

Prof. dr hab. inż. Jarosław MAMALA
Katedra Mechatroniki Pojazdów i Maszyn
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole
e-mail: j.mamala@po.opole.pl

25 listopada 2025 r.

R E C E N Z J A

Rozprawy doktorskiej

mgr inż. Łukasza Józefowicza

pt. **„Metoda automatycznego i bezinwazyjnego pozyskiwania próbek biologicznych do wykrywania patogenów w akwakulturze”**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Pana prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego o nr W10/RDND07/185/2025 z dnia 8 października 2025 r. w sprawie opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Józefowicza pt: „Metoda automatycznego i bezinwazyjnego pozyskiwania próbek biologicznych do wykrywania patogenów w akwakulturze”, realizowanej na Politechnice Wrocławskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Anny Janickiej, prof. uczelni i opiekuna pomocniczego dr inż. Katarzyny Pala.

1. Wstęp – Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedmiotowa rozprawa doktorska nie należy do typowych rozpraw doktorskich, ponieważ ma wyrazisty charakter wdrożeniowy i aplikacyjny. Forma realizacji pracy jest dopuszczona w art. 187 pkt. 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668), która przewiduje, że rozprawę doktorską może stanowić również praca „wdrożeńiowa”. Niniejsza rozprawa prezentuje tego typu pracę – stanowi pogłębioną analizę i praktyczną implementację metody automatycznego pozyskiwania próbek biologicznych dedykowanej dla Recyrkulacyjnych Systemów Akwakultury (RAS).

Specyfika rozprawy wynika z kilku istotnych aspektów. Przede wszystkim Autor wykazał głębokie zrozumienie problemu praktycznego – kontrola chorób w systemach RAS stanowi znaczące wyzwanie dla branży akwakultury, szczególnie w kontekście wczesnej diagnostyki patogenów. Po drugie, praca osadzona jest solidnie w fundamentach naukowych, oparta na rozległym przeglądzie literatury oraz badaniach eksperymentalnych o charakterze badawczym i aplikacyjnym. Po trzecie, innowacyjny charakter rozwiązania potwierdza fakt, że Autor wykazał inicjatywę w opracowaniu całościowego systemu obejmującego nie tylko metodę pozyskiwania próbek, ale również metody dezynfekcji, transportu i zateżnienia materiału biologicznego.

Twórczy charakter rozprawy oraz interdyscyplinarne podejście (łącznie zagadnienia z zakresu biotechnologii i inżynierii mechanicznej) pozycjonują pracę na dobrym poziomie merytorycznym. Dodatkowo fakt, że Autor osadził problematykę w realnym problemie gospodarczym, wymagającym rozwiązania dla rozwoju nowoczesnej technologii akwakultury, nie pozostawia wątpliwości co do słuszności podjęcia tematu rozprawy doktorskiej.

2. Charakterystyka rozprawy

2.1. Cel rozprawy i innowacyjny charakter

Głównym celem rozprawy było opracowanie skutecznej i niskokosztowej metody pozyskiwania próbek w systemach RAS w celu identyfikacji wody do wykrywania patogenów chorobotwórczych w akwakulturze. Cel ten jest uzasadniony, ponieważ dotychczasowe metody diagnostyczne wymagają badania tkanek zwierząt, co utrudnia wczesne wykrycie choroby i prowadzi do znacznych strat ekonomicznych, a także naraża hodowlę na niebezpieczeństwo chorób. Opracowana metoda ma potencjał aby znacząco podnieść efektywność i bezpieczeństwo produkcji w systemach RAS, co stanowi osiągnięcie o dużym znaczeniu praktycznym.

