

dr hab. inż. Roman Dyga, prof. uczelni  
Katedra Inżynierii Procesowej i Środowiska  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Opolska  
ul. St. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole

Opole, 07.09.2023 r.

## RECENZJA

**pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Golczak pt. "Charakterystyka mieszania hydrauliczno-oscylacyjnego z wykorzystaniem metody analizy obrazu",  
przygotowanej pod kierunkiem dra hab. inż. Szymona Woziwodzkiego (promotor)  
oraz dra inż. Waldemara Szaferskiego (promotor pomocniczy)**

### Podstawa prawna

Uchwała Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej nr RD-15/5/2023 z dnia 4 lipca 2023r., dotycząca wyznaczenia Recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Golczak.

### Struktura i treść pracy

Praca liczy 186 stron, w tym, spis treści, wykaz oznaczeń, bibliografia, spis rysunków, spis tabel, streszczenie oraz dwa załączniki. Część podstawowa pracy, obejmująca 132 strony, ma strukturę typową dla prac doktorskich, tj. wyraźnie wyróżniono opis przeglądu literaturowego oraz część eksperymentalną. Przegląd literatury (poprzedzony wprowadzeniem do pracy) podzielony został na 5 rozdziałów. W dwóch pierwszych Doktorantka przedstawia informacje podstawowe z zakresu mieszania oraz cechy specyficzne poszczególnych rodzajów mieszania i budowę oraz zasady działania wybranych mieszalników. Rozdział 3 poświęcony został na opis kryteriów oceny procesu mieszania i sposoby ich określania. W kolejnym rozdziale przedstawione zostały podstawy optycznych technik pomiarowych i komputerowej analizy obrazu. Informacje te można traktować jako wprowadzenie do opisu metodyki badań doświadczalnych opisanych w dalszej części rozprawy.

W wyodrębnionym rozdziale, został sformułowany cel i zakres pracy.

Kluczową częścią pracy są rozdziały oznaczone numerami 6–12 wraz z rozdziałem *Podsumowanie*. W rozdziale 6 autorka pracy w wyczerpujący sposób opisuje stanowisko pomiarowe, w tym budowę mieszalnika hydraulicznego, układ sterowania jego pracą oraz system rejestracji wyników. Szczegółowo opisane zostały również badania wstępne przeprowadzone w celu weryfikacji dokładności i powtarzalności pomiarów. Metodyka badań

eksperymentalnych, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu przetwarzania i analizy obrazu została przedstawiona w rozdziale 7 oraz podrozdziałach 7.1–7.6, odnoszących się do wyodrębnionych najważniejszych aspektów badań. W kolejnych rozdziałach Doktorantka przedstawia opis zarejestrowanych wyników wraz z ich analizą i interpretacją. Zasadniczą część pracy zamknięta jest podsumowaniem.

Taka struktura rozprawy jest logiczna i przejrzysta, a zarazem typowa dla prac doktorskich bowiem oddaje specyfikę działań naukowych zmierzających do rozwiązania określonego problemu naukowego i uzyskania stopnia doktora. Pewne zastrzeżenia można mieć do nazw kilku rozdziałów, które wydają się być niezbyt trafne. Rozdział 2. *Opis rozwiązań konstrukcyjnych* i jego podrozdziały przedstawiają zasady działania i budowy różnych typów mieszalników. Opisu rozwiązań konstrukcyjnych, w ścisłym tego znaczeniu, tam nie ma. Z kolei nazwy podrozdziałów 7.1, 7.2, 7.3 i 7.6 zaczynają się od słowa *Analiza ...*, tymczasem w rozdziałach tych przedstawiona jest raczej metodyka wyznaczania określonych wielkości.

Rozprawa została zredagowana bardzo starannie. Autorka właściwie posługuje się językiem polskim i terminologią naukową w przedmiotowym zakresie. Składnia i stylistyka są poprawne. W pracy można znaleźć tylko kilka zdań, które zostały sformułowane niezrozumiale lub niewystarczająco precyzyjnie. Przykładem może być fragment tekstu na stronie 33: *"Istnieje kilka sposobów pomiaru czasu mieszania. Można je podzielić na metody inwazyjne i bezinwazyjne."* Cytowany fragment w rzeczywistości odnosi się nie do sposobu pomiaru czasu, a do technik ustalenia stanu jednorodności mieszanej cieczy. Trochę razi mnie posługiwanie się przez Doktorantkę jednostkami pochodzącymi z różnych systemów miar oraz jednostkami pochodnymi dla głównych jednostek układu SI. np. stężenie odnoszone jest do jednego litra bądź jednego  $\text{dm}^3$  ( $\text{mg/L}$  i  $\text{mol/dm}^3$ ), a natężenie przepływu gazu wyrażane jest w  $\text{Ncm}^3/\text{min}$ . Wartość ciśnienia podawana jest w bar, Pa i hPa.

