



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.:

## Testy energetyczno-emisyjne spalania węgla kamiennego z dodatkiem żeluzoboczego w kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa

Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla

Dyrektor

dr inż. Aleksander Sobolewski

podpis i pieczęć dyrektora

Zabrze, październik 2018r.

190/2018  
nr ewidencyjny IChPW

Zleceniodawca: Jednostka Innowacyjno-Wdrożeniowa INWEX  
Al. Solidarności 34, 25-323 Kielce  
Komórka organizacyjna: Centrum Badań Technologicznych

Kierownik komórki organizacyjnej: dr inż. Sławomir Stelmach

Tytuł pracy: Testy energetyczno-emisyjne spalania węgla kamiennego z dodatkiem żeluzoboczego w kotle c.o. z ręcznym zasypem paliwa

Termin rozpoczęcia pracy: 19.09.2018

Termin zakończenia pracy: 30.10.2018

Autorzy pracy:

1. dr inż. Katarzyna Matuszek   
(imię i nazwisko, podpis)
2. mgr inż. Piotr Hrycko   
(imię i nazwisko, podpis)
3. Zygmunt Kamiński  
(imię i nazwisko, podpis)
4. Michał Pańczyk  
(imię i nazwisko, podpis)


Praca wykonana w ramach projektu nr: 31.18.513

Nr umowy: -

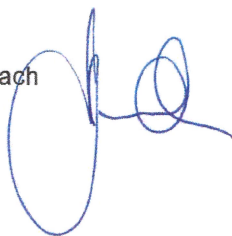
Tytuł projektu: Testy energetyczno-emisyjne węgla kamiennego z dodatkiem żeluzoboczego

Termin rozpoczęcia projektu: 19.09.2018

Termin zakończenia projektu: 30.11.2018

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

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



Ilość stron: 15  
Ilość tablic: 5  
Ilość rysunków: 1  
Ilość załączników:-

Rozdzielnik:

- Zleceniodawca
- CBT IChPW

1 egz.  
1 egz.

## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP .....	3
2. PODSTAWA OPRACOWANIA.....	5
3. CEL I ZAKRES BADAŃ .....	5
4. OPIS KOTŁA WYKORZYSTANEGO DO TESTÓW.....	6
5. PRZEBIEG TESTU SPALANIA PALIW .....	7
6. WYNIKI BADAŃ .....	10
7. PODSUMOWANIE.....	14

## 1. WSTĘP

Powietrze złej jakości, to problem, z którym społeczeństwo Polski musi się zmagać w każdym sezonie grzewczym. Główny problem leży w niewłaściwym spalaniu paliw stałych, których w indywidualnych piecach i kotłach c.o. rocznie spala się około 20 mln Mg. Paliwa te można spalać zachowując standardy jakości spalin, jednak jest to możliwe jedynie w odpowiednio zaawansowanych, spełniających obecne BAT urządzeniach grzewczych. Są to przeważnie urządzenia z automatycznym podawaniem paliwa do spalania, elektronicznym układem sterowania wielkością strumienia powietrza podawanego do procesu, dopracowaną konstrukcyjnie komorą spalania/dopalania i rozwiniętą powierzchnią wymiany ciepła czy wewnętrznym systemem odpylania spalin. Niestety tak zaawansowane urządzenia stanowią jedynie około 20% obecnie eksploatowanych urządzeń wytwarzających ciepło w gospodarstwach domowych. Pozostałe przestarzałej konstrukcji urządzenia grzewcze, takie jak piece, piece kaflowe czy kotły c.o., z ręcznym zasypem paliwa charakteryzują się bardzo wysoką emisją zanieczyszczeń w tym pyłu, którego stężenie często przekracza wartość 500, a nawet 2000 mg/m<sup>3</sup> (w warunkach umownych, w przeliczeniu na 10 % O<sub>2</sub>). Można się spotkać z przypadkami domowych urządzeń grzewczych, które w ciągu doby emitują 0,5 kg pyłu do atmosfery. Jak wiadomo stężenie pyłu w powietrzu jest limitowane i jego dobową wartość nie powinna przekraczać 50 µg/m<sup>3</sup>. Dopuszcza się aby w ciągu roku wartość ta była przekroczona nie więcej niż 35 razy, jednak roczne stężenie nie może przekroczyć 40 µg/m<sup>3</sup>. Rzeczywistość naszego kraju wygląda zaś tak, że dopuszczony limit przekroczeń na rok mamy już często wykorzystany w lutym, a w aglomeracjach miejskich, czy na terenach z niekorzystnym ukształtowaniem terenu, kilkunastokrotne przekroczenia stężenia pyłu nikogo nie dziwią. A to tylko dane dotyczące jednego z zanieczyszczeń. Podobnie wygląda problem emisji innych zanieczyszczeń uwalnianych w procesie spalania realizowanego w przestarzałych urządzeniach grzewczych. Są to m.in. trujący czad, czyli CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ale również WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) w tym B(a)P, którego toksyczność szacowana w literaturze jest 20 tys. razy większa niż popularnego SO<sub>2</sub>. Ma to oczywiście odzwierciedlenie w stanie zdrowia, samopoczucia czy pośrednio w gospodarce (zwiększona liczba absencji pracowników spowodowana zwolnieniami lekarskimi, czy zwiększone nakłady na służbę zdrowia związane z chorobami układu oddechowego lub krążeniowego, których kondycja w dużej mierze zależy od jakości powietrza, którym oddychamy). Problem jest ogromny, ponieważ wymiana starych urządzeń



