

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Malika p.t.:

„Dobór struktury i parametrów elektrociepłowni zintegrowanej z układem zgazowania węgla i wychwytem CO₂”

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Malika opracowana została na podstawie uchwały Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 11 lipca 2014 r. Recenzja zawiera następujące punkty:

1. ogólną charakterystykę rozprawy,
2. charakterystykę tematu oraz celu pracy,
3. ocenę rozwiązania przez Autora problemu naukowego,
4. uwagi i kwestie dyskusyjne,
5. ocenę rozprawy doktorskiej,
6. wnioski końcowe.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek obejmuje 209 stron tekstu, w tym 65 stron załączników. Podzielona jest na 6 rozdziałów nie licząc spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, wykazu cytowanej literatury oraz wspomnianych załączników. Autor rozprawy zamieścił w niej w sumie 64 rysunki, 96 tabel, 33 formuły matematyczne i wzory chemiczne oraz 8 kodów autorskich opracowanych w programie EES. W rozprawie cytuje 92 pozycje – są to głównie artykuły w krajowych i zagranicznych czasopismach naukowych, materiały konferencyjne a także kilka pozycji książkowych i monograficznych oraz informacje ze źródeł internetowych.

W **rozdziale 1** p.t.: „Cel i zakres pracy” Autor uzasadnił celowość podjęcia analizowanej tematyki i jej znaczenie dla krajowej gospodarki. Sformułował cel swej pracy, tj. zamodelowanie układu IGCC zintegrowanego z układem elektrociepłowni oraz dobór odpowiedniej struktury i parametrów tego układu gwarantujących jego wysoką sprawność oraz efektywność ekonomiczną. Autor zdefiniował następnie główne obiekty swojej analizy tj. dwie konfiguracje kogeneracyjnego układu IGCC a mianowicie:

- układ z wychwytem CO₂ oparty o zgazowanie węgla w reaktorze strumieniowym Shell (układ 1),
- układ z wychwytem CO₂ oparty o zgazowanie węgla z recyrkulacją CO₂ do fluidalnego reaktora zgazowania wg koncepcji IChPW (układ 2).

W rozdziale tym Autor uzasadnił także wybór zastosowanej w pracy metodyki opartej na bezpośredniej analizie egzergetycznej oraz analizie termo-ekonomicznej.

Uzasadnienie podjęcia analizowanej tematyki i wyboru zastosowanej w pracy metodologii jak też sformułowanie celu i zakresu pracy nie budzi zastrzeżeń. Pewien niedosyt może budzić jedynie niezbyt wyraźnie sformułowana teza pracy.

W **rozdziale 2** zatytułowanym: „Analiza stanu wiedzy w zakresie układów IGCC” Autor dokonał przeglądu aktualnie stosowanych technologii zgazowania węgla. W szczególności skoncentrował się scharakteryzowaniu najczęściej spotykanych w skali komercyjnej lub demonstracyjnej technologii zgazowania węgla:

- w reaktorach dyspersyjnych: Shell, GE (d. Texaco), E-Gas (d. Connoco-Philips), Siemens i MHI,
- w reaktorach fluidalnych: TRIG, U-Gas i HTW.

Wybór tych technologii podyktowany został ich możliwością wykorzystania w układach IGCC. W sposób chyba zbyt syntetyczny scharakteryzowano też rozwijaną w IChPW Zabrze technologię zgazowania węgla w reaktorze CFB z recyrkulacją CO₂ do gazyfikatora. Ta technologia jest przedmiotem analiz przeprowadzonych w ramach tej pracy.

W dalszej części tego rozdziału omówiono konfigurację układu IGCC z usuwaniem CO₂, opartego na dyspersyjnym reaktorze zgazowania oraz konfigurację układu IGCC z reaktorem fluidalnym z recyrkulacją CO₂ i dodatkowym węzłem spalania powstającego w reaktorze zgazowania karbonizatu. Autor podał też podstawowe reakcje przebiegające w reaktorze zgazowania a także w sposób syntetyczny omówił procesy kondycjonowania i oczyszczania syngazu, oraz jego spalania w turbinie

gazowej, wytwarzania pary w kotle odzyskowym oraz jej wykorzystania w turbinie parowej. Na zakończenie w sposób syntetyczny Autor przedstawił:

- istniejące układy IGCC zasilane węglem,
- istniejące kogeneracyjne układy IGCC,
- układy IGCC z recyrkulacją CO₂ zintegrowane z reaktorem zgazowania (tzw. układ Oxy-IGCC).

