

Spalanie tlenowe dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂

Study of the oxy-combustion technology for pulverised and fluidized bed boilers integrated with CO₂ capture

* prof. dr hab. inż. Wojciech NOWAK

* Wojciech NOWAK,
Politechnika Częstochowska,
Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych,
wnowak@is.pcz.czyst.pl



W KILKU SŁOWACH

Technologia spalania węgla w tlenie zintegrowana z wychwytem, transportem i magazynowaniem CO₂ jest obecnie przedmiotem szczegółowych badań w ramach Programu Strategicznego NCBiR „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” Zadanie 2: „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂”. W artykule przedstawiono stan wiedzy technologii spalania w tlenie oraz postęp prac badawczych w realizacji tego programu



SUMMARY

The technology of coal combustion in oxygen integrated with capture, transportation, processing and storing of CO₂ is presently under detailed investigations in Poland within the Strategic Programme NCBiR „Advanced technologies of energy production” within Task 2 „Study of the oxy-combustion technology for pulverised and fluidized bed boilers integrated with CO₂ capture”. The paper discusses the current state of the oxy-fuel combustion development and the present stage of research in this field performed within the above listed project.

Wprowadzenie

Rosnąca świadomość zmian klimatu doprowadziła do wzrastającej aktywności badań w obszarze technologii ograniczających emisję CO₂. Według bieżącego stanu wiedzy emisje CO₂ wymagają znacznego zmniejszenia, aby ograniczyć globalne ocieplenie. Unia Europejska ostatnio zapowiedziała cel zmniejszenia o 20%, oparty na emisjach z 1990r. do 2020r. Oczekuje się, że w innych krajach także wzrosną starania łagodzenia CO₂. Istnieją trzy fundamentalne drogi zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych pochodzących z wytwarzania energii elektrycznej. Po pierwsze, wzrost wydajności energii zarówno w produkcji jak i konsumpcji energii elektrycznej. Po drugie, zmiana na źródła energii o mniejszej emisji CO₂, takie jak: gaz ziemny, energia jądrowa i w szczególności źródła odnawialne. Po trzecie, wychwytywanie i magazynowanie produkowanego CO₂ z elektrowni węglowych (tzw. CCS).

To ostatnie działanie pozwoliłoby na ciągłe wykorzystanie węgla i innych paliw kopalnych ze znacznym zmniejszeniem emisji gazów cieplarnianych. Już od lat 80-tych prowadzone są dyskusje nad wychwytywaniem i składowaniem CO₂, ale brak zachęt ekonomicznych tak jak niepewności polityczne i prawne ograniczyły to wdrożenie. Pomimo aspektów technicznych i ekonomicznych, kwestie bezpieczeństwa i kwestie regulacyjne w odniesieniu do transportu i składowania CO₂ pozostają niejasne. Obecnie, pomysł wychwytywania i składowania dwutlenku węgla nie był realizowany na dużą skalę.

Wychwytywanie i magazynowanie CO₂ z dużych źródeł punktowych może być skutecznym środkiem do zmniejszenia globalnej emisji gazów cieplarnianych. CCS ma możliwość magazynowania większej części wytwarzanego CO₂ w formacjach geologicznych, zamiast wypuszczenia go do atmosfery. Metody wychwytywania CO₂ dzieli się na trzy główne grupy:

- separacja CO₂ po procesie spalania (post-combustion capture),
- separacja CO₂ przed procesem spalania (pre-combustion capture),
- spalanie w atmosferze tlenowej (oxy-fuel combustion).

Na obecnym etapie rozwoju nie można wskazać, która spośród tych technologii ma największy potencjał, aby zmniejszyć koszty wychwytywania. Ponieważ każda z tych technologii posiada odmienne podejście do wychwytywania CO₂, potrzeby badań i rozwoju są inne na każdej drodze. Mimo, że technologia CCS doprowadzi do wzrostu zużycia paliw kopalnych ze względu na nieuchronny spadek sprawności procesu, osiągnięcie znaczącej redukcji emisji gazów cieplarnianych jest do tej pory zdecydowanie lepsze od potencjału, który jest możliwy poprzez wzrost sprawności bloków energetycznych.

Technologia spalania węgla w tlenie zintegrowana z wychwytem, transportem i składowaniem dwutlenku węgla to nowy kierunek badawczy w energetyce realizowany w kraju w ramach Programu Strategicznego NCBiR „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” w ramach Zadania 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂” Celem prac realizowanych w ramach tego zadania jest wybór oraz opracowanie optymalnych wytycznych procesowych i projektowych dla układów oxy-spalania węgla, stanowiących podstawę do budowy w Polsce instalacji demonstracyjnych bądź modernizacji istniejących bloków, stworzenie konkurencyjnego na rynku międzynarodowym banku wiedzy naukowej i procesowej oraz budowa krajowego know-how w zakresie technologii oxy-spalania węgla, przygotowanie kadry naukowinżynierskiej oraz zaplecza badawczego dla wsparcia sektora przemysłowego na etapie projektowa-

nia, realizacji inwestycji oraz eksploatacji komercyjnych instalacji wykorzystujących procesy oxy-spalania.

