

Dr hab. inż. Jan Kindracki, prof. uczelni
Instytut Techniki Ciepłej
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa
e-mail: jan.kindracki@pw.edu.pl

Recenzja Rozprawy Doktorskiej

Mgr inż. Magdaleny Skrzyniarz

„Analiza możliwości zagospodarowania uciążliwych dla środowiska produktów termicznego przetwarzania odpadów kalorycznych do opalania hutniczych pieców grzewczych”

Podstawa prawna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana w wyniku realizacji uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Materiałowej Politechniki Częstochowskiej z dnia 10 lipca 2025 r. w sprawie powołania komisji doktorskiej i Recenzentów w postępowaniu doktorskim Pani mgr inż. Magdaleny Skrzyniarz. Praca została napisana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Pawła Niegodajewa, prof. uczelni oraz promotora pomocniczego dr inż. Sławomira Morela.

Struktura rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska wykonana została w formie monotematycznego zestawu prac naukowych obejmujących 9 artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach punktowanych z listy MNiSW. Jeden artykuł został opublikowany w czasopiśmie naukowym za 200 punktów, 6 artykułów za 140 punktów oraz dwie publikacje to publikacje 70 punktowe. Do każdej publikacji przypisano wkład autorski doktorantki oraz oświadczenia współautorów danej publikacji. Doktorantka przygotowała skrócony opis problematyki badawczej, w której zawarła krótkie wprowadzenie do tematyki zawierającej: cel pracy doktorskiej, przegląd literatury, metodykę badawczą oraz opisała pokrótce każdy z artykułów wchodzących w skład cyklu publikacji. Skróć został zakończony rozdziałem z podsumowaniem i wnioskami. Całość zawarto na 80 stronach maszynopisu, plus tekst dziewięciu artykułów naukowych stanowiących zamknięty cykl publikacji naukowych.

Uzasadnienie wyboru tematu rozprawy

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej, jest związana z problematyką zagospodarowywania odpadów termicznego przetwarzania odpadów. Istotne wyzwania, przed którymi

stoi obecnie cały świat, to zmniejszenie zużycia paliw kopalnych do generowania energii (zarówno cieplnej i elektrycznej) a w konsekwencji przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym i zero emisyjności. Jednym z bardzo istotnych kierunków tych zmian jest przetwarzanie zużytych produktów (śmieci) na nowe produkty. Jednakże w tym procesie, część materiałów nie jest możliwa do zużycia i powinna ulec utylizacji, co często przeprowadza się poprzez termiczny rozkład (piroliza, zgazowanie) lub spalanie. Dotyczy to szczególnie, odpadów wysokokalorycznych, których ciepło spalania jest większe od 6 MJ/kg. Energia pochodząca z tych procesów może być użytkowana następnie w przemyśle energochłonnym np. cementowanie, huty. Istnieje jednak grupa problematycznych odpadów z tworzyw sztucznych, gumy czy tekstyliów, których wspomniane procesy zagospodarowania są utrudnione ze względu na zróżnicowany skład chemiczny materiałów wyjściowych i w konsekwencji otrzymany rodzaj gazu pirolitycznego. Doktorantka podjęła się zbadania problemu zastosowania tego gazu w kontekście jego współspalania jako alternatywa dla wykorzystania gazu ziemnego i zastosowania takiego nośnika energii w przemyśle hutniczym, a w szczególności do zasilania pieców grzewczych. Jako główny cel swoich prac, Doktorantka postawiła sobie zbadanie mechanizmów chemicznych, odpowiedzialnych za bezpieczne zagospodarowanie tych gazów powstałych w procesie termicznego unieszkodliwiania wspomnianej grupy odpadów a następnie zużycia ich do opalania hutniczych pieców grzewczych. Ważnym elementem tych prac, jest podnoszony przez Doktorantkę aspekt możliwości technologicznych i ekonomicznych. Aby udowodnić słuszność postawionego celu, Doktorantka zaimplementowała koncepcję reaktora pirolitycznego w istniejącym ciągu technologicznym w jednej z polskich hut stali. W tej części pracy zabrakło jawnie sformułowanej tezy pracy, pomimo iż Doktorantka tytułuje tą część podrozdziału jako „teza i cel pracy”. Sformułowano jak już wcześniej wspomniano, cel główny i cel utylitarny pracy. Pomimo tego mankamentu, stwierdzam, iż podjęta przez Doktorantkę tematyka rozprawy jest niezmiernie istotna, ważna i może przybliżyć ten sektor gospodarki nie tylko polskiej ale i światowej do modelu gospodarki o obiegu zamkniętym.

Literatura i przegląd stanu wiedzy

Recenzowana rozprawa doktorska jest oparta na cyklu publikacji, w każdej z nich jest zawarty przegląd literatury odnoszący się do szczegółowej tematyki związanej z artykułem. W tym skróconym opisie Doktorantka przedstawiła całościowy przegląd w rozdziale drugim i streściła go na 7 stronach maszynopisu. W przedstawionym tekście, powołuje się na 114 pozycji literaturowych, z których większość skrupulatnie cytuje w tym rozdziale. Przegląd literatury zaczyna od dokumentów bazowych, które nakreślają kierunki zmian jakimi ma podążać światowa gospodarka a więc także i nasza aby zredukować emisję CO₂ i przejść na gospodarkę o obiegu zamkniętym. Jak wskazuje, jednym z najbardziej energochłonnych a co za tym idzie emitujących szkodliwe gazy i CO₂ jest przemysł ciężki i branża elektrociepłownicza. Wpływ na kierunki zmian ma także niewątpliwie sytuacja geopolityczna.

Doktorantka przedstawia różne technologie termicznego przetwarzania odpadów stosowanych w obecnym modelu gospodarki i na tym tle chce przedstawić swoją koncepcję wykorzystania współspalania gazu pirolitycznego z gazem ziemnym w hutniczym piecu grzewczym. Argumentuje przy tym, że koncepcja ta w zasadzie nie została dotychczas przebadana i powołuje się przy tym na fakt przeanalizowania bazy Scopus zawierającej zestawienie ponad 16 tysięcy czasopism naukowych. Przeprowadzona przez Doktorantkę analiza z wykorzystaniem słów kluczowych wymienionych w pracy wykazała obecność tylko 9 artykułów, które spełniały postawione przez nią kryteria związane z celem pracy. Biorąc pod uwagę problem pirolizy, Doktorantka wykazuje istnienie 979 artykułów w tej bazie, jednakże żaden z zidentyfikowanych artykułów nie mówi o wykorzystaniu pirolizy w hutnictwie. Przeprowadzona analiza literatury, pozwoliła na stworzenie swego rodzaju hierarchii postępowania w procesie zagospodarowania odpadów w Polsce. Dzięki tej analizie, Doktorantka wysuwa wniosek, że piroliza jest jedną z najbardziej perspektywicznych, efektywnych i ekonomicznych metod do unieszkodliwiania odpadów a przy okazji odzyskania części energii związanej z wcześniejszą ich produkcją. Kolejne przytaczane pozycje literaturowe, od pozycji 54 do 73 związane są z tą właśnie problematyką. Biorąc pod uwagę „świeżość” podjętej przez Doktorantkę tematyki, należy stwierdzić, że przeprowadzony przegląd literatury jest kompletny i bardzo aktualny, duża część przytaczanych pozycji jest w zakresie do 5 lat wstecz, a wszystkie cytowane pozycje z literatury są z bieżącego wieku. Świadczy to o tym, iż Doktorantka dobrze wykorzystała źródła i przeprowadzona analiza dotyczy najnowszych dokonań naukowych na tym polu badawczym. Bardzo dobrze oceniam tą część pracy Doktorantki, jedynie zastanawiam się w jaki sposób Doktorantka doszła do wniosku, że z przebadanych, i istniejących 979 artykułów w bazie Scopus dotyczących pirolizy, żadne z nich nie dotyczy wykorzystania zjawiska pirolizy w hutnictwie. Czy przeczytała je wszystkie czy posłużyła się tylko jakimś narzędziem do analizy danych literaturowych. Jednakże odpowiedź na to pytanie nie jest kluczowa do oceny tego fragmentu pracy.

