

Poznań, 17 sierpnia 2022 roku

dr hab. inż. Szymon Woziwodzki  
Politechnika Poznańska  
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej  
Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej  
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań

## Recenzja rozprawy doktorskiej

Pana mgr inż. Krzysztofa Wójcika pt.:

*Optymalizacja procesu produkcji preparatów do kondycjonowania wody przemysłowej z tendencją do pienienia się*

### 1. Podstawa opracowania

Recenzję wykonałem na podstawie pisma Pani Prodziekan Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie dr hab. inż. Beaty Zielińskiej, prof. ZUT z dnia 8 lipca 2022 roku.

### 2. Przedmiot opracowania

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Wójcika powstała na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Rafała Rakoczego, pełniącego obowiązki Promotora oraz Pani mgr inż. Małgorzaty Sekuły-Wybańskiej z ESC Global sp. z o.o. pełniącej funkcję opiekuna pomocniczego ze strony przedsiębiorstwa. Rozprawa doktorska powstała w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy” (edycja I) finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Wójcika obejmuje łącznie 102 strony, w tym spis treści, spis najważniejszych oznaczeń, streszczenie w języku polskim i angielskim, wstęp, 6 rozdziałów, oraz bibliografię. W rozprawie zawarto 44 rysunków, 20 tabel oraz 114 odniesień literaturowych. Ilość stron rozprawy, jak i jej układ, tj. kolejność rozdziałów, proporcje między poszczególnymi rozdziałami są zgodne z ogólnie przyjętymi zasadami redagowania i opracowywania rozpraw doktorskich.

Rozprawa dzieli się zasadniczo na dwie części tj. pierwszą stanowiącą studia literaturowe oraz określenie problemu wdrożeniowego (rozdział 2 i 3), oraz część eksperymentalną zawierającą rozdziały 4-5 w której sformułowano cel pracy doktorskiej, opisano materiały i metodykę badań, przedstawiono wyniki badań i ich dyskusję oraz podsumowanie i wnioski końcowe.

Rozdział 1 stanowi wstęp, w którym, w sposób zwięzły, Doktorant opisuje zastosowania preparatów biobójczych oraz bardzo ogólną charakterystykę preparatu ESCIDE służącego do ograniczania powstawania biofilmu w aparaturze procesowej. Ponadto Doktorant nakreślił ogólnie cel

wdrożeniowy pracy polegający na ograniczeniu zjawiska pienienia w procesie produkcyjnym preparatu.

Pienienie jest często spotykanym i niepożądanym zjawiskiem w trakcie mieszania różnych substancji. Nadmierne tworzenie się piany może ograniczać mieszanie mechaniczne poprzez zwiększenie objętości układu, powodując wydłużenie czasu mieszania i procesu, utrudnioną obsługę, zmniejszoną wydajność i problemy z czyszczeniem aparatury. Ponadto powietrze, może powodować zmętnienie, odbarwienie i inne niepożądane właściwości w zależności od produktu i zastosowania.

W celu ograniczenia pienienia stosuje się kilka sposobów takich jak zastosowanie środków odpieniających, zmniejszenie częstości obrotów mieszadła (o ile to możliwe), zastosowanie próżni, wykorzystanie mieszalników statycznych z recyrkulacją lub odpowiednie wprowadzanie składników do mieszalnika. W związku z tym podjęcie przez Doktoranta tematyki ograniczania pienienia w zastosowaniach przemysłowych uważam za celowe.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił studium literaturowe zagadnienia w tym podstawowe zagadnienia dotyczące kondycjonowania wody, mieszania, powstawanie piany. Doktorant wymienia kilka sposobów ograniczenia pienienia jak stosowanie mieszalników mechanicznych z przegrodami i odpowiednio dobranymi mieszadłami i ich częstością obrotów, zastosowanie mieszalników zaopatrzonych w rozbijacze piany, zastosowanie mieszania nieustalonego posuwisto-zwrotnego (Vibromixer) i ultradźwięków. Część dotycząca metod ograniczenia pienienia, które z punktu widzenia tematyki pracy doktorskiej są istotne, została przeprowadzona dosyć ogólnie, bez szerszego omówienia metod i ich zastosowania. Pominęto tutaj inne sposoby ograniczenia pienienia jak zastosowanie mieszalników statycznych, odpowiednio zaprojektowanych wlotów i sposobów wprowadzania substancji powierzchniowo-czynnych czy zastosowanie próżni. Pozostawia to z punktu widzenia tematyki pracy duży niedosyt.

