



WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ

Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej

dr hab. inż. Szymon Woźniowski

ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań, tel.: +48 (61) 665 21 47

e-mail: [szymon.wozniowski@put.poznan.pl](mailto:szymon.wozniowski@put.poznan.pl); [www.fct.put.poznan.pl](http://www.fct.put.poznan.pl)

Poznań, dnia 18 lutego 2024 roku

Recenzja rozprawy doktorskiej (wersja poprawiona)

mgr inż. Mateusza Kamińskiego

pt. „Wykorzystanie jedno- i wielowarstwowych filtrów włókninowych do  
oczyszczania gazów z cząstek zawieszonych stałych i ciekłych”

### 1. Podstawa wykonania drugiej recenzji

Drugą recenzję wykonałem na podstawie pisma Pana Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Warszawskiej prof. dr. hab. inż. Tomasza Sosnowskiego z dnia 11 października 2023 roku oraz z dnia 12 stycznia 2024 roku.

### 2. Wybór tematyki badawczej

Podtrzymuję swoją opinię zawartą w pierwszej recenzji. Podjęcie zagadnień filtracji układów gazowych niejednorodnych z wykorzystaniem filtrów wielowarstwowych uważam za w pełni uzasadnione zarówno z teoretycznego jak i praktycznego punktu widzenia. Badania takie odpowiadają bowiem najnowszym trendom i stwarzają bardzo szerokie możliwości aplikacyjne.

### 3. Charakterystyka poprawionej pracy

Rozprawę doktorską stanowi niezmiennie cykl czterech monotematycznych publikacji zamieszczonych w czasopismach naukowych z bazy Journal Citation Reports JCR oraz 108 stronicowy opis (w wersji poprawionej) zawierający m.in. oświadczenia współautorów publikacji. Cykl stanowiły następujące publikacje: *Separation and Purification Technology* ([A1], M=140 pkt., IF<sub>2020</sub>=7,312), *Aerosol and Air Quality Research* ([A2] i [A3], M=100 pkt., IF<sub>2022</sub>=4,0), i *Polymers* ([A4], M=100 pkt., IF<sub>2022</sub>=5,0).

[A1] M. Kamiński, J.M. Gac, P. Sobiech, P. Kozikowski, S. Jakubiak, „Filtration of aerosols containing graphite nanoparticles or their mixture with water droplets on single and multilayer fibrous filters”, *Separation and Purification Technology* 237 (2020), 116378, 1-8.

[A2] M. Kamiński, J.M. Gac, P. Sobiech, P. Kozikowski, S. Jakubiak, T. Jankowski, „Filtration of submicron soot particles, oil droplets, and their mixtures on single- and multilayer fibrous filters”, *Aerosol and Air Quality Research* 22 (2022), 3, 210258, 1-16.

[A3] M. Kamiński, J.M. Gac, P. Sobiech, P. Kozikowski, T. Jankowski, „Mixture aerosols filtration on filters with wide fibre diameter distribution - comparison with theoretical and empirical models”, *Aerosol and Air Quality Research* 22 (2022), 6, 220039, 1-14.

[A4] M. Kamiński, J.M. Gac, P. Sobiech, P. Kozikowski, T. Jankowski, „Pressure drop dynamics during filtration of mixture aerosol containing water, oil, and soot particles on Nonwoven filters”, *Polymers* 15 (2023), 1787, 1-16.

Część opisową poprawionej wersji rozprawy doktorskiej stanowi w dalszym ciągu 9 rozdziałów, w tym wstęp (rozdział 1), cele, zakres i tezy rozprawy doktorskiej (rozdział 2), bibliografia (rozdział 7), oświadczenia współautorów (rozdział 8) i treść artykułów (rozdział 9). Rozdział 1 zawiera wstęp a w rozdziale 2 Doktorant nakreślił cele swojej pracy. W wersji poprawionej doktorant dodał trzy hipotezy badawcze H1-H3 mające charakter ogólny. W celu weryfikacji hipotez doktorant wyznaczył pięć celów szczegółowych. Cele te zostały zmodyfikowane w porównaniu do pierwotnej wersji rozprawy. Cel pierwszy obejmujący opracowanie metodyki badań filtracji aerozoli mieszaných został rozdzielony na trzy (1-3): modyfikację istniejącego stanowiska do badania filtracji aerozoli jednoskładnikowych tak aby można było badać aerozole wieloskładnikowe (1), opis zmian w czasie parametrów eksploatacyjnych filtrów podczas filtracji aerozoli wieloskładnikowych (2) oraz zbadanie wzajemnego wpływu cząstek stałych i kropeł cieczy na morfologię depozytów filtracyjnych (3). W celach (1-3) doktorant nie uwzględnił opracowania metodyki pomiarów. Kolejnym celem (4) było dostosowanie modelu sprawności filtracji do przypadku filtracji aerozoli wieloskładnikowych wraz z możliwością śledzenia zmian w czasie. Ostatnim celem było opracowanie modelu pozwalającego na opisanie zmian masy filtra w czasie.

