



Zachodniopomorski  
Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie

**WYDZIAŁ TECHNOLOGII I INŻYNIERII CHEMICZNEJ**

prof. dr hab. inż. Rafał Rakoczy  
tel. służb. 91 449 43 32  
email: rrakoczy@zut.edu.pl

Szczecin, 17.09.2023 r.

### **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Nowaka  
nt. „Fibrous Filtration Modified with Aerogel Structure for Improvement of Oil Mist Separation”  
(„Filtry włókninowe modyfikowane strukturą aerożelu w celu poprawy filtracji mgły olejowej”)  
wykonanej pod kierunkiem naukowym  
Promotora Pana dra hab. inż. Jakuba M. Gaca, prof. PW**

#### **1. Podstawa wydania opinii**

Podstawą wydania opinii o rozprawie doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Nowaka jest pismo Pana Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna, prof. dra hab. inż. Tomasza Sosnowskiego z dnia 07.07.2023 r. (przesyłkę z pismem i rozprawą doktorską otrzymałem w dniu 27.07.2023 r.).

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartosza Nowaka została zrealizowana na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem pana dra hab. inż. Jakuba M. Gaca, prof. PW. Postępowanie w sprawie nadania stopnia doktora prowadzone jest w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

#### **2. Treść i zakres rozprawy doktorskiej**

W ocenie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej wzięto pod uwagę oryginalność i nowatorski charakter zrealizowanych badań, zasadność podjęcia tematyki badawczej, metodykę badań, dobór użytych metod oraz technik badawczych, jak również interpretację uzyskanych wyników oraz ich dyskusję w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy. Ponadto wzięto również pod uwagę osiągnięcia naukowe Pana mgr inż. Bartosza Nowaka.

Filtracja jest jednym z najbardziej efektywnych sposobów oczyszczania strumienia powietrza z zanieczyszczeń cząstkami aerozolowymi. Operacja ta jest powszechnie stosowana w praktyce przemysłowej, ponieważ do jej głównych zalet należy zaliczyć dokładny rozdział faz wraz z możliwością oddzielenia bardzo małych cząstek z strumienia aerozolu przepływającego przez przegrodę filtracyjną. Obecnie powszechnie stosowane są przegrody z warstw włókninowych (w postaci struktur porowatych) wykonanych zazwyczaj z materiałów polimerowych. Interesującym kierunkiem prac badawczych związanych z filtracją jest opracowanie nowych metod produkcji lub modyfikacji włókien stosowanych do usuwania mgły olejowej spotykanej w działalności życiowej i zawodowej człowieka. Problem ten jest kluczowy ponieważ pomimo intensywnych prac badawczych, związanych z tematyką przedstawionej do recenzji pracy, istniejące na rynku rozwiązania cechują się niską skutecznością separacji kropeł w zakresie od 0,2 do 0,3  $\mu\text{m}$  lub obniżona skutecznością filtracji kropeł o rozmiarach większych niż 5  $\mu\text{m}$ . Usunięcie tych niedogodności wiąże się z opracowaniem nowego typu materiałów o rozwiniętej powierzchni właściwej i odpowiedniej porowatości struktury, które z powodzeniem można byłoby zastosować jako



www.wtiich.zut.edu.pl

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej  
al. Piastów 42, 71-065 Szczecin  
tel.: 091 434 30 86, faks: 091 449 46 36, e-mail: wtiich@zut.edu.pl



przegrodę filtracyjną. Alternatywą do tego długotrwałego i kosztochłonnego procesu produkcji nowych materiałów jest opracowanie modyfikacji włókien stosowanych w przegrodach filtracyjnych, w celu zwiększenia efektywności procesu filtracji. Dlatego Doktorant jako główny cel pracy zdefiniował opracowanie metody modyfikacji filtra włókninowego z zastosowaniem metody zol-żel do zdeponowania struktury aerożelu na materiale polimerowym. Na uwagę zasługuje fakt, że przedstawiona do recenzji praca doktorska jest jedną z niewielu prób opracowania modyfikacji standardowo stosowanych materiałów filtracyjnych. Można przyjąć, że umiejętna i przemyślana strategia prowadzenia syntezy aerożelu może przełożyć się na uzyskanie materiału, który będzie się charakteryzował nowymi właściwościami fizykochemicznymi i użytkowymi.

Zagadnienia badawcze w przedłożonej do recenzji rozprawie doktorskiej Pana mgra inż. Bartosza Nowaka wpisują się w nurt badawczy związany z poszukiwaniem nowych rozwiązań dla operacji filtracji i koncentrują się na formowaniu materiałów polimerowych metodą zol-żel, celem zwiększania sprawności separacji dzięki rozwinięciu powierzchni kolektora i przez intensyfikację zjawisk powierzchniowych. Podjęta tematyka badawcza jest aktualna i co istotne interdyscyplinarna, gdyż dotyczy zagadnień z pogranicza inżynierii chemicznej, nauk chemicznych i inżynierii środowiska. Problem badawczy, którego podjął się Doktorant wpisuje się w aktualne trendy badawcze, tematycznie związane z inżynierią chemiczną. Na uwagę zasługuje fakt, że problematyka pracy jest użyteczna oraz ma dość duży potencjał aplikacyjny.

Przedłożona do recenzji rozprawa ma formę spójnego tematycznie zbioru 5 artykułów, które zostały częściowo opublikowane w czasopismach naukowych indeksowanych przez *Thomson Reuters Journal Citation Reports*, takich jak *Journal of Environmental Chemical Engineering* [P2 i P3], *Chemical and Process Engineering: New Frontiers* [P4] (praca zatwierdzona do druku) i *Journal of Aerosol Science* [P5]. Cykl uzupełnia artykuł opublikowany w czasopiśmie *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* [P1]. Sumaryczny *Impact Factor* wynosi 21,201; a liczba punktów z tzw. „listy ministerialnej” - 375.

Publikacje wchodzące w skład monotematycznego cyklu prac są wieloautorskie (od 3 do 6 autorów). We wszystkich pracach Doktorant jest pierwszym autorem oraz autorem korespondencyjnym. Załączone oświadczenia Doktoranta i współautorów wskazują na istotny wkład Pana mgra inż. Bartosza Nowaka w przygotowanie i opracowanie publikacji naukowych. Należy podkreślić, że każda z publikacji wchodzących w skład monotematycznego cyklu prac przeszła już formalną i merytoryczną ocenę przez niezależnych ekspertów, którzy zostali powołani przez edytorów tychże czasopism w procesie redakcyjnym opracowań.

Układ rozprawy jest standardowy w odniesieniu do prezentacji monotematycznego cyklu publikacji. Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Bartosza Nowaka rozpoczyna się streszczenia napisanego w języku angielskim i polskim (praca doktorska została przygotowana w języku angielskim). Następnie Doktorant zamieścił: spis treści; wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej; wykaz innych współautorskich publikacji naukowych; wykaz projektów; wykaz prezentacji ustnych i posterowych; wykaz innych osiągnięć. W dalszej części pracy Doktorant przedstawił wykaz stosowanych skrótów; wprowadzenie; cel pracy; hipotezy badawcze i zakres pracy. Rozprawa doktorska została podzielona na trzy główne części: literaturową; wyniki i dyskusję oraz posumowanie i wnioski. Całość pracy obejmuje 106 stron maszynopisu z wyłączeniem informacji związanych z osiągnięciami Doktoranta i załączonych oryginałów opublikowanych prac [P1- P3, P5]. W przypadku pracy [P4] Doktorant dołączył manuskrypt zatwierdzonej przez czasopismo pracy.



Pan mgr inż. Bartosz Nowak jako główny cel w swojej dysertacji naukowej określił opracowanie metody modyfikacji włókniny polipropylenowej polegającej na zdeponowaniu na materiale struktury aerożelu, co pozwoli na zwiększenie skuteczności filtracji mgły olejowej (aerozolu olejowego). We wstępie teoretycznym rozprawy Doktorant przedstawił motywację do podjęcia badań związanych z usuwaniem tego typu zanieczyszczania z strumienia gazu. Podano podstawowe informacje teoretyczne związane z procesem filtracji oraz zastosowaniem materiałów włóknistych do tego typu operacji. Omówiono zagadnienia związane z mechanizmami operacji filtracji oraz tematykę dotyczącą dynamiki filtracji. Szczególnie cenną informacją w tej części pracy jest pokazanie kierunków badawczych związanych z zastosowaniem aerożeli w procesach związanych z oczyszczaniem powietrza. W dobie narastających problemów spowodowanych zmianami klimatycznymi jest to niezmiernie ważny temat, który umożliwi opracowanie nowych technologii zwiększających jakość środowiska naturalnego. Przeprowadzona analiza stanu wiedzy pozwoliła na opracowanie założeń metody, która posłużyła do realizacji głównego celu pracy doktorskiej.

Kolejna część pracy stanowi przegląd najważniejszych wyników uzyskanych w ramach prowadzonych przez Doktoranta badań. Prace eksperymentalne podjęte w ramach recenzowanej rozprawy doktorskiej podzielono na trzy główne etapy. Etap pierwszy polegał na dobrze prekursora zastosowanego w metodzie zol-żel oraz przeprowadzeniu serii eksperymentów mających na celu zdefiniowanie optymalnych parametrów w celu opracowania najlepszego sposobu zdeponowania struktury aerożelu na materiale filtracyjnym. Doktorant ten sposób modyfikacji materiału nazwał układem/systemem statycznym. Etap drugi polegał na opracowaniu korzystniejszej metody modyfikacji materiału (jedno- lub dwuetapowa metoda zol-żel) w porównaniu do układu statycznego. Na tym etapie analizowano wpływ parametrów operacyjnych procesu (np.: przepływ reagentów; kolejność dozowania roztworów składowych). Etap trzeci polegał na przeprowadzeniu badań związanych z testowaniem materiałów natywnych i modyfikowanych w procesie usuwania mgły olejowej. Uzyskane wyniki zostały przez Doktoranta przelizowane i przedyskutowane. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie oraz wnioski końcowe.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska porusza wiele wątków, które stanowią zainteresowania naukowe Doktoranta oraz zespołu badawczego kierowanego przez pana dra hab. inż. Jakuba M. Gaca, prof. PW. Moim zdaniem w pracy zostały mocno zaakceptowane luki badawcze oraz w sposób jasny przedstawiono hipotezy badawcze, które są związane z problemami, celami i pytaniami badawczymi, zdefiniowanymi w oparciu o identyfikację problematyki rozprawy na podstawie literatury przedmiotu. Należy podkreślić, że przedstawiony przez Doktoranta plan badawczy jest oryginalny oraz w pełni realizuje założony cel pracy.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy – uwagi ogólne**

Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest opracowaniu metody modyfikacji włókniny polipropylenowej, która powszechnie jest stosowana w operacji filtracji. Zdeponowanie na tego typu materiale struktury aerożelu, który wykonano z metylotrimetoksylanu (MTMS) pozwoliła na poprawienie skuteczności filtracji aerozolu olejowego. Pan mgr inż. Bartosz Nowak wykonał prace pozwalające na analizę wpływu parametrów operacyjnych na proces syntezy aerożelu. Ponadto wykonał charakterystykę otrzymanych struktur oraz wskazał ich zastosowanie do produkcji materiałów stosowanych w operacji filtracji. Zaproponowana metoda modyfikacji materiałów polipropylenowych pozwoliła na otrzymanie materiału filtracyjnego, który przetestowano w procesie usuwania mgły olejowej.



Stwierdzam, że Pan mgr inż. Bartosz Nowak zrealizował program badawczy, pozwalający na uzyskanie wyników potwierdzających zasadność określonego w rozprawie celu. Otrzymane, z wykorzystaniem zaawansowanych metod badawczych i technik eksperymentalnych, rezultaty – uznaję za wkład w rozwój prac badawczych związanych z aspektami technicznymi systemów filtracyjnych. Na uwagę zasługuje fakt, że uzyskane rezultaty mają duże znaczenie praktyczne oraz mogą ukierunkować dalsze prace badawcze nad zastosowaniem modyfikowanych materiałów filtracyjnych.

Oceniając aspekty poznawcze rozprawy doktorskiej uważam, że istota osiągnięć Doktoranta polega na:

1. Opracowaniu metody modyfikacji włókien polipropylenowych w postaci zdeponowania na materiale aerożelu w celu poprawy właściwości separacyjnych dla mgły olejowej. Przetestowano metodę jedno – i dwuetapową oraz uzyskano wyniki wskazujące, że zastosowanie metody dwuetapowej pozwala na uzyskanie bardziej jednolitej struktury aerożelu, co przełożyło się na zwiększenie sprawności filtracji.
2. Przeanalizowaniu zjawisk towarzyszących przy tworzeniu się struktury aerożelu na modyfikowanym materiale oraz przedyskutowaniu wpływ uzyskanego materiału na zjawiska powierzchniowe i mechanizm filtracji.
3. Wykonaniu prac badawczych pozwalających na określenie parametrów procesowych przy których otrzymano zmodyfikowany materiał o właściwościach pozwalających na zwiększenie sprawności usuwania mgły olejowej ze strumienia powietrza.
4. Przetestowaniu opracowanych materiałów w tzw. systemach statycznych oraz w systemach przepływowych.
5. Wykonaniu prac badawczych związanych z analizą dynamiki filtracji w przypadku zastosowania opracowanego materiału do usuwania zanieczyszczeń w strumieniu gazu.

#### **4. Ocena strony formalnej rozprawy – uwagi szczegółowe**

Praca posiada elementy nowości, natomiast pomimo tego, że czyta się ją z zainteresowaniem, nie jest wolna od błędów natury edytorskiej. Ze względu na różnorodność i znaczenie uwag szczegółowych zostały zestawione one w dwóch grupach. W pierwszej grupie podano uwagi o charakterze formalno-porządkowym.

Podczas redagowania rozpraw naukowych przyjęte są pewne standardy. W pracy doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Nowaka można zauważyć niedociągnięcia w tej materii, które zostały wypunktowane poniżej:

1. Brak podania spisu najważniejszych oznaczeń. Oznaczenia są zestawione w poszczególnych pracach [P1-P5], jednak Doktorant powinien w rozprawie doktorskiej umieścić wykaz stosowanych symboli.
2. Na str. 29 podano informacje związane z dopuszczalnymi progami stężenia oleju w powietrzu. Te dane powinny być potwierdzone odpowiednimi regencjami do literatury źródłowej.
3. Na str. 34 (drugi paragraf; pierwsze zdanie) podano w mało precyzyjny sposób informacje o zastosowanych modelach i potencjalnych mechanizmach dla analizowanych procesów.
4. Rys. 2 (str. 35) – brak wyjaśnień zastosowanych symboli.
5. Rys.3 (str. 37) – brak wyjaśnień zastosowanych symboli. Przystawiony na rys. 3 schemat powinien być również opisany w tekście rozprawy.



6. Rys. 4 (str. 38) – Na osi OY brak jest jednostki. W tekście brak jest informacji w jaki sposób definiowano parametr *penetration*.
7. W tekście pracy powinno opisywać się rysunki w odpowiedniej kolejności. Przykładowo na str. 59 podano informacje związane z danymi pokazanymi na rys. 13. Doktorant powinien najpierw opisać ogólnie co zawiera rysunek a następnie przejść do określenia danych pokazanych na rys. 13A, 13B itd.
8. Na str. 62 powinno zostać podane jaka jest grubość warstwy i średnica.
9. Doktorant powinien podać w jaki sposób są definiowane parametry użyte do opisu otrzymanych materiałów (np. *sorption capacity*). Te informacje można znaleźć w publikacjach [P1-P5], jednak powinny one być umieszczone w „przewodniku po publikacjach”.
10. Na str. 78 podrozdział rozpoczęto od rysunku bez wprowadzenia.

W drugiej grupie uwag zestawiono zastrzeżenia o charakterze merytorycznym. W tym przypadku oczekuję wyjaśnień stanowiska Doktoranta podczas publicznej obrony pracy doktorskiej.