1. Stan wiedzy

Postęp prac jaki dokonuje się w obszarze spalania tlenowego obrazują zrealizowane, bądź będące w trakcie realizacji, następujące obiekty pilotażowe:

- Vattenfall 30 MWt Niemcy – jest to pierwszy obiekt takiej skali oddany we wrześniu 2008. Instalacja umożliwi prowadzenia badań optymalizacyjnych palników, kotła, odsiarczania i redukcji NOx i innych kluczowych elementów oxy-spalania zarówno na węglu kamiennym jak i wysuszonym brunatnym. Dwa palniki Alstom przepracowały do lipca 2011 ponad kilka tysięcy godzin w tlenie.
- Doosan Babcock Oxy Coal-UK i B&W USA – kompleksowe badania palników od spalania w powietrzu na spalanie w tlenie. 24 lipca 2009 w Doosan Power System w Szkocji uruchomiono demonstracyjny palnik tlenowy o mocy 40 MWt. Doosan dostarcza również do testów 30 MWt palnik dla instalacji Vattenfall w Schwarze Pumpe w Niemczech.
- Callide 30 MWe – pierwsza instalacja integrująca spalanie z wychwytywaniem i składowaniem CO₂ z uwzględnieniem możliwości modernizacji istniejących bloków. Modernizacji podlega stary kocioł dwuwalczakowy o mocy 30 MWe wybudowany w latach 1966-68. Kocioł wyposażono w dwa palniki IHI, a tlen podaje się bezpośrednio do komory paleniskowej w proporcji max. 30%.
- CIUDEN, Hiszpania – pierwsze instalacje pozwalające na porównanie spalania pyłowego (20 MWt) z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (30 MWt CFB), oraz 3 MWt zgazowycza biomasy. Parametry kotła CFB: strumień pary 47.5 t/h, ciśnienie pary przegrzanej 30 bar, temperatura pary 250 °C, temperatura wody zasilającej 170 °C. Kocioł został uruchomiony we wrześniu 2011 i opalany jest antracytem, koksem naftowym, wysokozasiarczonym lignitem i biomasą.
- TOTAL, Lacq CCS Francja – 30 MWt na gaz ziemny z pełną instalacją składowania CO₂.





CO₂ transportowany jest na odległość 27 km w stanie gazowym pod ciśnieniem 27 bar do Rouse, Francja. Do lipca 2011 w formacjach geologicznych zdeponowano 21 000 ton CO₂. ASU o wydajności 240 t/dzień tlenu o czystości 95, 98 i 99.5%.

- 250 MWe Vattenfall Niemcy i 323 MWe CFB ENDESA Compostilla Hiszpania – pierwsze bloki takiej mocy w technologii pyłowej i fluidalnej, które są w fazie koncepcji. 250 MWe jednostka Janschwalde miała mieć sprawność 37- 38 %. Parametry bloku: temperatura pary 600/610/610 °C, ciśnienie 286 bar. Dodatkowym elementem bloku jest ciśnieniowa instalacja fluidalna do suszenia węgla brunatnego. W projekcie Compostilla przewiduje się blok z cyrkulacyjną warstwą fluidalną o mocy 323 MWe, transport rurowy CO₂ na odległość 120 km i deponowanie 1,1 mln ton CO₂/rocznie w formacjach solnych.
- FutureGen 2.0 Meredosia, USA – projekt, który w ramach projektów demonstracyjnych CCS DOE zastąpił układ IGCC. Jest to kolejny przykład modernizacji istniejącego kotła olejowego AER Meredosia Unit 4 na 220 MWe kocioł węglowy w technologii spalania tlenowego. Około 3500 t/dziennie CO₂ będzie składowane w głębokich formacjach solnych w Morgan Country w odległości 51,5 km od instalacji.
- Youngdong TPP 125 MWe Korea – modernizacja kotła pyłowego na oxy-spalanie. Kocioł BHK wybudowany w 1973 roku poddano modernizacji poprzez wymianę palników na palniki tlenowe; wymieniono również instalację przygotowania paliwa oraz wentylatory powietrza pierwotnego i wtórnego oraz zainstalowano dwa nowe podgrzewacze powietrza pierwotnego. Szczegółowy opis stanu techniki spalania w tlenie został przedstawiony w pracy [1].

