

*Eugeniusz Orszulik**

WSPÓŁSPALANIE WĘGLA KAMIENNEGO Z PALIWEM ALTERNATYWNYM WYTWARZANYM NA BAZIE ODPADÓW INNYCH NIŻ NIEBEZPIECZNE W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH WYPOSAŻONYCH W PALNIK RETORTOWY

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań cieplnych i pomiarów emisji substancji pyłowych i gazowych z kotła wodnego typu MKR 470N, wyposażonego w palnik retortowy, opalanego mieszanką węgla kamiennego typu ekogroszek z odpadem – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne) wytworzone na bazie odpadów innych niż niebezpieczne na liniach do segregacji odpadów komunalnych. Celem prowadzonych badań było wdrożenie paliwa alternatywnego w procesach odzysku energii przy współspalaniu z węglem kamiennym.

Co-combustion of hard coal in power boilers equipped with retort burner with alternative fuel produced on a basis of wastes other than dangerous

Abstract

Water boilers in low and semi temperature water heating installations are heating devices used to heat the cubature objects both as for technological steam with automatic work system making and control depending on the heat load. Some species of coal (ekogroszek assortment) used in boilers have very good energy properties and in addition they affect the sintering, the early tank and giving coal to the burner mechanism phenomenon.

WPROWADZENIE

Do badań zastosowano kocioł wodny typu KMR 470N (Dokumentacja...), który był wyposażony w palnik retortowy. W czasie badań kocioł był opalany mieszanką węgla kamiennego typu ekogroszek z odpadem – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne) (Rozporządzenie... 2001). Celem badań było ustalenie optymalnego składu paliwa, stanowiącego mieszankę węgla kamiennego z odpadami palnymi (paliwem alternatywnym), do spalania w kotłach wyposażonych w palnik retortowy. Określono właściwości fizyczne, chemiczne i ekologiczne paliwa z uwagi na rygorystyczne warunki techniczne, jakie muszą spełnić paliwa do kotłów z palnikami retortowymi. W czasie procesu spalania wykonano badania:

- wydajności cieplnej i efektywności energetycznej kotła,
- emisji substancji pyłowych i gazowych do powietrza atmosferycznego,
- emisji substancji do powierzchni ziemi (odpad stały) z produktów otrzymanych w wyniku spalania węgla kamiennego i paliwa alternatywnego – kod 19 12 10 odpady palne.

* Główny Instytut Górnictwa.

1. OPIS BADAŃ

Do badań cieplnych i środowiskowych zastosowano kocioł wodny (fot. 1) wyposażony w palnik retortowy typu KMR 470N o mocy cieplnej znamionowej 470 kW produkcji FAKO Rumia. Kotły wodne tego typu są urządzeniami grzewczymi, stosowanymi do ogrzewania obiektów kubaturowych w instalacjach grzewczych wodnych nisko- i średniotemperaturowych. Charakteryzują się automatycznym systemem pracy i sterowania w zależności od obciążenia cieplnego. Dane techniczne kotła zastosowanego w badaniach zamieszczono w tablicy 1, a na rysunku 1 przedstawiono jego schemat.



