

**Prof. dr hab. inż. Robert SEKRET**  
Profesor zwyczajny w Politechnice Częstochowskiej  
42-215 Częstochowa, ul. Ludowa 186  
Tel.: 34 325 60 53, Tel. kom.: 664 75 81 09  
E-mail: [rsekret@wp.pl](mailto:rsekret@wp.pl)



**POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA**  
**Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii**  
Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji  
42 – 201 Częstochowa, ul. J.H. Dąbrowskiego 69  
Tel.: +48 34 32 50 917 w. 21; E-mail: [rsekret@is.pcz.czest.pl](mailto:rsekret@is.pcz.czest.pl)

Częstochowa, 27.08.2014 r.

**Szanowny Pan**  
**Prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz**  
Dziekan Wydziału  
Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechniki Śląskiej  
ul. Konarskiego 18  
44-100 Gliwice

## **Recenzja**

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Malika**

#### **1. Wprowadzenie**

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Nr RIE-BD/4/385/2013/2014 z dnia 15 lipca 2014 roku.

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

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Malika nosi tytuł „Dobór struktury i parametrów elektrociepłowni zintegrowanej z układem zgazowania węgla i wychwytem CO<sub>2</sub>”. Zawiera 144 strony tekstu (nie licząc piśmiennictwa i załączników). Oparto ją o 92 pozycje bibliograficzne. Rozprawa została podzielona na 6 głównych rozdziałów, wykaz ważniejszych oznaczeń oraz 7 załączników.

Pierwszy rozdział rozprawy to cel i zakres pracy. Ujęto w nim zagadnienia dotyczące: rosnącego zapotrzebowania na energię w kontekście ograniczonych zasobów paliw kopalnych, problemu emisji substancji szkodliwych oraz CO<sub>2</sub>

do atmosfery powstających podczas spalania, możliwości redukcji emisji CO<sub>2</sub> oraz poprawy efektywności wykorzystania paliw kopalnych. Jako cel pracy Autor przyjął zamodelowanie układu IGCC zintegrowanego z układem elektrociepłowni oraz dobór odpowiedniej struktury i parametrów tego układu. W ramach pracy przeanalizowane zostały dwie konfiguracje kogeneracyjnego układu IGCC: kogeneracyjny układ IGCC z wychwytem CO<sub>2</sub> oparty o zgazowanie węgla w reaktorze strumieniowym oraz kogeneracyjny układ OXY-IGCC z wychwytem CO<sub>2</sub> oparty o zgazowanie węgla w reaktorze fluidalnym z recyrkulacją CO<sub>2</sub>. W końcowej części rozdziału pierwszego Autor przedstawił oczekiwania związane z zastosowaniem analizy egzergetycznej przy wykorzystaniu metody bezpośredniej oraz metody termo-ekonomicznej. Na zakończenie rozdziału zaprezentowano w formie graficznej strukturę pracy z podziałem na poszczególne jej etapy.

W rozdziale drugim Autor przedstawił stan wiedzy z zakresu układów IGCC. Uwzględniono w nim przegląd istniejących: technologii zgazowania węgla, układów IGCC zasilanych węglem, kogeneracyjnych układów IGCC, układów IGCC zintegrowanych z reaktorem zgazowania z recyrkulacją CO<sub>2</sub>. Przegląd ten został zrealizowany w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych NCBiR pt. "Zaawansowane technologie pozyskiwania energii" a realizowanego w latach 2010-2014.

Rozdział trzeci zawiera istotne informacje z zakresu modelowania symulacyjnego kogeneracyjnych układów IGCC z wychwytem CO<sub>2</sub>. Autor przedstawił w nim: wprowadzenie dotyczące celowości modelowania symulacyjnego układów energetycznych, charakterystykę oprogramowania *Thermoflex*, koncepcję kogeneracyjnego układu IGCC ze zgazowaniem węgla w strumieniowym reaktorze zgazowania, koncepcję kogeneracyjnego układu IGCC ze zgazowaniem węgla w fluidalnym reaktorze zgazowania z recyrkulacją CO<sub>2</sub>, dobór wielkości układów oraz założenia i opis modelu symulacyjnego układu opartego o strumieniowy reaktor zgazowania i układ oparty o fluidalny reaktor zgazowania z recyrkulacją CO<sub>2</sub>.

Rozdział czwarty stanowi opis metodyki oceny egzergetycznej. Obejmuje on opis procedur wyznaczania: egzergetyki poszczególnych strumieni, kosztu egzergetycznego wraz z twierdzeniami analizy termo-ekonomicznej, główne założenia oraz identyfikację kluczowych zmiennych dla zaawansowanej analizy egzergetycznej, w tym: malfunkcje, dysfunkcje, koszty malfunkcji, czy algorytm zaawansowanej analizy egzergetycznej.

