

Tomasz CZAKIERT¹
Wojciech NOWAK²

SPALANIE TLENOWE DLA KOTŁÓW PYŁOWYCH I FLUIDALNYCH ZINTEGROWANYCH Z WYCHWYTEM CO₂ – OSIĄGNIĘCIA W PROJEKCIE STRATEGICZNYM NCBR

Spalanie tlenowe jest tematem działań prowadzonych w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” w Zadaniu Badawczym nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂”. W projekcie rozwijana jest jedna z technologii umożliwiających radykalne ograniczenie emisji CO₂ do atmosfery z dużych źródeł stacjonarnych, tj. spalanie tlenowe. Realizowane prace biorą pod uwagę różne typy palenisk, mianowicie kocioł pyłowy (PC), kocioł fluidalny z warstwą cyrkulacyjną (CFB) oraz ciśnieniowy reaktor CFB. Ponadto, prace uwzględniają pozostałe układy nierozzerwalnie związane z technologią spalania tlenowego, tj. układ separacji powietrza oraz układ do czyszczenia CO₂. Szeroko zakrojone badania w tym zakresie obejmują m.in. adsorpcyjne metody frakcjonowania powietrza i wydzielania CO₂ ze spalin oraz separację na membranach tlenowych. Wybrane instalacje wybudowane zostały w formie mobilnych laboratoriów, umożliwiających ich integrację z rzeczywistymi obiektami kotłowymi. Celem prowadzonych prac jest opracowanie wytycznych dla obiektu demonstracyjnego, uwzględniającego wytypowaną w wyniku realizacji projektu technologię spalania węgla, jak również wskazanie racjonalnie uzasadnionych lokalizacji dla tego rodzaju przedsięwzięcia na terenie naszego kraju. Szczegółowa rozważana jest również opcja retrofitu starszych bloków energetycznych, uwzględniająca przystosowanie modernizowanego obiektu do realizacji spalania tlenowego.

Słowa kluczowe: węgiel, O₂-CO₂, PC, CFB, PCFB, energetyka

¹ Autor do korespondencji: Tomasz Czakiert, Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa, tel. 34-3250945, tczakiert@is.pcz.czest.pl.

² Wojciech Nowak, Akademia Górniczo-Hutnicza, ul. Czarnowiejska 50B, 30-059 Kraków, wnowak@agh.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Panujące obecnie ogólne przekonanie, że za tzw. efekt cieplarniany odpowiedzialny jest przede wszystkim ditlenek węgla, doprowadziło do sytuacji w której znacząca część aktywności badawczej w obszarze wytwarzania energii elektrycznej z paliw kopalnych koncentruje się na zagadnieniach związanych z technologiami umożliwiającymi radykalne ograniczenie emisji tego gazu do atmosfery. Zmniejszenie ilości emitowanego CO₂, którego pierwotne źródło stanowi w dużej mierze sektor energetyczny, możliwe wydaje się głównie za sprawą:

- zwiększenia sprawności wytwarzania energii elektrycznej oraz zwiększenia efektywności jej wykorzystania przez końcowych odbiorców,
- przestawienia produkcji z elektrowni węglowych na energetykę jądrową oraz opartą na źródłach odnawialnych,
- przechwytywania CO₂ i jego magazynowania w sposób nie zagrażający ludziom i środowisku naturalnemu.

Ciężko jednoznacznie i kategorycznie opowiedzieć się za zasadnością obarczania ditlenku węgla za zmiany klimatyczne, jako że nie brakuje zarówno sceptyków jak i orędowników tej teorii, a każda z grup deklaruje swoje racje. Dlatego też, temat ten nie będzie stanowił przedmiotu niniejszej publikacji. Tak czy inaczej, każde z powyżej przedstawionych rozwiązań mających na celu redukcję emisji CO₂ ma swoje zalety, jak również nie jest wolne od wad. Z punktu widzenia rozwoju gospodarczego Polski, ostatnia z zaproponowanych opcji rozwiązuje jednak niewątpliwie jedną istotną kwestię, mianowicie pozwoli na dalszy rozwój przemysłu wydobywczego w naszym kraju oraz odbudowę mocy w sektorze energetycznym poprzez modernizację istniejących bloków węglowych.

Podążając dalej tym tropem należy stwierdzić, że sam wychwyt ditlenku węgla może być również realizowany na kilka diametralnie różnych sposobów, wśród których jako kluczowe technologie wymienia się [1]:

- separacja CO₂ po procesie spalania, tzw. post-combustion capture,
- separacja CO₂ w procesie zgazowania, tzw. pre-combustion capture,
- spalanie tlenowe z bezpośrednim przechwytywaniem CO₂, tzw. oxy-combustion capture.

