

Ryszard WILK, Andrzej SZLĘK, Antoni ZAJDEL, Andrzej KSIĄDZ,
Kamil MALCZYK, Tomasz MISZTAL

Institut Techniki Ciepłej

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice

e-mail: ztsiss@itc.ise.polsl.gliwice.pl

NISKOEMISYJNE TECHNIKI SPALANIA W ZAKŁADZIE TECHNIKI SPALANIA I SILNIKÓW SPALINOWYCH. ZAGADNIENIA WYBRANE

Streszczenie. Niniejszy artykuł przedstawia w przeglądowym skrócie obszary badawcze spalania, w których działają pracownicy Zakładu Techniki Spalania i Silników Spalinowych Instytutu Techniki Ciepłej w ostatnich 3 latach. Dotyczy one spalania węgla w kotłach rusztowych w połączeniu z optymalizacją pracy systemu ciepłowniczego, strugowego spalania oleju opałowego, zagadnień emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych powstających w trakcie spalania gazu ziemnego oraz nowej technologii spalania oleju w powietrzu podgrzanym wstępnie ponad temperaturę samozapłonu (HTAC). Pracownicy Zakładu zaprojektowali i zrealizowali w ostatnich 3 latach 8 prac naukowo-badawczych, 6 projektów badawczych KBN oraz 1 projekt w ramach V Ramowego Programu Badań UE oraz opracowano 6 patentów i projektów patentowych.

LOW - EMISSION COMBUSTION IN COMBUSTION AND ENGINES DIVISION. PROBLEMS

Summary. The wide investigation of low – emission combustion had been carried out. The questions of formation and simultaneous reduction of PAH's in the course of the gas combustion were considered and the best physical – chemical parameters of combustion had been presented. The investigations of solid fuels combustion in case of the stocker boiler had been also carried out in both, experimental and numerical methods. The problems of cleaned combustion of oil were considered in laboratory combustion chamber and in oil boiler with the power of 5MW. Heat radiation had played the important role in the heat exchange. The investigations of high temperature air combustion of oil were carried out in the laboratory combustion chamber (80 kW). The very low – emissions of NO, CO and soot had been obtained (NO, CO <20 ppm).

Oznaczenia

WWA - wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

BaP - benzo(a)piren

HTAC - High Temperature Air Combustion - spalanie w wysokopodgrzanym powietrzu

- $\dot{G}_{p,r} / \dot{G}_o$ - stosunek strumienia powietrza rozpylającego do strumienia oleju
 \dot{G}_o - strumień oleju, kg/h
 \dot{E}_{ol} - strumień energii chemicznej, kW
 T_f - średnia temperatura płomienia, K
 F_f - zewnętrzna powierzchnia płomienia, m²
 T_w - temperatura wewnętrznej powierzchni ścian komory spalania, K
 S - parametr reprezentujący rozmiary komory spalania w odniesieniu do mocy cieplnej płomienia, (K/sm)
 ϵ_f - emisyjność
 c_f - średnia koncentracja sadzy, mg/m³_n
 d_s - średnica Sautera, μm
 λ - stosunek nadmiaru powietrza

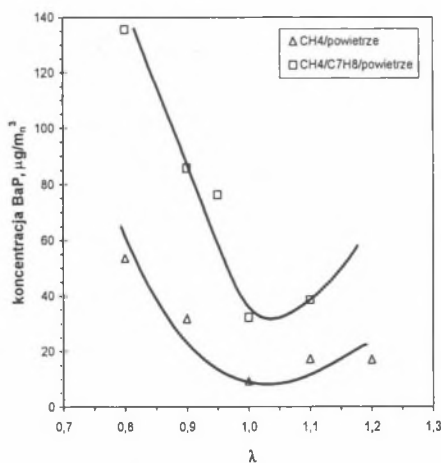
1. Proces spalania jako źródło emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych

Jedną z grup związków powstających w trakcie spalania praktycznie każdej substancji organicznej, a występujących w spalinach zwykle w stężeniach śladowych, są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Najprostszym z nich jest naftalen, a najbardziej znanym benzo(a)piren (BaP). Uważa się, że WWA należą do najbardziej szkodliwych substancji emitowanych do atmosfery ze źródeł antropogennych. Do głównych źródeł emisji WWA należą procesy spalania. W procesie powstawania poliaromatów można wyróżnić dwa bardzo istotne etapy: powstawanie pierwszego pierścienia (benzen) i rozrost struktury aromatycznej na szkielecie, który tworzy pierwszy pierścień. Na końcową emisję WWA składają się przeciwstawne procesy powstawania i utleniania WWA. Część WWA przechodzi także w sadzę. Powstawaniu WWA sprzyja niedostatek utleniacza, niskie temperatury procesu (m.in. chłodzące działanie ścianek komory spalania), a także złe wymieszanie substratów. Na finalną emisję duży wpływ ma skład paliwa, a w szczególności zawartość związków aromatycznych w paliwie, ale również zawartość węglowodorów z podwójnymi lub potrójnymi wiązaniami pomiędzy atomami węgla. Wynika to z faktu, iż pierwotna struktura aromatyczna ułatwia dalszy rozrost pierścieni, a struktura nienasycona alkenów bądź alkinów sprzyja reakcjom addycji, prowadzącym do wyższych węglowodorów.

W ramach pracy zbadano osiowy rozkład stężeń wybranych WWA w kinetycznym atmosferycznym płomieniu metan/powietrze dla różnych wartości stosunku nadmiaru powietrza (λ) i sprawdzono wpływ dodatku związku aromatycznego oraz acetylenu do pierwotnego składu paliwa na rozkład stężeń WWA. Opis stanowiska badawczego oraz procedury pomiarowej opisano w pracach [2,3]. Wyniki badań zostały przedstawione i omówione w pracy [3]. Analiza wyników wskazuje, iż istnieje pewien optymalny zakres wartości stosunku nadmiaru powietrza ($\lambda=1,0\div 1,05$), dla którego emisja zarówno BaP, jak i sumy WWA z płomieni kinetycznych badanych paliw jest najmniejsza (rys.1). Rozkład stężeń BaP i sumy WWA w funkcji odległości od palnika jest zależny od wartości stosunku nadmiaru powietrza. W każdym przypadku na początku płomienia stężenie szybko rośnie,

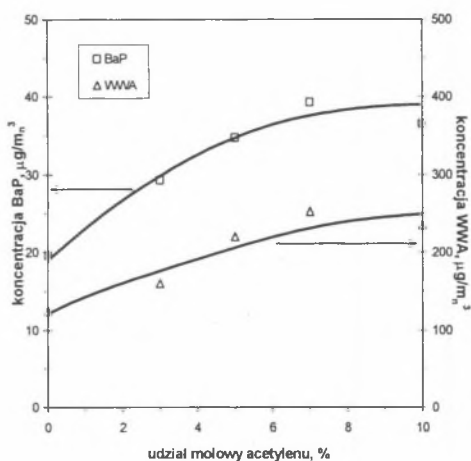
następnie maleje. Dla mieszanek podstechiometrycznych w dalszej części płomienia zaobserwowano wzrost stężeń WWA – tym intensywniejszy, im niższa jest wartość λ . Z przeprowadzonych badań wynika również, że obecność struktury aromatycznej (toluen) w paliwie alifatycznym istotnie zwiększa koncentrację BaP i sumy WWA przy zachowaniu przebiegu zależności stężeń od odległości od palnika i od stosunku nadmiaru powietrza. Wyjaśnieniem tego może być fakt, iż obecność struktury aromatycznej w paliwie zwiększa stężenie węglowodorów nienasyconych (np. poliacetyleny).

W wielu publikacjach zwraca się uwagę na istotną rolę, jaką odgrywa acetylen w powstawaniu węglowodorów o dużych masach cząsteczkowych (np. WWA) czy sadzy. Pomiary wykazały (rys.2), iż obecność acetyleny w paliwie powoduje znaczny wzrost stężeń zarówno BaP, jak i sumy WWA. Nienasycona struktura sprzyja reakcjom polimeryzacji i addycji pomiędzy molekułami węglowodorów prowadzącym do cząsteczek o wyższej masie molowej.



