Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

dr hab. inż. Karol Prałat, profesor uczelni
Instytut Budownictwa
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, tel. +48 24 3672 143
e-mail: Karol.Pralat@pw.edu.pl, www.pw.plock.pl

Płock, 5 listopada 2020 roku

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Andżeliki Krupińskiej

pt. **„Analiza hydrodynamiki w rozpylaczach dwufazowych o przepływie zawirowanym".**

Podstawą prawną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Pani dr hab. inż. Ewy Kaczorek, profesor Politechniki Poznańskiej – Dziekan Wydziału Technologii Chemicznej, z dnia 6 października 2020 roku informujące o powołaniu przez Radę Dyscypliny Nauk Chemicznych Politechniki Poznańskiej mojej osoby na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Andżeliki Krupińskiej.

1. Treść i zakres rozprawy

Rozpylanie cieczy jest ważną operacją jednostkową wykorzystywaną na szeroką skalę w wielu gałęziach przemysłu. Znajduje zastosowanie m.in. w takich dziedzinach gospodarki jak: agrotechnika, energetyka, przemysł maszynowy, transport i komunikacja, inżynieria chemiczna, czy ochrona środowiska.

Rozpylanie stanowi interesujące zagadnienie zarówno dla praktyków jak i teoretyków. Wynikiem tego są liczne modyfikacje istniejących już komercyjnie rozpylaczy, poparte wieloma publikacjami naukowymi obejmującymi zarówno badania eksperymentalne, symulacje numeryczne jak i rozważania teoretyczne. Mimo nieustannie poszerzanych zasobów naukowych wiedza dotycząca procesu rozpylania, szczególnie w odniesieniu do rozpylania dwufazowego, jest wciąż mało satysfakcjonująca. Wynika to ze złożoności samego procesu rozpylania, interakcji pomiędzy obiema fazami, rozbieżności w stosowanych metodykach badawczych,

ograniczeń związanych z aparaturą pomiarową i różnorodności dostępnych rozwiązań konstrukcyjnych.

Aby rozpylona ciecz mogła zostać odpowiednio wykorzystana jej ruch musi odbywać się w sposób zamierzony. Oczekuje się, że powstały aerozol będzie charakteryzował się kroplami o żądanych średnicach, równomiernym pokryciem powierzchni, określonym zasięgiem i kątem rozpylania. Ważnym parametrem procesu rozpylania jest również współczynnik wypływu. Istotny jest także rozkład wielkości otrzymywanych kropel, który zależy od typu zastosowanego rozpylacza, parametrów jego pracy oraz właściwości rozpylanej cieczy. Rozpylacze dwufazowe o przepływie zawirowanym charakteryzują się dużą wydajnością i niezawodnością, przy jednocześnie zachowanej prostej konstrukcji. Pozwalają na otrzymanie aerozolu cechującego się kroplami o małych rozmiarach i lepszej jakości rozpylenia. Wykazują niską wrażliwość na właściwości reologiczne rozpylanej cieczy i zakres parametrów pracy. Pozwala to na ich szerszy zasięg aplikacyjny, przy zachowaniu aspektu ekonomicznego. Wprowadzenie drugiej fazy (powietrza) do komory wirowej umożliwia satysfakcjonujący rozpad strug lub błon cieczy na krople. Na podstawie dostępnej wiedzy można stwierdzić, że rozpylacze dwufazowe pozwalają na uzyskanie aerozolu o lepszej jakości tzn. wytwarzają drobniejsze krople o większej jednorodności niż klasyczne rozpylacze jednofazowe wirowe.

Praca została wykonana w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej oraz w Sieci Badawczej Łukasiewicz, w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu, pod opieką naukową Pana Promotora dr hab. inż. Marka Ochowiaka, profesora PP oraz Promotora Pomocniczego Pani dr inż. Sylwii Włodarczak. Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy ważnej, ze względów poznawczych, problematyki badania hydrodynamiki w rozpylaczach dwufazowych o przepływie zawirowanym.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Andżeliki Krupińskiej jest modyfikacja rozwiązań konstrukcyjnych rozpylaczy wykorzystujących ruch wirowy. Doktorantka wyznaczyła równania korelacyjne, pozwalające na opis procesu rozpylania zachodzącego w aparatach tego typu. Przeprowadziła szereg badań doświadczalnych dla różnych cieczy, w szerokim zakresie zmienności parametrów operacyjnych rozpylacza. Określiła wpływ właściwości rozpylanej cieczy, geometrii rozpylacza oraz warunków pracy rozpylacza na opory przepływu, kąt rozpylania, średnią średnicę kropli, objętościowe i promieniowe rozkłady średnic kropel w strumieniu aerozolu. Dodatkowo, wykonała także obliczenia numeryczne, w celu zwizualizowania analizowanego procesu oraz wyznaczenia wielkości prędkości przepływu. Przeanalizowała ponadto także wpływ położenia króćca doprowadzającego fazę gazową do komory wirowej na uzyskiwany efekt rozpylania. Doktorantka zaplanowała program badań, wykonała je i zasadniczej części pracy przeanalizowała uzyskane wyniki. Pani mgr inż. Andżelika Krupińska wykazała, że rozpylacze o zaproponowanej

