



**INSTYTUT CHEMICZNEJ  
PRZERÓBKI WĘGLA**



## **Przemysłowe testy współspalania paliwa alternatywnego z węglem kamiennym w kotle z rusztem mechanicznym typu WR-25**

Dr inż. Ryszard Wasielewski  
Centrum Badań Technologicznych IChPW

# Podstawowe informacje dotyczące testu przemysłowego

---

## **Cel badań:**

ocena wpływu procesu współspalania odpadów z węglem na pracę i parametry eksploatacyjne kotła WR-25, a także określenie możliwości spełnienia przez instalację energetyczną wymagań legislacyjnych dotyczących ochrony środowiska.

## **Charakter badań:**

dwie serie porównawczych pomiarów energetyczno-emisyjnych:

- spalania bazowego węgla kamiennego,
- spalania mieszanki węgla z 10% udziałem paliwa alternatywnego.

## **Zakres pomiarów:**

wszystkie oznaczenia emisyjne dla współspalania odpadów, a także weryfikacja warunków procesowych wymaganych dla termicznego przekształcania odpadów.

## Opis instalacji badawczej

---

### Kocioł WR-25

Kocioł WR-25, o wydajności nominalnej 23,26 MW<sub>t</sub> jest kotłem wodno-rurowym wysokotemperaturowym z rusztem ruchomym, sztucznym ciągiem (2 wentylatory spalin) i nadmuchem (2 wentylatory podmuchu). Komora spalania posiada wymiary poziome: 5,30 m x 3,90 m.

**Paliwo bazowe:** miał węgla kamiennego o wartości opałowej 22-24 MJ/kg.

**Uboczne produkty spalania:** żużel i popiół lotny.

### Instalacja oczyszczania spalin

Kocioł WR-25 wyposażony jest w dwustopniowy system odpylania spalin, który składa się z dwóch połączonych szeregowo odpylaczy cyklonowych. Pierwszy stopień stanowi 28 multicyklonów przelotowych o średnicy 250 mm, a drugi - bateria odpylaczy cyklonowych. Popiół lotny jest wprowadzany do odżuźlaczy kotłowych i razem z żużlem wyprowadzany na składowisko żużla. Spaliny odprowadzane są do atmosfery mурowanym emitorem o wysokości 120 m i średnicy wylotowej 5,2 m.

## Charakterystyka spalanych materiałów

*Wygląd paliwa alternatywnego oraz mieszanki węgla kamiennego z 10% udziałem paliwa alternatywnego*



Paliwo alternatywne wytworzono w instalacji produkcyjnej MAKPOL Recykling Sp. z o. o. z Lublińca. Materiał dostarczony w postaci sypkiej, rozdrobnionej do granulacji poniżej 40 mm. Stanowił on mieszankę frakcji tworzyw sztucznych, gumy, tkanin, papieru i tektury oraz drewna pochodzących z przetwórstwa odpadów samochodowych, a także mułu węglowego z niewielkim dodatkiem haloizytu

# Charakterystyka fizykochemiczna spalanych materiałów

## Podstawowe właściwości fizykochemiczne

Oznaczenie		Symb.	Jedn.	Węgiel kamienny	Paliwo alternatywne	Mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego
Analiza techn.	Zaw. wilgoci całkowita	$W_t^r$	%	8,0	3,1	13,6*
	Zawartość popiołu	$A^d$	%	21,5	24,4	22,0
	Zaw. części lotnych	$V^{daf}$	%	36,45	89,40	40,90
Analiza elementarna	Węgiel	$C^d$	%	67,50	56,5	68,80
	Wodór	$H^d$	%	4,10	7,15	4,31
	Siarka całkowita	$S_t^d$	%	0,50	0,25	0,45
	Azot	$N^d$	%	1,20	0,78	1,28
	Chlor	$Cl^d$	%	0,20	0,86	0,39
	Fluor	$F^d$	%	0,02	0,08	0,01
Ciepło spalania		$Q_s^a$	kJ/kg	26 754	29 216	28 406
Wartość opałowa		$Q_i^r$	kJ/kg	23 861	27 357	23 797
Gęstość w st. roboczym		$(BD)^r$	kg/m <sup>3</sup>	877	186	812
Gęstość w st. suchym		$(BD)^d$	kg/m <sup>3</sup>	807	180	702

