



Kraków, 27 lipca 2023 roku

Dr hab. inż. Łukasz Laskowski  
Instytut Fizyki Jądrowej  
im. Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kamińskiego  
zatytułowanej „Wykorzystanie jedno- i wielowarstwowych filtrów  
włókninowych do oczyszczania gazów z cząstek zawieszonych stałych i  
ciekłych”**

Niniejsza opinia przygotowana została na prośbę Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Warszawskiej. Pan mgr inż. Mateusz Kamiński swoją rozprawę doktorską przygotował pod kierunkiem dra hab. inż. Jakuba Gaca, Profesora Uczelni.

Praca dotyczyła badania sposobu filtracji cząstek zawieszonych w powietrzu przez jedno- i wielowarstwowe filtry włókninowe. Obiektem badawczym w tym przypadku były trójwymiarowe układy włókien polipropylenu otrzymane metodą rozdmuchu stopionego polimeru. Badano skuteczność tego typu struktur w filtracji aerozolu mieszanego, zawierającego cząstki stałe (grafit) i płynne (olej i woda), a także aerozoli zawierających tylko jeden typ cząstek.

Rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Kamińskiego liczy 140 stron i została przygotowana w formie tzw. zszywki. Składają się na nią cztery artykuły naukowe opisujące dokonania naukowe doktoranta, spięte ze sobą formą przewodnika w postaci rozdziału „omówienie artykułów”. Całość poprzedzona jest wstępem, będącym jednocześnie przeglądem literatury, omówieniem celów i zakresu pracy, omówieniem podstaw teoretycznych zagadnienia oraz uzupełnieniem metodyki badawczej. Po omówieniu artykułów zaś, autor podsumował swoje badania i sprecyzował osiągnięcie naukowe, załączył bibliografię i oświadczenia współautorów.

Pierwsza część pracy, to jest rozdziały do czwartego włącznie, stanowi część integralną, w stosunku do artykułów naukowych, wchodzących w skład osiągnięcia, toteż w taki sposób została przeze mnie potraktowana. Wiadomości, zawarte w rozdziałach 1-4 stanowią



uzupełnienie opublikowanych już materiałów i pozwalają czytelnikowi na lepsze zrozumienie treści prac.

Wstęp, jak już pisałem, stanowi jednocześnie przegląd literatury dotyczącej tematu filtracji z wykorzystaniem filtrów włókninowych. Jako taki, jest napisany co najmniej solidnie. Autor dokonał tu krytycznego przeglądu 37 pozycji literaturowych. Są to zarówno pozycje opublikowane w ostatnich latach, jak i znacznie starsze artykuły, jeszcze z lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia. To jednak nie dziwi, gdyż temat filtracji poprzez układy włókien nie jest nowy. Podsumowując ten rozdział, czytelnik znajdzie tu świetne wprowadzenie literaturowe do podjętego przez doktoranta tematu.

W kolejnej części pracy przedstawiono jej cel i zakres. Zostało to przedstawione w sposób bardzo klarowny: w pierwszym akapicie opisano ogólny cel badań, dalej przedstawiono motywację podjętych działań, a na końcu wypunktowano szczegółowe cele pracy. To znacząco ułatwia weryfikację osiągnięć doktoranta, poprzez ich weryfikację z przedstawionymi tu założeniami.

W rozdziale „Podstawy teoretyczne” autor zawarł informacje niezbędne laikowi do zrozumienia podejmowanego przez niego problemu naukowego. Uważam tą część pracy za niezwykle istotną, zwłaszcza biorąc pod uwagę sposób przedstawienia informacji. Autor szczegółowo omówił sposób działania filtrów włókninowych, przedstawił ich budowę i sposób wytwarzania, omówił różnicę pomiędzy filtrami jedno- i wielowarstwowymi. Dalej, podjęto temat aerozoli. Wyjaśniono, jak parametry tych układów koloidalnych wpływają na proces ich filtracji, przedstawiono podstawowe ich typy, szczególnie uwzględniając te, które objęte zostały zakresem pracy. Szczególną uwagę przywiązano do opisu sprawności filtrów i wyjaśnieniu zjawiska oporów przepływu. Szczegółowo zaprezentowano matematyczny opis omawianych tu zjawisk. W kolejnym podrozdziale przedstawiono schemat obliczeń, przyjęty w pracy przez autora. Ta część jest niezwykle istotna dla osoby chcącej zrozumieć ogólny algorytm zastosowanych schematów obliczeniowych.