na nowe to nie jest proces krótkotrwały. Należy przyjąć, że redukując emisję zanieczyszczeń jedynie poprzez wymianę urządzeń grzewczych na te spełniające odpowiednie standardy, oczekiwaną poprawę jakości powietrza osiągniemy za około 8 ÷ 10 lat. To zdecydowanie za długo zarówno dla przeciętnego Polaka jak i Europejczyka, ponieważ powietrze nie zna granic, problem zanieczyszczonego powietrza nie jest tylko i wyłącznie problemem wewnętrznym naszego kraju. Można jednak podejść do problemu od drugiej strony. W starych urządzeniach grzewczych zazwyczaj nie wiele można zrobić, żeby we właściwy sposób zorganizować proces spalania i w ten sposób zapobiec powstawaniu znacznych ilości zanieczyszczeń. Można jednak tak zmodyfikować paliwo aby w trakcie prowadzonego jak do tej pory procesu spalania uniknąć wysokiej emisji zanieczyszczeń. Takim przykładem modyfikacji paliwa jest jego termiczna obróbka w warunkach kontrolowanych/przemysłowych. W ten sposób powstaje m.in. „Błękitny węgiel”. Na rynku pojawiają się również środki, których aplikacja do spalanego paliwa, powinna spowodować czy to poprawę sprawności urządzenia czy też redukcję określonych związków uważanych za zanieczyszczenia np. NO<sub>x</sub>. Badania skuteczności działania tego typu dodatków wykonuje się przeprowadzając testy w warunkach kontrolowanych, odzwierciedlających praktyczne przeznaczenie danego produktu. Ustala się typ urządzenia grzewczego np. kocioł c.o. z ręcznym zasypem paliwa i wentylatorem nadmuchowy powietrza do spalania i ustala rodzaj paliwa, do którego środek będzie aplikowany np. węgiel kamienny określonego sortymentu czy wybrany typ biomasy np. drewno kawałkowe. Określa się również zakres emisji i parametrów energetycznych jaki będzie podlegał kontroli w trakcie testów. Pierwszy test energetyczno-emisyjny realizuje się jako bazowy, na wybranym urządzeniu grzewczym zasilanym uprzednio wybranym paliwem. Następnie przeprowadza się jak najbardziej zbliżony do testu bazowego, test z dodatkiem badanego produktu. Podobieństwo testów ocenia się na podstawie średniej mocy urządzenia, co jest podyktowane możliwością dotrzymania komfortu cieplnego przez potencjalnego, użytkownika końcowego. Celem nadrzędnym wszystkich posiadaczy urządzeń grzewczych jest odpowiednie ogrzanie pewnej ilości pomieszczeń. Zastosowanie dodatku poprawiającego emisję zanieczyszczeń przede wszystkim nie może powodować, że urządzenie nie będzie w stanie wyprodukować takiej ilości ciepła jak przed stosowaniem nowego produktu dodawanego do paliwa. Kolejnym wskaźnikiem obrazującym intensywność procesu spalania w urządzeniu jest zawartość tlenu w spalinach. Tlen przekraczający wartość 18 % (CO<sub>2</sub> 2 ÷ 3 %) wskazuje, że intensywność

procesu spalania zmniejsza się w stronę wygaszania. Stężenie tlenu w spalinach przekraczające 19% ( $\text{CO}_2$  1 ÷ 2 %) świadczy praktycznie o wygaszaniu (proces przestaje być autotermiczny).

## 2. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą niniejszego opracowania jest zlecenie z dn. 19.09.2018 r. z Jednostki Innowacyjno-Wdrożeniowej INWEX, Al. Solidarności 34, 25-323 Kielce.

