

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 26**  
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok IX**

**Warszawa–Opole 2016**

---

ARTUR KILIAN\*  
JAN KOŚCIANOWSKI\*\*  
MAREK GAWLICKI\*\*\*

## Charakterystyka emisji gazowej z palenisk o małej mocy

**Słowa kluczowe:** paleniska małej mocy, emisja gazowa, TVOC, biopaliwa, pelety drzewne.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów emisji gazowej (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i TVOC) z trzech palenisk małej mocy zasilanych różnymi rodzajami paliw: miałem węgla kamiennego lub ekogroszkiem, lekkim olejem opałowym oraz biopaliwem (pelet drzewny). Podano również wyniki oznaczeń zawartości w gazach odlotowych tlenu i dwutlenku węgla oraz rezultaty pomiarów temperatury w miejscach pobrania prób. Stwierdzono istotne różnice w zawartościach oznaczanych substancji w analizowanych gazach. Wykazano, że najniższą emisją CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i TVOC charakteryzował się kocioł ORLINGO 400, w którym spalane były pelety drzewne.

### 1. Wprowadzenie

Jednym z ubocznych skutków wytwarzania energii cieplnej, zwłaszcza w przypadku termicznego przetwarzania paliw stałych, jest emisja do atmosfery różnego typu zanieczyszczeń – pyłów, par i gazów. Energetyczne spalanie paliw, którymi w Polsce są głównie węgiel kamienny i węgiel brunatny, stanowi podstawowe źródło antropogenicznej emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Do pierwotnych zanieczyszczeń powstających w tych warunkach należą: tlenki azotu, dwutlenek siarki, tlenek węgla, chlorowodór, fluorowodór, lotne związki organiczne (LZO), trwałe związki organiczne (TZO), w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), dioksyny i furany – odpowiednio PCDDs i PCDFs oraz polichlorowane bifenyle. Do atmosfery wprowadzane są także pyły i metale ciężkie oraz gazowe

---

\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu

\*\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, j.koscianowski@icimb.pl

\*\*\* Dr hab. inż. prof. ICiMB, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, m.gawlicki@icimb.pl

produkty spalania (dwutlenek węgla i para wodna). Największy udział w emisji większości tych zanieczyszczeń ma energetyka zawodowa, jednakże w emisji niemetanowych związków organicznych oraz pyłów zawieszonych dominują źródła rozproszone, zgrupowane w sektorze komunalno-bytowym [1].

Troska o stan środowiska naturalnego oraz restrykcyjne ustawodawstwo spowodowały to, że w energetyce zawodowej i przemysłowej od wielu już lat utrwały się tendencje do wykorzystywania najlepszych możliwych technik spalania paliw i oczyszczania gazów odlotowych. Zmiany w technikach spalania, ciągła kontrola emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych oraz budowa szeregu nowoczesnych instalacji oczyszczających gazy odlotowe w znaczący sposób ograniczyły emisję do atmosfery wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń. W przypadku rozproszonych źródeł emisji, wyposażonych w paleniska małej mocy, proekologiczne działania są znacznie utrudnione. W tego rodzaju paleniskach nieekonomiczne jest stosowanie wysokosprawnych instalacji oczyszczania spalin. Przedsięwzięcia mające na celu ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery z palenisk małej mocy nie mogą być zbyt drogie i muszą się ograniczać do optymalizacji technik spalania oraz właściwego doboru paliw. Ze względu na dużą różnorodność stosowanych urządzeń cieplnych i znaczną liczbę ich dysponentów w działaniach, których celem jest ograniczenie emisji zanieczyszczeń z rozproszonych źródeł energii o małej mocy, bardzo ważną rolę odgrywają rzetelne informacje o jakości urządzeń dostępnych na rynku, ich właściwej obsłudze oraz pożądanym cechach paliw zasilających określone urządzenia.

Celem pracy było porównanie emisji gazowej z palenisk o małej mocy, w których spalane były różne rodzaje paliw. Badania wykonano zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie PN-EN 303-5:2012 – Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 300 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie [2]. W gazach odlotowych oznaczano stężenie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  oraz tlenu i całkowitej zawartość węgla organicznego (TVOC – *total volatile organic carbon*).

