



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA

Wydział Energetyki i Paliw

Kraków, 09.09.2019

Dr hab. Katarzyna Zarębska, prof. AGH
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
katarzyna.zarebska@agh.edu.pl

Recenzja

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Magdaleny Cempy pt.: „Analiza możliwości wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego w zgazowaniu węgla”.

Promotor rozprawy: Prof. dr hab. Adam Smoliński

Promotor pomocniczy: dr inż. Beata Urych

Podstawa opracowania

Formalną podstawą przygotowania opracowania jest pismo Prof. dr. hab. inż. Stanisława Pruska, Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach Nr NSR/362/2019 z dnia 12 lipca 2019r.

Ocena celowości podjętej tematyki

Treść pracy doktorskiej magister Magdaleny Cempy jest zgodna z tytułem i obejmuje zbadanie reaktywności 10 karbonizatów (otrzymanych z wytypowanych polskich węgli kamiennych) w procesie zgazowania powietrzem w trzech temperaturach z zastosowaniem analizatora termogravimetrycznego. Mierzonymi parametrami była między innymi masa karbonizatu oraz skład i ilość otrzymanego gazu w funkcji czasu trwania procesu zgazowania karbonizatu.

Pozwoliło to na wytypowanie materiału do dalszych badań i zgazowanie otrzymanego karbonizatu z zastosowaniem różnych czynników: powietrza, mieszaniny pary wodnej i tlenu w laboratoryjnej instalacji z rektorem ze złożem stałym w temperaturze 700°C, 800°C i 900°C. Podczas realizacji pracy Doktorantka zaprojektowała i zbudowała nowy system grzewczy instalacji, umożliwiający sterowanie ogrzewaniem reaktora z możliwością niezależnego ogrzewania czynników zgazowujących do zadanej temperatury przed wprowadzeniem do złoża. Zastosowanie takiego rozwiązania (regulacja) strefy ogrzewania umożliwiło zasymulowanie wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego, którego źródłem mogłyby być wysokotemperaturowe reaktory jądrowe chłodzone helem. Analizę wpływu zastosowania wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem na złożo na efektywność proces

Dr hab. Katarzyna Zarębska, prof. AGH
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
katarzyna.zarebska@agh.edu.pl

zgazowania karbonizatu przeprowadzono w funkcji temperatury oraz rodzaju użytego reagenta gazowego. Stwierdzono iż wykorzystanie nadmiarowego ciepła procesowego w zgazowaniu węgla do wstępnego ogrzewania mieszaniny pary wodnej i tlenu przed wprowadzeniem na złożę poprawia efektywność produkcji wodoru w badanym zakresie temperatury. Zatem wykazano realną możliwość wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego w zgazowaniu węgla do wstępnego ogrzewania czynnika zgazowującego przed wprowadzeniem na złożę.

W tym świetle podjęcie przez Doktorantkę tego tematu należy przyjąć z uznaniem. Główny Instytut Górnictwa posiada w tym temacie uznane osiągnięcia i dobór tematu oraz zakresu rozprawy jest dodatkowym potwierdzeniem celowości prac na tym polu badawczym.

Ocena rozprawy

Praca doktorska zapisana została na 135 ponumerowanych stronach, zawiera 58 rysunków, 24 tabele i 232 pozycje bibliograficzne, wśród których dominują oryginalne artykuły naukowe w języku polskim i angielskim z ostatnich kilku lat. Całość podzielona jest na 4 rozdziały z podrozdziałami, podsumowanie i wnioski, spis literatury oraz Załącznik 1 zawierający 15 ponumerowanych rysunków.

Pracę rozpoczyna krótkie streszczenie, w którym Autorka w sposób syntetyczny przedstawia cel i zakres pracy. Stanowi ono bardzo dobre wprowadzenie do części teoretycznej, która nie została wprawdzie wyraźnie oddzielona w spisie treści od części doświadczalnej, ale zgodnie z typową strukturą naukowych prac doświadczalnych, znajduje się w pierwszych rozdziałach.

