



Rok założenia 1955

INSTYTUT CHEMICZNEJ PRZERÓBKI WĘGLA

ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze

tel.: 32-271-00-41 | fax.: 32-271-08-09

e-mail: office@ichpw.pl | internet: www.ichpw.pl

SPRAWOZDANIE

z wykonania pracy pt.:

Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji

.....
podpis i pieczęć dyrektora

Zabrze

72/2016
nr ewidencyjny IChPW

Zleceniodawca: Krakowski Alarm Smogowy, 31-104 Kraków, ul. Felicjanek 10/6

Komórka organizacyjna: Centrum Badań Technologicznych

Kierownik komórki organizacyjnej: dr inż. Sławomir Stelmach

Tytuł pracy: „Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

Termin rozpoczęcia pracy: 31.08.2016

Termin zakończenia pracy: 30.09.2016

Autorzy pracy:

1. dr inż. Katarzyna Matuszek
(imię i nazwisko, podpis)

2. mgr inż. Piotr Hrycko
(imię i nazwisko, podpis)

4. Zygmunt Kaminski
(imię i nazwisko, podpis)

3. Michał Pańczyk
(imię i nazwisko, podpis)

Praca wykonana w ramach projektu nr: 31.16.424

Nr umowy: -

Tytuł projektu: „Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

Termin rozpoczęcia projektu: 31.08.2016

Termin zakończenia projektu: 30.09.2016 (realizacja ze środków IChPW do 15.03.2017r.)

Kierownik projektu: dr inż. Katarzyna Matuszek
(imię i nazwisko, podpis)

Sprawdził:
dr inż. Sławomir Stelmach
(imię i nazwisko, podpis)

Ilość stron: 48
Ilość tablic: 11
Ilość rysunków: 8
Ilość załączników: -

Rozdzielnik:

- Krakowski Alarm Smogowy 1 egz.
- CBT IChPW 1 egz.

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE, CEL I ZAKRES BADAŃ	3
2. OPIS URZĄDZEŃ W KTÓRYM PROWADZONO TESTY SPALANIA.....	6
3. PRZEBIEG TESTÓW ENERGETYCZNO-EMISYJNYCH SPALANIA PALIW	11
4. WYNIKI BADAŃ	12
5. PODSUMOWANIE	29

1. WPROWADZENIE, CEL I ZAKRES BADAŃ

Cel badań

Celem pracy było sprawdzenie tezy stawianej przez część środowisk związanych z działaniami na rzecz poprawy jakości powietrza w Polsce, oraz przewijającej się debacie publicznej na temat zanieczyszczenia powietrza, że bez względu na rodzaj stosowanego urządzenia grzewczego z ręcznym zasypem paliwa stałego, stosowanie techniki rozpalania złoża paliwa od góry, będzie powodowało znacznie niższą emisję zanieczyszczeń do atmosfery, niż w przypadku tradycyjnego prowadzenia procesu, a więc zasypu kolejnych porcji paliwa na żar. Zwolennicy tej tezy prezentują „rozpał od góry” jako panaceum na problem zanieczyszczenia powietrza w naszym kraju. Celem niniejszych badań jest zweryfikowanie tego założenia.

Praca nie koncentruje się jedynie wokół sprawdzenia wartości emisji zanieczyszczeń emitowanych podczas zastosowania obu wspomnianych technik spalania. Poza aspektem środowiskowym, sprawdzeniu podlegały również takie parametry jak: sprawność, moc oraz temperatura i ciśnienie spalin. W sposób pośredni lub bezpośredni decydują one o cenie i stopniu uzyskiwanego komfortu cieplnego oraz o zmianie parametrów eksploatacyjnych urządzeń grzewczych. Te ostatnie mają wpływ nie tylko na stan techniczny urządzenia i jego żywotność, a także na ewentualne zagrożenia dla osób je obsługujących, jakie mogą wystąpić w trakcie eksploatacji nieprzewidzianej w DTR czy instrukcji obsługi, czyli niezalozonych w trakcie procesu konstrukcji czy wykonania kotła c.o. czy pieca.

Podstawą opracowania jest zlecenie z dn. 31.08.2016 r. z Krakowskiego Alarmu Smogowego, 31-104 Kraków, ul. Felicjanek 10/6. Zlecenie dotyczyło wykonania badań energetyczno-emisyjnych podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji.

Rodzaje kotłów c.o.

Kotły c.o. o mocy do 500 kW zasilane paliwami stałymi ze względu na rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne można generalnie podzielić na układy z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa. Patrząc od strony procesowej, kotły dzieli się na

urządzenia, w których proces spalania przebiega współprądowo lub przeciwprądowo. Podział ten wynika z kierunku przepływu paliwa i powietrza do spalania. Jeśli paliwo podawane jest współprądowo z powietrzem, powstałe w strefie odgazowania zanieczyszczenia przechodzą do strefy żaru, gdzie ulegają dopaleniu. Taka organizacja procesu spalania ma miejsce w kotłach retortowych. Przy dostarczaniu paliwa z przeciwnej strony złoża w stosunku do doprowadzanego strumienia powietrza mamy do czynienia ze spalaniem przeciwprądowym. Taki proces jest zazwyczaj realizowany w kotłach z rusztem stałym, z ręcznym zasypem, na paliwa grube (węgiel kamienny sortyment orzech, drewno kawałkowe). W kotłach tych zasyp paliwa następuje na wcześniej wytworzoną warstwę żaru. Nie jest to najwłaściwsze rozwiązanie. Po zasypie porcji paliwa na warstwę żaru następuje jego odgazowanie, a jego produkty (tlenek węgla, węglowodory itd.) przechodzą bezpośrednio do strefy suszenia, gdzie ulegają ochłodzeniu i nie dochodzi do ich spalania.

Istnieje grupa kotłów c.o. komorowych - tzw. szybowych, gdzie na ruszt zasypywane jest złożo paliwa, którego rozpalanie następuje od góry. Kotły te ze względu na swoją specyfikę wymagają cyklicznego rozpału, wyposażone są też w specjalne kanały doprowadzające powietrze do całej wysokości złoża, uniemożliwiające tworzenie się stref przebiegu gwałtownych reakcji (wybuchu, spalania detonacyjnego itp.). Idea pracy takiego kotła wygląda następująco. Rozpala się górną część złoża paliwa, od której nagrzewają się stopniowo niższe warstwy, uzyskując szybko temperaturę początku odgazowania. W miarę spalania się wydzielanych gazów, warstwa żaru przesuwa się w dół, aż do rusztu. W rzeczywistości wypalające się stopniowo paliwo odsłania dysze kanałów powietrza, które wychładza produkty spalania, co negatywnie wpływa na sprawność urządzenia i emisję związków szkodliwych (np. WWA, w tym B(a)P).

W porównaniu do tradycyjnych kotłów komorowych średnia emisja zanieczyszczeń z kotłów szybowych jest jednak niższa. Wadami tych kotłów jest m.in. wysoka emisja zanieczyszczeń podczas rozpalania, wychładzanie spalin powietrzem dostarczanym nad żar (co powoduje spadek sprawności i wzrost emisji zanieczyszczeń), ograniczone możliwości sterowania procesem spalania oraz konieczność stosowania mialu o odpowiedniej wilgotności (suche paliwo może powodować zagrożenie wybuchem pomimo dodatkowych kanałów powietrznych, w jakie wyposażone są kotły szybowe).

Zakres badań

Zakres prac badawczych obejmował:

- wybór urządzeń grzewczych do testów energetyczno-emisyjnych,
- wybór paliw stałych do testów,
- przeprowadzenie analizy fizykochemicznej próbek paliw:
 - oznaczenie zawartości wilgoci W_t^r , W^a , popiołu A^a , części lotnych V^a , V^{daf} ,
 - oznaczenie ciepła spalania Q_s^a , wartości opałowej Q_i^a , Q_i^r ,
 - wykonanie analizy składu elementarnego: C_t^a , H_t^a , N^a , S_t^a , S_A^a , S_c^a , O_d^a ,
- podpięcie i opomiarowanie kotłów c.o. na stanowisku atestacji urządzeń grzewczych i paliw w Laboratorium Technologii Spalania i Energetyki IChPW,
- przeprowadzenie testów energetyczno-emisyjnych przy obciążeniu nominalnym w kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa „na żar” (komorowy, zasypowy, z wentylatorem nadmuchowy, będący na wyposażeniu LTSiE), kotle c.o. „szybowym” z ręcznym zasypem paliwa (będący na wyposażeniu LTSiE), kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa „na żar” (komorowy, zasypowy, z wentylatorem nadmuchowy, dostarczony przez KAS), kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa „na żar” (komorowy, zasypowy, bez wentylatora nadmuchowy, dostarczony przez KAS) oraz piecu typu „KOZA” podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania,
- wyznaczenie podczas jednego zasypu bilansowego stężeń takich zanieczyszczeń jak: CO, CO₂, SO₂, NO_x, pył, TOC (zanieczyszczenia organiczne), suma 16 WWA wg EPA w tym B(a)P oraz O₂,
- analizę wyników badań.

2. OPIS URZĄDZEŃ W KTÓRYCH PROWADZONO TESTY SPALANIA

Testy energetyczno-emisyjne spalania próbek paliw (węgla kamiennego sort orzech, miął i drewna kawałkowego) przeprowadzono w:

- kotle c.o. typu KSW PLUS o mocy nominalnej 20 kW, z ręcznym zasypem paliwa,
- kotle c.o. „szybowym” typu GENERATOR o mocy 35 kW, z ręcznym zasypem paliwa,
- kotle c.o. typu MODERATOR o mocy nominalnej 25 kW, z ręcznym zasypem paliwa,
- kotle c.o. typu SKI o mocy nominalnej 17,5 kW, z ręcznym zasypem paliwa,
- piecu typu „KOZA”, z ręcznym zasypem paliwa.

Kocioł c.o KSW PLUS o mocy 20 kW z ręcznym zasypem paliwa (rys. 1) jest przedstawicielem typoszeregu niskotemperaturowych, stalowych kotłów wodnych, przeznaczonych do układów otwartych, przystosowanych do spalania węgla kamiennego sortyment orzech, sortyment groszek oraz drewna kawałkowego. W jednostkach tych paliwo zasypywane jest do komory załadowniczej na ruszt wodny. Komora załadownicza jest zamknięta drzwiczkami zasypowymi. Na drzwiczkach zasypowych umieszczona jest przepustnica powietrza wtórnego. Nad drzwiczkami zasypowymi znajdują się drzwiczki wyczystne umożliwiające dostęp do wymiennika. Pod ruszt podawany jest strumień powietrza pierwotnego, za pomocą wentylatora nadmuchowego, umieszczonego na górnej części kotła. Spaliny po przejściu przez wymiennik ciepła spaliny-woda, przechodzą przez czopuch kotła do komina. Regulacja wydajności cieplnej kotła realizowana jest przez elektroniczny sterownik. Sterownik ten steruje pracą wentylatora powietrza i pompą obiegową c.o. dążąc do utrzymania zadanej temperatury wody wychodzącej z kotła. Jednostka wyposażona jest również w mechaniczny przegarniacz rusztu. Kocioł izolowany jest wełną mineralną osłoniętą blachą stalową.



Rys. 1. Widok kotła c.o. typu KSW PLUS o mocy 20 kW

Kocioł c.o. typu GENERATOR o mocy 35 kW z ręcznym zasypem paliwa (rys. 2.) jest przedstawicielem typoszeregu niskotemperaturowych, stalowych kotłów wodnych, przeznaczonych do układów otwartych, przystosowanych do spalania węgla kamiennego sortyment miał. W jednostkach tych paliwo zasypywane jest do komory załadowniczej. Rozpał paliwa następuje w górnej warstwie paliwa. Następnie rozpalona warstwa paliwa spala się w dół. Powietrze do spalania dostarczane jest wentylatorem poprzez dysze umieszczone na różnych wysokościach komory spalania. Regulacja wydajności cieplnej kotła realizowana jest przez elektroniczny sterownik temperatury. Sterownik ten steruje pracą wentylatora powietrza i pompą obiegową c.o.



