

STĘŻENIA TLENKU WĘGLA I TLENKÓW AZOTU Z KOTŁA O MOCY 15 KW ZASILANEGO PERIODYCZNIE MIESZANINĄ PELETÓW Z ŁUSEK SŁONECZNIKA I DREWNA

Marek JUSZCZAK
Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań
marekjuszczak8@put.poznan.pl

STRESZCZENIE

Zbadano wpływ periodycznego sposobu zasilania kotła (z paleniskiem nasuwowym), mieszaniną peletów z łusek słonecznika i peletów drzewnych na wielkość stężenia tlenku węgla i tlenków azotu NO i NO_x. Badaniami objęto mieszaniny o udziale peletów z łusek słonecznika 100, 70 i 50% mas., zasilające kocioł w trybie 1 s zasilania 4 s przerwy i 1 s zasilania 6 s przerwy. Zaprezentowano zależność stężeń zanieczyszczeń od temperatury w komorze spalania i stężenia tlenu. Uzyskano następujące wyniki stężeń tlenku węgla (mg/m³, odniesione do 10% zawartości tlenu w spalinach): nastawa 1:6 – słonecznik 100% - 6150; 70% - 3360; 50% - 2600; nastawa 1:4 – słonecznik 100% - 4580; słonecznik 70% - 2570; słonecznik 50% - 870. Badania wskazują na celowość ograniczania czasu przerwy w podawaniu peletów. Najkorzystniejsze wydaje się zastosowanie ciągłego podawania peletów z regulacją płynną prędkości obrotowej ślimaka, jak to się stosuje często w kotłach o większej mocy.

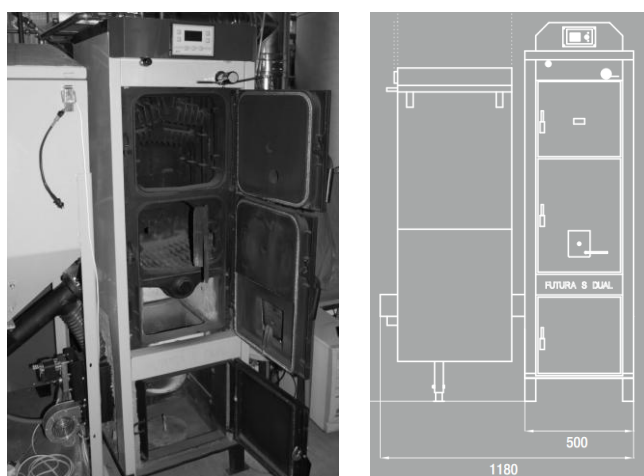
1. Wstęp

Przedstawiona praca jest kontynuacją badań przedstawionych w [1]. Zastosowano nieco inny kocioł o podobnej mocy nominalnej oraz inne palenisko, lecz o podobnej konstrukcji i sposobie działania. Poprzedni kocioł był prostszej przestarzałej konstrukcji, bardzo niskiej sprawności cieplnej i był stosowany głównie do badań emisji ze spalania polan z drewna liściastego i iglastego, a obecnie badany kocioł posiada już znacznie większą sprawność, palenisko nie ma takiej skłonności do tworzenia żużla, spalanie może przebiegać w nieco wyższej temperaturze (lecz poniżej 700°C). Nie trzeba tak bardzo wychładzać komory spalania, bardzo dużym strumieniem powietrza, jak w przypadku badań opisanych w [1]. W badaniach prowadzonych w Politechnice Poznańskiej bada się szereg kotłów i palenisk, poszukując urządzenia do spalania peletów drzewnych o małej emisji tlenku węgla i możliwie największej sprawności, także takich, aby można było spalać również pelety z biomasy rolniczej w mieszaninie z peletami drzewnymi. Brak w Polsce tanich, dobrej jakości peletów drzewnych, które obecnie wykorzystywane są w energetyce zawodowej, rozbudziło zainteresowanie peletami z biomasy rolniczej, jako paliwem do kotłów grzewczych małej mocy. Biomasa rolnicza charakteryzuje się niską temperaturą mięknięcia popiołu i musi być spalana często w temperaturze poniżej 750°C [2, 3], aby nie tworzył się żużel utrudniający pracę paleniska i proces spalania [4]. Efektem tego jest znaczący wzrost stężenia tlenku węgla z palenisk dostosowanych do peletów drzewnych. Brakuje w Polsce obecnie specjalistycznych palenisk dostosowanych do spalania peletów z biomasy rolniczej, a pelety drzewne spalają się w paleniskach w temperaturach od ok. 650 nawet do 1000°C, bowiem popiół drzewny topi się w temperaturze ok. 1000°C i wtedy tworzy się żużel [5]. Próbuje się spalać pelety z biomasy rolniczej w paleniskach na pelety drzewne, ale najczęściej tworzy się

