

NISKOEMISYJNE SPALANIE PALIW I ODPADÓW

Jednym z kierunków badań realizowanych w Katedrze Pieców Przemysłowych i Ochrony Środowiska jest spalanie paliw. Pierwsze prace z tego zakresu realizowano dla przemysłu we współpracy z biurem projektowym BIPROHUT w Gliwicach. W kolejnych utworzony zespół Katedry realizował zadania badawcze w ramach problemu resortowego R.I.6, a następnie brał udział w Centralnym Programie Badań Podstawowych CPBP 02.18. Ukształtowana tematyka dotyczyła wpływu pulsacji na proces spalania. Zbudowane stanowiska eksperymentalne wyposażone w specjalną aparaturę naukową pozwoliły rozszerzyć tematykę w kierunku niskoemisyjnego spalania. Pozyskane programy komputerowe umożliwiają bardziej wnikliwe wykorzystanie wyników badań zachodzących procesów.

Spalanie paliw gazowych

Ważnym etapem w rozwoju technik pomiarowych było uruchomienie przez zespół badawczy aparatu smugowego JAB-451, który wykorzystywany jest do badania strug zimnych i gorących. Rozszerzyło to możliwości eksperymentalne i pozwoliło na zgłębienie mechanizmów oddziaływania pulsacji na substraty i płomień. Na podstawie wykonanych badań opracowano metodę dopalania gazów niskokalorycznych.

Wykonane dotychczas badania pozwoliły zgromadzić obszerny materiał teoretyczny i doświadczalny, związany z oddziaływaniem pulsacji na spalanie paliw gazowych. Wyniki badań były bardzo zachęcające. Dzięki pulsacjom osiągnięto lepszy stopień wypalania paliwa, wzrosła intensyfikacja mieszania substratów spalania i wymiany ciepła (nawet dwukrotnie). Stwierdzono także zjawiska negatywne, polegające na wzroście hałasu w pewnych obszarach częstotliwości oraz zawężenie zakresu stabilnej pracy palnika.

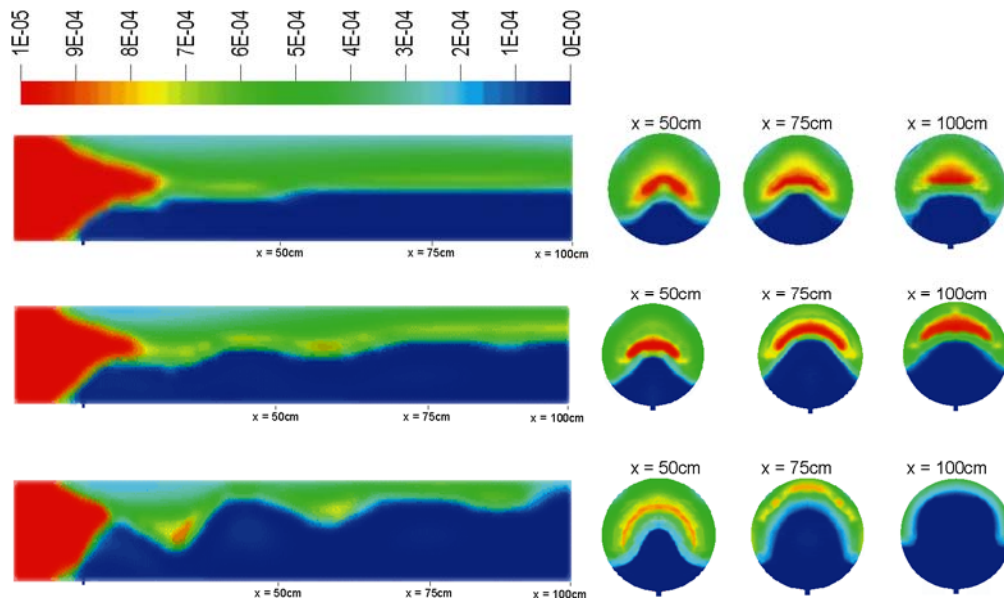
Ten ostatni fakt wywołał zainteresowanie Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej w Józefowie k/Otwocka, co zaowocowało uzyskaniem wspólnego grantu pt. „Urządzenie do wygaszania spalania za pomocą fal akustycznych”.