\* Podczas dozowania mieszanki stosowano dowlżanie

# Charakterystyka fizykochemiczna spalanych materiałów

## Zawartość metali ciężkich

Oznaczenie	Jednostka	Węgiel kamienny	Paliwo alternatywne	Mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego
Ołów, Pb <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	15,30	102,00	27,70
Kadm, Cd <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	0,166	2,180	<0,204
Miedź, Cu <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	29,4	2207,0	39,8
Chrom całkow., Cr <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	22,1	345,0	24,2
Nikiel, Ni <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	14,4	160,0	19,6
Rtęć, Hg <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	0,039	0,245	0,069
Wanad, V <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	47,4	23,0	37,1
Antymon, Sb <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	1,44	245,00	26,50
Kobalt, Co <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	7,5	95,3	15,3
Arsen, As <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	1,800	1,860	<0,714
Mangan, Mn <sup>d</sup>	mg/kg s.m.	188,0	443,0	195,0
<b>Suma met. ciężkich</b>	mg/kg s.m.	<b>327,54</b>	<b>3624,59</b>	<b>386,19</b>

Paliwo alternatywne zawiera znacznie większe ilości metali ciężkich w stosunku do paliw kopalnych.

# Charakterystyka fizykochemiczna spalanych materiałów

## Skład chemiczny popiołu

Oznaczenie	Jedn.	Węgiel kamienny	Paliwo alternatywne	Mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego
SiO <sub>2</sub>	%	53,72	13,89	46,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	23,22	97,81*	42,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	8,27	3,01	7,16
CaO	%	3,41	4,49	3,95
MgO	%	2,86	0,99	2,46
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	%	0,68	0,42	0,64
SO <sub>3</sub>	%	2,55	0,72	1,76
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	%	0,13	0,29	0,14
TiO <sub>2</sub>	%	0,88	1,40	1,11
BaO	%	0,37	0,28	0,27
SrO	%	0,13	0,02	0,12
Na <sub>2</sub> O	%	1,29	3,32	2,47
K <sub>2</sub> O	%	2,88	0,72	2,51

\*Zawartość glinu w popiele (z obliczeń) 51,95%

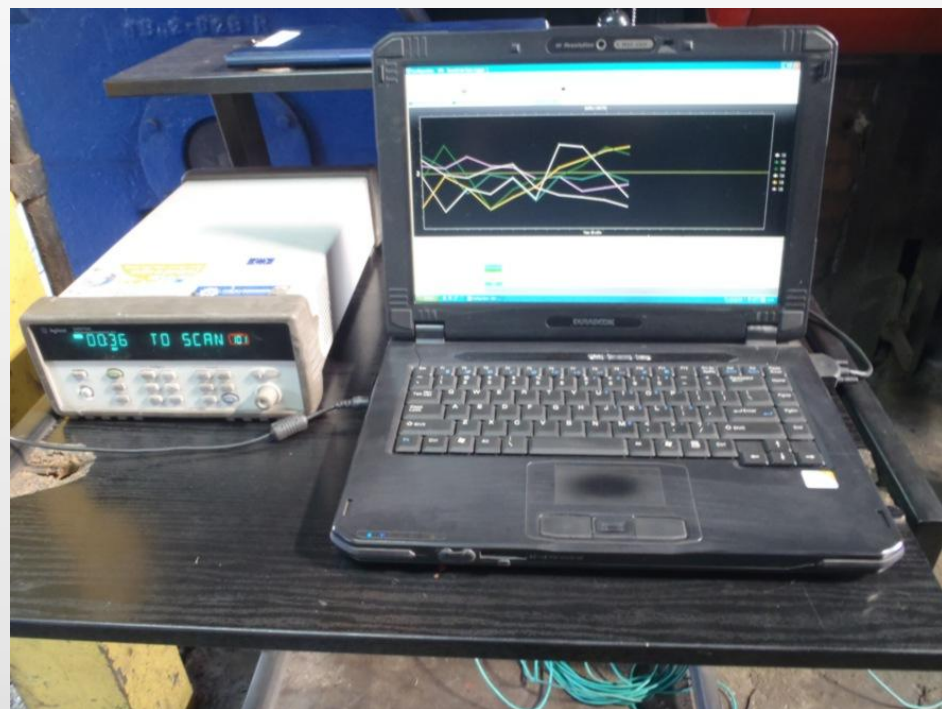
## Przygotowanie i dozowanie mieszanki paliwowej



Mieszankę paliwową sporządzono na placu magazynowym przy wykorzystaniu ładowarki z odważonych porcji węgla kamiennego (45 Mg) i paliwa alternatywnego (5 Mg). Zarówno węgiel jak i mieszankę paliwową podano do zasobników przykotłowych poprzez istniejący układ nawęglania.

