



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Energetyki i Paliw

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

Kraków, 13.12.2021

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Rafała Gašiora** pt.: „*Analiza możliwości wykorzystania węgla niskoenergetycznych i odpadów w procesie współgazowania*”.

Promotor rozprawy: prof. dr hab. Adam Smoliński

Promotor pomocniczy: dr inż. Karolina Wojtacha-Rychter

Podstawa opracowania

Formalną podstawą przygotowania opracowania jest pismo Pana prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach z dnia 8 października 2021r.

Ocena celowości podjętej tematyki

Badania będące podstawą recenzowanej pracy ukierunkowane są na opracowanie optymalnych parametrów procesu współgazowania węgla niskiej jakości, wraz z odpadami powstającymi w procesie produkcji węgla kamiennego z wykorzystaniem paliw alternatywnych (RDF – Refuse Derived Fuel) powstałych z odpadów komunalnych. Węgla niskiej jakości uznawane są za uboczny produkt wydobycia węgla, jednak mogą zostać zagospodarowane w sposób przyjazny dla środowiska, stanowiąc strumień paliwowy. Wykorzystanie miałów węglowych jest istotne na rynku energetycznym, nie tylko w aspekcie ekonomicznym, ale także ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki o obiegu zamkniętym. Z zastosowaniem wytypowanego modelu zestawiono podobieństwa i różnice pomiędzy wytypowanymi paliwami, ich parametrami fizykochemicznymi oraz reaktywnością w procesie zgazowania parą wodną. Przeprowadzona selekcja pozwoliła na zaproponowanie rozwiązania zmieszania węgla z paliwem alternatywnym RDF oraz przeprowadzeniu procesu współgazowania, uzyskując gaz o wysokim stężeniu wodoru od 59 do 68% objętościowych.

**AGH**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Energetyki i Paliw

Ocena rozprawy

Praca doktorska zapisana została na 114 ponumerowanych stronach, zawiera 40 rysunków, 24 tabele i 104 pozycji bibliograficznych, w języku polskim i angielskim. Całość rozprawy podzielona jest na 6 zasadniczych rozdziałów. Treść pracy doktorskiej jest zgodna z tytułem.

Pracę rozpoczyna streszczenie oraz wprowadzenie, będące przedmiotem *Rozdziału 1*, w którym Autor przedstawia problematykę podjętą w pracy. *Rozdział 2* zawiera cel naukowy, użyteczny oraz koncepcję badań.

Celem naukowym, postawionym przez Autora było określenie parametrów procesu współgazowania wybranych węgla niskoenergetycznych, mułów oraz flotokonzentratów uzyskanych w procesie produkcyjnym podczas wzbogacania węgla i odpadów przetworzonych na paliwa alternatywne (RDF).

Celem użytecznym było wykazanie zasadności zastosowania wytypowanych węgla w procesie współgazowania, otrzymując gaz o wysokiej zawartości wodoru.

W ramach realizacji pracy doktorskiej podjęto próbę przeanalizowania potencjału energetycznego węgla na przykładzie Polskiej Grupy Górniczej S.A.. W tym celu wytypowano i pobrano próbki węgla oraz odpady z procesów wzbogacania węgla należących do PGG S.A. na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

Przeprowadzono badania zgazowania próbek RDF oraz materiałów powstałych w procesie wzbogacania. Celem tak zaplanowanego eksperymentu było zbadanie możliwości wykorzystania technologii zgazowania uwzględniając: zarówno racjonalne wykorzystanie odpadów, wykazanie potencjału energetycznego RDF, poprawy przemian chemicznych podczas zgazowania oraz określenia optymalnego składu mieszanki wsadowej w odniesieniu do paliwa węglowego.

Rozdział 3 - Ocena stanu wiedzy – Przegląd literatury obejmuje zagadnienia związane z surowcami paliwowymi oraz technologiczne procesy stosowane w procesie zgazowania oraz współgazowania. Autor, przedstawia podstawową strukturę węgla, kolejno prezentując w sposób syntetyczny czyste technologie węglowe, jako istotne elementy procesu wzbogacania węgla. Następnie wskazuje na rolę paliw alternatywnych we wdrażaniu gospodarki o obiegu zamkniętym, poprzez możliwość ponownego zastosowania produktów, jako surowca energetycznego. Jednocześnie zwraca uwagę na konieczność rozwoju technologii wodorowych, ze szczególnym uwzględnieniem procesu zgazowania oraz współgazowania węgla i wybranych odpadów.