Zbudowano i oprzyrządowano stanowisko pomiarowe, pozwalające na gaszenie płomienia falą akustyczną. Efektem tych badań były dwa zgłoszenia patentowe. Unikalnym przyrządem zaprojektowanym przez zespół badawczy była mikrosonda, służąca do mierzenia ciśnienia akustycznego.

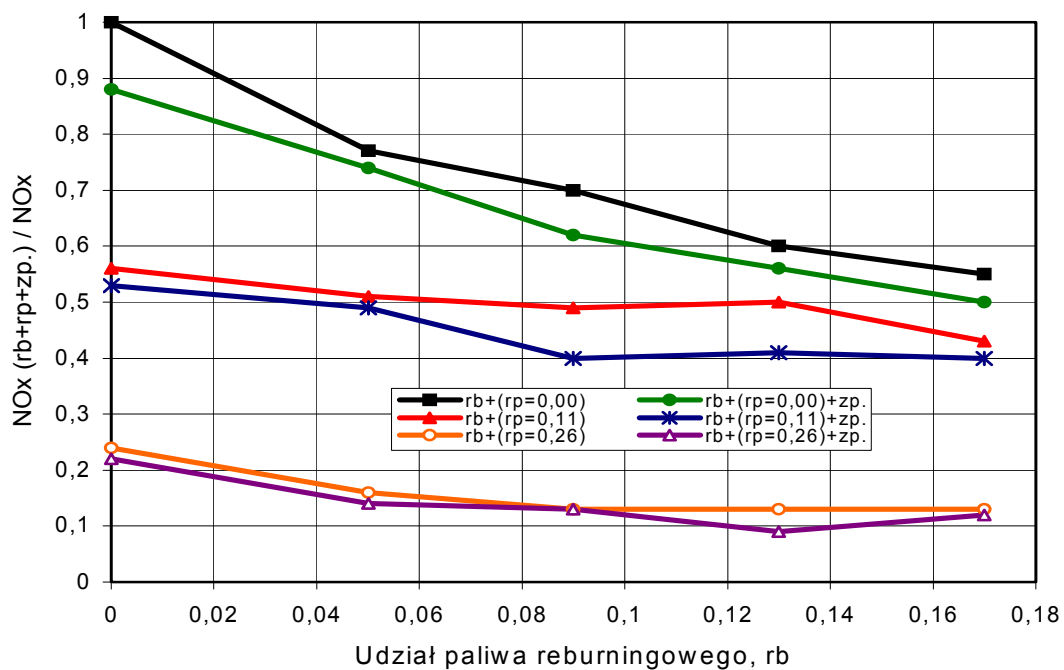
Innym wykorzystaniem pulsacji ciśnieniowych było ich zastosowanie do obniżenia emisji tlenków azotu. Zgłoszony projekt badawczy pt. „Wpływ zaburzeń pulsacyjnych na proces spalania paliw i formowanie się toksycznych składników w płomieniu” zyskał aprobatę i finansowanie KBN w latach 1994÷1996.

Należy podkreślić, że w prowadzonych badaniach zastosowano nowoczesne metody pomiarowe, a mianowicie:

- wizualizację strug za pomocą aparatu smugowego,
- pomiar prędkości strug za pomocą anemometru laserowego,
- pomiar natężenia promieniowania rodników CH za pomocą optycznego układu pomiarowego,
- symulację numeryczną procesu reburningu z oddziaływaniem pulsacji, wykonaną za pomocą programu FLUENT.