Innowacyjny charakter rozprawy przejawia się przede wszystkim w kompleksowym podejściu do problemu i definiowaniu trzech celów szczegółowych oraz pięciu użytecznych, co jest niewątpliwie zaletą tej pracy. Autor nie ograniczył się jedynie do opracowania metody pozyskiwania próbek, lecz przeprowadził systematyczne badania dotyczące:

- skutecznych metod dezynfekcji aparatury, z weryfikacją eksperymentalną czterech różnych metod (UV-C, ozonowanie, nadtlenek wodoru, kwas nadchlorowy);
- doboru materiałów na podstawie badań wytrzymałości mechanicznej i odporności na wielokrotne procesy dezynfekcji;

- dostosowania regulacji przepływu wody w celu minimalizacji strat energii;
- walidacji metody pozyskiwania próbek z wykorzystaniem symulacji CFD i badań eksperymentalnych;
- opracowania systemu transportu próbek z zachowaniem stabilności temperaturowej i braku kontaminacji;
- implementacji metody zateżania materiału biologicznego, umożliwiającej zwiększenie stężenia o 4–5 rzędów wielkości bez wpływu na życie organizmów.

Całość pracy wykazuje logiczny, systematyczny proces inżynierski – od analizy problemów, przez opracowanie założeń, badania eksperymentalne, aż do prototypowania i walidacji rozwiązań, co schematycznie przedstawiono na rysunku 8.

2.2. Struktura i zawartość rozprawy

Rozprawa składa się z dziewięciu rozdziałów oraz dodatków, obejmując łącznie 123 strony tekstu głównego. Układ pracy jest przejrzysty i logiczny:

- Rozdział 1: Szeroki przegląd trendów w akwakulturze, klasyfikacja systemów hodowli z analizami SWOT, uzasadniający wybór RAS jako przyszłościowego kierunku;
- Rozdział 2: Jasne sformułowanie celów głównych i zakresu rozprawy. Przedstawienie celów szczegółowych i użytkowych pracy z graficzną reprezentacją struktury rozprawy i jej komentarzem;
- Rozdziały 3–8: Zasadnicza część rozprawy prezentująca:
 - szczegółowe opracowanie skutecznej metody dezynfekcji z wynikami eksperymentu oraz ich analizą przedstawioną w tabelach od 1 do 5,
 - określenie wymagań oraz doboru materiałów odpowiednich dla metody pozyskiwania próbek z opisem wyników przedstawionych obrazowo na rysunkach i zestawieniem w tabelach od 7 do 11,
 - wpływ sposobu regulacji natężenia przepływu na straty energii w układzie pompowym, z opisem stanowiska eksperymentalnego przedstawionego schematycznie na rysunku 27 z prezentacją fotograficzną i analizą tabelaryczną wyników zestawioną w tabelach od 18 do 20,
 - opis metody pozyskiwania próbek wraz z autorskim projektem do pozyskiwania próbek wody (rys. 41), algorytmem układu automatyki sterowania i analizą posiewu bakteryjnego pobranych próbek,
 - opis metody transportu próbek wody z projektem pojemnika transportowego (rys. 60) oraz przedstawienie posiewu na obecność mikroorganizmów oraz grzybów i pleśni z ich analizą czasową,

- opis metody zateżania materiału biologicznego z wody z wykorzystaniem membran mechanicznych z opisem i schematem prototypu do zateżania oraz wynikami eksperymentu.

Każdy z rozdziałów poświęconych metodom badawczym zawiera:

- jasne sformułowanie problemu badawczego,
 - opis teoretyczny i przegląd stanu techniki,
 - precyzyjny opis procedury eksperymentalnej,
 - zestawienie wyników (często z wykorzystaniem tabel i wykresów),
 - syntetyczne wnioski.
- Rozdział 9: Kończy część merytoryczną pracy i zawiera ogólne podsumowanie, przedstawiono odniesienie się do przyjętego celu głównego i celów szczegółowych oraz wyciągnięto wnioski naukowe i użytkowe rozprawy z przeprowadzonych badań.

Dokumentacja pracy jest bogata w ilustracje (87 rysunków), tabele (34 tabele) i wykresy, co znacznie wspomaga zrozumienie przeprowadzonych analiz. Wśród szczególnie wartościowych aspektów struktury należy wymienić graficzne przedstawienie struktury rozprawy (rys. 8), które pozwala na szybkie zrozumienie powiązań między poszczególnymi celami i fazami badań. Na uwagę zasługuje bogata bibliografia, gdyż w rozprawie doktorskiej znajduje się łącznie 117 pozycji literatury, z czego 1 autorska.

