Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie
Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej
Katedra Automatyki i Informatyki

prof. dr hab. inż. Janusz Gołdasz

Kraków, 10-01-2025

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Kobielskiego
pt.
"OPTYMALZACJA UKŁADÓW REGULACJI PRZEPŁYWU FILTRACYJNEGO W ZBIORNIKACH ŻYWIC WYMIANY JONOWEJ"

Promotor pracy: dr hab. inż. Wojciech Skarka, prof. PŚ.
Opiekun przemysłowy: dr inż. Damian Kądzielawa

Podstawa prawna oceny:
Pismo nr RDIMe.512.8.2024 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 23/10/2024 r.

1. CEL I ZAKRES ROZPRAWY

W Rozdziale 2.2 sformułowano główne tezy pracy:

- **Teza 1**: Innowacyjna metoda projektowania zbiornika wymiany jonowej umożliwia maksymalizację wykorzystania surowca wykorzystywanego w wymiennikach jonowych.
- **Teza 2**: Zmiana geometrii zbiornika wymiany jonowej, a w szczególności zmiana geometrii otworu dławienia kanału regulacji ciśnienia prowadzi do zmiany homogenizacji prędkości przepływu wewnątrz zbiornika wymiany jonowej, a tym samym umożliwia maksymalizację wykorzystania surowca wykorzystywanego w wymiennikach jonowych.

W Rozdziale 2.1 Autor wymienił główny cel pracy:

- Celem pracy jest zwiększenia efektywności wykorzystania żywicy wymiany jonowej przez opracowanie metody projektowania i optymalizacji w funkcji jednorodności wykorzystania pojemności jonowej dla rozwiązania technicznego pasywnego sterowania gradientami ciśnienia w zbiornikach wymiany jonowej przeznaczonych dla zmywarek użytku domowego zastrzeżonego pod nr PCT/CN2020/083801, WO 2021/203313 oraz EP 3962867 A0.

Tematyka rozprawy dotyczy optymalizacji konstrukcji zbiornika wymiany jonowej przeznaczonego do użycia w zmywarkach gospodarstwa domowego w funkcji wykorzystania potencjału chemicznego pojemności jonowej eksploatowanej w urządzeniu żywicy jonowymiennej w celu minimalizacji kosztu wyrobu, co Autor podkreśla, m.in. na stronie 6 w Rozdziale 1.

Biuro Dziekana
wpłynęło dnia 14.01.2025
nr ..... zał. .....

Podjęty przez Doktoranta problem badawczy ma charakter aplikacyjny i multidyscyplinarny oraz wymagającym użycia metod i narzędzi z zakresu inżynierii mechanicznej, inżynierii chemicznej oraz mechaniki obliczeniowej płynów Zadania badawcze zostały zrealizowane we współpracy z partnerem przemysłowym.

2. ANALIZA ZAWARTOŚCI ROZPRAWY I SPOSÓB JEJ MERYTORYCZNEGO PRZEDSTAWIENIA

Wyniki badań Doktoranta zostały udokumentowane na 122 stronach rozprawy zawierającej: 6 rozdziałów, bibliografię zawierającą 104 pozycje, spisy tabel i rysunków. W spisie literatury znalazły się 3 prace Autora, w tym 1 zgłoszenie patentowe, 1 praca opublikowane w czasopiśmie z listy MEiN oraz 1 artykuł nieopublikowany (*preprint*).

Rozdział 1 (*Wstęp*) zawiera obszerne podsumowanie treści poszczególnych rozdziałów rozprawy w formie streszczenia w tym zgłoszenia patentowego oraz motywację u podstaw podjętych przez Autora działań badawczych.

W **Rozdziale 2** (*Tezy i cele pracy*) Autor określił główny cel pracy oraz podał 2 główne tezy badawcze (opisane powyżej w Rozdziale 1 niniejszej recenzji).

