

Prof. dr hab. inż. Andrzej Gierczycki
Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego
Wydział Chemiczny
Politechnika Śląska

Gliwice 8.01.2020 r.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina PIĄTKA
pt. „Opis morfologii oraz wyznaczenie współczynników transportu
pędu, ciepła i masy dla pian stałych”

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo Pani dr hab. inż. Julity Mrowiec-Białoń, Przewodniczącej Komisji ds. Przewodów Doktorskich Instytutu Inżynierii Chemicznej PAN z dnia 4 listopada 2019 roku. Po wstępnej analizie treści rozprawy stwierdzam, że jej tematyka mieści się w zakresie moich zainteresowań naukowych, co pozwala mi podjąć się opracowania recenzji. Równocześnie oświadczam, że nie posiadam wspólnych publikacji z Doktorantem.

Omówienie pracy i uwagi ogólne

Piany stałe są coraz częściej stosowane w procesach wymiany ciepła i masy ze względu na swoje atrakcyjne właściwości, do których można zaliczyć wysoką porowatość, relatywnie niewielki ciężar właściwy (spowodowany porowatością), dużą powierzchnię właściwą, małe opory przepływu, a także łatwość osadzania katalizatora na powierzchni piany. Pomimo tych zalet, jak wynika z literatury przedmiotu, zjawiska zachodzące w pianach podczas przepływu mediów oraz wymiany ciepła i masy nie są zadawalająco przebadane i opisane. Z tego powodu

uważam, że wybór tematyki badawczej za celowy i w pełni uzasadniony z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

Recenzowana rozprawa ma charakter eksperymentalny, liczy łącznie 127 stron i składa się z siedmiu rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, obszernego i aktualnego spisu literatury zawierającego 159 pozycji, spisu oznaczeń oraz siedmiu załączników (od A1 do A7). Po spisie literatury, Autor podał listę publikacji, w których jest współautorem oraz konferencji, w których uczestniczył, tematycznie związanych z pracą.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Charakterystyka pian stałych” Autor opisał metody otrzymywania pian, przedstawił ich właściwości oraz najważniejsze zastosowania. Ze względu na specyficzne cechy pian zastosowania te są bardzo ciekawe i szerokie. Piany stosuje się w metalurgii jako filtry, w produkcji szkła i cementu jako izolację termiczną pieców, jako radiatory mikroprocesorów dużej mocy, w elewacji budynków, jako elementy konstrukcje w przemyśle samochodowym, lotniczym i budownictwie, jako części palników gazowych, elektrody w elektrochemii, części akumulatorów i ogniw paliwowych. Piany potrafią zastąpić ożebrowanie w wymiennikach ciepła. Innym ciekawym zastosowaniem pian to implanty kości w medycynie czy też absorbery energii zderzeń w przemyśle zbrojeniowym. Ważnym zastosowaniem pian, szczególnie z punktu widzenia inżynierii chemicznej, jest ich wykorzystanie jako nośnika katalizatora w reaktorach chemicznych. W tym wypadku piany, dzięki niskim oporom przepływu, przy zachowanej dużej powierzchni rozwiniętej, stanowią atrakcyjne rozwiązanie pośrednie pomiędzy złożem usypanym a monolitami.

W krótkim rozdziale drugim pod tytułem „Cel i zakres pracy, tezy badawcze” Doktorant sformułował cele pracy, którymi były: po pierwsze – eksperymentalne określenie cech morfologicznych, oporów przepływu oraz współczynników transportu ciepła i masy dla wybranych metalowych pian stałych i po drugie – identyfikacja mechanizmów przepływu płynu przez piany, a w szczególności sprawdzenie czy można wykorzystać model rozwijającego się przepływu laminarnego przez krótką kapilarę. Po zapoznaniu się z całością pracy mogę stwierdzić, że cele te udało się Doktorantowi w pełni zrealizować. Nie wiem jednak dlaczego w rozdziale tym pojawił się opis badanych pian, chociaż moim zdaniem jego logiczne miejsce to początek rozdziału następnego, trzeciego zatytułowanego „Morfologia pian stałych”.

