

[strona 1 z 8; wszystkie strony paraflowane w prawym dolnym rogu]

Dr hab. inż. Szymon Szufa, profesor nadzwyczajny  
Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa Pracy  
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska  
Politechnika Łódzka

Łódź, 01.12.2025 r.

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Hamzy Mumtaza

Tytuł: „Experimental analysis of the waste hydrothermal treatment process”

[Analiza eksperymentalna procesu hydrotermalnego przetwarzania odpadów].

Recenzja została sporządzona na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej z dnia 25.09.2025 r.

### 1. Charakterystyka i struktura pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Hamzy Mumtaza pt. „Experimental analysis of the waste hydrothermal treatment process” została wykonana na Wydziale Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki w Gliwicach.

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Sebastian Werle, a promotorem pomocniczym dr inż. Szymon Sobek. Rozprawa ma formę serii publikacji. Zbiór prac wchodzących w skład pracy doktorskiej mgr inż. Hamzy Mumtaza obejmuje 7 publikacji powiązanych tematycznie, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i zawiera artykuły opublikowane w czasopismach z części A wykazu czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Co ważne, we wszystkich 7 publikacjach doktorant mgr inż. Hamza Mumtaz jest zarówno pierwszym autorem, jak i autorem korespondencyjnym.

Rozprawa w formie serii publikacji składa się z 8 głównych rozdziałów i bibliografii. Liczy 102 strony plus wykaz źródeł, wykaz tabel i rysunków oraz 7 oryginalnych publikacji, na podstawie których została napisana.

[strona 2 z 8]

Recenzowana rozprawa doktorska rozpoczyna się rozdziałem zatytułowanym „Wprowadzenie”, który stanowi uzasadnienie podjęcia pracy doktorskiej. Zawiera on wiele cennych spostrzeżeń na temat odpadów z tworzyw sztucznych i metod ich przetwarzania, w tym metody oksydacyjnego upłynniania polimerów. Rozdział drugi zawiera opis materiałów i metod wykorzystanych do analizy procesu upłynniania oksydacyjnego, metod badawczych oraz metod analizy właściwości produktów i produktów ubocznych otrzymywanych w wyniku tego procesu. W rozdziale trzecim doktorant przeanalizował proces waloryzacji poprzez oksydacyjne upłynnianie odpadów polimerowych i kompozytowych z łopat turbin wiatrowych, a także zawarł analizę właściwości fizycznych i chemicznych produktów tego procesu. W rozdziale czwartym przedstawiono rozszerzenie analizy procesu oksydacyjnego upłynniania odpadów polimerowych, koncentrując się na metodach poprawy uzyskiwania większej liczby produktów końcowych powstających w procesie oksydacyjnego upłynniania elementów łopat turbin wiatrowych, poprawie kinetyki tego procesu oraz precyzyjnej charakterystyce produktów ubocznych, które można poddać recyklingowi.

Celem przedstawionej pracy doktorskiej w formie serii publikacji była szczegółowa analiza procesu oksydacyjnego upłynniania polimerów jako metody selektywnej degradacji odpadów polimerowych, kompozytów z łopat turbin wiatrowych, środków ochrony osobistej stosowanych w sektorze medycznym, zużytych paneli fotowoltaicznych i odpadów komunalnych. Główne wyniki projektu doktorskiego wykazały, że w przypadku każdego strumienia odpadów należy podkreślić wszechstronność i elastyczność procesu HTL. Doktorant udowodnił zdolność oksydacyjnego upłynniania do odzyskiwania czystych, nadających się do ponownego wykorzystania włókien, ale również zidentyfikował główne potencjalne problemy, które mogą wystąpić podczas skalowania procesu HTL do skali przemysłowej.

Doktorant przyjął następującą główną tezę badawczą do ocenianej pracy doktorskiej: upłynnianie oksydacyjne jest odpowiednią metodą selektywnego rozkładu odpadów polimerowych, ułatwiającą produkcję ciekłych związków chemicznych i cennych materiałów wtórnych.

W piątym rozdziale doktorant w bardzo przystępny i przejrzysty sposób przedstawił opis badań porównawczych i termochemicznej waloryzacji odpadów polimerowych, kompozytów z łopat turbin wiatrowych w porównaniu ze środkami ochrony indywidualnej stosowanymi w sektorze medycznym, wykorzystując analizę termogravimetryczną do określenia optymalnych warunków procesu oksydacyjnego upłynniania polimerów:

temperaturę procesu, ciśnienie, czas przebywania, stosunek odpadów do fazy ciekłej, stężenie związków utleniających w celu uzyskania najwyższej wydajności energetycznej całego procesu.

