

dr hab. inż. Tomasz CZAKIERT, prof. PCz
ul. Wysockiego 17 B, 42-218 Częstochowa
tel. kom. 608 089 078

POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA
Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii
Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych
ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa
tel. 34 3250 945, e-mail: tczakiert@is.pcz.czyst.pl

Częstochowa, 02.01.2015 r.

Szanowny Pan
Prof. dr hab. inż. Józef DUBIŃSKI
Naczelny Dyrektor
Główny Instytut Górnictwa
Plac Gwarków 1
40-166 Katowice

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Beaty URYCH

1. Wprowadzenie

Niniejsza recenzja została sporządzona w odpowiedzi na pismo Nr ND/NSR/252/2014 z dnia 28 listopada 2014 roku.

2. Zakres rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr Beaty Urych nosi tytuł „Modelowanie pirolizy w procesie podziemnego zgazowania węgla”. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Józef Kabiesz, prof. GIG, a promotorem pomocniczym dr inż. Sebastian Iwaszenko. Praca została zrealizowana podczas Interdyscyplinarnych Studiów Doktoranckich w Zakresie Czystych Technologii Węglowych, prowadzonych w ramach projektu Rozwój Potencjału Naukowego Kadr na Potrzeby Czystych Technologii Węglowych, współfinansowanego z środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej. Praca była również dofinansowana w ramach programu stypendialnego DoktorIS oraz jako jeden z tematów badań statutowych GIG (Nr 10050212-350).

Praca liczy ogółem 130 stron, włączając spis literatury w ilości 121 pozycji (w tym 2 pozycje autorstwa Doktorantki) oraz 5 załączników. Praca zawiera również wykaz użytych pojęć i skrótów, wykaz wprowadzonych oznaczeń i indeksów oraz spisy tablic i rysunków. Zebrany materiał rozdzielono pomiędzy 11 głównych rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim.

We wstępie znaleźć można uzasadnienie podjęcia tematu, postawione cele i tezę pracy, oraz zakres i metodykę prowadzenia badań. Elementy te stanowią stałe punkty poprawnie zredagowanej dysertacji naukowej. Rozdziały 2-5 są przeglądem literatury przedmiotu i dostarczają czytelnikowi najważniejszych informacji w zakresie procesów pirolizy i zgazowania węgla, również realizowanych w warunkach podziemnego georeaktora. Dużo uwagi poświęcono tu wpływowi kluczowych parametrów, takich jak: temperatura, ciśnienie, atmosfera gazowa, szybkość ogrzewania, fragmentacja złoża, skala procesu oraz typ paliwa, na przebieg i jakość procesu odgazowania paliwa. Rozdział 6, mający swój początek na 45 stronie dysertacji, otwiera część doświadczalną pracy. Uzasadniono w nim wybór paliwa do dalszych badań, tj. węgla kamiennego z KD Barbara oraz z KWK Wieczorek, oraz zamieszczono wyniki analiz chemicznych obu paliw. Przedstawiono również wykorzystaną aparaturę pomiarową oraz opisano warunki prowadzenia eksperymentu. W rozdziale 7 omówiono wyniki badań laboratoryjnych, zrealizowanych metodą termogravimetryczną. Podjęto tu próbę wyznaczenia podstawowych parametrów kinetycznych, tj. energii aktywacji i współczynnika przedeksponencjalnego, czego dokonano z użyciem trzech różnych modeli: Coats'a-Redferna, Mianowskiego-Radko i Kissingera. Rozdziały 8-9 to prace o charakterze obliczeniowym, w których Doktorantka wykorzystuje wyniki swoich uprzednich badań, omówionych we wcześniejszym rozdziale. W rozdziale 8 skupiono się przede wszystkim na kinetyce wywiązywania się produktów lotnych (CO , H_2O , CO_2 , C_2H_6 , H_2S , NH_3 , C_6H_6 , H_2 , CH_4) w procesie pirolizy węgla, gdzie analizę oparto w dużej mierze na efekcie kompensacji temperaturowej zdefiniowanym przez Ściążko. Rozdział 9 stanowi bilans masy i energii w analizowanym przez Doktorantkę procesie. Obliczenia przeprowadzono wielowariantowo, to znaczy dla obu wytypowanych paliw, różnych temperatur i różnych szybkości nagrzewania. Zwieńczeniem prac realizowanych w ramach rozprawy doktorskiej jest rozdział 10, zawierający wyniki symulacji numerycznych procesu pirolizy węgla zachodzącej podczas zgazowania paliwa w rzeczywistych warunkach podziemnego georeaktora. Rezultaty te przedstawiono w formie wizualizacji rozkładów czasoprzestrzennych wybranych parametrów, w tym temperatury w reaktorze, porowatości złoża, udziałów molowych składników gazowych. Ostatni rozdział dysertacji zawiera podsumowanie i wnioski, które sformułowano w oparciu o zrealizowane w pracy badania.

