



The concentration of elementary pollution in exhaust gases during combustion of pellets, made of virginia and wood, in low-power boiler

Michał JANICKI¹

¹ Ove Arup & Partners International Ltd. Sp z o.o. Oddział w Polsce, ul Królewska 16, 00-103 Warszawa, tel. 71/719-68-57, fax.71/719-68-5, e-mail: michal.janicki@arup.com

Abstract

Biomass is considered as difficult to obtain and to use as a fuel, due to its non-homogeneous physical properties and chemical composition. One of the methods of limiting those difficulties is granulation. Granulation is a pre-preparation process that involves stabilization of technical parameters of the material by increasing the bulk density and limiting the moisture content and therefore raising its calorific value.

Virginia mallow and wood pellets were the two kinds of biomass fuel that were selected to perform this study. In order to conduct the concentration of pollutants analysis, a series of combustion tests on these materials was carried out under various conditions in standard and modified fire chamber. In an automatic, low-power boiler with horizontal pellet burner the standard design is a steel circular furnace surrounding the fire chamber. Modification which ensures that the "hot chamber" conditions are met is the use of a ceramic lagging. The lagging has catalytic properties and it reduces the direct heat transfer by limiting access of the flame to the water jacket.

Keywords: combustion, virginia mallow, wood, pellet burner, technical and elementary analysis of the fuel, emission.

Streszczenie

Stężenia podstawowych zanieczyszczeń w gazach spalinowych, powstających w procesie spalania granulatu ślazuwca i drewna w kotle małej mocy.

Biomasa, ze względu na swoją niejednorodność w składzie fizycznym jak i chemicznym, jest uważana za paliwo uciążliwe zarówno na etapie pozyskania, jak i termicznego jej wykorzystania. Jednym ze sposobów na ograniczenie niejednorodności jest jej wstępna obróbka polegająca na stabilizacji parametrów technicznych, czyli paletyzacja. Zabieg ten ma na celu zwiększenie gęstości nasypowej materiału palnego, ograniczenie w nim zawartości wilgoci i podwyższenie wartości opałowej paliwa.

Do badań wytypowano dwa rodzaje biomas w formie peletu: ślazuwca oraz drewno. W celu wykonania analizy stężeń zanieczyszczeń powietrza podczas spalania omawianych paliw, wykonano testy na mieszance paliw a także podjęto próby spalania w różnych warunkach: na komorze standardowego (seryjnego) wyposażenia kotła, oraz modyfikowanego. W automatycznym kotle małej mocy, z poziomym palnikiem na pelet, standardową konstrukcją jest stalowy płomienicowy wymiennik ciepła, otaczający komorę spalania. Modyfikacja polegała na zastosowaniu otuliny ceramicznej, ograniczającej bezpośrednią wymianę ciepła w komorze a jednocześnie charakteryzującej się właściwościami katalitycznymi.

Słowa kluczowe: spalanie, ślazuwca pensylwański, drewno, palnik do spalania peletu, fizyko-chemiczna analiza paliw, emisja.

1. Wprowadzenie

W ostatnim dziesięcioleciu obserwuje się dynamiczny wzrost zainteresowaniem biomasą, jako surowcem stosowanym do wytworzenia energii. Tendencję niniejszą obserwuje się zarówno w zakresie technologii

przetworzenia biomasy, ale również samych gatunków oraz ich modyfikacji w celu dostosowania roślin do warunków klimatycznych i osiągnięcia jak największych przyrostów masy w relatywnie niedługim czasie. Ze względu na odnawialność swoich zasobów, rośliny energetyczne znajdują zastosowanie w różnych sektorach gospodarki. Krajowe plantacje roślin energetycznych składają się z gatunków rodzimych, tj.: wierzby, topoli, mozgi lub roślin introdukowanych z innych stref klimatycznych tj.: miskant, ślázowiec, róža [1].