2.3. Typ rozprawy wdrożeniowej

Niniejsza rozprawa w pełni odpowiada definicji pracy wdrożeniowej, ponieważ:

1. Bazuje na realnym problemie praktycznym, w którym brak skutecznej metody wczesnego wykrywania patogenów w systemach RAS jest uznanym problemem branży akwakultury;
2. Obejmuje opracowanie prototypów funkcjonalnych, w których Autor zaprojektował własne układy i wykonał prototypy poszczególnych urządzeń (system poboru próbek, system transportu, układ zateżający), które zostały przetestowane i zwalidowane eksperymentalnie;
3. Integruje teoretyczną wiedzę z praktyką a także łączy wiedzę z zakresu inżynierii mechanicznej i biotechnologicznej;
4. Stanowi rozwiązanie gotowe do wdrożenia, w którym opracowana metoda jest skalowalna, niskokosztowa i łatwa do integracji z istniejącymi systemami RAS;

5. Zawiera komponenty badawcze (pomimo charakteru wdrożeniowego), praca zawiera istotne elementy badawcze – analizę zmiennych procesowych, optymalizację parametrów i walidację metodyk.

3. Zawartość pracy i jej ocena merytoryczna

3.1. Uzasadnienie podjęcia tematu

Przedstawiony w pracy przegląd literatury, którego akcent jest postawiony na publikacje z ostatnich 5 lat z dużym przeglądem rozwiązań komercyjnych (sklepy, materiały techniczne firm), wykazuje dobre zaznajomienie Autora z trendami w akwakulturze i metodami diagnostycznymi. Szczególnie wartościowe jest umieszczenie rozprawy w kontekście szerszych trendów, przez przejście od systemów tradycyjnych ku systemom RAS, które jest dobrze uzasadnione analizą SWOT i przesłankami klimatycznymi oraz ekonomicznymi. Istotnym elementem jest rozszerzenie charakteru rozprawy o analizę biotechnologiczną, co jest szczególnie cenne przy wdrożeniu rozwiązań opisanych w pracy a także jej modułowym charakterem. Modułowość pracy powoduje, że wdrożenie jej wyników nie musi być całościowe ale może być częściowe przez poszczególne moduły.

Doktorant jasno identyfikuje lukę badawczą wskazując, że ogólne metody detekcji patogenów są znane, jednak brak jest dostępnych, prostych i bezinwazyjnych metod do pozyskiwania próbek bezpośrednio z wody w systemach RAS. Ta obserwacja stanowi solidne uzasadnienie dla podjęcia tematu.

3.2. Metodologia badawcza

Metodologia pracy charakteryzuje się rygorystycznym podejściem inżynierskim i obejmuje:

- Fazę analityczną z ujęciem systematycznej analizy dostępnych metod dezynfekcji, ocenę ich dostosowania do warunków RAS na podstawie kryteriów: skuteczności, kosztowności, wpływu na organizmy;
- Fazę eksperymentalną z opisem szeregu dobrze zaplanowanych eksperymentów, każdy z właściwą grupą kontrolną, procedurą standaryzowaną i dokumentacją;
- Fazę walidacyjną, z testami prototypów z wykorzystaniem pozyskanych rzeczywistych próbek z systemów RAS (Czerwonego Kraba Królewskiego);
- Fazę naukową z zastosowaniem zaawansowanych narzędzi symulacji CFD do optymalizacji membrany, analiz statystycznych do oceny wyników.

Pozytywnie należy również ocenić procedurę doboru materiałów opisaną w rozdziale 4, w którym Autor systematycznie analizuje materiały stosowane w istniejących systemach RAS. Ustanawia jasne kryteria doboru, przeprowadza badania posiewu próbek oraz ocenę degradacji struktury po wielokrotnych procesach dezynfekcji.

