

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Energetyki i Paliw

Al. A. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Nowaka

„Optymalizacja struktury systemu pomiarowego parowego bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego”

Wstęp

Recenzję pracy doktorskiej opracowano na podstawie pisma RIE-BD/4/189/2104/2015 na podstawie uchwały Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach z 29.01.2015 r.

Zasadność tematyki

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*”.

W ramach Programu Strategicznego szeroko dyskutowane były trzy opcje technologiczne realizacji spalania tlenowego (Oxy), mianowicie w układach z kotłem pyłowym (PC), fluidalnym (CFB) oraz reaktorem ciśnieniowym (PCFB). Zdobyta, w okresie 5 lat trwania projektu, wiedza i doświadczenie pozwala stwierdzić, że technologia Oxy-PC idealnie nadaje się do retrofitu istniejących bloków energetycznych, zwłaszcza bloków klasy 200MW_e, które

w polskich warunkach wymagają pilnej modernizacji i dostosowania ich do zastrzegających się wymogów ochrony środowiska. Technologia Oxy-CFB preferowana byłaby natomiast w przypadku zastosowania paliw gorszej jakości, mieszanek różnych paliw, w tym również spalania osadów ściekowych czy odpadów komunalnych. Obie technologie na etapie projektowania wymagają narzędzi pozwalających na optymalny wybór najbardziej sprawnego układu technologicznego.

Celem prac realizowanych w ramach zadania był więc wybór oraz opracowanie optymalnych wytycznych procesowych i projektowych dla układów oxy-spalania węgla, stanowiących podstawę do budowy w Polsce instalacji demonstracyjnych, stworzenie konkurencyjnego na rynku międzynarodowym banku wiedzy naukowej i procesowej oraz budowa krajowego know-how w zakresie technologii oxy-spalania węgla, przygotowanie kadry naukowo-inżynierskiej oraz zaplecza badawczego dla wsparcia sektora przemysłowego na etapie projektowania, realizacji inwestycji oraz eksploatacji komercyjnych instalacji wykorzystujących procesy oxy-spalania.

Przeprowadzone symulacje numeryczne oparte na danych eksperymentalnych dostarczonych z instalacji pilotowych pokazują, że zarówno technologia PC jak i CFB umożliwiają praktycznie bezpośrednie skojarzenie z technologią spalania tlenowego, bez znaczącej ingerencji w budowę kotła. Istotnym elementem technologicznym, zwłaszcza na etapie projektowania jest opracowanie optymalnej struktury systemu pomiarowego parowego bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego. Jedną z metod takiej optymalizacji jest metoda rachunku wyrównawczego.

To zadanie zrealizowane zostało w ramach przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej. Tematyka rozprawy doktorskiej wiąże się bezpośrednio z obserwowanym od wielu lat dynamicznym rozwojem technologii spalania tlenowego. Problem naukowy został postawiony poprawnie za pośrednictwem sformułowanych celów rozprawy. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autora.

Układ pracy

Praca została podzielona na pięć rozdziałów. Rozdział 1 zestawia główne i szczegółowe zagadnienia i cele badawcze pracy. W Rozdziale 2 Autor omawia systemy pomiarowe, zagadnienie optymalizacji i rachunku wyrównawczego oraz technologię spalania tlenowego.

Rozdział 3 poświęcony jest modelom symulacyjnym układu spalania tlenowego, które Autor wykorzystał w obliczeniach symulacyjnych – Thermoflex oraz AspenPlus, natomiast Rozdział 4 poświęcony jest metodyce lokalizacji pomiarów nadmiarowych przy wykorzystaniu rachunku wyrównawczego.

Po doborze układu równań warunków zadania wyrównawczego układu cieplnego bloku i funkcji celu zadania optymalizacyjnego w Rozdziale 6 pokazano wyniki modelowania symulacyjnego i optymalizacji lokalizacji nadmiarowych pomiarów.

Rozprawa kończy się podsumowaniem i wnioskami zawartymi w Rozdziale 6 oraz spisem literatury. Spis literatury zawiera 82 pozycje literaturowe. W załącznikach Autor zawarł schemat modelu symulacyjnego oraz szczegółowe wyniki obliczeń w technologii spalania powietrznego, tlenowego pierwszej i drugiej generacji

W wykazie publikacji Autor zamieścił 5 swoich publikacji ściśle związanych z pracą doktorską. Publikacje te ukazały się w recenzowanych artykułach konferencyjnych o wymiarze międzynarodowym.

Elementy oryginalności pracy

Za najważniejsze walory naukowe pracy w aspekcie naukowym uważam:

- opracowanie symulacyjnego modelu procesu konwersji energii w celu pozyskania danych do metody rachunku wyrównawczego,
- przeprowadzenie symulacji błędu pomiarowego w oparciu o metodę Monte Carlo i rachunek normalny,
- dokonanie zmniejszenia wymiarowości rozwiązywanego zadania optymalizacyjnego poprzez wstępną eliminację tych nadmiarowych pomiarów, które mają najmniejszy wpływ na zmianę przyjętej funkcji celu,

- wykazanie, iż zbiory optymalnych konfiguracji pomiarów są różne dla wszystkich przyjętych funkcji celu,
- wykazanie, iż w przypadku zastosowania funkcji celu w postaci minimalizacji względnej niepewności standardowej wybranego wskaźnika energochłonności największe zmniejszenie tej niepewności występuje już w przypadku zastosowania jednego nadmiarowego pomiaru.

Do istotnych walorów praktycznych pracy można zaliczyć:

- stwierdzenie, iż w przypadku minimalizacji względnej niepewności standardowej jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa pomiarem nadmiarowym jest pomiar strumienia pary upustowej do schładzacza pary w regeneracji wysokoprężnej,
- w przypadku turbozespołu pomiarem, który ma największy wpływ na minimalizację funkcji celu jest pomiar strumienia wody zasilającej kierowanej do odzysku ciepła w wymienniku obejściowym,
- stwierdzenie, iż dla funkcji celu w postaci dywergencji Kullbacka-Leiblera największy wpływ na maksymalizację funkcji celu jest pomiar strumienia kondensatu na wlocie do wymiennika regeneracji niskoprężnej NP2,
- udowodnienie, iż liczna nadmiarowych pomiarów w każdym z rozpatrywanych przypadków nie przynosi istotnych korzyści.

Ponadto, za istotne osiągnięcia praktyczne pracy uważam opracowanie modeli symulacyjnych bloku parowego w technologii spalania tlenowego pierwszej i drugiej generacji z podaniem szczegółowych wyników obliczeń.

Poziom warsztatowy

Przedstawiona rozprawa jest wynikiem bardzo trudnych uciążliwych analiz symulacyjnych z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego. Autor wykazał bardzo dobre przygotowanie w formułowaniu modeli matematycznych i ich realizacji, opanowanie technik matematycznych i programowania komputerowego. W szczególności podkreślić należy na swobodę z jaką posługuje się stosowanymi pojęciami oraz zależnościami. Zarówno dobór tematyki jak i analizowanych źródeł uznać należy za prawidłowy.

Pomijając drobne niedociągnięcia językowe i edytorskie można przyjąć, że rozprawa została napisana poprawnie. Praca posiada przejrzysty układ treści, konsekwentnie stosowane nazewnictwo oraz symbolikę.

Uwagi krytyczne

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się pewne uwagi krytyczne, które nie mają istotnego wpływu na wartość merytoryczną przedstawionej rozprawy, a dotyczą zagadnień omówionych poniżej.

1. Aby zmniejszyć spadek sprawności netto wytwarzania elektryczności w ramach Programu Strategicznego „Symulacje numeryczne oraz analizy systemowe oxy – spalania” Etap 6.2 zaproponowano i przeanalizowano szereg propozycje usprawnień parowego bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego. W następstwie tego spadek sprawności netto układu w przypadku najkorzystniejszego wariantu został w stosunku do referencyjnego układu powietrznego zredukowany do 7,27 punktów procentowych. Natomiast Autor rozdziale 1 twierdzi, iż spadek sprawności energetycznej netto układu może wynosić od 5 do 12 punktów procentowych. Proszę o komentarz w kwestii wartości 5 punktów procentowych bowiem jest to bardzo istotna wartość. W raporcie T. Lockwood „IEA Clean Coal Centre” z 2014 r mówi się o spadku sprawności przy obecnym stanie wiedzy o 7-9 punktów procentowych. Proszę podać i skomentować, w której pozycji literaturowej jest mowa o 5 punktach procentowych.
2. Niestety przegląd literaturowy dotyczący spalania tlenowego w rozdziale 2.3 jest bardzo ubogi i nie odzwierciedla aktualnego stanu wiedzy. Autor nic nie wspomina o metodzie adsorpcyjnej produkcji tlenu, która m.in. została opracowana w Programie Strategicznym w Zadaniu Nr 2.
3. Aby zmniejszyć spadek sprawności netto wytwarzania elektryczności w ramach Programu Strategicznego „Symulacje numeryczne oraz analizy systemowe oxy – spalania” Etap 6.2 (w tym etapie uczestniczył Autor rozprawy) zaproponowano i przeanalizowano następujące propozycje usprawnień układu referencyjnego:
 1. zwiększenie udziału tlenu w utleniaczu kierowanym do kotła do 30% (molowo),

2. regeneracja ciepła z chłodzenia międzystopniowego układu sprężania spalin do kondensatu obiegu parowego,
3. napęd parowy kompresorów w tlenowni i układzie sprężania spalin,
4. podgrzew tlenu technicznego kierowanego do kotła,
5. podsuszanie paliwa podgrzanym azotem (będącym produktem ubocznym z tlenowni),
6. podsuszanie paliwa podgrzanym azotem i podgrzanym powietrzem,
7. recyrkulacja do kotła spalin „gorących”, bez wykraplania z nich wilgoci,
8. pompowanie CO₂, poprzez jego wcześniejsze wykroplenie wodą chłodzącą z chłodni powietrznej,
9. pompowanie CO₂, poprzez jego wcześniejsze wykroplenie wodą chłodzącą z chłodni powietrznej oraz chłodni azotowej
10. kombinacja powyższych usprawnień zapewniająca najwyższą sprawność elektryczną netto bloku.

Dlaczego więc Autor na str. 14 wymienia jedynie 5 przypadków poprawy sprawności?

4. Obok aspektów związanych z wykonalnością obliczeniową zadania optymalizacyjnego i konsekwentnie aspektami ekonomicznymi pojawią się prawdopodobnie aspekty środowiskowe (zwłaszcza redukcja CO₂), o których Autor nic nie wspomina w rozprawie.

Wnioski końcowe

Reasumując można stwierdzić, iż tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Nowaka „Optymalizacja struktury systemu pomiarowego parowego bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego” wiąże się bezpośrednio z obserwowanym od wielu lat dynamicznym rozwojem technologii spalania węgla w atmosferze tlenowej. Problem naukowy został postawiony poprawnie oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych celów rozprawy. Zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autora.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera rozwiązanie ważnego zadania naukowego jakim analiza i optymalizacja lokalizacji nadmiarowych pomiarów układu pomiarowego na etapie jego projektowania dla bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego. Podejście takie jest bardzo nowatorskie.

Jej poziom merytoryczny uważam za dobry. Rozprawa dowodzi dojrzałości naukowej doktoranta przejawiającej się w doborze tematu, prawidłowym i jasnym postawieniu problemu, logicznym i realistycznym ustawieniu zakresu pracy. Poprawnie wybrano przedmiot analiz i metodykę, uzyskano ważne kompleksowe wyniki, a metodyka lokalizacji pomiarowych z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego może być z powodzeniem stosowana do innych układów technologicznych. Autor wykazała się dużymi umiejętnościami i talentem w prowadzeniu trudnych analiz optymalizacyjnych.

Oceniona rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych. Wobec powyższego wnioskuję, by Wysoka Rada Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach dopuściła mgr inż. Grzegorza Nowaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

