



**Prof. dr hab. inż. Robert SEKRET**  
Profesor zwyczajny w Politechnice Częstochowskiej

**POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA**  
**Wydział Infrastruktury i Środowiska**  
Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji  
42 – 201 Częstochowa, ul. J.H. Dąbrowskiego 69  
Tel.: +48 664758109; E-mail: [rsekret@is.pcz.czest.pl](mailto:rsekret@is.pcz.czest.pl)

Częstochowa, dn. 22.04.2016 r.

**Szanowny Pan**  
**Prof. dr hab. inż. Krzysztof Barbusiński**  
Prodziekan ds. Organizacji i Rozwoju  
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechniki Śląskiej  
ul. Konarskiego 18  
44-100 Gliwice

## **Recenzja**

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Dryjańskiej**

#### **1. Wprowadzenie**

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Nr RIE-BD/4/193/2015/2016 z dnia 11 lutego 2016 roku.

#### **2. Zakres rozprawy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Dryjańskiej nosi tytuł „Wpływ wybranych parametrów na charakterystyki energetyczne i ekonomiczne elektrowni z kotłem fluidalnym, tlenownią kriogeniczną i instalacją CCS”. Zawiera łącznie 220 stron. Oparto ją o 104 pozycje bibliograficzne. Rozprawa została podzielona na 11 głównych rozdziałów oraz zawiera: wykaz ważniejszych oznaczeń, spis tabel, spis rysunków oraz 21 załączników.

We wstępie do pracy Autorka odniosła się do założeń polityki energetycznej kraju i Unii Europejskiej oraz wynikających z nich istotnych problemów jakich należy się podjąć do rozwiązania obecnie i w najbliższej przyszłości. Zaliczyła do nich m.in.: poprawę efektywności energetycznej, poprawę konkurencyjności polskich przedsiębiorstw energetycznych, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, co w konsekwencji ma prowadzić do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju w postaci silnego sektora energetycznego bazującego na krajowych zasobach energii pierwotnej oraz akceptowalnego ze środowiskowego punktu widzenia poziomu zaawansowania technologii energetycznych. Autorka podkreśliła także

wagę rachunku ekonomicznego przy wyborze strategii rozwoju zaawansowanych węglowych technologii energetycznych. Kolejną część pracy to cel i zakres pracy. Jako cel pracy Doktorantka przyjęła opracowanie algorytmu obliczeniowego sprawności badanego układu oraz wyznaczenie podstawowych wskaźników ekonomicznych, w tym granicznej ceny sprzedaży energii elektrycznej. Na zakończenie tego rozdziału zaprezentowano także zakres pracy. Rozdział pierwszy ocenianej rozprawy doktorskiej poświęcony został technologiom ograniczania emisji CO<sub>2</sub> w blokach energetycznych. W tej części pracy dokonano opisu metod: separacji ditlenku węgla przed procesem spalania, separacji ditlenku węgla po procesie spalania i tzw. spalania tlenowego węgla, jak również przedstawiono podstawowe informacje dotyczące dwóch węglowych bloków energetycznych przyjętych w dalszej części pracy do analiz. W rozdziale drugim Doktorantka zamieściła opis struktury układu „oxy” zintegrowanego z wychwytem CO<sub>2</sub>. Rozdział ten zawiera także opis metodologii wyznaczania głównych wskaźników energetycznych elektrowni typu „oxy” oraz szczegółową charakterystykę analizowanych elektrowni tego typu. Dla obu przypadków badanych elektrowni wykorzystano model obliczeniowy powstały jako integracja modeli poszczególnych instalacji technologicznych opracowany w ramach realizacji projektu strategicznego nt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”. Do obliczeń wykorzystano środowisko programów GateCycle oraz Aspen. Pierwszy program użyto w zakresie wyspy kotła fluidalnego i układu turbiny parowej a drugi w zakresie układu tlenowni i instalacji wychwytu ditlenku węgla. W rozdziale trzecim zaprezentowano model tlenowego kotła fluidalnego. Doktorantka przedstawiła metodologię wyznaczania sprawności cieplnej kotła fluidalnego, założenia do obliczeń, wpływ wybranych parametrów na sprawność termiczną tlenowego kotła fluidalnego. W rozdziale trzecim szczegółowo zawarto również opis integracji kotła fluidalnego z suszarką paliwa. W ramach tej części pracy przedstawiono opis: metod suszenia paliwa, algorytmu obliczeń modelu suszarki paliwa, obliczeń sprawności termicznej kotła fluidalnego zintegrowanego z suszarką paliwa, wpływu podsuszania paliwa na sprawność termiczną kotła fluidalnego. Rozdział czwarty ocenianej rozprawy doktorskiej dotyczy kriogenicznej separacji tlenu z powietrza. Autorka w rozdziale tym zawarła: podstawy procesu separacji kriogenicznej, model kriogenicznej instalacji separacji tlenu z powietrza, metodologię obliczeń tlenowni kriogenicznej. W dalszej części rozdziału czwartego Doktorantka zamieściła założenia i wyniki analizy układu kriogenicznej separacji tlenu z powietrza oraz wyniki analizy wpływu wybranych parametrów na energochłonność procesu wytwarzania tlenu. W kolejnym piątym rozdziale Autorka przedstawiła przyjętą strukturę instalacji wychwytu ditlenku węgla ze spalin oraz model obliczeniowy. W rozdziale tym ujęto metodologię wyznaczania energochłonności układu CO<sub>2</sub>, założenia i wyniki obliczeń z wykorzystaniem programu Aspen, jak również analizę możliwości obniżenia energochłonności procesu separacji ditlenku węgla. W rozdziale szóstym Doktorantka przedstawiła analizę termodynamiczną zintegrowanego bloku energetycznego typu „oxy” dla wariantu bloku na parametry nadkrytyczne, jak i super-nadkrytyczne. Dla przyjętych założeń, będących punktem wyjścia dla prac

realizowanych w ramach Projektu Strategicznego „Zaawansowane technologie energetyczne”, określone zostały w tej części pracy charakterystyczne wskaźniki energetycznego bloku w zależności od ciśnienia sprężania powietrza w tlenowni oraz ilości stopni sprężania w poszczególnych sprężarkach spalin układu CCS. Autorka przedstawiała także wyniki analiz dotyczących ubytku sprawności netto wytwarzania energii elektrycznej. Rozdział siódmy stanowi ocenę opłacalności ekonomicznej zaproponowanego rozwiązania bloku energetycznego typu „oxy”. Rozdział ten zawiera: metodologię oceny efektywności ekonomicznej, założenia do obliczeń, analizę wrażliwości (w zakresie: rocznego czasu pracy, cen zakupu paliwa, cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>, wysokość nakładów inwestycyjnych), wpływ czasu budowy i eksploatacji na graniczną cenę sprzedaży energii elektrycznej. Rozdział ósmy stanowi opis zrealizowanych działań przy rozwiązywaniu postawionego problemu naukowego wraz z wnioskami szczegółowymi wynikającymi z analizy uzyskanych wyników z poszczególnych etapów pracy. Ostatni rozdział ocenianej rozprawy doktorskiej stanowi podsumowanie będące uogólnieniem wniosków szczegółowych przedstawionych w rozdziale ósmym.