W konkluzji Autor m.in. stwierdził, iż z uwagi na ograniczoną ilość istniejących układów a także brak informacji literaturowych dot. odzysku ciepła niskotemperaturowego podjęcie tematyki kogeneracyjnych układów IGCC zasilanych węglem jest w pełni uzasadnione.

W **rozdziale 3** pt.: „Modelowanie symulacyjne kogeneracyjnych układów IGCC z wychwytem CO₂” po krótkim wprowadzeniu dotyczącym zasad modelowania symulacyjnego układów energetycznych i stosowanych w tym celu narzędzi Autor zaprezentował koncepcje dwóch układów kogeneracyjnych. Pierwsza z nich, zakładająca układ IGCC współpracujący z gazyfikatorem dyspersyjnym powstała na bazie elektrowni zintegrowanej ze zgazowaniem węgla poprzez uzupełnienie o moduły służące do poboru ciepła na cele ciepłownicze. W układzie tym CO₂ jest usuwane z syngazu po procesie WGS a następnie sprężane do ciśnienia wymaganego dla potrzeb transportu do miejsca jego sekwestracji. Druga z koncepcji powstała poprzez dobór układu Oxy-IGCC dla syngazu powstającego w reaktorze fluidalnym z recyrkulacją CO₂. Dodatkowo założono bezciśnieniowe spalanie tlenowe karbonizatu powstającego w reaktorze zgazowania. W odróżnieniu od poprzedniego układu m.in. wyeliminowany został proces WGS oraz usuwania CO₂ z syngazu przed jego spalaniem, absorpcję fizyczną H₂S zastąpiono absorpcją chemiczną a także przewidziano całkowite usunięcie wilgoci ze spalin za kotłem odzysknicowym poprzez ich głębokie ochłodzenie. Strumień CO₂ jest dzielony na strumień recyrkulowany do gazyfikatora, strumień recyrkulowany do komory spalania turbiny gazowej oraz strumień opuszczający układ, który po połączeniu ze strumieniem CO₂ z kotła tlenowego spalania karbonizatu sprężany jest do ciśnienia wymaganego dla potrzeb transportu do miejsca jego sekwestracji. Należy zaznaczyć, że Autor przyjął dla obu układów podobną moc elektryczną netto wynoszącą ca. 200 MW.

W dalszej części rozdziału dla obu analizowanych układów podane zostały przyjęte założenia oraz opis opracowanego modelu symulacyjnego.

W podsumowaniu Autor zwrócił uwagę, że dwa rozpatrywane kogeneracyjne układy zgazowania węgla zintegrowane są z reaktorami zgazowania na różnym poziomie dojrzałości. Koncepcja pierwszego układu bazuje na komercyjnie zweryfikowanym układzie IGCC zintegrowanym z reaktorem dyspersyjnym (Shell). Koncepcja drugiego układu zintegrowanego z reaktorem zgazowania CFB została w całości zaproponowana przez Autora.

W **rozdziale 4** zatytułowanym: „Metodyka oceny egzergetycznej” po wstępie poświęconemu podstawowym narzędziom oceny układów energetycznych Autor przedstawił zasady bezpośredniej analizy egzergetycznej oraz procedury wyznaczania egzergii poszczególnych strumieni. Wyjaśnił pojęcie kosztu egzergetycznego a także przedstawił główne twierdzenia analizy termoeconomicznej. Następnie omówił główne założenia i kluczowe zmienne dla zaawansowanej analizy egzergetycznej, zdefiniował pojęcia malfunkcji, dysfunkcji oraz kosztu egzergetycznego a także przedstawił algorytm zaawansowanej analizy egzergetycznej.

Przeprowadzona analiza umożliwiła porównanie rozpatrywanych układów kogeneracyjnych oraz wyjaśnienie przyczyn powstawania nieodwracalności bezpośrednich oraz indukowanych.