3. Ocena pracy

Analizowany w pracy proces pirolizy węgla stanowi jeden z elementów składowych procesu zgazowania paliwa, którego przebieg może być w sposób kontrolowany realizowany w warunkach podziemnego georeaktora. Technologia podziemnego zgazowania węgla może

budzić pewne kontrowersje czy obawy, jednak o jej dużym znaczeniu świadczyć może choćby fakt, że stała się częścią jednego z czterech Zadań Badawczych o znaczeniu kluczowym dla dalszego zrównoważonego rozwoju naszego kraju, które realizowane są aktualnie w ramach Programu Strategicznego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii”. Dlatego też, podjęcie przez Doktorantkę w przedstawionej rozprawie wysiłków zmierzających do opracowania modelu pirolizy w procesie podziemnego zgazowania węgla świadczyć może wyłącznie o znajomości bieżących zagadnień w tematyce czystych technologii węglowych oraz o trafności wyboru przedmiotu badań naukowych.

Przedstawioną pracę naukową w całości oceniam bardzo wysoko. Na etapie jej lektury nasuwały się jednak pewne uwagi, pytania i komentarze, które w kolejności chronologicznej zostały spisane poniżej.

1. *Konstrukcja pracy*. W moim przekonaniu, badania literaturowe (rozdziały 2-5 niniejszej pracy) winny poprzedzać uzasadnienie wyboru tematu oraz stanowić punkt wyjścia do określenia celu i tezy pracy jak również jej zakresu (rozdział 1). Podejrzewam jednak, że taka konwencja jest ogólnie przyjęta dla rozprawy doktorskiej w macierzystej jednostce, w której Doktorantka prowadziła, a teraz broni swojej pracy doktorskiej. Podobnie załączniki powinny moim zdaniem znaleźć się na samym końcu pracy, po spisie literatury.

2. *Jednostki*. Nie zawsze stosowane są jednostki układu SI. Doktorantka używa często litrów lub minut w opisie wybranych parametrów procesowych.

3. *Streszczenie* wskazuje na problem postawiony przez Autorkę dysertacji, cel pracy oraz plan eksperymentu. Można było pokusić się również o zasygnalizowanie najważniejszych osiągnięć, których w przedstawionej pracy jest znacznie więcej aniżeli wspomniany tu model CFD oraz głównych wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.

4. *Wstęp* stanowi obraz działań podejmowanych w kraju i zagranicą na przestrzeni ostatniego stulecia w zakresie tematyki podziemnego zgazowania węgla, ujęty w telegraficznym skrócie. Pozostaje jedynie żałować, że wątek ten nie został szerzej potraktowany w osobnym rozdziale, gdzie jedynie ciekawość czytelnika zmusza do sięgania do zewnętrznych źródeł.

5. Treść zamieszczona w *rozdz. 1.1* pozwala jednoznacznie stwierdzić, że zarówno wybór przedmiotu rozprawy jak i częściowo zakres prac zrealizowanych w jej ramach są w pełni zasadne. Za pewien drobny mankament można tu jednak uznać brak odniesień literaturowych, szczególnie w tekście paragrafu 2.

6. Doktorantka postawiła sobie aż 10 *celów* badawczych do zrealizowania w ramach jednej pracy naukowej i co należy podkreślić to fakt, że to ambitne założenie zostało w pełni osiągnięte. Dobrze byłoby jednak gdyby już w tym miejscu zdefiniować o jakie parametry prowadzenia procesu chodzi (punkt 3) oraz w jakiej atmosferze gazowej zachodzić ma konwersja paliwa (punkt 4). *Teza* rozprawy została sformułowana poprawnie, a jej udowodnienie wymagało osiągnięcie praktycznie wszystkich postawionych w pracy celów.