## 2. Część doświadczalna

Przeprowadzone badania obejmowały analizy spalin pobieranych w sposób ciągły z trzech rodzajów palenisk małej mocy. Były to:

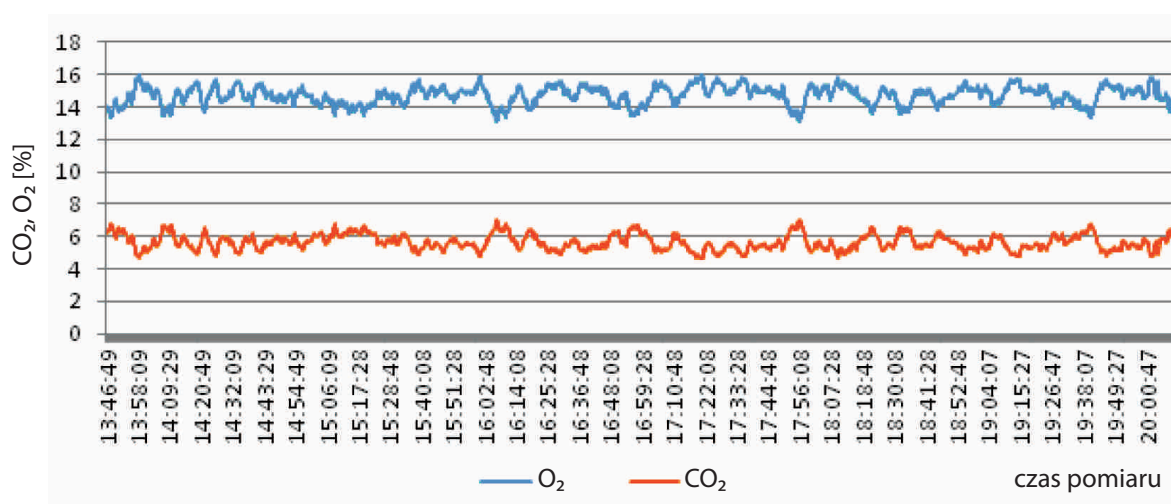
- kocioł EKR firmy PPHU SIMAR Pleszew z podajnikiem AZP i paleniskiem retortowym, wyposażony w ruszt obrotowy zasilany miałem węglowym lub węglem kamiennym typu ekogroszek. Moc nominalna kotła – 12 kW;
- kocioł Budreus Logano G 205 wyposażony w palnik ABC EKO, w którym spalany był lekki olej opałowy typu MIX. Moc nominalna kotła – 30 kW;
- kocioł ORLINGO 400 skonstruowany przez firmę ORLAŃSKI, zasilany biopaliwem (pelety z trocin drzew iglastych z domieszką trocin z drzew liściastych). Moc nominalna kotła – 16 kW.

Pomiary zawartości badanych zanieczyszczeń w gazach odlotowych były wykonywane przy stałej ilości przepływającego powietrza oraz przy stabilnej wielkości nadawy paliwa wprowadzanego do kotła. Oznaczenia przeprowadzono zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 303-5:2012 [2]. Do pomiarów zawartości w gazach odlotowych dwutlenku węgla, tlenku węgla, tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ) oraz dwutlenku siarki i tlenu wykorzystano analizator spalin PHOTON PGD-100. Zawartość wszystkich wymienionych składników, poza tlenem, oznaczana była metodą spektrometrii NDIR (*non-dispersed infrared*) [3–4] w następujących zakresach pomiarowych:  $\text{CO}_2$  – 0–25%, CO – 0–2000 ppm,  $\text{NO}_x$  – 0–5000 ppm oraz  $\text{SO}_2$  – 0–5000 ppm. Zawartość tlenu w spalinach oznaczono metodą elektrochemiczną w zakresie pomiarowym 0–25%.

Oznaczenia całkowitej zawartości węgla organicznego (TVOC) w gazach odlotowych wykonane zostały przy użyciu analizatora JUM OVF-3000 z wykorzystaniem ciągłej detekcji płomieniowo-jonizacyjnej. Pomiary prowadzono w zakresie 0–10000 ppm [4–5] w gazach wilgotnych.