konstrukcji mogą być interesującą alternatywą dla powszechnie stosowanych rozpylaczy ciśnieniowych czy rozpylaczy wirowych jednofazowych.

Rozprawa została przedstawiona w postaci 194 stronicowej monografii. Przedstawioną do recenzji pracę, składającą się z 6 rozdziałów, podzielić można na dwie zasadnicze części: część teoretyczną oraz część doświadczalną. Całość poprzedza rozdział zawierający wprowadzenie i cel pracy. Kończą natomiast podsumowanie, wnioski, wykaz cytowanego piśmiennictwa oraz charakterystyka osiągnięć naukowych doktorantki.

W tym miejscu należy nadmienić, iż Doktorantka jest aktywną naukowo osobą, co wynika z przedstawionego na końcu rozprawy zestawienia dotyczącego opublikowanych prac. Jest współautorką: 13 publikacji o zasięgu międzynarodowym i krajowym, 8 rozdziałów w książkach zagranicznych, 12 referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych, 26 recenzowanych komunikatów na konferencjach krajowych i zagranicznych, 16 posterów. Sumaryczny Impact Factor wynosi 19,884 co jest znaczącym w mojej ocenie, na tym etapie rozwoju naukowego, osiągnięciem Doktorantki.

Tytuł rozprawy oddaje w pełni jej zawartość. Pierwsze dwa rozdziały stanowią krótkie wprowadzenie oraz cel pracy, przedstawiając czytelnikowi w syntetyczny sposób konieczność podjęcia proponowanych przez Doktorantkę badań. Rozdział 3 przedstawia studia literaturowe dotyczące analizowanego zagadnienia (159 pozycji literaturowych). Przedstawiono w nim opis procesu rozpylania, zastosowanie rozpylaczy wirowych i ich konstrukcje, symulacje numeryczne procesu rozpylania, metody wyznaczania parametrów rozpylonej cieczy takich jak: współczynnik wypływu, kąt rozpylania, średnie średnice kropel, rozkład wielkości kropel, prędkość kropli. Bardzo liczny zbiór cytowanych prac dowodzi dużego nakładu pracy Autorki, która przejrzyście przedstawiła najważniejsze zagadnienia w części teoretycznej rozprawy.

Rozdział 4 omawia część eksperymentalną. Rozdział ten został podzielny na dwie główne części dotyczące pomiarów i stanowisk badawczych oraz substancji zastosowanych w badaniach. W rozdziale 5 (najobszerniejszym), Autorka dokonuje wnikliwej analizy otrzymanych wyników, natomiast w rozdziale 6 krótko wymienia najważniejsze wnioski. Praca napisana jest poprawnym językiem z niewielką liczbą usterek stylistycznych i redakcyjnych.

Doktorantka wnosi znaczący element nowości naukowej w obecny stan wiedzy. Przeprowadzone badania odznaczają się oryginalnością oraz potencjałem ich ewentualnego zastosowania w praktyce. Wyniki badań Doktorantki zostały udokumentowane z wykorzystaniem tabel, rysunków i zdjęć. Łącznie w całej pracy znajduje się 138 rysunków oraz 21 tabeli (statystycznie prawie na każdą stronę rozprawy przypada rysunek albo tabela).

2. Ocena merytoryczna rozprawy – uwagi ogólne

Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest modyfikacjom konstrukcyjnym rozpylaczy wykorzystującym ruch wirowy w szerokim zakresie zmienności ich

parametrów operacyjnych oraz pomiarom wielu parametrów kropel cieczy otrzymanych w aparatach tego typu. Cel pracy jest w znacznym stopniu wynikiem zainteresowań badawczych i dokonań Doktorantki, jak również twórczą kontynuacją badań prowadzonych przez Zespół kierowany przez Pana Profesora Marka Ochowiaka. Przedstawiona tematyka wypełnia i uzupełnia luki informacyjne, dlatego podjęte działania badawcze uważam za bardzo trafne i uzasadnione.