żużel utrudniający pracę paleniska, a wtedy jest również duże stężenie tlenku węgla. Lepsze wyniki daje spalanie peletów z biomasy rolniczej w mieszaninie z peletami drzewnymi [1]. Większość palenisk małej mocy na pelety drzewne nawet renomowanych firm nie ma płynnej regulacji strumienia peletów. Stosuje się dozowanie periodyczne, tzn. przy stałej prędkości obrotowej śruby podajnika peletów ustala się ręcznie czas podawania peletów i czas przerwy oraz strumień powietrza do spalania dla osiągnięcia założonej mocy cieplnej kotła. Brak ograniczenia strumienia powietrza w czasie przerwy w dozowaniu peletów, powoduje obniżenie temperatury w komorze spalania i nadmierny wzrost stężenia tlenu, a w efekcie wzrost stężenia tlenku węgla. Stężenie tlenków azotu – NO i NO_x – niewiele się wtedy zmienia, bowiem działają tu dwa przeciwstawne czynniki wpływające na zmianę stężenia tlenków azotu: z jednej strony rośnie stężenie tlenu, co wpływa na wzrost, drugiej strony maleje temperatura, co wpływa na zmniejszenie stężenia [2]. Stężenia NO i NO_x przy temperaturze w palenisku poniżej 750°C zależą głównie od strumienia azotu zawartego w paliwie. Interesujące wyniki badań w zakresie emisji zanieczyszczeń ze spalania biomasy i innych paliw zawarte są w [6, 7].

2. Stanowisko, materiał, urządzenia pomiarowe, przebieg badań

Celem badań było określenie stężenia tlenku węgla i tlenków azotu w spalinach z kotła grzewczego o mocy 15 kW, pracującego w kotłowni w pełnej skali technicznej (rys. 1) w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. W kotle zamontowane zostało palenisko nasuwowe o periodycznym zasilaniu w pelety, o stałej prędkości śruby podajnika.



Rys. 1. Stanowisko do badań – kocioł z paleniskiem nasuwowym w kotłowni grzewczej

Stężenia zanieczyszczeń mierzono analizatorem spalin typu VARIO PLUS firmy MRU, stężenie tlenu i tlenków azotu metodą elektrochemiczną, stężenie tlenku węgla i węglowodorów w podczerwieni, wyniki rejestrowano bezpośrednio w komputerze w okresie co 2 s i uśredniano w okresach 30-to minutowych. Stężenie tlenków azotu NO_x obliczał analizator jako sumę stężenia tlenku azotu NO, w przeliczeniu na NO₂, oraz stężenia NO₂. Temperatura w komorze spalania była mierzona na wysokości ok. 0,3 m. ponad paleniskiem termoparą PtRhPt w osłonie ceramicznej i rejestrowana, podobnie jak stężenia zanieczyszczeń. Stężenie pyłu mierzono pyłomierzem grawimetrycznym z izokinetycznym zasysaniem gazu. Moc cieplna kotła i strumień ciepła przekazywany do wody były mierzone ultradźwiękowym licznikiem ciepła i rejestrowane w sposób ciągły. Strumień masy spalanego paliwa określano masowo, wagą Sartoriusa. Sprawność cieplna kotła określano metodą

bezpośrednią jako stosunek ciepła przekazanego wodzie kotłowej do masy spalonego paliwa, pomnożonej przez wartość opałową. Do badań przyjęto nastawy 1 s podawania peletów i 4 s przerwy oraz 1 s podawania i 6 s przerwy. Strumień powietrza do spalania nie był regulowany za pomocą sondy tlenowej, tylko był ustalany ręcznie na początku każdego badania, obserwując wskazania analizatora tlenu węgla oraz komorę spalania poprzez wziernik. Próbowano osiągnąć możliwie najmniejsze wartości stężenia tlenu węgla. Badaniami objęto mieszaninę peletów z łusek słonecznika z peletami drzewnymi. Udział peletów z łusek słonecznika wynosił: 100, 70 i 50% mas. Badania prowadzono nieprzerwanie przez ok. 5 godzin dla każdej mieszaniny i sposobu podawania paliwa. Spodziewano się powstawania znacznych ilości żużla, jak to miało miejsce w przypadku wcześniejszych badań na trochę innym kotle i innym palenisku, lecz o podobnym działaniu [1]. Dlatego podzielono pomiary na okresy po 30 minut i wartości uśredniano w tych okresach. Do badań użyto pelety drzewne i pelety z łusek słonecznika o wymiarach peletów: średnica 8 mm, długość 10-35 mm i składzie ustalonym w akredytowanym laboratorium (tabela 1).

