

Kraków, dnia 25 sierpnia 2022 r.

Dr hab. inż. Ryszard Wójtowicz, prof. PK
Katedra Inżynierii Ciepłej i Procesowej
Politechnika Krakowska

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Wójcika pt. „Optymalizacja procesu produkcji preparatów do kondycjonowania wody przemysłowej z tendencją do pienienia się”

Promotor: prof. dr hab. inż. Rafał Rakoczy, Katedra Inżynierii Chemicznej ZUT

Opiekun pomocniczy ze strony przedsiębiorstwa (ESC Global sp. z o.o.):
mgr inż. Małgorzata Sekuła-Wybrańska

1. Treść pracy

Opiniowana praca ma charakter badawczy, przy czym badania mają charakter zarówno numeryczny (modelowanie numeryczne CFD) jak i eksperymentalny. Badania przeprowadzono dla klasycznych, mechanicznych mieszalników cieczy z wolnoobrotowymi mieszadłami łapowymi o skali laboratoryjnej i przemysłowej. Ponadto Doktorant w ramach pracy zaprojektował, wykonał i zoptymalizował nowy typ mieszalnika – mieszalnik wibracyjny z napędem umożliwiającym mieszadłom o specjalnej konstrukcji wykonywanie ruchu posuwisto-zwrotnego.

Celem badań we wszystkich przypadkach był dobór takiego aparatu (ew. jego optymalizacja), który przy stosunkowo małym zapotrzebowaniu mocy i w krótkim czasie będzie skutecznie niszczył (prowadził destrukcje) powstających podczas procesu mieszania struktur pianowych. Analizę przeprowadzono w dwóch wariantach: dla mieszalników zamkniętych oraz w aparatach o ciągłym przepływie mieszanych czynników, dla tzw. mieszalników przepływowych.

Oczywistym faktem jest, że powstawanie piany na powierzchni mieszanych cieczy lub też nierzadko wewnątrz mieszanego układu (dwu lub nawet trójfazowego) jest często zjawiskiem niekorzystnym. Głównie ze względów procesowych, ponieważ wydatnie hamuje skuteczne dyspergowanie mieszanych składników i intensyfikuje rozwój powstawania często szkodliwych mikroorganizmów i bioosadów. Powstawanie piany ma również negatywny wpływ na działanie urządzeń mechanicznych i uszkodzenia ich elementów np. w systemach przepływowych (elementy pomp, przenośniki, aparatura kontrolno-pomiarowa).

Powstające w procesach produkcyjnych systemy pianowe często spowalniają produkcję i konfekcjonowanie niektórych produktów spożywczych, podczas wytwarzania których - z wiadomych względów – nie można użyć substancji chemicznych „niszczących” pianę. Zatem proces destrukcji piany bywa również istotny także ze względów ekonomicznych.

Całość pracy została zredagowana w ośmiu rozdziałach. Otwiera ją wstęp, w którym Autor opisuje specyfikę firmy ESC Global sp. z o.o. zajmującej się produkcją środków chemicznych do kondycjonowania wody przemysłowej stosowanej w układach chłodniczych i kotłowych. W dalszej części wstępu Autor uzasadnia konieczność opracowania biocydu ESCIDE, charakteryzuje w skrócie jego zalety, skład i dotychczas stosowaną metodę jego produkcji, podsumowując, że dotychczasowa produkcja ESCIDE w mieszalniku z mieszadłem obrotowym ze względu na powstawanie piany jest mało efektywna.

W drugim rozdziale omawia proces kondycjonowania wody i problemy techniczne i technologiczne występujące podczas tego procesu. Znaczna część tego rozdziału poświęcona jest samemu procesowi

mieszania, aparatom służącym do tego procesu – głównie do wytwarzania układów wielofazowych oraz problemowi tworzenia się piany w procesach produkcyjnych, przytacza wybrane artykuły wraz z opisem ich tematyki.

