

prof. dr hab. inż. Tomasz Czakiert  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Infrastruktury i Środowiska  
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych  
ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa  
tel.: 608 089 178, e-mail: tczakiert@is.pcz.pl

Częstochowa, 02.02.2026 r.

**Szanowna Pani**  
**Prof. dr hab. inż. Izabela Michalak**  
**Przewodnicząca Rady Dyscypliny Naukowej**  
**Inżynieria Chemiczna**  
Politechnika Wrocławska  
ul. C.K. Norwida 4/6  
50-373 Wrocław

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała ŁYSOWSKIEGO**

**1. Wprowadzenie**

Niniejsza recenzja została opracowana w odpowiedzi na pismo Nr RDND05/138/2024-2028 z dnia 08 grudnia 2025 roku, w związku z uchwałą Nr 209/16/RDND05/2024-2028 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 03 grudnia 2025 roku.

Podstawę prawną sporządzonej opinii stanowi ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.), w szczególności zapisy zawarte w art. 187.

**2. Zakres rozprawy**

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Łysowskiego nosi tytuł „Związki o strukturze typu perowskitu i spinelu zawierające w składzie żelazo i miedź do zastosowań w procesach CLC i CLOU”. Praca została zrealizowana na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej, pod kierunkiem promotora dr hab. Eweliny Ksepko, prof. PWr. Badania eksperymentalne finansowane były w ramach projektu Narodowego

Centrum Nauki „Zrozumienie zjawiska degradacji stałych nośników tlenu podczas cyklicznych reakcji redoks poprzez realizację badań eksperymentalnych i opracowanie strategii jego eliminacji” (2020/37/B/ST5/01259).

Od strony formalnej, zgodnie z art. 187 ust. 3 ustawy o której mowa powyżej w punkcie 1 niniejszej recenzji, rozprawę stanowi zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. W praktyce, opiniowane opracowanie przyjmuje strukturę klasycznej dysertacji z naturalnie wkomponowanym przedmiotowym zbiorem trzech publikacji naukowych.

Tym samym, właściwa praca liczy ogółem 103 strony, uzupełnione o wykaz całościowego dorobku naukowego Doktoranta. Zebrany materiał rozdzielono pomiędzy siedem głównych rozdziałów, wliczając obszerny wstęp oraz zwięzłe podsumowanie z wnioskami końcowymi. Każdy z bazowych artykułów składających się na rozprawę doktorską ujęto w oddzielnym rozdziale i poprzedzono własnym niezależnym streszczeniem. Poza treściami merytorycznymi opracowanie zawiera również spis literatury w ilości 149 pozycji (w tym 2 pozycje których Doktorant jest współautorem) oraz ogólne streszczenia w języku polskim i angielskim.

Jak nadmieniono powyżej, trzon ocenianej rozprawy doktorskiej tworzy monotematyczny cykl publikacji naukowych, w skład którego wchodzi:

1. **Łysowski R.**, Ksepko E., *Cu<sub>x</sub>Mg<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-type spinels as potential oxygen carriers for waste wooden biomass combustion* – artykuł opublikowany w roku **2024** w czasopiśmie **Waste Management** (175), znajdującym się na liście JCR, 2024JIF = 7.1, 200 pkt według aktualnego wykazu ministerialnego;
2. **Łysowski R.**, Ksepko E., Ra H., *Increased stability of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> oxygen carriers in biomass combustion by Mg doping* – artykuł opublikowany w roku **2025** w czasopiśmie **Waste Management** (199), znajdującym się na liście JCR, 2024JIF = 7.1, 200 pkt według aktualnego wykazu ministerialnego;
3. **Łysowski R.**, Ksepko E., *Ti doping as an effective strategy for increasing the stability of strontium-copper-iron perovskite-based oxygen carriers* – artykuł opublikowany w roku **2025** w czasopiśmie **Journal of Environmental Management** (393), znajdującym się na liście JCR, 2024JIF = 8.4, 200 pkt według aktualnego wykazu ministerialnego;

wraz z dopełniającymi te prace Supplementami.