2. Wyniki wybranych prac

Mechanizm i kinetyka spalania.

Projektowanie kotłów zarówno w technologii pyłowej czy fluidalnej wymaga znajomości szybkości przebiegu procesów fizyko-chemicznych podczas spalania paliwa. Projektant musi znać odpowiedź na pytania: jak duża ma być komora spalania podczas spalania tleno-

wego by zakończyć w niej wszelkie reakcje chemiczne ?; jakie warunki pracy w komorze (temperatura, ciśnienie, stopień recyrkulacji tlenu) są konieczne ?; jak ciepło wyzwolane w procesie spalania jest przekazywane do otoczenia? Projektant kotła tlenowego niestety będzie wykorzystywał dane otrzymane jedynie z instalacji laboratoryjnych oraz pilotażowych, bez możliwości ich weryfikacji w dużych blokach energetycznych do spalania w tlenie. Dlatego wiarygodność i dokładność ekstrakcji kinetyki chemicznej z bogatego zbioru danych nabiera szczególnego znaczenia przy projektowaniu kotłów tlenowych. Aby to osiągnąć wszelkie procesy fizyczne należy odseparować od zebranych danych, pozostawiając jedynie informacje o szybkości przebiegu reakcji chemicznych. Procesy te są na tyle złożone, że dokładna analiza i opis reakcji spalania w tlenie są bardzo utrudnione. Możliwa jest natomiast analiza procesu spalania w tlenie poprzez opis mechanizmu spalania paliwa oraz określanie kinetyki tego procesu. Niezależnie od obszaru, w którym przebiegać będzie proces spalania ziarna węgla, ciśnienie cząstkowe tlenu odgrywa kluczowe znaczenie w procesie spalania. Dodatkowo w procesie spalania tlenowego może być utrudniona dyfuzja tlenu do powierzchni ziarna z uwagi na konieczność recyrkulacji spalin do komory i zwiększonego udziału CO₂. Jak wykazały badania, dyfuzyjność tlenu jest ok. 20% niższa w CO₂ niż w N₂. Te i inne czynniki charakterystyczne dla spalania tlenowego węgla i oddziaływujące na kinetykę spalania wymagają poznania i wyjaśnienia. Temu służy przygotowywana przez konsorcjum książka [2], która stanowi podsumowanie ponad 2 letnich badań podstawowych nad fundamentalnymi procesami spalania tlenowego węgla i usuwania CO₂.

Testowanie i optymalizacja adsorbentów do usuwania CO₂.

Opracowano procedurę testowania stałych adsorbentów CO₂ metodą termogravimetryczną. Przeprowadzone badania pozwoliły scharakteryzować zarówno wybrane adsorbenty fizyczne jak i pozyskane adsorbenty fizykochemiczne w niebadanych do tej pory



warunkach spalin ze spalania w tlenie i atmosferach wzbogaconych w tlen. Prowadzone do tej pory badania adsorbentów i ich optymalizacji dotyczyły warunków 100% CO₂ i warunków typowych dla postcombustion tzn. zawartości CO₂ na poziomie 10-15% obj. w symulującej spaliny mieszaninie gazowej. Przeprowadzone badania pozwoliły określić potencjał użycia różnego typu adsorbentów do separacji CO₂ w mieszaninach bogatych w CO₂. Wybrane komercyjne adsorbenty fizyczne (węgiel aktywny z łupkę orzecha kokosowego, molekularne sito węglowe, zeolit 4A) oraz otrzymane w wyniku przeprowadzonych syntez sorbenty fizykochemiczne testowano celem określenia ich pojemności sorpcyjnej względem CO₂ oraz opracowania charakterystyk sorpcyjnych w tym profili adsorpcji/desorpcji. Charakterystyki opracowano w zależności od składu mieszaniny gazu – zawartości CO₂ i temperatury; wykonano także ocenę ich regenerowalności oraz cyklu życia. Innowacją etapu jest także synteza oraz przebadanie wraz z typowymi adsorbentami fizycznymi adsorbentów fizykochemicznych, w tym tych pozyskiwanych na bazie odpadu jakim jest popiół lotny ze spalania węgla. Dla sorbentów fizykochemicznych oceniono efektywność ich modyfikacji aminami. Skuteczność procesu impregnacji potwierdziła analiza termogravimetryczna (TGA) oraz analiza widm w podczerwieni FTIR. Modyfikacja aminami służyć miała głównie zwiększeniu maksymalnej pojemności sorpcyjnej w wyższej temperaturze. Modyfikacja węgla i innych materiałów miała polepszyć naturalną pojemność sorpcyjną oraz ich selektywność adsorpcji CO₂. Badania pokazały, iż efektywna modyfikacja możliwa jest jedynie w przypadku materiału mezoporowatego. Modyfikacja węgla aktywnego, molekularnego sita węglowego i zeolitu wybranymi aminami nie przyniosła efektów. Korzystne rezultaty uzyskano jedynie dla modyfikowanego PEI materiału mezoporowatego F-SBA-15 z popiołu lotnego, który określić można jako sorbent fizykochemiczny. Wynika to z faktu, iż stały adsorbent (którym jest materiał mezoporowaty) adsorbuje fizycznie, natomiast substancja chemiczna (amina PEI), którą jest impregnowany adsorbent adsorbuje chemicznie.

Wychwytywanie i składowanie CO₂ – studium przypadku PGE Elektrownia Turów.

Opracowano dwa warianty technologiczne dostarczania CO₂ do szklarni ogrodniczej zlokalizowanej w sąsiedztwie PGE Elektrowni Turów:

1. Pierwszy wariant zakłada „inhalowanie” szklarni ogrodniczej mieszaniną gazową zawierającą CO₂ pochodzącą z oczyszczonych gazów odlotowych z Elektrowni Turów.
2. Koncepcja wychwytywania CO₂ z części gazów odlotowych, oczyszczania wychwyconego CO₂ oraz dostarczania go do szklarni ogrodniczej.

Opracowanie modelu matematycznego oraz kodu komputerowego zintegrowanego układu energetycznego.

Wyniki otrzymane z modelu separacji oraz sprężania CO₂ posłużyły do budowy zintegrowanego modelu oxy-spalania. Krzywe kompozycyjne otrzymane w ramach symulacji wymiany ciepła w poszczególnych wymiennikach posłużyły do wyboru miejsc, w których następuje integracja cieplna pomiędzy układem kondycjonowania spalin oraz układem parowym bloku. Natomiast krzywe kompozycyjne wymienników kriogenicznych posłużą do integracji cieplnej pomiędzy układami kriogenicznymi: tlenowni kriogenicznej oraz układu separacji i sprężania CO₂. W ramach integracji modeli poszczególnych instalacji technologicznych układu oxy prowadzono prace w zakresie optymalizacji struktur układów wyposażonych w różne instalacje tlenowni. Wykorzystanie alternatywnych metod separacji tlenu pozwalających na uzyskanie tlenu o wysokiej czystości umożliwia zastosowanie mniej skomplikowanych oraz mniej energochłonnych instalacji kondycjonowania spalin. Bazując na metodzie "input-output" zaproponowano tablice przepływów międzygałęziowych dla zintegrowanego układu elektrowni ze spalaniem tlenowym. Nośniki energii i materiały podzielono na dwie grupy: produkty główne i uboczne stanowiące I grupę i dostawy wyłączne (paliwa, woda surowa, kamień wapienny) należące do II grupy. Układ równań macierzowych: bilansu produktów głównych, produktów ubocznych i dostaw wyłącznych stanowią model matematyczny bezpośredniego zużycia energii. Model ten służy do analizy

LITERATURA

- [1] Spalanie tlenowe dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂. Pod red. W. Nowak, T. Czakiert, Pol. Częstochowska (2012).
- [2] Spalanie tlenowe dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂ – Mechanizm i Kinetyka Spalania. Pod red. W. Nowak, T. Czakiert, W. Rybak. Pol. Częstochowska (2013) w druku.
- Praca naukowa dofinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” Zadanie Badawcze nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂”, umowa nr SP/E/2/66420/10.
- Artykuł opracowano na podstawie raportu członków konsorcjum z 2013 r., którym Autor składa gorące podziękowanie za olbrzymi wkład w realizację Programu Strategicznego.

badania wpływu zmian procesowych na bilans dostaw nośników energii do zintegrowanego układu oxy-spalania.

Synteza materiałów perowskitowych, wytworzenie z nich membran tlenowych oraz wykonanie badań uzyskanych membran.

Optymalizacja procesu wytwarzania membran z perowskitu Ba_{0,5}Sr_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-δ} (BSCF) spowodowała uzyskanie strumienia przenikania tlenu wynoszącego 2,61 ml/cm²min w temperaturze 950°C dla gęstej membrany o grubości 1,05 mm przy przepływie helu i powietrza na poziomie 1000 mlN/min. Zostało to osiągnięte poprzez otrzymanie korzystniejszej mikrostruktury membran charakteryzującej się większymi rozmiarami ziaren, węższymi granicami międzyziarnowymi i brakiem porów, co przyczyniło się do zwiększenia przewodnictwa jonów tlenu. W celu określenia żywotności, membrana o osiągniętych zbliżonych do najlepszej została poddana długotrwałym testom 2000 godzin pracy. Otrzymane wyniki wykazały, że po przepracowaniu zakładanej ilości godzin membrana nadal pracuje z wydajnością bardzo zbliżoną do początkowej. Natomiast nieznaczne pogorszenie właściwości membrany (skład fazowy, mikrostruktura) wynikało z wpływu degradującego środowiska w trakcie pracy membrany. Opracowano dwie technologie wytwarzania rurowych membran tlenowych z materiału perowskitowego BSCF. Membrany rurowe wytworzone metodą prasowania izostatycznego i formowania z masy plastycznej nie uległy deformacji oraz wykazywały wystarczającą gęstość. Dyfraktogramy rentgenowskie membran nie wykazywały odstępstw od widma wzorcowego. Średni rozmiar krystalitów mieścił się w zakresie od 81 do 101 nm. Skład chemiczny membran nie różnił się znacząco od oczekiwanego. Także mikrostruktura powierzchni membran wykonanych obiema metodami była dość podobna. Na powierzchni obu membran widoczne były słabo zarysowane granice międzyziarnowe, a rozmiary ziaren przekraczały 100 μm.

Przegląd i kategoryzacja technologii rozdzielu powietrza pod względem ich przydatności w oxy-spalaniu. Bloki o mocy wyższej od 25 MWe powinny być kojarzone z kriogenicznymi

instalacjami separacji powietrza. Instalacje pilotowe, laboratoryjne, a także instalacje spalania tlenowego w jednostkach o małych mocach (rozproszona kogeneracja, spalarnie odpadów, huty i inne) mogą być zasilane tlenem pochodzącym z instalacji adsorpcyjnych i membranowych. Uwzględniając zarówno nakłady energetyczne konieczne do separacji powietrza jak i do sprężenia powstałego w wyniku spalania tlenowego dwutlenku węgla, optymalna czystość tlenu to około 95%. W celu poprawy rachunku ekonomicznego należy się skupić na wykorzystaniu specyficznych uwarunkowań związanych z zastosowaniem tlenowego spalania węgla w energetyce, tj.:

- wykorzystanie produktów odpadowych z procesu separacji tlenu z powietrza, takich jak głównie azot ale też argon. Uzyskany azot można wykorzystać do takich celów jak inertyzacja różnych zbiorników lub silosów np. z biomasą, zabezpieczenie przed pożarem / wybuchem instalacji młynowych np. do współspalania biomasy lub instalacji transportu pneumatycznego, suszenie węgla i biomasy;
- wykorzystanie odpadowego ciepła z bloków energetycznych. Możliwa jest integracja cieplna kriogenicznego procesu separacji tlenu z procesem wytwarzania energii w bloku. W mniejszych blokach energetycznych możliwa jest integracja cieplna z adsorpcyjną technologią separacji tlenu poprzez dodatkowe wykorzystanie zmian temperatury w łączonym procesie ciśnieniowotemperaturowym (PTSA). Uzasadnione jest wykorzystywanie do regeneracji złoża temperatur już na poziomie 340 K, co byłoby korzystne ze względu na stosunkowo niewielki spadek sprawności obiegu cieplnego. Separacja tlenu oparta na temperaturach 293 – 340 K jest niewystarczająco efektywna w samym procesie TSA ale może być wykorzystana w łączonym procesie ciśnieniowotemperaturowym PTSA;
- wykorzystanie energii niskotemperaturowej skroplonego tlenu lub skroplonego gazu ziemnego. Analiza możliwości skojarzenia kriogenicznej ASU z innymi procesami wskazuje na duży potencjał proponowanych rozwiązań. Otrzymane wyniki, po uzyskaniu danych eksperymentalnych, będą podstawą do opracowania projektu rzeczywistej instalacji

skojarzenia gazyfikacji kriogenu z napełnianiem zbiorników adsorpcyjnego magazynowania metanu. Istnieje możliwość wykorzystania egzergii fizycznej ciekłego tlenu na poziomie dochodzącym do 18% w odniesieniu do całkowitej egzergii fizycznej ciekłego tlenu (27% w odniesieniu do egzergii uwalnianej podczas przemiany fazowej).

