

Prof. dr hab. inż. M. Jacek Łączny,
Główny Instytut Górnictwa
Zakład Oceny Jakości Paliw Stałych

Katowice 30.08.2021

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr inż.. Piotra Kuneckiego.pt.:

„Badania procesów usuwania rtęci ze spalin z wykorzystaniem glinokrzemianowych sorbentów otrzymanych z popiołów lotnych”

Promotor: dr hab. inż. Magdalena Wdowin, prof. IGSMiE

Promotor pomocniczy: dr inż. Emil Hanc

Podstawa wykonania recenzji i jej zakres

Niniejsza recenzja została opracowana w związku z Uchwałą nr 8/II/2021 Rady Naukowej IGSMiE PAN w Krakowie z dnia 25.06.2021 r zleconej następnie pismem Dyrektora Instytutu syg. AO-520-15/21 z dnia 2021.06.30.

Szczegółowa ocena rozprawy ma odpowiedzieć na pytanie i uzasadnić czy i w jakim stopniu recenzowana rozprawa odpowiada warunkom określonym w art. 187 Ustawy z dnia 20.07.2018r. (Dz. U. 2018 poz. 1668 Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce)

Mając na uwadze powyższe oceniono więc czy rozprawa doktorska swoją zawartością prezentuje właściwą ogólną i szczegółową wiedzę kandydata w dyscyplinie naukowej **inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.**

W ramach niniejszej recenzji oceniono ponadto umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej Doktoranta, jaki wybrano przedmiot badań, i w stosunku do niego jak sformułowano i uzasadniono problem badawczy wykorzystując do tego celu, między innymi, wiedzę zaczerpniętą ze źródeł literaturowych, doświadczenia własnego i wiedzy oraz nadzoru naukowego promotora i promotora pomocniczego.

W tym kontekście recenzent uważa, że ważne jest jak sformułowano tezy badawcze cele. Oceniono również czy przedmiotem rozprawy doktorskiej, wskazanej przez przyjęte hipotezy lub cele, jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozważono także czy proponowane rozwiązanie jest także innowacyjne w zakresie praktycznego zastosowania wyników własnych badań naukowych w gospodarce.

Próba odpowiedzi na wyżej postawione pytania wiąże się z koniecznością dokonania analizy zawartości recenzowanej dysertacji, którą przedstawiono w dalszej części recenzji

Zasadność podjętej problematyki

Doktorant opisał i uzasadnił potrzebę podjęcia tematyki badawczej we Wstępie (który nie jest numerowany) rozprawy. Uważa, że zagadnienie zanieczyszczenie środowiska rtęcią i jej związkami jest poważnym problemem i cyt. że w *ostatnich latach zanieczyszczenie środowiska rtęcią stało się jednym z kluczowych zagadnień w dziedzinie ochrony środowiska*. Odwołuje się przy tym do zdarzenia jakie miało miejsce w Japonii w Zatoce Minamata w latach 1953-1968, w której doszło do silnego skażenia wód rtęcią. Podaje jeden przykład literatury (Hachiya 2006) odnotowując równocześnie, że podobne zdarzenia miały miejsce również w Iraku, Pakistanie i Gwatemali tym razem nie cytując źródła. Koncentruje się na zagadnieniu emisji rtęci w Polsce przytaczając dane KOBiZE za lata 2015 – 2017, a jeszcze bardziej aktualne z IOŚ PIB z których wynika, że 2018r emisja rtęci wynosiła 8,74 Mg z czego z sektora energetycznego 6,96. Problem jest więc poważny mimo, że perspektywicznie należy brać pod uwagę fakt malejącego udziału węgla w gospodarce. Dodam, że także inne ośrodki naukowe zajmowały się problemem emisji rtęci do środowiska z procesów spalania węgla. (przykładowo: GIG, Polit. Wrocławska i inne) i w literaturze przedmiotu można znaleźć wiele publikacji na ten temat. Szkoda, że doktorant ich nie przywołuje.