**AGH**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Energetyki i Paliw

Jako istotne wymienia trzy główne technologie zgazowania: technologię ze złożem stałym, fluidalnym oraz strumieniowym, jako kryterium przyjmując sposób przepływu paliwa przez reaktor. Obszerną częścią, liczącą 26 stron, rozdziału trzeciego jest *Podrozdział 3.4.1*, obejmujący opis technologii wytwarzania gazu syntezowego z zastosowaniem substancji niskoenergetycznych. Bazując na opracowaniach patentowych i rozwiązaniach opisanych w literaturze, w znacznej mierze funkcjonujących w praktyce, dokonuje porównania zarówno samych rozwiązań technologicznych jak również skuteczności wytwarzania energii, jako alternatywy dla technologii konwencjonalnych. Podsumowaniem rozdziału trzeciego jest przedstawienie znaczenie węgla kamiennego w Polsce i jego roli w bilansie energetycznym odnawialnych źródeł energii, a także regulacji środowiskowych dotyczących emisji gazów cieplarnianych.

Rozdział 4, zawiera opis części eksperymentalnej pracy, analizę uzyskanych danych eksperymentalnych oraz zaproponowany przez Autora model procesu zgazowania, w odniesieniu do produkcji wodoru, co stanowi zasadniczą część dysertacji. Obejmuje określenie wydajności i stopnia konwersji hydrotermalnego upłynniania wytypowanych próbek węgla pochodzących z zasobów PGG S.A., dla eksperymentu przeprowadzonego w trzech wytypowanych temperaturach: 350, 400 oraz 450 °C oraz pod ciśnieniem 20 MPa. Próbki pochodziły z sześciu oddziałów PGG S.A., łącznie dziewięciu kopalń. Próbka paliwa alternatywnego RDF pochodziła z zakładu utylizacji odpadów, zlokalizowanego na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Badania reaktywności węgla oraz flotokonzentratów wykonano zgodnie z opisaną procedurą. Zgazowanie powietrzem przeprowadzono w analizatorze TGA SDT Q600, wyniki zebrano tabelarycznie wraz z termogramami.

Skład otrzymanego gazu oznaczono za pomocą chromatografu Agilent Micro-GC 3000, wyposażonego w detektor termokonduktometryczny (GC-TCD). W celu oznaczenia parametrów paliwa przyjęto fizykochemiczne parametry materiału badawczego oraz jego reaktywność w procesie zgazowania powietrzem oraz parą wodną. Podobną procedurę przyjęto dla określenia parametrów paliw RDF. Przy zgazowaniu powietrzem do badania reaktywności próbek zastosowano termograwimetryczny analizator SDT, co pozwoliło na równoczesną detekcję (TGA-DTA) zmiany masy próbki w funkcji temperatury lub czasu oraz analizę TGA-DSC – detekcję zmiany masy próbki i przepływu ciepła w funkcji temperatury lub czasu. Do wyznaczenia reaktywności próbek podczas zgazowania parą wodną oraz procesu współzgazowania zastosowano instalację laboratoryjną z reaktorem ze złożem stałym przedstawioną schematycznie na Rysunku 4.5. Do reaktora ze złożem stałym wprowadzano próbki, a następnie poddawano ekspozycji na działanie czynników zgazowujących w zadanej temperaturze. Analiza chromatograficzna otrzymanego gazu dała informacje

**AGH**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Energetyki i Paliw

dotyczące reaktywności badanego materiału. W celu otrzymania gazu o maksymalnie wysokiej zawartości wodoru zaproponowano następujące parametry procesu zgazowania parą wodną: dobór próbek węgla, temperatury procesu, składu mieszanki wsadowej. Zostały one scharakteryzowane za pomocą następujących wskaźników: stężenia gazów, zmiany masy, parametrów fizykochemicznych i reaktywności. Po określeniu parametrów paliwa przeprowadzono badania eksperymentalne, a następnie z zastosowaniem metod obliczeniowych przy użyciu programu MATLAB oraz MS Excel przedstawiono parametry procesu zgazowania oraz zgazowania parą wodną, które umożliwiają ukierunkowanie procesu na maksymalizację produkcji wodoru. *Podrozdział 4.4* przedstawia metodykę stosowaną podczas badania zgazowania i zgazowania węgla, flotokonzentratów oraz RDF. Obejmuje zarówno budowę reaktora, jak również sposób przygotowania próbek, jako dwanaście konfiguracji parametrów procesu. Analiza otrzymanego gazu pozwoliła na jednoznaczne wskazanie mieszanki pozwalającej na otrzymanie produktu o najwyższym udziale wodoru. W *podrozdziale 4.5* przedstawiono analizę uzyskanych danych eksperymentalnych z zastosowaniem narzędzi chemometrycznych. W tym celu, zaproponowano analizę skupień, tj. grupowania hierarchicznego HCA, czego efektem była seria dendogramów obrazująca klasteryzację poszczególnych obiektów. Uzyskane wyniki pozwoliły wskazać na szczególną rolę właściwości katalitycznych obecnych tlenków metali, ze szczególnym uwzględnieniem K_2O , Al_2O_3 oraz TiO_2 . Przedmiot *podrozdziału 4.6* stanowił zaproponowany model parametrów zgazowania, ukierunkowany na produkcję gazu wzbogaconego w wodór, pozwalający na taki dobór parametrów procesu, aby zaproponować dobór mieszanki paliwowej pozwalający na maksymalne wykorzystanie jej potencjału energetycznego.