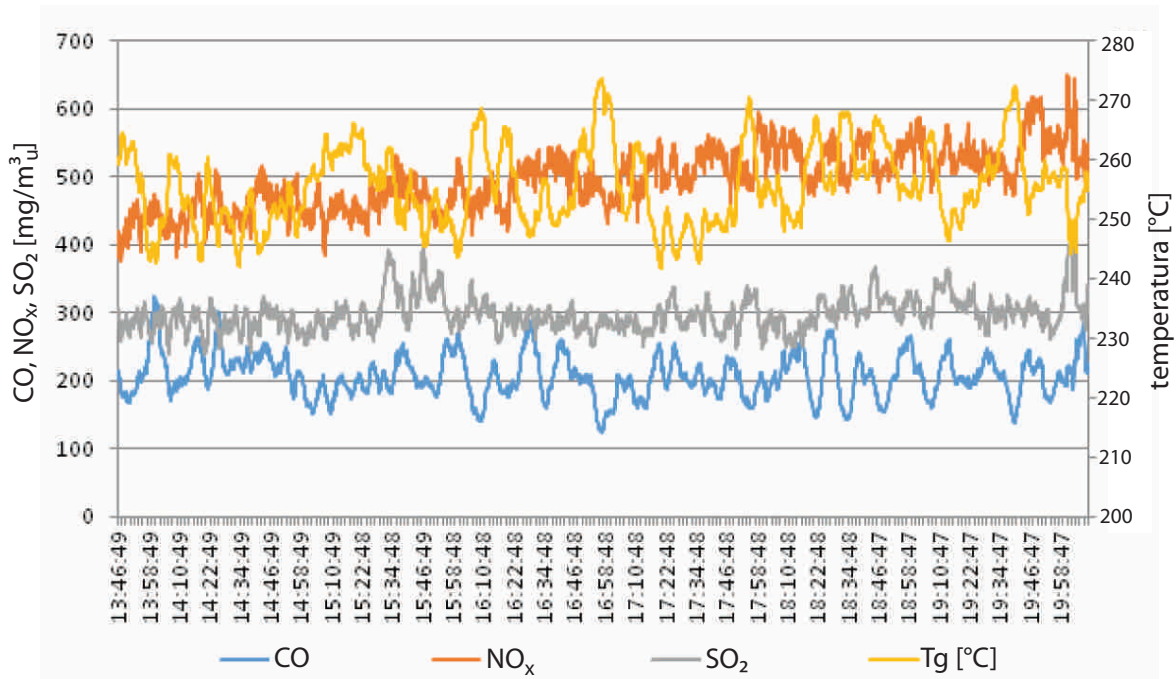
Zawartość wilgoci w badanych gazach określano metodą absorpcyjno-kondensacyjną, wykorzystując do tego celu przepływomierz typu JUNKALOR oraz trzy połączone szeregowo naczynia sorpcyjne wypełnione odpowiednio spreparowanym żelazem krzemionkowym. Oznaczoną w ten sposób zawartość pary wodnej wykorzystano do przeliczeń zawartości węgla organicznego odniesionej do suchych gazów.

Wszystkie pomiary wykonane zostały na wymienionych uprzednio kotłach pracujących przy nominalnej mocy: kocioł EKR – 12 kW, kocioł Budreus Logano G 205 – 30 kW, kocioł ORLINGO 400 – 16 kW. Wyniki analiz gazów odlotowych przedstawiono w formie wykresów na kolejnych rycinach (ryc. 1–9).

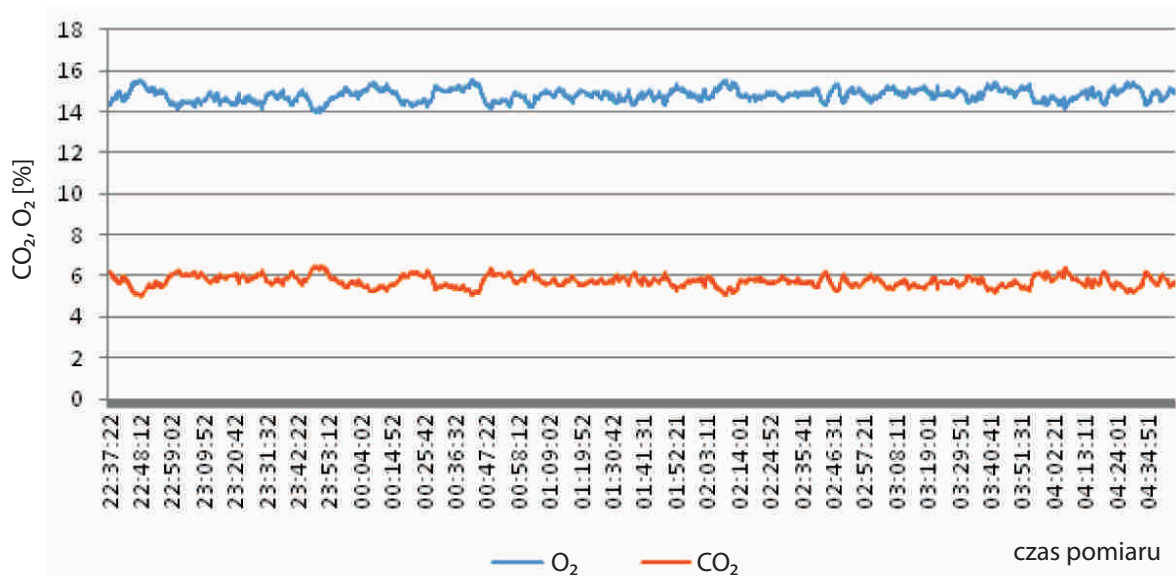


Źródło: Ryc. 1–9 – opracowanie własne.