Z problemem emisji rtęci z procesów spalania węgla ściśle wiąże konieczność ograniczenia jej zawartości w spalinach. Doktorant uznał, że może wykorzystać do tego celu zeolity, do otrzymywania których od szeregu lat próbuje się wykorzystywać popioły lotne. Tematyka nie jest nowa. Recenzujący stoi jednak na stanowisku, że każda próba kolejnego, innowacyjnego rozwiązania zasługuje na uwagę. Doktorant uzasadnia fakt podjęcia badań nad wykorzystaniem popiołów lotnych do tego celu ich charakterystycznymi cechami fizykochemicznymi. Istnieją bowiem techniczne możliwości fizyko-chemicznego przetwarzania fazy szklistej w aktywne zeolity. Literatura przedmiotu w tym obszarze badawczym jest bardzo obszerna i z pewnością doktorant mógł przytoczyć wiele innych źródeł literaturowych, (w tym liczne krajowe) oraz poddać je krytycznej analizie. Ten aspekt pracy badawczej jakim jest wykorzystanie popiołów lotnych będących surowcem o dużym potencjale możliwości zagospodarowania jest ważny i uzasadnia celowość podjęcia tej tematyki. Również zaznaczenie, że tematyka pracy wpisuje się w postulat *Gospodarki o Zamkniętym Obiegu* jest trafne.

W podsumowaniu tej części recenzji stwierdzam, że podjęty do rozwiązania problem związany z opracowaniem sorbentów na bazie popiołów lotnych umożliwiających ograniczenie emisji rtęci ze spalin emitowanych z kotłów energetycznych mieści się w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Ocena poprawności i zasadności wykorzystanej literatury

W zamieszczonym spisie literatury liczącym 203 pozycje tylko 53 dotyczy literatury za lata 2014 do 2021 (z listy JCR) i 6 pozycji z ok. lat 2014. Zaznaczam, że tylko niewielka część z nich dotyczy wykorzystania popiołów lotnych do otrzymywania zeolitów i skuteczności ich działania (6 pozycji). Recenzentowi wiadomo, że oprócz bogatej literatury światowej jest wiele publikacji związanych z tym zagadnieniem opublikowanych w Polsce przez takie ośrodki naukowe jak: AGH, IETU-Katowice, GIG, Pol. Śl., , IPIŚ- PAN Zabrze. Praca powinna zawierać krytyczną analizę tego istniejącego już dorobku.

W ocenie recenzenta w przyszłości literatura powinna zostać zdecydowanie uzupełniona.

Ocena przyjętych hipotez badawczych i celów

Cele pracy Doktorant formułuje następująco:

- 1. Analiza wykorzystania popiołów lotnych jako substratów w syntezie zmodyfikowanych sorbentów o strukturze zeolitu, efektywnych pod kątem usuwania rtęci ze spalin*
- 2. Opracowanie nowej receptury dwustopniowej syntezy zeolitów z popiołów lotnych oraz ich modyfikacji w celu zwiększenia zdolności sorpcyjnych względem Hg^0*
- 3. Określenie efektywności wychwytywania Hg^0 z obojętnego strumienia gazu poprzez wytworzone sorbenty z wykorzystaniem zbudowanej do tego celu prototypowej instalacji*
- 4. Określenie efektywności wychwytywania gazowych form rtęci poprzez wybrane sorbenty na podstawie testów w środowisku*

Postawił także następujące hipotezy:

- 1) Popioły lotne klasy F i C mogą być substratem w syntezie zeolitów X i A o odpowiednim poziomie czystości i krystaliczności, posiadającym wysoki potencjał aplikacyjny w przemyśle i ochronie środowiska jako substytut komercyjnie dostępnych odpowiedników.

- 2) Efektywność usuwania Hg^0 ze strumienia gazu nośnego przez otrzymane sorbenty zeolitowe zależy od:
- Klasy popiołu lotnego (F lub C) zastosowanego jako materiał wyjściowy,
 - Struktury otrzymanego zeolitu (X lub A),
 - Rodzaju i ilości odczynnika aktywującego strukturę zeolitową.
- 3) Zmodyfikowane sorbenty, osiągające wysoką efektywność usuwania rtęci elementarnej w neutralnym strumieniu gazu, posiadają niższą efektywność w środowisku spalin.

Zarówno cele jak i hipotezy są w części poprawne i spełniają w jakimś stopniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Nie jest zrozumiałe dla recenzenta dlaczego cele poprzedzają hipotezy(?) Zwykle celem jest udowodnienie hipotezy. Ten problem pozostawiam do dyskusji promotora z doktorantem w dalszym etapie współpracy przy próbie opublikowania.

Zupełnie niezrozumiała jest natomiast hipoteza 3). Skąd na początku prowadzenia badań wiadomo, że będzie taka a nie inna skuteczność działania sorbentów?