Ocena merytoryczna

Recenzowana rozprawa doktorska podejmuje ważną tematykę badawczą związaną z zagospodarowaniem gazów pirolitycznych powstałych podczas utylizacji odpadów i ich wykorzystanie w ciągu technologicznym jednej z hut stali. Tematyka rozprawy związana jest z przejściem do gospodarki o obiegu zamkniętym, co jest niezmiernie istotne dla środowiska ale też musi mieć ekonomiczne uzasadnienie. Doktorantka, opracowała zakres prac związanych ze zbadaniem przedstawionej koncepcji, dzieląc zakres na badania wstępne, badania zasadnicze, symulacje komputerowe i analizę ekonomiczną. Zarówno dla badań wstępnych i zasadniczych przewidziała zarówno badania eksperymentalne jak i symulacje numeryczne, które pozwalają na cenne uzupełnienie informacji uzyskanych w badaniach. Jako przedmiot swoich badań wstępnych wybrała różne materiały:

maseczki ochronne, odpady gumowe z opon, pellet MDF i RDF, których utylizacja jest obecnie kłopotliwa a ze względu na wzrastające ich zużycie problem potęguje się jeszcze bardziej. Dodatkowo wykorzystana zrębki sosnowe i olchowe, które w mojej ocenie mogą być takim materiałem porównawczym na tym etapie analizy. Zaproponowane szerokie badania wstępne, pozwoliły na uzyskanie parametrów pozwalających na porównanie i wstępną ocenę możliwości wykorzystania powstałych gazów w proponowanym ciągu technologicznym, który ma swoje parametryczne ograniczenia. Następnie, biorąc pod uwagę ograniczenia technologiczne a także fakt, że odpady RDF są bardzo problematyczne dla środowiska, skupiła się na analizie zagospodarowania tylko tych odpadów, dodatkowo argumentując, że zajęcie się ich problemem będzie to ekonomicznie racjonalne. Jest to racjonalne podejście do analiz. Dla wytypowanych kilku rodzajów próbek o zmiennych parametrach procesu pirolizy otrzymała gaz, kondensat i karbonizat, który poddała analizom i ocenie. Doktorantka przedstawiła także koncepcję zastosowania w ciągu technologicznym jednej z hut stali, dzięki czemu mogła przyjąć konkretne parametry technologiczne i przeprowadzić uproszczoną analizę ekonomiczną.

Elementy koncepcji, badania eksperymentalne, symulacje, przeprowadzone analizy, Doktorantka opublikowała w 9 artykułach naukowych w tym w prestiżowym czasopiśmie *Energy* czy *Fuel*, a w pięciu z nich była pierwszym autorem. Świadczy to o znaczącym wkładzie naukowym Doktorantki w wymienione artykuły. Jednakże lektura niniejszej rozprawy doktorskiej nasunęła kilka pytań, na które warto by odpowiedzieć:

- W pracy nie zawarto w sposób jawny tezy pracy, proszę o jej sformułowanie i wskazanie w sposób jawny jak została ona udowodniona.
- Doktorantka w czasie analizy szczegółowej wybrała odpady RDF, czy istnieją w literaturze dane pokazujące zmianę składu takich materiałów w zależności od regionu produkcji w skali kraju / świata. Jak fakt miejsca pochodzenia próbek RDF, może się przełożyć na uzyskane wyniki analiz. Jak może wyglądać zmiana udziału substancji lotnych oraz składu popiołów.
- Ponieważ w pracy podnoszony jest pozytywny efekt takiego zagospodarowania odpadów, proszę o odniesienie się do problemu pozostałości popirolitycznych, jaki jest proponowany sposób ich zagospodarowania, aby można było zakwalifikować tą metodę do gospodarki o obiegu zamkniętym.
- W opisie analizy FTIR, Doktorantka pisze, że zidentyfikowano związki chlorowcopochodne, proszę o rozwinięcie jakie były to związki i w jaki sposób mogą być zneutralizowane.
- W podsumowaniu Doktorantka stwierdza, na bazie symulacji komputerowych, że współspalanie gazu pirolitycznego z gazem ziemnym nie wpłynie na zwiększenie emisji tlenu azotu. Czy Doktoranta może podać porównanie liczbowe tych emisji?