Fot. 1. Kocioł wodny retortowy typu KMR 470N

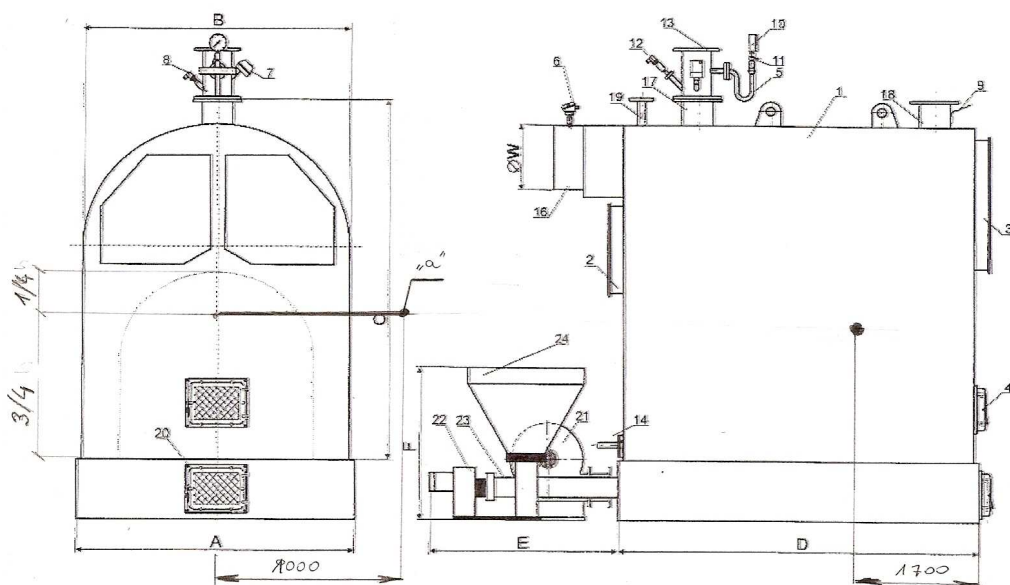
Photo. 1. Water retort boiler type KMR 470N

Tablica 1. Parametry kotła wodnego typu KMR 470N z palnikiem retortowym

Specyfikacja	Wartość
Wydajność cieplna	470 kW
Powierzchnia grzewcza	210 m ²
Ciśnienie robocze	0,25 MPa
Temperatura pracy	100°C
Temperatura spalin	200°C
Sprawność energetyczna	84%

Zakres badań kotłów obejmował:

- analizę składu chemicznego gazów,
- oznaczanie stężeń pyłów i gazów w gazach odlotowych,
- obliczanie wielkości emisji zanieczyszczeń,
- analizę stosowanego paliwa,
- obliczanie obciążenia cieplnego,
- wyznaczanie sprawności energetycznej kotła.



Rys. 1. Schemat kotła wodnego retortowego typu KMR 470N: 1 – korpus kotła, 2 – kłapa wyczystki, 3 – drzwi rewizyjne przednie, 4 – drzwi zasypowe przednie, 5 – miernik temperatury spalin, 6 – poziomowskaz, 7 – miernik temperatury wody zasilającej, 8 – zawór bezpieczeństwa, 9 – króciec termometru, 10 – odpowietrznik, 11 – zaworek, 12 – miernik temperatury wody powrotnej, 13 – króciec powrotu wody do instalacji, 14 – drzwi wyczystkowe tylne, 15 – manometr, 16 – dymnica, 17 – przedłużka, 18 – króciec do poboru wody z instalacji, 19 – króciec zaworu bezpieczeństwa, 20 – drzwi popielnika, 21 – wentylator podmuchowy, 22 – silnik napędu podajnika ślimakowego, 23 – korpus podajnika węgla, 24 – zasobnik węgla

Fig. 1. Layout of water retort boiler type KMR 470N: 1 – boiler vessel, 2 – cleanout flap, 3 – review front door, 4 – charging front door, 5 – measuring gauge of exhaust gas temperature, 6 – level gauge, 7 – measuring gauge of feeding water temperature, 8 – safety-valve, 9 – thermometer connector, 10 – breather, 11 – valvelet, 12 – measuring gauge of return water temperature, 13 – connector of water feedback to installation, 14 – cleanout tailgate, 15 – manometer, 16 – smoke-box, 17 – lengthening pipe, 18 – connector for feeding water from installation, 19 – safety-valve connection, 20 – door of ash-pan, 21 – pressure fan, 22 – engine of feeding screw, 23 – coal feeder frame, 24 – coal container

Stanowisko badawcze było wyposażone w aparaturę kontrolno-pomiarową do ciągłego i okresowego pomiaru:

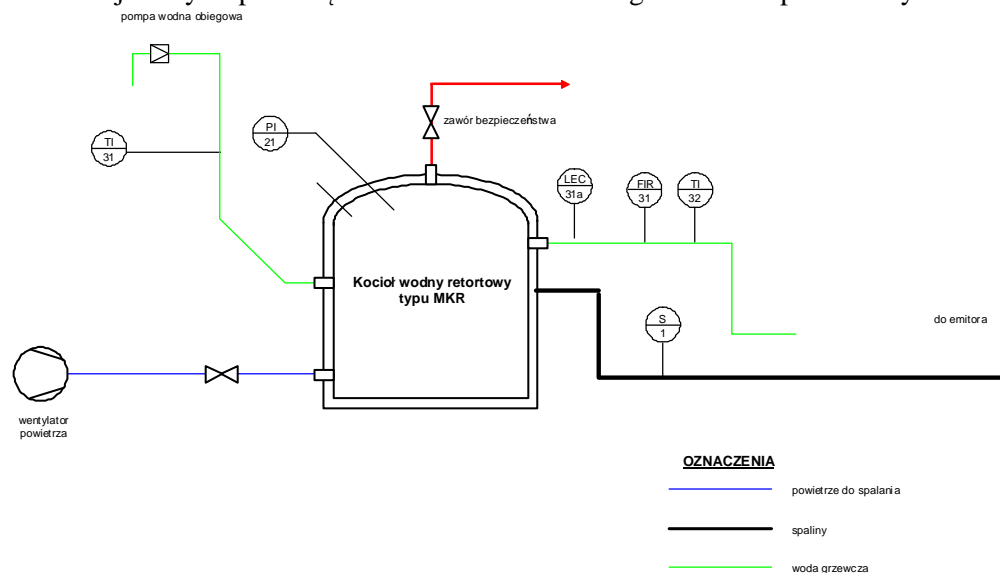
- temperatury wody zasilającej kocioł,
- temperatury wody powrotnej z kotła,
- ciśnienia wody w kotle,
- natężenia przepływu wody przez kocioł,
- składu spalin, tj.: O_2 , CO_2 , CO , NO_2 , SO_2 , HCl , HF , substancji organicznej w postaci gazów i par wyrażonej jako całkowity węgiel organiczny, metali ciężkich i ich związków,
- stężenia pyłu w spalinach.

Układ kontrolno-pomiarowy był wyposażony w urządzenia do wykonywania badań cieplnych kotła, a mianowicie do kontroli parametrów i ich rejestracji w czasie procesu spalania paliwa: węgla kamiennego z dodatkiem odpadu – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne). Schemat układu kontrolno-pomiarowego przedstawiono na rysunku 2. Kontrola przebiegu procesu spalania paliw i wytwarzania energii

cieplnej polegała przede wszystkim na utrzymywaniu stałych parametrów termodynamicznych (składu gazów spalinowych CO_2 , O_2 i CO , temperatury i ciśnienia, współczynnika nadmiaru powietrza), przez doprowadzanie odpowiedniej ilości powietrza do spalania oraz analizę składu spalin opuszczających komorę spalania kotła.

Pomiary ciśnienia

Ciśnienie wody mierzono w komorze grzewczej kotła PI 21 (rys. 2). Był to pomiar miejscowy za pomocą manometru zabudowanego w króćcu pomiarowym kotła.



Rys. 2. Schemat układu kontrolno-pomiarowego do badań kotła wodnego retortowego typu MKR 470N; przyjęte oznaczenia na schemacie według PN-89/M-42007/01: PI – manometr, TI – czujnik temperatury, LEC – licznik energii cieplnej, S – przekrój pomiarowy do analizy składu gazów spalinowych i określania stężenia pyłu w spalinach, FIR – strumień przepływu wody grzewczej

Fig. 2. Layout of control-measuring system for tests of water retort boiler type MKR 470N; denotation assumed in the layout, according to PN-89/M-42007/01: PI – pressure gauge, TI – temperature gauge, LEC – thermal energy meter, S – gauging section for analysis of combustion gases composition and for defining of dust concentration in exhaust gas, FIR – heating water flow stream

Pomiar temperatury

Mierzono temperaturę:

- wody zasilającej kocioł – na rurociągu,
- wody powracającej z kotła – na rurociągu,
- spalin – w komorze spalania kotła.