Zawartość dysertacji jej układ i krytyczna ocena

Praca składa się ze 176 numerowanych stron. Spis treści (4 strony) nie jest wliczony w numerowane strony (dlaczego?). Dodatkowo zawiera spis używanych symboli (str. 1 – 2) oraz streszczenie pracy (str. 2 – 4). Spis rysunków to strony od 167 do 169 zawierający 58 pozycji zaś spis tabel liczący 30 pozycji zamieszczono na stronach od 170 do 171. Ponadto zawiera spis i skany wyników testów usuwania rtęci elementarnej (str. 171 – 176). Spis wszystkich cytowanych źródeł obejmuje 203 pozycje. Praca została podzielona na dwie części: *Część teoretyczną* i *Część praktyczną*.

Zakres prac i badań opisany na stronie 11 do 13 (w spisie treści bez numeracji). Rozwlekły tekst utrudnia jego zrozumienie. W dużej części jest powtórzeniem spisu treści. Recenzent spodziewał się, że ten rozdział zostanie poprzedzony uzasadnieniem przyjętego zakresu prac.

Doktorant wyszczególnia - jak to określa - pięć zasadniczych, dominujących etapów pracy (dlaczego „dominujących”? są jakieś inne, mniej ważne?).

Pierwszym etapem było przeprowadzenie szeregu (ilu?) dwustopniowych syntez materiałów zeolitowych wraz z ich aktywacją solami srebra i żelaza w celu zwiększenia ich zdolności sorpcyjnej. Wybrał do tego celu dwa popioły lotne: jeden z węgla kamiennego drugi z węgla

brunatnego. Zgodnie z amerykańską normą ASTM C 618-89 zaklasyfikował je jako F i C. Drugim *kluczowym* etapem prac było zbudowanie prototypowego układu pomiarowego par rtęci. Trzecim etapem było przeprowadzenie testów z wykorzystaniem zaprojektowanego prototypowego aparatu. W czwartym etapie prac przeprowadzono badanie efektywności usuwania par rtęci, a w piątym przedstawiono analizę wyników.

Praca została podzielona na dwie zasadnicze części: teoretyczną i eksperymentalną. Obie te części zostały poprzedzone wspomnianym wcześniej spisem użytych symboli, streszczeniem pracy oraz wstępem. W następującej kolejności przedstawiono : cele pracy, zakres prac i badań oraz hipotezy badawcze. Taka kolejność nie jest, (zdaniem recenzenta), właściwa i praktycznie niespotykana w dobrej praktyce prezentowania rozpraw doktorskich.

Część Teoretyczna (str. 15 do 67), składa się z rozdziałów jak i podrozdziałów. Wyszczególniono sześć rozdziałów głównych szereg podrozdziałów, a te z kolei podzielono na kolejne podrozdziały. Jest to podział zbyt szczegółowy i bez szkody dla tekstu i strony merytorycznej można je skomasować. Nie ma rozdziału przedstawiającego analizę literaturową dotyczącą tematu dysertacji.

Podobnie w *Części Eksperymentalnej* (str. 70 do 89) rozdziały główne zostały podzielone na podrozdziały i bardziej szczegółowe omówienie treści zasadniczej rozdziałów. W tej części omówiono kolejno: metodykę przeprowadzonych syntez zeolitów (syntezy zeolitu X typu FAU) zeolitu A typu LTA oraz jakościową i ilościową skład chemiczny z wykorzystaniem rentgenowskiej spektroskopii fluorescencyjnej, analizy strukturalnej z wykorzystaniem dyfraktometrii rentgenowskiej, skaningowej mikroskopii elektronowej oraz stężenia całkowitej zawartości rtęci w sorbentach.

W rozdziale 7.6 Przedstawiono i omówiono badania wychwytywania rtęci elementarnej ze strumienia obojętnego gazu nośnego w instalacji doświadczalnej ze strumienia gazu obojętnego oraz ze strumienia gazu symulującego spaliny z kotłów energetycznych.

Wyniki badań przedstawiono w rozdziale 8 (str. 91 do 131) omawiając kolejno: charakterystykę popiołów lotnych użytych do syntez (analizy chemiczne i fazowe), uzyskanych zeolitów (również analizy chemiczne i fazowe), zmodyfikowanych zeolitów.