Rys.1. Wykres zależności stężenia BaP w funkcji stosunku nadmiaru powietrza dla płomieni CH₄/powietrze i CH₄/C₇H₈ (toluen)/powietrze (h=100 mm)

Fig. 1. Diagram of BaP concentration dependence in the function of λ for the flames CH₄/air and CH₄/C₇H₈ (toluene)/air (h=100mm)



Rys.2. Wykres zależności stężenia BaP i sumy WWA w funkcji zawartości acetyleny w gazie palnym ($\lambda=1,1$, h=100 mm)

Fig. 2. Diagram of BaP and WWA in the function of the acetylene's content in combustible gas ($\lambda=1,1$, h=100 mm)

Na podstawie danych pomiarowych sformułowano półempiryczny model powstawania i utleniania BaP w płomieniach paliw gazowych oraz obliczono pozorne stałe kinetyczne tych procesów. Analiza rezultatów wskazuje, iż główną rolę w procesie tworzenia BaP odgrywa acetylen, natomiast za utlenianie powstałych WWA odpowiada głównie rodnik hydroksylowy[2].

2. Badania procesu spalania paliw stałych w warstwie nieruchomej

Technologia spalania paliw stałych w warstwie nieruchomej jest stosunkowo mało rozpoznana i opisana w literaturze fachowej. Kontrastuje to z dużym znaczeniem, jaki ma ona we współczesnej technice, szczególnie w warunkach polskich. Według różnych ocen liczba kotłów z rusztem mechanicznym pracujących w polskiej gospodarce sięga kilkudziesięciu tysięcy. Brak dostatecznej wiedzy jest przyczyną trudności, na jakie natrafia się przy próbie poprawy sprawności palenisk z warstwą nieruchomą.

W ramach badań laboratoryjnych zbudowano stanowisko badawcze umożliwiające wyznaczanie prędkości rozprzestrzeniania się frontu spalania w złożu paliwa stałego. Ponadto stanowisko to umożliwia pomiar składu gazów spalinowych we wnętrzu złoża. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykazano, że w trakcie współprądowego spalania paliwa stałego w warstwie nieruchomej tworzy się front spalania rozprzestrzeniający się w kierunku przeciwnym do kierunku napływu od powietrza. Określono zależność prędkości spalania od natężenia powietrza spalania oraz od rodzaju węgla. Stwierdzono, że prędkość ta zmienia się od 2 do 7 mm/min w zależności od parametrów. Ponadto stwierdzono, że stosunek nadmiaru powietrza we froncie jest praktycznie stały i wynosi około 0,7 [4].

Dla pełnej interpretacji uzyskanych wyników zbudowano model matematyczny oparty na równaniach różniczkowych bilansu energii oraz substancji oraz opracowano oryginalną metodę rozwiązania tych równań. Stwierdzono dobrą zgodność ilościową oraz jakościową modelu z wynikami pomiarów. Zbudowany model matematyczny posłużył do obliczeń współczynników czułości prędkości rozprzestrzeniania się frontu względem parametrów procesu i paliwa. Wykazano, że prędkość rozprzestrzeniania się frontu kontrolowana jest przez procesy przewodzenia ciepła w fazie stałej. W końcowej części pracy podano przykład zastosowania praktycznego oraz wykazano inne potencjalne obszary zastosowania osiągniętych wyników.

Obecnie tematyka spalania w warstwie nieruchomej kontynuowana jest w ramach projektu badawczego KBN. W jego ramach zbadano doświadczalnie wpływy wielkości ziarna paliwa, wilgotności oraz stopnia ubicia złoża. Uzyskane wyniki opracowano w postaci wzorów aproksymacyjnych. Ponadto podjęto próbę uogólnienia osiągniętych wyników poprzez podanie wzoru kryterialnego oraz liczb podobieństwa. Wykazano, że zastosowanie wyników do sterowania kotłem parowym rusztowym pozwala na osiągnięcie oszczędności paliwa rzędu kilku procent.