Pomiar strumienia objętości przepływu wody obiegowej c.o.

Natężenie przepływu wody obiegowej, zasilającej kocioł, mierzono za pomocą licznika wody gorącej.

Pomiar stężeń składników spalin

W celu wykonania analiz składu chemicznego produktów spalania instalację badawczą wyposażono w króćce pomiarowe. Przekrój pomiarowy oznaczony jako S1

(rys. 2) służy do określania wielkości emisji substancji pyłowo-gazowych ze spalania węgla kamiennego z domieszką 30 i 50% wag. odpadu – paliwa alternatywnego. Lokalizacja króćców pomiarowych w obrębie instalacji spełniała wymagania norm i rozporządzeń Ministerstwa Środowiska w zakresie pomiarów wielkości emisji (PN-Z-04030-7:1994; Rozporządzenie... 2004; PN-ISO 10396:2001; Rozporządzenie... 2008).

Pomiar ilości energii cieplnej

Ilość energii cieplnej wytworzonej w badanym kotle wodnym retortowym była rejestrowana przez mikroprocesorowy licznik energii cieplnej, współpracujący z czujnikami temperatury wody i przetwornikiem przepływu. Badania i pomiary wykonywano na stanowisku badawczym (rys. 2) zlokalizowanym na terenie kotłowni grzewczej Nieruchomości Sp. z o.o. w Krośnie przy ul. Popiełuszki 109.

Zastosowane paliwa do badań

W czasie badań kocioł był opalany węglem kamiennym typu ekogroszek z dodatkiem odpadu – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne) w stosunku wagowym:

- 70% wag. węgla kamiennego – 30% wag. paliwa alternatywnego,
- 50% wag. węgla kamiennego – 50% wag. paliwa alternatywnego.

Właściwości paliw użytych do badań cieplnych i środowiskowych zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2. Właściwości paliw użytych w badaniach cieplnych i środowiskowych

Specyfikacja	Jednostka miary	Paliwo	
		węgiel kamienny	kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne)
Wartość opałowa	kJ/kg	29072	21937
Zawartość siarki	%	0,50	0,31
Zawartość popiołu	%	5,26	12,77
Zawartość wilgoci	%	5,47	6,13
Spiekalność	RI	15	–
Zawartość węgla	%	76,90	67,11
Zawartość wodoru	%	4,25	5,20
Temperatura topliwości popiołu:			
- temperatura spiekania	°C	1100	
- temperatura mięknięcia	°C	1250	
- temperatura topnienia	°C	1270	
- temperatura płynięcia	°C	1300	
Zawartość chloru	%	–	0,67

Proporcje węgiel kamienny/odpad – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne) były ustalane w celu:

- optymalizacji procesu spalania z uwagi na dopuszczalne stężenie emitowanych pyłów i gazów oraz możliwości spalania paliwa alternatywnego w palniku retortowym kotła,
- sprawdzenia możliwości spalania mieszanki węgiel kamienny/paliwo alternatywne w palniku retortowym bez możliwości jego przeróbki.

Mieszankę przygotowano na placu składowym węgla kamiennego na terenie kotłowni. Do odważonej porcji węgla dodawano 30 lub 50% wag. odpadu, a następnie całość dokładnie mieszano. Tak przygotowane mieszanki (fot. 2) ładowano do zasobnika kotła.