Wyniki badań wychwytywania Hg^0 przedstawiono w rozdziale 8.3 omawiając kolejno rezultaty badań usuwania rtęci z gazu obojętnego oraz gazu nośnego wzbogaconego w spaliny. Moim zdaniem zupełnie niepotrzebnie wydzielono podrozdział 8.5.1 podobnie jak wcześniej podrozdział 8.4.1. W Rozdziale 9 zawarto podsumowanie i wnioski.

W rozdziale 1. *Rtęć i jej własności* omówiono: podstawową charakterystykę fizykochemiczną (podrozdz.1.1), zagadnienie toksyczności (1.2) i problem emisji rtęci (1.3). Szeroko i bardzo

szczegółowo Doktorant omówił właściwości rtęci jako związku chemicznego. Brak podsumowania nie pozwala ocenić na ile te informacje wskazują na związek przyczynowo skutkowy pomiędzy przyjętym: celem badań, sposobem ich przeprowadzenia i otrzymanymi rezultatami. Na przykład tab. 3 jest w ogóle niepotrzebna. Jest przykładem podręcznikowego zestawienia własność rtęci bez komentarza lub przynajmniej zaznaczenia, które z tych właściwości są istotne dla przeprowadzonych badań. Za najbardziej spójne z przedmiotem dysertacji jest na przykład ostatni akapit tego rozdziału (str. 18) , który gdyby był rozszerzony o problem zawartość rtęci w węglu i konsekwentnie w spalinach ułatwiłby zrozumienie przyjętego celu pracy, zastosowanej metodyki badawczej, wybrania zeolitów jako z założenia najbardziej przydatnego do usuwania związków rtęci ze spalin w tym szczególnie rtęci metalicznej. Wystarczyło połączyć ten fragment z treścią podrozdziału 1.3 by uzyskać spójne uzasadnienie celowości podjęcia badań w tym kierunku. Rozdział 1.2 traktujący o toksyczności rtęci po odpowiednim przeredagowaniu i skróceniu mógłby być, bez szkody dla pracy, włączony do rozdziału traktującego o emisji rtęci. Tabl. 6 jest zbędna.

W rozdziale 2. Doktorant omówił regulacje prawne odnoszące się do aspektów prawnych związanych z emisją i występowaniem rtęci w środowisku życia człowieka.

Rozdział 3. *Energetyka konwencjonalna jako jeden z głównych emitatorów rtęci –ogólna charakterystyka rtęci* jest kolejnym ważnym rozdziałem. Doktorant omówił w nim problem zawartości rtęci w węglu kamiennym i brunatnym (str. 25-27). Wskazał przy tym jak ilościowo różni się emisja rtęci w zależności od rodzaju węgla wykorzystywanego dla celów energetycznych.

W Rozdziale 4 *Specjacje i formy rtęci występujące w sektorze energetycznym* Doktorant omówił, na podstawie literatury, jakie postacie rtęci uwalniają się z węgla po procesach spalania. Tytuł tego rozdziału nie jest poprawie - moim zdaniem - sformułowany. Sugerowałbym zmianę na „powstające w procesach spalania węgla” tym bardziej, że wstęp tego rozdziału i kolejne podrozdziały 4.2, i 4.21 koncentrują się na tym zagadnieniu.

Rozdział 5 *Przegląd najnowszych rozwiązań w zakresie wytwarzania sorbentów zdolnych do usuwania Hg^0 ze strumienia spalin* został, tak jak poprzednie podzielony na podrozdziały. W podrozdziale 5.1 (str. 31 – 35) omówiono zastosowanie jako sorbentów: węgle aktywne, w kolejnym 5.2 biokarbonizaty (str. – 35 – 39), następnym 5.3 (39 – 4 – 41) struktury metalo - organiczne i w 5.4 „inne przykłady sorbentów” (str. 41 – 43). Byłoby korzystne dla pracy gdyby równie starannie i obszernie omówiono i przeanalizowano dotychczasowy dorobek wykorzystania popiołów lotnych jako surowca do otrzymywania zeolitów.