W podrozdziale 2.4 zamieszczono analizę patentową dla mieszalników z ruchem posuwisto-zwrotnym. Podobnie jak poprzednio przegląd ma charakter raportu bez dokładniejszego omówienia zastosowanych rozwiązań.

W podrozdziale 2.5 mgr inż. Krzysztof Wójcik zawarł przegląd prac związanych z mieszaniem, w którym mieszadło wykonuje ruch posuwisto-zwrotny. Niestety podobnie jak w przypadku metod ograniczenia pienienia wykonany przez Doktoranta przegląd ma charakter raportu, w którym wymienia się poszczególne publikacje bez głębszej analizy uzyskanych w nich wyników. Z analizy tej wynika jakie mieszadła zwykle są stosowane, aczkolwiek brak analizy wpływu amplitudy ruchu posuwisto-zwrotnego oraz jego częstotliwości, brak omówienia wpływu ruchu nieustalonego na moc mieszania czy czas mieszania w odniesieniu do mieszania ustalonego. Doktorant pominął niektóre publikacje, które z punktu mieszania posuwisto-zwrotnego są ważne. Mowa tutaj o zastosowaniu takiego ruchu w procesach wymiany masy w reaktorach, ekstraktorach czy krystalizatorach (np. Ni et al. 2003, Briggs et al. 2015, McGlone et al. 2015, Solano et al. 2012, Smith i Mackley 2006).

W podrozdziale 2.6 przedstawiono analizę hydrodynamiki pracy mieszalnika z mieszadłem wykonującym ruch posuwisto-zwrotny. Zagadnienie cyrkulacji cieczy w takim mieszalniku jest niezwykle istotne z punktu widzenia zapotrzebowania na moc mieszania, czas mieszania jak również

wymianę masy. Na stronie 23 Autor stwierdza, że brak jest publikacji z zakresu numerycznej mechaniki płynów dla mieszadeł posuwisto-zwrotnych a kilka zdań później stwierdza, że istnieje praktycznie tylko jedna publikacja w tym zakresie (Wójtowicz 2017). Na jej podstawie Doktorant przedstawił rozkład prędkości przepływu cieczy oraz mapy wektorowo-konturowe w mieszalniku z mieszadłem dyskowym pełnym i perforowanym. Podrozdział ten pozostawia niedosyt, tym bardziej że przedstawione wyniki nie zostały w głębszy sposób omówione.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawił charakterystykę problemu wdrożeniowego poczynając od profilu działalności firmy ESC Global sp z o.o. (...) Podczas etapu 2 i 3 stwierdzono występowanie niepożądanego pienienia.

Rozdział 4 zawiera cel pracy polegający na optymalizacji procesu produkcji preparatu ESCIDE i zaprojektowaniu nowego mieszadła wykonującego ruch posuwisto-zwrotny. Zastosowanie nowego mieszadła ma ograniczyć lub zlikwidować pienienie w trakcie procesu produkcyjnego. Zakres szerokich badań przeprowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej obejmuje:

1. Ocenę zdolności pianotwórczej i trwałości piany komponentów służących do produkcji preparatu ESCIDE
2. Wykonanie symulacji numerycznych z zastosowaniem techniki CFD dla istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego mieszalnika, który jest stosowany w procesie produkcji preparatów pieniących się.
3. Zaprojektowanie i wykonanie mieszalnika w skali laboratoryjnej, który będzie bazował na mieszalniku stosowanym przez ESC Global sp. z o.o. w skali przemysłowej (mieszalnik E).
4. Opracowanie nowego typu mieszadła wykonującego ruch posuwisto-zwrotny.
5. Wykonanie prototypowego mieszadła w skali laboratoryjnej i skali wielkolaboratoryjnej z wykorzystaniem techniki cięcia laserowego.
6. Dla opracowanych konstrukcji mieszalników w skali laboratoryjnej i wielkolaboratoryjnej przeprowadzono badania związane z zapotrzebowaniem na moc mieszania i czasem mieszania.
7. Dla mieszalników w skali laboratoryjnej i wielkolaboratoryjnej oraz w reżimie ciągłym wykonano badania pozwalające na określenie stopnia zmieszania. Ustalenie wartości tego parametru pozwoli na przeprowadzenie.

Przedstawiony powyżej zakres badań oceniam jako ambitny.