Symulacja stanów ustalonych pracy kotła i optymalizacja rozkładów ziaren w procesie fluidalnego oxy-spalania. W wyniku przeprowadzonych testów komputerowych stwierdzono, że główne charakterystyki w bilansie to stała unosu i stała spalania pozostałości koksowej. Stała unosu dla warunków spalania tlenowego, tj. mieszanki gazów CO_2 i O_2 dostarczanych do komory paleniskowej kotła, przyjmowała wyższe wartości w odniesieniu do mieszanki gazów N_2 i O_2 . Zatem można wnioskować, iż w warunkach spalania tlenowego można zredukować prędkość mieszanki gazów, aby osiągnąć te same warunki aerodynamiczne jak dla spalania klasycznego. Porównanie wyników symulacji z danymi eksperymentalnymi wykazało, iż opracowany model bilansowy stanu ustalonego pracy kotła dość dobrze odzwierciedla stan pracy instalacji pilotażowej. Opracowany program komputerowy nadaje się do badań diagnostycznych kotłów z cyrkulacyjną warstwą fluidalną. Z przeprowadzonych porównań wynika, iż w warunkach spalania tlenowego znacząco wzrasta krotność recyrkulacji materiałów granulowanych w konturze kotła, w odniesieniu do krotności recyrkulacji obliczonej dla warunków spalania klasycznego. Oceniono, iż w rozważanym przypadku nastąpił 35,7 % wzrost krotności. Natomiast wentylatory nadmuchowe i wyciągowe kotła cyrkulacyjnego w warunkach spalania tlenowego muszą cechować się zwiększoną mocą. Ta niekorzystna cecha spowodowana jest przez skład mieszanki gazów, która cechuje się zwiększonym poziomem gęstości w odniesieniu do mieszanki gazów dla spalania klasycznego. W analizowanym przykładzie obserwuje się 38,99% wzrost gęstości mieszanki gazów w warunkach spalania tlenowego w odniesieniu do warunków spalania klasycznego. W znacznej części ten niekorzystny wpływ jest kompensowany w warunkach spalania tleno-

wego przez zwiększony strumień materiału recyrkulowanego.

Symulacje RANS i LES przepływu i spalania w instalacjach pilotowych kotła PC oraz CFB.

W zakresie modelowania spalania pyłu węglowego przedstawiono kompletny model matematyczny spalania pyłu węglowego w zawirowanym przepływie turbulentnym. Przeanalizowano proces spalania w atmosferze powietrza oraz w atmosferze O_2/CO_2 przy zmianie udziału objętościowego tlenu w zakresie 21-40%. Pokazano wpływ zmiany składu atmosfery utleniającej na pole prędkości i temperatury w komorze spalania. Pokazano wpływ jakości modelowania przepływu turbulentnego na wyniki obliczeń. W obliczeniach dla wszystkich atmosfer utleniających wykorzystano zarówno klasyczne metody modelowania przepływu turbulentnego typu RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations) jak i metodę LES (Large Eddy Simulation), która pozwala na wyznaczenie dynamiki niestacjonarnych gruboskalowych struktur wirowych, kształtujących front spalania i wpływających w znaczący sposób na rozkłady temperatury. Pokazano, że w zależności od sposobu modelowania przepływu turbulentnego różnice w poziomie temperatury, szczególnie przy podwyższonym stężeniu tlenu, mogą sięgać 200°C w sąsiedztwie palnika. Bardzo istotnym wnioskiem z przeprowadzonych badań jest stwierdzenie, że wpływ sposobu modelowania przepływu turbulentnego jest wyraźny w bezpośrednim sąsiedztwie palnika wirowego. W związku z tym w przypadku modelowania w kotła pyłowego w pełnej skali kosztowne metody LES mogą być stosowane tylko w bliskim sąsiedztwie palnika, a w dalszym obszarze wykorzystać można bardziej efektywne metody RANS. Bardzo interesujące wyniki uzyskano dla przypadku 40% udziału tlenu. Przykład ten pokazuje, że zmiana składu atmosfery utleniającej może prowadzić nie tylko do zmiany temperatury w płomieniu, ale może też prowadzić do bardzo istotnej zmiany aerodynamiki płomienia. Przykład ten nakazuje zachowanie szczególnej ostrożności przy adaptacji istniejących instalacji na potrzeby spalania tlenowego. W zakresie modelowania przepływu i spalania w instalacji pilotowej CFB przeprowadzono





obliczenia dla przypadku dwuwymiarowego, zmieniając skład atmosfery utleniającej O_2/CO_2 dla udziału objętościowego tlenu w zakresie 21-35%. Uzyskane wyniki są w dobrej zgodności z danymi eksperymentalnymi, wskazując na poprawność opracowanego modelu matematycznego.

Wychwytywanie i składowanie CO_2 – topologiczne studium przypadku Tauron Wytwarzanie – Elektrownia Łagisza.