Tabela 1. Parametry peletów

Rodzaj paliwa	C %	H %	N %	S %	Popiół %	Wilgotność %	Wartość opałowa MJ/kg
Drewno świerkowe	49,8	6,3	0,13	0,015	0,5	6,3	19,0
Łuski słonecznika	49,6	6,0	0,86	0,040	1,9	7,9	18,5

3. Wyniki badań

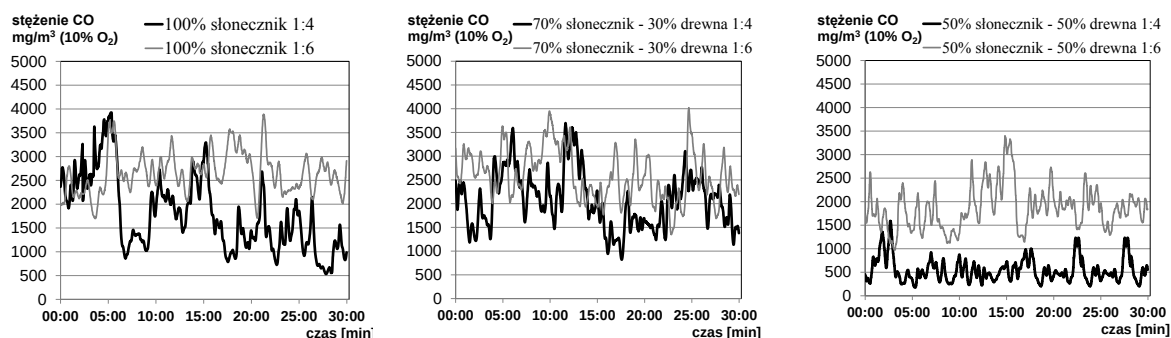
Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys. 2-5.

Tabela 2. Stężenia tlenu węgla i tlenków azotu ze spalania mieszaniny peletów z łusek słonecznika i peletów drzewnych