3. Optymalizacja pracy systemów ciepłowniczych

Do zaspokojenia potrzeb grzewczych ludności zużywane jest około 30% energii pierwotnej paliw. W warunkach polskich małe i średnie systemy ciepłownicze składają się najczęściej z ciepłowni węglowej z kotłami wodnymi, dwuprzewodowego systemu rur oraz dwufunkcyjnych węzłów cieplnych. Systemy te budowane były głównie w latach siedemdziesiątych, a ich struktura dostosowana była do założonego rozwoju budownictwa mieszkalnego i przemysłu. Od tego czasu nastąpił dynamiczny rozwój miast, co spowodowało konieczność zmiany układu i parametrów pracy systemu ciepłowniczego. Ponadto szybko malejące ceny elementów automatyki oraz wprowadzanie innych nowych

technologii (na przykład rur preizolowanych) stwarza dla ciepłownictwa nowe możliwości oszczędności energii elektrycznej i ciepłej.

Tematyka systemów ciepłowniczych podjęta została przez zespół badawczy Zakładu w połowie lat dziewięćdziesiątych. W ramach prowadzonych prac zbudowano model matematyczny rozległego systemu ciepłowniczego, umożliwiającego symulację wpływu parametrów pracy systemu na wielkość strat ciepła i zużycie energii elektrycznej. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano możliwość predykcyjnego sterowania siecią ciepłą na podstawie prognozy pogody z wykorzystaniem bezwładności cieplnej budynków. Opracowano metodykę doboru strategii sanacji miejskiego systemu ciepłowniczego. Wyniki prac zostały wdrożone w niektórych systemach ciepłowniczych województwa śląskiego, prowadząc do kilkuprocentowej oszczędności paliwa i energii elektrycznej [5].

4. Ograniczenie emisji NO z palników olejowych z rozpylaniem rotacyjnym

Palniki z rozpylaniem rotacyjnym są szczególnie przydatne do spalania paliw ciężkich z dużą zawartością zanieczyszczeń mechanicznych. Z tego względu są dość powszechnie stosowane do spalania olejów opałowych ciężkich w przedsiębiorstwach ciepłowniczych oraz zakładach rolniczych. Jednakże wysoka zawartość azotu chemicznie związanego z paliwem sprawia, że emisja tlenków azotu w tego typu palnikach jest zazwyczaj bardzo wysoka.

W odpowiedzi na zainteresowanie polskiego przemysłu podjęto udaną próbę zmniejszenia emisji NO poprzez zmianę konstrukcji palnika, przy zachowaniu wszystkich jego zalet. Badania prowadzono na kotle wodnym mocy 5MW, służącym do ogrzewania szklarni. Zapewnienie odpowiedniego rozplywu powietrza spalania pozwoliło na obniżenie emisji NO z 800 mg/m^3_n poniżej dopuszczalnego limitu, tzn. 450 mg/m^3 . Doświadczenia ruchowe wykazały, że dodatkowo poprawiła się elastyczność palnika, a emisja sadzy pozostała niezmienną [6].

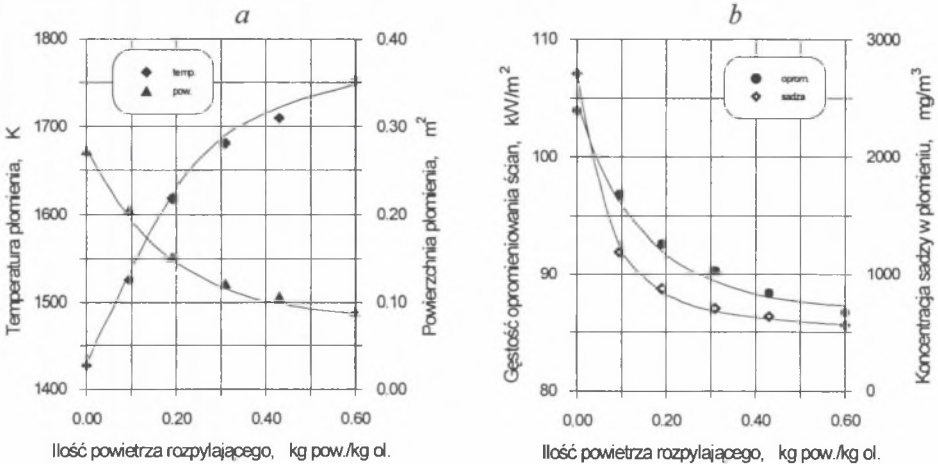
5. Spalanie paliw ciekłych – badania własności i parametrów płomienia podczas spalania lekkiego oleju opałowego