W streszczeniu oraz kolejno w rozdziale 1.2 Doktorantka przedstawiła cele pracy, które sformułowała następująco:

- Celem naukowym pracy było określenie wpływu wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem na złożę na efektywność procesu zgazowania węgla;
- Celem użytkowym było wykazanie możliwości wykorzystania nadmiarowego ciepła procesowego do ogrzewania czynnika zgazowującego przed wprowadzeniem na złożę.

Osiągnięcie postawionych celów w zamierzeniu miało między innymi wpłynąć pozytywnie na podniesienie efektywności procesu zgazowania węgla. Jako zmienne przyjęto temperaturę procesu zgazowania i czynnika zgazowującego, rodzaj czynnika zgazowującego oraz rodzaj użytego węgla.

We wstępie uzasadniono podjęcie tematu badawczego, poprzez analizę ilości emitowanego CO₂, pochodzącego głównie ze spalania paliw nieodnawialnych w powiązaniu z polityką klimatyczno-energetyczną Polski i Unii Europejskiej. Według Doktorantki istotne jest wykorzystywanie wielu rodzajów źródeł energii, jak paliwa kopalne, paliwo jądrowe, surowce odnawialne oraz technologii produkcji energii elektrycznej co zapewni odpowiednie moce wytwórcze, pozwalając na uniezależnienie gospodarki krajowej od importu, przy jednoczesnym spełnieniu wymogów ochrony środowiska. Według Autorki istotną rolę może odegrać opracowanie optymalnego modelu współpracy energetyki konwencjonalnej z energetyką rozproszoną oraz rozwój czystych technologii termochemicznego przetwórstwa węgla. Zaproponowana koncepcja stanowi punkt wyjściowy w obszarze badań Doktorantki, w którym zasadniczym kierunkiem jest poprawa efektywności produkcji energii w oparciu o węgiel, poprzez możliwość wykorzystania ciepła z innych procesów przemysłowych do zgazowania węgla.

Przegląd literatury w zakresie zgazowania węgla stanowi zawartość rozdziału drugiego wraz z trzema podrozdziałami. Został on w szczególności ukierunkowany na problematykę wpływu parametrów prowadzenia procesu na skład gazu oraz możliwości zastosowania reaktorów jądrowych jako alternatywnego źródła ciepła dla zastosowań przemysłowych.

Rozumiem, że celem było zaprezentowanie aktualnego stanu wiedzy w obszarze badawczym objętym recenzowaną dysertacją.

Autorka przeprowadziła badania z zastosowaniem trzech podstawowych metod: eksperymentalnej, analitycznej oraz obliczeniowej i statystycznej. Opisując je szczegółowo w 3 i 4 rozdziale pracy Zasadnicza treść rozprawy, prezentująca autorskie osiągnięcia Doktorantki, zawarta jest w Rozdziale 3 i 4 wraz z trzema podrozdziałami każdy.

W rozdziale 3 Autorka przedstawia charakterystykę użytych do badań węgla, poprzez pozyskanie, przechowywanie oraz analizę techniczną i elementarną wykonaną zgodnie z obowiązującymi normami. W podrozdziale 3.1 zamieszczone są również zdjęcia SEM wykonane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego dwóch próbek pochodzących odpowiednio z KWK Janina oraz KWK Piast-Ziemowit, uwagi do celowości zamieszczania zdjęć sformułowane zostały w dalszej części recenzji. Bardzo cennym elementem rozdziału z punktu widzenia recenzenta jest Tabela 3.1 zawierająca i wyjaśniająca stosowane w pracy oznaczenia próbek co jest niezwykle istotne i pomocne przy dalszej lekturze pracy. Rozdział 3 zawiera także szczegółowy opis stanowiska pracy i stosowanej przez Doktorantkę procedury badawczej. Wyniki badań reaktywności karbonizatów w funkcji temperatury, pozwoliły na stwierdzenie iż wzrost temperatury w przypadku wszystkich zbadanych próbek powodował wzrost reaktywności karbonizatu. Stwierdzono również ujemną korelację między reaktywnością karbonizatów i wskaźnikiem fixed carbon badanych węgla w całym zakresie temperatury. Uzyskane dane eksperymentalne zostały opracowane z zastosowaniem metody chemometrycznej (PCA) co pozwoliło Doktorantce na zawężenie materiału badawczego do grupy I (J/m, P/207, B/m, P/209d, P/209p, P/m) zawierającej 6 spośród 10 próbek węgla.