Część teoretyczną kończy rozdział 6 *Zastosowanie surowców odpadowych z sektora energetycznego jako sorbentów w syntezie potencjalnych sorbentów do wychwytywania gazowych form rtęci w strumieniu gazu nośnego*. Jak poprzednie został on podzielony na szereg podrozdziałów z trudnych do zrozumienia powodów. Tytuł tego rozdziału jest rozwlekły i niespójny. Podrozdziały 6.1, 6.2, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4 poświęcone są omówieniu problemowi wytwarzania, zagospodarowania i składowania popiołów lotnych. Podrozdział 6.3 *Zeolity – ogólna charakterystyka* obszernie omawia rodzaje i struktury zeolitów. Omawia także wybrane właściwości zeolitów oraz możliwości ich zastosowań. (podrozdział 6.3.3). Obszernie i zbyt szczegółowo omówiono charakterystykę krystalograficzną syntezowanych struktur zeolitowych niezbyt ważnych dla istoty ocenianej rozprawy (np. rys. 1-4 wraz podrozdziałami; Tabl.14 Wartości promieni jonowych...). W żadnym z tych podrozdziałów nie ma podsumowania, które wskazywałoby na jego ścisły związek z założonym celem pracy. doktorskiej. Tego związku można dopiero doszukać się w omówieniu części eksperymentalnej.

Podsumowując tę część rozprawy doktorskiej stwierdzam, że można ocenić ją pozytywnie. Recenzent przyjął, iż miała stanowić uzasadnienie przyjętego naukowego i aplikacyjnego celu pracy.

W części eksperymentalnej (Rozdział 7) Doktorant przedstawił i opisał sposób przeprowadzania syntez zeolitów wykorzystując do tego celu uprzednio wybrane popioły lotne: z węgla kamiennego i z węgla brunatnego. Nie podaje kryteriów, które wskazywałyby czym taki wybór był uzasadniony. Różnią się one między innymi zawartością wolnego tlenu wapnia, który ma istotny wpływ na wydajność syntezy zeolitów. Konwersję popiołów lotnych do zeolitów przeprowadził w środowisku wodorotlenku sodowego. Píše, że w toku badań nad otrzymaniem zeolitu typu FAU wykonał szereg operacji (syntez), które pozwoliły na optymalizację procesu. Nie podaje na czym ta optymalizacji polegała. Może na kilkukrotnym powtarzaniu operacji?

Do otrzymania zeolitu typu LTA wykorzystał analogiczną metodę. Zaznacza, że wprowadził kilka modyfikacji. Również jak w poprzednim wypadku nie podaje na czym te modyfikacje miały polegać. Zgodnie z założonym celem pracy do aktywacji w celu zwiększenia pojemności sorpcyjnej otrzymanych zeolitów wykorzystał azotan srebra oraz azotan żelaza. Posłużył się zmodyfikowaną dwustopniową metodą syntezy znaną z literatury. Substancje aktywujące, tj. kationy: Ag^+ i Fe^{2+} zostały również wybrane w oparciu o literaturę.

Uproszczony schemat zastosowanego procesu został przedstawiony na rys. 10.

Otrzymane w wyniku syntezy zeolity zostały następnie przebadane przy wykorzystaniu metod instrumentalnych takich jak: rentgenowskie spektroskopii fluorescencyjnej, dyfraktometrii rentgenowskiej i skaningowego mikroskopu elektronowego. Badania potwierdziły fakt otrzymania zeolitów, które następnie doktorant wykorzystał do przeprowadzenia właściwych badań polegających sprawdzeniu zdolności otrzymanych sorbentów do sorpcji Hg^0 .

Doktorant przeprowadził dwa rodzaje eksperymentów. Jeden w środowisku gazu obojętnego – argonu, drugi w symulowanych warunkach spalin kotłowych.

W tym celu wykorzystał specjalnie skonstruowaną do tego aparaturę badawczą pozwalającą na stworzenie kontrolowanych warunków dozowania rtęci do gazu i warunków przepływu gazu. Zastosowanie gazu obojętnego miało na celu uniknięcie przemian rtęci metalicznej w inne jej formy. Efektywność usuwania rtęci obliczono na podstawie średniej arytmetycznej z wszystkich cykli pomiarowych.

Badania zdolności sorpcyjnej otrzymanych zeolitów do pochłaniania rtęci metalicznej ze strumienia gazu wzbogaconego w spaliny przeprowadzono na instalacji znajdującej się na Wydziale Energetyki i Paliw AGH. Pozwala ona na kontrolowany przepływ spalin (o żądanym składzie) w sposób zbliżony do rzeczywistych warunków oraz zadany stężeniu rtęci metalicznej.