## 3. CEL I ZAKRES BADAŃ

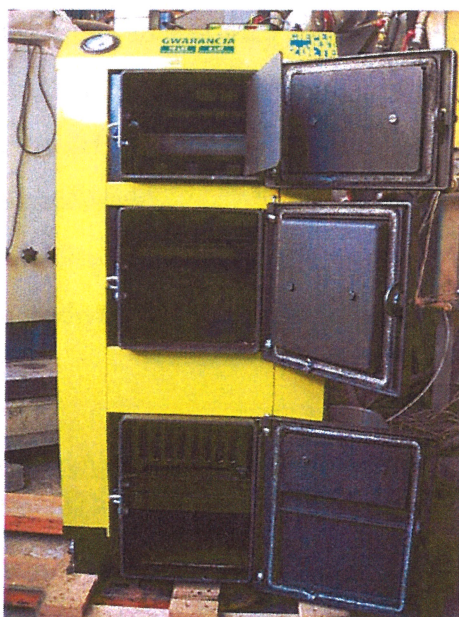
Niniejsza praca miała na celu sprawdzenie efektywności dodatku paliwowego „żelu roboczego” firmy INDEX.

Zakres opracowania obejmował:

- przeprowadzenie analizy fizykochemicznej paliwa bazowego-węgla kamiennego sortyment miał,
  - oznaczenie zawartości wilgoci  $W_t^a$ ,  $W^a$ , 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:  $C_t^a$ ,  $H_t^a$ ,  $N^a$ ,  $S_t^a$ ,  $S_A^a$ ,  $S_C^a$ ,  $O_d^a$ ,
  - oznaczenie RI,
- wyznaczenie analizy chromatograficznej żelu roboczego,
- oznaczenie składu chemicznego popiołu żelu roboczego,
- wykonanie pomiarów energetyczno-emisyjnych z wykorzystaniem kotła c.o. z ręcznym załadunkiem paliwa,
- wyznaczenie stężeń zanieczyszczeń:  $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , pyłu, TOC, 16 WWA w tym B(a)P podczas spalania węgla kamiennego sortyment miał z dodatkiem roztworu (żel roboczy rozcieńczony wodą) oraz podczas spalania paliwa bazowego-węgla kamiennego sortyment miał.

#### 4. OPIS KOTŁA WYKORZYSTANEGO DO TESTÓW

Badania energetyczno-emisyjne, spalania paliw przeprowadzono w kotle c.o. typu KSW o mocy 20 kW z ręcznym zasypem paliwa. Kocioł c.o. (rys. 1) KSW o mocy 20 kW z ręcznym zasypem paliwa jest przedstawicielem typoszeregu niskotemperaturowych, stalowych kotłów wodnych, przeznaczonych do układów otwartych, przystosowanych do spalania węgla kamiennego sortyment orzech i węgla kamiennego sortyment groszek. W jednostkach tych paliwo zasypywane jest do komory załadowniczej zakończonej rusztem wodnym. 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. Do komory spalania podawany jest strumień powietrza pierwotnego za pomocą wentylatora nadmuchowego umieszczonego na górnej ścianie kotła. Spaliny po przejściu przez wymiennik ciepła spaliny-woda, przechodzą przez czopuch kotła do komina. Regulacja wydajności cieplnej kotła realizowana jest przez elektroniczny sterownik temperatury. Sterownik ten steruje pracą wentylatora powietrza i pompą obiegową c.o. Kocioł wyposażony jest również w mechaniczny przegarniacz rusztu. Kocioł izolowany jest wełną mineralną osłoniętą malowaną blachą stalową.



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



## 5. PRZEBIEG TESTU SPALANIA PALIW

Testy emisyjne spalania węgla kamiennego sortyment miał z dodatkiem roztworu (żel roboczy rozcieńczony wodą) i paliwa bazowego-węgla kamiennego sortyment miał prowadzono w Laboratorium Technologii Spalania i Energetyki. W trakcie testu dokonywano pomiaru składu spalin: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO, SO<sub>2</sub> oraz pobierano próbki spalin do oznaczenia stężenia pyłu, całkowitych zanieczyszczeń organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (16 WWA). Dodatkowo rejestrowano parametry energetyczne kotła takie jak: temperaturę spalin w czopuchu kotła, temperatury wody dolotowej i wylotowej z kotła, przepływ wody oraz ciąg kominowy.

