

Katarzyna PAŁASZYŃSKA*, Marek JUSZCZAK*,
Michał GOŁĘBIEWSKI*

STĘŻENIA TLENKU WĘGLA I TLENKU AZOTU ZE SPALANIA PELETÓW Z AGROBIOMASY W PALENISKU KORYTKOWYM KOTŁA O MOCY 25 KW

Pomierzono stężenie tlenku węgla i tlenku azotu ze spalania peletów z drewna, siana, łupin orzecha palmy olejowej, łusek kawy zmieszanych z peletami z drewna w stosunku wagowym 50 : 50 w palenisku korytkowym kotła o mocy 25 kW. Wartości stężeń tlenku węgla wyniosły 658, 1080, 6352, 6098; tlenku azotu: 170, 306, 175, 304 (wartości stężeń przeliczono na poziom 10% stężenia tlenu). Przedstawiono na wykresach zależność stężenia tlenku azotu od stężenia tlenku węgla. Obserwując niezupełnie zgodny z oczekiwaniami kształt powierzchni funkcji tlenku węgla i tlenku azotu od temperatury w komorze spalania i stężenia tlenu w spalinach, przypuszcza się, że wpływ na kształt tych powierzchni ma tlenek węgla, który redukuje tlenek azotu do azotu cząsteczkowego, utleniając się jednocześnie do dwutlenku węgla.

1. WPROWADZENIE

Spalanie agrobiomasy w paleniskach rusztowych napotyka na trudności, gdyż już w temperaturze ok. 800 °C w przypadku wielu rodzajów agrobiomasy tworzy się żużel [7, 17], zależnie od składu chemicznego biomasy i popiołu [1, 9, 14–16] utrudniając pracę paleniska. Powstają wtedy znaczne ilości tlenku węgla, który dobrze utlenia się do dwutlenku węgla dopiero powyżej temperatury 650 °C [13]. Można stosować w kotłach energetycznych dodatki podwyższające temperaturę spiekania popiołu w kotłach, np. haloizyt [8], jednak w kotłach o mocy do 50 kW może to prowadzić do powstawania osadów i zmniejszenia tym samym ich sprawności cieplnej [5]. Można też mieszać pelety z agrobiomasy z peletami drzewnymi ograniczając tworzenie się żużla [4]. Najlepszą techniką spalania agrobiomasy jest dwustopniowe spalanie (zgazowanie i spalanie gazu procesowego) [2], bowiem w strefie zgazowania temperatura jest naj-

* Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza.

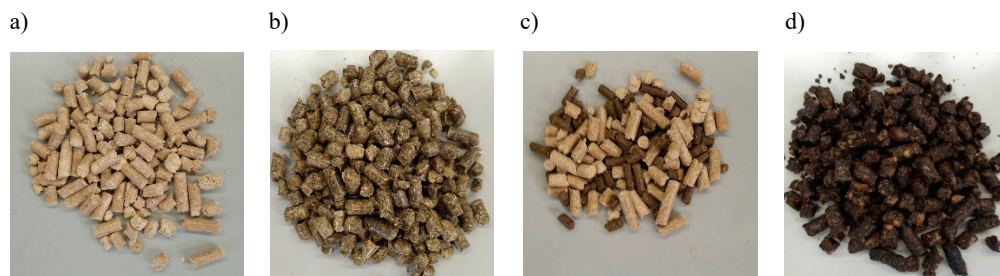
częściej w granicach 300–500 °C i nie tworzy się żužel. Brakuje jednak na rynku kotłów z dwustopniowym spalaniem o mocy do 50 kW, dostosowanych do spalania peletów z agrobiomasy, dlatego stosuje się często kotły z paleniskami rusztowymi dostosowanymi do spalania peletów drzewnych. Powstają jednak problemy ze spalaniem peletów z agrobiomasy w kotłach o mocy do 50 kW, dostosowanych do spalania drewna, gdyż temperatura w palenisku przekracza często temperaturę spiekania popiołu z agrobiomasy i tworzy się żužel.