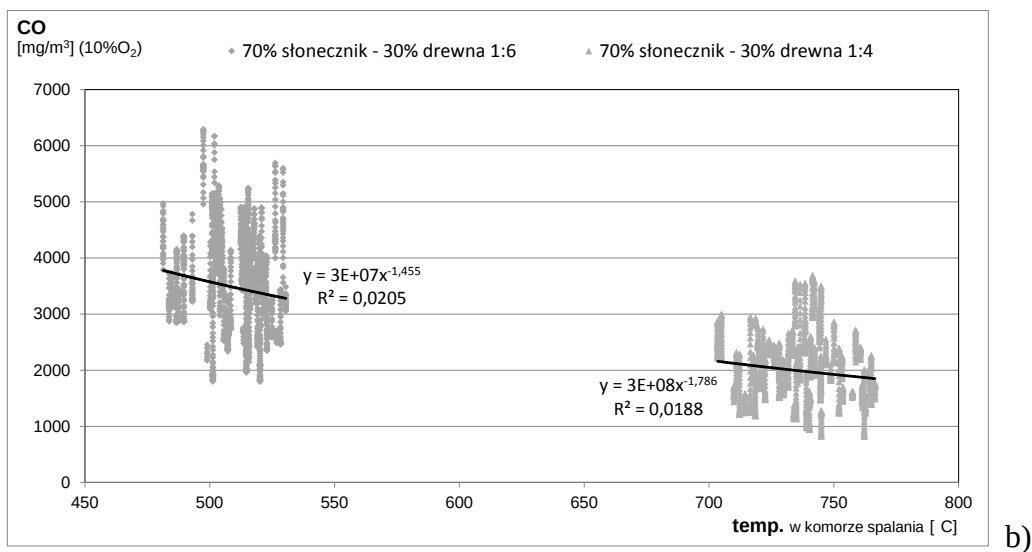
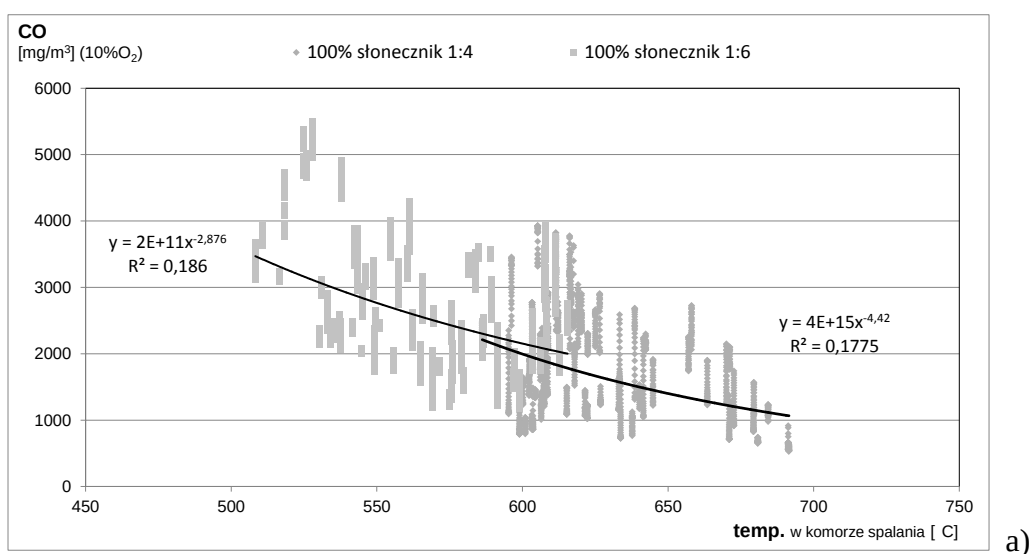
paliwo czas zasilania/ czasu przerwy, s	Stężenie				Współczynnik nadmiaru powietrza	Temp w komorze spalania** °C	Moc cieplna kotła kW	Sprawność cieplna %	Strumień masy kg/h
	CO*	NO*	NOx*	O ₂ %					
100% słonecznik 1:6	6150	420	640	14,4	3,3	470	7,7	45	3,05
70% słonecznik 30% drewno 1:6	3560	310	470	13,7	2,9	520	11,5	54	4,10
50% słonecznik 50% drewno 1:6	2600	300	460	12,9	2,6	630	9,2	46	3,80
100 % słonecznik 1:4	4580	550	840	11,4	2,2	560	11,2	42	5,10
70% słonecznik 30% drewno 1:4	2570	470	720	11,4	2,2	630	11,7	43	5,20
50% słonecznik 50% drewno 1:4	870	350	535	9,0	1,8	690	14,6	51	5,50

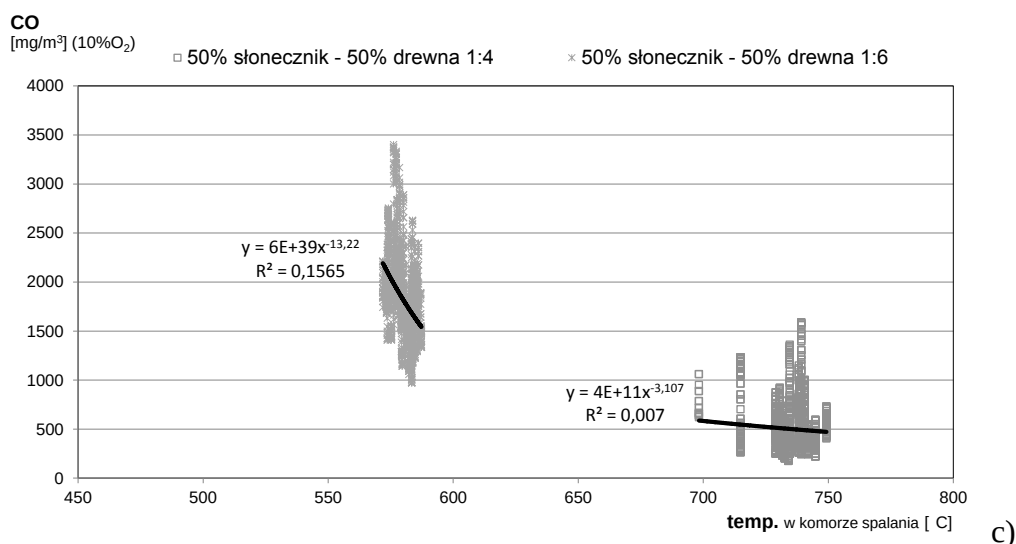
* Stężenie mg/m³ w przeliczeniu 10% O₂ w spalinach