Następnie, w **Rozdziale 3** (*Stan wiedzy*) Autor podjął się próby opisu obecnego stanu wiedzy w zakresie projektowania urządzeń automatycznego zmywania naczyń. Został przezeń przedstawiony krótki rys historyczny, funkcjonalności poszczególnych elementów i układów zmywarek, a także związane z tym obszarem regulacje energetyczne EU. Autor konkluduje, np. iż w najbliższej przyszłości można się spodziewać dodatkowych czynników regulacyjnych narzucających minimalizację użycia surowców lub energii w procesie produkcji obok istniejących już regulacji opartych na analizie oceny efektywności energetycznej. W następnej kolejności analizowane są w rozdziale aspekty finansowe inwestycji w badania, rozwój i koszt industrializacji każdego nowego urządzenia, w tym rola współczesnej metodyki wyceny produktów seryjnych celem osiągnięcia konkurencyjności produktu oraz technologii wytwarzania wraz z ich wpływem na efektywność kosztową. Kolejny fragment analizy stanu wiedzy dotyczy aspektów projektowania tego typu urządzeń z perspektywy inżynierii chemicznej. Opisano tu podstawy procesów mycia i czyszczenia naczyń, wpływ twardości wody na żywotność urządzeń myjących, wykorzystanie procesu wymiany jonowej oraz alternatywnych metod wymiany jonowej. Tą część badania stanu wiedzy przez Autora kończy krótka analiza warunków pracy jonitów w urządzeniach AGD z uwzględnieniem m.in. czynników geograficznych oraz kosztów. Trzecia część analizy stanu wiedzy dotyczy mechaniki płynów w zakresie związanym z tematyką podjętą przez Autora w rozprawie. Opisane w tej części są warunki przepływu płynu w wymiennikach jonowych stosowanych w zmywarkach domowych, reżimy przepływu płynów, zjawisko kawitacji oraz scharakteryzowano przepływy przez ciała porowate. Badanie stanu wiedzy kończy krótki opis metod modelowania matematycznego w zakresie mechaniki obliczeniowej płynów (CFD) oraz przedstawienie skali wykorzystania tego typu metod w przemyśle.

Materiał zawarty w **Rozdziale 4** (*Metodyka*) można uważać za najważniejszy z punktu widzenia osiągnięcia założonych celów i tez badawczych (wymienionych w Rozdziale 2). Jest to też jeden z najbardziej obszernych (50 stron) i złożonych merytorycznie rozdziałów w rozprawie. Autor skupia się początkowo na przedstawieniu opisu problemu badawczego z wykorzystaniem konstrukcyjnego

rozwiązania patentowego PCT/CN2020/083801 oraz analizie ograniczeń kosztowych. i technologicznych, a także podsumowaniu przyjętych założeń. Powołując się na mapę drogową w Rozdziale 4.4.1, Autor przedstawia kolejne etapy prowadzonych przez siebie badań. Można je podzielić na: badania wstępne (mające na celu potwierdzenie słuszności stosowania wybranego rozwiązania konstrukcyjnego), badania chemiczne wydajności preparatów (w celu przyjęcia określonych kryteriów korelacji i optymalizacji), badania empiryczne (których wyniki mogą służyć do weryfikacji opracowanego modelu numerycznego) oraz badania (symulacje) numeryczne. W szczególności, zakres badań wstępnych dotyczył oceny słuszności przyjętej koncepcji konstrukcyjnej z użyciem modułu FlowSimulation popularnego pakietu CAE SolidWorks. Badania te polegały na porównaniu rozkładów ciśnienia i prędkości dla dwóch badanych wariantów konstrukcyjnych: 1) oryginalnej koncepcji zbiornika, 2) referencyjnej. Wyniki badań wstępnych uzupełniają badania doświadczalne z wykorzystaniem zaprojektowanego stanowiska pomiarowego i funkcjonalnego prototypu referencyjnego celem otrzymania jego charakterystyki ciśnienie-natężenie przepływu i strojenia modelu CFD w badaniach porównawczych. W drugiej części badań z udziałem preparatów Doktorant przeprowadził badania eksploatacyjne próbek żywicy znormalizowanej hydrodynamicznie w środowisku wodnym. Do przeprowadzenia tego typu badań posłużono się aparaturą będącą w posiadaniu pracodawcy Doktoranta. Łącznie, przebadano 9 gatunków żywic o porównywalnych parametrach granulacji przy zachowaniu niezmiennych parametrów hydraulicznych przepływu przez badaną próbkę. Finalnie, Autor przeprowadził szereg badań doświadczalnych i symulacji zachowania proponowanej konstrukcji wymiennika. Badania doświadczalne były 2-etapowe z uwagi na występowanie w badanej konstrukcji 2 znaczących źródeł spadku ciśnienia (przewężenia w sitach pozwalających na utrzymanie granulatu, filtr jonowy). W tym celu Autor zaprojektował stanowiska pomiarowe, przeprowadził serie badań doświadczalnych oraz przeprowadził symulacje numeryczne z użyciem utworzonych przez siebie modeli CFD w środowisku Ansys Fluent. Rozdział kończy analiza statystyczna wyników oraz ocena wartości miar rozproszenia rozkładów prędkości i ciśnień w funkcji zmian konstrukcji i warunków brzegowych.

Rozdział 5 (*Dyskusja*) jest poświęcony ocenie otrzymanych wyników badań w tym uzasadnieniu stosowania założeń konstrukcyjnych, charakterystyce cech chemicznych żywić jonowymiennych oraz cech hydraulicznych przepływu cieczy w analizowanej konstrukcji. Autor porównuje zachowanie wartości ciśnienia i prędkości w punktach pomiarowych (referencyjnych) otrzymanych podczas badań doświadczalnych i symulacji numerycznych, a także omawia stosowane miary rozproszenia prędkości przepływu w modelowanej objętości w roli kryteriów służących optymalizacji wykorzystania pojemności jonowej surowca.