Należy zauważyć, że we wszystkich nadmienionych pozycjach Doktorant jest pierwszym autorem, każdorazowo publikuje we współautorstwie z Promotorką swojej pracy doktorskiej, a w jednym przypadku reprezentuje wąski zespół autorski o międzynarodowym charakterze. Wszystkie pozycje ukazały się drukiem w dwóch ostatnich latach, jako podsumowanie wieloletnich badań nad stałymi materiałami o strukturze spinelu i perowskitu, do praktycznego wykorzystania jako nośniki tlenu w procesie spalania opartym

na tak zwanej chemicznej pętli tlenkowej. Wybór czasopism wydaje się tutaj również nie być przypadkowym. Każdorazowo są to zagraniczne tytuły posiadające ugruntowaną pozycję i cieszące się uznaną renomą, znajdujące się w bazie Journal Citation Reports, o bardzo wysokich wartościach wskaźnika Impact Factor i najwyższej punktacji według listy ministerialnej. Jednocześnie należy podkreślić znaczący udział Doktoranta w procesie przygotowania tych manuskryptów. Zgodnie z upublicznionym „CRediT authorship contribution statement”, Jego wkład w ich powstanie obejmował bowiem następujące pola i aktywności: synthesis of the samples, investigations, data acquisition, data curation, data visualization, data presentation, a także writing – original draft oraz writing – review and editing. Szczegółowo rozpisany podział zadań umożliwia także wyodrębnienie samodzielnych elementów tychże prac stanowiących o indywidualnym wkładzie merytorycznym Kandydata.

W tym miejscu prosi się również by nawiązać do reszty dorobku naukowego Doktoranta, który obejmuje między innymi: trzy publikacje w czasopiśmie *Catalysts* (2024JIF – 4,0; lista MNiSW '24 – 100 pkt), jedną publikację w czasopiśmie *Processes* (2024JIF – 2,8; lista MNiSW '24 – 70 pkt) oraz jedną publikację w czasopiśmie *Greenhouse Gases: Science and Technology* (2024JIF – 2,8; lista MNiSW '24 – 70 pkt), wszystkie osadzone w szeroko rozumianej tematyce prowadzonej działalności naukowej.

Choć na tym etapie awansu naukowego nie jest to wymagane, warto tu jednak przywołać wartości spersonalizowanych wskaźników naukometrycznych Kandydata, które według bazy Web of Science Core Collection i na dzień sporządzenia niniejszej recenzji, wynoszą odpowiednio:

- sumaryczny współczynnik wpływu IF (zgodnie z rokiem publikacji): 41,6
- sumaryczna liczba punktów ministerialnych: 1070
- liczba cytowań: 37 (bez autocytowań 25)
- indeks Hirsch: 4

Wyniki swoich badań Kandydat poddawał także publicznej ocenie i otwartej dyskusji podczas licznych wystąpień i prezentacji na konferencjach i sympozjach naukowych zarówno w kraju jak i zagranicą, czego efektem pozostaje kolejnych kilkadziesiąt artykułów opublikowanych w materiałach pokonferencyjnych.

Ponadto, sięgając po zewnętrzne środki z programów ERASMUS+ oraz NAWA odbył cztery staże naukowe i jeden staż szkoleniowy, w ramach których prowadził badania naukowe w znanych i cenionych ośrodkach akademickich, między innymi w Chinach, Szwajcarii, Austrii i na Słowacji.

Wszystko to robi wyjątkowo dobre wrażenie oraz świadczy o dużej aktywności naukowej Doktoranta, czego wyrazem uznania są między innymi dotychczas otrzymane nagrody i wyróżnienia.

Wracając do części merytorycznej rozprawy, Rozdział 1 (zatytułowany „Wstęp”) wraz ze wszystkimi swoimi podrozdziałami jest w rzeczy samej pełnowartościowym przeglądem literatury przedmiotu. Zwrócono tu uwagę na pilący problem – konieczność radykalnego ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> towarzyszącej energetycznemu przetwarzaniu energii chemicznej paliw, dla rozwiązania którego wskazuje się w tym przypadku – zaawansowane technologicznie spalanie w chemicznej pętli tlenkowej. Jego realizacja w rzeczywistych jednostkach wymaga jednak dostępności tanich, reaktywnych i odpornych mechanicznie tak zwanych stałych nośników tlenu, przystosowanych do długotrwałej pracy w zmiennych warunkach redukcyjnych i utleniających, bez utraty swoich pierwotnych chemicznych właściwości. Nie bez znaczenia pozostają tu również kwestie ich pojemności transportowej O<sub>2</sub>, ewentualnej funkcjonalności CLOU oraz szeroko rozumianego bezpieczeństwa środowiskowego. Wszystko to pokazuje poziom wyzwania z którym Doktorant postanowił zmierzyć się w swojej pracy. Jednocześnie, dokonany przegląd dostępnego piśmiennictwa pozwolił na wyznaczenie wciąż słabo rozpoznanego naukowo obszaru badawczego. Stąd też, w swoich dalszych działaniach Doktorant skupił się na syntetycznych nośnikach tlenu o strukturze spinelu i perowskitu, których opracowanie, spreparowanie i wstępne przetestowanie stało się ostatecznie przedmiotem omawianej tu rozprawy doktorskiej.