Wiele uwagi poświęcono rozdziałowi czwartemu, zatytułowanemu „uzupełnienie metodyki”. Nieco dziwi mnie takie ujęcie przedstawionych tu informacji, gdyż można je było zintegrować z poprzednim rozdziałem (gdzie również omawiano metodykę badań), bez specjalnego ich eksponowania. Jednak, z drugiej strony, wiadomości tu przedstawione są na tyle istotne, że być może zasługują na odpowiednie wyeksponowanie? W omawianym rozdziale



podjęto zagadnienie izokinetyczności, jako warunku koniecznego w czasie poboru próbki w trakcie badania. Omówiono tu w szczególności sposób formowania strumieni aerozoli zawierających cząstki stałe, ciekłe i ich mieszania. Zanalizowano rozmiary cząstek grafitowych i ich efektywną gęstość, choć do tej części mam pewne uwagi. Omówiono sposób łączenia strumieni aerozoli i czas ich przebywania w obiegu pomiarowym. Sposób generacji aerozolu zawierającego cząsteczki wody został opisany bardzo dokładnie, jednak zabrakło mi tu rysunku, który pozwoliłby czytelnikowi lepiej wyobrazić sobie budowę układu. Po omówieniu rozkładu kształtu włókien w filtrach, powrócono do zagadnienia rozkładu kształtu filtrowanych cząstek, tym razem z uwzględnieniem cząstek ciekłych i ich interakcji z cząstkami grafitowymi. Uzasadniono dobór stałej czasowej w eksperymencie i omówiono sposób jej modyfikacji w poszczególnych przypadkach. Najważniejszą, według mnie, informacją zawartą w omawianym rozdziale było zagadnienie rozkładu masy depozytów wewnątrz filtra w czasie filtracji. Jest to kluczowe dla prawidłowego zrozumienia istoty podjętych działań naukowych.

Do opisywanej powyżej części pracy mam kilka uwag, przedstawionych poniżej, i będę wdzięczny za ustosunkowanie się do nich przez autora.

1. Autor zasygnalizował problemy przy wyznaczeniu rzeczywistych rozmiarów cząstek grafitowych metodami mikroskopowymi. Teoretycznie, grafit jest materiałem względnie łatwym do obserwacji, ze względu na dobre przewodnictwo. Dlatego też, dziwi mnie sposób preparatyki próbek, polegający na pokryciu jej warstwą złota. Odpowiednio przygotowana próbka nie powinna się ładować. Jej ładowanie zaś, świadczyć może o wadzie samego materiału – słabe przewodnictwo próbki pojawia się, gdy proces grafityzacji przebiegł nieprawidłowo. Dlatego też chciałbym zapytać autora o badania użytego grafitu, a także o dokładny sposób preparatyki próbek: czy rozcierano ją na taśmie węglowej, czy stosowano nakrapianie zawiesiny? Dlaczego nie użyto mikroskopu o lepszej rozdzielczości? Technika SEM jest na tyle powszechna, że nie powinno to stanowić problemu. Określenie zaś rzeczywistych rozmiarów cząstek filtrowanych znacząco podniosłoby wartość naukową badań.
2. Opisując rozkład rozmiarów włókien, autor pisze, że opierał się na zdjęciach mikroskopowych. Jednak zdjęcia nie zostały dołączone do rozprawy doktorskiej. Dlaczego? Jak pisałem, omawiana wyżej część rozprawy stanowi integralną całość, względem przedstawionych artykułów naukowych.



3. W jaki sposób oszacowano rozkład rozmiarów cząstek oleju i wody? Nie opisano tego w rozprawie (wspomniano jedynie o obserwacjach mikroskopowych grafitu).
4. Opisując mechanizm elektrostatyczny wychwytu cząstek przez włókna, autor pomija go w modelu, uznając ładunek niesiony przez krople cieczy za nieistotny. Skąd to stwierdzenie? Proszę o wyjaśnienie tej kwestii w sposób bardziej szczegółowy.

Mając odpowiednie podwaliny teoretyczne, czytelnik przechodzi do omówienia artykułów naukowych, stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego.

Pierwszy z omawianych w pracy artykułów naukowych podejmuje tematykę wpływu dodatkowych cząstek wody w aerozolu zawierającym cząstki stałe, na sposób jego filtracji przez filtry włókninowe. Pracę opublikowano w 2020 roku w czasopiśmie „Separation and Purification Technology”, posiadającym impact factor 9.136. Uważam, że wyniki opublikowane w omawianej pracy są niezwykle istotne z aplikacyjnego punktu widzenia. Autorzy dowiedli, że dla filtrów wielowarstwowych z włókniny, podczas filtracji cząstek stałych (grafitu), sprawność rośnie z czasem, co jest związane z tworzeniem się dodatkowych struktur grafitowych w przestrzeniach pomiędzy włóknami. Ta własność jest jednak całkowicie niwelowana przez obecność cząstek wody w aerozolu. Cząstki grafitu, bowiem, tworzą rodzaj pajęczyny, będącej w stanie odegrać rolę dodatkowej struktury filtracyjnej. Woda, natomiast, nie pozwala na tworzenie się tego typu sieci grafitowych, co jedynie generuje dodatkowe opory przepływu. Dodatkowo, w artykule pokazano, że działanie filtrów włókninowych jednowarstwowych jest w praktyce bliskie rozważaniom teoretycznym i nie obserwuje się tam dodatkowych efektów nie uwzględnionych w modelu.