[strona 3 z 8]

Polska, problemy związane z selektywną zbiórką odpadów komunalnych, ich rodzajem, składem i metodami przetwarzania odpadów komunalnych, w tym analiza warunków waloryzacji tych odpadów przy użyciu metody upłynniania oksydacyjnego.

W rozdziale siódmym doktorant przeanalizował procesy upłynniania oksydacyjnego dla odpadów komunalnych i środków ochrony indywidualnej. Na podstawie opisanych w tym rozdziale prac eksperymentalnych doszedł on do wniosku, że upłynnianie oksydacyjne stanowi realną metodę waloryzacji odpadów polimerowych w celu zwiększenia zarówno wydajności, jak i zrównoważonego rozwoju.

Ostatni, ósmy rozdział stanowi bardzo zwarte podsumowanie i wnioski. Podsumowanie wskazuje najważniejsze obszary, w których doktorant prowadzi badania. Na ich podstawie sformułował on następujące wnioski:

1. **Upłynnianie oksydacyjne jako wszechstronna technologia recyklingu:** proces HTL umożliwia rozkład polimerów, odzyskiwanie użytecznych zasobów i wytwarzanie cennych związków wtórnych, co czyni go godną uwagi opcją dla waloryzacji odpadów;
2. **Wydajność degradacji poszczególnych materiałów:** na skuteczność HTL znaczący wpływ ma skład odpadów. Wyniki podkreślają konieczność dostosowania warunków reakcji do konkretnych rodzajów odpadów;
3. **Recykling kompozytów wzmacnianych włóknami:** upłynnianie oksydacyjne umożliwia skuteczne odzyskiwanie wysokiej jakości włókien szklanych z odpadów kompozytowych poprzez selektywną degradację matrycy polimerycznej przy zachowaniu integralności włókien;
4. **Wpływ parametrów reakcji na wydajność produktu:** dzięki optymalizacji eksperymentalnej ustalono, że temperatura, stężenie utleniacza i stosunek odpadów do cieczy są kluczowymi parametrami mającymi znaczący wpływ na degradację polimerów i tworzenie się związków tlenowych (OCC) podczas procesu HTL;
5. **Zachowanie termiczne dynamiki energii procesu:** analiza odwrotna ogrzewania procesu wykazała, że proces HTL wykazuje częściową egzotermiczność, głównie z powodu rozkładu nadtlenu, przy czym degradacja polimerów dostarcza dodatkowego ciepła oprócz energii dostarczanej z zewnątrz;

[strona 4 z 8]

6. **Porównawcza analiza strumienia odpadów;**
7. **Wydajność TSR/TPD i OCC jako wskaźniki wydajności;**
8. **Skalowalność i kwestie wykonalności przemysłowej:** HTL w problemach na większą skalę przemysłową: zapotrzebowanie na energię; zmienność odpadów; oraz zarządzanie pozostałościami nieorganicznymi;
9. **Implikacje dla środowiska i gospodarki o obiegu zamkniętym;**
10. **Kierunki przyszłych badań:** wykorzystanie katalizatorów w przyszłych procesach HTL.

Na końcu rozprawy doktorant zamieścił wszystkie 7 publikacji w oryginalnej formie. Jest oczywiste, że na tym etapie pracy doktorant odpowiednio przeanalizował treści dostępne w literaturze, a podjęty przez niego temat stanowi kontynuację i rozszerzenie badań opisanych w analizowanych źródłach.

## 2. Zakres prac, celowość podjęcia tematu

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Hamzy Mumtaza pt. „Experimental analysis of the waste hydrothermal treatment process” dotyczy bardzo ważnej kwestii inżynierii środowiska – minimalizacji zużycia energii w procesach przetwarzania odpadów, intensyfikacji procesu termicznej i chemicznej waloryzacji odpadów z tworzyw sztucznych.

Doktorant dokonał bardzo interesującego wyboru tematu swojej pracy, ponieważ proces HTL jest bardzo ważną kwestią z wielu powodów. Krajowy sektor energetyczny oraz sektor odzyskiwania i regeneracji odpadów są kluczowymi filarami gospodarki, które w dobie wysokich cen energii są jeszcze ważniejsze ze względu na bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Zastosowanie HTL jest bardzo szerokie: jest to nowe rozwiązanie, jednak zgodne z powszechnie stosowanymi praktykami i próbami przemysłowymi stosowanymi w przemyśle w celu odzyskiwania produktów ubocznych i wytwarzania energii z odpadów.