Pomimo zainteresowania, którym cieszą się rośliny energetyczne, plantacje, z wyłączeniem wierzby energetycznej, nie doczekały się badań w strukturze plantacji wielkoobszarowych, które dostarczyłyby rzetelne informacje na temat ich rzeczywistego potencjału masy i energii [2]. Istnieje szereg informacji z zakresu badań możliwości pozyskania strumienia energii wynikającego z przyrostu ślázowca, uprawianego na plantacjach doświadczalnych, bądź lokalnych kilku-kilkunastu hektarowych poletkach [1, 3, 4]. W najbliższym czasie oczekuje się utworzenie szeregu programów, umożliwiających implementację określonych plantacji w bezpośredniej okolicy elektrowni i elektrociepłowni. Znajomość mechanizmów zapewnienia stabilnych i gwarantowanych dostaw nośników energii umożliwi dopasowanie jednostek wytwarzających energię do rodzaju biomasy i przewidywanego jego składu właściwości fizyko-chemicznych [5]. Celem pracy jest opisanie charakterystyki emisyjnej spalania drewna i ślázowca oraz ich mieszanek w kotle małej mocy, a także porównanie procesu spalania z zastosowaniem komory standardowej oraz modyfikowanej.

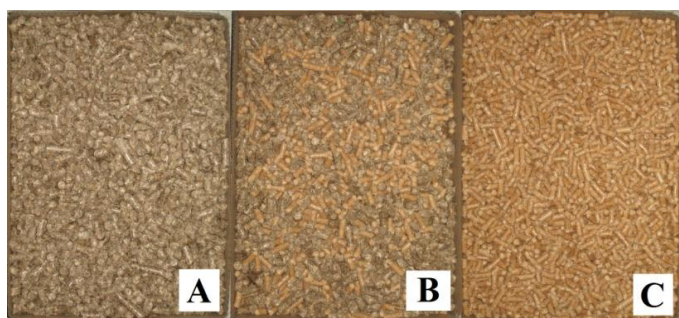
2. Metodyka

Badania przeprowadzono na kotle dedykowanym dla gospodarstw domowych, produkowanym seryjnie przez firmę Kostrzewa z Giżycka (Polska). Kocioł ten przystosowany jest do spalania peletu o: średnicy 6-8mm, maksymalnej wilgotności do 12% i udziale masowym popiołu na poziomie 1,5%. Jednostka składa się z czterech części: pierwsza – to okrągły stalowy wymiennik płomienicowy o bardzo małych gabarytach (objętości wodnej 48 dm³); druga – to palnik Platinum BIO o mocy 10 kW; trzecia – to zasobnik, który jest umieszczony na wymienniku kotła; czwarta – to sterownik pracy całego systemu grzewczego, przymocowany do zewnętrznego poszycia kotła. Schemat kotła przedstawiono na rysunku 2.1. [6].



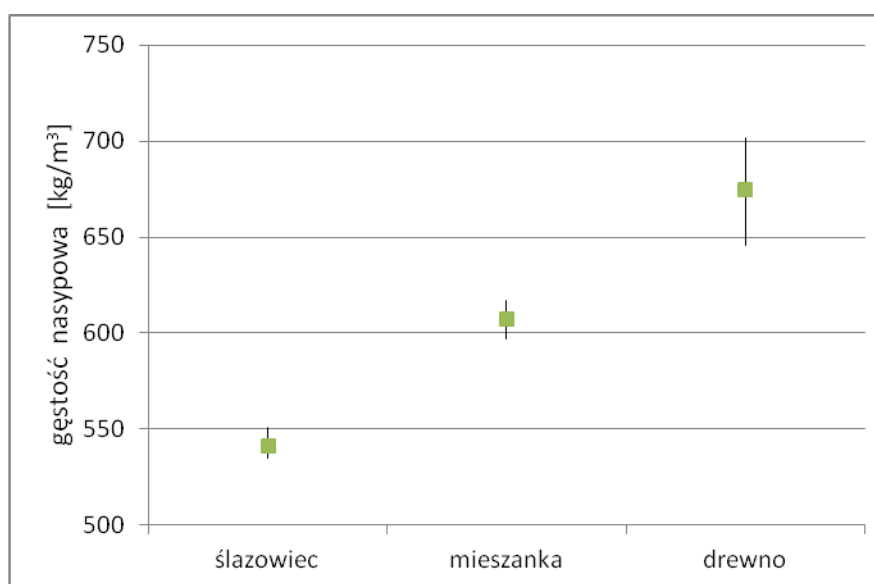
Rys. 2.1. Schemat badanego kotła [6].