Zamieszczone w Rozdziale 2, obrany cel pracy oraz postawione hipotezy badawcze niewątpliwie korespondują z tytułem rozprawy doktorskiej, jak również wynikają z przeprowadzonego rozeznania literaturowego. Jednocześnie, zakres zaplanowanych eksperymentów wydaje się wystarczający do osiągnięcia założonego celu i przetestowania postawionych hipotez. W moim odczuciu, cel pracy mógłby zostać jednak ściślej doprecyzowany, hipotezy badawcze lekko przeredagowane, a zakres eksperymentów przedstawiony w bardziej usystematyzowanej formie.

Część doświadczalną pracy ujęto w Rozdziale 3 i kolejnych Rozdziałach 4-6. Metodyka badawcza (Rozdział 3) została poprawnie opisana na 13 stronach manuskryptu. Uwagę zwraca tu przede wszystkim zastosowanie zaawansowanej aparatury i technik pomiarowych, w przypadku których interpretacja uzyskanych wyników wymaga zarówno wiedzy teoretycznej jak i praktycznego doświadczenia.

Rozdziały 4-6, czyli de facto przedmiotowy zbiór monotematycznych artykułów, opublikowanych w topowych czasopismach naukowych, świadczy sam za siebie i w mojej ocenie nie wymaga dodatkowego komentarza. Należy jednak podkreślić, że upowszechnione w tej formie wyniki przeprowadzonych eksperymentów stanowią odpowiedź na pierwotnie postawione hipotezy badawcze, prowadząc tym samym do realizacji głównego celu pracy doktorskiej.

Dysertację zamyka Rozdział 7, zawierający krótkie podsumowanie oraz wnioski końcowe weryfikujące przywołane powyżej hipotezy badawcze.

### 3. Ocena rozprawy

Powzięta przez Doktoranta tematyka badawcza, o której mowa powyżej, jest ważna i aktualna, co niewątpliwie czyni ją wartą naukowego rozpoznania. Opiniowaną pracę doktorską jako całość oceniam jak najbardziej pozytywnie. Niemniej jednak, na etapie jej lektury nasuwały się pewne pytania, uwagi i komentarze, które w kolejności chronologicznej zostały spisane poniżej.

1. *Rozdział 1:* W przedstawionym kontekście, „spalanie w kotłach fluidalnych” samo w sobie ciężko uznać za „alternatywną metodę pozyskiwania energii”.
2. *Rys. 1:* Powinno być raczej „ $\text{MeO}_{x-1}$ ” (jest „ $\text{MeO}_{x-y}$ ”).
3. *Tabela 3:* Powinno być „na bazie niklu i glinu” (jest „na bazie żelaza i niklu”).
4. *Podrozdział 1.3:* Informacje zawarte w pierwszym akapicie tego podrozdziału wymagają uporządkowania.
5. *Str. 22:* Powinno być raczej „ $\tau > 1$ ” i „ $\tau < 0,71$ ” (jest „ $\tau >$ ” i „ $\tau = > 0,71$ ”).
6. *Rozdział 2:* W „celu pracy” osobiście doprecyzowałbym o jakie paliwa chodzi, mam tu na myśli ich stan skupienia (stałe, gazowe czy ciekłe).

Uważam też, że w pierwszej kolejności powinno się postawić hipotezy badawcze, a dopiero na ich podstawie zdefiniować cel bądź cele pracy, a nie odwrotnie. Poza tym, hipoteza powinna mieć formę twierdzącą, a nie pytającą; przyjęta forma zapisu odpowiada raczej pytaniu problemowemu.