### *Opis układu pomiarowego*

#### Skład spalin

Do pomiaru składu spalin wykorzystano analizator mobilny firmy SIEMENS. W skład analizatora weszły analizatory ULTRAMAT 23 umożliwiające pomiar CO w zakresie 0÷5%, CO<sub>2</sub> w zakresie 0÷25%, SO<sub>2</sub> w zakresie 0÷1000 ppm i analizator NO o zakresie 0÷1000 ppm. Analizatory te umożliwiają pomiar z wykorzystaniem referencyjnej metody NDIR. Pomiar stężenia O<sub>2</sub> w gazie odbywał się za pomocą analizatora typu OXYMAT 61, działającego w oparciu o referencyjną metodę wykorzystującą zjawisko paramagnetyzmu. Analizator ten posiada zakres 0÷25% O<sub>2</sub>. Stężenia O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO, SO<sub>2</sub> oznaczono na podstawie normy PN-ISO 10396:2001 „Emisja ze źródeł stacjonarnych. Pobieranie próbek do automatycznego pomiaru stężenia składników gazowych”.

Pobieranie spalin do analizy odbywało się w punkcie zlokalizowanym w kominie, w sposób ciągły, za pomocą układu sondy grzanej z filtrem ceramicznym, węży grzanego oraz układu kondycjonowania gazu.

#### Stężenie pyłu, całkowitych zanieczyszczeń organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych ( $\Sigma$ 16 WWA)

Pobieranie spalin w celu oznaczenia stężenia pyłu, całkowitych zanieczyszczeń organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (16 WWA) wykonano wykorzystując układ składający się z sondy połączonej z ogrzewanym separatorem pyłu, chłodnicy, systemu rurek z materiałem sorpcyjnym: żywicą XAD-2 i węglem aktywnym

oraz aspiratora gazu opierając się na procedurze Q/LS/02/C:2017: „Oznaczanie stężeń związków emitowanych w gazach odlotowych i technologicznych”. Pobrane próbki wg wymienionej procedury w postaci filtra pyłowego, zestawu rurek sorpcyjnych, kolbek (z zebranym kondensatem i popłuczynami) poddano analizie w Laboratorium Gazów Przemysłowych i Produktów Węglpochodnych IChPW w Zabrze zgodnie z procedurami:

Q/LG/02/B:2012 Oznaczanie zawartości pyłu

Q/LG/03/B:2012 Oznaczanie zawartości zanieczyszczeń organicznych

Q/LG/04/B:2012 Oznaczanie zawartości WWA\*

\*wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, w składzie których oznacza się 16 następujących związków: naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, b(a)antracen, chryzen, b(b+k)fluoranten, benzo(e)piren, benzo(a)piren, perylen, dibenzo(a,h)antracen + indeno(1,2,3-cd)piren, benzo(g,h,i)perylen. Oznaczenie zawartości 16 WWA pobranych na filtr z włókna szklanego oraz materiał pochłaniający tj. żywicę XAD2 oraz węgiel aktywny, polega na wyekstrahowaniu, z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych, substancji organicznej zaadsorbowanej na pyłe i materiale pochłaniającym. Następnie otrzymaną frakcję organiczną, zawierającą frakcję aromatyczną, poddaje się zateżeniu w rotacyjnej wyparce próżniowej. Uzyskaną frakcję związków z grupy 16 WWA znakuje się roztworem wzorcującym i poddaje ilościowej analizie na chromatografii gazowej z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID) Trace GC firmy Thermo Scientific.

Próbki spalin do oznaczenia stężenia pyłu, całkowitych zanieczyszczeń organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (16 WWA) pobierano w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w kominie.

Do przeprowadzenia bazowego procesu spalania wybrano opisany w pkt. 3 kocioł c.o. oraz węgiel kamienny sortyment miał o parametrach przedstawionych w tabelicy 1. Test bazowy dn. 3.10.2018r. rozpoczęto od wytworzenia warstwy żaru z podpałki i węgla kamiennego sortyment miał. Następnie na warstwę żaru zasypano 8 kg węgla kamiennego sortyment miał, w celu dobrego wygrzania kotła i ustabilizowania parametrów procesowych. Ustalono z przedstawicielem Zleceniodawcy, że oba zasypy pomiarowe będą miały masę po 10 kg każdy, co odpowiada średniej masie paliwa, w wiaderkach, którymi często przy zasypie posługują się użytkownicy takich urządzeń. Zgodnie z założeniami wykonano oba zasypy pomiarowe. Średnie parametry energetyczno-emisyjne przedstawiono poniżej.