Wytypowano dwa rodzaje paliwa: pelet ślázowca pensylwańskiego o średnicy 8 mm i pelet drzewny o średnicy 6 mm, natomiast do testów sporządzono mieszanę obu paliw w stosunku wagowym 1:1, co przedstawiono na rysunku 2.2.



Rys. 2.2. Rodzaje spalanego paliwa: A – pelet ślázowca pensylwańskiego, B – mieszanki peletu drzewnego i ślázowca, C – pelet drzewny.

Dla wspomnianych paliw wyznaczono gęstość nasypową [7], określoną jako stosunek masy luźno usypanego paliwa do objętości naczynia, w którym się znajduje. Wyniki przedstawiono na rysunku 2.3.



Rys. 2.3. Gęstość nasypowa paliw wykorzystanych w eksperymencie badawczym.

Proces spalania biomasy na palniku, sterowany jest prędkością doprowadzenia strumienia powietrza oraz paliwa na palenisko. W celu zapewnienia wymaganego strumienia cieplnego, materiał palny o mniejszej gęstości nasypowej (bądź niższej wartości opałowej) podawany jest z większą prędkością liniową przy jednoczesnym zapewnieniu wymaganej ilości powietrza, utrzymującej stężenie tlenu w spalinach na wykocie z kotła na zamierzonym poziomie. Zwiększenie prędkości liniowej podawanego paliwa na palnik powoduje skrócenie czasu przebywania materiału w strefie spalania. Palniki z dopasowanym sposobem doprowadzenia powietrza i jego wymieszania w strefie spalania do paliwa o wyższej gęstości nasypowej, zazwyczaj nie prowadzą procesu spalania w sposób efektywny przy zastosowaniu materiału o niskiej gęstości nasypowej. Niedopalone części paliwa transportowane są do komory osadczącej, wpływając na zwiększenie strat niepełnego spalania, a także w warunkach niedoboru tlenu, powodują zwiększenie emisji szkodliwych substancji w spalinach. Również zastąpienie jednego paliwa – drugim o odbiegających parametrach fizykochemicznych może powodować zachwianie procesu spalania, tym samym niedopalenie części materiału tożsame ze zwiększeniem strat i emisji.

W ramach badań, dla obu paliw wykonano analizę techniczną i elementarną, której wyniki zestawiono w tabeli 2.1.

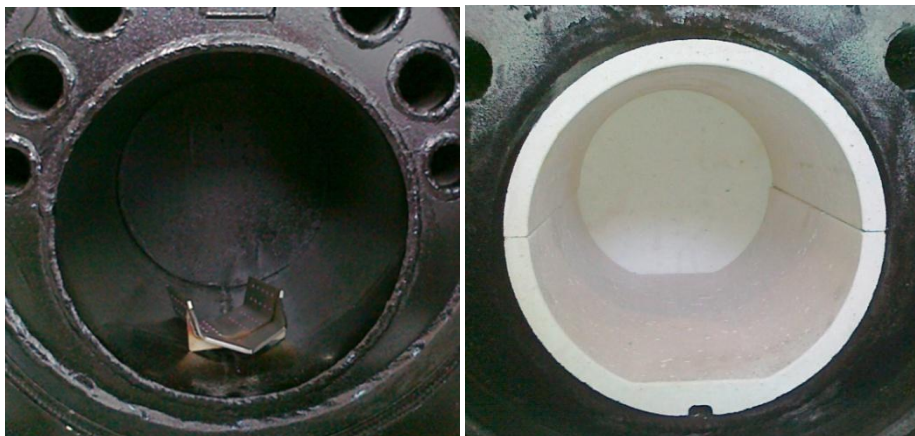
Tabela 2.1. Analiza techniczna i elementarna stosowanego paliwa.

