

Carbonaceous smokeless fuel and modern small-scale boilers limiting the residential emission.

Part 2. Experimental tests of a new carbonaceous smokeless fuel

Węglowe paliwo niskoemisyjne i nowoczesne konstrukcje kotłów małej mocy ograniczające „niską emisję”.

Cz. II. Doświadczalna ocena nowego paliwa o obniżonej emisyjności**

DOI: 10.15199/62.2016.2.9

New solid carbonaceous smokeless fuel was tested in a std. chamber boiler with power output 20 kW. Combustion of the new fuel was conducted with the same boiler power (21,3 kW) as in the case of bituminous coal and much higher than in the case of biomass combustion. Emissions of CO, dust, org. pollutants, benzo(a)pyrene and polycyclic arom. hydrocarbons in the flue gas from the combustion of the smokeless fuel were much lower than those detd. during the combustion of coal (nut assortment), furniture boards, wood lump, and lump wood coated with acrylic paint. Only the content of NO_x in the flue gas was lower during the biomass combustion than during the smokeless fuel combustion.

Przeprowadzono testy spalania nowego węglowego paliwa niskoemisyjnego w kotle komorowym o mocy 20 kW. Testy spalania nowego paliwa prowadzono przy podobnej mocy kotła, jak przy spalaniu węgla (ok. 21,3 kW), ale przy spalaniu biomasy moc kotła była niższa. Porównano emisję związków (CO, NO_x, zanieczyszczenia organiczne, benzo(a)piren, wielopierścienio-

we węglowodory aromatyczne) i pyłu w spalinach ze spalania węgla kamiennego sortyment orzech, węgla kamiennego sortyment orzech z płytami meblowymi, drewna kawałkowego, drewna kawałkowego pokrytego farbą akrylową oraz węglowego paliwa niskoemisyjnego.

W trakcie realizowanego projektu pt. „Badania nad innowacyjnym, niskoemisyjnym paliwem bezdymnym” opracowano niskoemisyjne paliwo węglowe, zoptymalizowane pod kątem zmniejszenia emisji zanieczyszczeń i kosztów wytwarzania oraz poprawy komfortu użytkowania. Nowe paliwo określone jest roboczo jako „błękitny węgiel”. Powstało ono w IChPW na bazie wieloletnich badań paliw stałych, a do jego wytwarzania można będzie wykorzystać istniejące, przystosowane do celu instalacje. Na bazie wcześniej przeprowadzonych testów energetyczno-emisyjnych kilku różnych prekursorów „błękitnego węgla” ustalono, że w porównaniu ze spalaniem węgla będą zredukowane o ok. 30% straty niezupełnego spalania (ograniczona niekontrolowana emisja gazów palnych) oraz o ok. 50% straty niecałkowitego spalania (zmniejszona ilość niedopału w żużlu i w popiele). Takie ograniczenie strat spowoduje wzrost sprawności urządzeń grzewczych małej mocy. Wielką zaletą jest również znaczne (25–90%) zmniejszenie ilości poszczególnych zanieczyszczeń emitowanych z procesu spalania.

** Cz. I¹⁾

Dr inż. Katarzyna MATUSZEK – notkę biograficzną i fotografię Autorki drukujemy w bieżącym numerze str. 223.

* Autor do korespondencji:

Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, tel.: (32) 271-00-41 fax: (32) 271-08-09, e-mail: kmatuszek@ichpw.zabrze.pl

Mgr inż. Piotr HRYCKO – notkę biograficzną i fotografię Autora drukujemy w bieżącym numerze str. 223.

Dr inż. Sławomir STELMACH – notkę biograficzną i fotografię Autora drukujemy w bieżącym numerze str. 224.

Dr inż. Aleksander SOBOLEWSKI – notkę biograficzną i fotografię Autora drukujemy w bieżącym numerze str. 224.

Celem pracy było określenie wielkości emisji CO, NO_x, pyłów, lotnych substancji organicznych, benzo(a)pirenu (B(a)P) oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) ze spalania nowego węglowego paliwa niskoemisyjnego.