Rys. 2. Widok kotła c.o. typu GENERATOR o mocy 35 kW

Kocioł c.o. MODERATOR o mocy 25 kW z ręcznym zasypem paliwa (rys. 3) jest przedstawicielem typoszeregu niskotemperaturowych, stalowych kotłów wodnych, przeznaczonych do układów otwartych, przystosowanych do spalania drewna kawałkowego oraz węgla kamiennego sortyment orzech i sortyment groszek. W jednostkach tych paliwo zasypywane jest do komory załadowniczej na ruszt wodny. Komora załadownicza jest zamknięta drzwiczkami zasypowymi. Pod ruszt podawany jest strumień powietrza pierwotnego, za pomocą wentylatora nadmuchowego, umieszczonego w dolnej części kotła. Spaliny po przejściu przez wymiennik ciepła spaliny-woda, przechodzą przez czopuch kotła do komina. Regulacja wydajności cieplnej kotła realizowana jest przez elektroniczny sterownik. Sterownik ten steruje pracą wentylatora powietrza i pompą obiegową c.o. dążąc do utrzymania zadanej temperatury wody wychodzącej z kotła. Jednostka wyposażona jest również w mechaniczny przegarniacz rusztu. Kocioł izolowany jest wełną mineralną osłoniętą blachą stalową.



Rys. 3. Widok kotła c.o. typu MODERATOR o mocy 25 kW

Kocioł c.o. SKI o mocy 17,5 kW z ręcznym zasypem paliwa (rys. 4) jest przedstawicielem typoszeregu niskotemperaturowych, stalowych kotłów wodnych, przeznaczonych do układów otwartych, przystosowanych do spalania koksu i węgla kamiennego sortyment orzech. W jednostkach tych paliwo zasypywane jest do komory załadowniczej na ruszt wodny. Komora załadownicza jest zamknięta drzwiczkami zasypowymi. Na drzwiczkach popielnikowych umieszczona jest przepustnica powietrza pierwotnego regulowana za pomocą miarkownika ciągu w zależności od zadanej temperatury wody zasilającej układ c.o. W drzwiczkach zasypowych umieszczona jest przepustnica powietrza wtórnego. Spaliny po przejściu przez wymiennik ciepła spaliny-woda, przechodzą przez czopuch kotła do komina. Regulacja wydajności cieplnej kotła realizowana jest przez miarkownik ciągu. Kocioł izolowany jest wełną mineralną osłoniętą blachą stalową.



Rys. 4. Widok kotła c.o. typu SKI o mocy 17,5 kW

Piec typu „KOZA” z ręcznym zasypem paliwa (rys. 5) jest przystosowany do spalania drewna i węgla kamiennego sortyment orzech. W jednostkach tych paliwo zasypywane jest do komory załadowniczej na ruszt. Komora załadownicza jest zamknięta drzwiczkami zasypowymi. Pod drzwiczkami umieszczona jest przepustnica powietrza pierwotnego.



Rys. 5. Widok pieca typu „KOZA”

3. PRZEBIEG TESTÓW ENERGETYCZNO-EMISYJNYCH SPALANIA PALIW

Testy energetyczno-emisyjne spalania próbek paliwa prowadzono na stanowisku badawczym w Laboratorium Technologii Spalania i Energetyki działającym w strukturze Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Testy spalania każdej z próbek paliw w kotle c.o. obejmowały jeden zasyp paliwa.

Skład spalin

Do pomiaru składu spalin wykorzystano analizator mobilny firmy SIEMENS. W skład analizatora wchodzi analizatory ULTRAMAT 23 umożliwiające pomiar CO w zakresie 0÷5%, CO₂ w zakresie 0÷25%, SO₂ w zakresie 0÷1000 ppm i analizator NO o zakresie 0÷1000 ppm. Analizatory te umożliwiają pomiar z wykorzystaniem referencyjnej metody NDIR. Pomiar stężenia O₂ w gazach spalinowych odbywa się za pomocą analizatora typu OXYMAT 61, działającego w oparciu o referencyjną metodę wykorzystującą zjawisko paramagnetyzmu. Analizator ten posiada zakres 0÷25% O₂.

Poboru próbek spalin do analizy dokonywano w sposób ciągły, w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w kominie. Do tego celu wykorzystano układ składający się z sondy grzanej z filtrem ceramicznym, węża grzanego oraz układ kondycjonowania gazu.

Pobór próbki spalin do oznaczenia stężenia pyłu i zanieczyszczeń organicznych był realizowany za pomocą układu składającego się z sondy połączonej z ogrzewanym separatorem pyłu, chłodnicy, systemu rurek z materiałem sorpcyjnym: żywicą XAD-2 oraz węglem aktywnym oraz aspiratora gazu.

W trakcie testów spalania rejestrowano parametry pracy kotła takie jak: temperaturę spalin w czopuchu kotła, temperatury wody dolotowej i wylotowej z kotła, przepływ wody przez kocioł oraz ciąg kominowy.

Badania energetyczno-emisyjne przeprowadzono w oparciu o wytyczne następujących akredytowanych procedur i norm obowiązujących w Laboratorium Technologii Spalania i Energetyki:

- Q/LS/01/B:2012 „Oznaczanie sprawności energetycznej”,

- Q/LS/02/B:2012 „Oznaczanie stężeń związków emitowanych w gazach odlotowych i technologicznych”,
- PN-EN 303-5:2012 „Kotły grzewcze -- Część 5: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW -- Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie”,
- PN-ISO 10396:2001 „Emisja ze źródeł stacjonarnych. Pobieranie próbek do automatycznego pomiaru stężenia składników gazowych”.

4. WYNIKI BADAŃ

Właściwości fizykochemiczne próbek paliw oznaczono zgodnie z normami oraz procedurami obowiązującymi w akredytowanym Laboratorium Paliw i Węgla Aktywnych IChPW w Zabrze:

Badane obiekty / Grupa obiektów	Badane cechy i metody badawcze/pomiarowe	Normy i/lub udokumentowane procedury badawcze
Biomasa stała	Ciepło spalania Zakres: (5 000 - 40 000) kJ/kg Metoda kalorymetryczna	Procedura Q/LP/12/A:2011 DIN 51900-2:2003 PN-EN 14918:2010
	Wartość opałowa (z obliczeń)	
	Zawartość wilgoci całkowitej Zakres: (0,4 - 80,0)% Metoda wagowa	Procedura Q/LP/05/A:2011 DIN 51718:2002 PN-EN ISO 18134-1:2015-11 PN-EN ISO 18134-2:2015-11
	Zawartość wilgoci w próbce analitycznej Zakres: (0,4 - 15,0)% Metoda wagowa	Procedura Q/LP/05/A:2011 DIN 51718:2002 PN-EN ISO 18134-3:2015-11
	Zawartość popiołu Zakres: (0,1 - 40,0)% Metoda wagowa	Procedura Q/LP/06/A:2011 DIN 51719:1997 PN-EN ISO 18122:2016-01
	Zawartość części lotnych Zakres: (50,00 - 85,00)% Metoda wagowa	Procedura Q/LP/07/A:2011 PN-EN ISO 18123:2016-01
	Zawartość wilgoci w próbce	Procedura Q/LP/27/A:2011

„Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

	analitycznej Zakres: (0,4 - 15,0) % Metoda termogravimetryczna	PN-EN ISO 18134-3:2015-11
	Zawartość popiołu Zakres: (0,1 - 40,0)% Metoda termogravimetryczna	Procedura Q/LP/27/A:2011 PN-EN ISO 18122:2016-01
	Zawartość siarki całkowitej Zakres: (0,02 - 3,00)% Metoda chromatografii jonowej (IC)	PN-EN ISO 16994:2015
	Zawartość węgla i wodoru Zakres: węgiel:(20-60,0)% wodór:(0,01-8,00)% Metoda wysokotemperaturowego spalania z detekcją IR	Procedura Q/LP/09/A:2012 PN-EN ISO 16948:2015
	Zawartość azotu Zakres: (0,05 - 10,00)% Metoda wysokotemperaturowego spalania z detekcją TC	
	Zawartość siarki popiołowej Metoda wysokotemperaturowego spalania z detekcją IR Zakres: (0,02 - 10,00)%	Procedura Q/LP/10/B:2016
	Zawartość siarki palnej (z obliczeń)	
Badane obiekty / Grupa obiektów	Badane cechy i metody badawcze/pomiarowe	Normy i/lub udokumentowane procedury badawcze
Paliwa stałe: - węgiel kamienny - węgiel brunatny - koks z węgla kamiennego Przetworzone paliwa stałe	Zawartość wilgoci przemijającej Zakres: (0,1 - 60,0)% Metoda wagowa	PN-80/G-04511
	Zawartość wilgoci w próbce analitycznej Zakres: (0,1-18,0)% Metoda wagowa	
	Zawartość wilgoci całkowitej Zakres: (0,1 – 60,0)% Metoda wagowa	PN-80/G-04511 p.2.3.2
	Zawartość popiołu Metoda wagowa Zakres: (0,1 - 50,0)%	PN-80/G-04512+Az1:2002 PN-ISO 1171:2002
	Zawartość części lotnych Metoda wagowa	PN-G-04516:1998 ISO 562:2010

	Zakres: (0,10 - 50,00)%	
	Zawartość wilgoci w próbce analitycznej Zakres: (0,1-18,0)% Metoda termogravimetryczna	PN-G-04560:1998
	Zawartość popiołu Zakres:(0,1-50,0)% Metoda termogravimetryczna	
	Ciepło spalania Metoda kalorymetryczna Zakres: (5000 - 40 000) kJ/kg	Procedura Q/LP/03/A:2001 PN-81/G-04513 ISO 1928:2009
	Wartość opałowa (z obliczeń)	
	Zawartość siarki całkowitej i popiołowej Zakres: (0,01 - 8,00)% Metoda wysokotemperaturowego spalania z detekcją IR	PN-G-04584:2001
	Zawartość siarki palnej (z obliczeń)	
	Zawartość siarki całkowitej Zakres: (0,01 - 4,00)% Metoda wysokotemperaturowego spalania z detekcją IR	ISO 19579:2006
	Zawartość węgla i wodoru Zakres: węgiel (20 - 100)% wodór (0,01 - 8,00)% Metoda wysokotemperaturowego spalania z detekcją IR	PN-G-04571:1998 ISO 29541:2010
	Zawartość azotu Zakres:(0,05 - 2,00)% Metoda wysokotemperaturowego spalania z detekcją TC	

Wyniki oznaczeń przedstawiono w Tablicy 1.

Tablica 1. Wyniki analizy fizykochemicznej próbek paliw wykorzystanych do testów spalania

Parametr	Symb.	Jedn.	Węgiel kamienny sort. orzech	Węgiel kamienny sort. miał	Drewno kawałkowe	
Analiza techniczna	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	4,4	20,0	16,1
	Wilgoć analityczna	W^a	%	2,7	2,7	4,4
	Popiół	A^a	%	4,8	4,2	0,3
	Popiół	A^r	%	4,7	3,5	0,3
	Zaw. części lotnych	V^a	%	32,60	31,72	81,42
	Zaw. części lotnych	V^{daf}	%	35,24	34,07	85,44
Analiza elementarna	Węgiel	C_t^a	%	77,8	78,4	48,7
	Wodór	H_t^a	%	4,39	4,42	5,46
	Siarka całkowita	S_t^a	%	0,58	0,52	<0,02
	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,57	0,43	<0,02
	Siarka popiołowa	S_a^a	%	0,31	0,21	<0,02
	Siarka palna	S_c^a	%	4,39	0,30	<0,02
	Azot	N^a	%	1,21	1,26	0,08
	Tlen (obliczony)	O_d^a	%	8,84	8,72	41,04
Ciepło spalania	Q_s^a	kJ/kg	31138	31442	19098	
Wartość opałowa	Q_i^a	kJ/kg	30114	30411	17799	
Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	29545	24570	15321	

W tablicach 2-11 przedstawiono wyniki testów energetyczno-emisyjnych spalania próbek paliw. Tabele podają dane dotyczące stężeń zanieczyszczeń w spalinach w: procentach, miligramach lub mikrogramach na metr sześcienny w warunkach umownych w warunkach pomiaru i w przeliczeniu na 10% O₂ oraz w przeliczeniu na: kilogramy, gramy lub miligramy na kilogram i na gigadzul spalonego paliwa.