3.3. Wyniki badań i ich znaczenie praktyczne

Uzyskane rezultaty są zadowalające i praktycznie wartościowe:

- Metoda dezynfekcji wskazuje, że nadtlenek wodoru wykazał 100% skuteczność przy braku istotnego wpływu na materiały PETG, PE i PVC, co stanowi rozwiązanie praktycznie implementowalne;
- Regulacja przepływu przez zawór gilotynowy okazał się najkorzystniejszym rozwiązaniem ze względu na minimalne straty energii – istotny wynik dla ekonomiki systemów RAS;
- Metoda zatężania zwiększa stężenia materiału biologicznego o 4–5 rzędów wielkości bez szkody dla żywych organizmów, co stanowi znaczące osiągnięcie umożliwiające detekcję patogenów obecnych w bardzo niskich stężeniach;
- Walidacja za pomocą testów mikrobiologicznych, które potwierdziły bezpieczeństwo i zgodność z założeniami projektowymi dla opracowanego systemu transportu próbek.

Praktyczne znaczenie tych rezultatów jest niepodważalne w kontekście przedstawionych wyników a opracowana metoda otwiera możliwość wczesnego, ekonomicznego i nieinwazyjnego monitorowania zdrowotności w systemach RAS.

3.4. Uwagi merytoryczne

Mimo ogólnie bardzo pozytywnej oceny, w pracy można wskazać na kilka punktów wymagających rozwinięcia lub uzasadnienia:

1. Szczególnie ważna i przykuwająca uwagę czytelnika jest zamiana słowa z tytułu rozprawy „pozyskiwania próbek” na „próbkowanie” (cel pracy, strona 13) czy „metody próbkowania” czy „pobierania”. W tym kontekście zastosowano taką zamienną określenia w wielu miejscach pracy, jaka forma jest odpowiednia.
2. Brak szczegółowej analizy kosztów proponowanego rozwiązania, ponieważ Autor wielokrotnie podkreśla „niskokosztowość” metody. Brakuje analizy porównawczej kosztów opracowanego rozwiązania wobec istniejących

alternatyw w praktyce laboratoryjnej i przemysłowej, co uzasadni wdrożenie opracowanej metody.

3. Ograniczona analiza skalowalności, praca skupia się na autorskich prototypach i jednostkowym wykonaniu – warto byłoby więcej uwagi poświęcić nie tylko analizie rozwiązań komercyjnych (sklepy, opisy rozwiązań technicznych firm) ale również nieprzedstawionej w pracy analizie rozwiązań patentowych. Brakuje szerszej analizy pokazującej w jaki sposób opracowana metoda będzie skalować się dla systemów RAS różnych rozmiarów (od małych instalacji badawczych do dużych firm komercyjnych);
4. Pracę uatrakcyjniłaby szersza analiza wrażliwości metody (czy rzeczywiście wykrywa patogeny przy bardzo niskich stężeniach) i specyficzności (czy nie ma fałszywych alarmów z powodu innych elementów w próbce);
5. Przedstawione w rozdziale 5 wyniki regulacji natężenia przepływu na straty energii w układzie pompowym, odnoszą się do pomiarów porównawczych przedstawionych na rysunku 37. Pomimo, że wyniki eksperymentów są dobrze udokumentowane, nie przedstawiono dokładności pomiarowej i odchyleń pomiarowych, co wzmocniłoby uzyskane wnioski;
6. Uzyskane wyniki przedstawione na rysunkach 67 do 69 są odniesione do nr próbek, natomiast na rysunku 84 są one przedstawione w dziedzinie czasu. Wzbogacony opis o czas pobierania próbek ujednoliciłby opis pracy i jej praktyczny odbiór.
7. Praca skupia się na metodzie pozyskiwania próbek, lecz brakuje opisu jak zagęszczanie materiału biologicznego wpływa na uzyskane posiew próbek biologicznych.