Ryc. 1. Wyniki oznaczeń zawartości tlenu i dwutlenku węgla w gazach odlotowych z kotła EKR zasilanego miałem węglowym

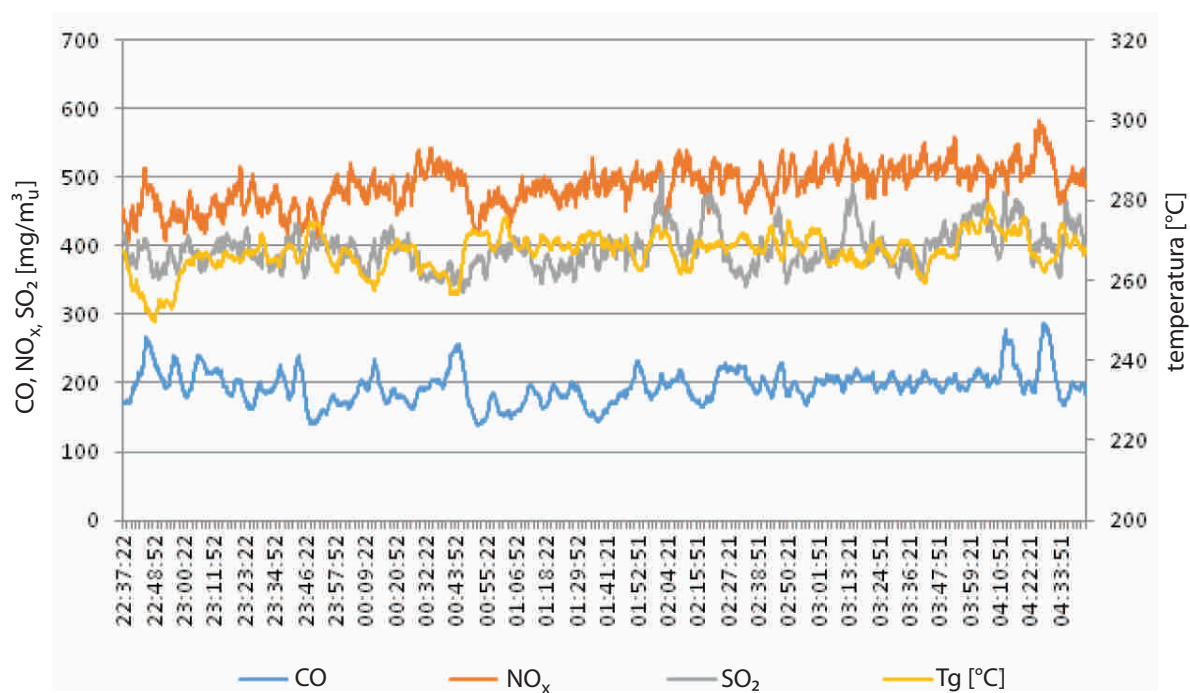


Ryc. 2. Wyniki oznaczeń zawartości tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku siarki w gazach odlotowych z kotła EKR zasilanego miałem węglowym oraz pomiarów temperatury gazów w miejscu pobrania próbek do badań

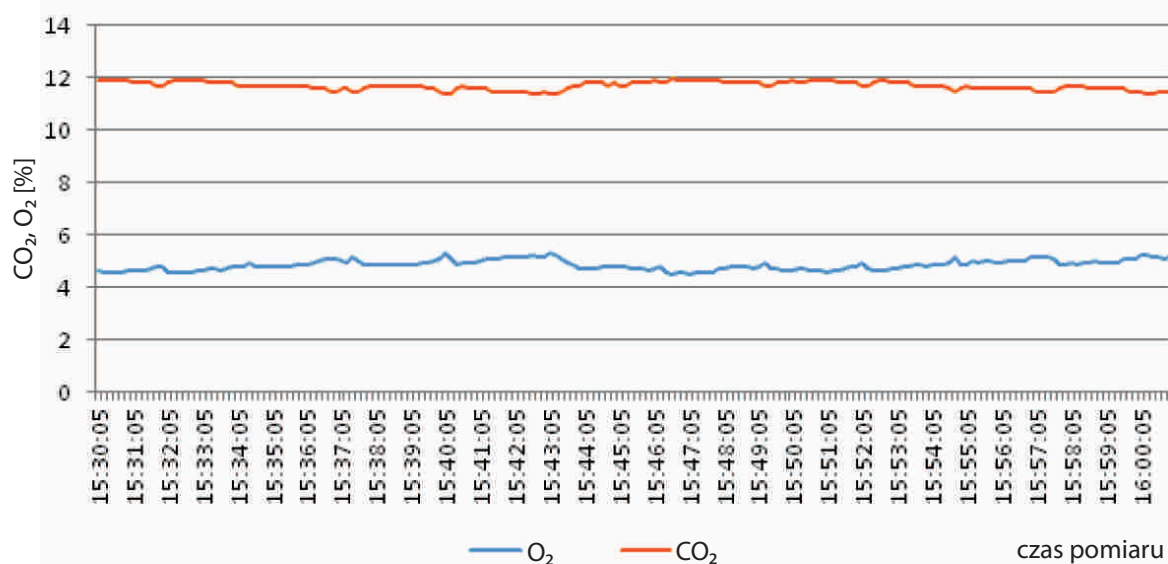


Ryc. 3. Wyniki oznaczeń zawartości tlenu i dwutlenku węgla w gazach odlotowych z kotła EKR zasilanego ekogroszkiem