Lp No.	Parametr Parameter	Oznaczenie Symbol	Rodzaj badanego peletu Type of pellets	
			Ślázowiec Virginia	Drewno Wood
Analiza techniczna, Proximate analysis				
1	Zawartość wilgoci Moisture content	W^a , %	6,18	6,15
2	Zawartość popiołu Ash content	A^a , %	3,23	0,29
		A^d , %	3,44	0,31
3	Zawartość części lotnych Volatile matter	V^a , %	73,67	79,47
		V^{daf} , %	81,32	84,95
4	Ciepło spalania Higher Heating Value	Q^a_s , kJ/kg	16 ,357	18.803
5	Wartość opałowa Lower Heating Value	Q^a_i , kJ/kg	14.913	17.319
Analiza elementarna, Ultimate analysis				
6	Zawartość węgla Carbon content	C^a , %	48,55	51,40
		C^{daf} , %	53,59	54,94
7	Zawartość wodoru Hydrogen content	H^a , %	5,93	6,11
		H^{daf} , %	6,54	6,53
8	Zawartość azotu Nitrogen content	N^a , %	0,44	0,12
		N^{daf} , %	0,49	0,13
9	Zawartość siarki całkowitej Sulfur content	S^a_t , %	0,22	0,01
		S^d_t , %	0,24	0,01

gdzie: a - stan analityczny, d – stan suchy, daf – stan suchy i bezpopiołowy.

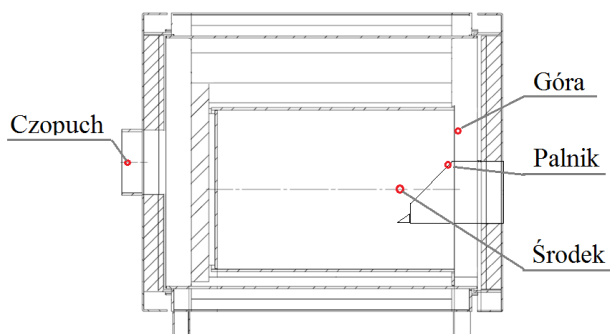
Oba analizowane paliwa, charakteryzują się podobną zawartością wilgoci, co pozytywnie wpływa na jakość mieszanki obu substancji. Znaczące różnice odnotowano dla zawartości popiołu (jedenastokrotnie wyższa zawartość popiołu w ślázowcu w stosunku do zawartości popiołu w drewnie), zawartości siarki całkowitej (przeszło dwudziestokrotnie wyższa zawartość siarki całkowitej w ślázowcu, w stosunku do drewna), w mniejszym stopniu azotu oraz innych wskaźników.

Badania spalania ślázowca, drewna oraz mieszanki obu paliw, prowadzono na standardowym wyposażeniu kotła oraz modyfikowanej jego przestrzeni spalania (rys. 2.4). Standardowe wyposażenie składa się z komory spalania pozbawionej jakichkolwiek elementów wprowadzonych do jego wnętrza. Modyfikacja polegała na implementacji do wnętrza komory glinokrzemianowej otuliny ceramicznej. Otulina ta ma za zadanie ograniczenie negatywnego wpływu bezpośredniego omywania wychłodzonych ścian kotła przez gazy spalinowe. Wychłodzenie spalin, w strefie ścian komory, powoduje hamowanie procesu spalania, tym samym narusza stabilny układ prowadzenia procesu spalania [8].



Rys. 2.4. Komora spalania w podstawowym standardzie (widok po lewej) i z utuliną ceramiczną (widok po prawej).

Rejestrację poziomu temperatury w trakcie testów prowadzono wewnątrz komory spalania (w górnej i środkowej części) oraz w górnej części palnika, a także na wylocie gazów spalinowych z kotła (na czopuchu). Do pomiaru temperatury wykorzystano układ pomiarowy oparty na termoparach typu K w systemie gwiazdowym z miernikiem Tenmars, współpracującym z rejestratorem PC. Lokalizację termopar wewnątrz komory spalania przedstawiono na rys 2.5.



Rys. 2.5. Rozmieszczenie termopar wewnątrz komory spalania.

Pomiar stężenia zanieczyszczeń gazowych prowadzono za pomocą analizatora gazów QUINTOX firmy Kane, z częstotliwością próbkowania co 30 sekund. Poboru gazów spalinowych dokonano na czopuchu kotła, na odcinku prostym, umieszczonym zgodnie z Polską Normą [9].

3. Wyniki pomiarów oraz dyskusja

W wyniku przeprowadzonych testów otrzymano szeregi czasowe poziomu temperatury, dla których obliczono średnie wartości dla poszczególnych testów i zestawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Średnie wartości poziomu temperatury wewnątrz komory spalania i na czopuchu.