Opracowano wirtualny model instalacji wymywania CO_2 w roztworach wodnych etanolamin w temperaturach bliskich otoczenia dla skali odpowiadającej 30 MWe ze zlokalizowaniem kluczowych elementów oraz połączeń technologicznych. Lokalizację modelu poprzedzono pomiarami weryfikacją rozpatrywanych wariantów i udostępnionego zasobu dokumentacyjnego. Analiza schematu technologicznego z uwzględnieniem skali instalacji pozwoliła na rzetelny dobór gabarytów urządzeń i aparatów oraz przyjęcie realnych przekrojów orurowania tworzącego kluczowe połączenia technologicznie. Uwzględniono też relację do istniejącego kanału spalin i podstawowe obiekty konstrukcyjnobudowlane.

Długoterminowe badania w skali przemysłowej materiałów konstrukcyjnych w kotłach z cyrkulacyjną warstwą fluidalną współspalających biomasę.

Ukończone prace związane z automatyzacją procesu chłodzenia sond korozji w kotle z cyrkulacyjną warstwą fluidalną CFB - 59,7 kg/s; 540 °C; 97 bar; 154MWt. Algorytmy regulacyjne zostały zaimplementowane do układu DCS kotła, jak również opracowano aktywne obrazy graficzne umożliwiające zmiany wartości nastaw oraz wizualizację parametrów pracy sond. Przeprowadzono również prace polegające na uruchomieniu i kalibracji układów pomiarowych temperatury oraz ilości czynnika chłodzącego do każdej z sond. Materiały do wykonania próbek pozyskano w postaci rur z hut specjalizujących się w produkcji stali kotłowych cechujących się m.in. dużą zawartością niklu oraz innych dodatków zwiększających wytrzymałość korozyjną tych stali. Do badania przygotowano dwa rodzaje próbek z każdego z pozyskanych mate-

riałów stali (9 rodzajów – 16Mo3, 13CrMo4-5, X8CrNi19-11, HR6W, HR11N, 7Cr, NF709, Super 304H, HR3C). Pierwszy - w postaci jednolitych pierścieni o takich samych wymiarach wykonanych z jednego rodzaju stali, oraz drugi - w postaci pierścieni z jednego rodzaju materiału, które zostały wstępnie przecięte, a następnie zesparowane (łącznie otrzymano 144 próbki). Próbki zostaną zainstalowane na sondach korozji oraz wprowadzone do ciągu konwekcyjnego kotła z cyrkulacyjną warstwą fluidalną CFB - 59,7 kg/s; 540 °C; 97 bar; 154MWt pracującego w Zespole Elektrociepłowni Konin.

Badania technologiczne fluidalnego oxy-spalania w skali pilotowej.

Prace realizowane są na instalacji pilotowej z cyrkulacyjną warstwą fluidalną o mocy cieplnej 0.1 MWt. Stanowisko laboratoryjne do badań procesów oxy-spalania paliw pod ciśnieniem ma parametry 1,5MPa i jest zbudowane w oparciu o reaktor fluidalny oraz w instalacji doświadczalnej (pilotowej) ciśnieniowego oxy-spalania paliw stałych w reaktorze CFB o wydajności 25kg/h. W zakresie prac nad modelem symulacyjnym wykorzystywany jest ponadto program do analizy procesów fluidyzacyjnych CPF D „Barracuda”. Przeprowadzone badania laboratoryjne obejmowały eksperymenty oxy-spalania paliw stałych w atmosferze powietrza oraz atmosferze O_2/CO_2 , w warunkach ciśnienia atmosferycznego oraz w warunkach ciśnienia podwyższonego. Zastosowanie elementów układu pomiarowego (w szczególności zaawansowanych analizatorów spalin) pozwoliły na stosunkowo dokładne poznanie charakteru procesów zachodzących podczas oxy-spalania w zależności od rodzaju paliwa, stosowanej atmosfery utleniającej oraz pozostałych parametrów procesowych. Na szczególną uwagę zasługuje wpływ ciśnienia na konwersję tlenków azotu podczas spalania. Osłabienie tworzenia się tych zanieczyszczeń wraz ze wzrostem ciśnienia jest wyraźne i zostało potwierdzone eksperymentalnie podczas spalania zarówno węgla kamiennych jak i brunatnych. Względne różnice mierzonych wartości udziałów objętościowych NO w spalinach pochodzących z procesów prowadzonych w warunkach atmosferycznych i ciśnieniowych wynosiły ponad 50%.





Badania popiołów dennych z wykorzystaniem techniki mikroskopii elektronowej pozwoliły na ocenę konwersji paliw stałych podczas spalania i wpływ parametrów procesowych na morfologię tworzonych popiołów dennych. Jak wynika z przedstawionych analiz, nie zaobserwowano istotnego wpływu parametrów, w szczególności rodzaju utleniacza, ciśnienia i paliwa na wielkość oraz kształt tworzących się popiołów dennych, aczkolwiek morfologia powierzchni próbek była wyraźnie bardziej rozwinięta w przypadku popiołów pochodzących ze spalania węgla brunatnego.