Tablica 2. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa „szybowym” typu GENERATOR o mocy 35 kW podczas spalania węgla kamiennego sortyment miał w sposób tradycyjny i „zasyp na żar”

Opis		Symb.	Jedn.	węgiel kamienny sortyment miał rozpał od góry		węgiel kamienny sortyment miał zasyp na żar	
Wielkości cieplne	Moc kotła	Q	kW	34,6		21,5	
	Sprawność kotła	η_k	%	85,5		85,6	
	Temperatura spalin	t_{sp}	°C	160,9		125,6	
Ciąg kominowy		p_k	Pa	-25,1		-25,2	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	Z_{CO_2}	%	14,97	9,03*	9,62	9,03*
	O ₂	Z_{O_2}	%	2,77	10,00	9,28	10,00
	CO	C_{CO}	mg/m ³ _u	21478,7	12960,8	11160,2	10478,1
	SO ₂	C_{SO_2}	mg/m ³ _u	801,2	483,5	659,5	619,2
	NO _x	C_{NO_x}	mg/m ³ _u	245,7	148,2	186,5	175,1
	Pył	$C_{pył}$	mg/m ³ _u	212,0	127,9	3150,0	2957,5
	Zanieczyszcz. organiczne	C_{org}	mg/m ³ _u	155,0	93,5	2760,0	2591,3
	16 WWA	C_{WWA}	μg/m ³ _u	6850,0	4133,5	2600,0	2441,1
B(a)P	$C_{B(a)P}$	μg/m ³ _u	801,0	483,3	205,0	192,5	
Wskaźniki emisji	CO ₂	E_{CO_2}	kg/kg	2,2		2,2	
	CO	E_{CO}	g/kg	155,9		126,0	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/kg	5,8		7,4	
	NO _x	E_{NO_x}	g/kg	1,8		2,1	
	Pył	$E_{pył}$	g/kg	1,5		35,6	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/kg	1,1		31,2	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/kg	49,7		29,4	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/kg	5,8		2,3	
	CO ₂	E_{CO_2}	kg/GJ	87,4		87,4	
	CO	E_{CO}	g/GJ	6346,7		5129,6	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/GJ	236,7		303,1	
	NO _x	E_{NO_x}	g/GJ	72,6		85,7	
	Pył	$E_{pył}$	g/GJ	62,6		1447,8	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/GJ	45,8		1268,6	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/GJ	2024,1		1195,0	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/GJ	236,7		94,2	

*wartość przeliczone na 10 % O₂

W przypadku spalania miału w kotle szybowym przy metodzie palenia "od góry" odnotowano: znaczny spadek stężenia pyłu oraz znaczny wzrost stężenia benzo[a]pirenu. Moc kotła była większa przy technice rozpału od góry. Za szczególnie niekorzystny w warunkach polskich należy uznać wzrost stężenia benzo[a]pirenu. Jest to substancja rakotwórcza i mutagenna. Polskie miejscowości borykają się z bardzo wysokimi stężeniami benzo[a]pirenu. Nawet przy metodzie rozpału "od góry", stężenia pyłu były kilkukrotnie wyższe niż maksymalne stężenia dozwolone dla kotłów z automatycznym podawaniem paliwa klasy 5 czy spełniających wymogi Ekoprojektu – a więc $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tablica 3. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa „szybowym” typu GENERATOR o mocy 35 kW podczas spalania drewna kawałkowego w sposób tradycyjny i „zasyp na żar”

Opis		Symb.	Jedn.	Drewno kawałkowe rozpał od góry		Drewno kawałkowe zasyp na żar	
Wielkości cieplne	Moc kotła	Q	kW	24,4		26,2	
	Sprawność kotła	η_k	%	86,7		87,2	
	Temperatura spalin	t_{sp}	°C	146,7		154,4	
Ciąg kominowy		p_k	Pa	-25,0		-24,9	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	z_{CO_2}	%	9,45	10,10*	12,67	9,79*
	O ₂	z_{O_2}	%	10,70	10,00	6,77	10,00
	CO	C_{CO}	mg/m^3_u	3678,9	3930,4	8386,6	6483,8
	SO ₂	C_{SO_2}	mg/m^3_u	0,0	0,0	0,0	0,0
	NO _x	C_{NO_x}	mg/m^3_u	196,8	210,2	203,4	157,3
	Pył	$C_{pył}$	mg/m^3_u	97,9	104,6	142,0	109,8
	Zanieczyszcz. organiczne	C_{org}	mg/m^3_u	48,9	52,2	235,0	181,7
	16 WWA	C_{WWA}	$\mu\text{g}/\text{m}^3_u$	341,0	364,3	517,0	399,7
	B(a)P	$C_{B(a)P}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3_u$	51,3	54,8	81,6	63,1
Wskaźniki emisji	CO ₂	E_{CO_2}	kg/kg	1,5		1,4	
	CO	E_{CO}	g/kg	28,8		47,6	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/kg	0,0		0,0	
	NO _x	E_{NO_x}	g/kg	1,5		1,2	
	Pył	$E_{pył}$	g/kg	0,8		0,8	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/kg	0,4		1,3	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/kg	2,7		2,9	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/kg	0,4		0,5	

„Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

CO ₂	E _{CO2}	kg/GJ	95,5	92,7
CO	E _{CO}	g/GJ	1881,7	3104,9
SO ₂	E _{SO2}	g/GJ	0,0	0,0
NO _x	E _{NOx}	g/GJ	100,7	75,3
Pył	E _{pył}	g/GJ	50,1	52,6
Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/GJ	25,0	87,0
16 WWA	E _{WWA}	mg/GJ	174,4	191,4
B(a)P	E _{B(a)P}	mg/GJ	26,2	30,2

*wartość przeliczone na 10 % O₂

W przypadku zastosowania drewna kawałkowego nie odnotowano znaczących różnic między rozpałem od góry, a zasypem na żar. Stężenia pyłu oraz benzo[a]pirenu są nieznacznie niższe podczas rozpału od góry niż w przypadku zasypu na żar. W każdym przypadku są wyższe niż dla kotłów na drewno kawałkowe z ręcznym zasypem paliwa spełniających wymogi klasy 5 czy Ekoprojektu, a więc 60 µg/m³.

Tablica 4. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ KSW PLUS o mocy 20 kW podczas spalania węgla kamiennego sortyment orzech w sposób tradycyjny i „od góry”

Opis		Symb.	Jedn.	węgiel kamienny sortyment orzech zasyp na żar		węgiel kamienny sortyment orzech rozpał od góry	
Wielkości cieplne	Moc kotła	Q	kW	20,9		12,4	
	Sprawność kotła	η _k	%	76,9		72,5	
	Temperatura spalin	t _{sp}	°C	249,9		199,0	
Ciąg kominowy		p _k	Pa	-25,0		-22,1	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	Z _{CO2}	%	9,36	8,78*	5,75	9,02*
	O ₂	Z _{O2}	%	9,27	10,00	13,99	10,00
	CO	C _{CO}	mg/m ³ _u	9530,1	8937,0	5207,5	8171,1
	SO ₂	C _{SO2}	mg/m ³ _u	310,6	291,3	293,6	460,6
	NO _x	C _{NOx}	mg/m ³ _u	220,5	206,8	237,3	372,4
	Pył	C _{pył}	mg/m ³ _u	1410,0	1322,3	178,0	279,3
	Zanieczyszcz. organiczne	C _{org}	mg/m ³ _u	1360,0	1275,4	48,2	75,6
	16 WWA	C _{WWA}	µg/m ³ _u	6228,0	5840,4	538,8	845,4
	B(a)P	C _{B(a)p}	µg/m ³ _u	347,0	325,4	54,8	86,0

„Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

Wskaźniki emisji	CO ₂	E _{CO2}	kg/kg	2,3	2,5
	CO	E _{CO}	g/kg	118,4	116,5
	SO ₂	E _{SO2}	g/kg	3,9	6,6
	NO _x	E _{NOx}	g/kg	2,7	5,3
	Pył	E _{pył}	g/kg	17,5	4,0
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/kg	16,9	1,1
	16 WWA	E _{WWA}	mg/kg	77,4	12,1
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/kg	4,3	1,2
	CO ₂	E _{CO2}	kg/GJ	83,7	86,1
	CO	E _{CO}	g/GJ	4310,8	3943,3
	SO ₂	E _{SO2}	g/GJ	140,5	222,3
	NO _x	E _{NOx}	g/GJ	99,7	179,7
	Pył	E _{pył}	g/GJ	637,8	134,8
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/GJ	615,2	36,5
	16 WWA	E _{WWA}	mg/GJ	2817,1	408,0
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/GJ	157,0	41,5

*wartość przeliczone na 10 % O₂

W przypadku spalania „od góry” węgla sortyment orzech w kotle komorowym zaobserwowano bardzo niekorzystne zjawisko znacznego spadku mocy kotła - niemal dwukrotna różnica. Odnotowano znaczny spadek stężeń pyłu oraz benzo[a]pirenu przy rozpale od góry - choć jeśli weźmiemy pod uwagę różnicę w mocy kotła to różnice w stężeniach tych zanieczyszczeń będą mniejsze. Niemniej jednak, w przypadku tego kotła zasilanego węglem kamiennym, stężenia pyłu nadal są kilkukrotnie wyższe niż w przypadku kotłów z automatycznym podawaniem paliwa klasy 5 oraz spełniających wymogi Ekoprojektu - które można uznać za najlepszą dostępną na polskim rynku technologię jeśli chodzi o kotły na węgiel (40 µg/m³).

Tablica 5. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ KSW PLUS o mocy 20 kW podczas spalania drewna kawałkowego w sposób tradycyjny i „od góry”

Opis		Symb.	Jedn.	Drewno kawałkowe zasyp na żar		Drewno kawałkowe rozpał od góry	
Wielkości cieplne	Moc kotła	Q	kW	17,4		17,3	
	Sprawność kotła	η_k	%	75,0		72,3	
	Temperatura spalin	t_{sp}	°C	236,0		251,0	
Ciąg kominowy		p_k	Pa	-25,1		-24,1	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	Z_{CO_2}	%	9,07	8,40*	9,98	10,08*
	O ₂	Z_{O_2}	%	9,12	10,00	10,11	10,00
	CO	C_{CO}	mg/m ³ _u	12674,5	11740,2	7751,6	7827,8
	SO ₂	C_{SO_2}	mg/m ³ _u	0,0	0,0	0,0	0,0
	NO _x	C_{NO_x}	mg/m ³ _u	96,2	89,1	176,7	178,5
	Pył	$C_{pył}$	mg/m ³ _u	254,0	235,3	180,0	181,8
	Zanieczyszcz. organiczne	C_{org}	mg/m ³ _u	512,0	474,3	206,0	208,0
	16 WWA	C_{WWA}	μg/m ³ _u	1720,1	1593,3	2397,4	2421,0
	B(a)P	$C_{B(a)P}$	μg/m ³ _u	27,5	25,5	520,0	525,1
Wskaźniki emisji	CO ₂	E_{CO_2}	kg/kg	1,2		1,5	
	CO	E_{CO}	g/kg	86,1		57,5	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/kg	0,0		0,0	
	NO _x	E_{NO_x}	g/kg	0,7		1,3	
	Pył	$E_{pył}$	g/kg	1,7		1,3	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/kg	3,5		1,5	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/kg	11,7		17,8	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/kg	0,2		3,9	
	CO ₂	E_{CO_2}	kg/GJ	79,5		95,4	
	CO	E_{CO}	g/GJ	5620,6		3750,0	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/GJ	0,0		0,0	
	NO _x	E_{NO_x}	g/GJ	42,7		85,5	
	Pył	$E_{pył}$	g/GJ	112,6		87,1	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/GJ	227,1		99,7	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/GJ	762,8		1159,8	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/GJ	12,2		251,6	

*wartość przeliczone na 10 % O₂

W przypadku spalania drewna kawałkowego w kotle komorowym zaobserwowano bardzo wysoki wzrost stężenia benzo[a]pirenu przy rozpale metodą "od góry". Stężenie pyłu przy rozpale od góry było jedynie nieznacznie niższe. Natomiast moc kotła nie uległa zmianie i była na takim samym poziomie przy wykorzystaniu obydwu metod. Znaczny wzrost benzo[a]pirenu należy uznać za zjawisko wysoce niekorzystne. Benzo[a]piren to zanieczyszczenie o udokumentowanym wpływie rakotwórczym i mutagennym. Niestety Polska należy do krajów UE o najwyższych stężeniach tej substancji w powietrzu. Dlatego do czynnika tego należy przykładać znaczną wagę. Emisja pyłu przy rozpale „od góry” była trzykrotnie wyższa niż w urządzeniach spełniających wymagania Ekoprojektu ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tablica 6. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle komorowym typu MODERATOR o mocy 25 kW podczas spalania drewna kawałkowego z zasypem na żar i od góry