Rozprawa doktorska mgr inż. Hamzy Mumtaza doskonale wpisuje się w trend minimalizacji zużycia energii do waloryzacji odpadów i zawiera wiele nowych elementów, nieanalizowanych dotychczas w znanych pracach z tej dziedziny. Można zatem uznać, że jest to praca, której temat i zakres zostały trafnie dobrane, ponieważ dotyczy ważnego problemu inżynierii i ochrony środowiska, jakim jest zarządzanie energią w procesach produkcyjnych.

[strona 5 z 8]

**W świetle wyników badań przedstawionych przez doktoranta oraz wniosków sformułowanych na końcu można stwierdzić, że główny cel przyjęty w pracy doktorskiej został osiągnięty, a przyjęta teza badawcza została udowodniona. Biorąc pod uwagę aktualny stan wiedzy w dziedzinie badań, uważam to za oryginalne osiągnięcia naukowe doktoranta.**

### **3. Uwagi krytyczne**

#### **Wartość naukowa i praktyczna rozprawy**

**Przedstawiona praca doktorska charakteryzuje się dobrą strukturą logiczną, doktorant zachował prawidłową kolejność rozdziałów i proporcje między nimi, co pozwala na łatwe śledzenie metodologii badań i szybką interpretację wyników pracy.**

Oceniając kompleksowo rozprawę doktorską, należy poinformować Pana mgr inż. Hamzę Mumtaza, że:

1. Temat pracy doktorskiej został prawidłowo zdefiniowany, a jego wybór został wyczerpująco uzasadniony.
2. Dobór literatury jest trafny i zgodny z zakresem i tematyką pracy.
3. Rozprawa ma dobrą, prawidłową strukturę, prawidłową kolejność rozdziałów, kompletność celów, tez i uzasadnionych wniosków.
4. Doktorant prawidłowo opracował i opisał metodologię badań.
5. Rozprawa doktorska jest nowatorska, technologiczna i wielowątkowa. Przedstawione badania pozwoliły na kreatywne rozwinięcie zagadnień technologicznych i uzyskanie praktycznych wyników umożliwiających wykorzystanie uzyskanych rezultatów.
6. Praca zdecydowanie stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

[strona 6 z 8]

7. Wysoka wartość aplikacyjna analizowanej rozprawy pozwala na wdrożenie praktycznych rozwiązań w zakresie przetwarzania odpadów HTL bezpośrednio do praktyki przemysłowej.
8. Uzyskane wyniki badań potwierdziły tezy i pozwalają stwierdzić, że cel pracy został osiągnięty.
9. Wyniki i rezultaty uzyskane w rozprawie, potwierdzone również artykułami naukowymi, można uznać za istotne i ważne w dyscyplinach inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Hamzy Mumtaza została opracowana w sposób przemyślany i uporządkowany. Oceniana rozprawa napisana jest zwięzłym, zrozumiałym językiem, a sposób przedstawienia zarówno stanu wiedzy autora na temat metod konwersji z wykorzystaniem HTL, jak i samych procesów jest bez zarzutu. Jeśli chodzi o ostateczne wnioski sformułowane przez doktoranta, są one opisane syntetycznie i nie budzą zastrzeżeń. Należy zauważyć, że lektura pracy doktorskiej pozwala stwierdzić, że istnieją pewne niewielkie braki w kilku obszarach analizowanych przez doktoranta. **Moim zdaniem, aby osiągnąć wyższą jakość pracy, doktorant mógłby ją ulepszyć, odpowiadając na kilka uwag:**

1. Dodanie analizy różnic związanych ze skalowaniem procesu HTL przeprowadzonego w warunkach laboratoryjnych do badań przemysłowych (np. poprzez szczegółowe omówienie przeglądu dostępnych reaktorów do procesu HTL działających co najmniej w skali pilotażowej, opisanie różnic w ich konstrukcji, omówienie metody przekazywania ciepła do materiału poddanego waloryzacji, opisanie zalet i wad poszczególnych typów reaktorów oraz opisanie planowanych w przyszłości prac w zakresie dalszego skalowania procesu HTL);
2. Proszę odpowiedzieć na pytanie, czy możliwe jest przeprowadzenie przedstawionych badań nad procesem HTL w skali laboratoryjnej lub pilotażowej w najbliższej przyszłości, czy też doktorant ma plan dalszych badań nad procesem HTL w skali zbliżonej do skali przemysłowej.
3. Przedstawienie skróconej analizy SWOT procesu HTL badanych odpadów, z uwzględnieniem problemów występujących w skali laboratoryjnej i potencjalnych problemów technicznych (na podstawie analizy literatury i własnego doświadczenia).
4. Jakiego rodzaju katalityczną modernizację i odzyskiwanie energii w procesie HTL ma na myśli Doktorant, aby poprawić ogólną wydajność i zmniejszyć zużycie energii?