Część doświadczalna

Paliwa

Węglowe paliwo niskoemisyjne zostało przygotowane w ramach projektu realizowanego w programie Gekon. Jako paliwa porównawcze zastosowano węgiel kamienny (sortyment orzech) oraz drewno kawałkowe (płyty meblowe) ewentualnie zanieczyszczone farbą akrylową. Płyty meblowe były rozdrobnione do wielkości ok. 15 × 15 cm. Do testu współspalania zanieczyszczonego farbą drewna, wsad przygotowano w taki sposób, że odważono 15 kg czystego drewna, na jego powierzchni rozprowadzono równomiernie pędzlem 300 g farby akrylowej i składowano w hali technologicznej przez 20 h.

Parametry fizykochemiczne paliw bazowych użytych w testach spalania przedstawiono w tabeli 1.

Aparatura

Na stanowisku w Laboratorium Technologii Spalania i Energetyki Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla zamontowano typowy kocioł komorowy o mocy nominalnej 20 kW i przeprowadzono w nim energetyczno-emisyjne testy spalania wybranych do badań paliw i odpadów. Kocioł ten jest przedstawicielem niskotemperaturowych stalowych kotłów wodnych przeznaczonych do układów otwartych, przystosowanych do spalania paliw węglowych (węgla kamiennego sortyment orzech lub groszek), drewna kawałkowego oraz brykietów z węgla i biomasy. Jest to typowa konstrukcja, oferowana w sprzedaży przez wielu polskich producentów kotłów na paliwa stałe. W jednostkach tych paliwo zasypywane jest do komory załadowniczej zakończonej rusztem wodnym. Komora załadownicza jest szczelnie zamknięta drzwiczkami zasypowymi. Pojemność komory załadowniczej dla urządzeń tej mocy wynosi ok. 40 L. Do komory spalania podawany jest pod ruszt strumień powietrza pierwotnego za pomocą wentylatora nadmuchowego. Kocioł ten został podłączony na stanowisku pomiarowym wykonanym i opomiarowanym zgodnie z wytycznymi normy²⁾.

Metodyka badań

Przed testem każdego z surowców kocioł był wygrzany poprzez wstępne spalanie 10 kg węgla kamiennego sortyment orzech. Zасып właściwy odbywał się na warstwę żaru powstałą z zasypu, który służył

do wygrzania kotła c.o. Współspalanie węgla kamiennego sortyment orzech z płytami meblowymi wykonano w ten sposób, że do komory spalania kotła załadowano przygotowaną wcześniej mieszankę składającą się z 14,5 kg węgla kamiennego sortyment orzech i 5,5 kg odpadu.

Testy energetyczno-emisyjne prowadzono tak, aby zasypane paliwo wystarczyło na 4 h tzw. stałopalności kotła (w przypadku paliw węglowych) oraz 2 h dla czystej i zanieczyszczonej biomasy. Czasy te wynikały z zaleceń przedmiotowych norm branżowych.

W trakcie testów pomiary podstawowego składu spalin *on-line* wykonywano za pomocą mobilnego układu analizatorów, obejmującego analizator typu Ultramat 23, umożliwiający pomiar CO w zakresach do 5% i do 50%, CO₂ w zakresie do 20%, SO₂ w zakresie do 2000 ppm i dwa analizatory NO o zakresach do 1000 ppm, w tym jeden współpracujący z konwerterem NO₂ do NO. Pomiary te prowadzono z wykorzystaniem referencyjnej metody IR. Pomiar stężenia O₂ w gazie odbywał się za pomocą analizatora typu Oxymat, działającego wg referencyjnej metody wykorzystującej zjawisko paramagnetyzmu. Analizator ten miał zakres do 21% O₂.

Spaliny z przewodu dymowego był próbkowane w sposób ciągły za pomocą układu sondy grzanej z filtrem ceramicznym, węży grzanych, aż do stacji przygotowania gazu, w skład której wchodził zestaw filtrów i chłodnica oraz system pomp przesyłających gaz oczyszczony z zanieczyszczeń stałych, substancji organicznych oraz wilgoci, wprost na system analizatorów składu *on-line*. Zarówno pobór prób, jak i ich analiza odbywała się wg procedur technicznych zatwierdzonych przez Polskie Centrum Akredytacji.