Rozdziały 5 i 6 stanowią część eksperymentalną. Rozdział 5 zatytułowany „Materiały i metody” zawiera opis metod zastosowanych w etapie eksperymentalnym takich jak ocena zdolności pianotwórczej i trwałości piany, pomiar czasu opadania piany, analizę numeryczną mieszania, badania mocy i czasu mieszania. (...).

W podrozdziale 5.3 przedstawiono metodykę analizy numerycznej procesu mieszania. Zostały one przeprowadzone z wykorzystaniem komercyjnego programu ANSYS Fluent 19. Wykonane w ramach pracy doktorskiej symulacje wykorzystano do analizy warunków hydrodynamicznych panujących w mieszalniku. W symulacjach Doktorant zastosował model burzliwości  $k-\epsilon$ , który jest chętnie wykorzystywany w symulacjach procesu mieszania.

Podrozdział 5.4 przedstawia zasady przeprowadzonej zmiany skali z przemysłowej do laboratoryjnej a podrozdział 5.5 opisuje metodykę pomiarów mocy mieszania. Badania mocy i czasu mieszania (punkt 5.5.1 i 5.5.2) przeprowadzono dla mieszalnika z mieszadłem wykonującym ruch posuwisto-zwrotny.

W podrozdziale 5.6 omówiono metodę analizy dynamicznej procesu mieszania a w podrozdziale 5.7 informacyjny stopień zmieszania.

Rozdział 6 przedstawia wyniki eksperymentalne a rozdział 7 podsumowanie i wnioski.

### 3. Uwagi

Podczas czytania rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Wójcika nasunęły mi się uwagi i pytania. Jedne mają charakter ogólny i nie wymagam ustosunkowania się Doktoranta a drugie, z mojego punktu widzenia, wymagają komentarza/odpowiedzi.

#### UWAGI OGÓLNE

Poniższe uwagi dotyczą niejasnych sformułowań, błędów edytorskich, błędów w równaniach, skrótów myślowych lub sformułowań zbyt ogólnych.

1. Str. 12, rys. 2.1, czy zdjęcia biofilmu są własne? Czy pochodzą z innego źródła? Nie wiadomo.
2. Str. 15, ostatni akapit. Autor opisując mieszalniki z mieszadłami obrotowymi pisze, że mieszalniki te charakteryzują się niską intensywnością mieszania? Jak Autor definiuje intensywność mieszania? Kiedy według Autora wytwarza się tzw. lej centralny? Czy wytwarzanie leja centralnego zależy od typu mieszadła (np. dla mieszadeł turbinowych lub śmigłowych a dla mieszadeł typu „hydrofoil” już nie? Czy w mieszalnikach mechanicznych występuje jedynie ruch okrężny cieczy? Te sformułowania są niejasne, nie wiadomo co Autor miał na myśli.
3. Str. 17 „Nieodpowiednie dobranie mieszalnika może prowadzić do formowania kawern gazowych oraz występowania zjawiska zachłystywania mieszadła gazem...”. Formowanie kawern gazowych ma miejsce w przypadku mieszania układów dwufazowych gaz-ciecz. Największy wpływ na ich występowanie oraz wielkość mają kształt łopatek mieszadła oraz wydatek gazu. Nie jest wiadomo co Autor miał na myśli pisząc o odpowiednim dobraniu mieszalnika. Czy dobór mieszalnika będzie miał wpływ na zachłystywanie mieszadła gazem?
4. Tabela 2.3. Brak odwołania w tekście
5. Str. 19. Autor pisze o czynnikach sprzyjających pienieniu się: kawernach gazowych oraz zachłystywaniu mieszadła gazem. Oba czynniki występują podczas mieszania układów gaz-ciecz podczas gdy w pracy mieszanie prowadzi się tylko w fazie ciekłej. Czynniki te miałyby znaczenie, gdyby w mieszalniku bez przegród wir centralny osiągnąłby poziom mieszadła. Tego się jednak unika.
6. Str. 24, ostatni akapit. Nie jest jasne co Autor miał na myśli pisząc „mieszadło pracujące w ruchu posuwisto-zwrotnym zmienia udział objętości cieczy nad i pod dyskiem mieszadła”