Stwierdzam, że Doktorantka zrealizowała zadeklarowane cele pracy. Uzyskane wyniki można uznać za wkład w rozwój prac badawczych związanych z aspektami przepływów wielofazowych oraz hydrodynamiki w rozpylaczach o przepływie zawirowanym. Do głównych osiągnięć Doktorantki zaliczyć należy:

- zaprojektowanie 9, różniących się geometrią, zmodyfikowanych rozpylaczy wykorzystujących ruch wirowy,
- analizę działania rozpylaczy o identycznych wymiarach ale odmiennym (innowacyjnym) umiejscowieniu króćca wlotowego gazu,
- wykazanie zależności pomiędzy geometrią rozpylacza, warunkami operacyjnymi, właściwościami rozpylanych cieczy, a uzyskiwanym efektem rozpylenia,
- wykazanie wpływu miejsca wprowadzenia fazy gazowej na przepływ wewnętrzny w rozpylaczu i uzyskany aerozol,
- propozycję równań korelacyjnych pozwalających na wyznaczenie podstawowych wielkości opisujących proces rozpylania: współczynnika wypływu, kąta rozpylania oraz średnią średnicę kropli.

3. Ocena strony formalnej rozprawy – uwagi szczegółowe

Recenzowaną rozprawę czyta się z zainteresowaniem, jest poprawna językowo, chociaż nie jest wolna od nielicznych błędów edytorskich. Poniżej podaję przykładowe uwagi:

- Rozdział 3.4. *Zastosowanie rozpylaczy wirowych*, opisujący wykorzystanie tych urządzeń w różnych gałęziach przemysłu, subiektywnym zdaniem recenzenta, powinien się znaleźć na początku pracy.
- Niezrozumiały jest opis osi *x* na rysunku 14 brak jednostki.
- W jednym fragmencie, rozsypany rysunek 17.
- Niefortunne sformułowania, których powinno się unikać w rozprawie: *Wzór (59) powstał na podstawie analizy przepływu zawirowanego...* s.101, *Zaproponowana korelacja powstała na podstawie modyfikacji równań przedstawionych w pracach Bohra...* s.112. Analogicznie s. 36 oraz s. 135.
- Podobnie niezbyt poprawnym jest określenie - *spadek ciśnienia na rozpylaczu* s. 30.
- Pomocnicze linie siatki na rysunkach 38-43, 103-113, 116 są zbędne subiektywnym zdaniem recenzenta i utrudniają odczyt rysunków. Mogłyby zostać

usunięte, a ich brak nie wpływałby na istotę przedstawianych danych eksperymentalnych.

- Rozdział 4.1. zatytułowany *Stanowisko badawcze* zawiera opis wszystkich stanowisk i urządzeń wykorzystywanych podczas prowadzenia eksperymentów. Lepiej było zastosować rozdział *Stanowiska badawcze*, a następnie podrozdziały z opisem kolejnych urządzeń.
- Podpis pod rysunkiem 30 - *Badane rozpylacze* – jest zbyt lakoniczny.
- Rozdział 4.2. *Płyny użyte w badaniach* chyba lepiej brzmiałyby *Płyny zastosowane w badaniach.*
- Opis Tabeli 14. *Informacje dotyczące badanych cieczy* nie jest precyzyjny. W tabeli przedstawione są substancje np. Na-CMC, których dopiero wodne roztwory są cieczami.

Powyższe uwagi nie mają znaczącego wpływu na ogólną ocenę pracy. Mają charakter porządkujący i powinny być użyteczne dla Autorki podczas przygotowywania artykułów do czasopism naukowych.