Symulacja procesu wymiany ciepła w kotłach.

Prowadzono obliczenia numerycznej mechaniki płynów warstwy fluidalnej w celu znalezienia najodpowiedniejszej metody pozwalającej na poprawne symulacje transportu materiału warstwy. Wybrano model gęstej fazy rozproszonej (ang. DDPM) bazujący na technice Euler'a-Lagrange'a. Uzyskano pierwsze wyniki symulacji numerycznych procesu oxy-spalania w instalacji eksperymentalnej CFB. Obliczony profil ciśnienia, temperatury i składu spalin odbiega o zmierzony maksymalnie o 6%. Przeprowadzono wielowariantową analizę modeli turbulencji stosowanych w obliczeniach przepływu wielofazowego w cyklonach. Obliczenia pozwoliły na wybór modelu turbulencji naprężeń Reynoldsa jako najbardziej odpowiedniego. Opracowano sposób wyznaczania stałych kinetycznych oparty o statystyczną metodę właściwej dekompozycji ortogonalnej.

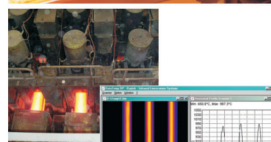
Modelowanie matematyczne i obliczenia numeryczne procesu spalania pyłu węglowego w różnej skali

Opracowano oryginalny model matematyczny opisujący proces spalania pojedynczej cząstki pozostałości koksowej oraz przeprowadzono serię komputerowych symulacji numerycznych rozważanego procesu. W modelu matematycznym, zapisanym w postaci równań różniczkowych zwyczajnych opisujących prawo zachowania masy i energii dla spalanej cząstki pozostałości koksowej, szybkość spalania cząstki określa model kinetyczno-dyfuzyjny, w którym uwzględniono przeciwno kierunkową dyfuzję nierównomolową.

PIROMETRY SKANERY LINIOWE KAMERY TERMOWIZYJNE



-40...3000°C



PIROMETRY

Jedno i dwubarwowe, ze światłowodem lub bez. Pomiar przez wzierniki, zapylenie, w pobliżu silnych pól elektromagnetycznych czy w wysokiej temperaturze otoczenia. Możliwość podłączenia kilku głowic do jednego przetwornika (seria MI3) z Profibusem, RS485 lub Modbusem. Także do pomiaru płomienia i pracy w strefie Ex.

SKANERY LINIOWE

Pomiar temperatury do 1024 punktów w jednej linii. Częstotliwość do 150 linii/s. Oprogramowanie do kontroli procesów przemysłowych. Zaawansowane funkcje alarmowe i kontroli procesu. Serwer http i OPC. Praca w temperaturze otoczenia do 1090 °C w specjalnej obudowie.

KAMERY TERMOWIZYJNE

Kamery termowizyjne o zakresach spektralnych od 0,4 do 14 µm. Kontrola wizyjna procesów wysokotemperaturowych z opcją pomiaru temperatury do 2000 °C. Obudowa do pracy w otoczeniu do 400 °C. Różne obiektywy. Oprogramowanie producenta i biblioteki SDK.

Organizujemy prezentacje i testy oferowanych urządzeń u Klientów.
Dodatkowe informacje na www.irtech.pl

IRtech®

info@irtech.pl

e-r-s to ...

planowanie i wykonawstwo kompletnych projektów wymurówek i innych osłon ogniotrwałych włącznie z:

- projektem inżynierskim
- dostawą materiałów
- udostępnieniem wykwalifikowanej kadry
- przygotowaniem dokumentacji i badań.

to ...

- zabudowywanie nowych oraz utrzymanie i konserwacja już istniejących instalacji
- magazynowanie materiałów również na pilne, doraźne potrzeby naszych Klientów
- produkcja prefabrykatów ogniotrwałych
- osuszanie, wstępne podgrzewanie osłon ogniotrwałych

Posiadamy:

- dział serwisowo-montażowy (z ok. 80 pracownikami)
- wykwalifikowaną kadrę zarządzającą z fachową wiedzą i doświadczeniem
- własnych certyfikowanych spawaczy
- własny dział inżynieryjny i projektowy
- magazyny składowania
- flotę pojazdów serwisowych
- nowoczesne maszyny budowlane.

Nasz główny obszar działalności to:

- komunalne lub szczególne spalarnie odpadów
- instalacje i agregaty przemysłu chemicznego i petrochemicznego
- instalacje topnienia i wylewania metali nieżelaznych
- instalacje produkujące parę wodną
- kotły, piece z kompletnym wyściełaniem materiałami włóknistymi.