Średnie wartości z 2 zasypów pomiarowych	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , %	Moc, kW	Temperatura spalin, °C
Test bazowy 03.10.2018r.	17,89	2,51	7,6	165,5

Test badawczy przeprowadzono zgodnie z planem dn. 4.10.2018r. Procedura wygrzewania kotła była identyczna jak w teście bazowym, przy czym zasyp przeprowadzono



Ze względu na informacje zawarte w dalszej części sprawozdania, w których omawiane są wyniki składu katalizatora INWEX REDOX (żel roboczy), a także analiza żużla i popiołów oraz skład spalin, które są poufne, przedstawiamy tylko najbardziej istotną część sprawozdania.

Redox moje obserwacje

**Temat:** Redox moje obserwacje

**Nadawca:**

**Data:** 2019-03-15, 00:10

**Adresat:** "inwex@inwex.pl" <inwex@inwex.pl>

**Kopia:** '

Witam Pana,

Postaram się w kilku zdaniach opisać działanie REDOX w moim i mojej mamy piecu. Po pierwsze zauważyłem, że ścianki pieca są czyste na tyle, że omiatamy je zwykłą zmiotką. Przedtem trzeba było użyć szczotki drucianej.

Jeśli chodzi o dym z komina, to jestem zaskoczony, bo zazwyczaj przy rozpalaniu widziałem czarny dym. Po dodaniu Redox dym zmienia barwę z czarnego na szary lub niebieski). Po osiągnięciu temp ok. 65-70 stopni, dym z komina przybiera barwę białą.

Zauważyłem w piecu u mamy, że ten sam opał, czyli mieszanka węgla z miałem z dodatkiem REDOX podnosi temperaturę do tego stopnia, że czujnik temperatury wylotu spalin osiąga temperaturę ponad 320 stopni. Sterownik warjuje. Ten sam opał bez REDOX spala się przy ustawieniu takich samych parametrów max 200 stopni.

Obserwuję mniejsze zużycie opału, o ile?... trudno stwierdzić, jakie to oszczędności. Za krótko go stosuję, żeby stwierdzić to dzisiaj. Myślę, że po sezonie grzewczym(biorąc pod uwagę cieplejsze dni w lutym) będę w stanie więcej napisać.

Pozdrawiam

z wykorzystaniem paliwa zwilżonego badanym dodatkiem. Ilość paliwa (miału węglowego) zmieszanego z „żelem roboczym” ustalono na 50 kg. Pierwotnie planowano „żel roboczy” rozcieńczyć wodą 1:1 i zwilżyć paliwo w proporcji 5l dodatku na 1 Mg paliwa. Ponieważ w trakcie przygotowania paliwa, przedstawiciel firmy INWEX zauważył, że ustalona ilość dodatku nie wystarczająco zwilża przygotowaną ilość paliwa, zdecydował o zmianie proporcji i tak do 50 kg węgla kamiennego sortyment miał dodano 0,175l „żelu roboczego” rozcieńczonego 0,35l wody. Niestety tak przygotowane paliwo stłumiło wcześniej przygotowany żar i wymusiło zastosowanie zmienionej w stosunku do testu bazowego procedury rozpalania, wygrzewania urządzenia i parametrów prowadzenia procesu spalania. Ostatecznie z dwóch zasypów osiągnięto średnie wartości przedstawione poniżej.

≈ 0,5l  
H<sub>2</sub>O  
≈ 1%

Średnie wartości z 2 zasypów pomiarowych	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , %	Moc, kW	Temperatura spalin, °C
Test badawczy 04.10.2018r.	16,03	4,19	13,0	264,4

Jak wynika z analizy wyników zmiana parametrów procesowych i wyższy stopień wygrzania komory spalania kotła w teście produktu spowodował niemal dwukrotne zwiększenie mocy kotła w porównaniu do testu bazowego z dn. 3.10.2018r., stąd porównywanie otrzymanych stężeń emisji zanieczyszczeń, z tak różnie prowadzonych procesów, miało się z celem. Zdecydowano więc o powtórzeniu testu bazowego z średnią mocą kotła na poziomie 12 ÷ 14 kW. Dnia 8.10.2018r. przeprowadzono kolejny test bazowy, podczas którego osiągnięto średnie wartości przedstawione poniżej.

Średnie wartości z 2 zasypów pomiarowych	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , %	Moc, kW	Temperatura spalin, °C
Test bazowy 08.10.2018r.	15,89	4,30	13,1	257,8

Jak widać, osiągnięto parametry umożliwiające dalszą analizę polegającą na porównaniu wybranych emisji zanieczyszczeń z testu bazowego oraz testu z dodatkiem „żelu roboczego”. Wyniki przedstawiono w tablicach 4a ÷ 4b.