

Autor: mgr inż. Maciej Cholewiński

Promotor: prof. dr hab. inż. Wiesław Rybak

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Wojciech Moroń, prof. uczelni

Tytuł: Wpływ warunków spalania i rodzaju paliwa na emisję rtęci w czasie spalania pyłu węglowego

STRESZCZENIE PRACY DOKTORSKIEJ

Niniejsza rozprawa doktorska traktuje o wpływie właściwości fizykochemicznych stosowanych w energetyce zawodowej i przemysłowej paliw stałych – głównie polskich węgla energetycznych – oraz wybranych parametrów procesu spalania na szeroko rozumiane zagadnienia związane z unosem oraz emisją rtęci towarzyszącymi eksploatacji siłowni ciepłych wyposażonych w kotły pyłowe. W ramach przeprowadzonych i zaprezentowanych badań laboratoryjnych i analiz skupiono się w niej przede wszystkim na możliwościach ograniczania uwolnień wspomnianego zanieczyszczenia z wykorzystaniem tzw. metod pierwotnych, opierających się na umiejętnym doborze paliw i parametrów procesowych, oraz opracowaniu narzędzi umożliwiających przewidywanie spodziewanych wartości stężeń wspomnianego pierwiastka w spalinach kotłowych – na bazie znajomości właściwości fizykochemicznych paliw stałych oraz specyfiki pracy modelowej jednostki energetycznej z paleniskiem pyłowym.

Przygotowana praca składa się z 9 rozdziałów: 1) czterech poświęconych przeglądowi literatury, identyfikacji braków lub nieścisłości naukowo-technologicznych oraz opisowi zjawisk towarzyszących przemianom rtęci w czasie spalania pyłu węglowego, 2) jednego przedstawiającego cel, zakres oraz tezy rozprawy oraz 3) czterech, w których przywołano zastosowaną lub opracowaną metodologię oraz wyniki i wnioski z przeprowadzonych testów laboratoryjnych i analiz. Praca odwołuje się przy tym do 166 pozycji literaturowych oraz zawiera 25 tabel i 78 różnego rodzaju grafik, schematów, zdjęć i wykresów.

W pierwszym rozdziale skupiono się na wskazaniu celowości podejmowania prac badawczo-rozwojowych związanych z problemem emisji rtęci z procesów spalania paliw stałych, prowadzonych w nawiązaniu do potrzeb współczesnej energetyki zawodowej, przemysłowej i komunalnej oraz rozwoju i wdrażania tzw. czystych technologii węglowych. W rozdziale drugim przywołane obserwacje skojarzono z takimi zagadnieniami jak zasięg migracji związków rtęci czy też wielkość współczesnych uwolnień tego zanieczyszczenia, wskazując przy tym na fakt powszechnej obecności pierwiastka w najważniejszych paliwach energetycznych i możliwości wpływania na poziomy jego uwolnień z procesów spalania na drodze ingerencji w skład mieszanki paliwowej i parametry procesu spalania. Następnie, w rozdziale trzecim, przywołano specyfikę zjawisk i przemian rtęci towarzyszących procesom spalania paliw stałych oraz związane z nią możliwości kontrolowania stężeń rtęci w emitowanych spalinach. Uznano, iż poza samym paliwem (którego skład bezpośrednio wpływa na unos oraz specjację rtęci w spalinach kotłowych), także zmiana wybranych parametrów procesowych może mieć znaczący wpływ na kwestie ograniczania emisji tego pierwiastka. Wykazano przy tym wyraźne zróżnicowanie osiąganych w spalinach kotłowych stężeń rtęci oraz sprawności ograniczania jej emisji, zależne m.in. właśnie od rodzaju spalanego surowca energetycznego i parametrów procesu spalania.

Trzy pierwsze rozdziały potwierdziły także fakt istnienia szeregu sprzecznych lub jedynie wstępnie bądź warunkowo uzasadnionych tez naukowych i obserwacji związanych z ograniczaniem emisji rtęci za pomocą metod pierwotnych. Odnotowano ponadto liczne braki literaturowe i nieścisłości związane m.in. z oceną wpływu ww. aspektów paliwowo-procesowych na proceder uwolnień rtęci z palenisk pyłowych oraz potrzebę opracowania nowych narzędzi laboratoryjnych i algorytmów obliczeniowych służących klasyfikowaniu i ocenie stosowanych paliw stałych i technologii spalania z punktu widzenia emisji rtęci.

Poczynione obserwacje posłużyły do postawienia celów (naukowych i praktycznych) i łącznie 5 tez pracy, a w nawiązaniu do nich – także ustanowienia zakresu niezbędnych do podjęcia prac laboratoryjnych i analiz. Całość opisano w rozdziale piątym. Podstawowym celem naukowym pracy stało się określenie wpływu rodzaju stosowanego paliwa (jego właściwości fizykochemicznych – przede wszystkim zawartości rtęci, chloru oraz siarki) oraz wybranych parametrów procesowych (m.in. stopnia rozdrobnienia paliwa



oraz współczynnika nadmiaru powietrza) na specjację i stężenia rtęci w spalinach kotłowych podczas spalania pyłu węglowego.