Rozkład stężenia NO w modelowanym odcinku komory: a – bez pulsacji, b – z pulsacją (amplituda pulsacji prędkości 1m/s), c – z pulsacją (amplituda pulsacji prędkości 3m/s)



Wpływ stopniowania powietrza (rp) i reburningu (rb) oraz zaburzeń

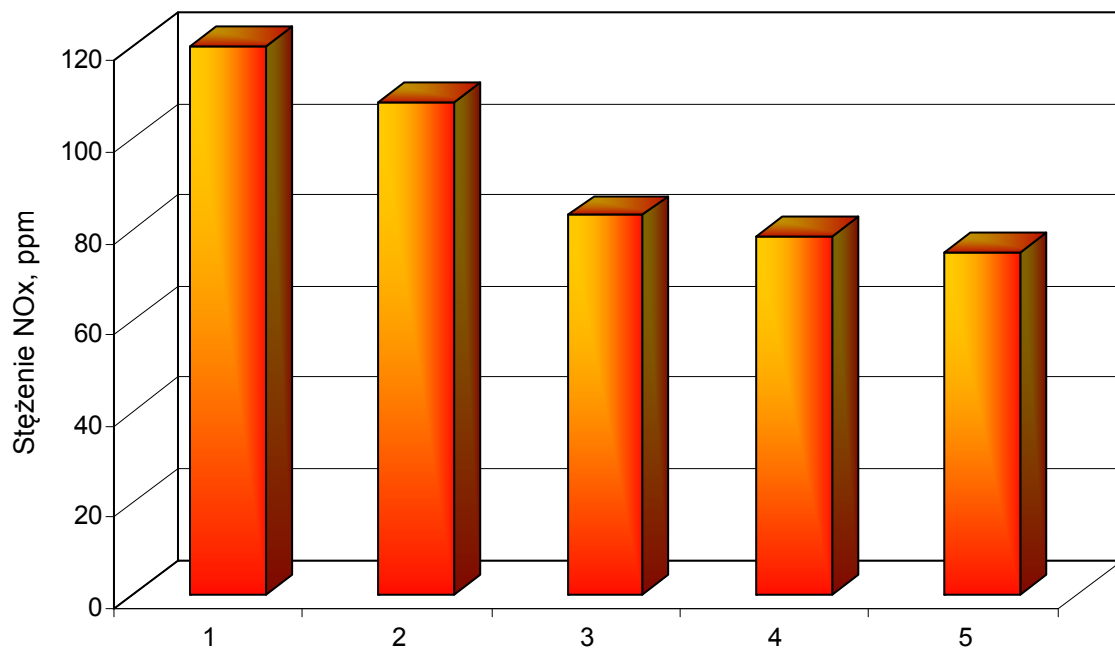
pulsacyjnych (zp) na redukcję stężenia NO_x
$$\frac{NO_x(rp + rb + zp.)}{NO_x} = f(rb)$$

Kolejnym zrealizowanym projektem badawczym w latach 1997÷1999 był grant pt. „Intensyfikacja i zmniejszenie toksyczności spalania paliw gazowych i stałych przez oddziaływanie generowanymi pulsacjami ciśnienia, przy równoczesnym rozdziale podawanego powietrza i paliwa”.

Wyniki przeprowadzonych badań dowiodły skuteczności równoczesnego stosowania pierwotnych metod redukcji w zmniejszaniu stężenia NO_x .