Opis		Symb.	Jedn.	Drewno kawałkowe zasyp na żar		Drewno kawałkowe rozpał od góry	
Wielkości cieplne	Moc ogrzewacza	Q	kW	17,1		16,5	
	Sprawność kotła	η_k	%	78,2		77,4	
	Temperatura spalin	t_{sp}	°C	218,4		239,4	
Ciąg kominowy		p_k	Pa	28,8		26,5	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	z_{CO_2}	%	10,94	9,9*	10,77	10,0*
	O ₂	z_{O_2}	%	8,68	10,0	9,13	10,0
	CO	C_{CO}	mg/m^3_u	15820,4	14364,1	12503,4	11589,1
	SO ₂	C_{SO_2}	mg/m^3_u	0,0	0,0	0,0	0,0
	NO _x	C_{NO_x}	mg/m^3_u	137,8	125,1	137,6	127,6
	Pył	$C_{pył}$	mg/m^3_u	584,0	530,0	427,0	396,0
	Zanieczyszcz. organiczne	C_{org}	mg/m^3_u	690,0	626,0	381,0	353,0
	16 WWA	C_{WWA}	$\mu\text{g}/\text{m}^3_u$	8130,0	7381,6	13900,0	12883,5
	B(a)P	$C_{B(a)P}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3_u$	440,0	399,0	998,0	925,0
Wskaźniki emisji	CO ₂	E_{CO_2}	kg/kg	1,4		1,5	
	CO	E_{CO}	g/kg	105,4		85,0	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/kg	0,0		0,0	
	NO _x	E_{NO_x}	g/kg	0,9		0,9	
	Pył	$E_{pył}$	g/kg	3,9		2,9	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/kg	4,6		2,6	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/kg	54,1		94,5	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/kg	2,9		6,8	

„Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

CO ₂	E _{CO2}	kg/GJ	94,0	94,5
CO	E _{CO}	g/GJ	6876,8	5549,4
SO ₂	E _{SO2}	g/GJ	0,0	0,0
NO _x	E _{NOx}	g/GJ	59,9	61,1
Pył	E _{pył}	g/GJ	253,9	189,5
Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/GJ	299,9	169,1
16 WWA	E _{WWA}	mg/GJ	3533,9	6169,3
B(a)P	E _{B(a)P}	mg/GJ	191,3	442,9

*wartość przeliczone na 10 % O₂

W przypadku spalania drewna kawałkowego w kotle komorowym typu MODERATOR mamy do czynienia z nieznacznym spadkiem stężenia pyłu w przypadku rozpału "od góry". Stężenie w trakcie zastosowania metody "od góry" były około 7-krotnie wyższe niż maksymalne dopuszczone stężenie dla kotłów z ręcznym podawaniem paliwa (drewna kawałkowego) spełniających wymogi Ekoprojektu (60 µg/m³). Natomiast emisja benzo[a]pirenu jest dwukrotnie wyższa w przypadku rozpału "od góry" niż w przypadku zasypu na żar. W świetle bardzo wysokich stężeń benzo[a]pirenu w Polsce zwiększoną emisję tego zanieczyszczenia należy postrzegać jako czynnik negatywny.

Tablica 7. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle komorowym typu MODERATOR o mocy 25 kW podczas spalania węgla kamiennego sortyment orzech z zasypem na żar i od góry

Opis		Symb.	Jedn.	węgiel kamienny sortyment orzech zasyp na żar		węgiel kamienny sortyment orzech rozpał od góry	
Wielkości cieplne	Moc ogrzewacza	Q	kW	21,8		22,4	
	Sprawność kotła	η _k	%	75,8		76,4	
	Temperatura spalin	t _{sp}	°C	247,1		246,1	
Ciąg kominowy		p _k	Pa	32,9		34,7	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	z _{CO2}	%	8,76	8,6*	7,70	9,6*
	O ₂	z _{O2}	%	9,72	10,0	12,14	10,0
	CO	C _{CO}	mg/m ³ _u	8339,5	8129,9	3194,1	3965,7
	SO ₂	C _{SO2}	mg/m ³ _u	425,4	414,7	358,8	445,5
	NO _x	C _{NOx}	mg/m ³ _u	249,7	243,4	233,3	289,6
	Pył	C _{pył}	mg/m ³ _u	709,0	692,0	321,0	398,0
	Zanieczyszcz. organiczne	C _{org}	mg/m ³ _u	641,0	625,0	174,0	216,0
	16 WWA	C _{WWA}	µg/m ³ _u	15000,0	14622,9	4660,0	5785,7
	B(a)P	C _{B(a)p}	µg/m ³ _u	1170,0	1140,6	293,0	364,0

„Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

Wskaźniki emisji	CO ₂	E _{CO2}	kg/kg	2,4	2,7
	CO	E _{CO}	g/kg	116,0	56,5
	SO ₂	E _{SO2}	g/kg	5,9	6,4
	NO _x	E _{NOx}	g/kg	3,5	4,1
	Pył	E _{pył}	g/kg	9,9	5,7
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/kg	8,9	3,1
	16 WWA	E _{WWA}	mg/kg	208,6	82,5
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/kg	16,3	5,2
	CO ₂	E _{CO2}	kg/GJ	81,8	91,2
	CO	E _{CO}	g/GJ	3924,5	1913,7
	SO ₂	E _{SO2}	g/GJ	200,2	215,0
	NO _x	E _{NOx}	g/GJ	117,5	139,8
	Pył	E _{pył}	g/GJ	333,6	192,3
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/GJ	301,6	104,2
	16 WWA	E _{WWA}	mg/GJ	7058,9	2791,9
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/GJ	550,6	175,5

*wartość przeliczone na 10 % O₂

W przypadku spalania węgla sortyment orzech w kotle komorowym typu MODERATOR odnotowano spadek stężenia pyłu oraz benzo[a]pirenu w metodzie rozpału "od góry", w porównaniu z metodą zasypu na żar. W dalszym ciągu stężenie pyłu przy stosowaniu rozpału "od góry" jest niemal dziesięciokrotnie wyższe niż dopuszczalne dla kotłów z automatycznym podawaniem paliwa 5 klasy (40 µg/m³). Moc kotła była taka sama przy obydwu próbach.

Tablica 8. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w żeliwnym ogrzewaczu pomieszczeń podczas spalania drewna kawałkowego w z zasypem na żar i od góry

Opis		Symb.	Jedn.	Drewno kawałkowe zasyp na żar	Drewno kawałkowe rozpał od góry
Wielkości cieplne	Moc ogrzewacza	Q	kW	12,7	15,1
	Sprawność ogrzewacza	η _k	%	74,4	69,9
	Temperatura spalin	t _{sp}	°C	305,4	272,0
Ciąg kominowy		p _k	Pa	12,8	16,8

Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	z _{CO2}	%	9,72	10,3*	6,92	10,3*
	O ₂	z _{O2}	%	10,59	10,0	13,59	10,0
	CO	C _{CO}	mg/m ³ _u	4770,0	5038,4	3986,1	5918,5
	SO ₂	C _{SO2}	mg/m ³ _u	0,0	0,0	0,0	0,0
	NO _x	C _{NOx}	mg/m ³ _u	117,7	124,3	89,8	133,4
	Pył	C _{pył}	mg/m ³ _u	179,0	189,0	258,0	383,0
	Zanieczyszcz. organiczne	C _{org}	mg/m ³ _u	304,0	321,0	409,0	607,0
	16 WWA	C _{WWA}	μg/m ³ _u	1490,0	1573,8	2370,0	3518,9
	B(a)P	C _{B(a)p}	μg/m ³ _u	66,9	70,7	226,0	336,0
Wskaźniki emisji	CO ₂	E _{CO2}	kg/kg	1,5		1,5	
	CO	E _{CO}	g/kg	37,0		43,4	
	SO ₂	E _{SO2}	g/kg	0,0		0,0	
	NO _x	E _{NOx}	g/kg	0,9		1,0	
	Pył	E _{pył}	g/kg	1,4		2,8	
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/kg	2,4		4,5	
	16 WWA	E _{WWA}	mg/kg	11,5		25,8	
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/kg	0,5		2,5	
	CO ₂	E _{CO2}	kg/GJ	97,2		97,3	
	CO	E _{CO}	g/GJ	2414,0		2834,0	
	SO ₂	E _{SO2}	g/GJ	0,0		0,0	
	NO _x	E _{NOx}	g/GJ	59,5		63,9	
	Pył	E _{pył}	g/GJ	90,4		183,0	
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/GJ	154,0		291,0	
	16 WWA	E _{WWA}	mg/GJ	753,0		1680,0	
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/GJ	33,9		161,0	

*wartość przeliczone na 10 % O₂

Przy spalaniu drewna kawałkowego w żeliwnym ogrzewaczu pomieszczeń typu "KOZA" zaobserwowano wyższe stężenia pyłu przy spalaniu "od góry" w porównaniu do tradycyjnej metody palenia. Podobnie w przypadku benzo[a]pirenu, "zasyp na żar" powoduje kilkukrotnie mniejsze emisje niż rozpał "od góry". Zatem po raz kolejny mamy do czynienia ze zwiększoną emisją benzo[a]pirenu w przypadku rozpału "od góry". Moc ogrzewacza była porównywalna przy obydwu metodach spalania.

Tablica 9. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w żeliwnym ogrzewaczu pomieszczeń podczas spalania węgla kamiennego sortyment orzech z zasypem na żar i od góry

Opis		Symb.	Jedn.	węgiel kamienny sortyment orzech zasyp na żar		węgiel kamienny sortyment orzech rozpał od góry	
Wielkości cieplne	Moc ogrzewacza	Q	kW	21,2		22,5	
	Sprawność ogrzewacza	η_k	%	54,9		49,8	
	Temperatura spalin	t_{sp}	°C	245,1		224,2	
Ciąg kominowy		p_k	Pa	24,8		25,0	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	z_{CO_2}	%	3,56	8,5*	2,88	8,6*
	O ₂	z_{O_2}	%	16,39	10,0	17,32	10,0
	CO	C_{CO}	mg/m ³ _u	2738,5	6530,4	2098,4	6276,4
	SO ₂	C_{SO_2}	mg/m ³ _u	252,8	602,8	164,0	490,4
	NO _x	C_{NO_x}	mg/m ³ _u	202,5	482,8	191,0	571,3
	Pył	$C_{pył}$	mg/m ³ _u	344,0	821,0	284,0	848,0
	Zanieczyszcz. organiczne	C_{org}	mg/m ³ _u	418,0	997,0	324,0	958,0
	16 WWA	C_{WWA}	μg/m ³ _u	1360,0	3243,1	738,0	2207,4
	B(a)P	$C_{B(a)P}$	μg/m ³ _u	102,0	244,0	39,9	119,0
Wskaźniki emisji	CO ₂	E_{CO_2}	kg/kg	2,4		2,4	
	CO	E_{CO}	g/kg	93,2		89,4	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/kg	8,6		7,0	
	NO _x	E_{NO_x}	g/kg	6,9		8,1	
	Pył	$E_{pył}$	g/kg	11,7		12,1	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/kg	14,2		13,8	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/kg	46,3		31,5	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/kg	3,5		1,7	
	CO ₂	E_{CO_2}	kg/GJ	81,0		82,1	
	CO	E_{CO}	g/GJ	3153,3		3026,9	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/GJ	291,1		236,6	
	NO _x	E_{NO_x}	g/GJ	233,2		275,5	
	Pył	$E_{pył}$	g/GJ	396,1		409,7	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/GJ	481,3		467,4	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/GJ	1566,0		1064,5	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/GJ	117,4		57,6	

*wartość przeliczone na 10 % O₂

Przy spalaniu węgla sortyment orzech w żeliwnym ogrzewaczu pomieszczeń typu "KOZA" zaobserwowano nieznacznie niższe stężenia pyłu przy zasypie na żar (względem metody „od góry”). Należy zaznaczyć, że stężenia przy rozpale "od góry" i na żar były o 17 razy wyższe niż maksymalne wskaźniki emisji dla urządzeń spełniających wymogi Ekoprojektu ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Stężenia benzo[a]pirenu były niższe około dwukrotnie w przypadku palenia "od góry". Moc ogrzewacza była porównywalna przy wykorzystaniu obu metod.