Specyfika procesu spalania paliw ciekłych i własności uzyskiwanych płomieni są na tyle odmienne od prawidłowości występujących podczas spalania innych rodzajów paliw, że nie można intuicyjnie, na podstawie doświadczeń zdobytych przy spalaniu tych paliw, wnioskować odnośnie do odpowiednich zależności występujących podczas spalania paliw ciekłych.

W celu określenia różnych zależności pomiędzy warunkami, przy których jest spalane paliwo, a efektami tego procesu przeprowadzono kompleksowe badania spalania lekkiego oleju opałowego. W badaniach używano trzech rozpylaczy: jednego ciśnieniowego oraz dwóch rozwiązań rozpylaczy dwuczynnikowych. Badano podstawowe parametry płomieni olejowych, takie jak: temperatura, rozmiary, emisyjność i koncentracja sadzy. Główną uwagę poświęcono energetycznym efektom spalania paliwa ciekłego, takim jak: temperatura płomienia, temperatura spalin, temperatura ścian, strumienie ciepła

radiacyjnego. Przeanalizowano możliwości wpływu na wartość tych parametrów poprzez zmianę warunków spalania [7].

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe wyniki badania wpływu parametrów rozpylania oleju, w tym przypadku różnej ilości powietrza rozpylającego, na uzyskane wartości: średniej temperatury w płomieniu, rozmiarów płomienia i średniej koncentracji sadzy w obszarze płomienia oraz średniej gęstości opromieniowania ścian komory spalania. Wyniki te uzyskano przy stałej wydajności cieplnej palnika. Widać bardzo istotny wpływ badanego parametru rozpylania na analizowane wielkości w komorze spalania. Wykonano obliczenia radiacyjnej wymiany ciepła w komorze spalania oraz radiacyjnych parametrów płomieni. Stwierdzono, że na intensywność radiacyjnej wymiany ciepła oraz na skuteczność przekazywania tą drogą energii w obrębie komory spalania bardzo duży wpływ ma promieniowanie płomienia olejowego. Na promieniowanie płomienia olejowego można istotnie wpływać za pomocą parametrów rozpylania paliwa oraz parametrów powietrza do spalania. Wynika stąd potrzeba optymalizacji parametrów spalania paliwa ciekłego pod kątem intensyfikacji promieniowania płomienia. W zakresie prowadzonych badań uzyskano, poprzez dobór parametrów rozpylania lub parametrów powietrza do spalania, efekty energetyczne na poziomie kilkunastu %. W przypadkach stanów nieustalonych efekty były wyższe i sięgały poziomu 30%. Stwierdzono, że podwyższanie emisji promieniowania płomienia olejowego następuje w rezultacie takich zmian parametrów substratów spalania, które prowadzą do wzrostu emisyjności oraz rozmiarów płomienia, a nie do wzrostu temperatury płomienia. Zmiany temperatury mają z reguły kierunek przeciwny i są znacznie mniejsze procentowo aniżeli towarzyszące im zmiany emisyjności i rozmiarów. W pracy przeprowadzono również badania emisyjności płomieni olejowych w aspekcie uszczegółowienia danych dotyczących spotykanego w literaturze wzoru na emisyjność zawiesiny sadzy w gazie.