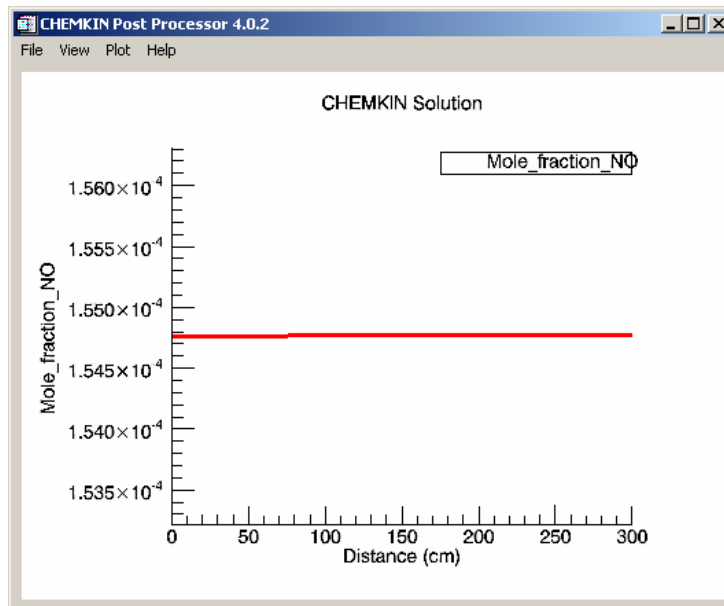
Zespół badawczy realizuje prace związane z aktualnymi trendami nauki i gospodarki. W związku z tym wykonywany był grant (2003÷2006) pt. „Zastosowanie biopaliw jako paliwa reburningowego w procesie redukcji tlenków azotu metodami pierwotnymi w piecach przemysłowych”.

W eksperymentach wykorzystywane są biopaliwa stałe, ciekłe i gazowe.

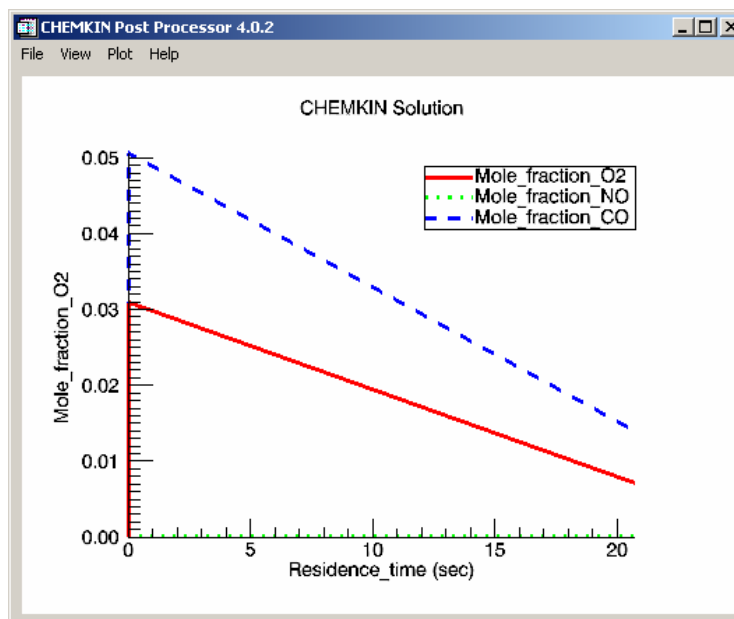


Wykres obrazujący zmiany stężenia NO_x w zależności od rodzaju zastosowanego biopaliwa: 1-bez oddziaływań, 2 – trociny, 3 – pył drzewny o średnicy ziaren 50÷100 μm , 4 – pył drzewny o średnicy ziaren 0÷50 μm , 5 – olej rzepakowy handlowy

Efektem prowadzonych prac jest wykonanie pracy doktorskiej i habilitacyjnej oraz szereg publikacji naukowych. Również w latach 2004÷2006 realizowano grant pt. „Badanie procesu dwustadialnego spalania paliw gazowych w piecach grzewczych pod kątem minimalizacji emisji toksycznych składników do atmosfery i straty metalu na utlenianie”. Diagnostykę spalania i ruch gazów w komorze grzewczej modelowano za pomocą programów Chemkin i Fluent.