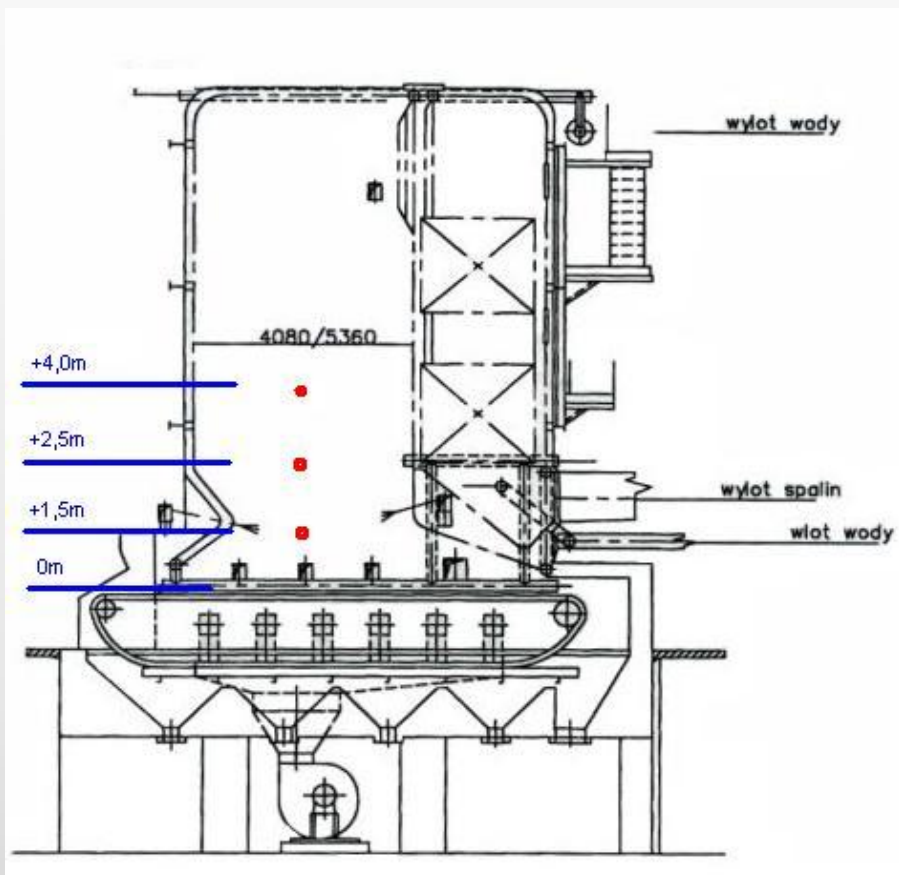


## Rozkład temperatury spalin w komorze spalania

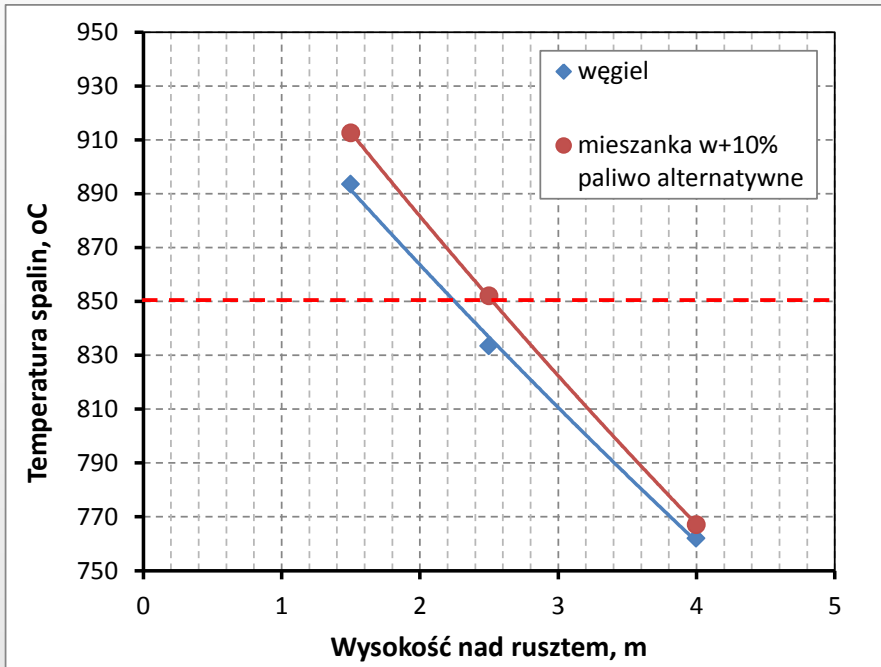


*Dodatkowe punkty pomiaru temperatury spalin w komorze spalania i rejestracja zmian temperatury*

# Rozkład temperatury spalin w komorze spalania



Rozkład średniej temperatury spalin w komorze spalania



Podczas współspalania mieszanki paliwowej z 10% udziałem paliwa alternatywnego średnia temperatura spalin we wszystkich punktach pomiarowych komory spalania uległa podwyższeniu.