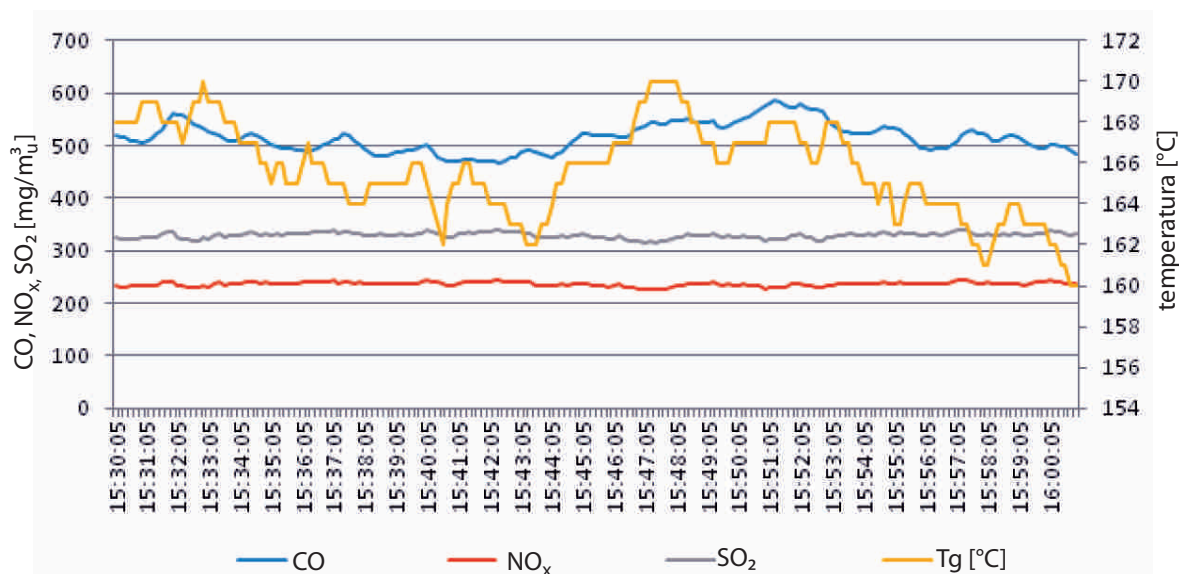




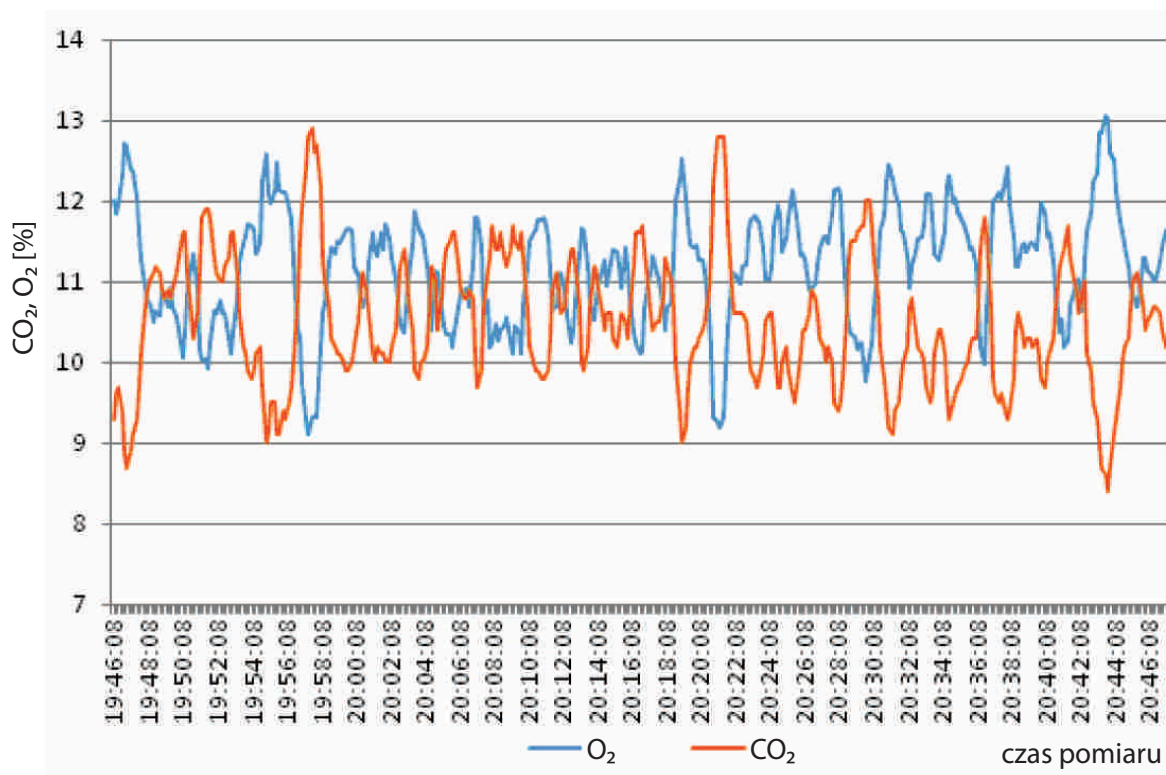
Ryc. 4. Wyniki oznaczeń zawartości tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku siarki w gazach odlotowych z kotła EKR zasilanego ekogroszkiem oraz pomiarów temperatury gazów w miejscu pobrania próbek do badań