Całość pracy została sformatowana w jednolitym stylu. Wszystkie tabele oraz rysunki zostały nazwane i przytoczone w tekście. Od strony graficznej ich jakość w większości nie budzi zastrzeżeń. Jedynie kilka rysunków sprawia wrażenie "zrzutu z ekranu" o niewystarczającej rozdzielczości, przez co są mało czytelne. Dotyczy to, np. rysunków 49, 50, 53 oraz 105 i 106. W opracowaniu o tak dużej objętości nieunikniona jest pewna liczba drobnych błędów edycyjnych, wśród których można wymienić brak spacji pomiędzy numerami i tytułami podrozdziałów oraz dwukrotne podanie w wykazie oznaczeń średnicy zastępczej  $d_e$ .

#### Ocena doboru problematyki badawczej, tematu i celu pracy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandty Golczak poświęcona jest zagadnieniom związanym z mieszaniem cieczy - w ujęciu ogólnym, opisanym w pierwszej (przeładowej) części pracy oraz w ujęciu pogłębionym z uwzględnieniem

wybranych specyficznych metod mieszania, szczególnie mieszania hydrauliczno-oscylacyjnego, które było przedmiotem prac eksperymentalnych prowadzonych przez Doktorantkę.

Mieszanie jest procesem szeroko rozpowszechnionym w procesach produkcyjnych. W przypadku wielu produktów jest kluczowym etapem wytwarzania. Dobór właściwej metody mieszania, rodzaju mieszalnika i warunków realizacji procesu decyduje o uzyskanych efektach. Jako proces jednostkowy mieszanie jest wykorzystywane od początku ery przemysłowej a opis teoretyczny mieszania intensywnie rozwijany jest od lat 50 ubiegłego wieku. Zatem jest to proces stosunkowo dobrze poznany, zwłaszcza w odniesieniu do najbardziej typowych przypadków mieszania np. z wykorzystaniem mieszalników mechanicznych bądź statycznych. W praktyce przemysłowej wykorzystywanych jest jednak szereg innych sposobów mieszania ciekłych układów, które nadal wymagają głębszego zbadania i opisanie. Dotyczy to między innymi mieszania hydrauliczno-oscylacyjnego. Doktorantka słusznie zauważa, że ten sposób mieszania nieustalonego, prowadzonego w mieszalnikach pozbawionych mieszadła mechanicznego i innych ruchomych części roboczych może być korzystną alternatywą dla innych bardziej powszechnych rodzajów mieszania, uznawanych dziś za standardowe, w tym dla mieszania mechanicznego. Wybór problematyki badawczej należy zatem uznać za trafny i uzasadniony.

Temat rozprawy doktorskiej został sformułowany poprawnie, odpowiednio do podejmowanej problematyki badawczej i zakresu pracy. Pewne zastrzeżenia budzi sformułowanie celu pracy, który w sposób formalny został przedstawiony w rozdziale pt. *Cel i zakres pracy*, w postaci pięciu punktów:

1. opracowanie metodyki pomiarowej, z uwzględnieniem opracowania algorytmu analizy kolorymetrycznej obrazu dla procesu mieszania hydrauliczno-oscylacyjnego,
2. określenie rzeczywistej zmiany poziomów cieczy w wewnętrznej i zewnętrznej komorze mieszalnika,
3. wyznaczenie objętościowego współczynnika wnikania masy,
4. wyznaczenia stopnia wymieszania,
5. wyznaczenie czasu mieszania i określenie zapotrzebowania energetycznego procesu.

W mojej ocenie przytoczone punkty stanowią raczej zadania badawcze, a cel pracy bardziej trafnie zdefiniowany został w streszczeniu pracy, gdzie Doktorantka formułuje go następująco "Celem pracy doktorskiej jest analiza mieszania hydrauliczno-oscylacyjnego w mieszalniku, w którym siłą napędową jest naprzemienna zmiana różnicy ciśnień między wewnętrzną i zewnętrzną komorą mieszalnika hydraulicznego".