Rozdział 6 (*Wnioski*) zawiera omówienie kierunku dalszych badań.

3. OCENA MERYTORYCZNA

Zawartość merytoryczna recenzowanej rozprawy, moim zdaniem, świadczy o sporym doświadczeniu i wiedzy technicznej Doktoranta wykraczającej poza inżynierię mechaniczną – przeprowadzone przez Autora badania mają charakter interdyscyplinarny.

Zaproponował kryterium służące optymalizacji wykorzystania pojemności jonowej surowca w oparciu o miary rozproszenia prędkości w modelowanej objętości oraz wykazał skuteczność

zastosowanych zmian w geometrii zbiornika wymiany jonowej.

Główną tezę pracy (zob. Rozdział 2) w kontekście przedstawionych wyników badań można uznać za potwierdzoną, a tezy pracy za potwierdzone.

Doktorant bardzo sprawnie posługuje się wybranymi przez siebie inżynierskim pakietami obliczeniowymi CAE (SolidWorks, Ansys Fluent). Opracował obszerny, choć nieco powierzchowny np. w kontekście wykorzystania metod z zakresu mechaniki obliczeniowej płynów , przegląd literatury. Co więcej, że wykazał się głęboką znajomością badanego produktu. Dotyczy to zwłaszcza materiału zawartego w Rozdziałach 3 i 4. Potrafi zaplanować i zrealizować złożone i obszerne interdyscyplinarne badania doświadczalne oraz numeryczne, a także poprawnie interpretować wyniki.

Niezrozumiały jest brak części danych wejściowych (w części poświęconej modelowaniu CFD) oraz informacji dot. użytych czujników i konfiguracji toru pomiarowego (w części doświadczalnej), zwłaszcza, biorąc pod uwagę, że Autor zamieścił te informacje we współautorskich publikacjach, na które się zresztą powołuje. Utrudnia to chociażby częściowe odtworzenie treści pracy i jej prawidłową ocenę.

Jednocześnie, nie kwestionuję faktu osiągnięcia przez Doktoranta określonych przezeń celów. Nie ulega wątpliwości posiadania przez umiejętności Doktoranta posługiwania się wybranymi przez siebie narzędziami obliczeniowymi CAE. Podobnie, nie budzi zastrzeżeń fakt posiadania przez niego umiejętności przeprowadzenia złożonego eksperymentu badawczego i wiedzy multidyscyplinarnej wykraczającej poza dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.

Ogólnie, dobór typu i charakteru badań laboratoryjnych, realizacja i prezentacja symulacji numerycznych, analiza otrzymanych wyników i ich interpretacja nie budzą zastrzeżeń. Praca ma istotny walor poznawczy, a wyniki zamieszczonych w niej badań mogą mieć cenny wymiar finansowy dla partnera przemysłowego. Uwagi merytoryczne zawarte są w Rozdziale 4.2 niniejszej recenzji.

4. UWAGI

4.1. Uwagi redakcyjne

Lista uwag:

- Ogólnie, lustracje są czytelne, z wyłączeniem np. Rys. 54.
- Na niektórych wykresach brak etykiet osi (Rys. 3, 18, 23, 37, 47, 63, 65, 66, 69, 70, 86,87, 88, 89, 90).
- Opisy map prędkości i ciśnienia na Rys. 39 są nieczytelne.
- Wykresy znajdujące się w Tabeli 1 są bardzo nieczytelne.
- Można mieć zastrzeżenia co do składu wzorów i wyrażeń matematycznych – opisy zmiennych znajdujących się poniżej poszczególnych wyrażeń mat. nie powinny być wykonane kursywą.
- Z uwagi na liczbę użytych zmiennych można było dodać Rozdział pt. „Nomenklatura" i umieścić je w osobnym rozdziale.

Ogólnie, rozprawa została zredagowana stosunkowo starannie z pewnymi zastrzeżeniami. Błędy gramatyczne są nieliczne.

4.2. Uwagi merytoryczne

Lista uwag:

- Przegląd literatury, choć bardzo obszerny, jest dosyć powierzchowny, np. w kontekście modelowania przepływów przez ciała porowate (związany z tą tematyka materiał zajmuje ok. ¾ strony, a zamieszczone tam cytowania są nieliczne), a część zamieszczonych tam informacji ma znaczenie drugorzędne (metody wytwarzania, metodologia oceny kosztów, ochrona własności intelektualnej) z punktu widzenia założonych celów badawczych.
- Widoczna jest u Autora pewna niekonsekwencja w stosowaniu ogólnie przyjętej terminologii. Na przykład, Autor zamiennie stosuje pojęcia w rodzaju 'model numeryczny', 'model symulacyjny'. Co oznacza sformułowanie 'rozstęp ciśnień' (str. 64)?
- Uważam także, iż z uwagi na obszerność materiału w Rozdziale 4 rozprawy zmianie mogłaby ulec struktura pracy, tj. podzielenie Rozdziału 4 na oddzielne rozdziały (nie podrozdziały) zawierające np. części: doświadczalną, symulacyjną oraz metodyczną, co mogłoby ułatwić śledzenie toku prac zrealizowanych przez Doktoranta przez osoby trzecie.
- Brak informacji odnośnie wersji użytego oprogramowania SolidWorks, Ansys Fluent.
- Brak informacji dot. monitorowania temperatury wody wewnątrz prototypu podczas badań.
- Brak informacji dot. typu i rodzaju użytych czujników i sprzętu pomiarowego np. w Rozdziale 4.5.2; we współautorskim artykule opublikowanym w czasopiśmie *Polymers* te dane się znajdują.
- Opis stanowiska pomiarowego w Rozdziale 4.6.1 jest niekompletny.
- W rozprawie nie zawarto danych dotyczących geometrii badanego filtra w Rozdziale 4.7.2, co uniemożliwia chociażby określenie liczby Reynoldsa w określonych kanałach przepływowych przez osoby trzecie.
- Ogólnie, dane wejściowe zamieszczone przez Autora w rozprawie są niekompletne. Przypuszczam, że tego rodzaju praktyka jest spowodowana chęcią ochrony własności intelektualnej przez partnera przemysłowego. Uważam jednak, iż zawarta w rozprawie doktorskiej informacja powinna być przedstawiona w formie pozwalającej na chociażby częściowe odtworzenie treści pracy i jej prawidłową ocenę.
- Geometria modelu CFD opisanego w Rozdziale 4.7.2 jest osiowo symetryczna, przez co model mógł być znacznie uproszczony przez wykorzystanie odpowiednich warunków brzegowych.
- Czy Autor brał pod uwagę uproszczenie lub redukcję modelowanej objętości płynu, np. poprzez usunięcie punktów pomiarowych (p1-p10) w Rozdziale 4.9.2 i, alternatywnie, próbkowania wartości ciśnienia i prędkości w określonych współrzędnych odpowiadających położeniu punktów pomiarowych?
- Przewody doprowadzające wodę do czujników ciśnienia w zaprojektowanej przez Autora stacji badawczej są stosunkowo długie i elastyczne, co może zaburzać na wynik pomiarów ciśnienia.

- Moim zdaniem, Autor niewystarczająco opisuje własne oryginalne (autorskie) osiągnięcia. Podczas publicznej obrony pracy doktorskiej oczekuję zatem od Doktoranta jednoznacznego określenia oryginalnego wkładu w dyscyplinę inżynieria mechaniczna.

5. KONKLUZJA

Podsumowując, pomimo zastrzeżeń wymienionych w Rozdziale 4 recenzji uważam, iż wyniki badań Pana mgr inż. Macieja Kobielskiego są wartościowe w kontekście dyscypliny inżynieria mechaniczna. Wyniki obliczeń numerycznych przeprowadzonych przez Doktoranta z użyciem opracowanych modeli CFD są wsparte wynikami licznych badań laboratoryjnych.

Ogólnie rzecz biorąc, uważam, iż Doktorant poprawnie sformułował problem badawczy, uzasadnił jego podjęcie (zwłaszcza w kontekście wdrożeniowym), wykazał się dużą wiedzą interdyscyplinarną. Przeprowadził liczne badania doświadczalne, numeryczne i analizy statystyczne

Co więcej, mam podstawy sądzić, iż przedstawione przez Doktoranta w pracy wyniki badań mogą mieć cenny wymiar finansowy dla partnera przemysłowego, także szczególności w aspekcie wykorzystania modeli CFD i wyników symulacji numerycznych do testów wirtualnych bez konieczności wytwarzania kosztownych prototypów zwłaszcza na wczesnych etapach rozwoju produktu.

Dorobek naukowy Doktoranta, na który powołuje się w rozprawie zawiera 3 pozycje. W spisie literatury przywołane są kolejno: 1 nieopublikowany artykul (*preprint*), 1 zgłoszenie patentowe oraz 1 publikacja recenzowana opublikowana w czasopiśmie z listy MEiN (punktacja: 100 pkt. wg aktualnie obowiązującego wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych).

Rozprawa została pozytywnie zweryfikowana przez system antyplagiatowy.

Moim zdaniem, przedstawione w rozprawie wyniki spełniają wymagania stawiane przez obowiązującą aktualnie **Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 20.04.2023 r., poz. 742)**. Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska może służyć zatem za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie wniosku Autorowi stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Prof. J. Gołdasz

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)