

Prof. dr hab. inż. Jolanta Biegańska
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Wydział Energetyki i Paliw
Katedra Energetyki Wodorowej
e-mail: biega@agh.edu.pl

Kraków, 06.02.2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Pawła Lejwody**

pt.: „*Model procesu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem związków ceru pochodzących z odpadów przemysłowych*”

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Barbara Białecka, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Maciej Thomas.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Pismo Pana Jarosława Zagórowskiego, Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Katowicach, w imieniu Rady Naukowej GIG z dnia 16 stycznia 2026 roku, dotyczące wykonania recenzji wspomnianej rozprawy.

2. Celowość podjęcia tematu

Podjęcie tematu „*Model procesu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem związków ceru pochodzących z odpadów przemysłowych*” jest ważne i celowe ze względu na ujawnianie się różnorodności, toksyczności i wieloaspektowości zanieczyszczenia wód (szczególnie przemysłowych) oraz użycie do tych zabiegów surowców krytycznych dla gospodarki Unii Europejskiej (ceru i fosforu) wygenerowanych z odpadów.

Doktorant zauważa konieczność wdrażania technologii, które pozwolą uniezależnić się od importu ww. surowców co jest realne w przypadku zamknięcia obiegu ceru i fosforu poprzez ich odzysk. Taką możliwość dostrzega przy wykorzystaniu ścieków browarniczych (usuwanie fosforu), osadów ściekowych (recykling ceru) oraz ścieków z symulacji procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego (utlenianie zanieczyszczeń).

Luka badawcza zagadnień związanych zarówno z odzyskiem jak i wykorzystaniem związków ceru poddana kompleksowej ocenie procesowej, środowiskowej i ekonomicznej stały się przesłanką do podjęcia badań w tym zakresie.

Doktorant sformułował problem badawczy i naświetlił cel rozprawy.

Głównym celem było:

- opracowanie metodyki odzysku soli ceru z odpadów i osadów ściekowych,
- zastosowanie ww. soli do usuwania fosforanów(V) oraz utleniania zanieczyszczeń ścieków przemysłowych pochodzących z różnych źródeł.

Wytyczne cele badawcze wpisują się w koncepcję zielonej chemii, zrównoważonego rozwoju i są zgodne z aktualną polityką UE w zakresie gospodarki cyrkularnej.

Zakres pracy obejmował:

- charakterystykę i opracowanie metodyki odzysku soli ceru(III) z proszku polerskiego,
- obniżenie stężenia fosforanów(V) w ściekach browarniczych,
- charakterystykę i opracowanie metodyki odzysku soli ceru z osadu ściekowego wraz z oczyszczeniem,
- obniżenie stężenia zanieczyszczeń (WWA, fenole, cyjanki) w ściekach z symulacji procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego przez zastosowanie soli ceru(IV) jako utleniacza,
- wykorzystanie metody powierzchni odpowiedzi do:
 - modelowania i optymalizacji procesu usuwania fosforanów(V) ze ścieków browarniczych z jednoczesną minimalizacją pozostałości koagulantu po procesie oczyszczania,
 - ustalenia optymalnych warunków ekstrakcji ceru oraz fosforu z osadów ściekowych,
 - modelowania i optymalizacji procesu utleniania zanieczyszczeń przy zastosowaniu soli ceru(IV),
- ocenę aspektów ekologicznych i ekonomicznych zaproponowanych procesów.

Cele użytkowe pracy dotyczące opracowania metodyki odzysku i zastosowania soli ceru jako innowacyjnych reagentów do oczyszczania rzeczywistych ścieków przemysłowych pochodzących z różnych źródeł obejmowały określenie optymalnych warunków procesowych:

- usuwania fosforanów(V) z zastosowaniem koagulantu cerowego,
- ekstrakcji ceru z osadu ściekowego z zastosowaniem kwasu chlorowodorowego,
- utleniania zanieczyszczeń z symulacji procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego oraz

weryfikację aspektów ekologicznych i ekonomicznych opracowanych rozwiązań.

Doktorant sformułował dwie tezy rozprawy:

1. „Istnieje możliwość odzysku związków ceru z odpadów i ich zastosowania do oczyszczania wybranych ścieków przemysłowych oraz ponownego odzysku z wytworzonych osadów ściekowych”.
2. „Istnieje możliwość ekonomicznego i ekologicznego odzysku oraz wykorzystania związków ceru do oczyszczania ścieków przemysłowych”.

Zakres rozprawy przedstawiono w sposób przejrzysty i wyczerpujący

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi cykl czterech publikacji (prace eksperymentalne) o łącznej liczbie 130 stron. Zawiera również 64-stronicowy opis, będący przewodnikiem do opublikowanych wyników badań wraz z wykazem dorobku (8 tzw. innych publikacji, udział w konferencji).

W części opisowej zamieszczono 10 rysunków i 13 tabel, natomiast publikacje zawierają w sumie 24 rysunki i 43 tabele. W bibliografii zawierającej w sumie 358 pozycji (294 cytowane w publikacjach i 64 przytoczone w części opisowej), w większości, są to publikacje obcojęzyczne z ostatnich lat. Doktorant wykorzystał również 13 pozycji literaturowych własnych jako współautor (7 to podstawa rozprawy i 6 przywołane w części opisowej).