Oba cykle badań zostały przeprowadzane właściwie i z wymaganą starannością co pozwoliło na ocenę skuteczności działania sorbentów i w ostateczności sformułowania wniosków końcowych. Opracował też specjalną preparatykę przygotowania próbek do analiz.

Wyniki z przeprowadzonych badań Doktorant przedstawił w rozdziale 8 pracy. (str. 91). Ujął w nim charakterystykę popiołów lotnych wykorzystanych do przeprowadzenia syntezy zeolitów. Przedstawił wyniki zarówno analiz chemicznych jak i instrumentalnych dla obydwu klas popiołów lotnych, tj. F i C. Wyniki potwierdziły ogólnie znany fakt zróżnicowania popiołów pochodzących z węgla kamiennego i brunatnego głównie jeśli chodzi o zawartość fazy szklistej. Stąd wyciągnął wniosek, również potwierdzony w literaturze przedmiotu, że głównie faza szklista odpowiada za powstawanie frakcji zeolitycznej w procesie syntezy.

W kolejnych podrozdziałach 8.2 i 8.3 zamieścił charakterystykę wyjściowych i zmodyfikowanych faz zeolitycznych.

Na podstawie analiz chemicznych i instrumentalnych stwierdził między innymi, że zmodyfikowane zeolity typu X i A, w zależności od zastosowanych kombinacji kondycjonowania nieznacznie się różniły. Doktorant wyciągnął stąd kilka wniosków, które wskazują, że zmiany te spowodowane są nie tylko różną podatnością na czynniki aktywujące ale i składy wyjściowe. Uzyskane ostatecznie rezultaty ujął syntetycznie w Tab. 22.

W rozdziale 8.4 Doktorant przedstawił wyniki testów usuwania rtęci ze strumienia gazu obojętnego (8.4.1). Materiał badawczy został bogato udokumentowany. Sposób oznaczania próbek jest bardzo rozbudowany a załączona dokumentacja w postaci wykresów ułatwia interpretację.

Badania wykazały, a zarazem potwierdziły, że próbki zeolitów uzyskane z popiołów z węgla kamiennego wykazują lepsze zdolności sorpcyjne względem Hg^0 niż z popiołów z węgla brunatnego. Ciekawy jest również wynik badań wskazujący, że także popiół lotny wykazuje zdolności sorpcyjne względem rtęci, jednak niższe niż aktywowanych zeolitów. Byłoby z korzyścią dla pracy wyjaśnienie tego zjawiska.

W rozdziale 8.5, a właściwie 8.5.1 przedstawiono wyniki badań usuwania rtęci z gazu symulującego spaliny kotłowe. Zbiorcze wyniki badań przedstawiono w Tab. 30. Rozdział ten nie kończy się podsumowaniem (dlaczego?). W opinii recenzenta jest on najważniejszy bowiem dotyczy działania sorbentów w symulowanych warunkach mających oddać skuteczność działania sorbentów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Doktorant ogranicza się tylko do stwierdzania faktów bez próby (choćby częściowej) interpretacji zaistniałych różnic.

Recenzent ma również zastrzeżenia co do układu pracy, poprawności stosowanej nomenklatury naukowej i językowej. Recenzent miał niejednokrotnie duże trudności we właściwym zrozumieniu intencji Doktoranta. Zbyt duża ilość uwag nie pozwala na ich umieszczenie w recenzji. Na przykład chyba tylko brak doświadczenia Kandydata lub uwagi promotorów spowodował, że kolejność celów, zakresu i hipotez została umiejscowiona w dysertacji w mało logiczny sposób i w niewłaściwej kolejności. Recenzent może nie mieć racji. Jednak w dobrej praktyce naukowej, po określeniu problemu badawczego, głównie jego unikalności i oryginalności (co wynika z przeprowadzonych wnikliwie studiów literaturowych) określa się tezę ewentualnie uzupełnioną o hipotezy badawcze a następnie przez dobór odpowiedniego warsztatu badawczego i wykonanych eksperymentów tezę tę się udowadnia. Jeśli praca ma w przeważającej części charakter aplikacyjny wystarczy podać cel lub cele pracy i dowieść ich osiągnięcia. W recenzowanej dysertacji (pomijam wcześniej wskazaną kolejność) zarówno tezy jak i cele są zdefiniowane ale forma ich zapisu pozostawia wiele do życzenia.