Rozdział piąty pracy doktorskiej zawiera wyniki analizy egzergetycznej. Obejmują one bezpośrednią analizę egzergetyczną oraz analizę termo-ekonomiczną. Dla obu analizowanych układów uzyskano wyniki modelowania dla stanu referencyjnego oraz pięciu wariantów eksploatacyjnych. W każdym ze stanów eksploatacyjnych dokonano zmian kluczowych parametrów. Zmienianymi parametrami były: sprawność kompresorów powietrza w tlenowni (wariant 1), sprawność kompresorów odprowadzanego z układu CO<sub>2</sub> (wariant 2), temperatura spalin za komorą spalania turbiny gazowej (wariant 3), zmiana zbliżenia temperaturowego „pinch” w kotle odzyskowym (wariant 4) oraz sprawność wewnętrzna w poszczególnych stopniach turbiny parowej (wariant 5).

Rozdział 6 pracy doktorskiej to podsumowanie i wnioski.

### **3. Ocena pracy**

Pozyskanie energii, obok produkcji żywności stanowi podstawowy kierunek działania w gospodarce a jej dostępność to czynnik stymulujący rozwój gospodarczy. Możliwe scenariusze dywersyfikacji źródeł energii pierwotnej w kraju wskazują, że co najmniej do lat 2030-2040 w sektorze wytwarzania nadal dominującymi technologiami będą technologie węglowe. Stan ten głównie wynikać będzie z faktu, że krajowy węgiel jest jedynym źródłem energii pierwotnej pozwalającym zapewnić bezpieczeństwo pokrycia zapotrzebowania na energię w tym okresie. Niemniej jednak wysoka emisyjność ditlenku węgla i normowanych zanieczyszczeń gazowych wynikających z stosowanego paliwa oraz niskiej sprawności procesów przetwarzania energii wymaga szukania nowych rozwiązań pozwalających na wzrost sprawności, wśród których układy gazowo-parowe (IGCC) zaliczane są do jednych z najbardziej zaawansowanych do wdrażania na dużą skalę. Przy obecnym stanie techniki możliwe są do osiągnięcia sprawności energetyczne instalacji rzędu 46-51%. Głównym powodem dalszego rozwoju układów gazowo – parowych zintegrowanych ze zgazowaniem różnych paliw jest możliwość budowy instalacji z prawie zerowymi emisjami: CO<sub>2</sub> (po wychwycie), SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Hg i pyłów. Rodzi to jednak konieczność poszukiwania możliwości poprawy sprawności bloku, np. poprzez użyteczne wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła odpadowego generowanego podczas procesu usuwania CO<sub>2</sub>. Dlatego też, podjęcie przez Doktoranta w rozprawie zadania doboru struktury i parametrów elektrociepłowni zintegrowanej z układem zgazowania węgla i wychwytem CO<sub>2</sub> świadczy o znajomości

współczesnych zagadnień gospodarki energetycznej oraz trafności tematyki naukowo-badawczej. Słusznie za przyjęciem w pracy układu gazowo-parowego przemawia wystarczająca dojrzałość technologiczna tego typu układów wraz z korzyściami wynikającymi z zastosowania układów skojarzonych. Można podkreślić, że Autor podjął się interesującego i trudnego z punktu widzenia naukowego i aplikacyjnego celu badań, który jednoznacznie sformułował w rozdziale pierwszym pracy. Przedstawiony w dalszej części rozdziału pierwszego zakres pracy szczegółowo informuje o kolejnych etapach realizacji założonego celu pracy.

W rozdziale drugim Doktorant w sposób systematyczny przedstawił istniejący stan wiedzy z zakresu technologii zgazowania węgla z uwzględnieniem układów gazowo-parowych. Rozdział ten jest czytelny i zawiera pełne uzasadnienie do dalszego wyboru dwóch koncepcji poddanych analizie, tj. kogeneracyjnego układu IGCC ze zgazowaniem węgla w strumieniowym reaktorze zgazowania oraz kogeneracyjnego układu IGCC ze zgazowaniem węgla w fluidalnym reaktorze z recyrkulacją CO<sub>2</sub>. Stan wiedzy przedstawiony w tym rozdziale w pełni uzasadnia podjęcie badanej problematyki, zwłaszcza że nie istnieje wiele kogeneracyjnych układów IGCC, a te istniejące są małymi układami zasilanymi biomasą bądź pozostałościami rafineryjnymi. Należy stwierdzić, że rozdział drugi zawiera przegląd wymaganego stanu wiedzy dla potrzeby realizacji zakresu badań.

Zaproponowana i opisana w rozdziale trzecim aplikacja pozwalająca na tworzenie fizykalnych modeli układów energetycznych z wykorzystaniem oprogramowanie Thermoflex jest wystarczająca, na tym etapie badań, do przeprowadzenia analizy porównawczej przyjętych wariantów. Niemniej jednak należałoby się zastanowić, czy zasadnym było do realizacji założonego celu pracy wykorzystanie trybu „*design*” polegającego na stworzeniu modelu odwzorowującego pracę układu jedynie w znamionowym punkcie pracy. Przedstawione w rozdziale trzecim koncepcje kogeneracyjnych układów IGCC nie budzą zastrzeżeń. Ich opis jest czytelny. Stanowią nowe ujęcie problemu poprzez wykorzystanie ciepła odpadowego z: chłodzenia międzystopniowego kompresorów, chłodzenia syngazu oraz dochładzania spalin dla potrzeby pozyskania ciepła do celów ciepłowniczych. Na podkreślenie zasługuje zwłaszcza drugi układ, oparty o technologię fluidalną, stanowiący istotny i innowacyjny wkład Doktoranta do obecnego stanu wiedzy. Przyjęcie porównywalnej mocy dla analizowanych

wariantów jest poprawne. Brak jest natomiast uzasadnienia wyboru mocy bloku na poziomie 200 MW. Założenia do modeli symulacyjnych układów kogeneracyjnych można przyjąć jako wystarczające do realizacji założonych analiz. Charakteryzują się spójnym opisem, są logicznie ułożone i pozwalają na dużą łatwość jego użytkowania pomimo dużej złożoności problematyki.

Wybór przedstawionej w rozdziale czwartym metody oceny egzergetycznej jest trafny a przedstawione procedury i algorytmy nie budzą zastrzeżeń.

Podsumowując ocenę rozdziałów 1-2-3-4 należy stwierdzić, że Doktorant poprawnie sformułował cel i zakres pracy, rzeczowo i czytelnie przedstawił studium literatury przedmiotu badań oraz metodykę badawczą.

Rozdział 5 prezentuje uzyskane wyniki badań. Zostały one przedstawione w sposób poprawny zarówno w zakresie bezpośredniej analizy egzergetycznej i analizy termo-ekonomicznej. Zgodnie z oczekiwaniami Autora rozprawy zaproponowane usprawnienia w obu układach pozwoliły na zauważalny wzrost sprawności wynikający z wykorzystania ciepła odpadowego. Niemniej jednak nieco szerszego komentarza wymagałby idea doboru danych dla potrzeby modelowania w stanie referencyjnym oraz w wariantach eksploatacyjnych. Komentarz ten powinien dotyczyć zarówno rozdziału trzeciego pracy, jaki i piątego.

Nie mam zastrzeżeń do przedstawionego w rozdziale szóstym podsumowania i wniosków końcowych. Rozdział ten stanowi bardzo dobre zamknięcie pracy. Jest on czytelny a zawarte w nim informacje są przekonujące oraz odnoszą się do celu pracy oraz zaproponowanego zakresu badań.

Uważam, że sposób organizacji oraz przeprowadzenia badań potwierdza nabycie przez Doktoranta umiejętności: formułowania problemu naukowego, doboru metod badawczych, realizacji badań, analizy uzyskanych wyników i formułowania wniosków.

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

- 1) Opracowanie koncepcji odzysku ciepła odpadowego w celu wykorzystania do celów ciepłowniczych dla elektrociepłowni zintegrowanej z układem zgazowania węgla i wychwytem CO<sub>2</sub>.



- 2) Zastosowanie zaawansowanej analizy egzergetycznej, która dała możliwość określenia wpływu parametrów eksploatacyjnych na koszt egzergetyczny i jego strukturę oraz pozwoliła na określenie bezpośrednich i indukowanych przyczyn nieodwracalności w analizowanych układach.

#### 4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego, jakim jest wzrost sprawności procesów przetwarzania energii. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. **Wobec powyższego wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**

*Biorąc pod uwagę: złożoność i wagę podjętej problematyki, wykorzystane narzędzia naukowe, istotne osiągnięcia rozprawy przedstawione w mojej ocenie oraz dużą samodzielność ze strony Doktoranta w realizacji badań uważam, że praca doktorska mgr inż. Tomasza Malika pt. „Dobór struktury i parametrów elektrociepłowni zintegrowanej z układem zgazowania węgla i wychwytem CO<sub>2</sub>” **kwalifikuje się do wyróżnienia.***