W rozdziale tym Doktorant przedstawił metody badawcze służące do określenia najważniejszych parametrów morfologicznych pian stałych, takich jak liczba porów, powierzchnia geometryczna S_v , charakterystyczne średnice d_p , d_s , d_w , d_c oraz porowatość ε , skupiając się na tych, które wykorzystano w pracy, a więc tomografii komputerowej połączonej z obróbką obrazu programem iMorph, mikroskopii optycznej i piknometrii helowej. Porównując otrzymane wyniki badań Doktorant wybrał odpowiednie metody wyznaczania parametrów morfologicznych, a analizując opisane w literaturze modele geometryczne pian stałych dokonał porównania wartości obliczonych z wynikami badań eksperymentalnych. Zastosowane metody doświadczalne i analiza otrzymanych rezultatów badań nie budzą zastrzeżeń.

W kolejnym, czwartym rozdziale zatytułowanym „Opory przepływu przez złożę pian stałych” Autor przedstawił i przeanalizował cytowane w literaturze przedmiotu korelacje stosowane do obliczania oporów przepływu przez złożę piany. Następnie opisał własną instalację badawczą służącą do wyznaczania oporów przepływu, przedstawił otrzymane wyniki i porównał je z obliczonymi na podstawie równań literaturowych. Stwierdził na podstawie błędu względnego korelacji, że najlepsze wyniki daje równanie zaproponowane przez Inayata i wsp. W dalszej części tego rozdziału Autor porównał wyniki badań eksperymentalnych z rezultatami otrzymanymi na podstawie modeli teoretycznych dla dwóch mechanizmów przepływu płynu przez pianę stałą, tj. przepływu przez krótki kanał kapilarny oraz opływu ciała w kształcie kuli lub walca. Stwierdził, że stosując wyłącznie analizę oporów przepływu trudno wykazać, który z rozpatrywanych mechanizmów transportu pędu, ciepła i masy jest mechanizmem dominującym. Odpowiedź na to pytanie Doktorant przedstawił i udokumentował w rozdziale szóstym swojej pracy.

We wcześniejszym, rozdziale piątym zatytułowanym „Transport ciepła i masy w pianach stałych” Autor przedstawił modele wiążące ze sobą transport ciepła i masy. W oparciu o wyniki badań Gianiego i wsp. przyjął, że analogia Chiltona-Colburna może być stosowana także dla pian stałych. Uważam takie podejście za w pełni uzasadnione. Doktorant opisał szczegółowo wykonane badania doświadczalne transportu ciepła dla pian, a następnie przedstawił i przeanalizował ich wyniki. W pracy znajduje się informacja, że eksperymentami objęto wyłącznie transport ciepła, a dla transportu masy zastosowano analogię Chiltona-Colburna. Jest to niewątpliwie podejście uproszczone, a badania doświadczalne transportu

masy i uzyskane w ten sposób wyniki mogłyby wzmocnić postawione w pracy tezy. Niemniej, uważam takie podejście za możliwe do zaakceptowania. Nie było natomiast potrzeby, aby wyznaczony na podstawie analogii Chiltona-Colburna stosunek $Sh/Sc^{1/3}$ określać w pracy jako wynik doświadczalny (str. 77, 6-7 g). Stosując średnicę mostka d_s jako wymiar charakterystyczny Doktorant dla wszystkich sześciu pian wyznaczył bezwymiarową zależność $Nu/Pr^{1/3} = Sh/Sc^{1/3} = 0,45 Re^{0,57}$, która dobrze opisuje wyniki eksperymentalne z błędem względnym 11,80%.