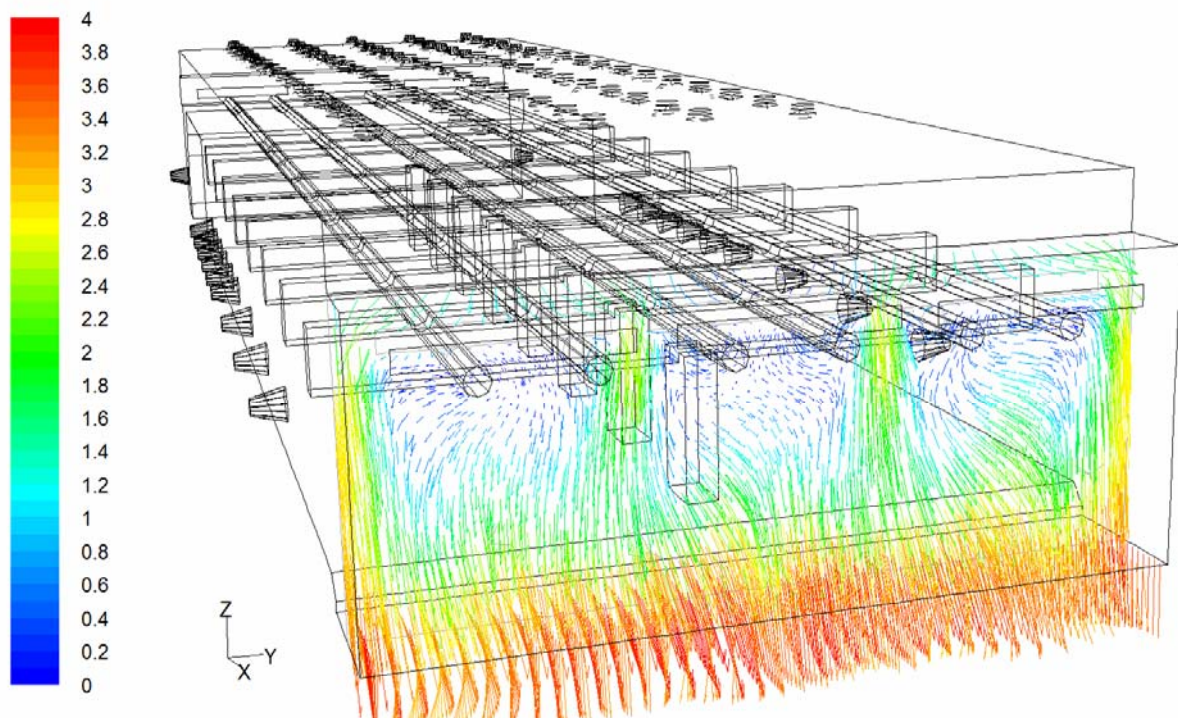
Wyjściowe stężenie NO_x na długości komory badawczej



Stężenie NO , O_2 , CO w środkowej strefie komory w zależności od czasu przebywania

Pomiary eksperymentalne i obliczenia numeryczne przeprowadzono dla komory laboratoryjnej i komory obiektu rzeczywistego. Wyniki badań i obliczeń mogą być wykorzystane przy modernizacji systemu opalania pieców grzewczych.

Od czerwca 2008 roku Katedra realizuje wspólnie z AGH Kraków grant rozwojowy pt. „Opracowanie komputerowego systemu projektowania niskoemisyjnych i energooszczędnych technologii nagrzewania stali w piecach grzewczych”.



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

May 16, 2009
FLUENT 6.3 (3d, pbns, spe, ske)

