

Dr hab. inż. Sławomir Stelmach, prof. IChPW  
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla  
ul. Zamkowa 1  
41-803 Zabrze

Zabrze, dn. 12.01.2020 r.

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr. inż. Damiana Gierada**

pt.:

### **„WYKORZYSTANIE KARBONIZATU Z ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH, JAKO ŹRÓDŁO PALIWA ALTERNATYWNEGO, W ASPEKCIE OCHRONY ŚRODOWISKA”**

Recenzja została opracowana na zlecenie Dyrektora Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach, prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska.

Recenzowana rozprawa doktorska pt. „Wykorzystanie karbonizatu z zużytych opon samochodowych, jako źródło paliwa alternatywnego, w aspekcie ochrony środowiska”, wykonana została przez Pana mgr. inż. Damiana Gierada w Głównym Instytucie Górniczym w Katowicach, przy wykorzystaniu infrastruktury badawczej Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica w Gliwicach. Promotorem przedmiotowej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Marian Niesler.

Obecnie na świecie wytwarza się rocznie ponad miliard Mg surowki wykorzystując wielkie piece, w których podstawowym materiałem wsadowym zawierającym żelazo jest spiek żelazonośny. Mimo, że proces wytopu surowki jest powszechnie stosowany i bardzo dobrze poznany, to wciąż poszukuje się sposobów jego doskonalenia i optymalizacji. Działania te sprowadzają się m.in. do poszukiwania zastępników koksiku węglowego, który stosuje się jako paliwo przy spiekaniu rud żelaza. Mają one na celu przede wszystkim obniżenie kosztów produkcji surowki, ale również uzyskanie korzystnych efektów środowiskowych w sektorze hutnictwa żelaza.

Autor recenzowanej pracy doktorskiej podjął naukowo-badawcze działania zmierzające do oceny możliwości wykorzystania karbonizatu powstającego podczas pirolizy zużytych opon samochodowych w charakterze zastępnika części koksiku

węglowego z uwzględnieniem aspektów ochrony środowiska powiązanych z takim przedsięwzięciem. Podjęty temat badawczy wpisuje się znakomicie w bieżące trendy rozwojowe światowego hutnictwa żelaza.

Układ edycyjny recenzowanej rozprawy jest typowy dla prac o tym charakterze i w zrozumiały, logiczny sposób prezentuje zagadnienie opracowane przez autora. Rozprawa obejmuje 192 strony (w tym 17 stron załączników) i jest podzielona na trzy główne rozdziały – 1. Wprowadzenie, 2. Przegląd literaturowy oraz 3. Część eksperymentalna, przy czym rozdział 2. obejmuje dodatkowe cztery podrozdziały, a 3. pięć, z których ostatni prezentuje wnioski, jakie autor sformułował w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań i analiz. Treść rozprawy zawiera 65 rysunków i 57 tabel (w tym 6 w załączniku). Zawarta w rozprawie bibliografia obejmuje 142 pozycje, w tym dwie publikacje autora pracy opublikowane w Pracach Instytutu Metalurgii Żelaza wraz z innymi współautorami. Niestety w bazie Web of Science nie figurują inne publikacje autora recenzowanej rozprawy.

We wprowadzeniu do rozprawy autor scharakteryzował krótko zagadnienia dotyczące kwestii powstawania i zagospodarowania zużytych opon samochodowych w kraju i na świecie. Przeanalizował także podstawowe kwestie prawne i środowiskowe związane z zagospodarowaniem tych odpadów. Racjonalne zagospodarowanie zużytych opon samochodowych jest zagadnieniem trudnym, ze względu na ich złożoną konstrukcję i skład chemiczny. Jednak, jak stwierdza sam autor, zużyte opony samochodowe dzięki swojej bardzo wysokiej wartości opałowej (~31-32 MJ/kg), są bardzo atrakcyjnym nośnikiem energii. Pod koniec wprowadzenia autor formułuje cel pracy, którym była ocena możliwości wykorzystania karbonizatu ze zużytych opon samochodowych jako źródła paliwa alternatywnego w aspekcie ochrony środowiska. W ocenie recenzenta korzystnie byłoby, gdyby informacja czym jest 'karbonizat' wyjaśniona była przed sformułowaniem celu rozprawy. Z końcowej części wprowadzenia wynika, że praca koncentrowała się na wykorzystaniu karbonizatu z opon samochodowych jako zamiennika części koksiku węglowego w procesie spiekania rud żelaza. Szkoda, że nie znalazło to jednoznacznego odzwierciedlenia w tytule ani celu pracy.