Schemat usytuowania punktów pomiaru temperatury w komorze spalania kotła WR-25

## Czas przebywania spalin w strefie powyżej 850°C

Parametr	Jedn.	Węgiel kamienny	Mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego
Prędkość spalin w palenisku	m/s	2,08	1,92
Strumień spalin (w warunkach rzeczywistych)	m <sup>3</sup> /h	154904	142953
Gęstość spalin	kg/m <sup>3</sup>	0,2949	0,2961
Wysokość strefy powyżej 850°C	m	2,35	2,5
<b>Czas przebywania gazów spalinowych w strefie temperatury powyżej 850 C</b>	sek.	<b>1,13</b>	<b>1,3</b>

Warunek legislacyjny dla Termicznego Przekształcania Odpadów (TPO) w badanym kotle WR-25 podczas testów nie został dotrzymany.

## Przebieg procesu spalania

---

*Wygląd warstwy spalanego materiału w komorze spalania*



*węgiel kamienny*



*mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego*

## Wyniki bilansu energetycznego kotła

Parametr		Jedn.	Węgiel kamienny	Mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego
Przepływ wody przez kocioł		Mg/h	318,98	324,35
Moc cieplna kotła		MW	17,352	18,835
Średni strumień paliwa		Mg/h	2,90	3,08
Strumień energii chemicznej paliwa		MW	19,221	20,388
Strata	wylotowa fizyczna spalin	MW	1,47	1,43
		%	7,63	7,02
	niespalonego CO w spalinach	MW	0,01	0,01
		%	0,04	0,03
	entalpii i zawartości części palnych w popiele lotnym i żużlu	MW	0,62	1,06
	%	3,24	5,20	
do otoczenia	MW	0,23	0,24	
(promieniowania i konwekcji)	%	1,19	1,17	
Sprawność energetyczna kotła (brutto)		%	<b>87,26</b>	<b>86,63</b>

Podczas obydwu testów kocioł pracował z podobną wydajnością, przy tej samej grubości warstwy materiału podawanego na ruszt.

# Badania ubocznych produktów spalania/współspalania

*Zawartość części palnych w ubocznych produktach spalania/współspalania węgla kamiennego i paliwa alternatywnego.*

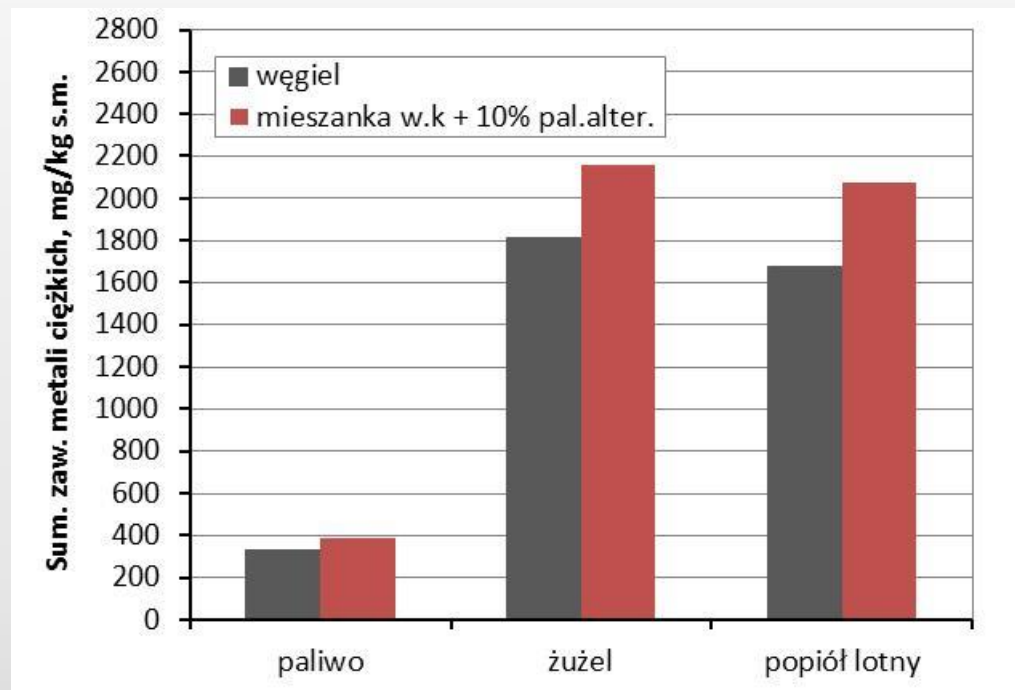
Parametr	Węgiel kamienny		Mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego	
	żużel	popiół lotny	żużel	popiół lotny
Zawartość części palnych, 815°C [%]	5,78	29,73	15,63	33,38



