

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## Recykling energetyczny odpadów

*DANUTA KRÓL*

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI**

**Słowa kluczowe:** odpady, paliwa z odpadów, odzysk energii

### STRESZCZENIE

Wzrost ilości wytwarzanych odpadów i równocześnie narzucone poziomy odzysku i recyklingu surowców wtórnych wymuszają działania ukierunkowane na gospodarcze wykorzystanie. Duży udział w recyklingu stanowi odzysk materiałów wartościowych pod względem energetycznym, które na skutek przetworzenia, to jest formowania, uzyskują postać kwalifikowanego paliwa o określonych właściwościach. W pracy przedstawiono możliwości formowania paliw z odpadów, a dla przykładowych paliw podano ich właściwości energetyczne i ładunek metali ciężkich.

### Energetical waste recycling

**Keywords:** waste, fuel from waste, energy recovery

### ABSTRACT

Increase in the amount of waste generated and simultaneously imposed on recovery and recycling of secondary raw materials necessitate actions aimed at economic exploitation. A large share of recycling constitutes the recovery of materials valuable in terms of energy, which as a result of processing, it is forming, obtain the form of certified fuel with specific properties. The paper presents the possibility of formation fuels from wastes, and for the example of given fuels their energetic properties and the load of heavy metals has been estimated.

## 1. WSTĘP

Wzrastający popyt na dobra konsumpcyjne skutkuje wzrostem ilości powstających odpadów. Składowanie musi być ostatecznym ogniwem w łańcuchu racjonalnej gospodarki odpadami. Odpady należy selektywnie gromadzić i traktując je jak surowce – gospodarczo wykorzystywać. Składowane powinny być wyłącznie odpady bezużyteczne, a więc takie, których nie może objąć ani odzysk, ani żadna z form recyklingu (materiałowego, chemicznego, energetycznego).

Duży udział w recyklingu stanowi odzysk wartościowych pod względem energetycznym surowców wtórnych, które na skutek przetworzenia, to jest formowania, uzyskują postać paliwa o określonych właściwościach. W skład znacznej części odpadów wchodzi substancje palne, co determinuje kierunek ich gospodarczego wykorzystania jako substytutu paliwa.

go oznaczenia właściwości paliwowych i ładunku metali ciężkich. Zwiększenie możliwości odzysku energii z odpadów może nastąpić poprzez wprowadzenie regulacji prawnych umożliwiających produkcję kwalifikowanych paliw z odpadów, dla których będą określone standardy jakościowe.

Paliwa formowane z odpadów znajdują w krajach Unii Europejskiej coraz szersze zastosowanie w sektorze energetycznym [3,4]. Tak więc Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) wprowadził system klasyfikacji i wymagań jakościowych dla paliw wytwarzanych z odpadów (Solid Recovered Fuels - SRF) [5]. System ten klasyfikuje paliwa z odpadów komunalnych jako „stałe paliwo wytwarzane z odpadów innych niż niebezpieczne, wykorzystywane dla odzysku energii w instalacjach spalania lub współspalania oraz spełniające wymagania klasyfikacji i specyfikacji podane w CEN/ TS 15359”.

**Tabela 1.** Wartości parametrów klasyfikacyjnych dla stałych paliw wg. CEN [5].

**Table 1.** Values of classification parameters for solid fuels acc. to CEN [5]

Parametr klasyfikacyjny	Jednostka	klasa				
		1	2	3	4	5
Wartość opałowa	MJ/kg w st.rob.	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Zawartość chloru (Cl)	% w st.such.	≤0,2	≤0,6	≤1,0	≤1,5	≤3
Zawartość rtęci (Hg)	mg/MJ w st.rob.	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,50
	mg/MJ w st.such.	≤0,04	≤0,06	≤0,16	≤0,30	≤1,0

Wyróżnia się następujące sposoby energetycznego wykorzystania odpadów i paliw z odpadów [1,2]:

- bezpośrednio spalanie w różnego rodzaju paleniskach, bez standaryzowania ich właściwości paliwowych,
- współspalanie odpadów z paliwami konwencjonalnymi,
- produkcja (formowanie) paliwa o standaryzowanych właściwościach paliwowych, które może być wykorzystywane w różnych paleniskach,
- piroliza.