W rozdziale 4 pracy opisano laboratoryjne stanowisko badawcze z reaktorem ze złożem stałym służące do dalszych badań, w którym oryginalnym wkładem Autorki było zaprojektowanie i zbudowanie systemu grzewczego. Umożliwiał on zarówno sterowanie ogrzewaniem reaktora jak również dawał możliwość ogrzewania czynników zgazowujących do indywidualnie zadanej temperatury. Zaproponowane przez Doktorantkę rozwiązanie umożliwia zasymulowanie wykorzystanie nadmiarowego ciepła procesowego do wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem do reaktora. Zamieszczone w opisie stanowiska badawczego zdjęcia 4.1 i 4.2 w sposób precyzyjny i czytelny dokumentują wkład autorski i dokonane przez Autorkę modyfikacje. Kolejno opisana jest procedura badawcza wraz z uzyskanymi wynikami badań zgazowania karbonizatów, które były podstawą do przeprowadzonej analizy wpływu wstępnego ogrzewania reagentów gazowych przed wprowadzeniem do złoża w trzech zaprojektowanych układach grzania (A, B, C). Analizowano efektywność procesu zgazowania karbonizatu poprzez pomiary wartości opałowej otrzymanego gazu, stężenia metanu, tlenku węgla i wodoru w otrzymanym gazie, całkowitej objętości wytworzonego gazu, objętości wytworzonego tlenku węgla oraz objętości wytworzonego wodoru. Uwzględniono także wpływ temperatury procesu oraz rodzaj stosowanego czynnika zagazowującego.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie rozprawy doktorskiej, której istotnym, nowatorskim elementem było zaprojektowanie i zbudowanie układu wstępnego ogrzewania czynnika zgazowującego przed wprowadzeniem na złożo. Przeprowadzone badania własne pozwoliły Doktorantce na sformułowanie

i przedstawienie dziewięciu najważniejszych wniosków podsumowujących wyniki przeprowadzonych badań.

Po przeczytaniu rozprawy przedstawiam uwagi, dotyczące między innymi strony edycyjnej dysertacji, ograniczając się do najważniejszych i najbardziej reprezentatywnych:

- Str. 4 i 5. Spis skrótów i Spis symboli - powinno być najważniejszych, ponieważ w tekście pracy występują również nieujęte w spisie oznaczenia;
- Brak cytowania literatury we wstępie prac, pomimo odwoływania się do informacji źródłowych;
- Str. 17. Jak rozumieć zdanie „W Unii Europejskiej zużycie wszystkich paliw kopalnych do produkcji energii elektrycznej jest porównywalne do zużycia tylko węgla na świecie ii jest prawie dwukrotnie mniejsze niż zużycie węgla w Polsce”;
- Str. 20. Stan skupienia H₂O w spalinach – gazowy czy w stanie pary?;
- Str. 20. Niejasne jest zdanie „ Główną wadą obecnie stosowanych technologii spalania jest emisja do atmosfery zanieczyszczeń powodujących efekt cieplarniany głównie CO₂...” pomija emitowaną parę wodą;
- Str. 22. Zdanie „ Pomimo iż... opiera się na gazie ziemnym” – żargon;
- Str. 31. Kilkakrotnie (3 razy; strony: 13,31,68) powtórzona w pracy dokładnie ta sama definicja procesu zgazowania, w mojej opinii niepotrzebnie, wystarczająca byłaby w rozdziale 2.1;
- Str.33 i 34 zawierają wzajemnie wykluczające się informacje. Na stronie 33 Doktorantka pisze iż gaz syntezowy jest substratem syntezy wyższych alkoholi C11-C14, przy czym umieszczona na kolejnej stronie Tabela 2.1 zawiera przykład otrzymywania metanolu;
- Str.35. Niejasny związek tematu ze ...”spokojną sytuacją polityczną...”;
- Str. 46. Zanieczyszczenie wód gruntowych nie jest jedynym zagrożeniem wynikającym z procesu zgazowania węgla, powinny być wymienione również pozostałe;
- Str.50. „... wydajność gazu...” – żargon;
- Str. 51. Tabela 2.8, określenie tanie/drogie, zawartość niska/wysoka nie są wystarczające, brakuje punktu odniesienia;
- Str. 61. „...produkcja ropy naftowej z łupków...czy z piasku roponośnego... - żargon;
- Str.121. nie jest ujednoczony zapis literatury, raz zapis jak pozycja 48, raz jak 52. Również należałoby rozważyć czy nie korzystniejszy byłby zapis alfabetyczny;

