

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt. „Wybrane zagadnienia spalania tlenowego pyłu węglowego”

Autor: mgr inż. Jakub Długosz

Promotor: dr hab. inż. Halina Pawlak–Kruczek, prof. PWr

W pracy zanalizowano wybrane, istotne procesy (zagadnienia) wpływające na całokształt i efektywność zjawiska spalania pyłu węgla brunatnego w technologii spalania tlenowego (zwanej technologią oxyfuel, oxy, technologią spalania tlenowego czy po prostu spalaniem tlenowym). Technologia spalania tlenowego to nowatorska koncepcja bloków energetycznych pozwalająca na uzyskanie – wskutek zastąpienia utleniacza, którym w przypadku konwencjonalnego spalania jest powietrze, tlenem – wysokiej koncentracji CO₂ w gazach spalinowych. Dzięki temu, powstający w procesie spalania paliw kopalnych dwutlenek węgla (gaz cieplarniany uznawany za zanieczyszczenie główne z procesu spalania), łatwo jest oddzielić od pozostałych składników strumienia spalin, jest to znacznie mniej skomplikowane, niż wychwytywanie CO₂ w przypadku tradycyjnych bloków energetycznych opalanych węglem, tam bowiem, stężenie ditlenku węgla w gazach spalinowych jest małe (ok. 15%), a instalacje do jego wychwytu – kosztowne. Dzięki technologii spalania tlenowego można wychwycić praktycznie cały, emitowany w procesie spalania CO₂ (technologia zeroemisyjna), który następnie może być albo wykorzystany w procesach produkcyjnych, w procesach wspomagania podziemnego wydobycia ropy (ang. EOR – Enhanced Oil Recovery), technologiach podziemnego zgazowania albo sprężony i składowany/magazynowany (sekwestracja CO₂, ang. CCS – Carbon Capture and Storage). Technologia spalania tlenowego wymaga prowadzenia badań podstawowych w celu poznania jej mechanizmów i wzajemnych zależności parametrów spalania.

Zakres pracy obejmował badania oraz analizy procesów i etapów istotnych dla całości i efektywności procesu spalania tlenowego węgla brunatnego w komorach paleniskowych. Te wybrane etapy i ich parametry to: zapłon (temperatura, czas indukcji, intensywność), odgazowanie (piroliza) oraz szybkość spalania –reaktywność, o której decydują też własności

pozostałości koksowej i na którą ma wpływ skład atmosfery utleniacza, jak również parametry paliwa i procesu. Badania obejmowały wpływ rodzaju węgla, jego rozdrobnienia, zawartości wilgoci a także atmosfery gazowej (powietrze i mieszanina O_2/CO_2 o różnych udziałach obj. w przypadku zapłonu i spalania, atmosfera N_2 i CO_2 w przypadku pirolizy (odgazowania)). Głównym przedmiotem badań był węgiel brunatny z kopalni Turów (K8), jako potencjalna, ważna dla Polski, rezerwa energetyczna, wymagająca jednak usprawnień technologii spalania w aspekcie ograniczenia szkodliwych emisji do środowiska. Szczególną uwagę poświęcono ocenie wpływu zawartości wody (wilgoci) w węglu na badane parametry, gdyż węgiel brunatny, w odróżnieniu od kamiennego, cechuje się wysoką (do 70%) zawartością wody. Spalanie takiego węgla wymaga zwiększonego nakładu energii z powodu wstępnego odparowywania wilgoci, co obniża efektywność spalania. Równocześnie wytwarzana para wodna wpływa na mechanizm procesu spalania m.in. przez zmianę transportu ciepła do cząstek węgla. Przeprowadzono badania nad określeniem optymalnej, dopuszczalnej zawartości wilgoci w węglu, gwarantującej stabilne i skuteczne spalanie.

Zakres pracy, na początkowym etapie, obejmował wykonanie prac modernizacyjnych (wlot, wylot, wnętrze) stanowiska do badań zapłonu a następnie dotyczył szczegółowych badań i analizy procesu zapłonu obejmujących określenie minimalnych (krytycznych) temperatur zapłonu, czasów indukcji (opóźnienia) zapłonu i intensywności zapłonu.