2. MATERIAŁ DO BADAŃ

Spalano pelety o średnicy 8 mm z: drewna, siana, łupin orzecha palmy olejowej, oraz mieszaninę peletów z łusek kawy i peletów z drewna w stosunku 50 : 50 (rys. 1). Skład chemiczny peletów i wartość opałową wyznaczoną wg [10] podano w tabeli 1. Wilgotność wszystkich rodzajów peletów wynosiła ok. 7%.

Tabela 1. Skład elementarny biomasy oraz wartość opałową wyznaczoną zgodnie z [9]

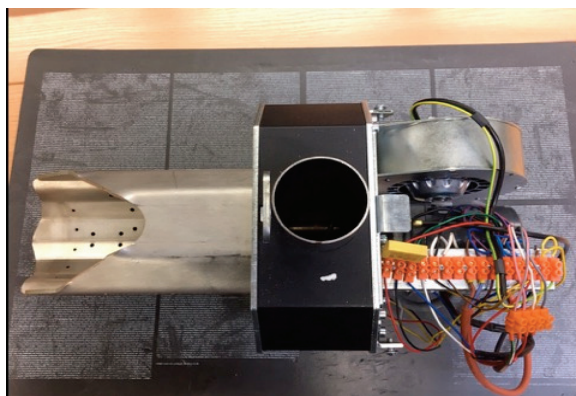
Biomasa/Parametr	C	H	N	S	Wartość opałowa
	%	%	%	%	kJ/kg
Drewno	56,8	6,3	0,22	0,08	19080
Siano	45,69	6,44	1	0,39	15120
Łupiny orzecha palmy olejowej	46,62	4,8	0,61	0,56	18100
Łuski kawy	48,8	4,9	0,6	0,6	18406
Łuski kawy i drewno 70:30% mas.	51,2	5,32	0,49	0,44	18610
Łuski kawy i drewno 30:70% mas.	54,4	5,88	0,33	0,24	18880



Rys. 1. Pelety z: a) drewna, b) siana, c) mieszanina peletów z łusek kawy i peletów drzewnych w stosunku mas. 50 : 50, d) pelety z łupin orzecha palmy olejowej

3. STANOWISKO DO BADAŃ, APARATURA, SPOSÓB POMIARU

Pelety spalano w palenisku korytkowym (rys. 2) o mocy 20 kW, umieszczonym w kotle o mocy 25 kW (trójciągowym z pionowymi ciągami spalin).



Rys. 2. Palenisko korytkowe o mocy 25 kW, KIPI

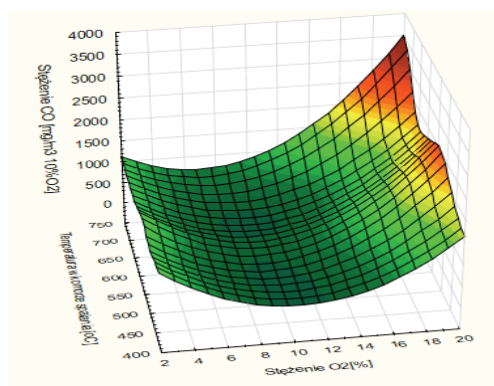
Kocioł był zamontowany w kotłowni badawczej IIŚ Politechniki Poznańskiej. Ciepło za pomocą sieci cieplnej było przekazywane do grzejników domku badawczego o powierzchni ok. 100 m². Badania były więc wykonywane w warunkach zbliżonych do tych, które istnieją u użytkownika. Stężenie tlenu węgla i węglowodorów mierzono w podczerwieni, a tlenu i tlenu azotu za pomocą cel elektrochemicznych analizatora spalin typu Vario Plus MRU. Temperaturę w komorze spalania (ok. 20 cm nad paleniskiem), mierzono za pomocą termopary PtRh-Pt w osłonie ceramicznej, dla zmniejszenia wpływu promieniowania. Strumień objętości wody kotłowej i jej temperaturę mierzono za pomocą ultradźwiękowego licznika ciepła Kamstrup. Pomierzone wartości przekazywano bezpośrednio do komputera co 5 s. Masę paliwa oznaczono wagowo. Wartość opałową oznaczono metodą kalorymetryczną [10]. Sprawność cieplną kotła określono metodą bezpośrednią jako stosunek ciepła przekazanego wodzie kotłowej, do iloczynu masy paliwa i wartości opałowej. Pomiar dla każdego rodzaju paliwa prowadzono w sposób ciągły przez kilka godzin. Wielkość strumienia powietrza do spalania ustalano ręcznie na początku testu (i nie zmieniano w czasie testu) tak, aby oczekiwać możliwie najmniejszych stężeń tlenu węgla w spalinach, które traktowano jako ważny wskaźnik jakości spalania.