### **3. Ocena pracy**

Możliwe scenariusze dywersyfikacji źródeł energii pierwotnej w kraju wskazują, że co najmniej do roku 2030 w sektorze wytwarzania energii elektrycznej nadal dominującymi technologiami będą technologie węglowe. Stan ten głównie wynikać będzie z faktu, że krajowy węgiel jest jedynym źródłem energii pierwotnej pozwalającym zapewnić pokrycie zapotrzebowania na nią w tym okresie. Niemniej jednak wysoka emisyjność ditlenku węgla i normowanych zanieczyszczeń gazowych wynikające z stosowanego paliwa oraz niskiej sprawności procesów przetwarzania energii wymaga szukania nowych rozwiązań pozwalających na wzrost sprawności tego typu technologii, np. poprzez wdrażanie technologii spalania tlenowego oraz stosowania nadkrytycznych lub ultra-nadkrytycznych parametrów pary. W związku z tym przed podjęciem decyzji inwestycyjnych mogą być rozważane układy technologiczne: z kotłem pyłowym, z kotłem fluidalnym, gazowo-parowe czy wielopaliwowe z autonomicznym paleniskiem do spalania lub zgazowania paliw odpadowych. Kotły fluidalne z warstwą cyrkulacyjną oferują wiele zalet, które powinny być podporą dla zastosowania tej technologii dla potrzeb energetycznego wykorzystania węgla kamiennego i brunatnego. Technologia ta pozwala dodatkowo na wysokosprawne i ekologicznie korzystne współspalanie szerokiego spektrum paliw. Maksymalnie dostępnymi rozwiązaniami technologii fluidalnej są bloki o mocy 600-800 MW na parametry nadkrytyczne i ultra-nadkrytyczne. Za wyborem technologii fluidalnej przemawia również doświadczenie w zakresie inwestycji i eksploatacji nowoczesnych bloków energetycznych opartych o kotły fluidalne w kraju.

Dlatego też, biorąc pod uwagę powyższą sytuację, podjęcie przez Doktorantkę w rozprawie zadania określenia wpływu wybranych parametrów na charakterystyki energetyczne i ekonomiczne elektrowni z kotłem fluidalnym, tlenownią kriogeniczną i instalacją CCS świadczy o znajomości

współczesnych zagadnień energetyki oraz trafności wyboru tematyki naukowo-badawczej. Zaproponowany zakres tematyczny ocenianej rozprawy, ujęty w poszczególnych rozdziałach, w pełni ujmuje przyjęte do realizacji cele niskoemisyjnej i efektywnej gospodarki kraju. Można podkreślić, że Doktorantka podjęła się interesującego i trudnego z punktu widzenia naukowego celu badań, który jednoznacznie uzasadniła we wstępie do ocenianej rozprawy i sformułowała w kolejnym rozdziale pracy. Przedstawione cele cząstkowe czytelnie przedstawiają przyjęty zakres pracy i kolejność realizowanych zadań. Doktorantka poprawnie dokonała krytycznego przeglądu stanu wiedzy w zakresie: technologii ograniczania emisji CO<sub>2</sub> z bloków energetycznych, kriogenicznej separacji tlenu oraz metod ocen opłacalności ekonomicznej inwestycji. Z mojej strony zwróciłbym jedynie uwagę na brak konieczności wprowadzenia do tekstu rozprawy czasami zbyt oczywistych informacji, np. pierwszy akapit rozdziału czwartego pracy na stronie 61 rozprawy, czy czwarty i piąty akapit rozdziału siódmego na stronie 129/130 rozprawy. Wybór obiektów badawczych w postaci dwóch bloków energetycznych o mocy 600 MW, jednego na parametry nadkrytyczne a drugiego na ultra-nadkrytyczne jest trafny i wychodzi naprzeciw oczekiwaniom sektora wytwarzania energii elektrycznej w kraju. Niemniej jednak w pracy brakuje szerszego uzasadnienia takiego wyboru. Komentarza wymagałby również wybór węgla brunatnego jako źródła energii pierwotnej. Nasuwa się także pytanie dotyczące pierwszego zdania w rozdziale 2.2.1 na stronie 31 rozprawy, gdzie Doktorantka uznała turbinę parową jako najważniejszy element strukturalny analizowanego bloku energetycznego. W temacie pracy doktorskiej wskazano bowiem na kocioł fluidalny, tlenownie kriogeniczną i instalację CCS jako elementy istotne. Kolejne spostrzeżenie dotyczy wyboru kotła fluidalnego z separatorem cyklonowym – skąd ten wybór, z jakiego względu nie przyjęto kotła z wyższą sprawnością termiczną np. kotła fluidalnego z separatorem kompaktowym. Przedstawione komentarze z mojej strony nie umniejszają w żaden sposób zaproponowanej koncepcji bloku. Uważam, że przyjęte struktury bloków są poprawne. Zaproponowane modele poszczególnych instalacji technologicznych i ich opisy oraz przedstawione założenia do obliczeń nie budzą zastrzeżeń i są właściwe dla realizacji podjętego celu badań. Nie mam również uwag do przedstawionych metodologii wyznaczania: głównych wskaźników energetycznych bloku typu „oxy”, sprawności cieplnej kotła fluidalnego, algorytmu obliczeń modelu suszarki paliwa, obliczeń tlenownie kriogenicznej, wyznaczania energochłonności układu wychwytu CO<sub>2</sub>, oceny efektywności ekonomicznej elektrowni typu „oxy”. Przedstawione zależności są poprawne i zgodne z obecnym stanem wiedzy w zakresie podjętego problemu naukowego. Należy stwierdzić, że Doktorantka nabyła umiejętności przeprowadzenia krytycznego przeglądu literatury oraz poprawnego formułowania celu i zakresu badań, wyboru obiektu badań i metodyki badawczej. Nie wnoszę zastrzeżeń także do wyników badań i ich analizy zarówno w zakresie termodynamicznym, jak i ekonomicznym. Ich opracowanie jest rzetelne a zakres przeprowadzonych analiz