Z kolei, podany w rozdziale *Cel i zakres pracy*, zapis o brzmieniu "*Osiągnięcie powyższych celi stanowi przyczynek do aplikacyjności analizowanego urządzenia procesowego i umożliwi przeniesienie mieszania hydrauliczno-oscylacyjnego ze skali*

*laboratoryjnej do skali przemysłowej*" może być traktowane jako zamierzony cel praktyczny pracy, przy czym nie zostało to wystarczająco jednoznacznie zadeklarowane.

Podane wyżej zastrzeżenia co do celu pracy dotyczą jedynie sposobu jego zdefiniowania, a nie braku celu naukowego, czy też braku problemu naukowego - takowy bezsprzecznie w pracy został podjęty.

### Ocena merytoryczna pracy

Rozważania przedstawione w rozprawie opierają się na wynikach badań własnych Doktorantki i informacjach literaturowych. Spis bibliografii zawiera 172 pozycje. W zdecydowanej większości są to artykuły naukowe publikowane w renomowanych czasopismach zagranicznych. Kompleksowy przegląd literatury pozwolił Doktorantce ustalić zagadnienia, które mimo wieloletnich badań różnych rodzajów mieszania w dalszym ciągu wymagają rozpoznania. Określenie luki poznawczej w stosunkowo dobrze opisanym procesie jakim jest mieszanie samo w sobie jest już pewnego rodzaju osiągnięciem Autorki pracy.

W badaniach własnych Doktorantka skupiła się na mieszanii hydrauliczno-oscylacyjnym, które z uwagi na brak części ruchomych w mieszalnikach może być wykorzystywane do ujednorodniania mediów wrażliwych na oddziaływania mechaniczne oraz łatwopalnych lub wybuchowych. Szerokie przemysłowe wdrożenie mieszania hydrauliczno-oscylacyjnego jest utrudnione przez brak wielu podstawowych informacji opisujących ten proces. W mojej ocenie, podana przez autorkę pracy, argumentacja tematyki i zakresu podjętych badań eksperymentalnych jest przekonująca.

Doktorantka bardzo szczegółowo opisała zarówno budowę stanowiska doświadczalnego, z podaniem uzasadnienia przyjętych rozwiązań, jak i metodykę przeprowadzonych badań, łącznie z badaniami wstępnymi, związanymi z uruchomieniem i weryfikacją działania mieszalnika i urządzeń pomiarowych.

W badaniach zostały wykorzystane zawansowane techniki sterowania i kontroli. Wprawdzie bezinwazyjne optyczne techniki pomiarowe oraz komputerowa analiza obrazu wspólnie są standardem w badaniach naukowych, to należy zauważyć że Doktorantka samodzielnie opracowała i zaimplementowała w programie MatLab, własny algorytm służący do analizy barw. Umiejętność programowania oraz dobra znajomość zaawansowanych funkcji kilku programów komputerowych, można uznać za praktyczne kompetencje wykraczające poza dyscyplinę nauki, w której realizowana jest oceniana praca doktorska, a w przyszłości może pozwolić Doktorantce na podejmowanie zadań badawczych o różnorodnej tematyce.

Wyniki badań doświadczalnych zostały udokumentowane licznymi fotografiami a wyniki ich analiz ilościowych i jakościowych przedstawiono w postaci tabel i wykresów. Przyproawdzone analizy zostały wyczerpująco opisane. Dokonana ocena i interpretacja badanych zjawisk jest poprawna i wiarygodna zwłaszcza, że analizując kolejne zagadnienia

doktorantka w wielu miejscach nawiązuje do aktualnego stanu wiedzy i odnosi własne wyniki do informacji literaturowych. Tym samym formułowane wnioski mogą być traktowane jako mocniej uzasadnione. Pewien niedosyt budzi sformułowanie niektórych wniosków, które w mojej ocenie mogłyby być uzupełnione danymi ilościowymi bądź mogłyby zostać bardziej rozbudowane, np. ostatnie zdanie wniosku nr 3 brzmi *"Liczba Reynoldsa hydrauliczno-oscylacyjna może służyć do określania czasu mieszania"*. Niestety Doktorantka nie podaje w jaki sposób.