4. WYNIKI BADAŃ

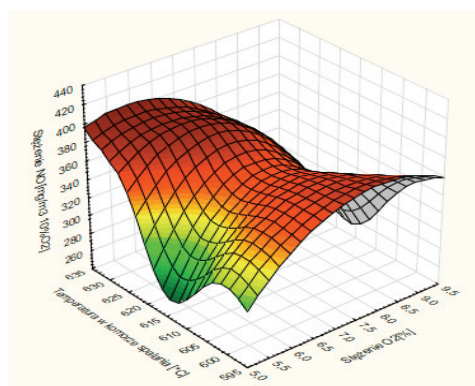
W tabeli 2 przedstawiono wartości średnie parametrów przebadanych w czasie pomiarów paliw.

Tabela 2. Wartości średnie parametrów badanych paliw

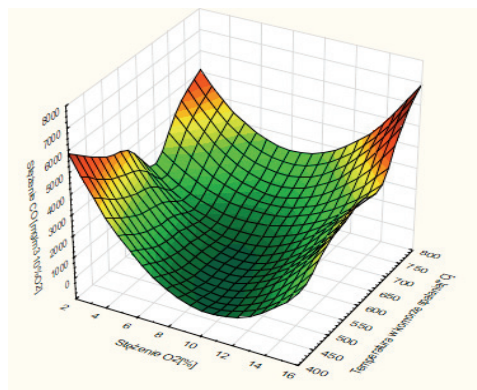
Parametr	Moc kotła	O ₂	CO ₂	Sprawność cieplna kotła	Temp. spalin za kotłem	Wsp. nadmiaru powietrza	Temp. w komorze spalania	Stężenie CO	Stężenie NO	Stężenie NO _x
	[kW]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[-]	[°C]	[mg/m ³ (10% O ₂)]	[mg/m ³ (10% O ₂)]	[mg/m ³ (10% O ₂)]
Drewno	11,7	12,2	9,0	88	170	2,3	502	658	170	261
Siano	14,2	9,6	12,0	71	190	1,7	637	1080	306	470
Łupiny orzecha palmy olejowej	11,0	13,1	7,9	63	140	2,6	528	6352	175	268
Łuski kawy i drewno 50:50 wag.	9,5	11,6	9,4	65	130	2,2	466	6098	304	466



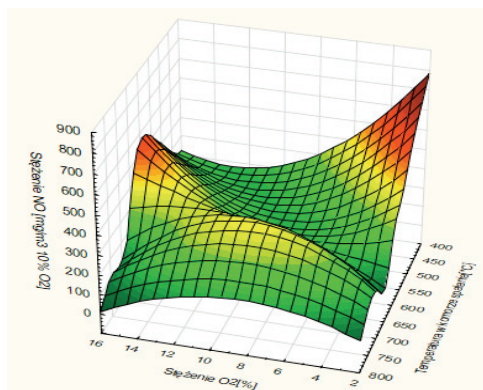
Rys. 3. Stężenie tlenku węgla CO w zależności od temperatury w komorze spalania i stężenia tlenu w spalinach – pelety drzewne