W rozdziale szóstym zatytułowanym „Analogie transportu pędu, ciepła i masy oraz mechanizm przepływu i transportu dla pian stałych” Autor wykorzystał uogólnione równanie L  v  que’a   czące transport ciepła i masy z oporami przepływu do opisu procesów zachodzących w pianach stałych. Otrzymane wyniki wykazały, że mechanizm transportu w pianach stałych można najlepiej przybliżyć modelem rozwijającego się hydrodynamicznie przepływu laminarnego w krótkiej kapilarze o długości kanału równej średnicy mostka d_s .

W ostatnim, si  dym rozdziale Doktorant dokonał podsumowania i przedstawił najważniejsze wnioski wynikające z pracy.

Podsumowując t   część recenzji, stwierdzam, że ca  łość rozprawy napisana jest w sposób jasny i przystępny, dobrym językiem, stosowana terminologia jest poprawna, dobór ilustracji w  laciwy, a korekta wykonana starannie. Metodyka badawcza, opracowanie i analiza otrzymanych wyników nie budzą zastrze  en. O randze i wartości prowadzonych bada  n świadczą publikacje w dobrych czasopismach, w których Doktorant jest wsp  autorem. Do obowiązków recenzenta nale  ży również znaleźnienie w pracy pewnych nie  cis  ci i uchybie  n. Uj  m je w formie uwag o charakterze szczegółowym. Dodatkowo przedstawi  m spis poprawek typu korektorskiego.

Uwagi o charakterze szczegółowym

1. W pracy badano wy  cznie piany metalowe i dlatego powinien to uwzględniać tytuł pracy, np. „Opis morfologii oraz wyznaczenie wsp  czynniki   transportu pędu, ciepła i masy dla metalowych pian stałych”.

2. Zwyczajowo streszczenie w językach polskim i angielskim umieszcza się na końcu pracy, a nie na początku jak jest w rozprawie.
3. W spisie treści brakuje pozycji „Załączniki” z podaniem strony (str. 118).
4. Słowo „wymiar” lepiej jest używać do określania jednostek, a wielkości geometryczne nazywać „rozmiarem” (tak jak na str. 37, 8 d). Uwaga ta odnosi się do całej pracy.
5. Na str. 13, 5-7 d część zdania „... reaktor jest wyraźnie krótszy ...” to kolokwializm. Chodziło tutaj zapewne o rozmiar/wysokość złoża katalizatora.
6. W równaniu (6) na str. 38 występuje symbol b , którego brakuje w wykazie oznaczeń.
7. W równaniu (10) na str. 39 jest błąd, brakuje liczby „2” w mianowniku przed nawiasem kwadratowym.
8. Na rys. 3.21 (str. 44), pokazującym porównanie wartości powierzchni geometrycznej S_v dwóch pian obliczonych za pomocą różnych modeli literaturowych z wartościami doświadczalnymi, znaczne odstępstwa wykazuje model Richardsona. Zastąpienie w tym modelu średnicy okna d_w średnicą komórki d_c niweluje te odstępstwa. Jak to można wytłumaczyć?
9. Tabela 9 na str. 49 i 50 mogłaby być lepiej skonstruowana. Nie jest jasne jak oblicza się geometryczny współczynnik labiryntowości w równaniu (33)? Czy według równania (31) czy może zgodnie z równaniem (39)?
10. W opisie równania (32) podano sposób wyznaczenia powierzchni geometrycznej S_v ze współczynnikiem $\phi = 4,867$ jak dla mostka cylindrycznego. Wartość tę powtórzono w opisie równania (33) po zaokrągleniu jako $\phi = 4,87$. Wartość ta została wcześniej podana na str. 41 w opisie do równania (19). Sądzę, że w Tabeli 9 lepiej byłoby powołać się do równania (19) ze str. 41, unikając niepotrzebnego powtórzenia.
11. Podstawienie równania (40) do równania (39) na str. 58, wbrew temu co napisał Autor, nie prowadzi do równania (41). Błąd ten jest prawdopodobnie

wynikiem innej definicji powierzchni geometrycznej S_v . Inayat i wsp. (wg pracy poz. lit. [74]) wyróżniają dwa rodzaje powierzchni geometrycznej S_{v-geo} odniesioną do objętości geometrycznej oraz $S_{v-solid}$ odniesioną do objętości ciała stałego, które są połączone zależnością $S_{v-geo} = S_{v-solid} (1 - \epsilon)$. W równaniu (40) powinno być S_{v-geo} , a nie $S_{v-solid}$. *Nota bene*, w podanym na str. 41 równaniu (19) jest także błąd, gdyż nie powinno tam być liczby „1” po znaku równości.