Rozdział 5 pt.: „Wyniki analizy egzergetycznej” posiada kluczowe dla całej pracy znaczenie, gdyż w rozdziale tym Autor przedstawił i omówił uzyskane wyniki analiz termodynamicznych. Analizy te obejmowały zarówno bezpośrednią analizę egzergetyczną jak i analizę termoeconomiczną. W przypadku układu 1 analizy te obejmowały następujące moduły: zgazowania, kondycjonowania i obróbki syngazu, usuwania gazów kwaśnych, turbiny gazowej, kotła odzyskowego, turbiny parowej, tlenowni, ciepłownictwa oraz transformatora.

W przypadku układu 2 analizowano następujące moduły: zgazowania, kondycjonowania i obróbki syngazu, usuwania gazów kwaśnych, turbiny gazowej, kotła odzyskowego, turbiny parowej, tlenowni, ciepłownictwa, transformatora, kotła karbonizatu oraz sprężania CO₂.

Ponadto dla każdego z układów przeprowadzono analizę kosztu egzergetycznego produktów w stanie referencyjnym oraz w 5 stanach eksploatacyjnych oraz zaawansowaną analizę egzergetyczną w odniesieniu do wymienionych wcześniej stanów. W każdym ze stanów eksploatacyjnych Autor dokonywał zmian kluczowych parametrów celem osiągnięcia jednakowych strat egzergii dla każdego z

rozpatrywanych wariantów. W poszczególnych wariantach zmienianymi parametrami były:

- sprawność kompresorów powietrza w tlenowni (wariant 1),
- sprawność kompresorów odprowadzanego z układu CO₂ (wariant 2),
- temperatura spalin za komorą spalania turbiny gazowej (wariant 3),
- zmiana zbliżenia temperaturowego „pinch” w kotle odzyskowym (wariant 4),
- sprawność wewnętrzna w poszczególnych stopniach turbiny parowej (wariant 5).

W podsumowaniu tego rozdziału Autor dokonał syntetycznego porównania obu rozpatrywanych układów. Lepszym wskaźnikiem EUF (48,27 % w porównaniu z 44,40 %) i nieco wyższą sprawnością egzergetyczną (34,24 % w porównaniu z 32,73 %) charakteryzuje się układ 1. Jako główne przyczyny takiego stanu Autor wskazuje konieczność wykorzystania karbonizatu na drodze jego spalania tlenowego oraz wyższe zapotrzebowanie tlenu a w konsekwencji także mocy na potrzeby własne układu 2.

Autor podkreślił też zauważalny wzrost sprawności obu układów z tytułu odzysku ciepła odpadowego i produkcji ciepła w oparciu o upust pary. Zaobserwowany wzrost sprawności pozwala na skompensowanie jej spadku spowodowanego wychwytem CO₂.

W przypadku kosztu egzergetycznego produktów poszczególnych modułów czynnikiem o najsilniejszym wpływie okazała się sprawność politropowa kompresorów tlenowni oraz kompresorów sprężania CO₂.

Z kolei na podstawie wyników zaawansowanej analizy egzergetycznej w odniesieniu do układu 1 Autor stwierdził, że dla większości modułów układu pogorszenie parametrów pracy kompresorów tlenowni, a w następnej kolejności także kompresorów CO₂ w największym stopniu zwiększa koszt egzergetyczny tego układu. W odniesieniu do układu 2 czynnikiem takim okazało się obniżenie temperatury spalin za komorą spalania turbiny gazowej.

W **rozdziale 6** pt.: „Podsumowanie i wnioski” Autor m.in. podkreślił:

- brak rozwiązań przemysłowych instalacji zgazowania węgla pracujących w układach kogeneracyjnych,
- ukierunkowanie przeprowadzonych analiz na maksymalne wykorzystanie ciepła odpadowego z międzystopniowego chłodzenia kompresorów tlenowni i sprężania

CO₂ oraz chłodzenia syngazu, dzięki czemu zniwelowany został niekorzystny wpływ wychwytu CO₂ na sprawność energetyczną analizowanych układów,

- zbliżone wartości kosztów egzergetycznych poszczególnych modułów dla obu analizowanych układów, za wyjątkiem modułów tlenowni, ciepłownictwa oraz AGR,
- najwyższy udział modułu zgazowania w koszcie egzergetycznym każdego z produktów,
- występowanie najwyższych wartości malfunkcji w komponentach, w których bezpośrednio dokonano zmian parametrów eksploatacyjnych oraz zależność dysfunkcji od wielkości produkcji danego komponentu.