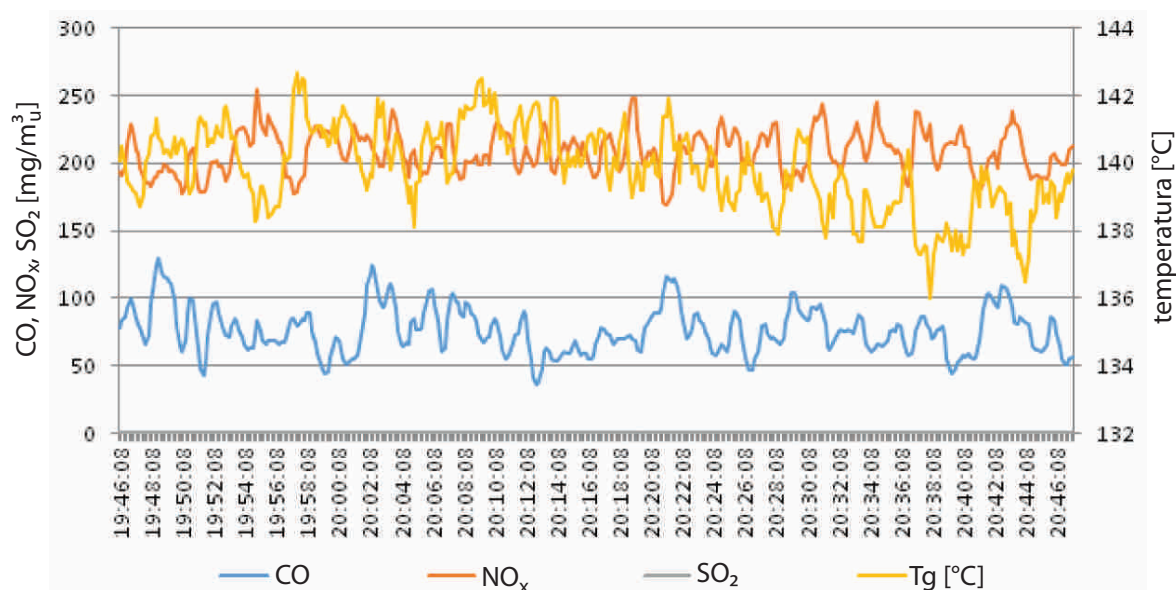
Ryc. 5. Wyniki oznaczeń zawartości tlenu i dwutlenku węgla w gazach odlotowych z kotła Buderus Logano G 205 zasilanego lekkim olejem opalowym MIX