Powyższych uwag nie należy odczytywać jako zarzutów, gdyż należy podkreślić, że rozprawę doktorską czyta się bardzo dobrze, napisana jest dobrym stylem, bez szczególnie rozwlekłych zdań. Czasem można spotkać skróty myślowe, które wynikają zapewne z biegłej znajomości realizowanej przez Doktorantkę tematyki, a ich ilość mieści się „w normie”.

Pokrótkce przedstawię komentarze i uwagi, które powinny zostać wyjaśnione podczas publicznej obrony:

- 1) Str. 21. Czym kierowano się przy podziale na lata w Tabeli 1.1 w kolumnach dotyczących zmian emisji CO₂;
- 2) Str. 27. Proszę o wyjaśnienie podstawowych różnic pomiędzy CTW (Clean Coal Technologies) i terminu footprint powszechnie obecnie stosowanego;
- 3) Str. 27. Proszę o wyjaśnienie zdania „ Odnawialne źródła w polskiej strefie klimatycznej nie zapewniają bezpieczeństwa energetycznego”, Jakie źródła miała Pani na myśli i jakie są ograniczenia wynikające ze strefy klimatycznej;

- 4) Np. Str. 29. Używa Pani wielokrotnie termin ogrzewanie czynnika zgazowującego do temperatury np. 700⁰, biorąc pod uwagę że stosowany czynnik osiąga tę temperaturę właściwe wydaje się być termin ogrzanie;
- 5) Np. Str. 31 Proszę podać różnice pomiędzy mieszkanką a mieszaniną;
- 6) Str. 32. Zawiera 13 równań, dla których nie podano źródeł. W związku z powyższym generuje to moje następujące pytania: 1) zasadność odwracalności wszystkich procesów, 2) nazewnictwo reakcji c) d) i f) oraz wartości entalpii reakcji, różnice w dostępnej literaturze, w szczególności dla reakcji c) gdzie literaturowa wartość to -87.5 kJ/mol. W równaniach powinny podane być stany skupienia reagentów, szczególnie istotne jest to w przypadku wody, w równaniu 2.7 dodatkowo błędnie dobrane są współczynniki stechiometryczne. Proszę o wytłumaczenie nazewnictwa reakcji c), d) i f);
- 7) Str.33. Proszę wyjaśnić ideę schematu zgazowania węgla Rysunek 2.1., niejasny jest sam proces zgazowania karbonizatu;
- 8) Str.34. Jaki był cel umieszczenia w pracy danych zawartych w Tabeli 2.1.; według mnie zawartość nie ma związku z pracą;
- 9) Str.36. Jakie jest Pani zdanie odnośnie realnych możliwości stosowania reaktorów ze złożem plazmowym;
- 10) Str.49. Proszę o wyjaśnienie ostatniego zdania „Ogólnie biorąc, węgle o niskim stopniu metamorfizmu.....” jest to szczególnie istotne ponieważ można odczuć pewien niedosyt w interpretacji uzyskanych przez Panią wyników do budowy i składu przebadanych w pracy węgla;
- 11) Str. 50. Niewłaściwie zapisana reguła przekory, choć wydaje się być oczywista, w przypadku brak uwzględnienia stanu skupienia reagentów przy wpływie zmiany ciśnienia na stan równowagi dynamicznej układu, może skutkować u czytelnika błędnymi wnioskami podczas zmian tego parametru;
- 12) Str. 57. Brak interpretacji danych literaturowych zawartych w Tabeli 2.10, co dodatkowo w odniesieniu do wyników własnych utrudnia raz stosowany w pracy stosunek molowy, a raz masowy stosowanego czynnika zgazowującego (np.: str. 57/97) do ilości węgla zawartego w paliwie;
- 13) Str. 70. Jaki jest cel umieszczenia zdjęć SEM dwóch spośród 10 próbek węgla;
- 14) Proszę o wyjaśnienie „roli” Załącznika 1; dlaczego zawarte w nim rysunki nie są umieszczone kolejno w pracy, za Rysunkiem 3.4, jako konsekwencja badań opisanych w Rozdziale 3.1.2;
- 15) Proszę o wyjaśnienie, czym kierowała się Pani dokonując wyboru stosowanych temperatur procesu: 700, 800 i 900°C, czy wybór jest konsekwencją zmian w procesie widocznych na Rysunku 2.4. ? Uzasadnienie powinno w sposób jasny być zawarte w pracy;
- 16) Proszę o wyjaśnienie celowości wniosku nr 9, zawartego w Podsumowaniu, nie ma on bezpośredniego związku z pracą, zatem nie powinien zostać umieszczony w tym miejscu pracy.