Istotną częścią analizy literaturowej – która moim zdaniem zainspirowała Autora do podjęcia tematu – jest bogata i szczegółowa analiza rozwiązań patentowych i prac badawczych poświęconych mieszalnikom z mieszadłami wykonującymi ruch posuwisto-zwrotny (mieszalnikom wibracyjnym). Autor zwraca uwagę na fakt, że mieszalniki takie wytwarzają zupełnie inną cyrkulację niż mieszalniki z mieszadłami obrotowymi, co może być przydatne i korzystne właśnie w procesie destrukcji piany.

Kolejne rozdziały to: cel i zakres pracy, metody i materiały oraz wyniki i ich dyskusja, które zostaną omówione w dalszej części recenzji.

Pracę kończy podsumowanie zawierające wnioski końcowe, po którym podano bibliografię ogólną i specjalistyczną. W pracy zestawiono również numery opisanych rozwiązań patentowych.

Całość pracy doktorskiej liczy 102 strony tekstu, 47 rysunków głównie w postaci zdjęć i schematów oraz 20 zestawień tabelarycznych.

2. Ocena merytoryczna pracy

Jak wcześniej wspomniano powstawanie piany w niektórych procesach inżynierii chemicznej i procesowej a także bioprocessach może być w wielu przypadkach zjawiskiem niekorzystnym. Tym bardziej słuszne jest podjęcie przez Doktoranta takiego tematu, zwłaszcza dlatego, że rozprawa dotyczy konkretnego zagadnienia/problemu przemysłowego i możliwości uzyskania patentu dla proponowanej konstrukcji mieszalnika.

W mojej ocenie mocną stroną recenzowanej pracy jest szeroki zakres prowadzonych badań: analiza i pomiary struktury powstałej piany i jej rozpadu, zaprojektowanie i wykonanie mieszalnika z mieszadłem łopowym w skali laboratoryjnej, odpowiednika tego używanego w przemyśle, projekt w dwóch skalach mieszalnika wibracyjnego oraz pięciu typów mieszadeł wykonujących ruch posuwisto- zwrotny. Świadczy to dużym doświadczeniu projektowym Doktoranta.

Podobnie Autor wykazał się dużym doświadczeniem badawczym i pomiarowym. Przeprowadzenie symulacji numerycznych CFD dla zaprojektowanych i wykonanych mieszalników, wykonanie pomiarów mocy i czasu mieszania oraz przedstawienie wyników, świadczy o Jego doświadczeniu w analizie danych i umiejętności wyboru istotnych informacji.

Układ całej pracy jest logiczny i metodologicznie poprawny a wyniki badań i obliczeń są spójne, starannie opracowane i przedstawione na wykresach oraz za pomocą równań korelacyjnych.

Brakuje mi jednak w pracy kilku istotnych informacji, które Doktorant mógłby uwzględnić w swoich przyszłych publikacjach.

W przypadku analizy struktury piany (rozdz. 5.1) mógłby szerzej opisać metody destrukcji piany (destrukcja w destruktorze mechanicznym z układem podwójnych dysków z łopatkami, destrukcja piany w aparacie kolumnowym ze złożem ziarnistym, itp.). Podobnie mógłby rozwinąć temat pomiaru opadania piany (rozdział 5.2), jaką metodą mierzono wysokość warstwy piany i korelowano to z czasem (wizualnie, fototosondy?) oraz jaka była idea rozmieszczenia punktów pomiarowych i doboru czasu pomiarów.

Myślę, że dla podniesienia walorów opisywanych badań w przyszłych publikacjach i prezentacji doktorskiej w części dotyczącej symulacji CFD (rozdział 5.3 i 6) powinny znaleźć się: przykładowy model mieszalnika z mieszadłem obrotowym z naniesioną siatką numeryczną, podobnie dla mieszalnika z mieszadłem wykonującym ruch posuwisto-zwrotny. Również zestawienie tabelaryczne parametrów opisujących jakość siatki numerycznej wraz z wpływem gęstości siatki na wyniki symulacji. Podobnie z modelem burzliwości. Samo lakoniczne określenie "zastosowano model $k-\epsilon$ " moim zdaniem jest zbyt ogólne. W grupie modeli $k-\epsilon$ jest kilka wariantów i należy wskazać który