Przeegląd literaturowy przedstawiony przez autora rozprawy w rozdziale drugim obejmował analizę kwestii prawnych i organizacyjnych związanych z zagospodarowaniem zużytych opon samochodowych, przegląd kierunków zagospodarowania tych odpadów (z uwzględnieniem sposobów wykorzystania

karbonizatów otrzymywanych z opon), analizę zastosowania alternatywnych paliw w procesie spiekania rud żelaza oraz informacje na temat konkluzji BAT dotyczących spiekalni rud żelaza.

Przedstawiona na kilku stronach przez autora rozprawy analiza aktów legislacyjnych odnosiła się do obszaru kraju i Unii Europejskiej. Fragment ten wskazuje na istotność i skomplikowanie zagadnień związanych z zagospodarowaniem zużytych opon, co podkreśla znaczenie podjęcia przez doktoranta przedmiotowej tematyki. Dyskusyjna jak zawsze (co nie jest zarzutem) pozostaje kwestia potrzeby uwzględniania zagadnień prawnych w rozprawach naukowych z dziedzin technicznych. Jak bowiem powszechnie wiadomo, regulacje prawne ulegają modyfikacjom, natomiast wyniki badań eksperymentalnych są ze swej natury od nich niezależne, gdyż determinują je prawa fizyki.

W dalszej części przeglądu literaturowego autor prezentuje informacje z obszaru sposobów zagospodarowania zużytych opon samochodowych, uwzględniając bieżnikowanie, odzysk energii, recykling materiałowy i – co ważne w świetle tematyki pracy – pirolizę zużytych opon oraz metody zagospodarowania karbonizatów wytwarzanych tą metodą ich konwersji. Autor wymienia przykłady instalacji pirolizy zużytych opon samochodowych uruchomionych na świecie, jak i w Polsce, gdzie sztandarowym przykładem jest instalacja funkcjonująca od kilku lat w Bukowni, pracująca w trybie ciągłym i charakteryzująca się wydajnością 20 tys. Mg opon rocznie.

Analizując potencjalne metody zagospodarowania karbonizatów wytwarzanych ze zużytych opon samochodowych autor wziął pod uwagę ich zastosowanie jako zastępniki sadzy technicznej oraz adsorbenty węglowe, a także w charakterze alternatywnych materiałów wykorzystywanych w procesach metalurgicznych (spieniacze żużla stalowniczego, nawęglacze kąpieli stalowej, czy też reduktory w procesie Waelz'a).

Najważniejsza część przeglądu literaturowego poświęcona została zastosowaniu alternatywnych paliw w procesie spiekania rud żelaza. W tym miejscu należy zwrócić uwagę na znaczenie zwrotu „paliwo alternatywne”, które w obszarze gospodarki odpadami jest w kraju jednoznacznie przyporządkowane odpadom palnym o kodzie 19 12 10 według katalogu odpadów (o czym sam zresztą autor wspomina w rozdziale dotyczącym wymagań stawianych paliwom alternatywnym). Stosowanie tego określenia może nieco (przynajmniej na wstępie) wprowadzać

w błąd czytelnika. Sugeruje się raczej zastosowanie szyku przestawnego i wszędzie tam, gdzie nie dotyczy to odpadu o kodzie 19 12 10, zaleca się stosowanie określenia „alternatywne paliwo”, w znaczeniu „alternatywne dla aktualnie stosowanego koksiku węglowego”.

Autor rozprawy przeanalizował możliwość wykorzystania w charakterze zastępników koksiku węglowego w procesie spiekania rud następujących materiałów węglowych: antracytu, biomasy, błękitnego węgla, koksiku granulowanego oraz paliw alternatywnych z odpadów komunalnych, wskazując wady i zalety takiego zastosowania tych materiałów. W podrozdziale dotyczącym wymagań stawianych paliwom alternatywnych (w domyśle czytelnika mającym podsumować wymagania jakościowe stawiane alternatywnym dla koksiku węglowego surowcom węglonośnym) autor skoncentrował się - nie wiedzieć dlaczego - na analizie zagadnień związanych z paliwami alternatywnymi z odpadów. Jest to prawdopodobnie efekt dychotomii znaczeniowej zwrotu „paliwo alternatywne”, która pojawiła się w recenzowanej rozprawie, a o której wspomniano w poprzednim akapicie. Wymagania jakościowe stawiane ewentualnym zastępnikom koksiku węglowego wykorzystywanego w procesie spiekania wynikają (w dużej mierze nie wprost) z konkluzji BAT dla spiekalni rud żelaza, analizowanych w ostatniej części przeglądu literatury.

Przeprowadzona analiza literaturowa pokazuje dobre przygotowanie doktoranta do prowadzenia samodzielnych studiów literaturowych. Oparta została ona na licznych, właściwie dobranych tematycznie pozycjach literaturowych (krajowych i zagranicznych) zaprezentowanych w spisie literatury. Analiza ta stanowiła dobrą bazę merytoryczną do podjęcia właściwie ukierunkowanych badań, które opisane zostały w kolejnym rozdziale pracy.

Część eksperymentalna rozprawy doktorskiej rozpoczyna się postawieniem tezy pracy, wynikającej w znaczącym stopniu z przeprowadzonego przeglądu literaturowego, która w ogólnym ujęciu dotyczyła możliwości wykorzystania karbonizatu ze zużytych opon samochodowych jako zastępnika części koksiku węglowego w procesie spiekania rud żelaza, przy zachowaniu aktualnych wymogów środowiskowych odnoszących się do hutnictwa żelaza. Zaplanowane i wykonane przez doktoranta prace badawcze miały na celu udowodnienie postawionej tezy.

Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej zaplanował i wykonał szeroki zakres badań i analiz obejmujący m.in. szczegółową analizę chemiczną, analizę termiczną

oraz fazową próbek karbonizatów ze zużytych opon, które pozyskał do badań (9 próbek). Dokonał również oceny jakości tych materiałów pod kątem ich kwalifikacji do kategorii odpadów niebezpiecznych, co w pozytywnym przypadku, mogłoby stanowić przeszkodę w praktycznym zastosowaniu karbonizatów w procesie produkcyjnym. Autor przeprowadził także półprzemysłowe próby spiekania rud żelaza z wykorzystaniem wybranych pod kątem wymagań procesu dwóch najlepszych próbek karbonizatów. Uzyskane spieki poddał szczegółowym analizom dla oceny ich jakości. W oparciu o wykonane pomiary dokonał również oceny możliwości dotrzymania standardów emisyjnych odnoszących się do procesu spiekania rud żelaza, przy zamianie części koksiku węglowego paliwem zastępczym. Na koniec autor dokonał uproszczonej analizy ekonomicznej dla ocenienia opłacalności zastosowania karbonizatu ze zużytych opon, jako zamiennika części koksiku w procesie spiekania.