Metodą analizy termogravimetrycznej przebadano, dla różnych atmosfer O_2/CO_2 (tj. o różnym stosunku tlenu do dwutlenku węgla), wpływ zawartości wilgoci w paliwie, jak i rozmiaru cząstek paliwa, na parametry procesu spalania, tzn. m.in. charakterystyczne punkty – ITR, PT, BT (punkt zapłonu, punkt maksymalnej szybkości spalania, punkt całkowitego wypalenia cząstek). Określono też szybkości spalania.

Kolejno realizowano, w piecu opadowym, badania szybkiej pirolizy, w atmosferze CO_2 i N_2 , węgla brunatnego o różnej wilgotności w celu oceny wpływu wilgotności i atmosfery na wielkość ubytku poszczególnych pierwiastków paliwa węglowego i ubytku masy tj. ilości wydzielonych części lotnych i ich składu oraz na reaktywność uzyskanej pozostałości koksowej.

W ramach badań przeprowadzono również modelowanie numeryczne procesu radiacji w komorze paleniskowej reaktora opadowego – w atmosferze OXY20, OXY30 i powietrza, dla węgla brunatnego i kamiennego o różnej wilgotności z uwzględnieniem różnych modeli radiacji. Ten ostatni aspekt był analizowany ponieważ w warunkach spalania tlenowego zmienia się zasadniczo rola i udział promieniowania w komorach paleniskowych kotłów

energetycznych. Obliczenia w oparciu o model numeryczny miały duże znaczenie praktyczne i mogły zostać częściowo zweryfikowane. W badaniach własnych nad modelowaniem procesu spalania i radiacyjnej wymiany ciepła w strefie spalania pyłu węglowego skorzystano z programu do obliczeń CFD (ang. – computational fluid dynamics) Ansys Fluent Software. Ocenie poddano wpływ atmosfery gazowej (OXY20, OXY30, powietrze), zawartości wilgoci w węglu (7 i 15%) oraz przyjętego modelu radiacji na proces spalania. Program Ansys Fluent umożliwia określenie warunków przepływowych ze spalaniem. Zmodyfikowano domyślnie wbudowany w ten program model Ważonej Sumy Gazów Szarych, model wbudowany jest powszechnie stosowany dla spalania w powietrzu, jednak jego założenia dyskwalifikują go z zastosowań do spalania tlenowego, stąd zaproponowane modyfikacje.

Zasadniczą tezą pracy jest twierdzenie, że jest możliwe zastosowanie pyłu węgla brunatnego, o określonym stopniu wstępnego wysuszenia i o rozkładzie ziarnowym poniżej 0,2 mm, do procesu spalania w atmosferach oxy, w zakresie 25-30 % stężeń tlenu, pozwalające uzyskać stabilny zapłon i wysoką sprawność spalania, a tym samym ograniczenie emisji gazu cieplarnianego. Ponadto zastosowanie atmosfery $O_2/CO_2/H_2O$ w miejsce powietrza może wywoływać korzystny wpływ na mechanizm procesu spalania węgla i wymianę ciepła przez radiację, a także na strukturę pozostałości koksowej sprzyjającą zwiększeniu reaktywności tej pozostałości.

Wykazano, że zachodzi istotny wpływ zawartości wilgoci i rozdrobnienia węgla turoszowskiego na podstawowe parametry procesu spalania, jak: charakterystyczne temperatury procesu spalania, szybkość spalania, czas wypalenia oraz skład części lotnych w procesie szybkiego odgazowania. Stąd istnieje możliwość ustalenia optymalnej zawartości wilgoci i optymalnego rozdrobnienia badanego węgla dla wybranej atmosfery oxy. Badania symulacji komputerowych procesu wymiany ciepła przez radiację pozwoliły określić współczynniki transmisyjności, emisyjności i absorpcji spalin.

Otrzymane wyniki mogą posłużyć lepszemu zrozumieniu zjawisk towarzyszących procesowi spalania tlenowego, co przekłada się na możliwość kontroli tego procesu i możliwość efektywnego wykorzystania węgla (zwłaszcza brunatnego o różnej zawartości wilgoci) w tym procesie. Badania dostarczają także informacji przydatnych dla projektowania kotłów energetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem palników, a także informacji o modelowaniu matematycznym procesu wymiany ciepła przez radiację.