** ok. 0,3 m nad paleniskiem

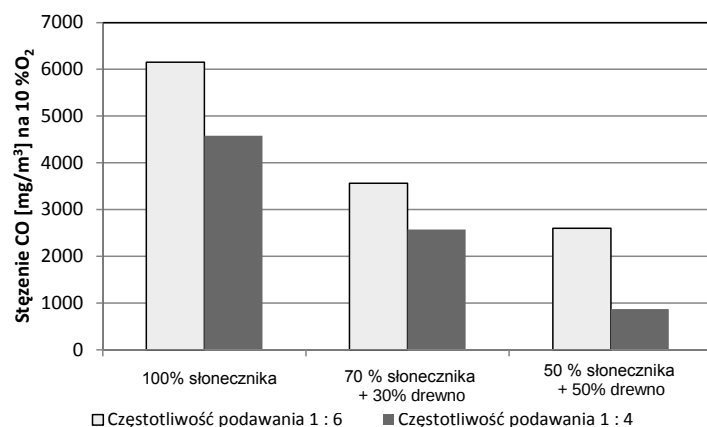


Rys. 2. Porównanie wartości stężenia tlenku węgla ze spalania mieszaniny peletów dla trybu pracy paleniska (zasilanie: przerwa): 1 s: 4 s oraz 1 s: 6 s dla udziału peletów z łusek słonecznika 100, 70 i 50%

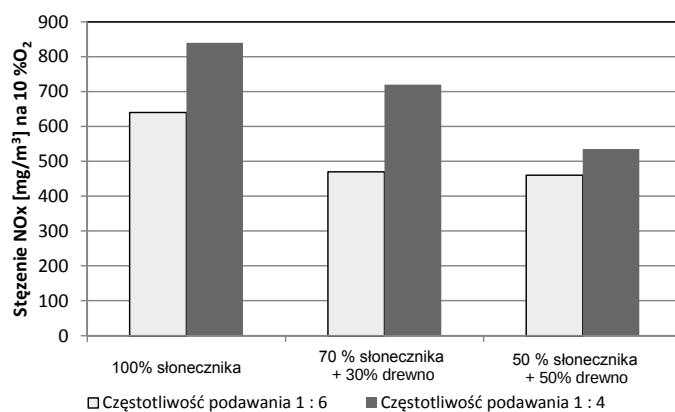




Rys. 3. Wpływ temperatury w komorze spalania na stężenie tlenku węgla:
a) 100% słonecznik, b) 70% słonecznik + 30% drewna, c) 50% słonecznik + 50% drewna



Rys. 4. Wpływ sposobu dozowania i składu mieszaniny peletów z łusek słonecznika i peletów drzewnych na wielkość stężenia tlenku węgla



Rys. 5. Wpływ sposobu dozowania i składu mieszaniny peletów z łusek słonecznika i peletów drzewnych na wielkość stężenia tlenków azotu NO_x

Stężenie pyłu wynosiło poniżej 50 mg/m^3 , co jest znacznie poniżej wartości dopuszczalnych. Stężenia węglowodorów (w przeliczeniu na metan) również były małe i nie przekraczały 70 mg/m^3 (10% O_2).

4. Dyskusja

W trakcie badań temperatura w komorze spalania była niższa niż 700°C i nie zaobserwowano tworzenia się znacznych ilości żużla. Wobec wystarczającej ilości powietrza w palenisku (współczynnik nadmiaru powietrza wynosił 1,8- 3,3) na wielkość stężenia tlenu węgla największy wpływ miała temperatura w komorze spalania (tabela 1).

Wielkości stężeń tlenu azotu NO i tlenków azotu NO_x zależą głównie od strumienia azotu dostarczanego do paleniska wraz z paliwem, bowiem temperatura w palenisku jest stosunkowo niska i tworzą się tlenki azotu z azotu zawartego w paliwie. Głównym dostarczycielem azotu do paleniska są pelety z łusek słonecznika. W czasie przerwy w dozowaniu peletów, przy stałym strumieniu powietrza temperatura w palenisku się obniża, ale z kolei stężenie tlenu rośnie i te czynniki redukujące i wzrostowe stężenia tlenków azotu wzajemnie się kompensują w znacznym stopniu.