Drugą grupę stanowią uwagi o charakterze merytorycznym. Oczekiwałbym wyjaśnień Doktorantki podczas publicznej obrony pracy doktorskiej:

- Brakuje w pracy wyjaśnienia funkcji suwnicy w stanowisku do badania średnicy kropel. Czy jej długość jest znacząca w pomiarze? Czy istotny jest taki ruch dyszy rozpylacza po suwnicy? Jeśli tak, to dlaczego?
- Dla pomiarów średnicy cząstek cieczy innych niż woda, Doktorantka wspomina, iż istniała konieczność utworzenia krzywych kalibracyjnych stanowiska. Brakuje w mojej ocenie przedstawienia takich krzywych w pracy (s. 85).
- Dlaczego zastosowano stężenia gliceryny 46%, 59%, 69%? Skąd taki wybór stężeń?
- Doktorantka w swojej pracy bada różne warianty rozpylaczy oznaczonych symbolami SA-1, SA-2,..., SA-9. Nie jest dokładnie opisany sposób przedstawiania wyników badań. Dlaczego np. na rysunku 44 przedstawiającym zależność wartości liczby zawirowań od modułu GLR, zależność ta jest tylko pokazana dla rozpylacza SA-1? Natomiast na rysunku 48, przedstawiającym zależność promienia rdzenia gazowego w funkcji liczby Reynoldsa dla cieczy, przy różnych liczbach Reynoldsa gazu, pokazano wyniki dla rozpylacza SA-3? Rysunki 54 i 55 natomiast przedstawiają badania dla rozpylacza SA-1, a rysunek 60: SA-1, SA-2, SA-7, SA-9? Rysunek 62 zwiera dane dla rozpylacza SA-7. Seria wykresów płaszczyznowych 65-68 również przedstawia wyniki dla rozpylaczy SA-1, SA-2, SA-6 oraz SA-7 itd. Takich wykresów jest kilkanaście w pracy np. Rys. 69, Rys. 76-79, Rys. 82, Rys. 83, Rys. 89-91, Rys. 93 i 94, itd.
  Skąd taka dowolność w doborze przedstawiania wyników badań? Brakuje w pracy komentarza wyjaśniającego takie działanie.

- Czy nie byłoby ciekawym zestawienie zależności kąta θ w funkcji Re_g np. dla 0,1% roztworu Na-CMC dla wszystkich rodzajów rozpylaczy? Brakuje w mojej ocenie takiego porównania.
- Na rysunkach 71 oraz 72, zestawiono wyniki badań *wartości współczynnika wypływu w funkcji liczby Reynoldsa*, różnych autorów jak również wyniki własne zaproponowanej korelacji (69) dla rozpylacza SA-1. Czy dla innych rozpylaczy, ten wzór również dobrze się sprawdza?
- Czy zauważony przez Autorkę spadek promienia rdzenia gazowego w funkcji liczby Reynoldsa (Rys. 48), jest Jej zdaniem duży? Przy wartości liczby Re_g = 2830 wielkość promienia zmieniła się o 0,06mm. Przy innych wartościach liczby Reynoldsa, różnica ta jest jeszcze mniejsza.

Powyższe uwagi, w najmniejszym stopniu nie podważają wartości poznawczej i aplikacyjnej recenzowanej dysertacji, a stanowią jedynie podstawę do dyskusji podczas publicznej obrony pracy doktorskiej i są poczynione z obowiązku recenzenta. W mojej opinii przedstawiony w rozprawie materiał spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Uwzględniając aktualność podjętej tematyki, trafność zdefiniowanego celu oraz poprawność wnioskowania, pozytywnie oceniam rozprawę doktorską pt.: *Analiza hydrodynamiki w rozpylaczach dwufazowych o przepływie zawirowanym.* Złożoność problemów z jakimi spotkała się Doktorantka realizując recenzowaną rozprawę, wymagała od Niej dużej wiedzy teoretycznej oraz umiejętności praktycznych niezbędnych do prowadzenia badań eksperymentalnych. Należy w tym miejscu podkreślić na pewno duży nakład pracy Autorki rozprawy, w przeprowadzenie wszystkich założonych pomiarów. Sposób zaplanowania i prowadzenia badań oraz ich analiza świadczą o dużej wiedzy i kompetencjach. Uważam, że Doktorantka zrealizowała założony cel swojej pracy.

Podsumowując stwierdzam, iż recenzowana przeze mnie praca Pani mgr inż. Andżeliki Krupińskiej spełnia podstawowe wymogi stawiane doktorantom w dziedzinie nauk technicznych. Tym samym wnoszę do Wysokiej Rady Dyscypliny Nauk Chemicznych Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów postępowania doktorskiego. Z uwagi na bardzo dobry dorobek naukowy Doktorantki, wnoszę również do Wysokiej Rady o wyróżnienie ocenianej dysertacji.

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA, MECHANIKI
I PETROCHEMII

Karol Prałat

DR HAB. INŻ. KAROL PRAŁAT. PROF. UCZELNI
KIEROWNIK ZAKŁADU INŻYNIERII SANITARNEJ I OCHRONY ŚRODOWISKA