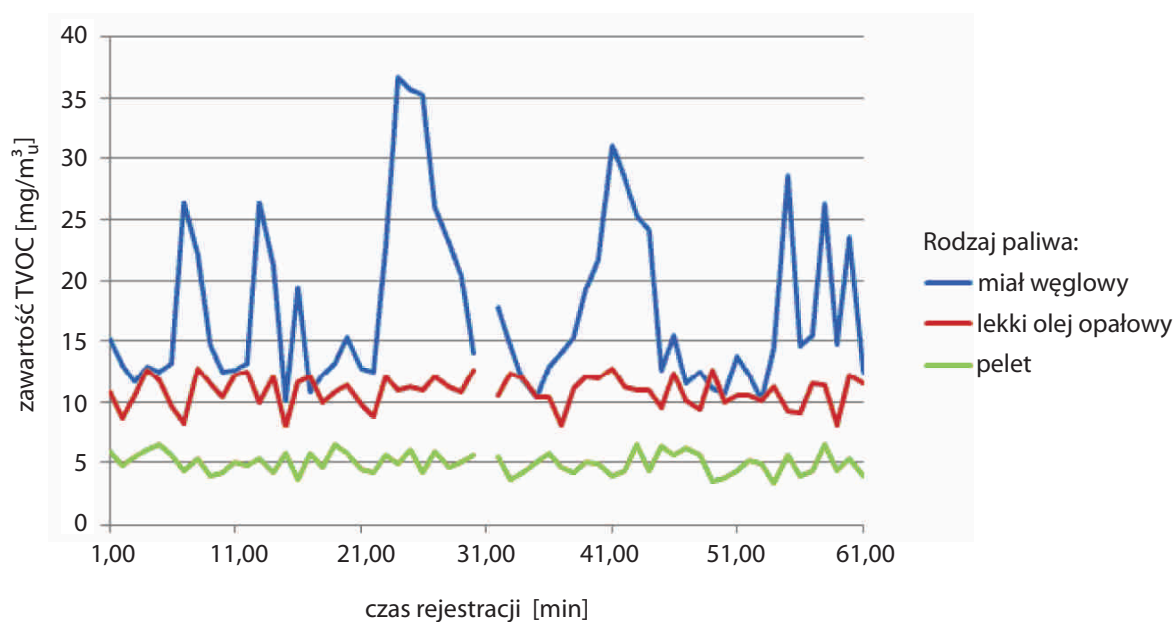
Ryc. 6. Wyniki oznaczeń zawartości tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku siarki w gazach odlotowych z kotła Buderus Logano G 205 zasilanego lekkim olejem opałowym MIX oraz pomiarów temperatury gazów w miejscu pobrania próbek do badań



Ryc. 7. Wyniki oznaczeń zawartości tlenu i dwutlenku węgla w gazach odlotowych z kotła ORLINGO 400 zasilanego biopaliwem (pelety z trocin drzewnych)



Ryc. 8. Wyniki oznaczeń zawartości tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku siarki w gazach odlotowych z kotła ORLINGO 400 zasilanego biopaliwem (pelety z trocin drzewnych) oraz pomiarów temperatury gazów w miejscu pobrania próbek do badań



Ryc. 9. Wyniki oznaczeń całkowitej zawartość węgla organicznego w spalinach: kotła EKR zasilanego miiałem węglowym, kotła Buderus Logano G 205 zasilanego lekkim olejem opałowym oraz kotła ORLINGO 400 zasilanego biopaliwem (pelety z trocin drzewnych)

### 3. Podsumowanie

Badania gazów odlotowych z analizowanych kotłów wykazały zróżnicowanie stężeń CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i TVOC oraz znaczące różnice w zakresach wahań zawartości tych składników w gazach z poszczególnych kotłów. Celem porównania, wyniki analiz gazów otrzymane podczas pomiarów – stężenia ma-



sowe w warunkach umownych (warunki normalne, gaz suchy) – przeliczono na porównywalne warunki odniesienia (referencyjne), tj. warunki normalne, gaz suchy, tlen odniesienia 6% (tab. 1).

Tabela 1

## Wyniki badań gazów odlotowych z analizowanych kotłów

Paliwo	Stężenie w warunkach umownych <sup>a</sup>						Stężenie w warunkach referencyjnych <sup>b</sup>			
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	TVOC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	TVOC
	[%]	[%]	mg/m <sup>3</sup> <sub>u</sub>			mg/m <sup>3</sup> <sub>ref</sub>				
Kocioł EKR										
Miał węglowy	13,0–16,0	5,0–7,0	120–320	400–600	250–400	10–37	284–758	948–1422	578–924	24–88
Ekogroszek	14,0–15,5	5,0–6,0			350–500				847–1210	
Kocioł Buderus Logano G 205										
Olej opałowy	5,0	12,0	500	220	320	8–12	470	207	301	7,5–11,0
Kocioł ORLINGO										
Biopaliwo (pelet)	9,00–13,00	8,5–13,0	40–130	180–250	5	4–6	60–195	270–375	7,5	6–9

<sup>a</sup> – warunki umowne: temperatura 273 K, ciśnienie 1013 hPa, gazy suche,

<sup>b</sup> – warunki referencyjne: temperatura 273 K, ciśnienie 1013 hPa, gazy suche, tlen odniesienia 6%.

Źródło: Opracowanie własne.