Z uwagi na wymagania techniczne i eksploatacyjne nie ma możliwości wprowadzania do obiektów energetyki zawodowej i komunalnej odpadów czy też paliw z nich uformowanych, bez wcześniejsze-

Użytkowa ocena paliwa obejmuje aspekty: technologiczny, ekonomiczny i emisyjny (środowiskowy), stąd system klasyfikacji oparty jest o trzy kluczowe parametry, a mianowicie o wartość opałową oraz zawartość chloru i rtęci. Dla każdego z tych trzech parametrów SRF określono wartości graniczne w pięciu klasach (Tab. 1).

Energetyczne wykorzystanie paliw formowanych z odpadów może więc przyczynić się do zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo-energetycznym. Przyspieszenie tempa wykorzystania odnawialnych źródeł energii to wkład w zrównoważony rozwój kraju. Natomiast ekonomicznie i technicznie uzasadniony odzysk substancji palnych z odpadów przemysłowych i komunalnych oraz ich przetwarzanie

w paliwa formowane, spełniające określone normy techniczne gwarantujące ich zbywalność, sprzyjają i tak koniecznemu ograniczeniu zawartości substancji organicznych na składowiskach, a tym samym umożliwiają – w połączeniu z realnym i rzetelnym odzyskiem substancji nieorganicznych – pożądaną racjonalizację gospodarki odpadami. O przydatności odpadów jako paliwa decyduje zawarta w nich energia chemiczna, a zawartość substancji palnych, popiołu i wilgoci ma wpływ na jego wartość opałową.

## 2. FORMOWANIE PALIW Z ODPADÓW

Przerób odpadów na paliwo musi być poprzedzony segregacją odpadów oraz wydzieleniem frakcji palnej. Przeznaczone do produkcji paliw odpady są przesiewane, sortowane oraz poddawane separacji magnetycznej, w celu oddzielenia odpadów nadających się do ponownego wykorzystania jako surowce wtórne. Odpady te są przekazywane odpowiednim podmiotom gospodarczym posiadającym pozwolenie na odzyskiwanie lub unieszkodliwianie odpadów. Pozostałe odpady wraz ze strumieniem odpadów „czystych” kierowane są do zmielenia. Technologia wytwarzania paliwa formowanego wymaga doboru odpadów o odpowiednich właściwościach [2].

Formowanie paliw z odpadów zapewnia między innymi:

- ich wysoką wartość opałową,
- niskoemisyjność procesu ich spalania i współspalania z węglem ze względu na możliwość ograniczenia w nich niepożądanych substancji takich jak siarka, chlor czy metale ciężkie,
- odpowiednie uziarnienie w zależności od potrzeb.

Znanych jest kilka technologii produkowania paliw z odpadów, różniących się sposobem produkcji, a także właściwościami fizyczno-chemicznymi wytwarzanych paliw. Paliwa tworzone na bazie odpadów są kompozytami różnych materiałów palnych zmieszanych ze sobą w odpowiednich proporcjach. Skład surowcowy takich paliw musi gwarantować narzucone i oczekiwane przez odbiorcę właściwości fizyko-chemiczne, paliwowe i emisyjne. Dlatego też dobór rodzaju odpadów i ich wzajemnych, odpowiednich stosunków masowych musi poprzedzać analiza parametrów paliwowych i fizykochemicznych, a wytworzone paliwo powinno podlegać kontroli jakościowej. Z różnorodność składu odpadów przeznaczonych do produkcji paliwa wynika potrzeba wielu ope-

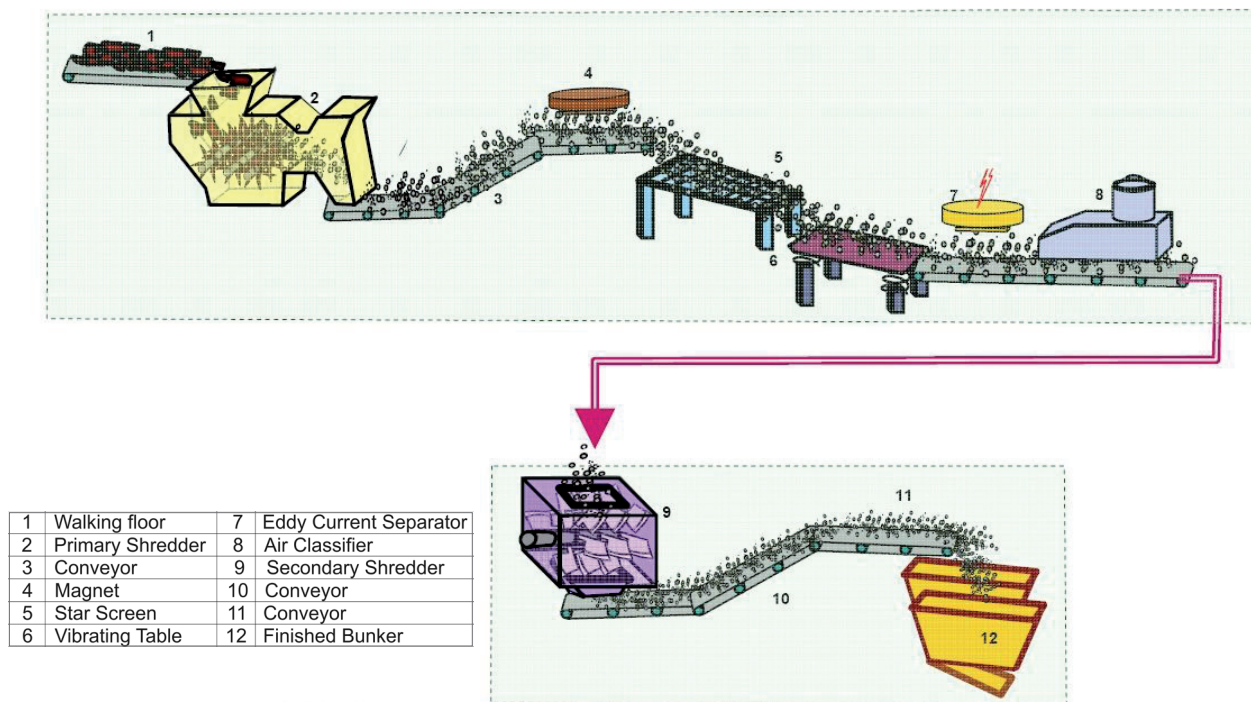
racji mechanicznych, takich jak:

- sortowanie,
- suszenie,
- rozdrabnianie,
- separowanie metali,
- konfekcjonowanie,
- brykietowanie.

W przypadku brykietowania paliwa może być konieczne zastosowanie różnego rodzaju lepiszczy, którymi mogą być również odpady przemysłowe, ponieważ paliwa tego typu muszą mieć określoną wytrzymałość mechaniczną [6].

Instalacją przetwarzającą odpady komunalne i przemysłowe w paliwa jest fińska instalacja BMH pracująca w firmie SITA STAROL w Chorzowie. Firma SITA STAROL należąca do koncernu SITA SUEZ produkuje paliwo PAS'r (Paliwo Alternatywne Stałe – rozdrobnione) dla potrzeb cementowni.

Odpady przetwarzane w paliwo formowane dostarczane są do zakładu transportem samochodowym, rozładowywane w hali produkcyjnej obok blatu podawczego lub na placu, skąd są podawane ładowarką kołową na blat podawczy (1) lub bezpośrednio do leja zasypowego (Rys. 1). Dalej są rozdrabniane w rozdrabniarce wstępnej Tyranozaur (2) do rozmiarów maksymalnie 80x80 mm. Pozostałe ziarna o większych rozmiarach umieszcza się w specjalnym boksie. Rozdrobniony materiał przemieszcza się podajnikiem taśmowym (3) pod zabudowanym separatorem magnetycznym (4), gdzie wyodrębniane są ferromagnetyki o wymiarach <80 mm. Kolejnym urządzeniem jest separator frakcji drobnej (5), który usuwa szkło, piasek, drobne kamienie i odpady biodegradowalne o wymiarach mniejszych od 12 mm. Tak wstępnie oczyszczony materiał (o wymiarach 12-80 mm), trafia na przenośnik wibrujący (6), który formuje strugę odpadów. Struga ta przechodzi najpierw pod separatorem (7), gdzie oddzielane są metale nieżelazne (oczekiwany wymiar tej frakcji to 12-80 mm), a następnie do separatora powietrznego (8), gdzie następuje oddzielenie frakcji lekkiej i ciężkiej. W skład frakcji ciężkiej wchodzi: piasek, pozostałości metali, szkło, ceramika, drewno, tworzywa sztuczne, odpady biodegradowalne i inne. Frakcja ta także ma wymiary 12-80 mm. Kolejny przenośnik kieruje materiał do rozdrabniarki Monster (9), która rozdrabnia materiał do wymiarów ziarna maksymalnie 30x30 mm. Gotowy produkt trafia na podajniki taśmowe: wznoszący (10) i sterujący (11), które kierują go do boksów magazynowych. W obrębie kruszarki Monster zabudowany jest bypass, dzięki któremu



Rysunek 1 Schemat instalacji BMH [7]  
Figure 1 BMH installation scheme [7]

wyodrębniane są ziarna o wymiarach większych niż 80x80 mm. Na trasie przenośnika sterującego zabudowane są zasuwy, które umożliwiają zaopatrzenie określonego boksu magazynowego [7].

### 3. WŁAŚCIWOŚCI PALIWOWE PALIW FORMOWANYCH Z ODPADÓW

Walory energetyczne paliw charakteryzuje się poprzez właściwości paliwowe. Należą do nich: wilgotność, zawartość części palnych i niepalnych, ciepło spalania i wartość opałowa oraz skład elementarny substancji palnej.

Poniżej w Tabeli 2 przedstawiono właściwości paliwowe trzech rodzajów paliw formowanych z od-

padów, a w Tabeli 3 ich skład elementarny. Paliwo Ecomat to paliwo wytworzone z wyseparowanej palnej frakcji odpadów komunalnych, odpowiednio rozdrobnionej. Paliwo PAS'r jest wytwarzane przez rozdrobnienie do odpowiedniej granulacji takich odpadów, jak: papier, tektura, folie, szmaty, tekstylia, opakowania plastikowe, taśmy, kable, czyściwo, opony czy odpady wielkogabarytowe (wersalki, fotele itp.). Odpady te mogą być zanieczyszczone olejami, tłuszczami, smarami, farbami itp. Wg danych wytwórcy, PAS'r charakteryzuje się zmiennymi – w zależności od wymagań odbiorcy – właściwościami paliwowymi, fizycznymi i chemicznymi. Rzutuje to na szeroki zakres zmian m. in. wartości opałowej (od

Tabela 2. Właściwości paliwowe paliw z odpadów  
Table 2. Fuel properties of fuels from waste

Rodzaj paliwa	Wilgotność [%]	Części palne [% <sub>s.m.</sub> ]	Części niepalne [% <sub>s.m.</sub> ]	Ciepło spalania [kJ/kg <sub>s.m.</sub> ]	Wartość opałowa [kJ/kg <sub>s.m.</sub> ]
Paliwo Ecomat	20,91	88,70	11,30	20 222	19 152
Paliwo PAS'r	5,74	82,80	17,20	20 974	19 315
Paliwo PAS'i	16,34	83,02	16,98	24 015	23 949

10 do 15, a nawet 20 MJ/kg masy roboczej). Natomiast paliwo PAS'i jest tworzone na bazie odpadów trocinowych pochodzących z zakładów meblarskich bądź pyłu tytoniowego, na które nanosi się płynne lub półpłynne odpady niebezpieczne. Pył trocinowy lub tytoniowy (w ilości od 30 do 45%) – stanowiący osnowę dla szlamów z czyszczenia zbiorników z substancjami ropopochodnymi i szlamów poszlifierskich (w ilości poniżej 5%) – jest wymieszany z: (a) rozdrobnionymi odpadami opakowaniowymi po farbách, lakierach, emul-

sjach olejowych i rozpuszczalnikach oraz przeterminowanych chemikaliach; (b) pyłami poszlifierskimi, polietylenowymi i polipropylenowymi, a także innymi odpadami opakowaniowymi: papierowymi i z tworzyw sztucznych. Zagrożenie emisją metali ciężkich podczas spalania paliw formowanych z odpadów ma związek z obciążeniem paliw metalami. Tabela 4 przedstawia ładunek metali ciężkich w paliwach formowanych z odpadów.

**Tabela 3.** Analiza elementarna substancji palnej paliw z odpadów [%<sub>s.m.</sub>]  
**Table 3.** Elemental analysis of flammable substance of fuels from waste [%<sub>dry wt.</sub>]

Rodzaj paliwa	węgiel C	wodór H	azot N	siarka S	chlor Cl	tlen i inne O
Paliwo Ecomat	49,00	4,90	1,60	0,40	0,70	43,40
Paliwo PAS'r	63,90	7,60	3,55	1,26	0,52	23,17
Paliwo PAS'i	79,50	7,35	5,06	0,48	0,36	7,25

**Tabela 4.** Metale ciężkie w paliwach formowanych z odpadów  
**Table 4.** Heavy metals in fuels formed from waste

Rodzaj paliwa	Metal [ppm <sub>s.m.</sub> ]							
	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg
Paliwo Ecomat	2,69	238,68	382,48	144,85	42,65	159,89	462,50	1,51
Paliwo PAS'r	2,86	181,57	757,17	248,50	68,17	82,63	2 264,53	0,80
Paliwo PAS'i	1,45	81,95	425,32	531,73	303,81	129,66	562,75	1,48

#### 4. WNIOSKI

Jednym z elementów pakietu energetycznego 3x20 jest zwiększenie o 20% udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym kraju. Przewidywany ostatnio udział energii ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii pierwotnej powinien osiągnąć w 2020 roku 15%.

Paliwa formowane z odpadów jak najbardziej wpisują się w ten trend. Jednakże charakteryzują się one stosunkowo dużymi udziałami gramowymi azotu, chloru, siarki i pierwiastków alkalicznych

(Ca, K, Na), co ma negatywny wpływ na eksploatację kotłów energetycznych (potencjalne zagrożenie zużłowaniem ich powierzchni ogrzewalnych oraz korozją chlorową i chlorkową). Spalanie bądź ich współspalanie z węglem w kotłach energetycznych zainstalowanych w ciepłowniach i elektrociepłowniach może być m.in. źródłem nie tylko znacznej emisji tlenków azotu i siarki, ale i chlorowodoru, a chlorki metali alkalicznych obniżają temperaturę topnienia popiołu. W większości paliw w postaci odpadów i paliw formowanych

z odpadów, chlor występuje w połączeniach organicznych, często w tworzywie PCW znajdującym się w odpadach. Wieloletnie doświadczenie w zakresie eksploatacji kotłów, w których spalane są takie paliwa, wskazuje na przyspieszone zużycie stalowych elementów konstrukcyjnych ekranów, parowników, przegrzewaczy pary itp., wywołane korozyjnym działaniem chloru i chlorowodoru [8,9]. Zniszczenia korozyjne powoduje przede wszystkim chlor cząsteczkowy, będący produktem utleniania chlorowodoru zawartego w spalinach, jak też chlorki metali alkalicznych, powstające w wyniku wiązania się z chlorem pierwiastków alkalicznych zawartych w znacznych ilościach w paliwach z odpadów, takich jak np.: sól, potas czy magnez. Te lokalne zniszczenia korozyjne określa się mianem korozji chemicznej bądź chlorowej korozji wysokotemperaturowej, przebiegającej znacznie szybciej niż proces utleniania. Chlor i chlorowódor wywołują jednak nie tylko procesy korozyjne, ale są także prekursorami tworzenia chlorowanych dioksyn, tj. związków o najwyższej toksyczności, które stanowią zagrożenie dla organizmów żywych. Problem wpływu zawartości chloru w paliwach biomasowych i formowanych z odpadów na w/w procesy omówiono w [10]. Jednakże możliwe jest ograniczenie mobilności chloru w komorze paleniskowej, a tym samym zmniejszenie stężenia chlorowodoru w spalinach poprzez zastosowanie sorbentów jako bezpośredniego dodatku do paliw, o czym pisze się w różnych publikacjach [11,12].

Jak wyżej wspomniano, najczęściej spotykanym środowiskiem, charakterystycznym dla spalania odpadów i paliw formowanych z odpadów, jest naturalna obecność w paleniskach kotłowych związków chloru, co między innymi wpływa na przemiany metali ciężkich [13]. Procesy te są przy-

czyną emisji metali ciężkich w różnych formach, z których najbardziej niebezpieczna jest emisja do powietrza atmosferycznego wraz z gazami spalinowymi. Metale są emitowane w postaci par, aerozoli oraz zaadsorbowane na powierzchni cząstek pyłów o rozmiarach submikronowych. W takiej postaci metale trafiają drogą aspiracyjną do organizmu człowieka i łącząc się z krwią stanowią poważne zagrożenie toksykologiczne. Istnieją jednak realne możliwości zmniejszenia emisji metali ciężkich już z komory spalania, a nie dopiero w węźle oczyszczania spalin, o czym świadczą wyniki badań zamieszczone w pracy [14].

Odpady komunalne i przemysłowe odznaczające się właściwościami paliwowymi, umożliwiającymi ich termiczne przekształcanie z równoczesnym odzyskiem zawartej w nich energii, powinny być unieszkodliwiane na drodze termicznej. Jest to możliwe wówczas, gdy będą z nich formowane paliwa. Substytucja paliw konwencjonalnych paliwami z odpadów pozwala na ekonomiczne i bezpieczne pozbycie się znacznych ilości odpadów, jak również oszczędność paliw konwencjonalnych. Aktualne przepisy prawne w Polsce zezwalają na wykorzystanie paliw formowanych jedynie w przemyśle cementowym. Paliwa te z dużym powodzeniem mogą być stosowane również w innych gałęziach przemysłu, dlatego w wielu krajach Europy Zachodniej wykorzystuje się je również w elektrowniach i elektrociepłowniach. Zmiana przepisów i rozszerzenie zakresu stosowania paliw formowanych z odpadów byłoby bardzo korzystnym rozwiązaniem dla środowiska naturalnego. Należy więc dążyć do tego, aby energetyka mogła wykorzystywać odpady przekształcone w postaci paliw, o pożądanych właściwościach paliwowych i emisyjnych.

## LITERATURA

- [1] Laboda R., Oleszczak P., Odpady komunalne i ich zagospodarowanie, PWN Warszawa (2005).
- [2] Wandrasz J. W., Wandrasz A., Paliwa formowane, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa (2006).
- [3] Refuse derived fuel, current practice and perspectives – Final Report , European Commission – Directorate General Environment (2003).
- [4] Sobolewski A., Wasielewski R., Stelmach S., Stałe paliwa wtórne dla energetyki, Praca zbiorowa pod red. Wandrasza J. i Piekonia K., Paliwa z odpadów VI, Wyd. Helion, (2007).

- [5] Van Tubergen J., Glorius T., Waeynbergh E., Classification of Solid Recovered Fuels, ORFA 2005.
- [6] Białecka B., Praca zbiorowa, „Paliwa alternatywne: warunki energetycznego wykorzystania w elektrociepłowniach” Wydawnictwo GIG , Katowice 2006.
- [7] Materiały fińskiej firmy BMH.
- [8] Hansen L. A., Nielsen H. P., Frandsen F. J., Dam-Johansen K., Hørlyck S., Karlsson A.: Influence of deposit formation on corrosion at a straw-fired boiler, Fuel Processing Technology, 2000.
- [9] Persson K., Broström M., Carlsson J., Nordin A., Backman R.: High temperature corrosion in a 65 MW waste to energy plant, Fuel Processing Technology, 2007.
- [10] Król D., Łach J., Poskrobko S., O niektórych problemach związanych z wykorzystaniem biomasy nieleśnej w energetyce, Energetyka, Nr 1, 2010.
- [11] Poskrobko S., Łach J., Król D., Experimental investigation of hydrogen chloride bonding with calcium hydroxide in the furnace of a stoker-fired boiler, Energy & Fuels, vol. 24, Issue 3, 2010.
- [12] Poskrobko S., Łach J., Król D., Experimental investigation of hydrogen chloride bonding with limestone and dolomite in the furnace of a stoker-fired boiler, Energy & Fuels, vol. 24, Issue 11, 2010.
- [13] Król D., Heavy Metals Emission – Influence of Chlorine Presence in Fuel, Polish Journal of Environmental Studies, w druku.
- [14] Król D., Reduction of mobility of heavy metals in processes of combustion of fuels formed from industrial waste, Polish Journal of Environmental Studies, Series of Monographs, Vol. 6 2009.