Wyniki zrealizowanej pracy wskazują kluczowe parametry eksploatacyjne, dla których zmiana będzie miała najsilniejszy wpływ na zmniejszenie bezpośrednich i indukowanych strat egzergii w układzie. Znajomość tych parametrów umożliwi potencjalnym inwestorom podjęcie optymalnych decyzji inwestycyjnych.

W Załącznikach Autor zamieścił:

- ogólne schematy modelu symulacyjnego jak też podsystemów sprężania dwutlenku węgla dla obu analizowanych układów oraz wytwarzania tlenu (układ 1) i spalania karbonizatu (układ 2),
- szczegółowe wyniki obliczeń (parametry gazu/powietrza oraz parametry wody/pary) dla obu układów w stanie referencyjnym,
- szczegółowe wyniki obliczeń wartości strumieni egzergii w poszczególnych punktach układu oraz wartości kosztów energetycznych poszczególnych modułów a także wartości takich parametrów jak: F , P , L , k_i , η_B , k_{i-j} dla wszystkich rozpatrywanych wariantów pracy obu układów,
- opracowane w programie EES kody autorskich programów do obliczania egzergii paliw stałych i gazowych oraz czynników gazowych i powietrza dla obu analizowanych układów.

2. Charakterystyka tematu oraz celu pracy

Problematyka tzw. Czystych Technologii Węglowych posiada trudne do przecenienia znaczenie dla rozwoju krajowej gospodarki. Z uwagi na strukturę bazy surowców energetycznych a także posiadaną infrastrukturę wytwórczą paliwa stałe w

tym węgiel kamienny zapewne przez długi jeszcze czas odgrywać będą ważną rolę w sektorze energetycznym a tym samym gwarantować bezpieczeństwo energetyczne Polski. Z drugiej jednak strony nasze zobowiązania wynikające z wymagań realizowanej w UE polityki klimatycznej wymagają poszukiwań nowych rozwiązań procesów energetycznego wykorzystania węgla. Z tych powodów w połowie 2010 r. rozpoczęła się realizacja Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych p.t.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”. Jednym z czterech zadań badawczych wchodzących w zakres tego programu finansowanego ze środków NCBR jest: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”. Autor rozprawy od samego początku aktywnie uczestniczy w realizacji tego zadania badawczego a prezentowane w rozprawie wyniki są efektem jego realizacji. Należy podkreślić, że uzyskane przez Autora wyniki stanowią ważną pozycję w katalogu oferowanych rozwiązań, jakie powstały w efekcie realizacji wspomnianego Zadania badawczego. Podstawowym celem Autora było zamodelowanie układu IGCC zintegrowanego z układem elektrociepłowni. Obiektem analiz były dwie konfiguracje takiego układu. Pierwsza z nich oparta została na dyspersyjnym reaktorze zgazowania węgla, a więc układzie powszechnie stosowanym w przypadku układów IGCC dedykowanych produkcji energii elektrycznej. Druga z konfiguracji zawiera rozwiązanie zaproponowane w wyniku realizowanego aktualnie Projektu Strategicznego, tj. układ oparty na reaktorze fluidalnym zgazowania węgla z częściową recyrkulacją CO₂ oraz fluidalnym oxy-spalaniem powstającego w procesie zgazowania węgla karbonizatu. Taki wybór analizowanych obiektów sprawia, że wyniki analiz mają ważny walor poznawczy w przyszłości mogą mieć także walor aplikacyjny. Dla potrzeb oceny zaproponowanych układów Autor wykorzystał metodę analizy egzergetycznej obejmującą bezpośrednią analizę egzergetyczną oraz analizę termoeconomiczną. Dzięki temu uzyskał możliwość doboru struktury i parametrów a także poprawy sprawności (a w konsekwencji także poprawy efektywności ekonomicznej) rozpatrywanych układów, zaliczających się do dużych systemów energetycznych z wieloma produktami ubocznymi (nośnikami ciepła).