7. Na szczególne uznanie zasługuje szeroki zakres prac, obejmujący zarówno badania eksperymentalne jak i modelowanie matematyczne analizowanego procesu. Dopełnienie całości stanowi w tym przypadku symulacja numeryczna przeprowadzona dla warunków rzeczywistych, stanowiąca swego rodzaju pomost pomiędzy doświadczeniami w skali laboratoryjnej, a procesami przewidzianymi w skali technicznej. *Metodyka* została potraktowana tu (rozdz. 1.3) zgrubnie, jednak pełnych informacji w tym zakresie dostarczają kolejne rozdziały zawarte w części eksperymentalnej pracy.

8. Często używane przez Doktorantkę określenie „karbonizat” może być mylnie rozumiane przez czytelnika pracy, mianowicie:

- raz jako mieszanka stałej pozostałości palnej i popiołu, zgodnie z definicją podaną m.in. na str.10 „Karbonizat – stały produkt procesu odgazowania węgla”

- bądź jedynie jako stała pozostałość palna, zgodnie z tym co czytamy np. na str. 25 „W wyniku przebiegu zgazowania powstają również produkty uboczne (...) oraz frakcja stała – karbonizat i część mineralna”. Proszę o zajęcie stanowiska w tej sprawie.

9. Jakkolwiek wciąż dopuszcza się stosowanie w nazwach związków chemicznych przedrostków w postaci liczebników polskich, to jednak zgodnie z przyjętymi przez IUPAC nowymi zasadami nazewnictwa zaleca się stosowanie przedrostków w postaci liczebników greckich/ łacińskich, tj. ditlenek w zamian za dwutlenek. Warto byłoby zwrócić na to uwagę na etapie dalszego publikowania wyników swoich badań w polskojęzycznych czasopismach naukowych.

10. *Tablica 5.* Oznaczenie STP powinno znaleźć się w wykazie pojęć i skrótów na str. 10.

11. *Rozdziały 2-4* są przeglądem literatury przedmiotu i tworzą ogólne tło dla zagadnień diskutowanych w dalszej części dysertacji naukowej. Opracowanie treści nie budzi większych zastrzeżeń, co więcej wskazuje na jedną z umiejętności Doktorantki, która potrafiła zestawić informacje z bardzo obszernego materiału źródłowego w zwięzły, syntetyczny sposób. *Rozdział 5* z kolei, systematyzuje i uszczegóławia relacje pomiędzy wybranymi parametrami realizacji procesu podziemnego zgazowania węgla, a przebiegiem i jakością procesu odgazowania pokładu węgla.

12. *Rozdz. 6.* Należałoby zastanowić się czy w eksperymencie termogravimetrycznym, przy tak dużej rozpiętości w masie stosowanych naważek (od 20 do 30 mg) i tyglu o pojemności 70 µl, na wynik końcowy nie będzie miała wpływu dyfuzja gazów przez „nadsypaną” warstwę o masie dochodzącej do 10 mg. Proszę o komentarz Doktorantki w tej sprawie.

13. *Rozdz. 7* to bardzo skrupulatnie opisana procedura wyznaczania parametrów kinetycznych w oparciu o wyniki własnych badań eksperymentalnych. Opis prowadzi czytelnika krok po kroku, przez kolejne równania i wykresy. W rozdziale tym zabrakło mi jednak tytułowej analizy, która ogranicza się do krótkiego cztero-punktowego podsumowania znajdującego się na końcu rozdziału. Ponadto, tablice 8-10 mają dokładnie takie same tytuły, co sprawia, że próba powrotu do konkretnych wartości liczbowych z tego miejsca wymaga ponownego przeczytania całego podrozdziału. Z kolei, wniosek 4 nie wynika

bezpośrednio z treści zamieszczonych w tym rozdziale, gdzie ani w tekście ani na rysunkach nie przywołano wyników badań innych Autorów, co zmusza czytelnika do sięgania po teksty źródłowe. Nie mniej jednak, opisana w rozdz. 7 praca została wykonana bardzo skrupulatnie, a uzyskane wyniki ostatecznie prowadzą do właściwie sformułowanych wniosków.

14. *Rozdz. 8.* Porównując dane literaturowe z tablicy 12 (gdzie $\Delta T_{CH_4}=40$ K i $\Delta T_{CO}=220$ K) do danych eksperymentalnych Doktorantki z tablicy 13 ($\Delta T_{CH_4}=93$ K i $\Delta T_{CO}=297$ K), można odnieść wrażenie, że stwierdzenie Autorki „Porównując wyniki własne w wynikami uzyskanymi przez Ściążko można stwierdzić, że wartości ΔT wybranych produktów gazowych są do siebie zbliżone” dane jest trochę na wyrost.