7. Str. 25. Podsumowanie ma charakter ogólny bez konkretnych informacji.
8. Str. 33. „Układy tego typu tworzy się w wyniku mechanicznego rozproszenia cząsteczek w gazie”? Nie wiadomo jakie cząsteczki Autor ma na myśli?
9. Str. 35, czwarty akapit. Autor wykonał dodatkowy pomiar pianotwórczości po czasie 10min. Nie jest jasne, dlaczego? Jakie obserwacje wymusiły pomiar po 10 min?
10. Str. 37, podrozdział 5.2. Pomiary czasu opadania piany przeprowadzono w mieszalniku wielkolaboratoryjnym, jednakże nie podano wymiarów takiego mieszalnika. Ze względu na czytelność pracy zalecane jest omówienia w pierwszej kolejności stanowiska pomiarowego a później metod i metodyki pomiarowej.
11. Str. 38, 50, 70, 72, 78. Na wymienionych stronach Autor podaje, że dane szczegółowe dotyczące jakości siatek numerycznych, pomiarów siły w osi wału mieszalnika, dotyczące zmian przewodności oraz obliczeniami czasu mieszania jak i krzywych RTD zostały umieszczone w repozytorium Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Autor nie podał w bibliografii linku do wymienionych zasobów jak również na dzień pisania niniejszej recenzji (17-08-2022) nie znalazłem wspomnianych danych na stronie repozytorium ZUT. Na moją prośbę brakujące materiały zostały jednak dostarczone pocztą elektroniczną.
12. Str. 43. Pomiar czasu mieszania polegał na wstrzyknięciu traseru (roztwór NaCl) i rejestracji zmian przewodnictwa roztworu. Była to zatem metoda konduktometryczna która jest metodą fizyczną a nie chemiczna jak pisze Autor. Do metod chemicznych zaliczyć można metody wymagające reakcji chemicznej, której tutaj nie było, np. pH-metryczna. Autor nie podaje również miejsca wstrzyknięcia traseru.
13. Str. 47, wzór (5.9). W liczniku po prawej stronie równania powinno być  $c(\tau_i)$ .
14. Brak wyjaśnienia symboli,  $t$ ,  $\bar{t}$ ,  $\theta_{RTD}$ ,  $p(x_i)$ ,  $c'(t)$
15. Str. 48, równanie (5.17) powinno być (Brak konsekwencji w stosowaniu symboli.):
 
$$H = - \sum_{i=1}^n E(\theta_{RTD}) \Delta\theta_{RTD} \ln\{E(\theta_{RTD}) \Delta\theta_{RTD}\}$$
16. Str. 49., równanie (5.20) powinno być (Brak konsekwencji w stosowaniu symboli.):
 
$$M = \frac{- \sum_{i=1}^n E(\theta_{RTD}) \Delta\theta_{RTD} \ln\{E(\theta_{RTD}) \Delta\theta_{RTD}\}}{H|_{max}}$$
17. Str. 49, równanie (5.21). Czy nie powinno być
 
$$E(\theta_{RTD})|_{CSTR} = e^{-\theta_{RTD}}$$
 Podobnie w równaniach 5.22 i 5.23  $\theta_{RTD}$  zamiast  $\theta$ . Brak konsekwencji w stosowaniu symboli.
18. W pierwszym etapie przeprowadzono symulacje CFD dla mieszalnika w skali przemysłowej (mieszalnika E). Mieszalnik E posiada trzy mieszadła rozmieszczone na wspólnym wale co  $90^\circ$  (krzyżowo) oraz dodatkowo zamontowane niecentrycznie. Tymczasem zaprezentowane rysunki 6.1a-d wydają się przedstawiać mieszalnik z mieszadłami nie ułożonymi na sposób krzyżowy i dodatkowo zamontowanymi centrycznie. Z czego wynikała różnica? Dlaczego przeprowadzono symulacje dla takiego układu? To nie zostało wyjaśnione.
19. Str. 51 i 52, pierwszy paragraf. Uzyskane wyniki mają charakter oczywistych i na dobrą sprawę przeprowadzenie symulacji CFD nie było potrzebne.