Reasumując, z jednej strony, konieczność podjęcia przez Rząd Polski zdecydowanych kroków w kierunku ograniczenia emisji CO₂, co ostatecznie pozwoli na dopełnienie zobowiązań złożonych na arenie międzynarodowej; z drugiej zaś, mnogość alternatywnych opcji technologicznych umożliwiających osiągnięcie tego celu, zmusiła w pierwszej kolejności do poszukiwania sposobu na wyłonienie optymalnego rozwiązania w tym temacie. Z uwagi na kontrowersje jakie mogą ostatecznie budzić rozstrzygające decyzje, które każdorazowo wiążą się z pewnym kompromisem oraz poniesieniem kosztów: finansowych, społecznych, środowiskowych, zdecydowano, że wybór o którym mowa powyżej dokonany

zostanie w drodze otwartego ogólnokrajowego konkursu, ogłoszonego przez powołane m.in. do tego typu celów Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR).

2. Program Strategiczny NCBR

2.1. Założenia Programu

Konkurs o którym mowa w rozdziale 1 ogłoszono w ramach tzw. Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii” [4]. Z założenia, Program nie wykluczył z góry żadnej opcji technologicznej, która tylko dysponowała wystarczającym potencjałem by ostatecznie móc zaoferować możliwość głębokiego ograniczenia emisji CO₂ do atmosfery. Jednocześnie uznano że, finalna bezpośrednia konfrontacja zaproponowanych rozwiązań pozwoli na ich obiektywną ocenę, a w konsekwencji rekomendację kierunku rozwoju polskiej energetyki w najbliższych latach. Obszar zainteresowań podzielony został tym samym na cztery tzw. Zadania Badawcze, gdzie każde reprezentuje odmienny pomysł na rozwiązanie postawionego problemu, tj.:

- Zadanie Badawcze nr 1 „Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin”.
- Zadanie Badawcze nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂”.
- Zadanie Badawcze nr 3 „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”.
- Zadanie Badawcze nr 4 „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”.

Zadanie Badawcze nr 1 koncentruje się przede wszystkim na zagadnieniach związanych z podniesieniem sprawności wytwarzania energii w klasycznych blokach opalanych węglem w połączeniu z zastosowaniem wychwytu CO₂ ze spalin metodą aminową (post-combustion capture). W Zadaniu Badawczym nr 2 rozwijana jest technologia spalania tlenowego (oxy-combustion) z doczyszczaniem CO₂ metodą adsorpcyjną - o czym mowa szerzej w rozdziale 2.2. W ramach Zadania Badawczego nr 3 analizowana jest metoda wydzielania CO₂ w procesie zgazowania (pre-combustion capture), gdzie dodatkowo rozważana jest opcja podziemnej realizacji procesu. Ostatecznie, w Zadaniu Badawczym nr 4 zajęto się technologiami konwersji energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Tym samym, w ujęciu globalnym Program stanowi przekrój najlepiej rokujących technologii dedykowanych tzw. zero-emisyjnej energetyce zawodowej.

2.2. Zadanie Badawcze nr 2

Zadanie Badawcze nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂” [3] realizowane jest przez zawiązane do tego celu Konsorcjum w składzie: Politechnika Częstochowska (Koordynator), Politechnika Śląska, Politechnika Wrocławska, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Instytut Energetyki, Tauron Wytwarzanie SA Elektrownia Łagisza, PGE GiEK SA Elektrownia Turów, Foster Wheeler Energia Polska oraz Eurol ITS. Działania Partnerów w Zadaniu Badawczym zmierzają w kierunku odpowiedzi na dwa kluczowe pytania:

- Po pierwsze, która z technologii spalania węgla, tj. spalanie w kotle pyłowym (PC), spalanie w kotle z paleniskiem atmosferycznym z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (CFB), spalanie w reaktorze ciśnieniowym z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (PCFB), najlepiej nadaje się do skojarzenia z technologią spalania tlenowego?
- Po drugie, jakie możliwości oferuje wytypowana technologia spalania w kontekście zakładanego retrofitu istniejących bloków węglowych oraz z jakimi trudnościami należy się liczyć i jakie bariery pozostają do pokonania przy realizacji takiego przedsięwzięcia w skali przemysłowej?

Jednocześnie nie mniej ważnym aspektem prowadzonych prac jest zamierzenie Partnerów Konsorcjum co do osadzenia rozważanego obiektu demonstracyjnego w rzeczywistej lokalizacji, wpisując kolejne „brakujące” komponenty bloku realizującego spalanie tlenowe w istniejącą infrastrukturę jednej z polskich elektrowni. Wybór samego obiektu wraz z jego lokalizacją nie pozostaje tu jednak przypadkowy, a składać się będzie na niego między innymi odległość od potencjalnych miejsc deponowania CO₂, bądź też odległość względem potencjalnych odbiorców tego gazu.