Fot. 2. Mieszanka węgla kamiennego z odpadem kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne) użytym do badań w czasie spalania w kotle wodnym retortowym typu KMR 470N

Photo. 2. Mixture of hard coal with the waste material code 19 12 10 flammable wastes (alternative fuel) used to tests during burning in water retort boiler type KMR 470N

Z zasobnika mieszanka węgla i odpadu opadała grawitacyjnie na podajnik ślimakowy palnika retortowego kotła.

Montaż instalacji do współspalania węgla kamiennego z odpadem w kotle z palnikiem retortowym typu KMR 470N nie wymagał żadnego przystosowania istniejących urządzeń i obiektów kotłowni.

2. WYNIKI BADAŃ CIEPLNYCH I POMIARÓW EMISJI SUBSTANCJI DO POWIETRZA

Podczas spalania w kotle temperatura gazów spalinowych (spalin) wynosiła powyżej 850°C i utrzymywała się przez co najmniej 2 s (Dokumentacja...; Rozporządzenie... 2001). W czasie współspalania węgla z paliwem alternatywnym były spełnione warunki do termicznego przekształcania odpadów (Dokumentacja...; Rozporządzenie... 2001). Uzyskane wyniki badań cieplnych i emisyjnych kotła typu MKR 470N w czasie spalania węgla kamiennego, węgla kamiennego z domieszką 30 i 50% wag. odpadu – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne) zamieszczono w tablicach, a mianowicie:

- wyniki pomiarów emisji substancji do powietrza – w tablicy 3,
- uzyskane parametry pracy kotła – w tablicy 4,
- wyniki badań cieplnych kotła uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego – w tablicy 5,

- wyniki badań cieplnych kotła uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego i 30% wag. paliwa alternatywnego – w tablicy 5a,
- wyniki badań cieplnych kotła uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego i 50% wag. paliwa alternatywnego – w tablicy 5b.

Tablica 3. Ilość substancji emitowanych do powietrza z emitora E 1 kotła typu KMR 470N (w przeliczeniu na warunki normalne, przy zawartości tlenu w spalinach 11%)

Zanieczyszczenia	Stężenia zanieczyszczeń w czasie spalania, mg/m ³			Wartość dopuszczalna (Rozporządzenie... 2005), mg/m ³
	węgla kamiennego	mieszanki 70% wag. węgla kamiennego + 30% wag. odpadu	mieszanki 50% wag. węgla kamiennego + 50% wag. odpadu	
Pył	388	390	395	400
SO ₂	229	100	91	300
NO ₂	373	323	435	540
CO	211	320	1450	2500
Związki organiczne jako węgiel ogółem	3,59	1,55	1,52	20
HCl	0,001	0,03	0,02	100
HF	0,57	0,16	0,18	4
Metale ciężkie i ich związki jako pierwiastek:				
- Pb + Cr + Cu + Mn	4,84	1,53	1,26	5
- Ni + Ar	0,20	0,05	0,05	1
- Cd + Hg	0,002	0,001	0,001	0,2

Tablica 4. Parametry pracy kotła

Parametry	Jednostka miary	Wartości parametrów pracy kotła podczas spalania		
		węgla kamiennego	mieszanki 70% wag. węgla kamiennego + 30% wag. odpadu	mieszanki 50% wag. węgla kamiennego + 50% wag. odpadu
Wydajność cieplna nominalna	kW	193	176	177
Sprawność energetyczna	%	80	77	74
Parametry wody kotłowej:				
- ciśnienie	MPa	0,16	0,19	0,21
- temperatura wody powrotnej	°C	64	66	65,5
Strumień węgla kamiennego	kg/h	29,76	24,02	18,18
Strumień paliwa alternatywnego	kg/h	–	10,29	18,18
Temperatura spalin wewnątrz komory spalania	°C	980	999	812
Strumień spalin w komorze	m ³ /h	706	812	945

Tablica 5. Wyniki badań cieplnych kotła uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego

Czas min	Temperatura wody, °C		Strumień wody Mg/h	Ilość wytworzonej energii, kW	Ilość zużytego paliwa kg/h	Współczynnik nadmiaru powietrza γ	Obciążenie kotła %
	zasilającej	powrotnej					
5	67,8	40,1	8,96	288,38	43,21	1,85	61,5
30	68,4	40,2	8,11	265,74	43,17	1,80	61,4
75	60,2	44,5	7,40	134,96	20,19	1,59	29,1
90	61,0	44,0	6,90	136,26	20,86	1,60	29,0
120	62,0	44,8	6,96	139,47	21,35	1,71	29,7
	średnio:			192,96	29,76		42,1

Tablica 5a. Wyniki badań cieplnych kotła uzyskane w czasie spalania mieszanki 70% wag. węgla kamiennego + 30% wag. odpadu

Czas min	Temperatura wody, °C		Strumień wody Mg/h	Ilość wytworzonej energii, kW	Ilość zużytego paliwa kg/h	Współczynnik nadmiaru powietrza γ	Obciążenie kotła %
	zasilającej	powrotnej					
5	68,8	42,1	6,15	190,81	37,17	1,85	40,60
30	68,4	40,8	6,84	219,36	42,73	1,80	46,67
75	67,2	44,6	5,98	157,04	30,59	1,80	33,41
90	65,0	41,0	5,99	167,02	32,54	1,60	35,54
120	65,4	44,8	6,12	146,49	28,54	1,71	31,17
średnio:				176,14	34,31		37,48

Tablica 5b. Wyniki badań cieplnych kotła uzyskane w czasie spalania mieszanki 50% wag. węgla kamiennego + 50% wag. odpadu

Czas min	Temperatura wody, °C		Strumień wody Mg/h	Ilość wytworzonej energii, kW	Ilość zużytego paliwa kg/h	Współczynnik nadmiaru powietrza γ	Obciążenie kotła %
	zasilającej	powrotnej					
5	69,8	42,1	5,96	191,85	39,24	1,75	40,82
30	65,4	40,8	6,02	172,05	35,19	1,80	36,61
75	65,2	40,6	6,18	176,62	36,13	1,80	37,58
90	65,0	41,0	6,21	173,15	35,42	1,82	36,84
120	65,4	40,8	6,12	174,91	35,78	1,81	37,21
średnio:				177,72	36,35		37,81

WNIOSKI

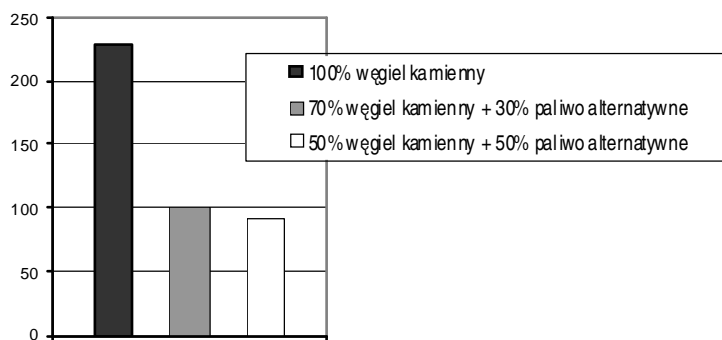
Współspalanie węgla kamiennego z odpadem – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne):

- nie wymaga specjalnych zmian technicznych w istniejącej instalacji kotłowej wyposażonej w kocioł z palnikiem retortowym,
- nie spowodowało przekroczenia standardów emisyjnych powyżej dopuszczalnych wartości (Rozporządzenie... 2005),
- przebiega z dużą sprawnością energetyczną przy emisji substancji pyłowo-gazowych nieprzekraczającej dopuszczalnych standardów emisyjnych.

Kocioł wodny z palnikiem retortowym, na którym przeprowadzono badania, nie był poddany żadnym modyfikacjom. Po przeprowadzonych eksperymentach nadal był używany do spalania węgla kamiennego typu ekogroszek.