20. Str. 51, rys. 6.2. Czy rysunek 6b przedstawia dolne mieszadło? Ma ono średnicę mniejszą od mieszadła środkowego i górnego, tymczasem na rysunku wydaje się mieć porównywalne z pozostałymi mieszadłami? Prawdopodobnie doszło do pomyłki w oznaczaniu rysunków.
21. Str. 52. Na jakiej podstawie Autor formułuje wniosek, że zastosowanie przegród spowoduje otrzymanie produktu o niewystarczającej jakości. Stwierdzenie, że pojawiają się strefy o zmniejszonej prędkości przepływu jest ogólne i niewystarczające, gdyż takie same strefy będą występowały w mieszalniku E jaki mieszalniku z mieszadłem wykonującym ruch posuwisto-zwrotny.
22. Str. 55. Wynikiem pracy doktorskiej jest projekt nowego mieszadła wykonującego ruch posuwisto-zwrotny. Na podkreślenie zasługuje fakt, że rozwiązanie to zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego RP (P.440331). Na wspomnianej stronie Autor pisze „Szczegółowy opis rozwiązania konstrukcyjnego mieszadła i mieszalnika oraz zasada działania wynalazku zostały podane w wspomnianym powyżej opisie zgłoszenia patentowego.” Niestety dostęp do opisu zgłoszenia patentowego przez recenzenta był utrudniony. Na stronie Urzędu Patentowego w rejestrach nie widnieje takie zgłoszenie (stan na dzień 17-08-2022). Należy jednak brać możliwe opóźnienia w aktualizacji baz danych Urzędu. Na prośbę recenzenta promotor rozprawy doktorskiej dostarczył potwierdzenie zgłoszenia patentowego. Zaproponowane mieszadło składało się z trzech części: górnej tarczy, środkowego pierścienia i dolnej tarczy. Mieszadło zostało wykonane w kilku wariantach A-E (rys. 6.2) a wymiary zostały zaprezentowane na rys. 6.9. Górna i dolna tarcza występowały w wariantach perforowanych i pełnych. Niestety Autor nie pokusił się o wprowadzenie wielkości określającej ilość otworów np. jako stosunek powierzchni otworów do powierzchni tarczy.
23. Str. 57, rys. 6.8. W jaki sposób Autor określił cyrkulację cieczy w mieszalniku z mieszadłem posuwisto-zwrotnym? Czy są one wynikiem badań własnych czy też na podstawie danych literaturowych? Nie zostało to wyjaśnione.
24. Str. 62, wyniki mieszania i tworzenia piany dla mieszalnika w skali laboratoryjnej bez przegród, z przegrodami i z substancją antypianą po czasie  $t=0$  i  $t=15\text{min}$  oraz preparatu ESCIDE, DDQ i QAC. Bezpośrednie porównanie ilości piany byłoby bardzo interesujące. Wskazane byłoby dodanie wykresu pokazującego ilość piany dla mieszalnika z przegrodami, bez przegród i z substancją antypianą. W jaki sposób wprowadzano składniki do mieszalnika? Czy sposób wprowadzenia może mieć wpływ na ilość piany? Czy sposób wprowadzania składników był taki jak na rysunku 6.28b? Tych informacji nie podano.
25. Str. 69, wzór (6.9) oraz str. 72 wzór (6.13). Prawa strona równania stanowi liczba Reynoldsa dla której średnica nie występuje w kwadracie.
26. Str. 70. Zaprezentowano wyniki pomiarów mocy mieszania dla konfiguracji A i B na rysunku 6.23 i tabeli 6.5. Przedstawione wyniki wskazują, że liczba mocy dla mieszania posuwisto-zwrotnego i mieszadła o konfiguracji B (największy stopień perforacji) jest blisko trzykrotnie większa niż dla mieszadła z tarczami pełnymi. Dane literaturowe wskazują, że perforacja powinna powodować zmniejszenie zapotrzebowania na moc mieszania. Przedstawione dane nie zawierają podstawowej statystyki, a biorąc pod uwagę rozrzut danych eksperymentalnych jej uwzględnienie byłoby oczekiwane.
27. Str. 71. Niepoprawne cytowanie książki. Jest trzech edytorów Paul, Atiemo-Obeng i Kresta. Książka została wydana w 2004 roku a nie 2003.

28. Str. 81 i 82, rysunki 6.10 i 6.11. Wykresy są nieczytelne i trudno jest dociec, czy istnieje wpływ częstotliwości oscylacji i jej amplitudy.