Wyniki badań

Uśrednione wyniki testów przedstawiono w tabeli 2, w której podano również średnią moc kotła obliczoną metodą bezpośrednią zgodnie z normą²⁾.

Kocioł osiągał średnią moc w zakresie swojej mocy projektowej, jedynie podczas spalania paliw bazowych (węgla, drewna i węglowego paliwa niskoemisyjnego). Moc kotła obniżyła się znacznie w przypadku współspalania odpadów z płyt meblowych z węglem, co ma swoje wytłumaczenie w niższej wartości opałowej mieszanki w stosunku do paliwa bazowego. Podczas spalania węgla sortymentowego i węglowego paliwa niskoemisyjnego kocioł pracował z mocą tego samego rzędu, na poziomie mocy nominalnej (± 8%).

W przypadku emisji związków mierzonych *on-line* największe różnice wystąpiły w emisji CO. Był to produkt niepełnego spalania paliwa. Powstawał on w tego typu konstrukcjach (kotle komorowe) głównie w pierwszej fazie spalania, kiedy odgazowanie paliwa było najszybsze i ścianki komory kotła wyziewane były świeżo załadowaną porcją paliwa. Występowała więc w palenisku za niska temperatura oraz niedomiar powietrza, aby mogła zajść reakcja dopalenia CO do CO₂. Wyższa zawartość części lotnych, a tym samym większa szybkość spalania drewna w porównaniu z węglem powodowała, że średnia emisja CO ze spalania biomasy była ponad dwukrotnie wyższa niż ze spalania węgla, a najniższe średnie stężenie CO zanotowano dla paliwa nieskoemisyjnego³⁾.

Stężenie NO_x emitowanego ze spalania paliw węglowych było wyższe w porównaniu ze spalaniem biomasy, przy czym współspalanie odpadów w ilościach 5,5 kg płyt meblowych na 14,5 kg węgla i 300 g farby akrylowej na 15 kg drewna nie powodowało znaczących zmian w emisji tego zanieczyszczenia.

Emisja pyłów całkowitych, głównego zanieczyszczenia odpowiedzialnego za efekt „niskiej emisji”, miała tendencję wzrostową w przypadku współspalania odpadów⁴⁾. Niemal 3-krotny wzrost emisji pyłów w porównaniu ze spalaniem węgla odnotowano podczas współspalania węgla z płytami meblowymi. W przypadku spalania zanieczyszczonego drewna następował 50-proc.

Table 1. Proximate and ultimate analysis of tested base fuels

Tabela 1. Analiza techniczna i elementarna badanych paliw bazowych

Parametr	Symbol	Jedn.	Wartość			
			Węgiel kamienny sort. orzech	Drewno kawałkowe	Węglowe paliwo niskoemisyjne	
Zasyp	-	kg	20	15	20	
Analiza techniczna	wilgość całkowita	W^p	%	9,1	16,1	13,6
	wilgość analityczna	W^a	%	6,3	4,4	2,6
	popiół	A^a	%	3,7	0,3	4,4
	części lotne	V^{daf}	%	36,6	85,4	5,0
Analiza elementarna	węgiel	C^a	%	73,3	48,7	88,9
	wodór	H^a	%	4,33	5,46	1,48
	siarka całkowita	S^a	%	0,73	<0,02	0,26
	azot	N^a	%	1,19	0,08	1,43
Ciepło spalania	Q_s^a	kJ/kg	29 258	19 098	31 682	
Wartość opałowa	Q_i^a	kJ/kg	27 244	15 321	27 485	

Table 2. The energy and emission results from combustion tests of fuels

Tabela 2. Wyniki energetyczno-emisyjnych testów spalania paliw

Parametr	Jednostka	Węgiel kamienny sortyment orzech	Węgiel kamienny sortyment orzech z płytami meblowymi	Drewno kawałkowe	Drewno kawałkowe pokryte farbą akrylową	Węglowe paliwo niskoemisyjne
Moc kotła	kW	21,3	15,7	17,4	16,2	21,3
CO	mg/m ³	5 337	7 797	11 741	11 100	4 781
NO _x	mg/m ³	161	157	89	97	129
Pył	mg/m ³	284	829	235	353	62
Zanieczyszczenia organiczne	mg/m ³	317	740	474	511	64
B(a)P	μg/m ³	114	96	10	42	0
WWA	μg/m ³	1 399	3 821	1 593	4 746	585

wzrost emisji pyłów w porównaniu ze spalaniem czystego drewna. Spalanie węglowego paliwa niskoemisyjnego powodowało 4,6 razy mniejszą emisję pyłów w porównaniu ze spalaniem węgla i 3,8 razy mniejszą emisję w porównaniu ze spalaniem drewna.

Średnie stężenie całkowitych zanieczyszczeń organicznych unoszonych w spalinach głównie jako aerozol (podobnie jak w przypadku stężenia pyłów) rosło podczas współspalania odpadów⁵. Szczególnie widoczne było to w przypadku współspalania płyt meblowych z węglem. W trakcie tego procesu odnotowano ponad 2-krotny wzrost stężenia całkowitych zanieczyszczeń organicznych w porównaniu ze spalaniem węgla. Parametr ten obejmował całe spektrum węglowodorów uciążliwych zarówno pod kątem zdrowotnym, jak i eksploatacji urządzeń grzewczych. Węglowodory te (określane często jako zanieczyszczenia smoliste), osiadały m.in. na powierzchniach wymiennika ciepła zmniejszając jego sprawność, a więc zwiększając koszty ogrzewania⁵. Najniższe stężenie całkowitych zanieczyszczeń organicznych (podobnie jak dla pyłu) zanotowano podczas spalania węglowego paliwa niskoemisyjnego. Jego spalanie charakteryzowało się pięć razy mniejszą emisją tego zanieczyszczenia w porównaniu ze spalaniem węgla sortymentowego i ponado 7-krotnie mniejszą emisją w porównaniu ze spalaniem czystej biomasy.

Współspalanie odpadów w ilościach testowanych w trakcie badań, powodowało ok. 3-krotne zwiększenie stężenia 16 WWA (wg EPA) w spalinach w porównaniu ze spalaniem czystych paliw. Spalanie węglowego paliwa niskoemisyjnego pozwalało na 2,5-krotne zmniejszenie ilości tych zanieczyszczeń w porównaniu z emisją ze spalania czystych paliw. Największy (ponad 4-krotny) wzrost stężenia B(a)P w spalinach odnotowano podczas testu spalania zanieczyszczonego drewna w porównaniu ze spalaniem drewna niezanieczyszczonego. Podczas spalania węglowego paliwa niskoemisyjnego emisja B(a)P była na granicy oznaczalności, stąd można uznać, że zastąpienie paliw kwalifikowanych (czy to węgla czy biomasy) przez węglowe paliwo niskoemisyjne, powodowało zmniejszenie emisji tego zanieczyszczenia o ok. 90–100%.

Współspalanie odpadów powodowało wzrost zawartości WWA w emitowanych spalinach, w porównaniu ze spalaniem czystych paliw (rysunek). W przypadku współspalania odpadów z węglem odnotowano zmniejszenie zawartości 7 z 16 związków, a w przypadku spalania zanieczyszczonego drewna zmniejszenie zawartości wystąpiło dla 6 z 16 związków. Zarówno dla współspalania odpadów

z węglem, jak i spalania zanieczyszczonego drewna, zmniejszeniu uległa zawartość fenantrenu, antracenu i pirenu. Spalanie węglowego paliwa niskoemisyjnego generowało najniższe zawartości 9 z 16 WWA.