Tylko w jednej publikacji Doktorant jest na drugim miejscu jako współautor a w 12 figuruje jako pierwszy. W przypadku dwóch publikacji udział procentowy doktoranta jako autora wynosi 80% a w dwóch pozostałych jest na poziomie 70% i 60%.

Nadmienić należy, że łączny IF publikowanych materiałów to 30,8 a suma uzyskanych punktów czasopism, według MNIŚW, wynosi 720 (w tym 1 praca o 200 pkt. i 2 za 140 pkt.). Z wykazu innych publikacji Doktorant uzyskał w sumie IF 23,346 oraz 740 pkt.

Całkowity dorobek Doktoranta to IF na poziomie 54,146 i 1 460 pkt. czasopism co sprawia, że jest wyjątkowy na tym etapie kariery naukowej.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Metodyka pracy

Doktorant, w oparciu o dane literaturowe, przeprowadził ocenę stosowanych metod chemicznego usuwania związków fosforu ze ścieków przy zastosowaniu soli żelaza i glinu, wskazując na ich niską efektywność i wytwarzanie osadów jako niekorzystne zjawisko. Przeanalizował mechanizm działania związków ceru, w tym zakresie, oceniając możliwość odzysku i ponownego wykorzystania. W podobnym ujęciu scharakteryzował wybrane odpady. W kolejnym etapie Doktorant zidentyfikował problemy badawcze obejmujące następujące działania:

- dobór odpowiednich warunków koagulacji,
- określenie parametrów procesu ekstrakcji soli ceru z osadów,
- możliwość zastosowania soli ceru(IV) do utleniania toksycznych zanieczyszczeń,
- ocena wpływu procesów na środowisko,
- ocena ekonomiczna cyrkularnego stosowania soli ceru w procesie oczyszczania ścieków.

Dla tak wytypowanych zadań Doktorant określił plan badań przyjmując następujące główne etapy:

1. Testy laboratoryjne obejmujące odzysk soli ceru(III) z odpadowego proszku polerskiego oraz przygotowanie koagulantu cerowego.
2. Optymalizacja procesu usuwania fosforanów(V) ze ścieków browarniczych przy zastosowaniu:
 - planu centralnego kompozycyjnego (CCD – Central Composite Design),
 - metody powierzchni odpowiedzi (RSM – Response Surface Methodology).
3. Odzysk soli ceru i fosforu z osadów powstających po koagulacji.
4. Opracowanie procesu ekstrakcji, wykorzystując CCD i RSM, z zastosowaniem kwasu chlorowodorowego.
5. Odzysk soli ceru o wysokiej czystości z ekstraktów i zastosowanie m.in. jako koagulanty lub środek do utleniania toksycznych zanieczyszczeń w ściekach.
6. Ekspertyzy weryfikacyjne wyznaczonych modeli matematycznych.
7. Opracowanie modeli procesu oczyszczania z przeskalowaniem rezultatów laboratoryjnych na skalę przemysłową.
8. Ocena ekologiczna ww. modeli z zastosowaniem metody Oceny Cyklu Życia (LCA – Life Cycle Assessment).
9. Ocena ekonomiczna ww. modeli z wykorzystaniem metody Dynamicznego Miernika Efektywności Kosztowej (DGC – Dynamic Generation Cost).
10. Krytyczna analiza uzyskanych wyników.

Na podstawie przeprowadzonej analizy otrzymanych wyników badań Doktorant sformułował wnioski, założenia do doskonalenia i wytyczne do dalszych prac.

Zastosowano nowoczesne instrumentalne metody analityczne oraz narzędzia optymalizacyjne do prowadzonych badań pozwalających uwiarygodnić otrzymane wyniki. Wszystkie analizy i oznaczenia wykonywano w oparciu o obowiązujące normy.

Postawione tezy zostały pozytywnie uargumentowane (w przypadku 1 w całości a 2 częściowo) i postawione cele osiągnięte.

Biorąc pod uwagę: dobór tematu, problem badawczy, cele rozprawy i postawione tezy jak również zastosowane metody i uzyskane wyniki, wyrażam przekonanie, że:

- rozpatrywany problem stanowi zagadnienie naukowe w dyscyplinie „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka” – innowacyjna metoda oczyszczania ścieków (model procesu) z wykorzystaniem związków ceru odzyskanych z odpadów przemysłowych,
- cel rozprawy oraz cele użyteczne zostały rozwiązane poprawnie,
- poprawnie dobrano i zastosowano metody badawcze – metoda poddana kompleksowej ocenie procesowej, środowiskowej i ekonomicznej, nie była dotychczas opisana w literaturze.
- poprawna jest interpretacja uzyskanych wyników – podkreślenia wymaga ogrom pracy włożony przez Doktoranta i rzetelna interpretacja otrzymywanych wyników.