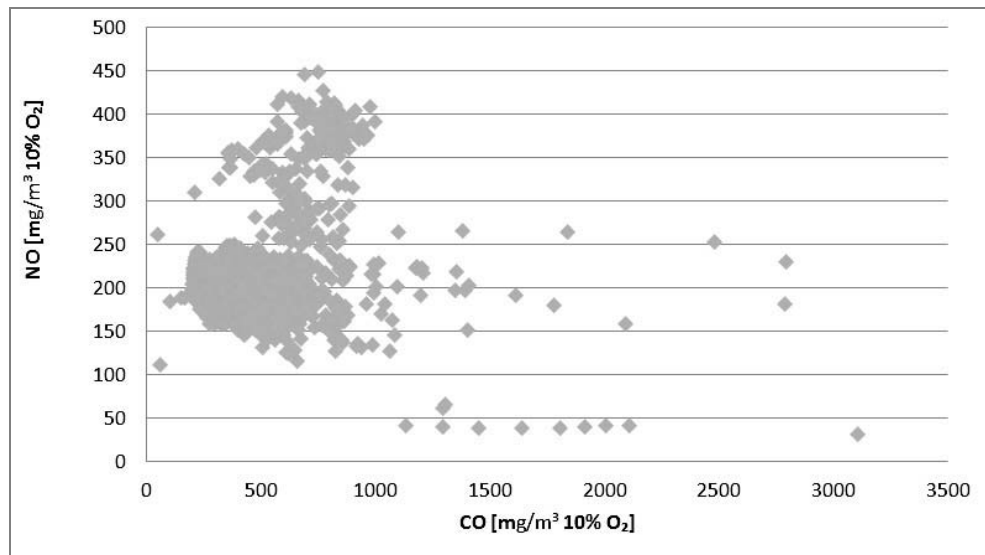
Rys. 4. Stężenie tlenku azotu NO w zależności od temperatury w komorze spalania i stężenia tlenu w spalinach – pelety drzewne



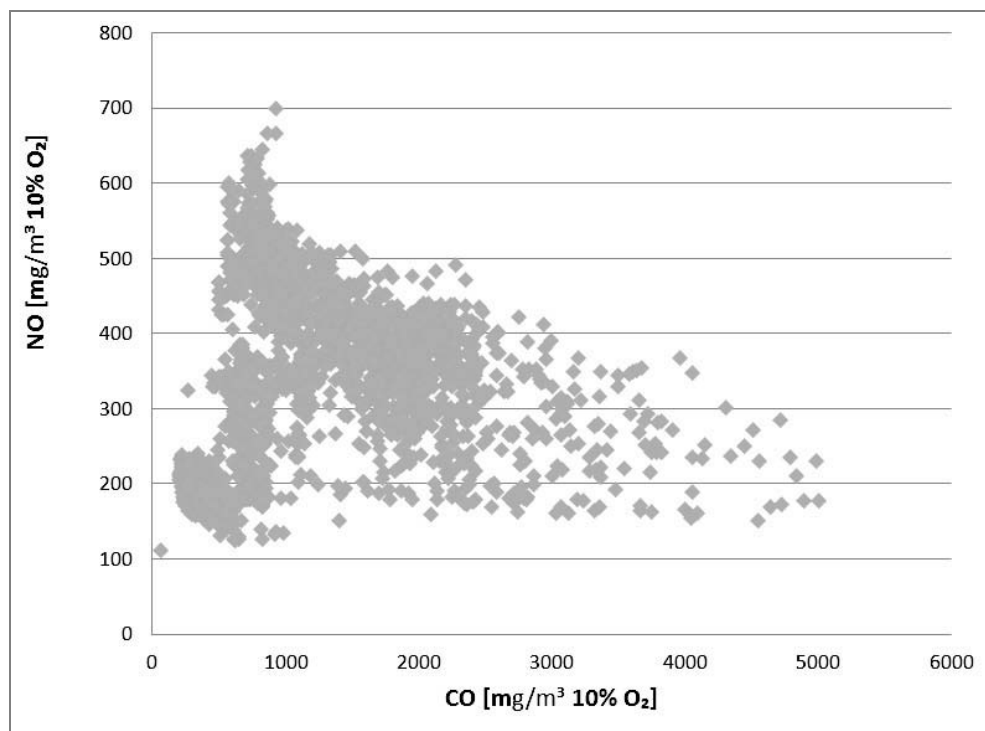
Rys. 5. Stężenie tlenku węgla CO w zależności od temperatury w komorze spalania i stężenia tlenu w spalinach – pelety z siana



Rys. 6. Stężenie tlenku azotu NO w zależności od temperatury w komorze spalania i stężenia tlenu w spalinach – pelety z siana