Przeprowadzony przez autora rozprawy proces badawczy oraz dokonana przez niego analiza wyników (również w odniesieniu do aktualnie obowiązujących standardów technologicznych i emisyjnych), pozwoliły mu na potwierdzenie możliwości zastosowania karbonizatów ze zużytych opon samochodowych w charakterze zamienników części koksiku węglowego w procesie spiekania rud żelaza. Według autora kluczowymi kryteriami koniecznymi do wzięcia pod uwagę przy ocenie możliwości wykorzystania takich karbonizatów w przedmiotowym procesie jest zawartość węgla, cynku, siarki oraz oleju pirolitycznego w tych materiałach. Stwierdził on również, że karbonizaty z opon powinny posiadać odpowiedni rozkład uziarnienia, aby zapewnić właściwą przewodność mieszanki spiekalniczej. Spieki uzyskane przez doktoranta z udziałem karbonizatów z opon charakteryzowały się bardzo dobrą ziarnistością (lepszą w porównaniu do mieszanki bazowej) oraz właściwościami wytrzymałościowymi (na porównywalnym lub wyższym poziomie w stosunku do mieszanki bazowej). Skład chemiczny spieków z udziałem karbonizatów z opon, w porównaniu do spieku z mieszanki bazowej, pozostał na praktycznie niezmiennym poziomie, dzięki zastosowaniu odpowiednio dobranych udziałów karbonizatów w mieszance paliwowej. Autor wykazał również, że dzięki właściwemu doborowi składu mieszanki paliwowej z udziałem karbonizatu z opon samochodowych możliwe jest spełnienie aktualnych wymagań emisyjnych odnoszących się do procesu spiekania rud. Ostatecznym wnioskiem wynikającym z pracy jest stwierdzenie opłacalności wprowadzenia karbonizatu z opon

samochodowych do procesu spiekania rud żelaza, jako zamiennika części koksiku. Dla aktualnego krajowego zużycia koksiku węglowego na poziomie 400 tys. Mg/rok, przy zastąpieniu 10%mas. tego paliwa karbonizatem z opon samochodowych, przy aktualnych cenach tych paliw możliwe jest uzyskanie oszczędności zakupowych na poziomie 8 mln zł/rok oraz obniżenie kosztów zmiennych spiekalni o ok. 9 mln zł/rok. Z punktu widzenia pełnych kosztów produkcji surówki żelaza kwoty te nie wydają się duże, niemniej jednak potencjalnych oszczędności nie można bagatelizować, szczególnie również w świetle tego, że zastosowanie karbonizatów z opon w charakterze zastępników części koksiku węglowego niesie za sobą również inne korzyści (głównie środowiskowe).

Przedstawiona przez doktoranta do obrony rozprawa doktorska ma charakter w dużej mierze użyteczny. Autor wykazał się dużą wiedzą z zakresu inżynierii środowiska, szczególnie kwestii związanych z termicznymi metodami przekształcania odpadów oraz emisjami do powietrza, ale także wiedzą z obszaru technologii spiekania rud żelaza. Połączenie wiedzy z tych obszarów pozwoliło mu na opracowanie spójnej merytorycznie rozprawy, która – pomijając jej zasadniczy cel, a więc uzyskanie stopnia doktora – może być materiałem bazowym dla służb technologicznych hut żelaza, dla podjęcia decyzji o dalszym rozwoju przedmiotowej koncepcji procesowej.

Ogólna pozytywna ocena przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej, nie uprawnia jednak do pominięcia przedstawionych poniżej krytycznych uwag, które nie umniejszają jednak wartości dzieła przygotowanego przez doktoranta. W niniejszej recenzji przedstawione zostaną tylko najważniejsze z nich. Drobne korekty edytorskie i komentarze zostały zaznaczone w wersji elektronicznej rozprawy.

1. Zaleca się doktorantowi zwrócić w przyszłości większej uwagi na poprawność językową/edycyjną przygotowywanych dokumentów. Nietożsamość błędów w nazwie instytucji w której prowadzony jest przewód doktorski jest chyba wystarczającym uzasadnieniem tego zalecenia.
2. Wydaje się, że tytuł rozprawy mógłby być sformułowany trafniej, szczególnie że cel pracy był jasny – zastosowanie karbonizatów ze zużytych opon samochodowych w procesie spiekania rud żelaza. Nie wynika to wprost z tytułu rozprawy.
3. Zaproponowany przez doktoranta sposób wykorzystania karbonizatów ze zużytych opon samochodowych jest idealnym przykładem zagospodarowania odpadów zgodnym z coraz popularniejszą ideą tzw. gospodarki o obiegu zamkniętym

(GOZ). Niestety autor nie dostrzegł tego związku i kwestia ta w rozprawie nie została poruszona.