Reasumując, zdefiniowany przez Autora cel rozprawy jak też wynikające z niego zadania badawcze nie budzą zastrzeżeń a zastosowana metodyka analityczna stanowi jego oryginalne podejście do rozpatrywanego problemu naukowego. Stanowi to zarazem wkład Autora w rozwój dyscypliny naukowej, której poświęcona jest

rozprawa doktorska. Przedstawione w rozprawie zagadnienia naukowe sprecyzowane zostały w sposób zrozumiały, poddane krytycznej analizie a sformułowane na tej podstawie wnioski posiadają istotny walor poznawczy a także aplikacyjny.

3. Ocena rozwiązania przez Autora problemu naukowego

Problem naukowy został zdefiniowany przez Autora rozprawy w rozdziale 1, sposób jego rozwiązania w rozdziałach 3 i 4, natomiast uzyskane wyniki i ich interpretacja przedstawione zostały w rozdziale 4.

Dla potrzeb analizy rozpatrywanych układów Autor wykorzystał dwie metody, tj. bezpośrednią analizę egzergetyczną oraz analizę termo-ekonomiczną (TEA). Taki wybór należy uznać za właściwy dla realizacji założonych w pracy celów.

Do oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć:

- 1) opracowanie koncepcji odzysku ciepła odpadowego dla potrzeb ciepłowniczych dla układów IGCC zintegrowanych z dyspersyjnymi i fluidalnymi reaktorami zgazowania węgla, w tym drugim przypadku z uwzględnieniem częściowej recykulacji CO₂ do gazyfikatora i komory spalania turbiny gazowej,
- 2) opracowanie uniwersalnych modeli symulacyjnych rozpatrywanych układów kogeneracyjnych co umożliwiło Autorowi dobór ich struktury i parametrów,
- 3) przeprowadzenie analizy egzergetycznej oraz opracowanie i zastosowanie algorytmów analizy termo-ekonomicznej dla rozpatrywanych układów kogeneracyjnych.

Należy podkreślić, że istnieje co prawda kilka rozwiązań kogeneracyjnych układów IGCC, ale wszystkie one są małymi instalacjami zasilanymi biomasą lub odpadami porafineryjnymi. Całkowicie innowacyjny charakter posiada natomiast problematyka odzysku ciepła niskotemperaturowego. Mając to na względzie, należy stwierdzić że podjęcie przez Autora tej tematyki a także uzyskane wyniki stanowią istotny wkład do istniejącej wiedzy w zakresie Czystych Technologii Węglowych.

Do osiągnięć Autora, które mogą być wykorzystane w przyszłych badaniach z zakresu rozpatrywanych układów zaliczyć należy m.in:

- zastosowanie metody zaawansowanej analizy egzergetycznej do procedur optymalizacyjnych,
- przygotowanie bazy danych stanowiących podstawę do przeprowadzenia analiz ekonomicznych rozpatrywanych układów.

4. Uwagi i kwestie dyskusyjne

Uwagi dotyczące recenzowanej rozprawy podzielono na dwie grupy, tj. uwagi merytoryczne i kwestie dyskusyjne oraz uwagi szczegółowe. Te ostatnie, dotyczące drobnych niejasności i pomyłek jak też nielicznych błędów edytorsko-redakcyjnych nie wymagają ustosunkowania się Autora. Uwagi te mogą być natomiast przydatne Autorowi w przypadku przyszłej publikacji wyników pracy.