Omawiana praca podlegała restrykcyjnym recenzjom, które zapewne były na tyle przychylne, że pozwoliły na jej publikację. Dlatego też nie będę podważał opinii recenzentów swoimi uwagami. Mogę jedynie przyznać, że artykuł prezentuje wysoki poziom naukowy i stanowi istotny wkład w rozwój dziedziny, mając jednocześnie duże znaczenie aplikacyjne.

Drugi artykuł opublikowano w 2022 roku w „Aerosol and Air Quality Research” (IF=4.53) i podejmuje tematykę podobną do tego, opisywanego wcześniej. Tym razem, jednak, badany jest wpływ aerozolu zawierającego olej, na filtrację powietrza z cząstek grafitowych. Do badań użyto sebacynianu bis(2-etylohexylu). Rozważano filtry wielowarstwowe. W publikacji autorzy badali filtrację wprawdzie jedynie zawiesiny oleju, aby zanalizować rozmieszczenie cieczy na włóknach filtru. Odniesiono do tego wyniki otrzymane dla strumienia



mieszanego, zawierającego cząstki grafitu i zawiesinę oleju. Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano i obliczono współczynnik poprawkowy, pozwalający na dokładną predykcję sprawności filtrów wielowarstwowych do filtracji strumieni mieszanych, a także obliczenia zmian masy filtrów w trakcie ich działania.

Trzeci artykuł ukazał się w tym samym czasopiśmie, co poprzedni, również w roku 2022. W pracy podjęto się dyskusji modelu opisującego przepływ aerozoli przez filtry włókninowe, na podstawie danych empirycznych i założeń teoretycznych. Analizowano sposób opisu sprawności różnych etapów filtracji oraz wpływu na ten opis przyjętej wielkości efektywnej cząstek. Opisywana tu praca jest niezwykle istotna, znacząco bowiem precyzuje model opisu filtracji różnych aerozoli przez wielowarstwowe filtry włókninowe. Co więcej podano tu wpływ dokładności odwzorowania rozmiarów włókien na celność przewidywania sprawności filtracji.

Ostatni artykuł w cyklu został opublikowany w 2023 roku w czasopiśmie „Polymers”, o impact factorze 4.967. Praca jest niejako doprecyzowaniem działań podjętych w ramach wcześniejszych artykułów i dopracowaniem samego modelu opisującego sposób filtracji aerozoli przez filtry włókninowe. Autorzy w artykule analizowali sposób uwzględnienia w modelu kropli oleju o rozmiarach wychodzących poza zakresy wcześniej przyjęte, zoptymalizowano dobór współczynników empirycznych w modelu opisującym różne etapy filtracji, oraz uszczegółowiono opis spadków ciśnień na różnych etapach filtracji. Podsumowano również wpływ dodatku cząstek ciekłych do aerozolu zawierającego grafen na sposób jego filtracji. Omawiana praca jest najmniej nowatorska wśród przedstawianych artykułów, stanowi jednak dobre podsumowanie prowadzonych przez autora prac.

W ostatnim rozdziale rozprawy, autor podsumował swoją pracę, a także wypunktował osiągnięcia naukowe, czego nie będę tu powtarzał. To jednak pozwoliło mi jednoznacznie ocenić pracę doktoranta, i jest to ocena pozytywna. Przytoczone wcześniej uwagi nie zmieniają mojej opinii o pracy doktoranta, którą uważam za niezwykle wartościową. Co więcej, w przypadku udanej obrony, będę wnioskował o przyznanie autorowi wyróżnienia za przygotowaną rozprawę.

Na pochwałę zasługuje też sama forma przedstawionej rozprawy. Jest ona wydana w formie zgrabnej książki, którą można z łatwością zabrać ze sobą i czytać w dowolnym miejscu.



**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ  
im. Henryka Niewodniczańskiego  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

---

Reasumując, stwierdzam że rozprawa spełnia wymogi ustawy o stopniach i tytule naukowym stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Mateusza Kamińskiego do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Warszawskiej.