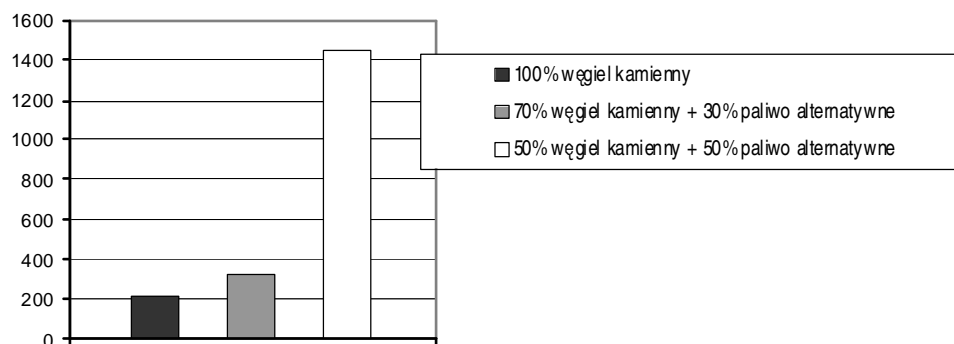
Zastosowanie współspalania węgla kamiennego z dodatkiem odpadu – kod 19 12 10 odpady palne (paliwo alternatywne) w kotłach z palnikiem retortowym spowodowało:

- zmniejszenie emisji dwutlenku siarki (rys. 3)



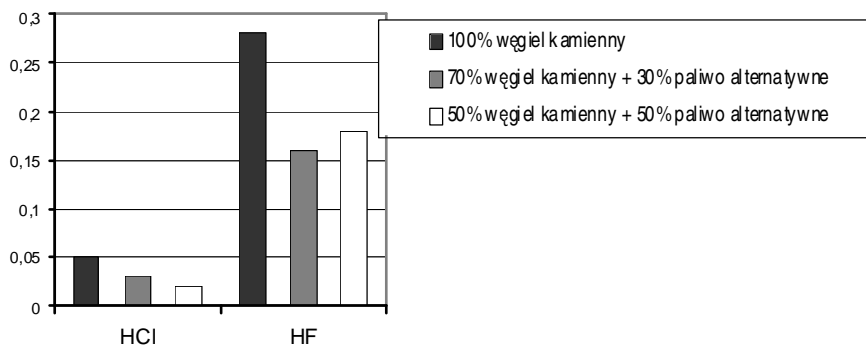
Rys. 3. Emisja SO₂ w przeliczeniu na 11% tlenu w spalinach suchych w funkcji udziału paliwa alternatywnego
Fig. 3. SO₂ emission count on 11% oxygen in dry exhaust gas in function of alternative fuel part

- wzrost emisji tlenku węgla (rys. 4)



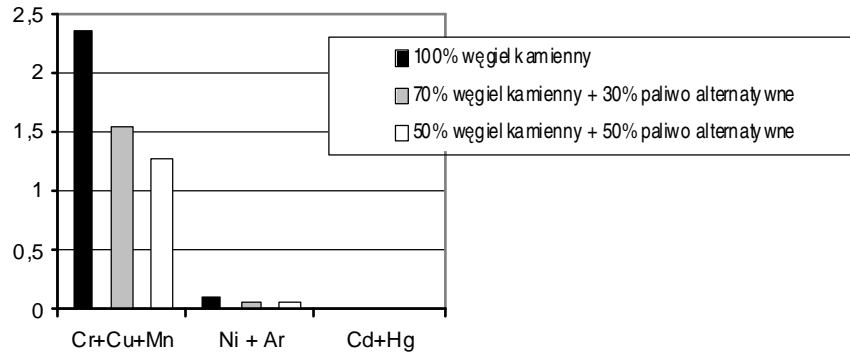
Rys. 4. Emisja CO w przeliczeniu na 11% tlenu w spalinach suchych w funkcji udziału paliwa alternatywnego
Fig. 4. CO emission, count on 11% oxygen in dry exhaust gas in function of alternative fuel part