Przedstawione refleksje i uwagi dotyczące rozprawy są powodowane głównie obowiązkiem recenzenta, nie umniejszają jej wartości. Wnosi ona wiele elementów nowości naukowej, wśród których na szczególne wyróżnienie zasługuje połączenie znajomości przebiegu procesu zgazowania poprzez wykorzystanie laboratoryjnej instalacji do badania procesów zgazowania paliw stałych z możliwością ogrzewania czynnika zgazowującego przed wprowadzeniem na złożo. Jednocześnie zaproponowany przez Autorkę sposób prowadzenia badań daje możliwość symulacji wykorzystania nadmiarowego ciepła

procesowego do wstępnego ogrzewania czynnika zgazowującego w procesie zgazowania węgla. Część eksperymentalna pracy pokazuje jak wiele pracy Autorka rozprawy włożyła w jej powstanie. Analiza uzyskanych przez Doktorantkę wyników przynosi wiele wartościowych informacji, zarówno możliwych do dalszego wykorzystania w pracach eksperymentalnych jak i aplikacyjnych. Rozprawa została napisana poprawnie. Na szczególne podkreślenie zasługuje biegłość Autorki w doborze materiału, zaplanowaniu eksperymentu oraz analizie uzyskanych wyników, całość wskazuje na ponadprzeciętną dojrzałość naukową. Docenić należy również szatę graficzną rozprawy, czytelny układ pracy, starannie wykonane rysunki i tabele ułatwiające korzystanie z zawartych w pracy wyników. Stwierdzam, iż sformułowany cel naukowy został przez Doktorantkę osiągnięty. Fakt zaprojektowania rozbudowy aparatury badawczej oraz konsekwentnie realizowanych w części eksperymentalnej celów pracy znacznie przekracza poziom zazwyczaj realizowanych prac doktorskich. Równocześnie należy podkreślić praktyczne znaczenie pracy i jej perspektywicznie dużą przydatność do dalszych rozwiązań w procesie zgazowania węgla.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska magister Magdaleny Cempy spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65. Poz. 595 z późniejszymi zmianami). Dlatego też z pełnym przekonaniem zwracam się do Wysokiej Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach z wnioskiem o dopuszczenie mgr Magdaleny Cempy do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Krzysztof Leschke', is centered on the page.