Podział dysertacji na część teoretyczną i eksperymentalną uważam za właściwy. Trudno jest natomiast zaakceptować niepotrzebne rozdrobnienie rozdziałów często spójnych merytorycznie, które można ująć w jednym podrozdziale.

Uwagi krytyczne

Wiele uwag zawartych zostało w powyższej treści recenzji.

Podsumowując je proszę u udzielenie odpowiedzi na, moim zdaniem, zasadnicze pytania:

- Dlaczego w uzasadnieniu wyboru problemu badawczego nie uwzględniono dorobku (literatury przedmiotu) uzyskanego w ramach prac w zakresie emisji rtęci do środowiska wykonanych przez szereg polskich uczelni i instytutów badawczych? Dotyczy to również polskich badań nad pozyskiwaniem zeolitów z popiołów lotnych.
- Dlaczego nie poruszono zagadnienia utylizacji zużytych sorbentów skoro będą zawierały rtęć, w kontekście postulatu Gospodarki o Zamkniętym Obiegu?

Podsumowanie i wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z dostarczoną rozprawą doktorską stwierdzam, że Kandydat spełnił w dostateczny stopniu wymagania stawiane w prawie i zwyczajowo przyjęte w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora. Uważam, że podjęty temat rozprawy mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Właściwie wybrał przedmiot badań, i w stosunku do niego odpowiednio sformułował i uzasadnił problem badawczy. Wykorzystał w stopniu wystarczającym do tego celu, między innymi, wiedzę zaczerpniętą ze źródeł literaturowych, doświadczenia własnego i wiedzy oraz nadzoru naukowego promotora i promotora pomocniczego.

Sformułowane hipotezy oraz cele są wystarczające dla zrozumienia podjętego zakresy i wysiłku badawczego i mogą być uznane za próbę rozwiązania oryginalnego problemu naukowego. Proponowane rozwiązanie polegające na syntezie zeolitów z dwóch różnych klas popiołów lotnych oraz ich modyfikacji solami srebra i żelaza w celu polepszenia zdolności sorpcyjnej względem metalicznej rtęci zawartej w spalinach pochodzących ze spalania węgla można uznać za innowacyjne w zakresie praktycznego zastosowania wyników własnych badań naukowych w gospodarce. Doktorant nie wskazał jednak w jaki sposób można ten cel osiągnąć oraz co zrobić z wykorzystanym sorbentem.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymagające oceny aspekty dysertacji stwierdzam, że:

- Kandydat wykazał się wystarczającą ogólną i szczegółową teoretyczną wiedzą w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka;
- Wykazał również, że w dostatecznym stopniu posiada umiejętności planowania i przeprowadzania eksperymentów badawczych;
- opanował w wystarczającym stopniu umiejętność korzystania i wykorzystania źródeł literaturowych;
- waga problemu i jego aktualność w pełni uzasadniają podjęcie tematu, jako problemu badawczego i utylitarnego;
- dostarczona praca stanowiła wystarczającą dokumentację dla dokonania jej oceny merytorycznej i edycyjnej i ;zawiera większość elementów, z których zgodnie z ogólnie przyjętymi wymaganiami powinna składać się rozprawa doktorska;
- przedstawione wyniki badań i pomiarów są w miarę kompletne ale nie zawierają próby rozszerzonej ich interpretacji na przykład mechanizmu sorpcji. Taka próba niewątpliwie wzbogaciłaby wartość rozprawy. Niezależnie od tego w tym szczególnym przypadku próby zastosowania zeolitów otrzymanych z popiołów lotnych potwierdzają osiągnięcie zamierzonego celu rozprawy doktorskiej;
- strona edycyjna rozprawy pozostawia wiele do życzenia. Zdaniem recenzenta powinna być gruntownie przeredagowana z aktywnym udziałem promotora i promotora pomocniczego;

Podsumowując recenzję uważam, że praca doktorska mgr inż. Piotra Kuneckiego pt.: **„Badanie procesów usuwania rtęci ze spalin z wykorzystaniem glinokrzemianowych sorbentów otrzymanych z popiołów lotnych”** mieści się w dyscyplinie naukowej inżynierii środowiska, górnictwo i energetyka. Stwierdzam także, iż w dostatecznym stopniu spełnia wymagania jakie ustawowo stawia się rozprawom doktorskim, zgodnie z art. 187 Ustawy z dnia 20.07.2018r. (Dz. U. 2018 poz. 1668 Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz przedkładam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.