Dla współspalania odpadów nie określono legislacyjnego obowiązku dotrzymywania odpowiedniego poziomu dopalenia ubocznych produktów procesowych (na poziomie niższym niż 5% strat prażenia)

# Badania ubocznych produktów spalania/współspalania

*Porównanie zawartości metali ciężkich w spalanych materiałach oraz w ubocznych produktach ich spalania*



**Produkty uboczne spalania mieszanki paliwowej z 10% udziałem paliwa alternatywnego zawierają więcej metali ciężkich w stosunku do produktów ubocznych spalania węgla kamiennego.**

## Pomiary emisyjne

---



*Punkty poboru spalin do oznaczeń emisyjnych usytuowano na kolektorach spalin za wentylatorami*



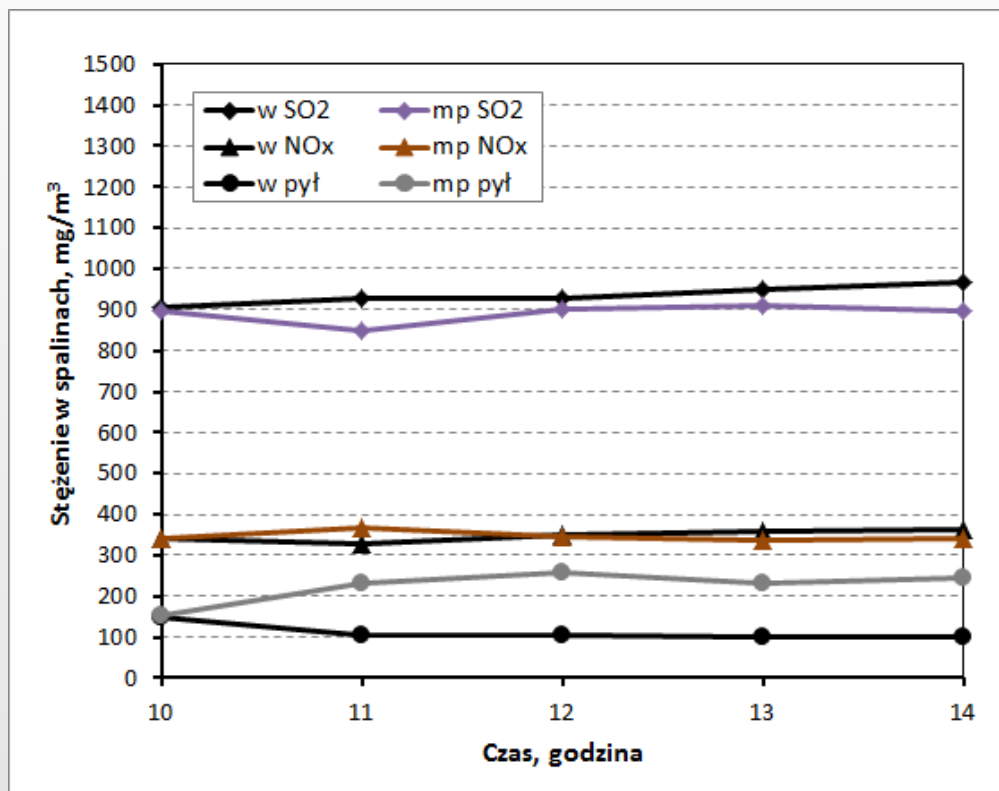
## Wyniki badań emisyjnych

Porównanie emisji zanieczyszczeń podczas spalania  
węgla kamiennego oraz mieszanki węgla kamiennego i 10% paliwa alternatywnego