Uwagi merytoryczne i kwestie dyskusyjne

- 1) Analizowane układy obejmują szereg modułów takich jak zgazowanie, tlenownia, usuwanie gazów kwaśnych, kocioł spalania karbonizatu, turbina gazowa, turbina parowa itd. Brak jednak jednoznacznej informacji, w jaki sposób uwzględniony został moduł przygotowania węgla do zgazowania. W przypadku układu 1 z uwagi na wymagania dyspersyjnego reaktora zgazowania węgiel musi być bardzo głęboko zmielony co wymaga relatywnie dużego zużycia energii elektrycznej (młyny). W przypadku układu 2 z fluidalnym reaktorem zgazowania zużycie energii elektrycznej na przygotowanie (rozdrobienie) węgla z uwagi na jego wymagane uziarnienie jest zdecydowanie niższe. Jaki wpływ na wyniki analiz mają te różnice, choćby w świetle zamieszczonej przez Autora na stronie 139 uwagi, że: „dla układu 1 energia elektryczna wytworzona w ramach układu posiada stosunkowo wysoki koszt egzergetyczny”?
- 2) W przypadku układu 2 dla potrzeb energetycznego wykorzystania karbonizatu z fluidalnego reaktora zgazowania przewidziano proces oxy-spalania w reaktorze bezciśnieniowym. Pojawia się pytanie, czy możliwym byłoby zastosowanie do tego celu reaktora ciśnieniowego i jakich można by oczekiwać efektów z tego tytułu?
- 3) Zgodnie z podanymi na stronach 42 i 54 informacjami cała ilość spalin za kotłem odzyskowym zostaje głęboko ochłodzona celem całkowitego wykroplenia z nich wilgoci. Dopiero po tym ochłodzeniu strumień spalin (a w zasadzie CO₂) dzielony jest na strumienie recyrkulowane do turbiny gazowej, reaktora zgazowania oraz pozostałą część mieszaną z CO₂ z kotła oxy-spalania a następnie sprężaną do ciśnienia wymaganego dla jego transportu i sekwestracji. Nie negując potrzeby głębokiego osuszania CO₂ kierowanego do sekwestracji wątpliwości budzić

może jego osuszanie zwłaszcza w przypadku strumienia kierowanego do reaktora zgazowania. Do reaktora tego i tak dostarczana jest wilgoć zawarta w zgazowywanym węglu. Ponadto zawarta w recyrkulowanym strumieniu CO₂ para wodna stanowi dodatkowy czynnik zgazowujący węgiel do CO. Pozostawienie wilgoci w tym strumieniu z jednej strony pozwoli na zmniejszenie zużycia tlenu w procesie zgazowania węgla a z drugiej ograniczy ilość głęboko chłodzonych spalin (CO₂).

- 4) W tekście rozprawy niezbyt jasno przedstawiono kwestię sprężania CO₂ w przypadku układu 1. O tej operacji jest mowa m.in. na stronie 44 (rysunek 3,4), stronie 75 (wariant 2) a także na stronie 154 (rysunek A3). Nie uwzględniono natomiast odrębnego modułu sprężania CO₂ w rozważaniach opisanych w rozdziale 5.1 tak jak to ma miejsce w przypadku opisanego w rozdziale 5.2 układu 2. Autor proszony jest o jednoznaczne wyjaśnienie kwestii sprężania CO₂.
- 5) Z uwagi na kluczowe znaczenie problemu odzysku ciepła, Autor proszony jest o syntetyczne przedstawienie tego zagadnienia z uwzględnieniem specyfiku obu rozpatrywanych układów.
- 6) W rozdziale 5.3 Autor przedstawił syntetyczne porównanie wybranych wskaźników dla obu rozpatrywanych układów. Interesującym jest, jak te wskaźniki kształtują się na tle wskaźników innych procesów energetycznego wykorzystania węgla takich jak układy: klasycznej elektrowni węglowej, klasycznego procesu IGCC (z produkcją jedynie energii elektrycznej), elektrowni węglowej z blokami na parametry nadkrytyczne czy elektrowni z tlenowym spalaniem węgla. Porównanie takie jest ważne w kontekście ew. wyboru kierunków rozwoju Czystych Technologii Węglowych w Polsce.
- 7) Przedstawione w rozprawie analizy dotyczą układów zasilanych wyłącznie węglem. Jakich efektów można oczekiwać w przypadku współzgazowania węgla i biomasy?

Uwagi szczegółowe

- 1) Strona 7: niezbyt szczęśliwym rozwiązaniem jest przypisanie tego samego symbolu dwóm różnym wielkościom (s oznacza zarówno entropię właściwą jak i udział masowy siarki w paliwie). Ponadto nieco inne znaczenie przypisano w tekście symbolom P i F (odpowiednio: koszt egzergiczny produktu i koszt

egzergetyczny paliwa) niż podano to w wykazie oznaczeń (odpowiednio produkt i paliwo).