Podsumowując ocenę merytoryczną należy uznać, że przeprowadzone prace badawcze a w szczególności, metodyka prowadzenia badań, zastosowane narzędzia badawcze oraz sposób i zakres analizy wyników są rzetelne i wiarygodne. Niemniej jest kilka wyszczególnionych niżej kwestii, które budzą moje pytania bądź wątpliwości.

1. Wysokość cieczy w komorach mieszalnika ustalana był w oparciu o analizę obrazu rejestrowanego za pomocą kamery umieszczonej w stałym punkcie, co w cylindrycznym mieszalniku daje obraz zwierciadła cieczy o wypukłej lub wklęsłej krzywiźnie, w zależności od położenia cieczy. Tym samym wysokość cieczy jest pozornie inna w osi mieszalnika niż w pobliżu ścianek. Ponadto w centrum kadru tej samej długości odpowiada inna liczba pikseli niż w dolnej i górnej części obrazu. W jaki sposób eliminowano te zjawiska przy ocenie wysokości cieczy?
2. Na potrzeby oceny stopnia wymieszania obraz mieszalnika podzielony został na 4 obszary, w których wyznaczano i uśredniano składowe barw. Czy nie lepiej byłoby zastosować podział na dużą liczbę małych obszarów i analizować różnice pomiędzy nimi? Przyjmując np. że stan jednorodny osiągany jest po wyrównaniu barwy we wszystkich obszarach.
3. Czym należy tłumaczyć odmienny trend zmiany wartości oscylacyjnej liczby Reynoldsa widoczny na rys. 67 dla serii odpowiadającej ciśnieniu  $R2 = 1,5$  bar?
4. Na stronie 105 podano, że o zakończeniu reakcji utleniania w mieszalniku świadczy odpowiednio mała zmiana składowych RGB dla dwóch kolejno zarejestrowanych obrazów. Na rysunku 73, obrazującym ten stan, widoczne jest jednak dość wyraźne zmniejszanie się wartości składowej B po czasie przyjętym jako czas reakcji.
5. Mieszalnik hydrauliczny został wykonany w dwóch wariantach – z dnem płaskim oraz z dnem profilowanym. Doktorantka poświęca niewiele uwagi temu drugiemu rozwiązaniu. W pierwszym akapicie na stronie 94 znajduje się zdawkowa, niedoprecyzowana informacja *"Nie stwierdzono dużego wpływu na hydrodynamikę przepływu. Wyrównanie poziomów w mieszalniku z dnem profilowanym następuje nieco bardziej dynamicznie, niż w przypadku dna płaskiego"*. Zważywszy na fakt, że przepływ pomiędzy komorą wewnętrzną i zewnętrzną mieszalnika odbywa się w

bezpośrednim sąsiedztwie dna, brak wpływu profilowanego dna na przepływ cieczy wymaga szerszego komentarza.

6. Doktorantka słusznie zauważa (m.in. na str. 111), że mieszanie zachodzi najmniej intensywnie w górnej części komory zewnętrznej. Nie podaje jednak wyjaśnienia takiego stanu rzeczy.

Wymienione pytania i uwagi powinny być przedmiotem dyskusji w trakcie obrony pracy.

#### Podsumowanie i konkluzja

Autorka rozprawy wykazała się wystarczającą ogólną wiedzą teoretyczną w zakresie technicznych aspektów nauk chemicznych oraz dobrą znajomością podjętej problematyki badawczej. Udowodniła, że posiada umiejętność samodzielnego planowania badań, prowadzenia eksperymentów oraz analizy wyników i wnioskowania. Praca dotyczy ważnego problemu o istotnym znaczeniu poznawczym, a osiągnięte wyniki mogą mieć praktyczne zastosowanie. Rezultaty ocenianej pracy doktorskiej stanowią oryginalne rozwiązanie rozpatrywanego problemu naukowego. Przytoczone w niniejszej recenzji zastrzeżenia oraz uwagi krytyczne i dyskusyjne w niewielkim stopniu wpływają na wartość merytoryczną pracy i nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę dokonań Doktorantki.

Reasumując, stwierdzam jednoznacznie, że rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Golczak spełnia wszystkie kryteria ustawowe właściwe dla prac doktorskich i wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie Autorki do publicznej obrony pracy.