7. *Str. 26 i 28:* Na stronie 26 Autor pisze „Nie udało się uzyskać w tej pracy perowskitów zawierających miedź w ilości większej niż  $x=0,2$  ...”, podczas gdy dwie strony dalej czytamy: „... nie udało się otrzymać jednofazowych perowskitów zawierających miedź w ilości większej niż 0,1”.
8. *Str. 27:* W nawiązaniu do stwierdzenia dotyczącego „łatwości przeskalowania do skali przemysłowej” wykorzystanej metody syntezy stałych nośników tlenu – proszę Doktoranta o zabranie stanowiska w sprawie potencjalnych możliwości produkcji opracowanych nośników tlenu na potrzeby kilku-megawatowej instalacji demonstracyjnej realizującej założenia technologii CLC.
9. *Str. 27:* Opis procedury należałoby uzupełnić o czas homogenizacji oraz atmosferę suszenia.
10. *Str. 28:* Powinno być „ $\text{Sr}(\text{Cu}_{0,2}\text{Fe}_{0,7}\text{Ti}_{0,1})\text{O}_{3-\delta}$ ” oraz „ $\text{Sr}(\text{Fe}_{0,8}\text{Ti}_{0,2})\text{O}_{3-\delta}$ ” (jest „ $\text{Sr}(\text{Cu}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{Ti}_{0,1})\text{O}_{3-\delta}$ ” oraz „ $\text{Sr}(\text{Fe}_{0,9}\text{Ti}_{0,2})\text{O}_{3-\delta}$ ”). Ponadto, w symbolu chemicznym tytanu Autor często pomija „i”.
11. *Str. 32:* Opis eksperymentu należałoby uzupełnić o typ i pojemność zastosowanego tygla oraz masę analizowanej próbki.

12. *Str. 37*: Nie do końca zrozumiałą jest fragment „W konsekwencji stosunek paliwa do stałego nośnika tlenu w przybliżeniu wynosił 1:6 (z uwzględnieniem korekcy na zawartość suchej pozostałości w paliwie). Dla potrzeby obliczeń stechiometrycznych przyjęto, że skład chemiczny suchej pozostałości ma postać HC ...”.

Czy chodzi tu o stosunek masowy obu substratów; co dokładnie oznacza „korekcja na zawartość suchej pozostałości w paliwie”; co rozumie się tutaj poprzez „suchą pozostałość” – której „skład chemiczny ma postać HC”? W końcu, przy jakim stosunku stechiometrycznym (nadmiarze tlenu) prowadzono testy spalania? W tym opisie należałoby też wspomnieć o atmosferze w której prowadzony był proces spalania – Proszę Doktoranta o krótką uzupełniającą informację w tym zakresie.

13. *Str. 38*: W opisie równania 11 brakuje objaśnienia dla parametru „ $t_c$ ”.

14. *Str. 40*: Powinno być „Już niewielki ( $x=0,125$ ) dodatek magnezu” (jest „miedzi”).

15. *Uwaga ogólna*: W tekście manuskryptu napotkać można na pewne drobne potknięcia językowe, pojedyncze literówki oraz pominięte spacje.

Pragnę jednak zaznaczyć, że zamieszczone powyżej uwagi i komentarze w żadnej mierze nie umniejszają wartości merytorycznej ocenianej rozprawy doktorskiej.

Za kluczowe osiągnięcie Doktoranta w przedstawionej dysertacji naukowej uważam opracowanie, zsyntezowanie i wstępne przetestowanie nowatorskich stałych nośników tlenu o strukturze spinelu i perowskitu, do energetycznego wykorzystania w procesie spalania paliw w chemicznej pętli tlenkowej.

#### 4. Wniosek końcowy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego, jakim jest wytworzenie względnie tanich, chemicznie reaktywnych i mechanicznie wytrzymałych stałych nośników tlenu, z perspektywą ich zastosowania w wielkoskalowych reaktorach fluidalnych realizujących spalanie w chemicznej pętli tlenkowej. Doktorant wykazuje przy tym ogólną wiedzę teoretyczną w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria chemiczna* oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W mojej opinii, przedstawiona rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane przez obowiązujące ustawodawstwo. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do kolejnych etapów postępowania doktorskiego na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej.