

Łódź, dnia 6 września 2023 roku

Dr hab. inż. Agnieszka Brochocka,
Centralny Instytut Ochrony Pracy-
Państwowy Instytut Badawczy,
Zakład Ochron Osobistych,
Pracownia Sprzętu ochrony Układu Oddechowego
90-133 Łódź, ul. Wierzbowa 48
Tel. +48 42 648 02 25, e-mail:agbro@ciop.lodz.pl

**Recenzja w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-
technicznych , dyscyplina inżynieria chemiczna**

Podstawa opracowania

Recenzja rozprawy doktorskiej została opracowana na podstawie pisma z dnia 22.06.2023 r. oraz przekazanej rozprawy doktorskiej przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna, Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Sosnowskiego.

Recenzja uwzględnia wymagania zawarte w aktach prawnych dotyczących rozprawy doktorskiej, zgodnie z art.187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz.1668 ze zm.)

Informacja o doktorancie

Pan mgr inż. Mateusz Kamiński jest współautorem 4 artykułów naukowych, w wysoko punktowanych czasopismach zamieszczonych w wykazie czasopism MNIŚW o sumarycznej wartości 440 punktów ministerialnych, przedstawionych poniżej:

- 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*, 2020 - 140 pkt.
- 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*, 2022, 100 pkt.
- M.Kamiński, J.M.Gac, P.Sobiech, P.Kozikowski, T. Jankowski, *Mixture aerosols Filtration on Filters with Fibre Diameter Distribution – Comparison with theoretical and Empirical Models*, *Aerosol and Air Quality Research*, 2022, 100 pkt.
- M. Kamiński, J.M. Gac, P. Sobiech, P. Kozikowski, T. Jankowski, *Pressure Drop Nonwoven Filters*, *Polymers*, 2023, 100 pkt.

Uważam, że przy każdym artykule powinny być umieszczone dane wydawnicze i/lub DOI, które ułatwiłyby znalezienie publikacji, ponieważ załączone w pracy publikacje są nieczytelne.

Wyniki bezpośrednio związane z badaniami realizowanymi w ramach rozprawy doktorskiej były wygłaszane na 2 konferencjach europejskich w Warszawie w 2018 i 2022 roku oraz przedstawione w postaci prezentacji posterowej na polskiej konferencji w Jachrance w 2019 roku.

Pan Mateusz Kamiński odbył 3 miesięczny staż zagraniczny we Włoszech w ramach programu Erasmus w firmie GVS S.p.A w 2022 r.

Recenzent nie może odnieść się do podstawowych danych o kandydacie takich, jak:

- data uzyskania tytułu magistra oraz nazwa jednostki organizacyjnej, w której tytuł był nadany,
- informacja, czy kandydat ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora,
- przebieg pracy naukowo-zawodowej,

ponieważ doktorant ich nie przedstawił w rozprawie doktorskiej.

Doktorant nie przedstawił w życiorysie naukowym udziału w projektach naukowo-badawczych mimo, iż każdy opublikowany artykuł posiada podziękowania:

- Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego odpowiednio w latach 2017-2019 w zakresie służb państwowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy; lub
- Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie zadań służb państwowych ze środków ministra właściwego do spraw pracy. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska pt. *„Wykorzystanie jedno- i wielowarstwowych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów z cząstek zawieszonych stałych i ciekłych”* mgr inż. Mateusza Kamińskiego, promotor: Pan dr hab. inż. Jakub M. Gac, prof. uczelni, stanowi zbiór 4 publikacji naukowych opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Report (JCR). Łączna punktacja całego zbioru 4 publikacji według punktacji MNiSW jest równa 440 punktów o wartości współczynnika $IF=23,163$. Doktorant we wszystkich 4 publikacjach jest pierwszym autorem, a jego wkład w przygotowaniu publikacji dotyczył opracowania koncepcji pomiarów, przeprowadzenia pomiarów skuteczności filtracji, charakterystyki włóknin, przeprowadzenia obliczeń podstawowych parametrów filtracji cząstek, edycji zdjęć mikroskopowych, interpretacji wyników pomiarów, przygotowania i edycji treści artykułów oraz wszystkich wykresów. Jednak określenie udziału procentowego przy każdej publikacji byłoby mile widziane. Wszystkie prace powstały przy znaczącym udziale doktoranta o czym świadczy zadeklarowany jego wkład w poszczególne artykuły oraz oświadczenia pozostałych współautorów. Całość rozprawy doktorskiej związana jest z wykorzystaniem jedno- i wielowarstwowych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów z cząstek stałych i ciekłych.

Tematyka badawcza, którą zajmuje się Pan mgr inż. Mateusz Kamiński wpisuje się w ogólne trendy światowe związane przede wszystkim z oczyszczaniem powietrza z cząstek stałych i ciekłych przez filtry włókninowe. W literaturze przedmiotu znajduje się wiele prac poświęconych modyfikacji struktury materiałów filtracyjnych celem uzyskania ich dodatkowych właściwości funkcjonalnych pod dedykowane zastosowania. Całościowe podejście doktoranta do tematu od strony rozpoznania zjawisk zachodzących wewnątrz filtra w czasie trwania procesu filtracji wobec aerozoli mieszanych oraz modyfikacja i dostosowanie istniejących modeli obliczeniowych pozwalających opisać działanie filtra podczas procesu filtracji wobec określonego aerozolu, stanowi wartość dodaną do wiedzy związanej ze zjawiskami zachodzącymi w procesie filtracji wobec aerozoli mieszanych.

Rozprawa doktorska obejmuje 81 stron tekstu i 59 stron stanowiących rozdziały dotyczące oświadczeń współautorów i kopii 4 wydanych publikacji naukowych, które są nieczytelne ze względu na zamieszczony mały rozmiar czcionki. Rozprawa doktorska rozpoczyna się streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisem treści i życiorysem naukowym. Jednak patrząc po spisie treści przedstawionym na stronie 7 powinien on być zamieszczony przed streszczeniem, na stronie 3. Rozprawa doktorska składa się z 7 głównych rozdziałów dotyczących wstępu, celu i zakresu, podstaw teoretycznych, uzupełnienia metodyki, omówienia artykułów, podsumowania i osiągnięć naukowych oraz bibliografii. Zawarto w niej 28 rysunków, 3 tabele oraz 24 numerowane wzory. Wykaz literatury zawiera 96 pozycji, z których aż 41 pozycji jest sprzed 2010 roku. Przedstawiona rozprawa doktorska należy do zakresu badań dyscypliny naukowej inżynieria chemiczna, dziedzina nauk: nauki inżynierjno-techniczne.

W dość dobrze skondensowanym *Wstępie* rozprawy doktorskiej pan Mateusz Kamiński scharakteryzował obszar aplikacyjnych możliwości filtrów włókninowych usuwających zanieczyszczenia ze strumienia powietrza jako środki ochrony zbiorowej. Podkreślił, że modyfikacja budowy morfologicznej filtrów włóknistych spowodowała nadanie im dodatkowych cech funkcjonalnych takich jak: zdolność do zatrzymywania i usuwania drobnoustrojów, pochłaniania lotnych substancji chemicznych, zdolność do pochłaniania wilgoci czy gromadzenia w swojej strukturze dużej ilości zanieczyszczeń pyłowych. Uzyskanie dodatkowych cech funkcjonalnych umożliwia zastosowanie filtrów do dedykowanych zagrożeń. Obecnie ocena skuteczności filtracji takich filtrów prowadzona jest z udziałem jednoskładnikowych aerozoli o stałej i ciekłej fazie rozproszenia. Nie prowadzono badań sprawności filtracji wobec aerozoli mieszanych, składających się z cząstek i kropeł. Dlatego ważne jest poznanie wszystkich interakcji i zjawisk zachodzących w procesie filtracji wobec tych aerozoli.

Nie mogę zgodzić się z doktorantem odnośnie stwierdzenia, że „*Na ogół włókna znajdujące się na powierzchni filtra charakteryzują się największą sprawnością*”. Włóknina filtracyjna wytwarzana techniką pneumatycznego formowania runa zwana w literaturze światowej jako melt-blown charakteryzuje się strukturą trójwymiarową o nieregularnym ułożeniu włókien w różnych kierunkach o różnych wymiarach w całej objętości materiału. Sprawność włókien w całej objętości filtra jest jednakowa. W przypadku, gdy filtr przeznaczony jest do stosowania w środowisku o dużym zapyleniu to zbudowany jest on z układu włóknin o różnej budowie morfologicznej. Pierwsza warstwa filtra zbudowana jest z grubych włókien i zatrzymuje duże cząstki z napływającego strumienia powietrza, a kolejne warstwy z coraz cieńszych włókien tak, aby filtr mógł zatrzymać również drobne cząstki o wymiarach nanometrycznych. Taka budowa filtra powoduje wydłużenie jego czasu ochronnego działania zapobiegając jego zatkaniu.

W **rozdziale 2** przedstawiono cel główny rozprawy doktorskiej dotyczący zbadania filtracji aerozoli jedno- i wieloskładnikowych z wykorzystaniem filtrów włókninowych oraz modyfikacji i dostosowania istniejących modeli obliczeniowych stosowanych dla układów jednoskładnikowych do opisu układów wieloskładnikowych z uwzględnieniem zmian zachodzących wewnątrz filtra w czasie trwania procesu filtracji. Wyodrębniono również 5 celi szczegółowych związanych z realizowaną tematyką badawczą:

1. opracowanie metodyki badań filtracji aerozoli mieszanych, zawierających cząstki ciała stałego, krople oleju oraz krople wody dla aerozoli o różnym składzie i stężeniach,
2. dostosowanie istniejącego modelu sprawności filtracji do przypadku filtracji układów wielowarstwowych,
3. usprawnienie istniejącego modelu sprawności filtracji o możliwość przewidywania zmian sprawności w czasie,
4. opracowanie modelu pozwalającego na przewidywanie zmian masy filtra w czasie procesu filtracji bazującego na masie zatrzymanych depozytów,
5. zaproponowanie modelu umożliwiającego przewidywanie zmian oporów przepływu powietrza w trakcie procesu filtracji aerozolu.

W **rozdziale 3** opisano podstawy teoretyczne dotyczące metod oczyszczania gazów oraz wytwarzania filtrów włókninowych, filtrów włókninowych jedno- i wielowarstwowych, aerozoli, sprawności filtracji i oporów przepływu oraz schematu obliczeń. Jako uzupełnienie do zalet metody pneumatycznego formowania runa (melt-blown) chciałam dodać, że właściwości strukturalne włóknin mogą być kształtowane w szerokim przedziale temperatur i wydatków polimeru i powietrza. Największe znaczenie mają temperatura dyszy (lub stopu polimeru) i powietrza rozwłókniającego, które w istotnym zakresie decydują o średnicy włókien, a tym samym porowatości materiału. Włókniny filtracyjne są wytwarzane z pojedynczych włókien o średnicach zdeterminowanych przeznaczeniem uzyskiwanych materiałów filtracyjnych. Zaletą materiałów filtracyjnych jest możliwość kształtowania ich struktury morfologicznej pozwalającej na dostosowanie własności włóknin do wielkości oddzielanych cząstek ze strumienia gazu i osiągnięcia wysokich wartości skuteczności filtracji. Doktorant w dalszej części pracy charakteryzuje filtry jednowarstwowe i wielowarstwowe. Twierdzi, że powstające z opuszczającego dyszę stopionego polimeru włókna mogą różnić się rozmiarami, a finalny produkt cechuje się szerokim rozkładem średnic włókien. To oczywiście jest prawda, ale poza zróżnicowanymi średnicami włókien nietkany materiał filtracyjny charakteryzuje się również odpowiednią porowatością i masą powierzchniową, która zależy od grubości materiału i gęstości upakowania w odróżnieniu od filtrów tkanych. Filtry te składają się z osnowy i wątku, a ich średnica zależy od masy liniowej przędzy wyrażonej w dtex, z której zostały wytworzone. Tak więc struktura takich filtrów jest równomierna i jednorodna w odróżnieniu od filtra nietkanego. Jeśli autor mówi, że właściwością decydującą o naturze filtra może być średnia średnica włókna, gęstość upakowania lub właściwości powierzchniowe włókien to nie może zapominać o grubości materiału nietkanego.

W charakterystyce filtrów wielowarstwowych doktorant zwrócił uwagę na występowanie we wnętrzu filtra obszaru o największej sprawności filtracji względem danego rodzaju cząstki i jej rozmiaru. Pozycja tego obszaru zależeć będzie również od zachowania symetryczności przestrzennej procesu oraz może zmieniać się z czasem na skutek obładowania włókien filtra cząstkami. Inne zjawiska będą zachodzić w przypadku cząstek stałych, inne w przypadku cząstek cieczy a jeszcze inne w przypadku występowania jednocześnie cząstek stałych i cieczy. Cząstki stałe będą tworzyć przestrzennie rozbudowaną strukturę na powierzchni włókien, która z czasem może charakteryzować się sprawnością przekraczającą sprawność samego filtra. Dla cząstek cieczy ze względu na obniżoną

sprawność włókna zwilżonego cieczą obszar najwyższej sprawności może przemieszczać się z czasem w głąb filtra. Obydwa te zjawiska będą występować z różną intensywnością w różnych układach zależnie od koncentracji cząstek, sprawności filtra oraz czasu trwania procesu filtracji. Przedstawiono problematykę zjawisk zachodzących podczas procesu filtracji wobec aerozoli mieszanych zawierających cząstki stałe i cieczy dla filtrów jedno- i wielowarstwowych. Ważny wpływ na proces filtracji mają także parametry fizyczne związane z samym aerozolem takie, jak: stężenie cząstek, skład, właściwości oraz rozkład rozmiaru cząstek. Przedstawiono główny problem związany z rozkładem rozmiarów cząstek aerozolowych zawieszonych w strumieniu gazu szczególnie w przypadku aerozoli wieloskładnikowych. Cząstki różnych substancji charakteryzują się różnymi rozkładami a dobór odpowiedniego filtra jak i teoretyczne przewidywania z wykorzystaniem modeli stają się uciążliwe. Wykorzystanie w badaniach aerozoli jednoskładnikowych składających się z cząstek stałych i kropeł cieczy oraz aerozoli wieloskładnikowych zawierających kombinacje cząstek i kropeł pozwoliło na wskazanie i porównanie efektów zachodzących w procesie filtracji na filtrze. Skoro mówimy o rozważaniach teoretycznych to w podrozdziale *Aerozole* nie zastosowano odniesień literaturowych.

Doktorant w swojej pracy odniósł się również do skuteczności filtracji i oporów oddychania dwóch podstawowych parametrów charakteryzujących właściwości ochronne filtra. Opisał klasyczną teorię filtracji opierającą się na sprawności pojedynczego włókna przedstawiając sprawność filtra jako zależność uwzględniającą własności samego filtra, czyli cylindryczny kształt włókien i pojedynczą wartość średnicy włókna. Sumaryczna sprawność pojedynczego włókna jest wypadkową wartością sprawności działających niezależnie od siebie mechanizmów filtracji. Wyznaczono zależności teoretyczne sprawności poszczególnych mechanizmów filtracji (bezpośredniego zaczepienia, mechanizmu dyfuzyjnego, bezwładnościowego oraz współdziałania mechanizmów dyfuzji i bezpośredniego zaczepienia) dla danego rozmiaru cząstki aerozolowej o określonych właściwościach i dla pojedynczej wartości średnicy włókna przy założeniu stałej prędkości liniowej przepływu strumienia aerozolu przez filtr o odpowiedniej gęstości upakowania. Następnie zmodyfikował zależności teoretyczne mające zastosowanie w klasycznej teorii filtracji korzystając z zależności empirycznych bardziej użytecznych do danego systemu i rozwiązania, w tym dla aerozoli mieszanych. Wartości współczynników A,B,C,D E dobierano na podstawie danych eksperymentalnych uzyskanych dla danego badanego filtra oraz na podstawie wyznaczonych właściwości charakterystycznych badanego filtra, ale autor nie podał jakie to właściwości. Zagadnienie rozmiaru cząstki o największej zdolności do penetracji filtra związane jest również z pojęciem sprawności frakcyjnej i wypadkowej wszystkich mechanizmów filtracji, które odgrywają istotną rolę dla cząstek o różnych średnicach. Nie mogę zgodzić się ze stwierdzeniem autora, że „wzrost prędkości liniowej prowadzi do wzrostu sprawności filtracyjnej filtra dla cząstek o dużych rozmiarach, a więc rozmiarach większych od rozmiaru cząstki o największej zdolności do penetracji oraz spadku sprawności dla cząstek o rozmiarach mniejszych.” Teoretycznie stwierdzenie – wzrost prędkości liniowej prowadzi do wzrostu sprawności filtracyjnej filtra dla cząstek o dużych rozmiarach jest możliwe dla mechanizmu bezwładnościowego, natomiast stwierdzenie - spadku sprawności dla cząstek o rozmiarach mniejszych- dotyczy mechanizmu dyfuzji i bezpośredniego zaczepienia. Z doświadczeń praktycznych recenzenta wynika, że ze wzrostem prędkości liniowej następuje obniżenie sprawności filtracji dla cząstek o różnych rozmiarach. Opracowany model teoretyczny do przewidywania pracy filtra powinien uwzględniać zmianę średnicy włókien, gęstość upakowania i grubość filtra oraz prędkość liniową przepływu aerozolu. Z doświadczeń praktycznych recenzenta wynika, że wzrost prędkości przepływu aerozolu powoduje wzrost skuteczności filtracji i oporu przepływu powietrza, a zakres tych

zmian jest zależny od masy powierzchniowej materiału filtracyjnego. Doktorant rozszerzył powyższy model wprowadzając do niego zależności takie, jak: zmiana gęstości upakowania filtra, zmiana liniowej prędkości przepływu przez filtr i zmiana średnicy włókien filtra, uwzględniające zmiany zachodzące w czasie procesu filtracji. Z dobieraniem odpowiednich kolejnych warstw filtra w celu usunięcia cząstek z przepływającego przez filtr strumienia gazu i rozmieszczenia depozytów w całej objętości filtra nie obciążając nadmiernie pojedynczej warstwy byłabym ostrożna. Poszczególne warstwy materiału filtracyjnego wytworzone przy tych samych parametrach technologicznych różnią się między sobą. Wystarczy minimalna zmiana napięcia zasilania w trakcie wytwarzania materiału filtracyjnego, aby zmianie uległy średnice włókien, które mają wpływ na parametry filtracyjne filtra. Wytwarzany materiał filtracyjny formowany jest na urządzeniu odbiorczym, którego powierzchnię stanowi płyta metalowa lub polimerowa siatka. Wytworzona włóknina od strony urządzenia odbiorczego charakteryzuje się bardziej zwartą strukturą (ubitymi włóknami) a z drugiej strony od głowicy włóknotwórczej bardziej luźnym ułożeniem włókien. W związku z powyższym gęstość upakowania włókien we włókninie może się znacząco różnić. Dobrym wyznacznikiem będzie zatem masa powierzchniowa filtra wyrażona w g/m^2 , podstawowy parametr charakteryzujący materiały nietkane we włókiennictwie. Jest to parametr, który można kontrolować również podczas wytwarzania materiału filtracyjnego. Opory przepływu strumienia aerozolu przez filtr są parametrem ściśle związanym ze skutecznością filtracji. Dobry filtr powinien zachować kompromis pomiędzy wysoką skutecznością filtracji i jak najniższymi oporami przepływu aerozolu. Na skutek depozycji cząstek aerozolowych w strukturze materiału filtracyjnego dochodzi do wzrostu ich rozmiaru wynikającego z tendencji do agregacji cząstek. Skutkiem takich zmian jest wzrost oporów przepływu. Charakter i szybkość tych zmian zależy nie tylko od rodzaju depozytu ale również od stężenia aerozolu, czasu obłożenia, gęstości upakowania włókien filtra oraz zwilżalności włókna przez daną ciecz. Doktorant opisał efekty przemieszczania się zdeponowanych w strukturze filtra cząstek stałych i cieczy podając rodzaj kropeł jakimi są woda i olej. Nie podał dlaczego zostały takie aerozole wybrane do badań ani nie podał szczegółowej ich charakterystyki. Opisano model do przewidywania oporów przepływu i zmian oporów uwzględniając następujące parametry opisujące filtr: lepkość płynu, średnią liniową wartość przepływu w filtrze, grubość filtra, gęstość upakowania oraz średnicę włókien. W kolejnym podrozdziale dotyczącym schematu obliczeń podano sposób obliczeń zmian sprawności filtra oraz zmian spadku ciśnienia na filtrze, które przedstawiono w postaci algorytmu. Autor nie podaje powtórzeń całości obliczeń, kroku czasowego ani długości całkowitego czasu trwania procesu filtracji. Na rys. 1 przedstawiono algorytm wykorzystywany do obliczeń zmian sprawności filtra i zmian spadku ciśnienia, w którym nie określono również wartości całkowitego czasu trwania procesu. Posługując się tym algorytmem nie wiadomo czy czas trwania procesu filtracji osiągnął wymaganą wartość.

W **rozdziale 4** Uzupelnienie metodyki autor nie wyjaśnił jaką metodykę badań uzupełnia i dlaczego? Jednym z celi szczegółowych pracy było opracowanie metodyki badań filtracji aerozoli mieszanych zawierających cząstki ciała stałego, krople wody i oleju dla aerozoli o różnym składzie i koncentracjach i zdaniem recenzenta tak powinien być zatytułowany rozdział 7. W rozdziale tym powinno być opisane stanowisko pomiarowe wraz z warunkami badań oraz opis metody pomiaru, ponieważ w opisie pojawia się wyraz generatory, który nie można do niczego odnieść. Rozdział zawiera 7 podrozdziałów dotyczących izokinetyczności, gęstości efektywnej grafitowych cząstek, czasu przebywania oraz łączenia strumieni w przypadku aerozoli mieszanych, rozkładu rozmiarów

włókien, rozkładu rozmiarów cząstek aerozolowych, stałej czasowej, rozkładu masy depozytów we wnętrzu filtra wielowarstwowego.

Izokinetyczne pobieranie próbek to pobieranie cząstek zawieszonych w strumieniu gazu w taki sposób, że prędkość strumienia częściowego ma taką samą wartość i kierunek jak prędkość głównego strumienia gazu w punkcie pobierania (PN-ISO 4225:1999). Doktorant wyjaśnia dlaczego prędkość we wnętrzu komory pomiarowej oraz na wlocie do sondy pomiarowej powinna być jednakowa i powinna wynikać z konstrukcji układu pomiarowego. Nie zgadzam się z autorem pracy odnośnie stwierdzenia, że prędkość przepływu strumienia aerozolu we wnętrzu komory pomiarowej i prędkość przepływu strumienia aerozolu przez badany filtr zależą od tego dla jakiej wartości prędkości liniowej przepływu przez filtr prowadzi chcemy badania. Nie dobieramy przepływu natężenia do struktury morfologicznej filtra. Określamy zakresy natężeń przepływów powietrza występujące w środowisku wewnętrznym czy zewnętrznym i przy określonych wartościach natężeń przepływu oceniamy sprawność filtra. Informacyjnie podaję normę PN-EN ISO 29463-5:2018-11 określającą referencyjną procedurę badania skuteczności filtrów odniesioną do najbardziej penetrujących wielkości cząstek aerozolu (MPPS – Most Penetrating Particle Size), którą autor będzie mógł w przyszłości wykorzystać do dalszych badań. Zachowanie warunków izokinetyczności zapewnia rzeczywisty pomiar stężenia cząstek i kroplel w komorze pomiarowej przy stałym przepływie strumienia, który należy kontrolować. Autor pracy nie podaje w jaki sposób należy go kontrolować.

Gęstość efektywna, która ma wpływ na właściwości cząstek stałych została opisana również w pracy Łukasza Żywczyka i Arkadiusza Moskala (Inż. Ap. Chem. 2014, 53, 3, 193-194). Wykazali, że uzyskane wyniki wskazują na silną zależność gęstości agregatu od wymiaru fraktalnego. Prowadzić to może do trudności w dokładnym wyznaczeniu rozkładu masowego agregatów emitowanych np. z silnika diesla, gdy bazuje się jedynie na rozkładzie liczbowym. Nie wiem czy autor pracy wzięł te wnioski pod uwagę ale w spisie literatury brak jest tej pozycji. Jednakże wartości podane przez producenta rozmiarów cząstek pierwotnych różnią się od wartości wyznaczonych, co może mieć wpływ na wynik pomiaru. W podrozdziale dotyczącym czasu przebywania oraz łączenia strumieni aerozoli mieszanych autor opisuje połączenia strumieni w przypadku aerozolu mieszanego zawierającego cząstki stałe i krople oleju oraz aerozolu jednoskładnikowego zawierającego krople wody. Autor nie sprecyzował dlaczego zastosował aerozol wodny i nie podał jaka to woda czy destylowana czy redestylowana czy z kranu czy demineralizowana. W podrozdziale 4.4 Rozkład rozmiarów włókien filtrów autor nie podaje dlaczego wyprodukowano filtry z politereftalanu butylenu skoro w artykułach podano, że filtry były wytworzone tylko z polipropylenu. W tabeli 1 dotyczącej właściwości filtrów otrzymywanych na alternatywnym układzie wytwórczym kolumna pierwsza o nazwie warstwa powinna posiadać nazwę typ filtra adekwatną do nazw podanych w artykułach (F6, F8, F1, F13) oraz uwzględniać jeden z podstawowych parametrów budowy morfologicznej filtrów jakim jest masa powierzchniowa. W podrozdziale 4.5 doktorant pisze, że rozkłady aerozoli jednoskładnikowych dałoby się dobrze opisać rozkładami statystycznymi, ale w dalszej części pracy nie wiadomo czy zostały one opisane, gdyż w całej pracy brak jest analizy statystycznej. Pisząc o najpopularniejszych rozmiarach aerozolu cząstek stałych nie wiadomo jakie są to rozmiary 50, 250, 500 czy 1000 nm? Ułamek objętościowy jest jednym ze sposobów wyrażenia stężenia substancji w mieszaninie, zdefiniowany jako stosunek objętości danego składnika do sumy objętości wszystkich składników mieszaniny przed ich zmieszaniem, więc nie można mówić że jest reprezentacją. Doktorant stwierdza, że objętość depozytów zatrzymanych na filtrze ma wpływ na zmiany strukturalne zachodzące w jego wnętrzu ale nie określa z czego wynikają te zmiany. Doktorant nie opisał jasno jak była weryfikowana prawidłowość działania modelu obliczeniowego.

Stwierdza osiągnięcie zadawalającej zgodności w A2 ale nie pisze jakiej? Wyraża przekonanie, że cząstki stałe są jedynie modyfikatorem charakteru zmian, główną siłą napędową stanowią depozyty ciekłe, ale już nie pisze co z tego wynika i jaki jest z tego wniosek? Podrozdział 4.6 zawiera błędy gramatyczne i stylistyczne w związku z czym jest trudny do zrozumienia. W podrozdziale 4.7 doktorant podaje czas prowadzenia procesu filtracji w czasie 3h wobec aerozoli jednoskładnikowych i wieloskładnikowych a po 3 h dodatkowo przepuszczano czyste powietrze przez filtry jeszcze przez 1h w celu obserwacji przemieszczania się depozytów pomiędzy warstwami filtra. Jeśli nie sprawdzono masy depozytów po 3 h to po 1 h dodatkowej przepuszczając czyste powietrze mogło dojść do wydmuchania najmniejszych cząstek z filtra np. nanocząstek grafitu. Wyniki dla tego aerozolu pominięto ze względu na zbyt niską masę depozytów. Zachodzi zatem pytanie czy eksperyment był dobrze zaplanowany? W pracy pojawia się oznaczenie filtra f5/100 ale nie wiadomo czy jest to filtr wytworzony na potrzeby prac eksperymentalnych czy właściwości tego filtra wzięto z danych literaturowych jako próbkę odniesienia? Autor stwierdza, że obecność aglomeratów prowadzi do zwiększenia pojemności struktury filtra poprzez wzrost powierzchni właściwej włókien. Na jakiej podstawie zostało to stwierdzone, ponieważ nie odnaleziono wyników potwierdzających te badania.

Kolejnym punktem jest omówienie artykułów, które zostały zrecenzowane i opublikowane w międzynarodowych czasopismach naukowych. Przy omawianiu artykułów brakuje informacji, które osiągnięcie naukowe z podanych 9 w podsumowaniu zostało zrealizowane.

Przedstawione do oceny w ramach rozprawy doktorskiej badania są aktualne i w pełni uzasadnione z punktu widzenia poznawczo naukowego, ale budzą niedosyt recenzenta spowodowany brakiem konkretnych wniosków, które dałyby wytyczne bądź kryteria do konstrukcji struktury morfologicznej filtrów włókninowych dedykowanych do specyficznych zastosowań. Praca zawiera wiele błędów gramatycznych i stylistycznych. Występuje dużo powtórzeń, wiele sformułowań nietechnicznych, nieinżynierskich, nieprecyzyjnych. Brakuje tezy pracy i logicznie ułożonego programu badań. Rozprawa doktorska nie zachowuje logicznego ciągu myślowego, trzeba się domyślać co autor miał na myśli. Mówiąc językiem kolokwialnym praca zawiera dużo *skrutów myślowych*. Jednym z celów szczegółowych oraz jednym z 9 osiągnięć naukowych jest opracowanie metodyki badań filtracji aerozoli mieszanych zawierających cząstki ciała stałego, krople oleju oraz krople wody dla aerozoli o różnym składzie i koncentracjach. Natomiast w spisie treści i w rozdziale 4 mamy uzupełnienie metodyki. Nie ma żadnej wzmianki na temat uzupełnienia metodyki o jakies dodatkowe elementy w porównaniu do znormalizowanej metodyki standardowej oceniającej skuteczność takich filtrów zgodnie z wymaganiami norm europejskich serii ISO bądź opracowania innowacyjnej metody oceny skuteczności filtrów włóknistych wobec aerozoli mieszanych zawieszonych w strumieniu gazu. W pracy brakuje wyraźnie zaakcentowania modyfikacji istniejących modeli obliczeniowych do opisu układów wieloskładnikowych z uwzględnieniem zmian zachodzących wewnątrz filtra podczas procesu filtracji, przeprowadzenia analizy statystycznej oraz wykorzystania praktycznego uzyskanych wyników badań.

Na podstawie przedstawionej recenzji opartej na analizie załączonej dokumentacji stwierdzam, że osiągnięcie naukowe pana mgr inż. Mateusza Kamińskiego wnosi znaczący dorobek do stanu wiedzy z zakresu inżynierii chemicznej i może być podstawą do prowadzenia dalszych badań w tym obszarze. Jednak znaczący kontekst badawczy zostaje zaprezentowany w sposób utrudniający czytelnikowi zrozumienie globalnej rangi omawianego problemu. Nie omówiono dokładnie metodyki badań. Brakuje pewnych informacji dotyczących precyzji prowadzenia badań, co mogłoby wpłynąć na wiarygodność wyników. Podsumowanie jest napisane bardzo ogólnie a wniosków brak. W związku z

powyższym zgodnie z załącznikiem do uchwały nr 321/L/2023 Senatu PW z dnia 29 marca 2023 r. paragraf 3 ustęp 10 wnoszę o poprawę rozprawy doktorskiej ze względu na liczne uwagi krytyczne zarówno co do formy jak i treści pracy.

Agnieszka Prochocis