- 2) Strona 9, wiersz 1 od dołu: zamieszczone sformułowanie może sugerować, że oxy-spalanie jest procesem usuwania CO₂ ze spalin.
- 3) Strona 13, wiersz 10 od góry: skład gazu syntezowego opuszczającego gazyfikator stanowi obok wodoru głównie tlenek węgla a nie dwutlenek węgla; wysoki udział CO₂ w gazie syntezowym pojawia się tylko w przypadku zastosowania procesu WGS.
- 4) Strona 13, wiersz 11-12 od góry: technologia zgazowania węgla ma dłuższą historię niż podaje to Autor. Gazy generatorowy, gaz wodny czy gaz mieszany (tzw. gaz Dowsona) wytwarzane były już wcześniej o czym może świadczyć np. artykuł autorstwa d-ra B.Szołajskiego pt.: „Obecny stan przemysłu gazowego” w Chemiku Polskim nr 42 z 19 października 1904 r.” Znajduje się w nim następująca informacja dotycząca „motorów gazowych” produkowanych w Deutz pod Kolonią: „... już od roku 1890 szerokie zastosowanie znalazły motory poruszane gazem generatorowym lub gazem Dowsona”.
- 5) Strona 13, wiersz 6 od dołu i dalej: przemysłowe znaczenie posiadają reaktory zgazowania ze złożem przesuwным a nie reaktory ze złożem stałym. Ponadto podana temperatura pracy tych reaktorów (400-600 °C) jest stanowczo za niska. Przykładowo przemysłowe reaktory Lurgi pracują w temperaturze ok. 1300 °C.
- 6) Strona 14, wiersz 5 od dołu i dalej w tekście: w odniesieniu do żużla czy syngazu bardziej adekwatnym określeniem wydaje się być chłodzenie niż gaszenie.
- 7) Strona 18, rys.2.5: jeśli górną strefę nazwano strefą redukcji to konsekwentnie dolną należy nazwać strefą utleniania.
- 8) Strona 22, wzór (2.12): w zapisie reakcji wyrażonej wzorem 2.12 jest błąd.
- 9) Strona 25, tabela 2.1: wśród wymienionych działających obiektów IGCC brak obiektów zlokalizowanych w Chinach. Czy rzeczywiście tak wygląda sytuacja?
- 10) Strona 33, rysunek 2.15: brak wyjaśnienia symboli literowych występujących na tym rysunku.
- 11) Strona 39, rysunek 3.2: nie zaznaczono modułu sprężania CO₂ a także poboru ciepła w chłodnicach międzystopniowych układu sprężania CO₂.
- 12) Strona 40, wiersz 17 od dołu: nie negując słuszności wyboru technologii Selexol dla analizowanego układu AGR przydatnym byłoby jednak krótkie wyjaśnienie tej decyzji.

- 13) Strona 42, wiersz 16 od dołu: nie podano jaką konkretnie metodę usuwania H₂S przyjęto dla potrzeb dalszych analiz. Podano jedynie że jest to metoda oparta na absorpcji chemicznej.
- 14) Strona 45, tabela 3.2: trudny do zrozumienia brak danych dot. zawartości części lotnych w węglu z kop. Janina (są łatwo dostępne np. w IChPW). Ponadto niejasny jest zawarty w tej tabeli termin: „koksik” w odniesieniu do jej tytułu: „Skład i parametry węgla kamiennego Janina”. Nie podano też do jakiego stanu paliwa odnosi się podana kaloryczność węgla.
- 15) Strony 44-55: zwraca uwagę inny układ redakcyjny podrozdziałów 3.3.1 oraz 3.3.2. W przypadku tego drugiego m.in. brak tabelarycznego zestawienia parametrów pracy: reaktora zgazowania, kotła odzyskowego czy założeń dot. turbin i kompresorów. Brak także danych dot. składu i parametrów węgla Janina.
- 16) Strona 48, rysunek 3.5: nie objaśniono co oznaczają linie: niebieska i granatowa.
- 17) Strona 154, rysunek A.3: w podpisie rysunku podano, że dotyczy on układu 2 podczas gdy w nagłówku rysunku podano, że schemat dotyczy układu 1 (cały zresztą Załącznik A poświęcony jest układowi 1).
- 18) Strona 79, rysunek 5.1 (i dalej): nie wyjaśniono znaczenia bordowego lub niebieskiego kwadratu oznaczonego symbolem „1”.
- 19) Strona 110, rysunek 5.14: na osi rzędnych brak modułu sprężania CO₂,
- 20) Strona 114, rysunek 5.17 (i dalej): nie wyjaśniono znaczenia bordowego kwadratu oznaczonego symbolem „1”.
- 21) Strona 181, tabela E.1; strona 183, strona 185, tabela E.10 oraz strona 187, tabela E.11: w nagłówkach tabel nie podano którego układu dotyczą.
- 22) Strona 187, tabela E.12; strona 188, tabela E.16: podane w tych tabelach dane dotyczą układu 2 a nie układu 1.