Rys.3. Wpływ jednostkowego zużycia powietrza rozpylającego na: a) temperaturę i powierzchnię płomienia oraz b) opromienianie ścian komory spalania i koncentrację sadzy w płomieniu

Fig. 3. The influence of the per-unit use of air atomizing on a.) the temperature and surface of the flame b) radiation of the combustion chamber walls and the inflame soot concentration

Na podstawie wyników badań przy użyciu rozpylacza dwuczynnikowego opracowano zależności empiryczne pomiędzy podstawowymi parametrami płomienia olejowego, takimi jak: średnia temperatura T_f , zewnętrzna powierzchnia F_f , emisyjność ε_f oraz średnia koncentracja sadzy c_f a głównymi parametrami spalania oleju: stosunkiem λ nadmiaru powietrza, średnicą d_s Sautera kropel rozpylonego paliwa, temperaturą T_w wewnętrznej powierzchni ścian komory spalania oraz parametrem S reprezentującym rozmiary komory spalania w odniesieniu do mocy cieplnej płomienia. Uzyskano następujące postaci tych zależności:

$$T_f = -4983 + 9473 \lambda - 3185 \lambda^2 - 171.0 d_s S + 1.659 \cdot 10^{-2} d_s T_w, \quad (1)$$

$$F_f = 4.513 - 6.363 \lambda + 2.187 \lambda^2 - 6.591 \cdot 10^{-5} d_s^2 + 7.026 \cdot 10^{-6} d_s T_w + 1.132 \cdot 10^{-2} d_s S, \quad (2)$$

$$\varepsilon_f = 0.301 + 0.173 d_s S - 9.61 \cdot 10^{-3} d_s \lambda - 3.60 \cdot 10^{-4} \lambda T_w + 1.50 S, \quad (3)$$

$$c_f = -5846 + 1.67 d_s^2 + 5.82 T_w \quad (4)$$

Zależności te mogą być pomocne w pracach projektowych komór spalania opalanych paliwami ciekłymi. Stwierdzone prawidłowości jako rezultat badań przy stosowaniu oleju lekkiego będą z pewnością miały dla innych paliw ciekłych inny rozmiar w odniesieniu do efektów ilościowych. Wykryte tendencje zachowują jednak swoją słuszność, czego potwierdzeniem są wymierne efekty uzyskane w kotłach energetycznych, w których ciężki olej opałowy spalano przy dotrzymywaniu optymalnych, według niniejszych badań, parametrów procesu.

6. Technologia HTAC

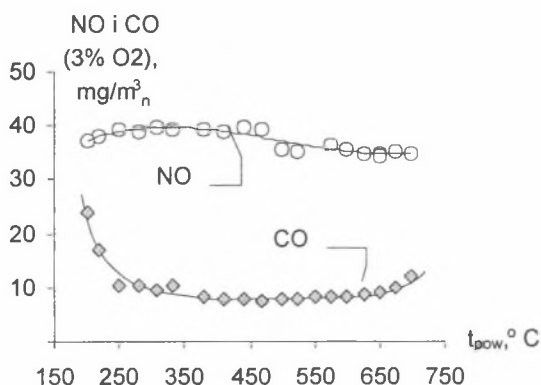
Technologia HTAC jest coraz szerzej stosowana na świecie i stopniowo zdobywa zainteresowanie na rynku polskim. Różnorodne modyfikacje HTAC sprawnie działają w wielu gałęziach przemysłu na świecie i najczęściej wiążą się ze spalaniem paliwa gazowego i ciekłego w piecach. Ponadto rozważane są aplikacje HTAC w kotłach grzewczych. Technologia ta w zamyśle twórców przeznaczona jest do wykorzystania w piecach przemysłowych i pozwala na uzyskanie jednorodnych warunków wyżarzania, podnoszących jakość produktu. Charakterystyczne jest ponadto osiągnięcie znacznego spadku emisji CO_2 na tonę produktu, wynikającego ze zmniejszenia zużycia paliwa, a także obniżenie emisji NO w granicach 50%. Dodatkowo, wysokie strumienie energii promienistej, przewyższające ponad dwukrotnie wartości spotykane w konwencjonalnych rozwiązaniach, sprzyjają zmniejszaniu wymiarów komór. Zasadnicza różnica pieca pracującego w ww. technologii w odniesieniu do pieca tradycyjnego polega na wysokim podniesieniu temperatury powietrza do spalania przy zachowaniu pewnej charakterystycznej odległości pomiędzy utleniaczem i paliwem. Główne różnice wypunktowano w tabl. 1, [8].