Rys. 7. Zależność stężenia tlenu azotu od stężenia tlenu węgla – pelety drzewne



Rys. 8. Zależność stężenia tlenu azotu od stężenia tlenu węgla – pelety z siana

Stężenie węglowodorów albo było pomijalnie małe albo niemierzalne. Temperatura w komorze spalania, mierzona ok. 0,2 m nad paleniskiem, była ok. 100 °C mniejsza niż temperatura w palenisku, co stwierdzono przy użyciu pirometru. Zależności przedstawione na rysunkach 3–8 ograniczono tylko do siana i porównano z drewnem. Dla innych rodzajów agrobiomasy zależności były podobne. Stwierdzono znacznie większą amplitudę zmian mierzonych parametrów procesu spalania w czasie (tleny, tlenku węgla, temperatury w komorze spalania) dla agrobiomasy w porównaniu z drewnem, co wskazuje na trudniejsze spalanie agrobiomasy.

5. Dyskusja

W tabeli 2 widać wyraźną różnicę w wartości stężenia tlenku węgla między peletami drzewnymi a peletami z agrobiomasy. Pelety z łusek kawy można było spalić dopiero po zmieszaniu z peletami drzewnymi w proporcji 50 : 50, bowiem w innych przypadkach powstający w dużych ilościach żużel uniemożliwiał spalanie. Generalnie, stężenie tlenku węgla w palenisku, wraz ze wzrostem stężenia tlenu początkowo maleje a następnie rośnie a maleje ze wzrostem temperatury w palenisku i komorze spalania. Stężenie tlenku azotu zależy od zawartości azotu w paliwie i rośnie ze wzrostem temperatury w komorze spalania i stężenia tlenu. Jednak powierzchnie przedstawione na rys. 3–6 nie odzwierciedlają dokładnie powyższych zależności, bowiem tlenek węgla redukuje tlenek azotu do azotu cząsteczkowego, utleniając się do dwutlenku węgla przez co zmniejsza się nie tylko stężenie tlenku azotu, ale także stężenie tlenku węgla, zgodnie z reakcją (1) [6]:



Jest to zjawisko opisane dla przypadku spalania drewna w paleniskach małej mocy [6]. Z tego powodu powierzchnie przedstawione na rys. 3–6 przybierają często niespodziewane kształty. Wykresy zależności stężenia tlenku azotu od stężenia tlenku węgla (rys. 7–8) wskazują, że ze wzrostem stężenia tlenku węgla maleje stężenie tlenku azotu, dokumentując redukcyjne działanie tlenku węgla, opisane zależnością (1).

Generalnie agrobiomasę należy spalać w paleniskach dwustopniowych (zgazowanie i spalanie gazu procesowego), bo w strefie zgazowania panuje temperatura w zakresie 250–500 °C i nie tworzy się żużel. Paleniska rusztowe ze względu na powstający żużel nie bardzo się nadają do spalania agrobiomasy. Spalanie nawet z mieszaniem z drewnem prowadziło do wysokich stężeń tlenku węgla (tabela 2). Od stycznia 2020 stężenia dopuszczalne w spalinach tlenku węgla dla kotłów o mocy do 500 kW będzie obniżone do 500 mg/m³ (obecnie 3000 mg/m³) [11], a tlenków azotu NO_x ustalone na poziomie 200 mg/m³ [12] (obecnie dla kotłów o mocy do 500 kW nie jest normowane) [11].

6. PODSUMOWANIE

Pelety z agrobiomasy, ze względu na pojawiające się w spalinach wysokie stężenia tlenu węgla i tlenków azotu NO_x , przekraczające często stężenia dopuszczalne, można polecić do spalania w palenisku z rusztem korytkowym tylko rolnikom, u których ta agrobiomasa powstaje.