Przedstawione uwagi nie wpływają na ogólnie bardzo wysoką ocenę merytorycznej wartości recenzowanej pracy a także jej edytorskiej strony ani też nie umniejszają osiągnięć jej Autora.

5. Ocena rozprawy doktorskiej

Po zapoznaniu się z treścią recenzowanej rozprawy stwierdzam, iż jej Autor w sposób prawidłowy i zrozumiały sformułował cel pracy, opracował niezbędną dla jego osiągnięcia metodykę analityczną i przy jej pomocy rozwiązał postawione przed nim

zadanie w sposób nie budzący zastrzeżeń. Wykorzystał w tym celu właściwie dobrane metody naukowe. Autor osiągnął więc zamierzony cel naukowy.

Zakres wiedzy Autora jak też jej dogłębność w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy recenzowana praca należy uznać jako wysoki zarówno w obszarze teorii jak też aplikacji. Na szczególne podkreślenie zasługuje bogaty zasób wiedzy w zakresie technologii zgazowania węgla oraz procesów wytwarzania energii elektrycznej z węgla a także wysokie kompetencje w zakresie oceny efektywności procesów energetycznych, w tym w szczególności analizy egzergetycznej, opracowania projektów procesowych nowych układów energetycznych a także modelowania takich układów.

Autor rozprawy wykazał także, że posiadał umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych jak również dobrze opanował technikę prezentacji wyników badań oraz pisanie prac naukowych.

6. Wnioski końcowe

Rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Malika p.t.: „Dobór struktury i parametrów elektrociepłowni zintegrowanej z układem zgazowania węgla i wychwytem CO₂” spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w art. 13 Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz.U. Nr 65, poz.595 z późniejszymi zmianami). Stanowi bowiem oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. **W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Malika do publicznej rozprawy doktorskiej.**

Równocześnie wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej pracy. Wniosek ten opieram na następujących przesłankach:

- podjęta przez Autora tematyka odzysku ciepła niskotemperaturowego w układach kogeneracyjnych IGCC z wychwytem CO₂ posiada całkowicie innowacyjny charakter a uzyskane przez niego wyniki stanowią istotny wkład do istniejącej wiedzy w zakresie Czystych Technologii Węglowych,
- podjęta tematyka posiada bardzo ważne znaczenie dla krajowej gospodarki, o czym m.in. świadczy fakt, iż praca ta została realizowana w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych: „Zaawansowane technolo-

- gie pozyskiwania energii” (Zadanie badawcze nr 3: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”),
- uzyskane przez Autora wyniki posiadają dużą wartość aplikacyjną o czym świadczy fakt, że stanowią one ważną pozycję w katalogu oferowanych rozwiązań, jakie powstały w efekcie realizacji wspomnianego Zadania badawczego,
 - wartość merytoryczna uzyskanych przez Autora wyników analiz została pozytywnie zweryfikowana poprzez ich publikację w recenzowanych czasopismach naukowych, w tym także w czasopismach posiadających wysoki wskaźnik wpływu (IF).

Andrzej Strugała

dr hab. inż. Andrzej Strugała, prof. AGH