Tablica 10. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle komorowym typu SKI o mocy 17,5 kW podczas spalania drewna kawałkowego z zasypem na żar i od góry

Opis		Symb.	Jedn.	Drewno kawałkowe zasyp na żar		Drewno kawałkowe rozpał od góry	
Wielkości cieplne	Moc kotła	Q	kW	14,3		11,5	
	Sprawność kotła	η_k	%	77,3		77,9	
	Temperatura spalin	t_{sp}	°C	225,5		242,8	
Ciąg kominowy		p_k	Pa	31,5		27,9	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	z_{CO_2}	%	10,95	9,7*	9,62	10,0*
	O ₂	z_{O_2}	%	8,58	10,0	10,39	10,0
	CO	C_{CO}	mg/m^3_u	18008,3	15948,7	5017,9	5203,5
	SO ₂	C_{SO_2}	mg/m^3_u	0,0	0,0	0,0	0,0
	NO _x	C_{NO_x}	mg/m^3_u	218,3	193,3	209,2	216,9
	Pył	$C_{pył}$	mg/m^3_u	1370,0	1213,3	219,0	227,0
	Zanieczyszcz. organiczne	C_{org}	mg/m^3_u	1330,0	1177,9	216,0	224,0
	16 WWA	C_{WWA}	$\mu\text{g}/\text{m}^3_u$	11200,0	9919,1	2930,0	3038,4
	B(a)P	$C_{B(a)P}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3_u$	1630,0	1443,6	158,0	164,0
Wskaźniki emisji	CO ₂	E_{CO_2}	kg/kg	1,4		1,5	
	CO	E_{CO}	g/kg	117,0		38,2	
	SO ₂	E_{SO_2}	g/kg	0,0		0,0	
	NO _x	E_{NO_x}	g/kg	1,4		1,6	
	Pył	$E_{pył}$	g/kg	8,9		1,7	
	Zanieczyszcz. organiczne	E_{org}	g/kg	8,6		1,6	
	16 WWA	E_{WWA}	mg/kg	72,8		22,3	
	B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/kg	10,6		1,2	

„Badania energetyczno-emisyjne podczas przeciw i współprądowej realizacji procesu spalania w kotłach komorowych różnych konstrukcji”

CO ₂	E _{CO2}	kg/GJ	91,8	94,4
CO	E _{CO}	g/GJ	7638,7	2491,6
SO ₂	E _{SO2}	g/GJ	0,0	0,0
NO _x	E _{NOx}	g/GJ	92,6	103,9
Pył	E _{pył}	g/GJ	581,1	108,7
Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/GJ	564,2	107,3
16 WWA	E _{WWA}	mg/GJ	4750,8	1454,9
B(a)P	E _{B(a)P}	mg/GJ	691,4	78,5

*wartość przeliczone na 10 % O₂

Przy spalaniu drewna kawałkowego w kotle komorowym typu SKI odnotowano duży spadek stężenia pyłu oraz benzo[a]pirenu. Moc kotła była niższa w przypadku rozpału "od góry". Warto podkreślić, że wartości emisji poszczególnych zanieczyszczeń z kotła c.o., nawet przy zastosowaniu "górnego" spalania, nadal plasują to urządzenie wśród kotłów pozaklasowych. W porównaniu z kryteriami klasy 5 wartości emisji zanieczyszczeń były niemal 4 krotnie wyższe.

Tablica 11. Wyniki badań energetyczno - emisyjnych przeprowadzonych w kotle komorowym typu SKI o mocy 17,5 kW podczas spalania węgla kamiennego sortyment orzech z zasypem na żar i od góry

Opis		Symb.	Jedn.	węgiel kamienny sortyment orzech zasyp na żar		węgiel kamienny sortyment orzech rozpał od góry	
Wielkości cieplne	Moc kotła	Q	kW	11,3		6,9	
	Sprawność kotła	η _k	%	74,3		69,6	
	Temperatura spalin	t _{sp}	°C	209,4		172,9	
Ciąg kominowy		p _k	Pa	27,1		26,2	
Stężenia zanieczyszczeń	CO ₂	z _{CO2}	%	6,59	9,3*	4,14	9,2*
	O ₂	z _{O2}	%	13,16	10,0	16,04	10,0
	CO	C _{CO}	mg/m ³ _u	3989,3	5598,1	1832,9	4063,1
	SO ₂	C _{SO2}	mg/m ³ _u	356,7	500,6	122,7	272,0
	NO _x	C _{NOx}	mg/m ³ _u	210,0	294,7	242,9	538,5
	Pył	C _{pył}	mg/m ³ _u	584,0	819,0	246,0	547,0
	Zanieczyszcz. organiczne	C _{org}	mg/m ³ _u	406,0	569,0	232,0	515,0
	16 WWA	C _{WWA}	μg/m ³ _u	11200,0	15716,6	1890,0	4189,7
B(a)P	C _{B(a)p}	μg/m ³ _u	1100,0	1543,6	97,8	217,0	

Wskaźniki emisji	CO ₂	E _{CO2}	kg/kg	2,6	2,6
	CO	E _{CO}	g/kg	79,8	58,0
	SO ₂	E _{SO2}	g/kg	7,1	3,9
	NO _x	E _{NOx}	g/kg	4,2	7,7
	Pył	E _{pył}	g/kg	11,7	7,8
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/kg	8,1	7,3
	16 WWA	E _{WWA}	mg/kg	224,0	59,8
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/kg	22,0	3,1
	CO ₂	E _{CO2}	kg/GJ	88,2	87,6
	CO	E _{CO}	g/GJ	2701,1	1961,6
	SO ₂	E _{SO2}	g/GJ	241,5	131,3
	NO _x	E _{NOx}	g/GJ	142,2	260,0
	Pył	E _{pył}	g/GJ	395,4	263,3
	Zanieczyszcz. organiczne	E _{org}	g/GJ	274,9	248,3
	16 WWA	E _{WWA}	mg/GJ	7583,3	2022,7
	B(a)P	E _{B(a)P}	mg/GJ	744,8	104,7

*wartość przeliczone na 10 % O₂

Przy spalaniu węgla kamiennego sortyment orzech w kotle komorowym typu SKI odnotowano spadek stężenia pyłu, a także bardzo znaczny spadek stężenia benzo[a]pirenu. Jednak, w tym samym czasie odnotowano bardzo negatywne zjawisko polegające na zmniejszeniu mocy kotła - aż o 40%, za czym mogą iść znaczne problemy z utrzymaniem komfortu cieplnego. Warto podkreślić, że emisja zanieczyszczeń z badanego kotła nawet przy zastosowaniu "górnego" spalania, nadal plasuje to urządzenia wśród kotłów pozaklasowych. W porównaniu z kryteriami klasy 5 dla kotłów z automatycznym podawaniem paliwa emisja zanieczyszczeń podczas „górnego spalania” była 14 razy wyższa.

5. PODSUMOWANIE

W ramach realizacji zlecenia przeprowadzono testy energetyczno emisyjne z wykorzystaniem:

7.1. kotła c.o. z ręcznym zasypem paliwa „szybowym” typu GENERATOR o mocy 35 kW, podczas spalania:

7.1.1. węgla kamiennego sortyment miał (paliwo podstawowe) - tablica 2

7.1.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (zalecany)

7.1.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony)

7.1.2. drewna kawałkowego (paliwo zastępcze) - tablica 3

7.1.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (dozwolony)

7.1.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony)

7.2. kotła c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ KSW PLUS o mocy 20 kW, podczas spalania:

7.2.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo podstawowe) - tablica 4

7.2.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.2.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

7.2.2. drewna kawałkowego (paliwo zastępcze) - tablica 5

7.2.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.2.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

7.3. kotła c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ MODERATOR o mocy 25 kW, podczas spalania:

7.3.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo zastępcze) - tablica 7

7.3.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.3.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

7.3.2. drewna kawałkowego (paliwo podstawowe) - tablica 6

7.3.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.3.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

7.4. pieca typu „KOZA” z ręcznym zasypem paliwa, podczas spalania:

7.4.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo zastępcze) - tablica 9

7.4.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.4.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

7.3.2. drewna kawałkowego (paliwo podstawowe) - tablica 8

7.4.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.4.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

7.5. kotła c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ SKI o mocy 17,5 kW, podczas spalania:

7.5.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo zastępcze) - tablica 11

7.5.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.5.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

7.5.2. drewna kawałkowego (paliwo nieprzewidziane) - tablica 10

7.5.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.5.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

Paliwa nazwane „podstawowym” są to paliwa, które producent kotła c.o. w instrukcji obsługi wymienia jako główne paliwo dla danego urządzenia. Jest to paliwo, dla spalania którego kocioł c.o. został zaprojektowany i dla którego podaje „instrukcję” inicjacji i prowadzenia procesu spalania, co powyżej oznaczono jako „zalecane”. W instrukcji obu kotłów można również przeczytać o paliwach zastępczych i jeśli zostały przewidziane, o alternatywnych metodach prowadzenia procesu spalania. Generalnie wyłącznie w kotle szybowym nie ma przeciwwskazań technicznych do prowadzenia procesu spalania w sposób „od góry”, pozostałe kotły zostały zaprojektowane pod kątem tradycyjnego sposobu porwadzenia procesu spalania (zasyp kolejnych porcji paliwa na żar) i każde inne prowadzenie procesu ma charakter eksperymentalny, który bezpiecznie można testować wyłącznie w warunkach

laboratorium, posiadającym odpowiednie systemy zabezpieczeń, pozwalających na dotrzymanie standardów BHP.

Analiza punktu:

7.1. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „szybowym” typu GENERATOR o mocy 35 kW, podczas spalania:

7.1.1. węgla kamiennego sortyment miał (paliwo podstawowe) - tablica 2

7.1.1.1. rozpał złoza paliwa od góry (zalecany)

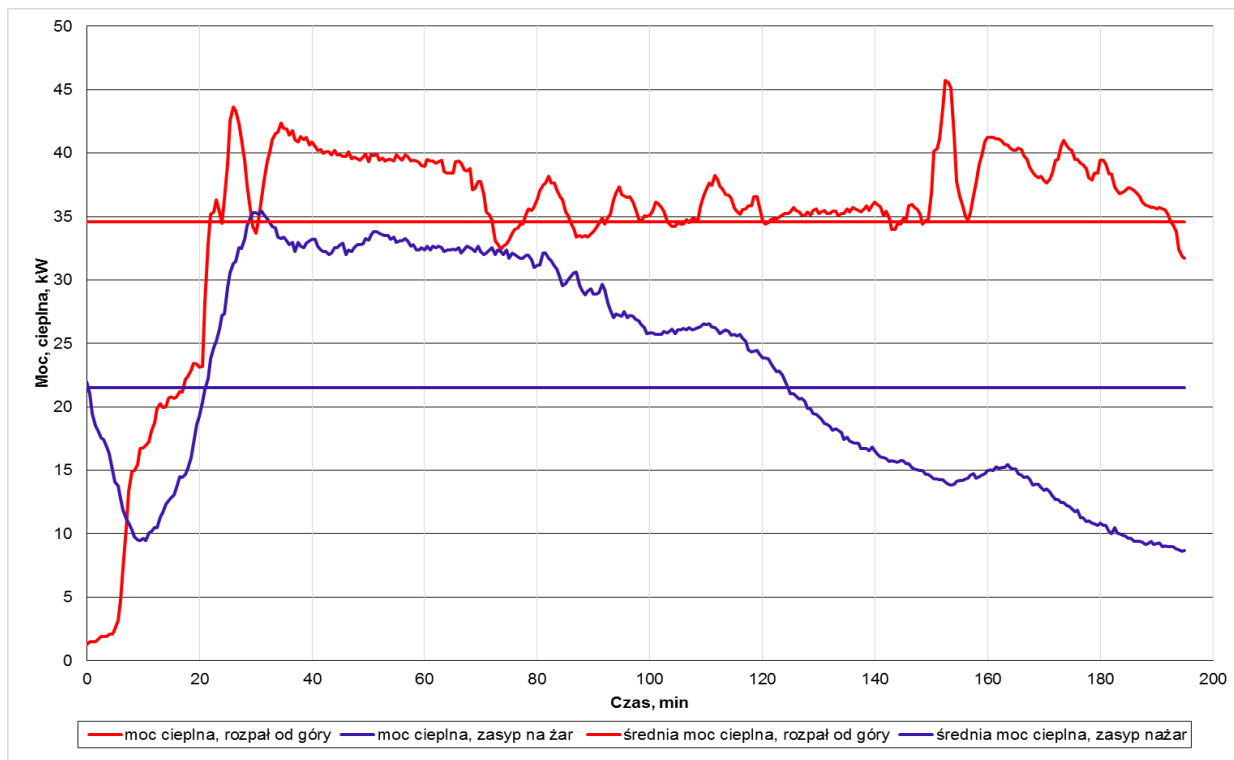
7.1.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony)

W przypadku paliwa podstawowego, węgla kamiennego sortyment miał, kocioł „szybowy” osiągnął zakładaną moc nominalną 35 kW jedynie w przypadku zalecanego procesu spalania paliwa, czyli „od góry”. Podczas spalania tej samej porcji paliwa w ilości 20 kg „na żar”, kocioł osiągnął 2/3 mocy nominalnej rys. 6. Ponieważ powietrze takim kotle podawane jest zarówno pod ruszt jak i kanałami bezpośrednio do komory spalania, w przypadku spalania paliwa zasypanego „na żar” konieczne było zredukowanie stopnia nadmuchu (obrotów wentylatora) w porównaniu do spalania „od góry” aby nadmiernie nie rozcieńczać produktów spalania, a więc nie podawać powietrza, które nie bierze udziału w procesie spalania. To spowodowało mniejszą intensywność procesu, stąd mniejsza moc ale dzięki możliwości regulacji obrotów wentylatora, sprawność urządzenia była na poziomie najlepszej sprawności uzyskiwanej podczas pracy na mocy nominalnej podczas zalecanej techniki prowadzenia procesu spalania.