Tablica 1

Porównanie technologii spalania

Spalanie klasyczne	HTAC
Temperaturę powietrza ogranicza wysoka emisja NO .	Podgrzewanie powietrza powyżej temperatury samozapłonu paliwa z zachowaniem odpowiedniej dystrybucji substratów spalania w palenisku
Reakcja chemiczna przebiega we froncie spalania (czoło płomienia); występuje wyraźnie widoczne czoło spalania .	Reakcja chemiczna zachodzi w objętości strefy reakcyjnej obejmującej prawie całą komorę spalania, brak czoła spalania .
Kolor płomienia żółty lub żółto-czerwony	Przestrzeń niebieskawa lub czerwono-niebieskawa
Rozkład temperatury z wyraźnym pikiem w czole spalania, ku końcowi płomienia wyraźny spadek temperatury	Płaski profil temperatury, wysoka średnia temperatura gazów reakcyjnych, lecz poniżej 1450 °C .
Koncentracja O ₂ wyraźnie zmieniająca się, od 21% na początku do 3÷6 % przy końcu płomienia	Koncentracja O ₂ w granicach 0,5÷3 % w objętości strefy reakcji wskutek silnej wewnętrznej cyrkulacji.
Promieniowanie cieplne płomienia przeciętnie 50÷120 kW/m ²	Silne promieniowanie cieplne 80÷300 kW/m ² i mało zmienne wzdłuż długości
Emisja (kominowa) NO, np. przy spalaniu gazu ziemnego (200÷300 ppm) w piecach	Emisja NO przy spalaniu gazu ziemnego poniżej 30 ppm, często 5÷10 ppm
Emisja CO i sadzy w zależności od technologii, w większości niska	Emisja CO poniżej 30 ppm w przypadku gazu ziemnego. Emisja sadzy przy spalaniu ciężkiego oleju przeważnie duża

Przeprowadzone badania pozwoliły na zidentyfikowanie ważnych zależności dotyczących spalania wg HTAC. Na rysunku 4 zamieszczono przykładowe wyniki z badań podstawowych ukazujących charakterystyczną właściwość wpływu temperatury podgrzania powietrza na emisję głównych substancji toksycznych. Wpływ tej temperatury jest szczególnie widoczny w przypadku emisji CO, która zaczyna wzrastać poniżej temperatury samozapłonu oleju, tj. ok. 380 °C. Próg temperaturowy jest charakterystyczny dla danego rodzaju paliwa, w związku z czym stosowane temperatury w przypadku spalania gazu przekraczają 900 °C. Ważna jest obserwacja, że podnoszenie temperatury nie powoduje wzrostu emisji NO, co w istotny sposób wyróżnia tę technologię spośród technologii tradycyjnych.



Rys.4. Stężenie [NO] i [CO] w spalinach wylotowych jako funkcja temperatury powietrza spalania. Wewnętrzny rozstaw kanałów powietrza, stały strumień powietrza rozpylającego o $\dot{G}_{p,r}/\dot{G}_o = 1$, paliwo bazowe, $[O_2]_{wy1} = 2,2\%$, $\dot{G}_o = 7,1$ kg/h, strumień energii dostarczonej w oleju, $\dot{E}_{ol} = 84,4$ kW

Fig.4. Concentration of NO and CO in flue outlet gas as function of the combustion air

Hamujący wpływ na rozwój tej technologii w zakresie spalania olejów miała zwiększona emisja sadzy. W toku badań przeprowadzonych przez holenderski instytut IFRF, wykorzystując palnik zaprojektowany przez zespół Zakładu stwierdzono, że emisja sadzy została kilkudziesięciokrotnie ograniczona w stosunku do poziomu określonego we wcześniej prowadzonych badaniach.