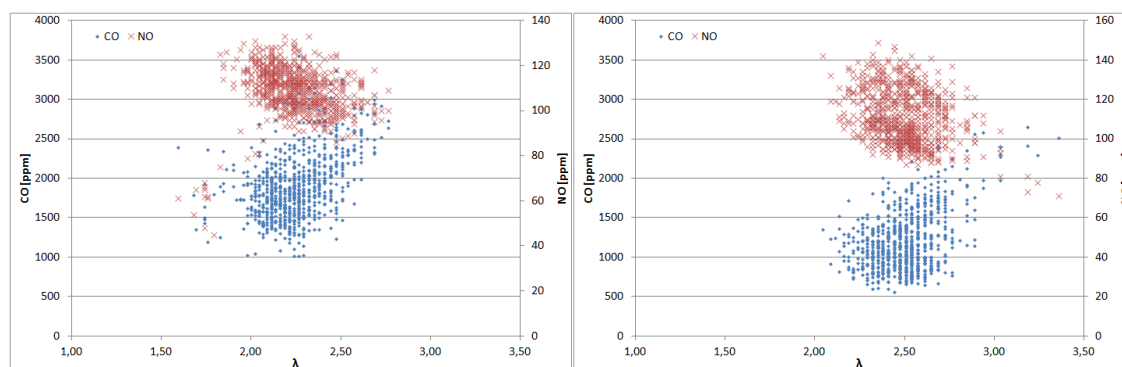
Temperatura / Temperature [oC]					
Opis /Description		Góra Top	Środek Center	Palnik Burner	Czopuch Flue
ślazowiec virginia	bez ceramiki without ceramic cartridge	716,3	411,4	354,8	154,7
	z ceramiką with ceramic cartridge	821,9	614,5	538,3	166,8
	ΔT	105,6	203,1	183,5	12,1
mieszanka mix	bez ceramiki without ceramic cartridge	785,2	475,7	396,7	166,7
	z ceramiką with ceramic cartridge	928,7	782,5	629,1	183,8
	ΔT	143,5	306,8	233	17,1
drewno wood	bez ceramiki without ceramic cartridge	758,9	664,8	481,5	213,2
	z ceramiką with ceramic cartridge	790,3	857,9	659,9	232,1
	ΔT	31,4	193,1	178,4	18,9

Zestawione wartości wykazują wzrost poziomu temperatury przy zastosowaniu układu modyfikowanego, polegającego na wprowadzeniu do wnętrza komory spalania otuliny ceramicznej, dla obu rodzajów paliwa oraz ich mieszance. Odczyty prowadzone w górnej części komory, w środkowej oraz na początku palnika wykazują znaczne różnice, charakteryzujące rodzaj spalanego paliwa. Materiał o niższej zawartości popiołu (drewno) nie tworzyło narastającej warstwy popiołu i żużlu na palniku, jak materiał o wyższej zawartości popiołu (mieszanka paliw i ślazowiec). Jednocześnie obserwacje prowadzone w trakcie poszczególnych testów wykazały, że podczas spalania drewna płomień z palnika wydobywał się równy, wypełniający po bokach równomiernie komorę spalania. Podczas spalania ślazowca, narastający materiał popiołu i żużlu, na palniku utworzył formę, ukierunkowującą płomień w górną część komory, co uniemożliwiło jego równomierny rozkład w komorze. Obserwacje te potwierdzają odczyty wartości temperatury zebrane w tabeli 3.1.