Udziały objętościowe tlenu oraz dwutlenku węgla w spalinach z kotła EKR w niewielkim stopniu uzależnione były od rodzaju paliwa i wahały się odpowiednio: dla miału węglowego od ok. 13 do 16% O<sub>2</sub> oraz od ok. 5 do 7% CO<sub>2</sub>, zaś dla paliwa węglowego ekogroszek od ok. 14,0 do 15,5% O<sub>2</sub> i od ok. 5 do 6% CO<sub>2</sub>. W gazach odlotowych z kotła Buderus Logano G 205, w którym spalany był olej opałowy, zawartość O<sub>2</sub> oraz CO<sub>2</sub> utrzymywała się niemal na stałym poziomie, odpowiednio: ok. 5 oraz 12%. Wahania zawartości O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> w gazach odlotowych z opalanego biopaliwem kotła ORLINGO 400 były znacznie większe. W tym przypadku zawartość tlenu w gazach odlotowych wynosiła od ok. 9 do 13%, a dwutlenku węgla od ok. 8,5 do 13,0%.

Największą emisję tlenu węgla, przekraczającą 750 mg CO/m<sup>3</sup><sub>ref</sub>, stwierdzono w przypadku spalania miału węglowego oraz ekogroszku w kotle EKR, w niewielkim stopniu była ona uzależniona od rodzaju użytego paliwa węglowego. Najniższą zaś w spalinach z kotła opalanego biomasą 60–195 mg CO/m<sup>3</sup><sub>ref</sub>.

Zawartość NO<sub>x</sub> była najwyższa w spalinach z kotła EKR, wynosiła od ok. 900 do 1400 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup><sub>ref</sub>. Gazy spalinowe z kotła opalanego olejem opałowym zawierały ok. 200 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup><sub>ref</sub>, zaś gazy z kotła zasilanego biomasą od ok. 270 do 370 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup><sub>ref</sub>.

Emisja dwutlenku siarki z kotła EKR zasilanego miałem węglowym wahała się od ok. 580 do 920 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup><sub>ref</sub>, zaś dla paliwa węglowego ekogroszek od ok. 850 do 1200 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup><sub>ref</sub>. Zawartość dwutlenku siarki w ga-

zach odlotowych z kotła, w którym spalano olej opałowy utrzymywała się na stałym poziomie i wynosiła ok.  $300 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3_{\text{ref}}$ . W gazach odlotowych z kotła opalanego biopaliwem zawartość dwutlenku siarki nie przekraczała  $7,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3_{\text{ref}}$ . W przypadku dwutlenku siarki zaobserwowano wyraźny wpływ rodzaju użytego paliwa na wielkość emisji.

Wyniki pomiarów TVOC (ryc. 9) wykazały, że o ile emisja związków organicznych w gazach odlotowych kotłów małej mocy zasilanych olejem opałowym i peletem drzewnym utrzymuje się niemal na stałym poziomie, odpowiednio  $7,5\text{--}11 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{ref}}$  oraz  $6\text{--}9 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{ref}}$ , to w przypadku kotłów zasilanych węglem jest znacznie wyższa i waha się w granicach  $24\text{--}90 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{ref}}$ .

## Literatura

- [1] Rutkowski J.D., *Źródła zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego*, wyd. 2, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
- [2] PN-EN 303-5:2012 – Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 300 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie.
- [3] Nieradka G., Mocny W., Pomiar stężenia dwutlenku węgla przy wykorzystaniu absorpcji promieniowania podczerwonego techniką NDIR, [w:] II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia w elektronice”, Warszawa, 5–6.12.2002. Materiały konferencyjne, s. 121–128, maszynopis w posiadaniu autorów.
- [4] PN-ISO 10396:2001 – Emisja ze źródeł stacjonarnych. Pobieranie próbek do automatycznego pomiaru stężenia składników gazowych.
- [5] PN-EN 12619:2013-05 – Emisja ze źródeł stacjonarnych. Oznaczanie stężenia masowego ogólnego gazowego węgla organicznego. Metoda ciągłego pomiaru z detekcją płomieniowo-jonizacyjną.

ARTUR KILIAN  
JAN KOŚCIANOWSKI  
MAREK GAWLICKI

### CHARACTERISTIC OF GAS EMISSION FROM SMALL FORCE FURNACES

**Keywords:** small forces furnaces, gas emission, TVOC, biofuels, wood pellets.

The article presents results of measurements of gas emission ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , and TVOC) for three small forces furnaces fed with various fuel types:

---

\* Praca sfinansowana została ze środków na działalność statutową Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych.

fine sized bituminous coal, light furnace oil, and biofuel (wood pellets). The results of analysis of the oxygen and carbon dioxide content in waste gas are also presented, as well as the results of temperature measurements at sites of the samples collection. The significant content differences of analyzed gases are shown. It is revealed that ORLINGO 400 boiler, fueled by wood pellets, had the lowest CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, and TVOC gas emission.