Parametr	Jednostka	Emisja zmierzona		Emisja dopuszczalna	
		Spalanie węgla kam.	Spalanie mieszanki w. k. i 10% p. a.	Spalanie węgla kam.	Współspalanie odpadów
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	953,4	920,9	<b>1500</b>	<b>1386,5</b>
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	<b>407,4</b>	366,0	<b>400</b>	<b>391,1</b>
PYŁ	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	141,6	<b>243,8</b>	<b>400</b>	<b>47,2</b>
CO	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	39,0	40,1	-	<b>41,6</b>
HCl	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	82,5	<b>208,6</b>	-	<b>77,1</b>
HF	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	1,4	1,03	-	<b>1,45</b>
TOC	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	9,3	1,9	-	<b>9,7</b>
Cd+Tl	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	0,0005	0,0012	-	<b>0,05</b>
Hg	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	0,00014	0,0008	-	<b>0,05</b>
Sb+As+Pb+Cr+Co +Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	0,236	<b>0,504</b>	-	<b>0,5</b>
PCDD/DF	ng/Nm <sup>3</sup> <sub>u</sub>	0,017	<b>0,232</b>	-	<b>0,1</b>

(stężenie substancji w spalinach w warunkach umownych, przeliczone na 6% zawartości tlenu w spalinach)

## Wyniki badań emisyjnych



Przebieg zmian emisji NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i pyłu, wg wskazań monitoringu emisyjnego ciepłowni.

w – węgiel kamienny, mp - mieszanka węgla i 10% paliwa alternatywnego

# Podsumowanie

---

- ❖ Podczas podawania mieszanki węgla z paliwem alternatywnym do kotła oraz odbioru ubocznych produktów spalania nie stwierdzono żadnych utrudnień technologicznych. Kocioł pracował stabilnie, bez utrudnień, przy wykorzystaniu istniejących układów pomiarowych i regulacji.
- ❖ Wykonane badania przemysłowe wykazały, że możliwe jest spełnienie wymagań środowiskowych dla instalacji energetycznej w stosunku do bazowego paliwa (węgla kamiennego) pomimo zastąpienia jego części przez paliwo alternatywne wytwarzane przez firmę MAKPOL Recykling Sp. z o. o..
- ❖ W obowiązującej sytuacji legislacyjnej, podejmując zamiar spalania/współspalania paliwa alternatywnego, należy jednak mieć pełną świadomość o tym, że jest to odpad i działalność w tym zakresie wymaga zachowania wszelkich związanych z tym obostrzeń formalno-prawnych i technologicznych.
- ❖ Biorąc pod uwagę aktualne wymagania legislacyjne dla procesu współspalania odpadów – spalanie mieszanki węgla kamiennego z 10% udziałem paliwa alternatywnego w kotle WR-25 powoduje przekroczenia standardów emisyjnych w zakresie emisji: HCl, pyłu, metali ciężkich oraz dioksyn i furanów.

# Podsumowanie

---

- ❖ Również czas przebywania spalin w obszarze powyżej 850°C jest zbyt krótki (1,3 sek.) dla spełnienia wymagań określonych legislacyjnie dla termicznego przekształcania odpadów (2 sek.).
- ❖ Podsumowując, należy stwierdzić, że przemysłowe testy współspalania paliw alternatywnych z węglem w kotłach energetycznych są przedsięwzięciem celowym, w odniesieniu do potrzeb istniejącego w Polsce systemu gospodarki odpadami. W warunkach krajowych istnieje problem zagospodarowania strumienia 3-3,5 mln Mg odpadów palnych/rok, którego nie będą w stanie przyjąć powstające spalarnie odpadów komunalnych ani przemysł cementowy.
- ❖ Podjęcie współspalania węgla kamiennego z paliwem alternatywnym w kotle WR-25 wymaga podjęcia działań modernizacyjnych w zakresie konstrukcji komory spalania (np. zmiany w usytuowaniu wymienników ciepła) oraz w układzie oczyszczania spalin (np. doposażenie w bardziej efektywny system odpylania, a także usuwania metali ciężkich i dioksyn).

---

*Informacje zawarte w niniejszej prezentacji zostały zebrane w ramach projektu badawczego pt.: "EkoRDF - innowacyjna technologia wytwarzania paliwa alternatywnego z odpadów komunalnych dla elektrowni i elektrociepłowni - kluczowym elementem systemu gospodarki odpadami w Polsce", który jest finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, zgodnie z umową GEKON/O5/268002/17/2015.*



***Dziękuję za uwagę***