12. W opisie do równania (32) w Tabeli 9 powinno być S_{v-geo} .
13. Str. 76, 11 g. Jaki rodzaj kleju był stosowany do przyklejania termopar? Czy był to klej na bazie cyjanoakrylanu czy też poliimidu (np. taśma kaptonowa)?
14. Jakiego typu były ograniczenia aparaturowe, o których wspomniał Autor na str. 76, 3-4 d? Czy może miały tutaj wpływ stosunkowo niewielkie rozmiary reaktora (przekrój 45x30 mm)?
15. Str. 81, 2-3 d. Po zdaniu, cytuję „Jest to podejście stosowane w wielu opublikowanych pracach”, należało podać te prace.
16. Str. 90, 9-11 d. Całe zdanie nie jest dobrze zbudowane. Wyrażenie $(4A_c / A)$ nie jest polem powierzchni.
17. Str. 91, 7 d. Autor pisze: „Wartość Nu_0 dla walca ($Nu_0 = 0,18$) wyznaczono w oparciu o dane literaturowe”. Należało tutaj podać tę literaturę.
18. W tabeli A7 w załącznikach nie podano rodzaju badanej piany dla dwóch pozycji: Kang i wsp. (wg pracy poz. lit. [100]) oraz Vafai i wsp. (wg pracy poz. lit. [159]). Proszę to uzupełnić. *Nota bene*, pierwsza pozycja nie jest dobrze cytowana – powinno być Paek i wsp.

Spis poprawek korektorskich

Miejsce	Jest	Ma być
str. 4, 11 g	description	description of
str. 20, 6 g	ε_c	ε_t
str. 24, równ. (1)	ε_c	ε_t
str. 58, 12 g	tabela 8	tabela 9
str. 67, 7 d	sa	są
str. 69, 4 d	Gianiego [32]	Gianiego i wsp. [32]
str. 84, 8 g	von Karmana	von Kármána
str. 85, równ.(99)	ΔH	H
str. 86, 8 g	równania (97)	równania (98)
str. 86, równ.(100)	Re^2	Re_D^2
str. 90, 11 d	w równaniu (96)	w równaniu (100)
str. 94, Rys. 6.10	(43)	(42)
str. 95, równ.(116)	Re	Re_D
str. 102, 17 d	was	were
str. 102, 15 d	has	have
str. 114, 7 d	Permeability	permeability

Podsumowanie i wniosek końcowy

Oceniając pracę doktorską Pana mgr inż. Marcina Piątka pt. „Opis morfologii oraz wyznaczenie współczynników transportu pędu, ciepła i masy dla pian stałych”, stwierdzam, że spełnia ona wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące wymagania wobec kandydatów do stopnia naukowego doktora przez ustawę o stopniach i tytule naukowym, art. 16 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. Nr 65, poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami, zawartymi w Dz. U. z 2011 r. nr 84 poz. 455, a przedstawione przeze mnie uwagi nie umniejszają osiągnięć Autora.

Praca zajmuje się ważnym problemem o charakterze praktycznym i naukowym, zawiera elementy nowości, a jej zakres badawczy jest wystarczająco obszerny. Doktorant wykazał się wiedzą w zakresie badań nad morfologią pian stałych, umiejętnością prowadzenia interesujących eksperymentów z zastosowaniem nowoczesnych metod pomiarowych oraz pomysłowością przy opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Podsumowując, stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pana mgr inż. Marcina Piątka do publicznej obrony.