Z kolei badania nad emisją NO pozwoliły na ustalenie kilku charakterystycznych mechanizmów rządzących powstawaniem tego związku. Stwierdzono, że ograniczenie emisji NO przy spalaniu oleju bez związków azotowych wymaga stosowania innej dystrybucji paliwa w stosunku do powietrza niż przy spalaniu oleju zawierającego te związki. W pierwszym przypadku optymalna odległość dysz powietrza od dyszy paliwa wynosiła 68 mm, zaś w drugim była na poziomie 203 mm przy wymiarze zewnętrznym komory 600 mm. Jednocześnie, zważywszy na niską temperaturę procesu spalania (poniżej 1400 °C), źródłem tworzenia NO są mechanizmy natychmiastowy i termiczny rozszerzony [9].

Podsumowanie

Przedstawiono fragmenty badań z zakresu niskoemisyjnego spalania realizowanych w Zakładzie Techniki Spalania i Silników Spalinowych. Ponadto aktywność badawcza Zakładu realizuje się w obszarze silników spalinowych, dynamiki gazów wolnego utleniania węgla oraz w optymalizacji pracy niskich instalacji ciepłowniczych. Oprócz tego prowadzimy nauczanie dla 1 specjalizacji „Inżynieria środowiska w energetyce i motoryzacji” oraz w 1 fakultecie „Budowa i eksploatacja samochodów”. Razem około 40 dyplomantów rocznie wykonuje u nas prace dyplomowe magisterskie.

Jak już wspomniano na wstępie, procesy spalania są obecnie głównymi źródłami ciepła i pracy mechanicznej i przez najbliższe lata pozostaną takimi. Wymagają oczywiście doskonalenia zarówno z energetycznego, jak i ekologicznego punktu widzenia. Ponadto wyłaniają się nowe obszary badawcze i aplikacyjne procesu spalania. Mogą nimi być niskotemperaturowe utlenianie wodoru w ogniach paliwowych z bezpośrednią produkcją energii elektrycznej, katalityczne utlenianie w żywych organizmach w obecności enzymów itp. Wymaga to wiedzy z pogranicza wielu dyscyplin naukowych. Nasze procesy nauczania muszą to uwzględniać.

Bibliografia

1. Książd A.,: Badania nad mechanizmem powstawania i utleniania BaP podczas spalania paliw, praca doktorska. Gliwice 2001
2. Wilk R.K., Książd A., Szłek A.: An experimental study of the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons during the combustion of gaseous fuels. *Archivum Combustionis* 2002, 22, 25-35
3. Szłek A.: Badania procesu spalania paliw stałych w warstwie nieruchomej. Praca habilitacyjna, *Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Energetyka*, z 135, Gliwice 2001
4. Wilk R., Szłek A.: Badania możliwości predykcyjnego sterowania miejską siecią ciepłowniczą współpracującą z kotłem węglowym, Praca finansowana przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach
5. Wilk R., Szłek A., Szeliga R., Żurawski K.: Palnik z niską emisją NO_x, zwłaszcza do spalania ciężkich olejów. Wzór użytkowy W-112 6683 z 2001.11.09
6. Zajdel A.: Badania własności oraz parametrów płomienia podczas spalania lekkiego oleju opałowego. Praca habilitacyjna, *Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Energetyka*, z 134, Gliwice 2001
7. Wilk R., Szłek A., Misztal T., Malczyk K., Zajdel A.: Badania procesu spalania oleju lekkiego przy wysokiej temperaturze powietrza. *Archiwum Spalania, PIS, VOL.2 Nr 2*, 2002
8. Wilk R., Szłek A., Misztal T., Malczyk K., Zajdel A., Zieliński Z.: Rozwój charakterystyki i skalowanie rozpylaczy dla technologii spalania oleju w wysokotemperaturowym podgrzewie powietrza. Praca wykonana w ramach V Ramowego Programu Wspólnot Europejskich „Oil – Tech” Project, Gliwice 2000 – 2002