Rozkład prędkości spalin odlotowych z modelowego pieca przepychowego

Spalanie paliw stałych i odpadów

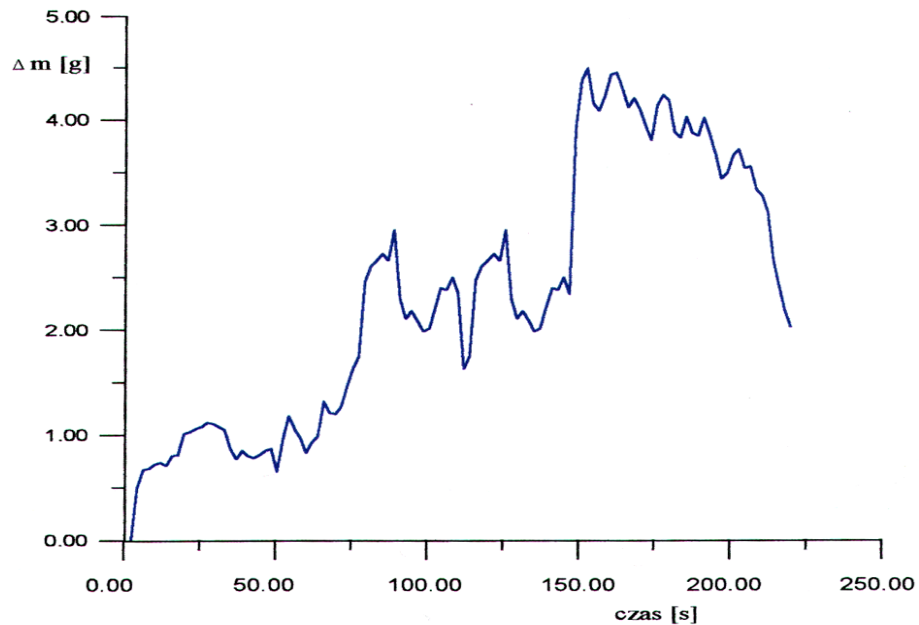
Realizowane badania w ramach Problemu Resortowego R.I.6. pozwoliły na zgłębianie wiedzy nad spalaniem węgla. Efektem tych działań była praca doktorska pt. „Spalanie pyłu węglowego w strudze powietrza zaburzonej drganiami akustycznymi”. Drgania akustyczne nałożone na strugę gorącego powietrza, w której zachodzi spalanie pyłu węglowego, powodują powstanie oscylacji w postaci dodatkowej składowej prędkości, wywołując zmiany warunków gazodynamicznych wokół palących się cząstek.

Wyprowadzono zależności określające wpływ drgań akustycznych na wielkości charakteryzujące spalanie pyłu węglowego o granulacji od $50\mu\text{m}$ do $180\mu\text{m}$. Uzyskano zależności całkowitego czasu spalania cząstek (ziaren) od częstotliwości zaburzenia, przyrostu szybkości spalania pyłu od liczby kryterialnej Strouhola i zmiany współczynnika dyfuzji od stopnia sturbulizowania strugi.

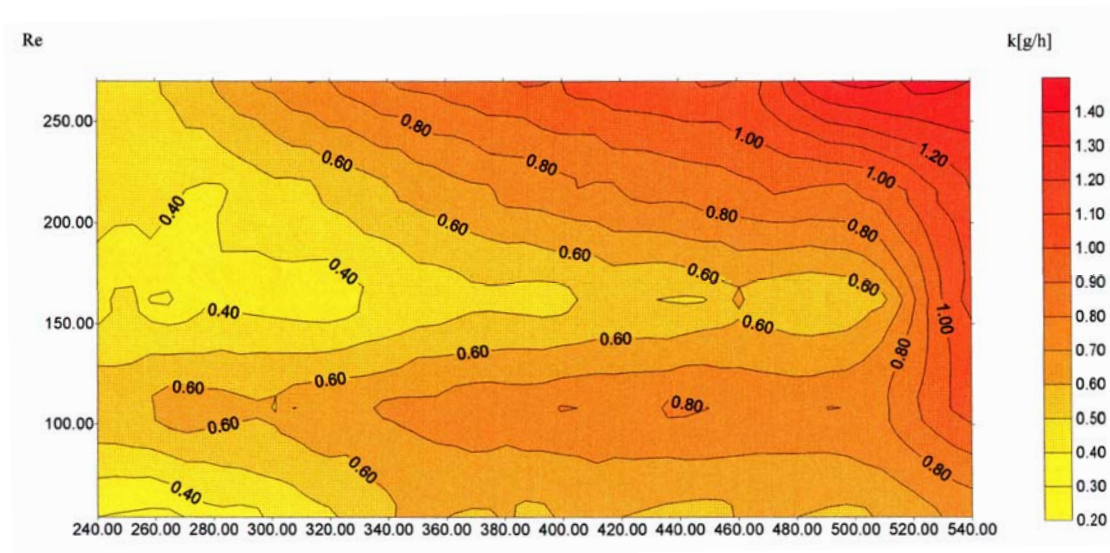
Na początku lat dziewięćdziesiątych, przy współpracy Katedry Termodynamiki i Kotłów Politechniki Częstochowskiej, zajęto się spalaniem węgla w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej. W latach 1991÷1994 realizowano w ówczesnej Katedrze Pieców Przemysłowych i Ochrony Środowiska projekt badawczy nr 311119101 pt. „Mechanizm spalania paliw stałych we fluidyzacyjnych paleniskach cyrkulacyjnych.