W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki oznaczeń laboratoryjnych związanych z oceną wpływu rodzaju paliwa stałego na emisje rtęci. Przeprowadzona analiza fizyczna i pierwiastkowa wykazała wyraźne zróżnicowanie wartości najważniejszych wielkości fizykochemicznych – kaloryczności, zawartości popiołu, rtęci, siarki i chloru – biorących udział w kształtowaniu specjacji (prowadzących do uzyskiwania od 20 do blisko 99% udziałów formy utlenionej gazowej) i stężeń (od 4 do blisko $74 \mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{ref}}$) rtęci w unoszonych z komory paleniskowej spalinach kotłowych. Udowodniono przy tym brak znaczących korelacji między zawartością rtęci a pozostałymi analizowanymi, wyżej wspomnianymi parametrami użytkowymi paliw. Poczynione obserwacje potwierdzono dzięki wykorzystaniu autorskiego, laboratoryjnego testu polegającego na spopieleniu próbki w bombie kalorymetrycznej i wykonaniu bilansu mas rtęci w substratach i produktach – paliwa zawierające względnie niewielkie udziały chloru i jednocześnie wysokie siarki (m.in. analizowane węgle brunatne), w przeciwieństwie do badanych węgla kamiennych i biomas (z pewnymi wyjątkami – co sugeruje indywidualną specyfikę każdego z paliw, niezależną np. od stopnia uwęglenia) cechowały się niekorzystną specjacją rtęci w spalinach, którą częściowo można było zniwelować np. poprzez dodatek biomasy (na drodze współspalania – co także poddano oznaczeniom).

W rozdziale siódmym skupiono się na zbadaniu wpływu warunków procesu spalania w perspektywie możliwości kontroli unosu i emisji rtęci. W ramach podjętych analiz zidentyfikowano mechanizmy uwolnień rtęci z paliwa podczas pirolizy i odgazowania oraz możliwości, w przypadku węgla brunatnych, ponad 80-90-procentowego usunięcia związków rtęci z paliwa podczas wstępnej obróbki termicznej prowadzonej przy temperaturach poniżej 300°C (ze względu na ryzyko wzmożonej degradacji paliwa zasugerowano prowadzenie wspomnianej waloryzacji w atmosferze beztlenowej). Poczynione obserwacje potwierdzono testem w dużej skali laboratoryjnej, na autorskim stanowisku służącym do pomiarów specjacji rtęci. Analiza popiołów z dwóch rzeczywistych bloków węglowych udowodniła z kolei zasadność uzyskiwania drobnego przemiału paliwa, odchodzenia od generowania wzmożonego niedopału i wydłużania czasu kontaktu drobnych drobin popiołów lotnych ze spalinami (lub też ich ponownego wprowadzenia do traktu spalinowego) w perspektywie wysokiego wychwytu par rtęci na UPS.

Rozdział ósmy przedstawia opracowane narzędzia obliczeniowe umożliwiające szacowanie unosu i emisji rtęci z procesów spalania paliw w skali dużych bloków energetycznych. Stworzony na potrzeby niniejszej pracy algorytm, oparty na obliczeniach stechiometrycznych, uznać można za przydatny tak przy określaniu spodziewanych stężeń rtęci w spalinach, jak i identyfikacji wskaźników emisji tego pierwiastka w zależności od obowiązujących standardów emisyjnych (np. BAT-AELs) oraz sprawności bloku. Z kolei podjęte w środowisku FactSage obliczenia potwierdziły z kolei wpływ współczynnika nadmiaru powietrza i rodzaju spalanego paliwa na krzywe równowagowe, a więc pośrednio także na intensywność procesów utleniania w warunkach rzeczywistych. Właściwości fizykochemiczne paliw stałych i parametry procesowe, co wykazano na drodze wykonanych obliczeń, ściśle korespondują z temperaturami panującymi w trakcie spalinowym, a więc również z możliwościami szybkiego wychłodzenia spalin (co sprzyja powstawaniu gazowej rtęci utlenionej). W pracy zidentyfikowano przy tym i oszacowano ryzyko spadku sprawności netto wynikającej z integracji procesu pirolizy niskotemperaturowej, a więc także wzrostu emisji dwutlenku węgla w przeliczeniu na jednostkę generowanej energii elektrycznej. Wykorzystano w tym celu model obiegu wodno-parowego bloku o mocy 200 MW przygotowany w środowisku Aspen Hysys (spadek sprawności, po optymalizacji źródła ciepła, wyniósł ok. 2 punkty procentowe). Na koniec zaproponowano rozwiązania pozwalające na ograniczenie negatywnego wpływu ww. technologii w skali bloku węglowego.

W ostatnim rozdziale podsumowano przeprowadzone analizy i obserwacje, potwierdzając wszystkie uprzednio postawione tezy pracy oraz fakt realizacji wszystkich założonych celów. Udowodniono tym samym przydatność naukową i praktyczną przygotowanej rozprawy w perspektywie rozwoju czystych technologii węglowych i uznania paliw węglowych za technicznie i ekologicznie uzasadnione w przyszłej strukturze energetyki zawodowej, przemysłowej i komunalnej.