15. *Rys. 49-60.* Brak osi lub prostej odpowiadającej temperaturze utrudnia czytelnikowi weryfikację danych zamieszczonych w tablicy 13.

Tablica 13. Brak danych źródłowych w zakresie CO – Załącznik 2, Rys. 58.

16. Nie do końca zrozumiałe jest zaimportowanie do swoich obliczeń wartości literaturowych ΔT , w sytuacji gdy Autorka określiła eksperymentalnie te wartości dla swoich węgla i przyjętych warunków realizacji procesu. Proszę o komentarz Doktorantki w tej sprawie.

17. Str. 64. Proszę również o uzasadnienie wykorzystania parametrów kinetycznych uzyskanych metodą Kissingera, w sytuacji w której parametry określone metodą Mianowskiego-Radko dały zdecydowanie lepsze dopasowanie, co zresztą akcentuje sama Autorka w podsumowaniu rozdz. 7.

18. Str. 71. Uważam, że wniosek 4 (dot. CO) wymaga pewnego przeredagowania, jako że nie oddaje w pełni tego co zaobserwować można na rys. 23-24.

19. *Tablice 18-25.* Brak jednostek.

20. Końcowa część rozprawy to symulacje numeryczne analizowanego w pracy procesu podziemnego zgazowania węgla, przeprowadzone dla warunków rzeczywistych. Autorka z dużą swobodą wykorzystuje narzędzia oferowane przez komercyjnie dostępny pakiet do obliczeń CFD, uzyskując bardzo ciekawe wyniki obliczeń. W tym miejscu należy podkreślić również, że osiągnięcie zamierzonego celu wymagało uzupełnienia istniejącego kodu przez wprowadzenie funkcji zdefiniowanych przez użytkownika, tzw. UDF-ów, a stworzony algorytm stanowi treść załącznika 5. Pewne poczucie niedosytu daje natomiast bardzo pobieżna analiza uzyskanych przy dużym nakładzie pracy wyników. Np. rysunek 41 skomentowano zaledwie 1 zdaniem (str. 97), podobnie jak łącznie rysunki 43-47, a rys. 42 nie doczekał się żadnego omówienia. Pozostaje zatem oczekiwać na przyszłe publikacje Doktorantki, w których takowa dyskusja wyników zostanie przeprowadzona z większą wnikliwością.

W tym miejscu poprosiłbym jeszcze Doktorantkę o własną ocenę użyteczności stworzonego modelu. Na ile jest on uniwersalny, np. dla innego typu węgla?

21. *Wnioski* końcowe korespondują bezpośrednio z określonymi w rozdz. 1.2 celami pracy doktorskiej. Jednocześnie *podsumowanie* zawiera przesłanki co do zasadności kontynuowania badań w przyszłości, definiując w zarysie zakres tych prac.

22. *Załącznik 3*. Tablica 29 zawiera normatywne wartości niepewności pomiaru, a nie wartości wynikające z wykonanych oznaczeń.

Podczas określania maksymalnego względnego błędu pomiaru temperatury (str.115) błędnie odniesiono się w obliczeniach do $T = 273$ K, a nie jak wskazano w tekście do $T = 298$ K, stąd wartość tego błędu, a w konsekwencji wartość niepewności względnej stopnia przemiany, będzie nieznacznie niższa.

Za kluczowe osiągnięcie Doktorantki w przedstawionej dysertacji naukowej uważam opracowanie przestrzennego modelu wywiązywania się gazowych produktów w procesie odgazowania pokładu węgla zachodzącego podczas jego zgazowania w warunkach rzeczywistych podziemnego georeaktora.

4. Wniosek końcowy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego, jakim jest matematyczny opis procesu pirolizy węgla zachodzącej podczas zgazowania paliwa w rzeczywistych warunkach podziemnego georeaktora. W mojej ocenie, jej poziom merytoryczny spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Biorąc pod uwagę znaczenie podjętej tematyki dla górnictwa i geologii inżynierskiej, całość zrealizowanych prac, wykorzystane narzędzia naukowe oraz kluczowe osiągnięcie Doktorantki uważam, że rozprawa doktorska mgr Beaty Urych „Modelowanie pirolizy w procesie podziemnego zgazowania węgla” mieści się w dyscyplinie naukowej górnictwo i geologia inżynierska.

W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony w Głównym Instytucie Górnictwa.