LITERATURA

- [1] FOURNEL S., PALACIOS J.H., MORISSETTE R., VILLENEUVE J., GODBOUT S., HEITZ M., SAVOIE P., *Influence of biomass properties on technical and environmental performance of a multifuel boiler during on-farm combustion of energy crops*, Applied Energy, 2015, 141, 247–259, DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.12.022.
- [2] GARCIA G.B., CALDERO DE HOCES M., GARCIA C.M., NOTES PALOMINO M.T., RONDA GALVES A., MARTIN-LARA M.A., *Characterization and modeling of pyrolysis of two-phase olive mill solid waste*, Fuel Processing Technology, 2014, 126, 104–111.
- [3] GEHRING M., JAEGER D., PELZ S.K., KIRCHHOF R., THORWARTH H., HASLINGER W., *Influence of a direct firebed cooling in a residential wood pellet boiler with an ash-rich fuel on the combustion process and emissions*, Energy Fuels, 2016, 30(11), 9900–9907, DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b02177.
- [4] JUSZCZAK M., LOSSY K., *Pollutant emission from a heat station supplied with agriculture biomass and wood pellet mixture*, Chemical and Process Engineering, 2012, 33, 231–242.
- [5] JUSZCZAK M., PAŁASZYŃSKA K., ROLIRAD K., JANICKI M., SZCZECHOWIAK E., *Próba zastosowania w peletach z agrobiomasy dodatków podwyższających temperaturę topnienia popiołu w celu uniknięcia tworzenia się żużla w palenisku*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2017, t. 48, nr 8, s. 320–326.
- [6] MARUTZKY R., *Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen*, Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. K.G, Dusseldorf 1997.
- [7] MUSIALIK-PIOTROWSKA A., KORDYLEWSKI W., CIOŁEK J., MOŚCICKI K., *Characteristics of air pollutants emitted from biomass combustion in small retort boiler*, Environment Protection Engineering, 2010, 36, 123–131.
- [8] MROCZEK K., KALISZ S., PRONOBIS M., SOŁTYS J., *The effect of halloysite additive on operation of boilers firing agricultural biomass*, Fuel Processing Technology, 2011, 92, 845–855.
- [9] PN-EN 14961. *Biopaliwa stałe. Specyfikacja paliw i klasy. Część 1: Wymagania ogólne*, 2010.
- [10] PN-81/G-04513. *Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej*.
- [11] PN-EN-305-5. *Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie*, 2012.
- [12] Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe.
- [13] RYBAK W., *Spalanie i współspalanie biopaliw stałych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
- [14] VASSILEV S.V., BAXTER D., ANDERSEN L.K., VASSILEVA Ch.G., *An overview of the composition and application of biomass ash. Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges*, Fuel, 2013, 105, 19–39.

- [15] VASSILEV S.V., BAXTER D., ANDERSEN L.K., VASSILEVA Ch.G., *An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification*, Fuel, 2013, 105, 40–76.
- [16] VASSILEV S.V., BAXTER D., ANDERSEN L.K., VASSILEVA Ch.G., *An overview of the composition and application of biomass*, Fuel, 2010, 89, 913–933.
- [17] YANQUIN NIU, HOZHANG TAN, SHI'EN HUI, *Ash-related issues during biomass combustion: Alkali-induced slugging, silicate melt-induced slugging (ash fusion), agglomeration, corrosion, ash utilization, and related countermeasures*, Progress in Energy and Combustion Sciences, 2016, 52, 1–61.

CONCENTRATIONS OF CARBON MONOXIDE AND NITRIC OXIDE
DURING THE COMBUSTION OF AGRICULTURAL BIOMASS PELLETS IN
A HORIZONTAL-FEED FURNACE OF A 25 KW BOILER

Carbon monoxide and nitric oxide concentrations were measured in a horizontal-feed furnace of a 25 kW boiler while firing pellets made of wood, hay, palm kernel shell, as well as coffee husks mixed with wood pellets in the weight proportion of 50 : 50. The concentration values of the respective fuel types mentioned above were for carbon monoxide 658, 1080, 6352, 6098; nitric oxide: 170, 306, 175, 304 (presented for 10% O₂ content in the flue gas). The correlation between nitric oxide concentration and carbon monoxide concentration was presented graphically. Having observed not quite the expected shape of the surfaces of carbon monoxide and nitric oxide concentrations as a function of temperature in the combustion chamber and pollutant concentration in the flue gas, it is suspected that the shape of these surfaces is influenced by carbon monoxide, which reduces nitric oxide to molecular nitrogen, at the same time oxidizing to carbon dioxide.