W przypadku analizy emisji, rekomendowane w tym kotle spalanie węgla kamiennego sortyment miał „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- wyższą o około 20% emisją CO,
- niższą o około 20% emisją SO₂,
- niższą o prawie 20% emisją NO_x,
- 23 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,

- niemal 28-krotnie niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- 1,7-krotnie wyższą emisją WWA,
- 2,5-krotnie wyższą emisją B(a)P.



Rys. 6. Moc kotła szybowego podczas spalania węgla kamiennego sortyment miął

Analiza punktu:

7.1. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „szybowym” typu GENERATOR o mocy 35 kW, podczas spalania:

7.1.2. drewna kawałkowego (paliwo zastępcze) - tablica 3

7.1.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (dozwolony)

7.1.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony)

Producent kotła c.o., w żadnych dokumentach (DTR czy instrukcja obsługi) nie wskazał „lepszego” sposobu spalania paliwa zastępczego. Jak wynika z analiz wyników otrzymanych

z testów energetyczno-emisyjnych obie techniki spalania drewna w analizowanym urządzeniu pozwalają na osiągnięcie mocy rzędu 25 kW ze sprawnością około 87%.

W przypadku analizy emisji, spalanie drewna kawałkowego „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- niemal dwukrotnie niższą emisją CO,
- taką samą, zerową emisją SO₂,
- o około 25% wyższą emisją NO_x,
- porównywalną emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- 3,5 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- o około 10% niższą emisją WWA,
- około 15% niższą emisją B(a)P.

Ponieważ w tym kotle c.o. producent dopuszcza spalanie złoża paliwa „od góry”, analizując wyniki badań można przypuszczać, że podczas użytkowania w gospodarstwach domowych, ten sposób prowadzenia procesu spalania przez operatora powinien być mniej uciążliwy dla środowiska. Jednak w większości wartości emisji zanieczyszczeń różnice te nie są znaczne.

Analiza punktu:

7.2. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ KSW PLUS o mocy 20 kW, podczas spalania:

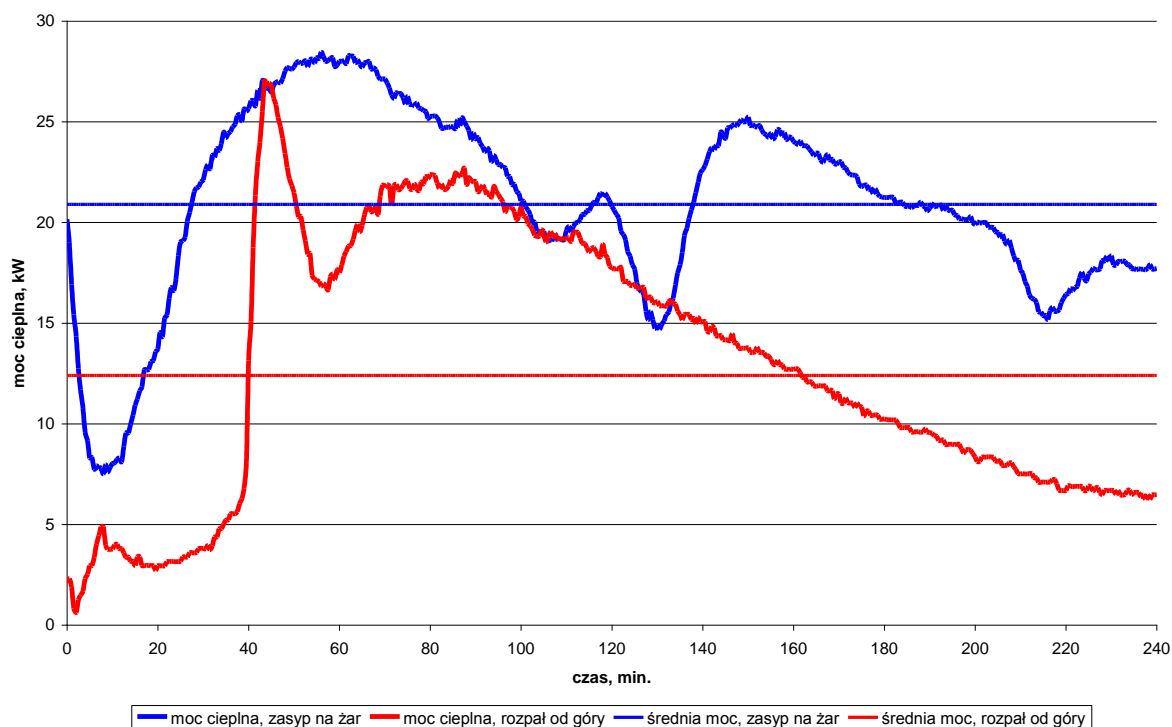
7.2.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo podstawowe) - tablica 4

7.2.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.2.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

W przypadku spalania węgla kamiennego sortyment orzech w kotle komorowym, podczas spalania metodą „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego tradycyjnie na żar, moc kotła, a więc produkcja ciepła przez to urządzenie spadła o 40 punktów procentowych z średniej wartości 20,9 kW do wartości 12,4 kW. Już chociażby z tej perspektywy, powinno się wykluczyć stosowanie tej techniki spalania w rozważanym urządzeniu, przynajmniej w przypadku kiedy moc kotła c.o. została rzetelnie dobrana do ogrzewanych pomieszczeń. Jak wynika z danych przedstawionych w tablicy 4 oraz na rys. 7.,

prowadzenie w tym kotle c.o. techniki spalania „od góry” uniemożliwia osiągnięcie zakładanego komfortu cieplnego.



Rys. 7. Moc kotła komorowego podczas spalania węgla kamiennego sortyment orzech

W przypadku analizy emisji, spalanie węgla kamiennego sortyment orzech „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- około 10 % niższą emisją CO,
- około 1,6 razy wyższą emisją SO₂,
- około 1,8 razy wyższą emisją NO_x,
- niemal 5 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- 17 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- niemal 7 krotnie niższą emisją WWA,
- niemal 4 krotnie niższą emisją B(a)P.

Analiza punktu:

7.2. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ KSW PLUS o mocy 20 kW, podczas spalania:

7.2.2. drewna kawałkowego (paliwo zastępcze) - tablica 5

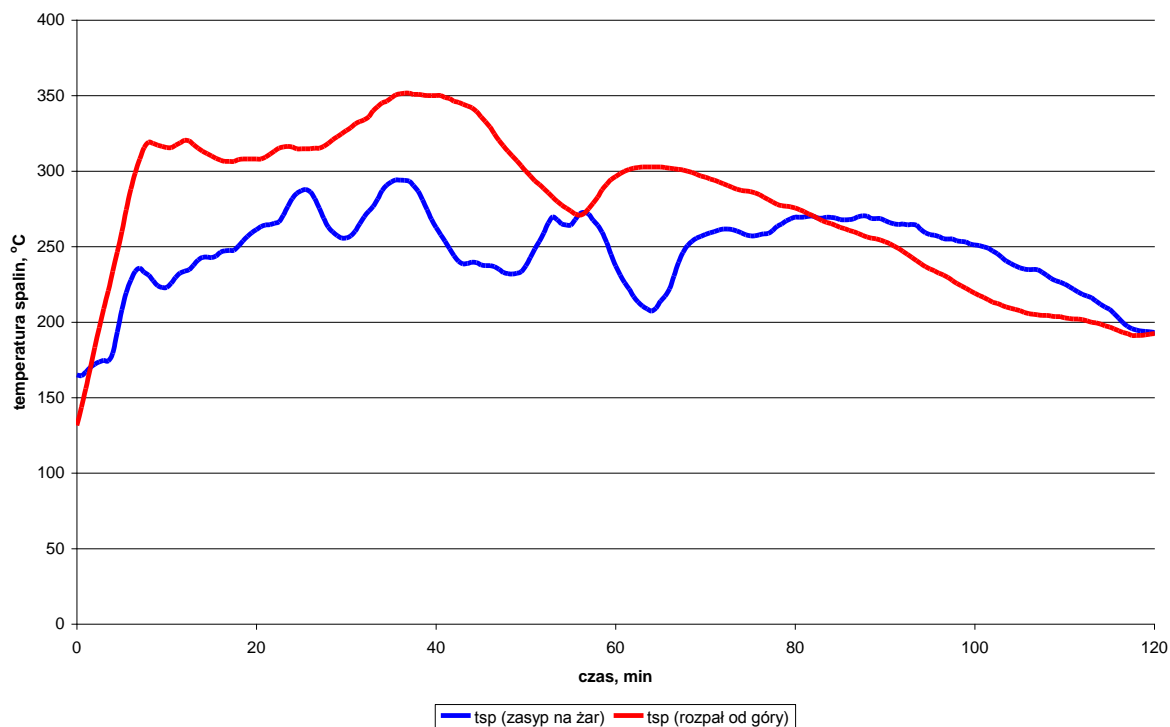
7.2.2.1. rozpał złoza paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.2.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

Spalanie drewna w rozpatrywanym urządzeniu niezależnie od zastosowanej techniki spalania, umożliwia uzyskanie porównywalnego komfortu cieplnego. Podczas testów nieznacznie wyższą sprawność uzyskało urządzenie podczas pracy z zasypem paliwa na żar, jednak prawdopodobnie w warunkach rzeczywistych, urządzenie niezależnie od zastosowanej techniki spalania będzie pracowało na zbliżonym poziomie sprawności.

Na podstawie przebiegu w czasie temperatury spalin mierzonej w czopuchu kotła rys. 8. podczas spalania drewna można przewidywać trend temperatury w komorze spalania kotła, a więc obciążenie cieplne ścianek komory i rusztu. Jak widać na wykresie, gwałtowny wzrost temperatury spalin w pierwszej fazie procesu spalania drewna rozpalanego od góry, jednoznacznie świadczy o niedopasowaniu warunków procesu do możliwości odbioru ciepła przewidzianych przez konstruktora kotła. W tej fazie mamy doczynienia z największymi naprężeniami materiałów, ponieważ wszystkie elementy kotła wygrzewają się od temperatury otoczenia, do temperatury osiągniętej podczas standardowej pracy kotła. Obserwowany na wylocie spalin szybki wzrost temperatury jest odzwierciedleniem znacznych prędkości i wzrostów temperatur w strefie komory spalania. W dłuższej eksploatacji będzie to skutkowało znacznie szybszym zużyciem urządzenia grzewczego, a prawdopodobnie awarią polegającą na rozszczelnieniu się wymiennika ciepła. Ponieważ komora spalania w kotłach komorowych zamykana jest drzwiczkami, wyższe temperatury mogą powodować ich wypaczenie, co w konsekwencji spowoduje obniżenie szczelności obiegu spalin i wydostawanie się części gazów spalinowych do pomieszczenia, w którym dane urządzenie grzewcze stoi. Niebezpieczna stanie się również eksploatacja takiego

urządzenia, ponieważ elementy, które dotyka się podczas użytkowania kotła będą miały wyższą temperaturę i może dojść do poparzenia.



Rys. 8. Temperatura spalin mierzona na wylocie z kotła (w czopuchu) podczas spalania drewna w kotle komorowym

W przypadku analizy emisji, spalanie drewna kawałkowego „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- przeszło 30% niższą emisją CO,
- taką samą, zerową emisją SO₂,
- dwukrotnie wyższą emisją NO_x,
- niemal o 25 % niższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- 2,2 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- 1,5 razy wyższą emisją WWA,
- przeszło 20 krotnie wyższą emisją B(a)P.