został wybrany, bo często dają różne wyniki. Eksperymentalna weryfikacja przepływu wyznaczonego na podstawie CFD też – pewnie z braku możliwości pomiarowych – nie została wykonana, ale modelowanie CFD miało raczej charakter poglądowy i do wstępnych celów projektowych – moim zdaniem - to wystarczy. Z kolei można by w przyszłości zweryfikować pomiary mocy czujnikiem piezoelektrycznym za pomocą symulacji CFD wykorzystując wyznaczone numerycznie ciśnienie wywierane na pierścien i dyski mieszadła wibracyjnego. W przypadku mocy mieszania wibracyjnego dobrze byłoby pokazać również zmiany siły/mocy w czasie i bardziej szczegółowo opisać metodykę jej wyznaczania bo nie jest standardowa.

Kolejna moja uwaga dotyczy rozdz. 6.3. Na początku tego rozdziału przed rysunkami mieszadeł brakuje podstawowych informacji nt. częstotliwości i amplitudy wibracji mieszadeł (lub ich zakresu). Te parametry występują co prawda w dalszej części pracy ale – moim zdaniem – tę sekcję powinno się przesunąć na początek.

Dane przedstawione na rys. 6.23 $Po_{p-z}=f(Re_{p-z})$ wykazują stosunkowo duży rozrzut. Myślę, że dla aproksymacji prostą poziomą wyznaczonej liczby Ne należy policzyć również średnią wartość błędu względnego i w przyszłości zrobić badania dla większej liczby punktów pomiarowych, żeby bardziej precyzyjnie określić liczbę mocy dla optymalnego typu mieszadła. Podobnie w przypadku danych pokazanych na rys. 6.24 i 6.25 oraz tab. 6.6. współczynnik determinacji R^2 należy uzupełnić średnią wartością błędu względnego.

Szczególnie interesującym rozdziałem pracy – w mojej ocenie – jest jej rozdz. 6.5.4 „Wyniki badań związanych z informacyjnym stopniem mieszania”. Badany mieszalnik został przystosowany do pracy również w reżimie ciągłym (mieszalnik przepływowy). Przedstawiono odpowiednie krzywe RTD pozwalające na identyfikację charakterystycznych obszarów mieszania w mieszalniku. Wykonano również modelowanie CFD w takim mieszalniku z zaproponowanymi konstrukcjami mieszadeł. Mieszadła te jednak nie wykonywały ruchu posuwisto-zwrotnego lecz były stacjonarne i tworzyły w zasadzie przegrody. Jest to moim zdaniem pewne „niedociągnięcie” w pracy ponieważ dodatkowa implementacja w programie Ansys Fluent odpowiednio dobranej funkcji użytkownika UDF (User Defined Function), symulującej ruch mieszadła mogłaby dopiero pokazać w pełni pracę i przepływ generowany w mieszalniku przez każde z nich. Zwłaszcza rolę pierścienia, tarcz i rozmieszczenia otworów w tarczach.

Recenzowana przeze mnie praca posiada również drobne błędy edycyjne (literówki) oraz mało czytelną skalę np. w tab.. 6.8 i 6.9, ale generalnie nie obniża to jej wysokiej wartości naukowej, użytkarnej i dydaktycznej.

3. Wniosek końcowy

Oceniając pracę doktorską mgr inż. Krzysztofa Wójcika pt.: „Optymalizacja procesu produkcji preparatów do kondycjonowania wody przemysłowej z tendencją do pienienia się” stwierdzam, że spełnia ona wymogi stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1668 z późn. zm).

Stanowi samodzielne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego projektu i badań nowego typu mieszalnika wibracyjnego z mieszadłem wykonującym ruch posuwisto-zwrotny. Zakres pracy jest obszerny. Doktorant wykazał się wiedzą i umiejętnością prowadzenia pracy naukowej, uzyskując wyniki poszerzające dotychczasowy stan wiedzy w tej dziedzinie.

Zagadnienia podniesione w uwagach nie mają większego wpływu na uzyskane rezultaty, są polemiczne i dotyczą głównie spraw formalnych, a więc z punktu widzenia oceny całości – drugorzędnych.

Stawiam wniosek o przyjęcie tej pracy i dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Wójcika do jej publicznej obrony.

R. Wójtowicz