W rozdziale 3 przedstawił podstawy teoretyczne tematyki badawczej. W poprawionej wersji dodano krótkie wprowadzenie do tego rozdziału. Następnie w sposób niezmienny (podrozdział 3.1) omówiono sposoby oczyszczania gazów i wytwarzanie filtrów włókninowych. W dalszym ciągu uważam, że omówienie sposobów oczyszczania gazów pozostawia niedosyt, gdyż zostało przedstawione w sposób skrótowy ograniczając się zasadniczo tylko do ich wymienienia. Skrótowno omówiono również skuteczność oczyszczania odnosząc się tylko do wpływu wielkości cząstki pomijając wpływ objętościowego natężenia przepływu czy konstrukcji odpylacza. Doktorant omawia również metody suche i mokre przedstawiając ich zalety jak i wady, które związane są głównie z zagospodarowaniem zawiesiny cząstek stałych w cieczy po procesie.

Rozdział 3.3 przyjął nową nazwę „Aerozole wieloskładnikowe” i uległ nieznacznemu przeformułowaniu. W podrozdziale 3.4 mgr inż. Mateusz Kamiński umieścił ponownie wzory wykorzystywane do obliczania sprawności z uwzględnieniem sprawności poszczególnych mechanizmów: bezpośredniego zaczepienia, dyfuzyjnego, bezwładnościowego i jednoczesnej dyfuzji i bezpośredniego zaczepienia. Podrozdział ten nie uległ zmianie.

W rozdziale 3.5 na str. 32 dodano informację o sposobie weryfikacji działania modelu obliczeniowego. Weryfikacja polegała na porównaniu wyników uzyskanych z modelu obliczeniowego z danymi eksperymentalnymi: porównano zmianę sprawności filtra podczas filtracji [A1], porównano początkową sprawność filtrów jedno- i wielowarstwowych a także zmianę masy filtra po filtracji [A2 i A4], porównano średni początkowy rozmiar cząstki za filtrem i jego ewolucję w czasie [A3].

W rozdziale 4 stanowiącym uzupełnienie metodyki badawczej doktorant dodał krótkie wprowadzenie (str. 34). W podrozdziale 4.1 mgr inż. Mateusz Kamiński dodał opis stanowiska pomiarowego, w podrozdziale 4.2 uwzględniony jest opis zagadnień związanych z izokinetycznością poboru próbek. Podrozdziały 4.3-4.5 pozostały w niezmiennionej postaci.

W podrozdziale 4.6 omówiono zagadnienia związane z rozkładem rozmiarów cząstek aerozolowych. Został on uzupełniony o tabelę 2 przedstawiającą charakterystykę używanych aerozoli wraz z omówieniem (str. 46), Charakterystyka ta obejmowała m.in. przedstawienie średniej geometrycznej rozmiaru, geometrycznego odchylenia standardowego oraz medianę.

Kolejne zmiany obejmują przeniesienie części podrozdziału 4.6 do nowego podrozdziału 5.5 (str. 51) oraz dodanie nowego podrozdziału 4.8 obejmującego powtarzalność i analizę statystyczną. Doktorant w ostatnim rozdziale wspomina o problemach występujących w trakcie pomiarów, a które

rzutowały na otrzymane wyniki. Problemy polegały na zmianie położenia maksimum sprawności filtra w czasie czego przyczynę doktorant upatruje w niejednorodności filtra. Uniemożliwiło to ilościowe opisanie momentu osiągnięcia maksimum sprawności oraz pełną analizę statystyczną.

Rozdział 5 mgr inż. Mateusz Kamiński uzupełnił o krótkie wprowadzenie (str. 56). Podobnie uczynił w podrozdziałach omawiających artykuły A1-A4 (str. 56, 60, 66, 72). Fragment podrozdziału 4.6 zmieniono i przeniesiono jako podrozdział 5.5 a podrozdział 4.7 przeniesiono i wstawiono jako podrozdział 5.6.

Modyfikacjom poddano również rozdział 6 stanowiący podsumowania i osiągnięcia naukowe. Liczba głównych osiągnięć nie została zmieniona. Osiągnięcie 1 zmodyfikowano a reszta pozostała bez znaczących zmian.

Na stronach 86-96 dodano punkty omawiające modyfikację stanowiska, sprawności filtra podczas filtracji aerozolu wieloskładnikowego, modyfikacji modeli obliczeniowych, wpływu dokładności opisu rozkładu rozmiarów włókien filtra na sprawność, opisy z wykorzystaniem zależności empirycznych, efekty podczas filtracji aerozolu wieloskładnikowego i wykorzystaniem filtrów wielowarstwowych, średniego, oporów przepływu podczas filtracji. Doktorant omawia pokrótce również wskazówki odnośnie do projektowania filtrów i perspektywy dalszych badań. Cel dodania tych punktów przez doktoranta nie jest dla mnie jasny. Zakładam, że stanowi on pewną formę odpowiedzi na pytania postawione przez recenzentów rozprawy doktorskiej i próbę podsumowania efektów obserwowanych w trakcie prowadzenia filtracji co zwiększa poziom pracy doktorskiej.