4. Ciekawe byłoby rozważenie przez autora (nawet krótkie) możliwości obniżenia emisji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>) do atmosfery wynikającej z zastosowania karbonizatów ze zużytych opon w procesie spiekania. Część węgla w tych materiałach może mieć charakter pochodzenia biomasowego. Kwestia ta niestety nie została rozważona, choć recenzent zdaje sobie sprawę, że nie wszystkie zagadnienia technologiczno-środowiskowe można uwzględnić w jednej pracy.

5. Opisywanie w rozdziale 1.2 dwudziestu grup z katalogu odpadów nie miało uzasadnienia z punktu widzenia celu pracy.

6. Proszę o wyjaśnienie, czym są piece bezdymne, o których autor wspomina w rozdziale 2.2.

7. Proszę wyjaśnić co autor miał na myśli pisząc o ekstrakcji karbonizatu w rozdziale 2.4.1.

8. Proszę o wyjaśnienie co autor miał na myśli pisząc o ok. 15%mas. mniejszym uzysku węgla przy zastosowaniu sadzy granulowanej zamiast antracytu w badaniach prowadzonych w IMŻ w Gliwicach.

9. Skąd autor wziął informację o 5%mas. zawartości chloru w PCV?

10. Czym według autora mogła być zanieczyszczona próbka karbonizatu z opon numer 4 o podwyższonej w stosunku do innych próbek zawartości ołowiu (rozdział 6.1)?

11. Jak autor sam zauważa niezwykle istotnym parametrem koksiku i jego ewentualnych zamienników jest właściwe uziarnienie. Do badań spiekania rud żelaza autor wybrał karbonizaty charakteryzujące się pożądanym rozkładem ziarnowym (i innymi korzystnymi cechami jakościowymi). Czy zdaniem autora w świetle niskiej wytrzymałości mechanicznej ziaren karbonizatów ze zużytych opon możliwe będzie uzyskanie dużych partii takich materiałów o pożądanym rozkładzie uziarnienia dla zastosowania w rzeczywistym procesie technologicznym? Czy na etapie przygotowania dużych partii mieszanek spiekalniczych nie nastąpi zbyt mocna degradacja wielkości ziaren karbonizatu zmniejszająca w efekcie przewodność mieszanki?

12. Czy zasadnym jest analizowanie jakości karbonizatów pod kątem spełnienia przez nie kryteriów jakościowych dla zakwalifikowania jako odpady nie

niebezpieczne, bądź niebezpieczne, skoro w procesie wytwórczym mogą one uzyskiwać status produktu?

13. Szkoda, że w pracy nie pojawił się chociaż uproszczony schemat technologiczny węzła spiekalni rud żelaza z uwzględnieniem nowego ciągu technologicznego obejmującego wszystkie niezbędne operacje mające na celu wprowadzenie do mieszanki spiekalniczej nowego paliwa.

Przedstawione w niniejszej recenzji uwagi nie umniejszają praktycznej wartości ocenianej pracy i stanowią przyczynek do dalszej, konstruktywnej dyskusji. Wyrażam nadzieję, że w trakcie obrony publicznej doktorant będzie miał okazję odnieść się do większości z nich. Przygotowaną przez niego rozprawę, nacechowaną dużym ładunkiem aspektów utylitarnych, oceniam pozytywnie. Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a jej autor wykazał się ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Po szczegółowej analizie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej ostatecznie stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w związku z art. 179 ust. 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

**W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Damiana Gierada do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

Stawomir Stelmech