#### UWAGI WYMAGAJĄCE USTOSUNKOWANIA

1. Problem wdrożeniowy, który Autor stara się rozwiązać jest pienienie się w trakcie produkcji preparatu ESCIDE. (...).

Mieszanie mechaniczne prowadzi się w mieszalniku z mieszadłami łopowymi (zamontowanie krzyżowe) określanym jako mieszalnik E. Mieszalnik z dnem elipsoidalnym nie jest zaopatrzonej w przegrody a mieszadła umiejscowione są niecentrycznie (stopień niecentryczności (e/D) wynosi około 0,106). Zgodnie z rysunkiem 3.2 (str. 28) mieszadło dolne ma średnicę 427 mm oraz dwie łopatki proste, mieszadło środkowe średnicę 840 mm i dwie łopatki pochylone pod kątem 69° oraz mieszadło górne o średnicy 834 mm i pochyleniu łopatek 66°. W tej części nie znalazłem informacji o stosowanej w procesie produkcyjnym częstości obrotów mieszadła, jak również podstawowych parametrów fizykochemicznych składników jak i samego preparatu ESCIDE mimo tego, że na str. 32 Autor stwierdza „Istotny wpływ na powstawanie piany w trakcie procesu produkcyjnego mają również parametry fizykochemiczne takie jak: pH, lepkość, gęstość i napięcie powierzchniowe”. Uważam te informacje za podstawowe, które powinny znaleźć się w rozprawie doktorskiej.

Informacje dotyczące technologii produkcji preparatu ESCIDE są przedstawione w sposób podstawowy, co z jednej strony tłumaczyć można poufny charakter pracy, jednakże informacje dotyczące np. kolejności podawania poszczególnych składników do mieszalnika, jak również sposobu ich podawania mogą mieć istotne znaczenie z punktu tworzenia się nadmiernej ilości piany. Rysunki mieszalnika 3.1 i 3.2 (str. 28) nie pozwalają na wyciągnięcie jakichkolwiek wniosków. Z opisu problemu wdrożeniowego nie wynika również, ile piany otrzymuje się w trakcie procesu produkcyjnego oraz jaki poziom pienienia jest akceptowalny przez firmę ESC Global sp. z o.o.

2. Str. 35, trzeci akapit. Autor zastosował modyfikację metody ASTM D1173-07(2015) polegającą na zmianie temperatury badania z 50°C na 20°C ze względu na temperatury panujące w hali produkcyjnej. Czy temperatura w hali produkcyjnej zawsze wynosiła około 20°C w okresie zimowym i letnim? Jaka była temperatura cieczy w mieszalniku?
3. Str. 37, ostatni akapit. W jaki sposób mierzono wysokość piany w mieszalniku wielkogabarytowym? Czy w trakcie pomiaru mieszadło obracało się? Nie podano informacji w jakich punktach mieszalnika badano wysokość piany?
4. Str. 38. Czy i w jaki sposób weryfikowano zastosowany model burzliwości?
5. Str. 41, równanie (5.5). Bezwymiarowy czas mieszania  $\Theta$  jest odniesiony do średnicy mieszalnika D. Dlaczego Autor nie odniósł jej do średnicy mieszadła d? Zwykle bezwymiarowy czas mieszania jest określany jako
- $$\Theta = \frac{nt_{95}}{Re} = \frac{t_{95}\eta}{d^2\rho}$$
6. Str. 43. Stężenie traseru NaCl wynosiło 26%. Z czego to wynikało? Czy zaobserwowano wpływ stężenia na pracę elektrody konduktometrycznej? Ile wynosiła stała czujnika ECF-1t? (w pracy nie podano). Autor pisze, że zastosowano system wprowadzania traseru, ale nie podaje żadnych szczegółów. Na czym polegał ten system? Czy czas wprowadzania traseru wynoszący 20s nie był

zbyt długi??

Zastosowano również cztery czujniki pomiarowe? Jakiego było ich dokładne położenie. Wskazane byłoby pokazanie ich położenia na rysunku mieszalnika w rzucie górnym.