Możliwe jest zastosowanie peletów z łusek słonecznika bez zmieszania z peletami drzewnymi, ale stężenie tlenu węgla jest wówczas zbyt wysokie, bo przekracza wartość dopuszczalną 3000 mg/m^3 , ustaloną dla palenisk z automatycznym podawaniem paliwa [8]. Stężenie tlenków azotu jest wysokie sięgające 700 mg/m^3 , jednak w Polsce stężenia dopuszczalne tlenków azotu dla palenisk małej mocy nie są normowane, choć dla uzyskania certyfikatu ekologicznego [9] wymaga się, aby stężenia te były mniejsze niż 400 mg/m^3 (wszystkie stężenia odniesione do 10% zawartości tlenu). W krajach południowych np. we Włoszech czy Hiszpanii przekształca się ciepłnię pozostałości po produkcji rolno-spożywczej, po wcześniejszym wysuszeniu np. pozostałości z pomidorów [10], czy winogron [11], jednak stężenia tlenu węgla sięgają często kilku tysięcy mg/m^3 (dla 10% zawartości tlenu w spalinach) i są znacznie wyższe niż stężenia ze spalania peletów drzewnych (w dobrych paleniskach znacznie poniżej 1000 a nawet 500 mg/m^3 [12]).

5. Wnioski

W badanym kotle i palenisku jako paliwo można stosować mieszaninę peletów z łusek słonecznika i peletów drzewnych, przy udziale peletów z łusek słonecznika mniejszym lub równym 70% mas. W celu zmniejszenia stężenia tlenu węgla należy dążyć do utrzymywania jak najwyższej temperatury w komorze spalania, lecz nie przekraczającej 700°C , aby nie powstawały znaczne ilości żużla. Należy w tym celu skracać czas przerwy w podawaniu paliwa. Najlepszym rozwiązaniem wydaje się wprowadzenie ciągłego podawania peletów z płynną regulacją prędkości obrotowej śruby podajnika. Stężenie pyłu w spalinach i węglowodorów nie było duże, ale należy zwrócić uwagę na tendencję oblepiania pyłem powierzchni wymiennika ciepła w kotle.

Literatura

1. Juszczak M., Pollutant concentrations from a 15 kW heating boiler supplied with sunflower husk pellets, Environment Protection Engineering, 2012, 1.
2. Rybak W.: Spalanie i współspalanie biopaliw stałych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006.

3. Werther J., Saenger M., Hartge E. U., Ogada T., Siagi Z., *Progress Energy Combust. Sci.*, 2006, 26, 1., 1-27.
4. Gible C., Ohman M., Lindstrom E., Bostrom D., Backman R., Samuelsson R., Burvall J.: Slaggig characteristics during residential combustion of biomass pellets. *Energy Fuels* 2008, 22, 3536-3543.
5. Ohman M., Boman C., Hedman H., Nordin A., Bostrom B.: Slugging tendencies of wood pellet ash during combustion in residential pellet burners, *Biomass Bioenergy*, 27, 2004, 585-596.
6. Musialik-Piotrowska A., Kordylewski W., Ciolek J., Mościcki K.: Characteristics of air pollutants emitted from biomass combustion in small retort boiler, *Env. Prot. Eng.*, 2010, 2, 123-131.
7. Musialik-Piotrowska A., Kolanek C.: Emission of volatile organic compounds from diesel engine fuelled with oil-water emulsion, *Env. Prot. Eng.*, 2011, 1, 39-49.
8. PN-EN 3003-5: Kotły grzewcze, część 5: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 300 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie, 2002.
9. Kubica K.: Kryteria efektywności energetyczno-ekologicznej kotłów małej mocy i paliw stałych dla gospodarki komunalnej. Certyfikacja na znak bezpieczeństwa ekologicznego, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, 1999.
10. Gonzales J.F., Gonzales-Garcia C.M., Ramiro A., Gonzales J., Sabio E., Ganan J., Rodriguez M.A.: Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler. *Biomass Bioenergy* 2004, 27, 145-154.
11. Mediavilla I., Fernandez M., J., Esteban L., S.: Optimization of pelletization and combustion in a boiler of 17.5 kWth for vine shoots and industrial cork residua. *Fuel Process. Technol.* 2009, 90, 621-628.
12. Kjallstrand J., Olsson M.: Chimney emission from small-scale burning of pellets and fuelwoods- examples referring to different combustion appliances. *Biomass Bioenergy*, 2006, 27, 557-561.