#### 4. Ocena merytoryczna poprawionej pracy

Po przeczytaniu poprawionej wersji rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kamińskiego podtrzymuję swoją pozytywną opinię. Doktorant przeprowadził szereg badań eksperymentalnych dotyczących sprawności filtracji oraz spadku ciśnienia, a także potencjalnego wpływu konstrukcji stanowiska pomiarowego na otrzymane wyniki. Uważam, że postawione cele zostały spełnione w cyklu publikacji A1-A4 oraz w badaniach zaprezentowanych w rozprawie doktorskiej a dodatkowe wyjaśnienia zostały przedstawione w stopniu zadowalającym. Mgr. inż. Mateusz Kamiński wykazał się zdolnością opracowania oryginalnej metodyki badań i sposobu opracowania wyników w celu analizy filtracji aerozoli mieszanych oraz oceny i podstawowej interpretacji otrzymanych wyników. Rodzaj zastosowanych nowoczesnych metod badawczych świadczy o dobrych podstawach naukowych i odpowiednim podejściu do postawionego problemu naukowego.

W pierwszej recenzji (str. 6) wskazałem kilka drobnych błędów, niejasnych lub dyskusyjnych sformułowań. W wersji poprawionej pracy doktorskiej mgr inż. Mateusz Kamiński wprowadził poprawki usterek, które wskazywałem. Podniosły one czytelność i klarowność pracy. Niestety w wersji poprawionej doktoratu nie ustrzegł się on nowych usterek o podobnym charakterze.

- Str. 46. *„tak jak zostało to wspomniane przy okazji opisu aerozoli w odpowiednich artykułach”* – Sformułowanie „odpowiedni artykuł” jest niejasne. Należało wskazać odpowiednie artykuły, brak odnośników literaturowych.
- Str. 46. Doktorant pisze, że badania przeprowadzono dla 60 pomiarów. Ile przeanalizowano kropeł, cząstek? Nie jest to jasne, gdyż nie podano tych informacji.
- Str. 53. *„Większa liczba pomiarów niż te zaprezentowane, została wykonana, aby potwierdzić, że wyniki są powtarzalne”* Ile przeprowadzono pomiarów? To nie jest jasne.
- Warto wprowadzać oznaczenia rysunków typu rys. 16 a czy też rys. 16 b zamiast rys. 16 (po lewej)
- Str. 43. Brak rysunku 7 lub zła numeracja

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się również uwagi, które wymagają wyjaśnienia w trakcie publicznej obrony pracy doktorskiej.

1. Str. 46. „Rozkład logarytmiczno-normalny najlepiej oddaje charakter rozkładów w przypadku wszystkich badanych aerozoli również aerozoli mieszanych. Jednakże, we wszystkich przypadkach, nie można powiedzieć, że dane eksperymentalne należą do rozkładu logarytmiczno-normalnego...” Powstaje wątpliwość czy rozkład ten rzeczywiście najlepiej oddaje charakter rozkładu. Czy doktorant przeprowadzał testy normalności?
2. Dlaczego zastosowano średnią geometryczną do opisu rozmiarów cząstek aerozolowych? W wielu procesach do opisu średnicy kropeł stosuje się średnicę Sautera  $d_{32}$  lub De Brouckera  $d_{43}$ .
3. W rozprawie doktorskiej na stronie 24 przedstawiono równanie na sprawność mechanizmu dyfuzyjnego charakterystycznego dla przepływu Kuwabary, bez poślizgu gazu. W pracy [A2] zastosowano wzór dla włókien ułożonych nieprostopadle do kierunku przepływu oraz rozmieszczonych nierównomiernie. Z czego wynikała różnica?

Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny i w niczym nie umniejszają wartości pracy, lecz dla jej przejrzystości wymagają wyjaśnienia podczas jej publicznej obrony.

#### 5. Wniosek końcowy

Podtrzymuję swoją pozytywną opinię zawartą w pierwszej recenzji. Recenzowana rozprawa w wersji poprawionej reprezentuje dobry poziom naukowy, zawiera elementy nowości naukowej. Doktorant uzyskała szereg ciekawych rezultatów, a przedstawione publikacje są na wysokim poziomie naukowym.

Reasumując, rozprawa mgr inż. Mateusza Kamińskiego „Wykorzystanie jedno- i wielowarstwowych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów z cząstek zawieszonych stałych i ciekłych” spełnia zwyczajowe i ustawowe wymogi, stawiane rozprawom doktorskim. W związku z powyższym, na podstawie art. 192 ust. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574, z późn. zm.), wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Mateusza Kamińskiego do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

*Szymon Woiwodzik*