3.5. Uwagi edytorskie

Praca jest napisana jasnym i klarownym językiem a struktura tekstu jest logiczna przy płynnym przejściu między rozdziałami. Spisy treści, rysunków i tabel są kompletne i dobrze sformatowane. W pracy odnotowano bardzo nieliczne błędy edytorskie, jak numerowanie wniosków na stronie 108, czy używana zamiennie słowo „pozyskiwania”. Jednostki SI są konsekwentnie stosowane, co jest godne pochwały, a ilustracje są wysokiej jakości, chociaż w kilku przypadkach (zwłaszcza przy zdjęciach mikroskopowych) przydałaby się większa rozdzielczość lub mocniejsze powiększenie.

4. Przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych i praktycznego zastosowania

Rozprawa stanowi znaczące osiągnięcie z perspektywy zarówno naukowej, jak i aplikacyjnej. Dla środowiska naukowego praca dostarcza:

- Systematycznej analizy metod dezynfekcji w kontekście systemów RAS;
- Wiedzy na temat odporności wybranych materiałów technicznych na procesy dezynfekcyjne;
- Prototypowego rozwiązania do monitorowania zdrowotności w systemach hodowlanych;
- Dokumentacji dobrych praktyk w projektowaniu wdrożeń inżynierskich.

Dla praktycznego zastosowania i branży akwakultury praca dostarcza:

- Gotowy koncept do implementacji, którym mogą się zainteresować producenci systemów RAS;
- Wytyczne do doboru materiałów i metod dezynfekcji w nowoczesnych systemach;
- Potencjalny punkt startu dla dalszego rozwoju zautomatyzowanych systemów diagnostycznych;
- Perspektywę całkowicie nowego produktu mogącego podnieść konkurencyjność rynkową firm operujących w sektorze RAS.

Doktorant wykazał zmysł inżynierski w łączeniu teorii z praktyką oraz zdolność do systematycznego rozwiązywania złożonych problemów interdyscyplinarnych.

5. Podsumowanie i rekomendacja

Niniejsza rozprawa doktorska stanowi kompleksowe opracowanie problemu praktycznego – opracowania metody automatycznego pozyskiwania i wstępnego przetworzenia próbek biologicznych dla Recyrkulacyjnych Systemów Akwakultury. Doktorant wykazał zaawansowaną wiedzę z zakresu inżynierii mechanicznej i biotechnologii, a praca charakteryzuje się:

- Wysokim poziomem merytorycznym i posiada solidne podstawy naukowe, dokładnie zaplanowane eksperymenty, jasne wyniki i wnioski;
- Innowacyjnym podejściem i opracowaniem kompleksowego modułowego rozwiązania interdyscyplinarnego problemu;

- Praktycznym znaczeniem i opracowaniem skutecznej metody, która ma realistyczne szanse na wdrożenie i może znacząco poprawić efektywność diagnostyki w systemach RAS;
- Dobrą jakością edytorską i przejrzystym układem, bogatą dokumentacją graficzną oraz tabelaryczną, poprawnymi wnioskami szczegółowymi i trafnym podsumowaniem pracy.

Mimo kilku uwag merytorycznych i prośby o rozwinięcie niektórych wątków pracy, rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim o charakterze wdrożeniowym i reprezentuje bardzo dobry poziom zarówno wiedzy naukowej, jak i praktyki inżynierskiej. Ponadto, przy tak szerokim zakresie pracy, Doktorant bardzo skrupulatnie realizuje cel pracy, a przede wszystkim trzeba podkreślić jej praktyczną walidację i przyszłościowe zastosowanie w realnym problemie. Praca stanowi solidną bazę dla przyszłych prac związanych z rozwojem efektywnych i bezpiecznych systemów akwakultury.

6. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Józefowicza pt. **„Metoda automatycznego i bezinwazyjnego pozyskiwania próbek biologicznych do wykrywania patogenów w akwakulturze”** spełnia wymogi zawarte w art. 221 ust. 8 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (tj. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w stopniu wyrażnie bardzo dobrym.

Rekomendacja:

Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej w dyscyplinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.