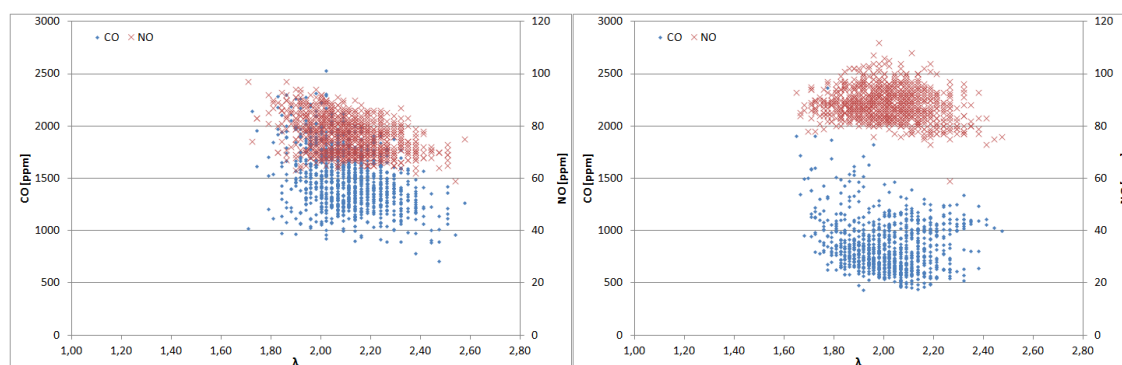
W wyniku prowadzenia pomiarów podstawowych zanieczyszczeń dla poszczególnych testów, otrzymano szeregi czasowe stężeń, z których obliczono średnie i przedstawiono w tabeli 3.2. Korelogramy rozkładu stężeń CO i NO w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza dla poszczególnych testów przedstawiono na rysunkach 3.1. – 3.3.

Tabela 3.2. Średnie wartości poziomu podstawowych zanieczyszczeń gazowych rejestrowanych na wylocie z kotła.

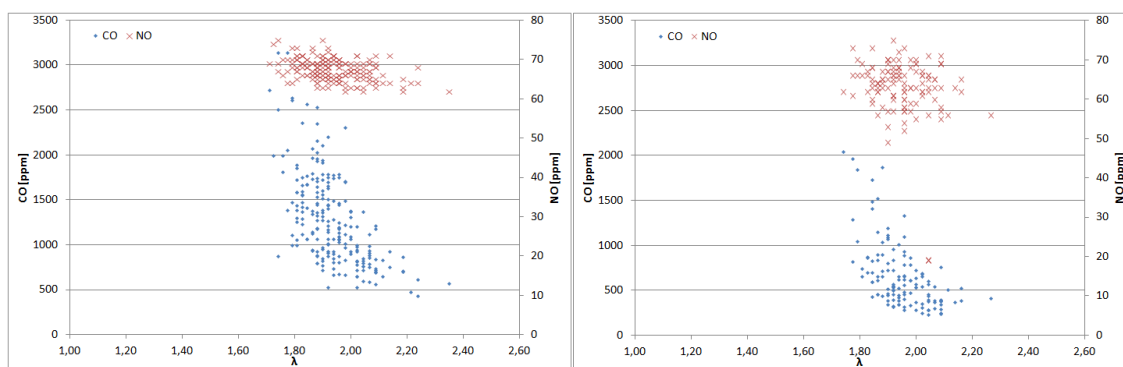
Opis Description		Stężenie / Concentration					
		O ₂ [%]	CO [ppm]	CO ₂ [%]	NO _x [ppm]	SO ₂ [ppm]	C _x H _y [ppm]
ślazowiec virginia	bez ceramiki without ceramic cartridge	12,5	1906,9	7,1	112,6	43,7	625,2
	z ceramiką with ceramic cartridge	13,3	1200,3	6,2	122,7	32,5	357,0
mieszanka mix	bez ceramiki without ceramic cartridge	11,9	1487,6	8,0	83,8	41,2	423,6
	z ceramiką with ceramic cartridge	11,5	858,8	8,2	96,5	27,3	207,8
drewno wood	bez ceramiki without ceramic cartridge	11,1	1286,1	9,6	67,5	41,0	627,7
	z ceramiką with ceramic cartridge	11,2	657,8	9,2	62,8	23,5	312,0



Rys. 3.1. Wykres rozproszenia wartości stężenia CO i NO w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza, podczas spalania ślazu bez otuliny ceramicznej (po lewej) oraz z otuliną (po prawej).



Rys. 3.2. Wykres rozproszenia stężenia CO i NO w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza, podczas spalania mieszanki paliw bez otuliny ceramicznej (po lewej) oraz z otuliną (po prawej).



Rys. 3.3. Wykres rozproszenia stężenia CO i NO w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza, podczas spalania drewna bez otuliny ceramicznej (po lewej) oraz z otuliną (po prawej).

Z przedstawionych diagramów, wykonanych testów na różnych paliwach oraz modyfikowanej i standardowej przestrzeni komory spalania, nie wynika silne skorelowanie rozkładu stężeń w funkcji stosunku nadmiaru powietrza. Jedynie obserwuje się słabą współzależność dla prób prowadzonych na paliwach jednolitych (ślazowiec oraz drewno).

Najwyższe stężenia odnotowano podczas spalania granulatu ślazowca, najniższe dla peletu drzewnego. Przebieg czasowy stężeń, zarejestrowany podczas spalania ślazowca, charakteryzował się znaczącą niestabilnością i dużo większymi wahaniami w stosunku do peletu drzewnego. Zastosowanie okładziny ceramicznej wewnątrz komory spalania spowodowało redukcję średnich wartości stężeń niemal wszystkich analizowanych substancji. Dzięki użyciu modyfikowanej przestrzeni, proces spalania został ustabilizowany, a przebiegi czasowe stężeń miały charakter wyrównany.

4. Podsumowanie

Badania spalania biomasy na kotle MiniBio firmy Kostrzewa, wykonano z wykorzystaniem standardowego (seryjnego) wyposażenia kotła oraz wersji modyfikowanej, polegającej na wprowadzeniu do wnętrza komory otuliny ceramicznej. Paliwem analizowanym były pelety ślazowca i drewna oraz ich mieszanka.

Badania skłoniły do określenia następujących obserwacji:

- podczas spalania ślazowca uzyskano niższą temperaturę wewnątrz komory, niż w przypadku spalania drewna. Dotyczy to zarówno prób wykonywanych na standardowej, jak również modyfikowanej komorze spalania.
- średnie wartości podstawowych zanieczyszczeń gazowych mierzonych na czopuchu osiągnęły wartości znacznie większe w przypadku spalania ślazowca w stosunku do drewna. Regulacja strumienia podawanego powietrza i podsuwu materiału palnego, podczas spalania ślazowca nie wpłynęła znacząco na obniżenie stężeń zanieczyszczeń na wylocie z kotła. Udało się osiągnąć warunki optymalne przy stężeniu tlenu na wylocie z kotła na poziomie 12,5-13,0%.
- zarejestrowano spadek średnich stężeń niemal wszystkich analizowanych substancji, podczas prowadzenia procesu spalania z zastosowaniem okładziny ceramicznej wewnątrz komory spalania. Skłania to do stwierdzenia, że zastosowanie „gorącej komory” spalania poprawia proces spalania dla analizowanych paliw.
- zastosowanie okładziny ceramicznej wewnątrz komory spalania, spowodowało podwyższenie temperatury w komorze spalania.

Literatura

1. Kuś J., Matyka M.: Wydajność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w zależności od jakości gleby. FRAGM. AGRON. 26(4) 2009, s. 103–110
2. Denisiuk W.: Możliwości wykorzystania ślazowca pensylwańskiego w energetyce. Inżynieria Rolnicza 6/2005, s.105-113

3. Borkowska H., Molas R., Kupczyk A.: Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) Cultivated on Light Soil; Height of Yield and Biomass Productivity. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 18, No. 4 (2009), s. 563-568
4. Kalembasa S, Wiśniewska B.: Wpływ dawek azotu na plon biomasy Ślazuwa Pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) oraz zawartość w niej mikroelementów. *Acta Agrophysica*, 2006, 8(1), 127-138
5. Poisa L., Adamovisc A., Antipova L., Siaudinis G., Karcauskiene D., Platece R., Tukauskaite A., Malakauskaite S., Teirumnieka E.: The chemical content of different energy crops. *Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference. Rēzeknes Augstskola, Rēzekne, RA Izdevniecība*, 2011, *Environment. Technology. Resources Volume 1* s.191-196
6. Dokumentacja techniczna kotła, otrzymana od firmy Kostrzewa.
7. PN-EN 1097-3:2000 – Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – oznaczanie gęstości nasypowej i jamistości.
8. Juszcak M. Stężenia tlenku węgla I tlenków azotu (NO, NOx) z kotła o mocy 25 kW zasilanego peletami drewnianymi w sposób periodyczny i ciągły. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* vol. 15, issue 3 (2013), s. 17-24
9. PN-Z-04030-7:1994 – Ochrona czystości powietrza – badania zawartości pyłu – pomiar stężenia i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych metodą grawimetryczną