- zmniejszenie emisji HCl i HF (rys. 5)



Rys. 5. Emisja HCl i HF w przeliczeniu na 11% tlenu w spalinach suchych w funkcji udziału paliwa alternatywnego
Fig. 5. HCl and HF emission count on 11% oxygen in dry exhaust gas in function of alternative fuel part

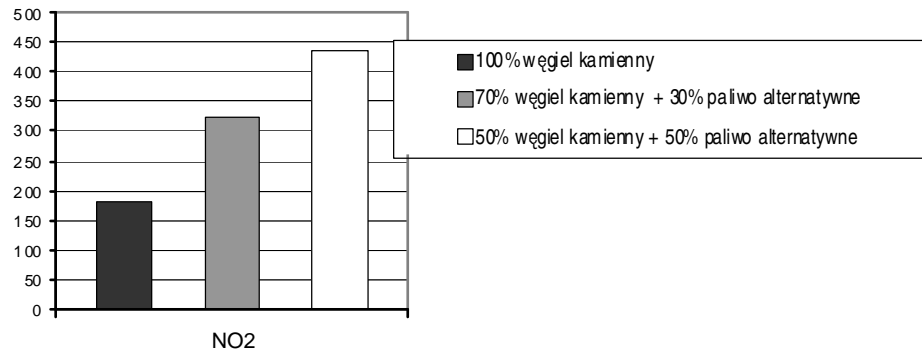
- zmniejszenie emisji metali ciężkich i ich związków (rys. 6)



Rys. 6. Emisja metali ciężkich i ich związków (jako pierwiastki) w przeliczeniu na 11% tlenu w spalinach suchych w funkcji udziału paliwa alternatywnego

Fig. 6. Heavy metals and their compounds (as elements) emission count on 11% oxygen in dry exhaust gas in function of alternative fuel part

- wzrost emisji dwutlenku azotu (rys. 7)



Rys. 7. Emisja NO₂ w przeliczeniu na 11% tlenu w spalinach suchych w funkcji udziału paliwa alternatywnego

Fig.7. NO₂ emission count on 11% oxygen in dry exhaust gas in function of alternative fuel part

Przedstawione wyniki uzyskano w badaniach wykonanych w ramach programu „Bon na innowacje” finansowanej przez Polską Agencję Restrukturyzacji Przemysłu.

Założony cel badań został osiągnięty. Zastosowanie odpadu może przynieść wymierne efekty ekonomiczne i społeczne w procesach odzysku energii przy współspalaniu węgla kamiennego z odpadem elektrycznym w kotłach z palnikiem retortowym.



Fot. 3. Emitor kotła typu MKR 470

Photo. 3. Emitter of boiler type MKR 470

Literatura

1. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa. Kotły wodne MKR 4DTR Kotły wodne MKR 470, Fabryka Kotłów FAKO S.A., Rumia – Janowo.
2. PN-EN 12952-15:2006 Kotły wodnoruruowe i urządzenia pomocnicze – Część 15: Badania odbiorcze.
3. PN-ISO 10396:2001 Emisja ze źródeł stacjonarnych. Pobieranie próbek do automatycznego pomiaru stężenia składników gazowych.
4. PN-Z-04030-7:1994 Pomiar stężenia i strumienia masy pyłów w gazach odlotowych metodą grawimetryczną.
5. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz. U. 01.112.1206.
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21.03.2002 r. w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów. Dz. U. 02. 37. 339.
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 22.12.2003 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów. Dz. U. 03.1.2.
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23.12.2004 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji. Dz. U. 04.283.2842.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20.12.2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz. U. 05.260.2181 Dz. U. 03.1.2.
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4.11.2008 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobranej wody. Dz. U. 08.206.1291.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Barbara Białecka