Analiza punktu:

7.3. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ MODERATOR o mocy 25 kW, podczas spalania:

7.3.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo zastępcze) - tablica 7

7.3.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.3.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

W przypadku spalania węgla kamiennego sortyment orzech w kotle komorowym typ MODERATOR, podczas spalania metodą „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego tradycyjnie na żar, zarówno moc kotła, a więc produkcja ciepła jak i sprawność jego wytwarzania, czy średnia temperatura spalin były na podobnym poziomie.

W przypadku analizy emisji, spalanie węgla kamiennego sortyment orzech „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- około 50 % niższą emisją CO,
- około 7 % wyższą emisją SO₂,
- około 20 % wyższą wyższą emisją NO_x,
- 1,7 razy niższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- niemal 3 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- 2,5 krotnie niższą emisją WWA,
- przeszło 3 krotnie niższą emisją B(a)P.

Analiza punktu:

7.3. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ MODERATOR o mocy 25 kW, podczas spalania:

7.3.2. drewna kawałkowego (paliwo podstawowe) - tablica 6

7.3.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.3.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

Spalanie drewna w rozpatrywanym urządzeniu niezależnie od zastosowanej techniki spalania, umożliwia uzyskanie porównywalnego komfortu cieplnego. Podczas testów

nieznacznie wyższą sprawność uzyskało urządzenie podczas pracy z zasypem paliwa na żar, jednak prawdopodobnie w warunkach rzeczywistych, urządzenie niezależnie od zastosowanej techniki spalania będzie pracowało na zbliżonym poziomie sprawności.

Wyższa o 20 stopni średnia temperatura spalin w czopuchu w przypadku rozpału od góry pozwala domniemywać, zmianę obciążenia cieplnego komory spalania w stopniu, który może wypłynąć na szybsze zużycie urządzenia grzewczego przy rozpatrywanej technice. Przy takim wzroście temperatury należy również spodziewać się wyższych temperatur w obrębie drzwiczek kotła c.o.

W przypadku analizy emisji, spalanie drewna kawałkowego „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- niemal 20% niższą emisją CO,
- taką samą, zerową emisją SO₂,
- porównywalną emisją NO_x,
- o 25 % niższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- niemal 1,8 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- przeszło 1,7 razy wyższą emisją WWA,
- przeszło 2,3 razy wyższą wyższą emisją B(a)P.

Analiza punktu:

7.4. piec typu „KOZA” z ręcznym zasypem paliwa, podczas spalania:

7.4.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo zastępcze) - tablica 9

7.4.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.4.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

W przypadku spalania węgla kamiennego sortyment orzech w piecu typu „KOZA” zarówno podczas spalania metodą „od góry”, w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego tradycyjnie na żar, moc urządzenia była podobna i stosunkowo wysoka w porównaniu do mocy uzyskanej podczas spalania zalecanego do tego urządzenia paliwa jakim jest drewno kawałkowe. Ponieważ urządzenie to ma stosunkowo niewielkie gabaryty komory spalania i drzwiczek zasypowych, do tego nie posiada wentylatora nadmuchu powietrza do spalania czy wentylatora wyciągowego, spalanie metodą „od góry” było mocno kłopotliwe i raczej nie

realne do realizacji w warunkach rzeczywistych. Uzyskano również o około 5 punktów procentowych niższą sprawność w porówniu do tradycyjnej metody palenia.

W przypadku analizy emisji, spalanie węgla kamiennego sortyment orzech „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- niecałe 5 % niższą emisją CO,
- około 18,5 % niższą emisją SO₂ (ze względu na problemy z utrzymaniem procesu spalania, a więc mniej intensywną realizacją procesu),
- około 18 % wyższą emisją NO_x,
- około 3 % wyższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- około 4 % niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- 1,5 krotnie niższą emisją WWA,
- 2 krotnie niższą emisją B(a)P.

Analiza punktu:

7.4. piec typu „KOZA” z ręcznym zasypem paliwa, podczas spalania:

7.3.2. drewna kawałkowego (paliwo podstawowe) - tablica 8

7.4.2.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.4.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

Spalanie drewna w rozpatrywanym urządzeniu w przypadku rozpału złoża paliwa od góry zwiększa moc cieplną urządzenia o przeszło 15 % jednak jest ona produkowana ze sprawnością niższą o niemal 5 punktów procentowych.

W przypadku analizy emisji, spalanie drewna kawałkowego „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- przeszło 17 % wyższą emisją CO,
- taką samą, zerową emisją SO₂,
- przeszło 7% wyższą emisją NO_x,
- dwukrotnie wyższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- niemal dwukrotnie wyższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- przeszło dwukrotnie wyższą emisją WWA,

- niemal pięć-krotnie wyższą emisją B(a)P.

Analiza punktu:

7.5. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ SKI o mocy 17,5 kW, podczas spalania:

7.5.1. węgla kamiennego sortyment orzech (paliwo zastępcze) - tablica 11

7.5.1.1. rozpał złoża paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.5.1.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (zalecany)

Kocioł c.o. SKI o mocy 17,5 kW to urządzenie grzewcze nie wyposażone w wentylator nadmuchowy powietrza do spalania czy wentylator wyciągowy. Badania kotła przeprowadzono na stanowisku wyposażonym w wentylator wyciągowy i tylko dzięki temu możliwe było przeprowadzenie testów spalania w sposób rozpału złoża paliwa od góry. W rzeczywistości będzie to możliwe jedynie przy znacznej zawziętości użytkownika takiego kotła i w przypadku kiedy jego instalacja kominowa charakteryzuje się stosunkowo wysoką „siłą ciągu” czy w przypadku sprzyjających warunków atmosferycznych.

W przypadku spalania węgla kamiennego sortyment orzech w rozważanym kotle komorowym, podczas spalania metodą „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego tradycyjnie na żar, moc kotła, a więc produkcja ciepła przez to urządzenie spadła o niemal 40 punktów procentowych. Dodatkowo ciepło było produkowane ze sprawnością mniejszą o około 5 punktów procentowych.

W przypadku analizy emisji, spalanie węgla kamiennego sortyment orzech „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- około 25 % niższą emisją CO,
- około 45 % niższą emisją SO₂ (ze względu na problemy z utrzymaniem procesu spalania, a więc mniej intensywną realizacją procesu),
- około 1,8 razy wyższą emisją NO_x,
- niemal 1,5 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- około 25 % niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- przeszło 3,5 razy niższą emisją WWA,
- ponad 7 krotnie niższą emisją B(a)P.

Analiza punktu:

7.5. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa „komorowym” typ SKI o mocy 17,5 kW, podczas spalania:

7.5.2. drewna kawałkowego (paliwo nieprzewidziane) - tablica 10

7.5.2.1. rozpał złoza paliwa od góry (nieprzewidziany)

7.5.2.2. rozpał od warstwy żaru – narzucanie świeżej porcji paliwa na żar (dozwolony).

Spalanie drewna w rozpatrywanym urządzeniu z wykorzystaniem techniki rozpału złoza paliwa od góry skutkuje niemal 20 % obniżeniem mocy cieplnej przy porównywalnej sprawności jak w przypadku spalania metodą tradycyjną. Wyższa o blisko 20 stopni średnia temperatura spalin podczas palenia metodą „od góry” pozwala przypuszczać, że w przypadku stosowania tej metody na co dzień, skróceniu ulegnie czas eksploatacji urządzenia ze względu na zwiększone obciążenie cieplne.

W przypadku analizy emisji, spalanie drewna kawałkowego „od góry” w porównaniu do spalania paliwa zasypywanego „na żar” charakteryzowało się:

- przeszło 3 krotnie niższą emisją CO,
- taką samą, zerową emisją SO₂,
- przeszło 10% wzrostem emisji NO_x,
- przeszło 5 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń pyłowych,
- przeszło 5 krotnie niższą emisją zanieczyszczeń organicznych,
- przeszło 3 krotnie niższą emisją WWA,
- niemal 9 krotnie niższą emisją B(a)P.

Wnioski z badań

Głównym wnioskiem, jaki nasuwa się po analizie jest fakt, że technika rozpału „od góry” jest techniką o nieprzewidywalnym wpływie na wysokość emisji zanieczyszczeń. Nie jest prawdą, że stosowanie jej przekłada się na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń powietrza w każdym przypadku, bez względu na typ urządzenia czy paliwa, które spalamy. Wyniki z przeprowadzonych 20 prób (5 urządzeń, dwa rodzaje paliwa w każdym, spalane z zastosowaniem obu technik) wskazują, że są przypadki kiedy to odnotowujemy spadek, czasem nawet znaczny, w emisji pyłu czy benzo[a]pirenu. Jednak, takie wyniki uzyskano jedynie dla części prób. W wielu przypadkach nie odnotowano znacznych spadków, wręcz przeciwnie, zauważono wzrost emisji zanieczyszczeń, w tym rakotwórczego benzo[a]pirenu – i to zarówno w przypadku węgla jak i drewna. Wzrost emisji benzo[a]pirenu jest zjawiskiem szczególnie niekorzystnym, gdyż normy dla stężenia tego zanieczyszczenia są przekroczone na praktycznie wszystkich stacjach pomiarowych w Polsce, a w wielu miejscach przekroczenia te są wielokrotne. W części prób nie odnotowano praktycznie żadnej różnicy jeśli chodzi emisję pyłu i benzo[a]pirenu. Zatem prezentowanie metody palenia „od góry” jako szybkiego i bezinwestycyjnego remedium na zanieczyszczenia powietrza w naszym kraju niestety należy uznać za nieuzasadnione.

Warto podkreślić, że w żadnej próbie z przeprowadzonych 20, nie uzyskano wartości emisji zanieczyszczeń porównywalnej z kryteriami emisji dla urządzeń spełniających klasę 5 lub wymagania Ekoprojektu. Przedział średnich wartości emisji pyłu w czterech kotłach c.o. poddanych badaniom podczas spalania węgla kamiennego wynosi od 127,9 mg/m³ dla kotła, który zaprojektowano do techniki tzw. „górnego spalania”, a dla pozostałych kotłów c.o. od 297,3 do 547,0 mg/m³. Kryterium stężenia pyłu dla kotłów z automatycznym podawaniem paliwa spełniających wymagania Ekoprojektu to 40 mg/m³. Przedział średnich wartości emisji pyłu w czterech kotłach c.o. poddanych badaniom podczas spalania drewna kawałkowego wynosi od 104,6 mg/m³ dla kotła, który zaprojektowano do techniki tzw. „górnego spalania”, a dla pozostałych kotłów c.o. od 181,8 do 396,0 mg/m³. Kryterium stężenia pyłu dla kotłów z ręcznym podawaniem paliwa spełniających wymagania Ekoprojektu wynosi 60 µg/m³. Widać zatem ogromną przepaść między stosowaniem

metody rozpału „od góry”, a stosowaniem nowoczesnych kotłów na paliwa stałe. Jak wskazują analizy prowadzone na potrzeby programów ochrony powietrza (np. w Małopolskim Programie Ochrony Powietrza) jedynie zredukowanie emisji zanieczyszczeń z urządzeń grzewczych do poziomu wymagań Ekoprojektu lub klasy 5 daje gwarancję znaczącej poprawy jakości powietrza i spełnienia norm jakości powietrza zdefiniowanych w prawie. Dlatego też uchwały antysmogowe w Małopolsce (już przyjęta) oraz na Śląsku (w trakcie konsultacji) zakładają wymianę urządzeń grzewczych właśnie na kotły spełniające wymogi klasy 5 lub Ekoprojektu. Metoda górnego spalania nie stanowi zatem rozwiązania, które pozwoli w zadowalającym i wymaganym stopniu poprawić jakość powietrza na terenie Polski. Należy podkreślić, że nawet w przypadku osiągnięcia przez wszystkie urządzenia najlepszych wartości jakie udało się uzyskać zmieniając technikę spalania na tzw „górne spalanie”, nie spełni się norm jakości powietrza określonych prawem.

Urządzenia grzewcze, w których przeprowadzono testy współprądowego i przeciwprądowego spalania węgla kamiennego oraz drewna kawałkowego na potrzeby analizy można różnie zakwalifikować. Przede wszystkim zgodnie z teorią spalania należy stwierdzić, że kotły komorowe przystosowane do tzw. „górnego spalania” właśnie tak powinny być użytkowane, czego dowodem są m.in. wyniki otrzymane podczas testów przeprowadzonych przy użyciu tego typu kotła, jakim był kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa o nazwie Generator. Wyniki otrzymane w trakcie testów tego kotła, nie będą brane do dalszej analizy.