1. Proszę o bardziej szczegółowe określenie w jaki sposób było prowadzone suszenie powstałego materiału. Powszechnie w procesie produkcji aerożelu stosuje się suszenie poprzez zmniejszenie ciśnienia w reaktorach do momentu uzyskania niemal zupełnie próżni. W ramach pracy doktorskiej zaproponowano metodę wykorzystującą „(...) *simple drying method under atmospheric pressure, i.e., solvent evapoartion at elevated temperatures*”. Proszę o bardziej dokładne wyjaśnienie tego procesu. Czy temperatura miała wpływ na strukturę aerożelu?
2. Na str. 59 podano informację, że zmieniono roztwór amoniaku w procesie produkcji materiału. Czy zmiana stężenia roztworu amoniaku wpływała na strukturę aerożelu?
3. Na str. 61 podano prędkość liniową powietrza w zakresie od 0,1 do 0,5 m·s<sup>-1</sup>. Proszę o wyjaśnienie na jakiej podstawie zdefiniowano tą prędkość.
4. Na str. 73 podano „*fractional separation efficiency*”, natomiast na rys. 24D jest inny parametr na osi OY. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
5. Proszę o wyjaśnienie skąd wynikają zastosowane strumienie w zakresie od 30 do 180 mL·h<sup>-1</sup>. Czy szybkość dozowania amoniaku była testowana dla wszystkich analizowanych modyfikowanych filtrów z MTMS:MeOH?
6. Na str. 80 podano informacje, że były testowane różne konfiguracje w celu wyznaczenia optymalnego przepływu. Proszę o wyjaśnienie jakie modyfikacje były testowane.
7. Na str. 91 Doktorant wspomina o kosztach inwestycyjnych systemu do produkcji modyfikowanych materiałów filtracyjnych. Czy można oszacować te koszty?
8. Jaka była powtarzalność syntezy modyfikowanych materiałów polipropylenowych?
9. W pracy podano, że warstwa aerożelu „osadzała się na materiale/powierzchni włókna bez wiązania chemicznego pomiędzy aerożelem a polimerem”. Proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia.
10. W pracy podano również, że zastosowano modele numeryczne do przewidywania mechanizmów określających działanie modyfikowanych materiałów filtracyjnych. Proszę o uszczegółowienie jakiego typu modele były stosowane w ramach pracy doktorskiej. Proszę



również o wyjaśnienie mechanizmu odpowiedzialnego za usuwanie mgły olejowej w materiale natywnym i w materiale po modyfikacji.

11. Czy Doktorant mógłby skonfrontować osiągnięte rezultaty badań związanych z zastosowaniem zmodyfikowanych materiałów filtracyjnych z wynikami dostępnymi w literaturze przedmiotu?
12. Czy materiały natywne i modyfikowane były charakteryzowane za pomocą parametrów typowych dla włókninowych warstw filtracyjnych, np.: funkcji rozkładu wielkości średnicy włókien tworzących warstwę; średniej średnicy włókna; grubości i średniej porowatości struktury?

Powyższe uwagi, poczynione z obowiązku recenzenta, w najmniejszym stopniu nie podważają wartości poznawczej i aplikacyjnej rozprawy. Stanowią one podstawę do merytorycznej dyskusji podczas publicznej obrony. W mojej ocenie Doktorant wniósł znaczący wkład w rozwój nauk inżyniersko-technicznych i dyscypliny inżynieria chemiczna, w szczególności w tematyce preparatyki, charakterystyki oraz praktycznego zastosowania materiałów filtracyjnych.

Oceniając przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską na podkreślenie zasługuje fakt, że Pan mgr inż. Bartosz Nowak przeprowadził oryginalne prace badawcze, które poprawnie zaplanował i zrealizował. Przedstawiona wnikliwa i rzeczowa analiza uzyskanych wyników świadczą o wysokich kompetencjach naukowych Doktoranta i udowadniają Jego przygotowanie do prowadzenia badań naukowych.

#### **5. Ocena dorobku naukowego**

Pan mgr inż. Bartosz Nowak, oprócz współautorstwa 5 publikacji wchodzących w skład cyklu stanowiącego rozprawę doktorską, jest współautorem 6 prac w czasopismach z tzw. listy JCR (sumaryczny IF dla tych prac wynosi 54,8, natomiast liczba punktów MEIN – 985). Doktorant był kierownikiem projektu finansowanego przez NCN w ramach programu PRELUDIUM oraz brał udział w projektach finansowanych przez NCBR i w ramach Inicjatywy Doskonałości Uczelnia Badawcza. Wynik swojej pracy naukowej miał możliwość przedstawić między innymi na 9 konferencjach naukowych. Prowadzone prace badawcze zaowocowały również uzyskaniem patentu związanego z zastosowaniem aerożeli krzemoorganicznych do proliferacji i immobilizacji biomasy roślinnej w hodowlach *in vitro*. Na uwagę zasługuje również staż naukowy Doktoranta w dziale B+R firmy GVS Spa. Łącznie, według bazy Scopus, prace Pana mgr inż. Bartosza Nowaka cytowano 64 razy, a współczynnik Hirscha (h-indeks) wynosi 4. Są to dobre wskaźniki bibliometryczne dla młodego naukowca.

#### **6. Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartosza Nowaka spełnia wymagania formalne i zwyczajowe w odniesieniu do prac doktorskich oraz odpowiada wymogom ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2018 poz. 1668) z późniejszymi zmianami. Zwracam się zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna na Politechnice Warszawskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczanie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.