Podsumowanie

Przeprowadzone testy energetyczno-emisyjne wykazały, że zastępowanie spalania węgla sortymentowego spalaniem dobrej gatunkowo biomasy nie gwarantuje zmniejszenia emisji wszystkich zanieczyszczeń emitowanych w trakcie spalania do atmosfery⁶. Nie ulega wątpliwości, że spalanie

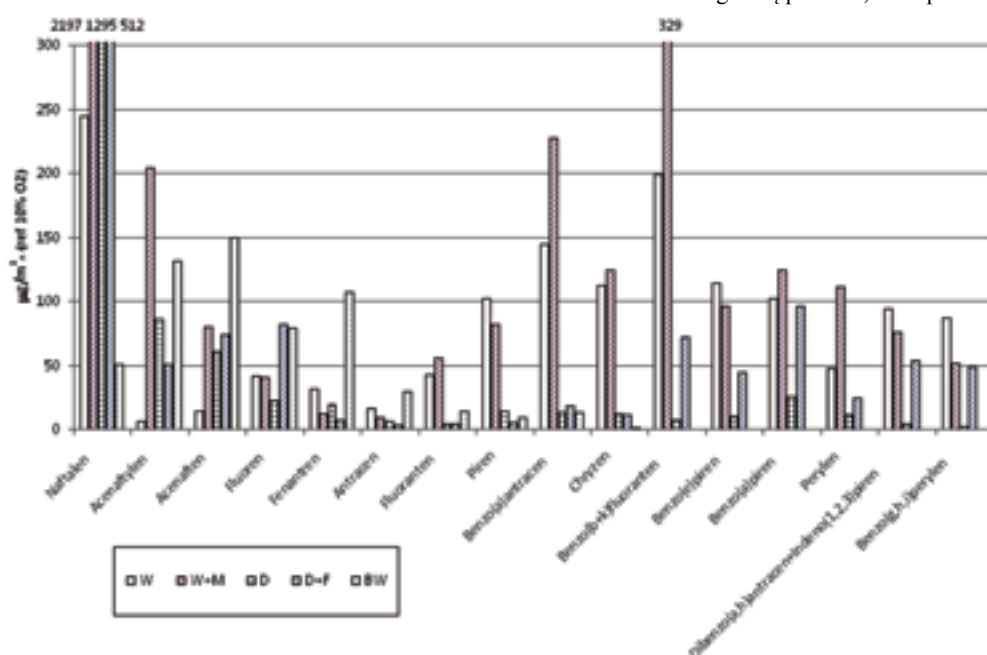


Fig. Emission of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons during combustion of fuels in boiler

Rys. WWA emitowane podczas spalania paliw w kotle c.o.

biomasy (drewna) będzie powodować obniżenie emisji CO₂ i SO₂, ale trzeba mieć świadomość, że spalanie biomasy w porównaniu ze spalaniem węgla może być powodem większej emisji takich zanieczyszczeń, jak CO, całkowity węgiel organiczny lub WWA.

Testowe spalanie odpadów wykazało istotne zwiększenie wielkości wskaźników emisyjnych w porównaniu ze spalaniem paliw bazowych. Fakt ten potwierdza, że proceder spalania jakichkolwiek odpadów w paleniskach domowych musi być skutecznie eliminowany.

Najkorzystniejsze wyniki emisyjne uzyskano podczas spalania węglowego paliwa niskoemisyjnego. Paliwa takie powinny być stosowane przede wszystkim w piecach i kotłach starszego typu, a to powinno pozwolić na szybkie, istotne ograniczenie uciążliwego dla społeczeństwa zjawiska „niskiej emisji”.

Otrzymano: 17-02-2015, ponownie 15-01-2016

LITERATURA

- [1] K. Matuszek, P. Hrycko, S. Stelmach, A. Sobolewski, *Przem. Chem.* 2016, 95, nr 2, 223.
- [2] PN-EN 303-5:2012, *Kotły grzewcze. Cz. 5. Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW. terminologia, wymagania, badania i oznakowanie.*
- [3] L.S. Johansson, Bo Leckner, L. Gustavsson, D. Cooper, C. Tullin, A. Potter, *Atmos. Environ.* 2004, 38, 4183.
- [4] K. Matuszek, *Emisja pyłu z kotłów c.o. małej mocy na paliwa stałe*, Agroenergetyka, Warszawa 2005.
- [5] J. Zawistowski, K. Matuszek, *Spalanie węgla w kotłach małej mocy. Związki organiczne*, Magazyn Instalatora, Gdańsk 2006.
- [6] J. Kotowicz, A. Sobolewski, T. Iluk, K. Matuszek, *Rynek Energii* 2009, nr 3, 53.