Czy mógłby Pan pokrótce opisać rodzaje katalizatorów, które można by zastosować w procesie HTL, oraz dalszy plan prac w tym zakresie?

[strona 7 z 8]

5. Czy doktorant mógłby wymienić trzy najważniejsze zalety procesu HTL mieszanek z turbin wiatrowych w porównaniu z klasycznym procesem pirolizy?
6. Jeśli to możliwe, proszę wyjaśnić, w jaki sposób proces HTL odpadów polimerowych i kompozytowych z łopat turbin wiatrowych ma przewagę nad procesem HTC?
7. Jak postrzega Pan pozycję technologii HTL w procesie wykorzystania paneli fotowoltaicznych? Jakie ryzyko technologiczne i ekonomiczne przewiduje Pan w tym procesie dla technologii HTL?
8. Proszę przedstawić Pana plany badawcze na najbliższe lata związane z technologią HTL. Czy planuje Pan pracować nad utylizacją innych rodzajów odpadów, np. odpadów tekstylnych?

Według recenzenta, pomimo sformułowanych powyżej uwag krytycznych, jest to bardzo dobra praca, która wnosi nowe elementy do naszej wiedzy na temat metod przetwarzania odpadów. Moje uwagi i pytania nie umniejszają wartości naukowej przedstawionego badania. Jest to praca o dużym potencjale aplikacyjnym i wysokim prawdopodobieństwie wykorzystania do osiągnięcia wyższej rentowności procesów produkcyjnych związanych z przetwarzaniem odpadów.

#### 4. Wnioski

Pomimo kilku uwag krytycznych, recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Hamzy Mumtaza powinna zostać oceniona bardzo pozytywnie. Dotyczy ona niezwykle ważnego obszaru inżynierii i ochrony środowiska – termochemicznej konwersji odpadów i zmniejszenia zużycia energii podczas ich przetwarzania. Praca jest spójna, przemyślana, uporządkowana i stanowi znaczną nowość w dziedzinie inżynierii środowiska.

Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej poprzez zaplanowanie eksperymentu, sformułowanie tez badawczych, przeprowadzenie badań i wyciągnięcie wniosków z przeprowadzonych badań.

Przygotowana rozprawa dowodzi, że doktorant dobrze zna i opanował pracę naukową i badawczą oraz posiada znaczną wiedzę w zakresie reprezentowanej specjalności. Oświadczam, że uwagi sformułowane w niniejszej recenzji mają charakter redakcyjny i dyskusyjny i nie umniejszają wartości recenzowanej pracy, która spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

[strona 8 z 8]

W związku z powyższym oświadczam, że rozprawa doktorska przedłożona do oceny przez mgr inż. Hamzę Mumtaza, przygotowana pod kierunkiem prof. Sebastiana Werlego, spełnia wszystkie wymagania dotyczące rozpraw doktorskich określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r., poz. 574, z późn. zm.). Rozprawa doktorska przedstawia ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinach inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki oraz potwierdza wiedzę doktoranta, mgr inż. Hamzy Mumtaza, oraz jego zdolność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Niniejsza rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

W związku z powyższym zwracam się z prośbą o dopuszczenie mgr inż. Hamzy Mumtaza do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Jednocześnie, ze względu na oryginalność badań przedstawionych w pracy, wysoką jakość przedstawionych badań, prestiż czasopism, na których opiera się niniejsza praca doktorska, jej szeroki zakres, a także znaczenie dla rozwoju obszaru związanego z wykorzystaniem odpadów i wytwarzaniem energii, proszę o wyróżnienie niniejszej pracy doktorskiej.

Z poważaniem

[podpis odręczny]

dr hab. inż. Szymon Szufa, profesor nadzwyczajny

---

Ja, Małgorzata Sokołowska, tłumacz przysięgły języka angielskiego w Gliwicach, nr wpisu na listę tłumaczy przysięgłych TP/1509/05. Poświadczam zgodność niniejszego tłumaczenia z okazanym mi dokumentem sporządzonym w języku angielskim. Gliwice, dnia 10 grudnia 2025 r. Repertorium nr 534/2025.