i dołączone do pracy załączniki wskazują na znaczącą ilość wykonanych obliczeń i uzyskanie przez Doktorantkę bogatego doświadczenia w podjętym do rozwiązania problemie. Rysunki i tabele są czytelne. Ich liczba w pełni odpowiada potrzebom graficznej i tabelarycznej prezentacji omawianych aspektów podjętej problematyki. Zastosowana terminologia nie budzi zastrzeżeń. Jest zgodna z przyjętymi zasadami w zakresie podjętej problematyki. Oznaczenia i symbole są czytelne i jasno odnoszą się do treści pracy. Należy stwierdzić, że Doktorantka nabyła umiejętności: realizacji badań, analizy uzyskanych wyników i ich prezentacji. Przedstawione przez Doktorantkę w rozdziale ósmym uwagi szczegółowe wynikają z uzyskanych wyników i przeprowadzonej analizy. Stanowią istotną część ocenianej pracy. Uwagi są trafne i odnoszą się do celów cząstkowych rozprawy. Podsumowanie rozprawy zostało przedstawione raczej w formie opisowej i bardziej stanowi skrót wniosków szczegółowych przedstawionych w rozdziale ósmym. Niemniej jednak Informacje zawarte w podsumowaniu są bardzo interesujące i cenne z punktu widzenia podjętego problemu naukowego. Z punktu widzenia pracy naukowej trafniejsze byłyby wnioski końcowe ale biorąc pod uwagę dużą złożoność podjętego problemu i potencjalne zainteresowanie wynikami pracy w sektorze energetyki można przyjąć zaproponowaną formę podsumowania za wystarczającą. Ostatecznie należy stwierdzić, że Doktorantka nabyła umiejętność formułowania wniosków z pracy naukowej.

***Za istotne osiągnięcia rozprawy uważam:***

- 1) Opracowanie struktury bloku energetycznego „oxy” spalającego węgiel brunatny i bazującej na kotle fluidalnym, tlenowni kriogenicznej i instalacji CCS.
- 2) Opracowanie algorytmu obliczeniowego pozwalającego określić charakterystykę energetyczną bloku energetycznego „oxy” spalającego węgiel brunatny i posiadającego w swojej strukturze kocioł fluidalny, tlenownię kriogeniczną i instalację CCS.
- 3) Opracowanie oceny opłacalności ekonomicznej wraz z analizą wrażliwości zaproponowanej koncepcji bloku energetycznego typu „oxy”.

**4. Wniosek końcowy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Dryjańskiej pt. „Wpływ wybranych parametrów na charakterystyki energetyczne i ekonomiczne elektrowni z kotłem fluidalnym, tlenownią kriogeniczną i instalacją CCS” stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego jakim jest poprawa efektywności energetycznej i ekonomicznej wykorzystania węgla w krajowej energetyce zawodowej. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. **Wobec powyższego wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**