7. Str. 62. Wyniki tworzenia piany zostały przeprowadzone w mieszalniku laboratoryjnym dla częstości obrotów  $n=370$  rpm. Czy taka sama częstość obrotów stosowana była w mieszalniku o skali przemysłowej? Czy też częstość obrotów mieszadła została tak dobrana, aby zachować stałą wartość liczby Reynoldsa? Proszę o komentarz
8. W tabeli 6.3 na stronie 69 Autor przedstawił wartości minimalne i maksymalne liczby Reynoldsa. Brak jest informacji w jaki sposób zostały one uzyskane? Proszę o komentarz
9. Str. 71, równanie (6.10). Zgodnie z opisem przedstawionym przez Autora  $c_0$  jest początkowym stężeniem znacznika w roztworze. Skoro znacznik, zgodnie z procedurą, dodaje się do czystego roztworu to należy rozumieć, że  $c_0=0$ . Proszę o komentarz.
10. Str. 72-73. Doktorant przedstawił wyniki analizy czasu mieszania w mieszalniku laboratoryjnym i wielkolaboratoryjnym z mieszadłem posuwisto-zwrotnym. Zaprezentowano dwa wykresy dla konfiguracji A i B oraz równania korelacyjne dla bezwymiarowego czasu od liczby Reynoldsa. Z opisu wyników badań nie wynika dla której konfiguracji uzyskano najkrótsze i najdłuższe czasy. Czy zaobserwowano efekt amplitudy oraz częstotliwości oscylacji?  
Równania korelacyjne 16a-e jak również 6.15a-b można uprościć np. w mianowniku.  
Doktorant przedstawił podstawową statystykę w postaci współczynnika  $R^2$ . Wskazane byłoby pokazać np. wykres zależności wartości przewidywanych od otrzymanych wraz z współczynnikiem zmienności. Niestety uzyskane wyniki nie zostały szczegółowiej omówione.
11. Str. 74-77, symulacje CFD dla mieszadła posuwisto-zwrotnego. Symulacje zostały wykonane z założeniem, że mieszadło nie porusza się i stanowi przegrodę dla poruszającego się płynu. Jakimi były warunki brzegowe dla przepływu płynu? Z czego wynikają zwiększone prędkości przepływu w obszarze nad mieszadłem?
12. Str. 80, drugi akapit. Autor stwierdza, że w mieszalniku wielkolaboratoryjnym perforacje nie wpłynęły pozytywnie na hydrodynamikę mieszalnika a obszary zastoju nie zostały wyeliminowane. Z drugiej strony wyniki CFD wskazują na poprawę cyrkulacji w obszarze poniżej mieszadła i ograniczenie występowania obszarów o zmniejszonej prędkości. Poza tym na stronie 83 Doktorant stwierdza, że widomo czasu przebywania jest zbliżone do wymieszania idealnego. Proszę o komentarz.

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma charakter poufny i może z tego wynika fakt, że Doktorant nie przedstawił w sposób klarowny wszystkich niezbędnych informacji. Z pewnością większą uwagę powinien poświęcić uporządkowaniu stosowanej metodyki oraz odważniej wyciągać wnioski z otrzymanych wyników. Przedstawione przeze mnie uwagi i komentarze nie podważają wartości wdrożeniowej rozwiązania zaproponowanego przez Autora.

Niewątpliwie na uwagę zasługuje szeroki aspekt rozprawy doktorskiej poczynając od projektowania nowego mieszadła, układu napędowego, poprzez projekty nowych mieszalników aż do symulacji CFD i badań eksperymentalnych. Stwierdzam, że założony cel pracy został spełniony a Autor wykazał się



znajomością zagadnień związanych z mieszaniem mechanicznym ustalonym oraz nieustalonym dobierając literaturę i zakres prac eksperymentalnych.

Rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Wójcika pt. „Optymalizacja procesu produkcji preparatów do kondycjonowania wody przemysłowej z tendencją do pienienia się” została wykonana w ramach programu Doktorat Wdrożeniowy finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki. Na podstawie przedstawionej do recenzji rozprawy stwierdzam, że praca mgr inż. Krzysztofa Wójcika spełnia cechy wdrożeniowe stawiane doktoratom wdrożeniowym a efektem pracy jest zgłoszenie patentowe P.440331 nt. Mieszadło i mieszalnik oraz możliwość wdrożenia rozwiązania w firmie ESC Global sp z o.o. Dodatkowo mgr inż. Krzysztof Wójcik jest współautorem trzech artykułów opublikowanych w czasopismach z listy MNiE ( $\Sigma M=210$ ). Ponadto jest współautorem 4 patentów przyznanych i czterech zgłoszonych.

Na podstawie powyższego stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Wójcika spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późniejszymi zmianami) tzn. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego jak i wdrożeniowego i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Wójcika przez Radę Dyscypliny - Inżynieria Chemiczna Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie do dalszych etapów postępowania.

*Szymon Woziwodzki*

Objaśnienie:

(...) fragmenty recenzji utajnione z uwagi na objęcie treści rozprawy doktorskiej tajemnicą prawnie chronioną.