W latach 1995÷1996 realizowano projekt badawczy pt. „Optymalizacja warunków spalania węgla w komorze z cyrkulacyjną warstwą fluidalną”. Warunki przepływu, jakie dyktuje cyrkulacyjna warstwa fluidalna powodują cykliczne nagrzewanie, zapłon, spalanie oraz wygaszanie, czasem rozpad ziaren węgla. Na podstawie danych uzyskanych w przeprowadzonych eksperymentach opracowano numeryczny model spalania ziarna w C.W.F. Otoczenie spalanego ziarna zostało podzielone na 21 obszarów w trzech grupach komórek.

W każdym obszarze, dla potrzeb modelu, układ opisano odpowiednimi funkcjami: temperatury, stężenia węgla, stężenia tlenu, stężenia tlenku węgla i stężenia dwutlenku węgla.



Zmiana masy spalanego ziarna węgla w C.W.F.



Zmiana szybkości ubytku masy spalanego ziarna węgla przy różnej prędkości przepływu utleniacza

Badania spalania węgla w C.W.F. prowadzono również na obiektach rzeczywistych. W ramach współpracy z firmą Foster Wheeler w latach 2000÷2001 badano kocioł z C.W.F. w Elektrowni Jaworzno, pod kątem optymalizacji rozplywu powietrza spalania i tworzących się związków siarki w popiele dennym. Pod koniec lat dziewięćdziesiątych rozpoczęto badania nad termiczną utylizacją odpadów. Próby termicznej utylizacji odpadów stałych prowadzono na stanowiskach z C.W.F., gdzie do komory spalania wprowadzano odpad równolegle do strumienia paliwa głównego. Współspalano biomasę, odpady porafinacyjne i z tworzyw sztucznych. Ciekłe odpady palne w postaci przepracowanych olejów, rozpuszczalników itp. spalano w specjalnie wybudowanej komorze ceramicznej. Stosowano strumieniowy układ podawania odpadu do rozgrzanej komory. Jako paliwa głównego użyto gazu ziemnego.

Ponadto prowadzono badania nad spalaniem odpadów ciekłych zmieszanych z olejem opałowym lekkim w standardowym palniku wentylatorowym, pod kątem wykorzystania ciepła do c.w.u. Jako ciekłego paliwa odpadowego do badań używa się surowej gliceryny. Wyniki eksperymentów nad spalaniem węgla w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej będą wykorzystane przy realizacji pracy habilitacyjnej, a badania nad spalaniem gliceryny do rozprawy doktorskiej.

W eksperymentach dotyczących diagnostyki i wizualizacji spalania wykorzystuje się taką aparaturę jak:

- spektrometr masowy,
- analizatory spalin TESTO 350 i TESTO 360,
- kamera termowizyjna P- 65,
- pirometr całkowitego promieniowania RAYTEK,
- pyłomierz grawimetryczny EMIOTEST 2598,
- komputerowa karta pomiarowa Dag Lab 2005,
- aparat smugowy IAB-451.