Rozdział 5 Podsumowanie i wnioski stanowi syntetyczne podsumowanie pracy, wskazując najważniejsze zależności otrzymane podczas jej realizacji. Jednocześnie wytycza dalsze kierunki badań z uwzględnieniem wykazanych na podstawie zaplanowanego eksperymentu korelacji.

Rozdział 6 obejmuje spis Literatury i zawiera szereg prac dotyczących tematyki rozprawy zarówno krajowych jak i o zasięgu międzynarodowym.



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Energetyki i Paliw

W trakcie czytania rozprawy nasuwają się pewne uwagi, dotyczące strony edycyjnej dysertacji, ograniczając się do najważniejszych i reprezentatywnych uwag:

- Brak spisu oznaczeń i symboli, który ułatwiłby czytelnikowi odniesienie się do wielkości omawianych w pracy;
- Niejednolite cytowanie literatury, w obrębie całej pracy, raz z inicjałami imienia, innym razem bez;
- Nieczytelne opisy osi na rysunkach, szczególnie Rysunki 4.9, 4.10, opisy czasem w języku angielskim – 4.16, 4.17;
- Brak pełnego opisu Rysunku 3.16;
- Brak źródła Rysunek 4.3; 4.6; 4.7;
- W mojej ocenie zbyt szczegółowy opis, będący przedmiotem Podrozdziału 3.3 właściwości fizykochemicznych wodoru jako pierwiastka, co zasadniczo nie jest tematem rozprawy;
- Brak opisu Rysunków zebranych na stronach 78, 79, 80, utrudnia analizę otrzymanych termogramów, w odniesieniu do indywidualnych wyników, jest również niespójny z informacją w Rozdziale 4.5 oraz Tabelą 4.5 i 4.6;

Praca zawiera pewną ilość błędów literowych, nomenklaturowych czy stylistycznych, co powinno zostać uwzględnione podczas przygotowywania materiału w formie publikacji. Pojawiają się też błędy ortograficzne, czy gramatyczne, które również w przyszłości powinny zostać poprawione przez Autora. Wśród przykładowych wymienię: pisownia niskoenergetycznych raz łącznie raz oddzielnie, rozłącznie pisane słowo poprzez, termokonduktometryczny, odmiana słowa żużel, błędy w opisie na Rys. 2 ilustrującym *Plan pracy*, nie zawsze właściwe używanie liczby mnogiej, jak chociażby na str. 63 składy produktów głównych itd.

Poniżej komentarze, o których wyjaśnienie poproszę podczas publicznej obrony:

- Strona 35, proszę o wyjaśnienie jednostki przy składzie gazu syntezowego w przypadku siarkowodoru;
- Czym kierował się Autor omawiając trzy wymienione na stronie 37 jako podstawowe technologie zgazowania;
- Strona 51, wskaźnik b - opis dylatacja czy dylatacja;



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Energetyki i Paliw

- Strona 72, niejasne zestawienie przedstawionych parametrów procesu, scharakteryzowanych wskaźników w kontekście uzyskanych wyników – poproszę o zbiorcze przedstawienie tych danych i omówienie w odniesieniu do postawionych problemów badawczych;
- Strona 74 w którym miejscu pracy wykazano możliwości energetyczne wytypowanych próbek – jeśli to dane z Tabeli 4.3, czy zostały uzyskane podczas realizacji doktoratu;
- Proszę o wyjaśnienie modelu procesu zgazowania przedstawionego w Rozdziale 4.6;
- Jak była powtarzalność otrzymanych wyników?

Powyższe uwagi wymagają uwzględnienia przy opracowaniu wyników w formie publikacji, niemniej od strony merytorycznej nie umniejszają wartości pracy doktorskiej, która wnosi wiele elementów nowości naukowej, zarówno w części eksperymentalnej jak i teoretycznej. Wyniki uzyskane przez Doktoranta wykazują potencjał do ich dalszego wykorzystania zarówno w pracach eksperymentalnych jak i aplikacyjnych. Wybór tematyki badawczej jak i metodyki rozwiązania problemu pracy uważam za zasadne i celowe. Wyniki badań przedstawione w pracy uzupełniają wiedzę na temat procesu współgazowania i mogą stanowić uzupełnienie aktualnych badań. Sformułowany cel naukowy został przez Doktoranta osiągnięty.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Gąsiora 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). Stwierdzenie to upoważnia mnie do przedstawienia Wysokiej Radzie Naukowej Głównego Instytutu Górnicztwa w Katowicach wniosku o dopuszczenie mgr inż. Rafała Gąsiora do publicznej obrony.