Dla osiągnięcia zamierzonego celu Projektu konieczne stało się logiczne usystematyzowanie zaplanowanych działań, które zostało osiągnięte poprzez wprowadzenie czytelnego podziału zadań do wykonania i wynikających z nich kompetencji w ramach tzw. Tematów Badawczych, mianowicie:

- wykonanie badań podstawowych w małej skali laboratoryjnej,
- wykonanie badań procesowych w pełnej skali laboratoryjnej,
- wykonanie badań technologicznych w skali pilotowej,
- przeprowadzenie badań i analiz w zakresie produkcji tlenu,
- przeprowadzenie badań i analiz w zakresie doczyszczania CO₂,
- integracja środowiskowa wyników uzyskanych w Tematach Badawczych 1-5,
- opracowanie studium wykonalności obiektu demonstracyjnego bloku energetycznego z kotłem węglowym realizującym spalanie tlenowe.

Nadrzędnym celem prac prowadzonych w Temacie Badawczym nr 1 była budowa banku podstawowej wiedzy z zakresu tlenowego spalania węgla, który w pierwszej kolejności umożliwić miał pozostałym Partnerom Konsorcjum

realizację równoległe zaplanowanych działań, w tym między innymi kalibrację modeli matematycznych pisanych pierwotnie z myślą o klasycznym spalaniu w powietrzu. Dlatego też zakres prac obejmował w tym przypadku przede wszystkim badania eksperymentalne ukierunkowane na rozpoznanie kinetyki i mechanizmu tlenowego spalania węgla. Zebrany w ramach Tematu Badawczego nr 1 bogaty materiał naukowo-badawczy został następnie upubliczniony w postaci opracowania zbiorowego [2] wydanego w 2013 roku.

Badania realizowane w Temacie Badawczym nr 2 to pewnego rodzaju kontynuacja i rozwinięcie prac prowadzonych w Temacie Badawczym nr 1. Nie byłyby one jednak możliwe bez podstawowej wiedzy pozyskanej uprzednio przez Konsorcjantów, której znajomość pozwoliła na właściwą ocenę i interpretację obserwowanych zjawisk oraz opis analizowanych procesów jednostkowych, w zakresie spalania paliwa, odsiarczania spalin, korozji elementów urządzeń kotłowych, itd. Uzyskane w Temacie Badawczym nr 2 wyniki posłużyły z kolei w głównej mierze jako wytyczne do budowy i rozruchu trzech instalacji pilotowych, stanowiących podstawowe narzędzia przy opracowywaniu koncepcji kotłów realizujących spalanie tlenowe w pełnej skali technicznej.

Układy pilotowe o których mowa powyżej wykorzystywane są do badań technologicznych prowadzonych w skali wielkolaboratoryjnej w Temacie Badawczym nr 3, a są nimi:

- instalacja z paleniskiem atmosferycznym z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (CFB) o mocy 0,1MW_t,
- instalacja z reaktorem ciśnieniowym w cyrkulacyjną warstwą fluidalną (PCFB) o mocy 0,2MW_t,
- instalacja z palnikiem pyłowym (PC) o mocy 0,5MW_t.

Instalacje zlokalizowane są odpowiednio w Politechnice Częstochowskiej – Instytucie Zaawansowanych Technologii Energetycznych, Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze oraz Instytucie Energetyki w Warszawie. Intensywne badania nad procesem tlenowego spalania węgla w układach fluidalnym i pyłowym trwają praktycznie nieprzerwanie, a uzyskane wyniki mają ostatecznie dostarczyć argumentów uzasadniających wytypowanie jednej z analizowanych technologii, tj. Oxy-PC lub Oxy-CFB, do przyszłej demonstracji w skali przemysłowej.

W ramach Tematu Badawczego nr 4 rozwijane są z kolei technologie dedykowane wychytowi CO₂ ze spalin, które w Zadaniu Badawczym nr 2 koncentrują się na metodach opartych na stałych sorbentach. Za największe osiągnięcie w tym zakresie uznać należy z pewnością budowę i uruchomienie mobilnej kontenerowej instalacji separacji CO₂ wykorzystującej adsorpcję zmieniociśnieniową (VPSA). Warto podkreślić, że instalacja, po integracji z kotłem CFB na parametry nadkrytyczne o mocy 460MW_e pracującym w Tauron Wytworzenie Elektrowni Łagisza, przeszła pozytywnie testy technologiczne na rzeczywistych gazach spalinowych.

Temat Badawczy nr 5 poświęcony został w całości technologiom pozyskiwania tlenu. W tym zakresie badania i analizy prowadzone są równolegle w trzech wątkach. Pierwszy to separacja kriogeniczna powietrza, która przy obecnym stanie rozwoju technologii jako jedyna jest w stanie sprostać wymaganiom stawianym przez obiekt energetyczny dużej mocy. Drugi wątek stanowi separacja membranowa, gdzie na uwagę zasługują wytworzone w ramach Projektu sita molekularne z proszków perowskitowych. Niewątpliwym sukcesem jest również oddanie do użytku drugiej mobilnej kontenerowej instalacji zaprojektowanej z myślą o separacji tlenu z powietrza metodą VPSA.

Aktywność naukowa Konsorcjantów działających w Temacie Badawczym nr 6 pozostaje w dużym stopniu sprzężona z pracami realizowanymi w omówionych powyżej Tematach 1-5. Dane pozyskane w drodze prowadzonych badań eksperymentalnych wykorzystywane są tu bowiem do walidacji modeli numerycznych, odpowiadających pełnej gamie procesów dyskutowanych w ramach Projektu. Temat Badawczy nr 6 obejmuje również analizy systemowe, ekonomiczne oraz ocenę ryzyka związanego z budową i późniejszą eksploatacją bloku energetycznego z kotłem węglowym realizującym spalanie tlenowe. Tym samym, ten niezwykle istotny element Projektu stanowi swego rodzaju pomost do prac przewidzianych do wykonania w Temacie Badawczym nr 7, o czym mowa poniżej.

Temat Badawczy nr 7 to zwięźcenie całości prac prowadzonych w ramach Projektu, które finalnie ma przyjąć formę studium wykonalności obiektu demonstracyjnego. Ponadto, opracowanie ma zostać wzbogacone wirtualizacją zaprojektowanego układu, osadzoną w realnym otoczeniu jednej z istniejących polskich elektrowni.

3. Podsumowanie

Realizacja Zadania Badawczego nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂” jako całości, jak również poszczególnych prac wpisanych w kolejne Tematy Badawcze, przebiega jak dotąd bez większych zakłóceń. Osiągnięcia Konsorcjantów uzyskiwane na różnych polach ich działalności pozwalają rokować o końcowym sukcesie zaprezentowanego w artykule Projektu, dającym jednocześnie początek dalszej komercjalizacji rozwiązań i technologii opracowanych w ramach Programu Strategicznego NCBR „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”.

Literatura

- [1] Nowak W., Czakiert T. (red.): Spalanie tlenowe dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2012.
- [2] Nowak W., Rybak W., Czakiert T. (red.): Spalanie tlenowe dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂. Kinetyka i mechanizm spalania tlenowego oraz wychwytu CO₂, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2013.
- [3] <http://www.is.pcz.czest.pl/statystyczny> [dostęp: 14 czerwca 2014 r.].
- [4] <http://www.ncbir.pl/programy-strategiczne/zaawansowane-technologie-pozyskiwania-energii> [dostęp: 14 czerwca 2014 r.].

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.

OXY-COMBUSTION TECHNOLOGY FOR PULVERISED AND FLUIDIZED BOILERS WITH CO₂ CAPTURE – ACHIEVEMENTS IN STRATEGIC PROJECT SUPPORTED BY THE NATIONAL CENTRE FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT

Summary

Oxy-combustion is a subject of comprehensive studies carried out within the confines of Research and Development Strategic Program “Advanced Technologies for Energy Generation” – Project no. 2 “Oxy-combustion technology for PC and FBC boilers with CO₂ capture”, which is supported by the National Centre for Research and Development (NCBR) in Poland. - In the project the oxygen combustion as one of the technologies enabling radical reduction of CO₂ emissions from large stationary sources is developed. The studies take into consideration the different types of furnaces, namely pulverized-fuel boiler (PC), fluidized-bed boiler (CFB) and CFB pressure reactor. Furthermore, the study considered the others inextricably linked systems to oxygen combustion technology, such as air separation system and a system for CO₂ purification. Selected plants were built in the form of mobile laboratories, enabling their integration with real boiler objects. The aim of this work is to develop guidelines for the demonstrative object, taking into account selected by the project coal combustion technology, and an efficient indication of the well-grounded location for this kind of enterprise in our country. Option of retrofitting older power units, taking into account adaptation of modernized object to oxygen combustion is also considered.

Keywords: coal, O₂-CO₂, PC, CFB, PCFB, power industry

DOI: 10.7862/rm.2014.19

Otrzymano/received: 15.05.2014

Zaakceptowano/accepted: 27.05.2014

