe lub nie występują wcale);
- Należy spełnić dodatkowe wymogi dla procesu spalania w kotle — nie zawsze łatwe do osiągnięcia (np. niezbędny czas przebywania spalin w określonej temperaturze).

LITERATURA

- [1] Cofiring coal with other fuels, (praca zbiorowa), IEA Clean Coal Centre, 2007
- [2] Kalina J., Skorek J.: Uwarunkowania technologiczne budowy układów energetycznych zintegrowanych z termicznym zgazowaniem biomasy, Energetyka, 07/2006

- [3] *Kobyłecki R., Bis Z.*: Analiza możliwości współspalania paliw alternatywnych w kotłach fluidalnych, IX Konferencja Kotłowa 2002 „Aktualne problemy budowy i eksploatacji kotłów”, Prace IMiUE Politechniki Śląskiej
- [4] *Kotlicki T.*: Współspalanie osadów ściekowych w energetyce. Praca zbiorowa pod redakcją J.W. Wandrasza i K. Pikonii; Wydawnictwo HELION, Gliwicach 2007
- [5] *Kotlicki T., Wawszczak A.*: Analiza możliwości termicznego przekształcania osadów ściekowych i odpadów z płyt wiórowych w Energetyce Ciepłej Sp. z o.o. w Kamiennej Górze, Opracowanie studialne na zlecenie EC Kamienna Góra, Łódź 2007
- [6] *Nadziakiewicz J., Waclawek K., Stelmach S.*: Procesy termiczne utylizacji odpadów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2007
- [7] *Strzelczyk F., Wawszczak A.*: Spalanie i współspalanie odpadów w energetyce, Mat. Jubileuszowej Konf. Kotłowej. Szczyrk, 13-15.10.2009
- [8] *Wandrasz J. W., Wandrasz A.J.*: Paliwa formowane — biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2006
- [9] *Wawszczak A.*: Techniczne możliwości współspalania komunalnych osadów ściekowych z węglem w kotłach pyłowych, Archiwum Spalania, Vol. 8 (2008) Nr 1–2
- [10] *Wierick H.G., Brunne Th., Richter S., Heinze D. und Mielke F.*: Erfahrungen bei der Mitverbrennung von Klärschlamm im VEAG-Braunkohlenkraftwerk Boxberg, VGB PowerTech 81, (2001), 07, s. 43–46
- [11] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz.U. z 2005 r., Nr 186, poz. 1552, zmiany: Dz.U. z 2007 r., Nr 121, poz. 832)
- [12] Ustawa z 22 grudnia 2004 o handlu uprawnieniami do emisji do powietrza gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz.U. z 2004 r. Nr 281, poz. 2784)
- [13] Rozporządzenie w sprawie przyjęcia KPRU do emisji dwutlenku węgla na lata 2008-2012 dla wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji (Dz.U. z 2008 r., Nr 202, poz. 1248)
- [14] Rozporządzenie w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz.U. z 2002 r., Nr 37, poz. 339)
- [15] Rozporządzenie w sprawie w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz.U. z 2008 r., Nr 206, poz. 1291)
- [16] Rozporządzenie w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (DU z 2005 r. Nr 260, poz. 2181)
- [17] Ochrona środowiska 2010. Publikacja elektroniczna Głównego Urzędu Statystycznego. Warszawa 2010
- [18] Ustawa o odpadach (Dz.U. z 2001 r. Nr 62, poz. 628)
- [19] Krajowy plan gospodarki odpadami 2014 (Uchwała nr 217 RM, MP z 2010 r. Nr 101, poz. 1183)
- [20] Rozporządzenie w sprawie warunków kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów (Dz.U. z 2010 r. Nr 117, poz. 788)