- Czy w analizach ekonomicznych brano pod uwagę, potencjalne koszty transportu odpadów RDF do miejsca ich utylizacji, czy jest to może element pomijalny w analizie ekonomicznej?
- W rozprawie zaproponowano wykorzystanie współspalania gazu pirolitycznego z gazem ziemnym w piecu hutniczym typu przepychowego, pojawia się pytanie czy istnieje możliwość większego uogólnienia zastosowania otrzymanego gazu pirolitycznego w przemyśle hutniczym?

Reasumując, doceniam poziom merytoryczny przeprowadzonych prac i ich kompleksowość, polegającą na zaproponowaniu metody, przeprowadzeniu odpowiednich badań numerycznych i eksperymentalnych a także zakończenie ich propozycją zastosowania przemysłowego.

Ocena edycyjnej strony rozprawy doktorskiej

Ocena edycyjnej strony rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Skrzyniarz sprowadza się do spojrzenia na swoisty skrót materiałów znajdujących się w artykułach będących podstawą ubiegania się o stopień naukowy doktora. Artykuły naukowe będące podstawą rozprawy doktorskiej, są edytowane zgodnie z wymaganiami poszczególnych wydawnictw, dlatego odniosę się tylko do przedstawionego skrótu. Ogólnie ujmując, praca jest napisana dobrym językiem, w sposób przejrzysty i klarowny. Przedstawione rysunki, schematy i tabele są czytelne z wyraźnym oznaczeniem ich pochodzenia (opracowanie własne, bądź zapożyczenie z literatury). Jeden wyjątek dotyczy rys. 1 gdzie ewidentnie schemat jest bardzo słabo wykonany i należało go poprawić. Pozostałe, bardzo drobne pomyłki są w zasadzie nie istotne i nie wpływają na bardzo dobrą ocenę tej strony rozprawy doktorskiej.

Ocena i wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Skrzyniarz oparta jest na zamkniętym cyklu publikacji naukowych, dotyczących możliwości zagospodarowania uciążliwych dla środowiska naturalnego produktów termicznego przetwarzania odpadów. Doktorantka zaproponowała metodykę badawczą z podziałem na badania wstępne obejmujące szerszy zakres materiałów odpadowych a w analizie szczegółowej zajęła się jednym wybranym materiałem, który mógł być zastosowany w konkretnym rozwiązaniu przemysłowym. Przeprowadzone prace są poparte analizą literaturową, która wykazała braki w literaturze i Doktorantka postanowiła ten brak wypełnić swoimi badaniami, co moim zdaniem się udało. Pewnym mankamentem pracy jest fakt, że Doktorantka postawiła cel pracy, natomiast nie sformułowała w sposób jawny tezy, którą by mogła dowieść przedstawiając analizy zawarte w poszczególnych publikacjach stanowiących zamknięty cykl. Pomimo tego mankamentu uważam, że recenzowana rozprawa doktorska zawiera elementy nowości oraz przedstawia wyniki oryginalnych badań eksperymentalnych i numerycznych, czego wymiernym dowodem są wartościowe publikacje w prestiżowych czasopismach naukowych.

Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Skrzyniarz, spełnia wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024. poz.1571) i jednocześnie wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Kudvaćki Jan". The signature is written in a cursive style with a long, sweeping tail on the final letter.