Uwzględniając powyższe jestem przekonana, że rozprawa zasługuje na wyróżnienie.

Zagadnienia naukowe rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta

Doktorant dokonał przeglądu literatury w zakresie dotychczasowych rozwiązań w analizowanej tematyce, co pozwoliło na wyciągnięcie konstruktywnych wniosków oraz przeprowadzenie prac eksperymentalnych.

Zaproponował nowy proces odzysku i wykorzystania związków ceru poddając go kompleksowej ocenie procesowej, środowiskowej i ekonomicznej; dotychczas nie przeprowadzono takiej oceny i nie opracowano takiego procesu.

Prace eksperymentalne, których wyniki zamieszczono w publikacjach to najważniejsza część rozprawy a udział w nich Doktoranta na poziomie 60÷80% dowodzi bardzo dużej samodzielności i dojrzałości badawczej. Opracował koncepcję prac eksperymentalnych, dokonał wyboru metodologii, przygotował materiał badawczy oraz przeprowadził badania. Jego udział przedkłada się też na analizę wyników badań, sformułowanie wniosków końcowych, przygotowanie a także późniejszą korektę i opracowanie wersji końcowej manuskryptów. Posiada duże umiejętności prowadzenia prac naukowych.

Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta

W rozprawie wykazano się przeglądem literatury obejmującym w sumie 358 pozycji – publikacje w większości zagraniczne z ostatnich lat. Dotyczą stricte tematyki prowadzonych prac badawczych.

W zamieszczonych artykułach przytacza wyniki badań, wykazując ich praktyczne znaczenie. Wyciąga rzeczowe wnioski i dostrzega możliwości aplikacyjne zaawansowanych procesów strącania, koagulacji i odzysku związków ceru z odpadów, co było zamiarem podejmowanych badań i realizacji doktoratu.

Podejście Doktoranta do przedmiotu badań, zastosowanie metod analiz, nakreślenie perspektywicznych badań dowodzą znajomości zagadnień, eksperymentalnych umiejętności Doktoranta, rzetelnego przygotowania i dużej dojrzałości naukowej.

5. Uwagi dyskusyjne i wątpliwości

Po przeczytaniu ocenianej rozprawy doktorskiej nasuwają mi się pytania.

We wnioskach odnoszących się do odzysku surowców i recyklingu reagentów sugeruje Pan możliwość wykorzystania otrzymanych związków jako surowców w różnych gałęziach przemysłu. Moje pytanie brzmi.

1. Czy takie zastosowania znajdują już praktyczne potwierdzenia (czy są wzmianki literaturowe na ten temat)?

Kolejne pytanie dotyczy wniosków w temacie ograniczeń i kierunków rozwoju. Wymienia Pan główne ograniczenie technologiczne – konieczność zastosowania reagentów o istotnym wpływie na środowisko oraz toksyczność rakotwórczą u ludzi.

Moje pytanie brzmi.

2. Czy podejmowano próbę oceny kosztów wprowadzania związków ceru i fosforu (według Pana opracowania) na ich zastosowanie? Może rekompensowałyby skutki środowiskowe (oczywiście nie zrekompensują zdrowia ludzi).

6. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

W opisie, będącym przewodnikiem do opublikowanych wyników zabrakło wykazu ilościowego przeprowadzonych syntez, analiz i innych ocen; z kilku zapisów wynika, że wykonano 65 eksperymentów. W przypadku ww. badań była to na pewno bardzo duża liczba doświadczeń i powtórzeń, która świadczy o rzetelnym podejściu do pracy naukowej oraz pokazuje pracowitość Doktoranta.

Rozprawa została starannie zredagowana przez Doktoranta. Drobne błędy typu redakcyjnego dotyczą tzw. literówek i są nieistotne – nie mają wpływu na końcową ocenę.

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podjęcie tematu badawczego i założenia rozprawy doktorskiej uważam za celowe, prawidłowo uzasadnione. Doktorant wykazuje bardzo dobrą wiedzę na ten temat. Opracował schemat postępowania w opisaney metodzie badawczej i potwierdził jej przydatność.

Dowiódł umiejętności samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz prowadzenia badań dla ich rozwiązania wraz z analizą i prezentowaniem wyników.

Opracował innowacyjną metodę – słabo rozeznaną i opisaną w literaturze procesu odzysku i wykorzystania związków ceru. Z kolei metoda, poddana kompleksowej ocenie procesowej, środowiskowej i ekonomicznej, nie była dotychczas opisana.

W moim przekonaniu, przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Lejewody pt.: „*Model procesu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem związków ceru pochodzących z odpadów przemysłowych*”, przygotowana pod opieką promotora – prof. dr hab. inż. Barbary Bialeckiej i promotora pomocniczego dr hab. inż. Macieja Thomasa, spełnia wszystkie warunki i wymagania w rozumieniu Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.)

Wnioskuje o przyjęcie rozprawy przez Radę Naukową Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Katowicach i dopuszczenie jej Autora do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

Stawiam również wniosek do Wysokiej Rady o wyróżnienie rozprawy.