W przypadku zamiany techniki spalania z tradycyjnego rozpalania warstwy żaru, a następnie dosypywania na żar kolejnych porcji paliwa, na tzw. „górne spalanie” w urządzeniach grzewczych nie wyposażonych w wentylator nadmuchowy powietrza do spalania czy wentylator wyciągowy, względnie nasadkę kominową poprawiającą czy stabilizującą ciąg, należy jednoznacznie stwierdzić, że zamiana będzie dla użytkownika niezwykle kłopotliwa. Zwłaszcza, że do tych urządzeń zaliczają się nie tylko kotły c.o. o w miarę dużych komorach spalania ale również piece (miejscowe ogrzewacze pomieszczeń), których gabaryty zarówno komory spalania jak i drzwiczek zasypowych są na tyle małe, że urządzenia te, będą wymagały znacznie częstszej obsługi niż ma to miejsce w przypadku zastosowania tradycyjnej (zalecanej dla tych urządzeń) techniki spalania. Kolejnym problemem będzie

utrzymanie stabilnego procesu spalania złoża paliwa rozpalanego „od góry”. Jeśli bowiem użytkownik będzie chciał zmniejszyć krotkości obsługi pieca, a więc zwiększyć wysokość złoża paliwa zasypanego do komory spalania, może się okazać, że złożo to powoduje już takie opory, że do spalanej warstwy paliwa nie dochodzi wystarczający strumień powietrza i proces spalania zanika (paliwo wygasa). Tak jak już wspomniano najtrudniej zamienić tradycyjny proces spalania na „górne spalanie” w urządzeniach gdzie jednocześnie nie ma wymuszonego przepływu powietrza i odpowiednio dużej komory spalania. Te trudności pomimo tego, że w warunkach laboratoryjnych przeprowadzono pełne cykle spalania dla tych samych mas paliwa w złożu za pomocą obu rozpatrywanych technik, spowodowały, że w piecu typu „KOZA” zamiana techniki na „górne spalanie” miała negatywny wpływ na parametry energetyczno-emisyjne urządzenia. W przypadku kotła c.o. typu SKI (bez wentylatora), w którym dominował problem niewymuszonego przepływu powietrza (spalin) zarówno w przypadku spalania węgla jak i drewna zamiana techniki spalania z tradycyjnej na „od góry” wpłynęła na zwiększenie emisji NO_x. W przypadku spalania węgla zamiana techniki spalania nieznacznie wpłynęła na zmniejszenie emisji CO i zanieczyszczeń organicznych, poprawę uzyskano dla takich parametrów jak pył (redukcja 1,5 razy), Σ16WWA wg EPA (redukcja 3,8 razy) oraz B(a)P (redukcja 7,1 razy). Należy jednak zwrócić uwagę, że pomimo redukcji stężenia pyłu z 819 na 547 mg/m³, emisja ta jest w dalszym ciągu 10 krotnie wyższa od dopuszczalnej. W przypadku spalania drewna kawałkowego zamiana techniki spalania na „górna spalanie” spowodowała większe redukcje w porównaniu do spalania węgla, jednak należy tu zwrócić uwagę, że producent urządzenia nie przewidział możliwości spalania w nim drewna i kocioł c.o. typu SKI opalany drewnem pracował z wyższą średnią mocą od deklarowanej mocy znamionowej urządzenia, a więc przy wyższych obciążeniach cieplnych, co przy dłuższej tego typu eksploatacji wpłynie negatywnie na jego czas bezawaryjnej pracy. Zamiana techniki spalania drewna na tzw. „górne spalanie” pozwoliła ostatecznie na redukcję stężenia zanieczyszczeń pyłowych do wartości 227 mg/m³, a więc nadal jest to wartość znacznie odbiegająca od obecnych standardów przyjętych dla najlepszych urządzeń grzewczych zasilanych paliwami stałymi (40 ÷ 60 mg/m³). Odbiega ona również znacznie od najłagodniejszych kryteriów emisji zanieczyszczeń pyłowych dopuszczających urządzenia grzewcze do sprzedaży w Polsce – kotły 3 klasy (120 ÷ 150 mg/m³).

Pozostałe dwa typy kotłów c.o. są standardowo wyposażone w wentylator nadmuchowy powietrza do spalania, a więc nie powinny świadomemu użytkownikowi stwarzać większych problemów eksploatacyjnych przy zamianie techniki spalania z tradycyjnej na „górne spalanie” (zakładając, że posiada on sprawną i dobrze dobraną instalację kominową). Nie jest to oczywiście jednoznaczne z faktem, że nie narazi siebie i domowników na niebezpieczeństwo związane z ewentualnym zacczadzeniem czy poparzeniem.

Biorąc pod uwagę jedynie wartości stężeń wybranych zanieczyszczeń (pomijając uzyskane wskaźniki energetyczne), w obu konstrukcjach kotłowych zamiana tradycyjnej metody spalania na „górne spalanie” niezależnie od spalanego paliwa spowodowała wzrost stężenia NOx. Wzrost ten w niektórych przypadkach był niewielki, a w niektórych około dwukrotny. Zamiana techniki spalania w przypadku spalania drewna kawałkowego za każdym razem niekorzystnie wpływała na stężenie Σ16WWA wg EPA (wzrost od 1,5 do 2 razy) oraz B(a)P (wzrost od 2 do 20 razy). Co prawda zamiana techniki spalania w obu przypadkach powodowała redukcję zanieczyszczeń pyłowych 1,3 krotnie, jednak maksymalnie jedynie do poziomu 235,3 mg/m³, a więc daleko od poziomu gwarantującego dotrzymanie standardów jakości powietrza. Stężenie CO w spalinach poprzez zmianę techniki spalania delikatnie spada, jednak spadek ten nie powoduje obniżenia tego zanieczyszczenia do poziomu, który można by porównać z jakimkolwiek kryterium istniejącym dla kotłów c.o. zasilanych drewnem. Najwyższe stężenie CO dla najgorszej klasy kotłów c.o. wg. PN-EN 303-5:2012 (klasa 3) to 5000 mg/m³ dla najlepszych kotłów c.o. z ręcznym podawaniem paliwa (klasa 5) 700 mg/m³, a z automatycznym podawaniem paliwa (klasa 5) 500 mg/m³. Najniższe stężenie uzyskane w testach spalania drewna po zmianie techniki spalania wyniosło 7827,8 mg/m³.

W przypadku spalania drewna, zmieniając tradycyjną technikę spalania, w jednym z badanych kotłów c.o. (typ MODERATOR) podczas testów udało się zejść ze stężeniem CO do poziomu 4000 mg/m³. Jednak dla tego przypadku, mimo, że zamiana procesu spalania z tradycyjnego na „górne spalanie” spowodowała niemal 2-krotną redukcję emisji pyłu, stężenie tego zanieczyszczenia w spalinach było na poziomie prawie 400 mg/m³. W przypadku kotła c.o. typu KSW PLUS zamiana tradycyjnego procesu spalania na „górne spalanie” spowodowała niemal 5-krotną redukcję pyłu w spalinach, jednak nawet taka, wydawałoby się znaczna redukcja, spowodowała, że stężenie pyłu było na poziomie

279,3 mg/m³, przy jednoczesnym stężeniu CO na poziomie 8000 mg/m³, a więc znacznie odbiegającym od przyjętych obecnie standardów emisji.

Jak wykazano w ramach pracy nie można jednoznacznie stwierdzić, że zamiana tradycyjnej techniki spalania na „górne spalanie” spowoduje określoną redukcję konkretnych emisji zanieczyszczeń. Będzie to bowiem zależało od wielu czynników, a jak wykazano pewne zanieczyszczenia (w analizowanych przypadkach zawsze NOx) po zmianie techniki spalania ulegają zwiększeniu.

Można zatem podsumować, że „górne spalanie” nie zawsze przynosi znaczną redukcję emisji zanieczyszczeń. Powstaje więc pytanie czy zasadnym będzie lokowanie znacznych zasobów finansowych, kadrowych oraz organizacyjnych w promocję tego rozwiązania. Szczególnie też biorąc pod uwagę, że w każdej z przeprowadzonych prób emisja normowanych związków zanieczyszczeń przy zastosowaniu rozpału od „góry” wciąż pozostawała na poziomie kotła pozaklasowego i była przynajmniej kilkukrotnie, a czasami nawet kilkunastokrotnie, wyższa od najlepszej dostępnej na rynku technologii – czyli kotła 5 klasy lub urządzenia spełniającego wymogi Ekoprojektu.

Jak wykazano poprzez przeprowadzane badania energetyczno-emisyjne, w kotłach c.o. „szybowych” zarówno paliwa podstawowe jak i zastępcze powinno się spalać rozpalając złożę paliwa od góry. Tego typu prowadzenie procesu spalania, w urządzeniach z doprowadzeniem powietrza pod ruszt oraz wielopunktowo do komory spalania daje stosunkowo najlepsze parametry energetyczne (moc, sprawność) jak i stosunkowo najniższą emisję zanieczyszczeń.

Badania przeprowadzone na typowym kotle c.o. komorowym, w którym producent założył spalanie paliw poprzez dorzucanie kolejnych porcji paliwa „na żar” nie wykazały jednoznacznej poprawy emisji wszystkich zanieczyszczeń poprzez zmianę techniki spalania czyli rozpał złoża paliwa „od góry”. Dodatkowo wykazano, że tego typu praktyki mogą stwarzać zagrożenie oraz mogą negatywnie wpływać na stan techniczny / czas użytkowania kotła c.o. (temperatury i obciążenie cieplne). W przypadku rozpału „od góry” nie zawsze można również osiągnąć zakładany komfort cieplny, a więc moc nominalną urządzenia.

Należy również wspomnieć, że stosowanie techniki spalania „od góry” nie jest możliwe we wszystkich urządzeniach grzewczych. Większość pieców kaflowych ma na tyle niską komorę spalania, że zastosowanie w tych urządzeniach takiej techniki spalania byłoby bardzo kłopotliwe, a wręcz można jednoznacznie stwierdzić, że jest niemożliwe.

Kolejną niedogodnością stosowania techniki spalania „od góry” jest czasochłonność. Ponieważ nie jest dopuszczone dosypanie kolejnej porcji paliwa na żar, należy czekać aż zasypana wcześniej porcja się dopali. Za każdym razem należy nowe złożo rozpalić, bądź też wyjąć pozostały żar z urządzenia, umieścić na ruszcie wymaganą porcję paliwa, na górze umieszczając wyjęty uprzednio żar. Tego typu operacje nawet z wykorzystaniem popielnika niosą za sobą zagrożenie poparzenia osoby obsługującej urządzenie oraz zagrożenie zapruszenia ognia i pożaru. Są też źródłem znacznej emisji zanieczyszczeń w samej kotłowni czy pomieszczeniu gdzie znajduje się kocioł, wpływając negatywnie na jakość powietrza w domu.

W Polsce mamy bardzo dużą ilość wszelakich konstrukcji kotłów c.o. komorowych z ręcznym zasypem paliwa. Wybrane do badań kotły c.o. są typowymi urządzeniami grzewczymi stosowanymi w sektorze ogrzewnictwa indywidualnego, nie są jednak próbką reprezentatywną, a więc przedstawione w pracy wyniki badań nie powinny być bezpośrednio przypisywane do innych, podobnych konstrukcji. Na pewno, w niektórych istnieje możliwość prowadzenia procesu spalania „od góry” podobnie jak ma to miejsce w kotłach c.o. szybowych i będzie to skutkowało pozytywnym efektem ekologicznym. W innych urządzeniach efekt ten się nie pojawi lub może być wręcz odwrotny od oczekiwanego. Jednak oceny bezpieczeństwa prowadzenia takiego procesu nie powinno się dokonywać w kotłowi użytkownika, nieprzystosowanej do badań i niezabezpieczonej przed ewentualnymi skutkami niepowodzenia próby.

Należy pamiętać, że każdy użytkownik kupując urządzenie grzewcze powinien je eksploatować w sposób zgodny z dołączoną przez producenta instrukcją obsługi. Inna eksploatacja może stwarzać zagrożenie dla zdrowia i życia użytkownika oraz być przyczyną awarii czy utraty gwarancji udzielonej na kocioł c.o.