



Kraków, dnia 3 grudnia 2025 r.

dr hab. inż. Mirosław Kwiatkowski, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Energetyki i Paliw
Katedra Technologii Paliw
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Wal pt.:

Materiały hybrydowe na bazie naturalnych minerałów warstwowych jako wysokowydajne, bakteriobójcze adsorbenty do filtrów powietrza

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Wal powstała na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej, pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Piotra Rutkowskiego, prof. PWr, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki Promotora oraz Pani dr hab. Joanny Cybińskiej, prof. UW, pełniącej funkcję Promotora pomocniczego.

Badania wchodzące w skład niniejszej rozprawy doktorskiej zostały sfinansowane przez Ministerstwo Edukacji i Nauki w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”. A niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej Pani Prof. dr hab. inż. Izabeli Michalak, w piśmie z dnia 20 października 2025 roku.

Jednym z największych problemów współczesnego świata jest zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego, a w tym szczególnie powietrza atmosferycznego pyłami i szkodliwymi substancjami oraz związany z tym problem smogu uznawany przez Światową Organizację Zdrowia za jeden z największych globalnych czynników ryzyka środowiskowego.

Zanieczyszczenia powietrza takie jak pyły zawieszone PM_{2.5}, PM₁₀, tlenki azotu i ozon wnikają głęboko do płuc, powodując stany zapalne, astmę, przewlekłą chorobę płuc, charakteryzującą się trwałym ograniczeniem przepływu powietrza przez drogi oddechowe oraz nowotwory płuc. Pyły PM_{2.5} mogą przedostać się także do krwiobiegu, przyczyniając się do miażdżycy, zawałów serca, udarów mózgu i nadciśnienia. Długotrwałe przebywanie w zanieczyszczonym środowisku skraca średnią długość życia, a szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza, które mogą negatywnie wpływać między innymi na rozwój ich płuc oraz funkcje poznawcze są niemowlęta i małe dzieci.

Lotne substancje organiczne znajdujące się w powietrzu stwarzają również zagrożenia dla życia i zdrowia ludzkiego. Substancje te przenikając przez błony śluzowe do układu nerwowego, powodują bóle głowy, zmęczenie, senność, a ponadto mają działanie rakotwórcze. W ostatnich kilkunastu latach coraz więcej osób ma także problemy z różnego rodzaju alergiami na pyłki roślin i inne substancje znajdujące się w powietrzu atmosferycznym.

W związku z powyższym podejmuje się działania na rzecz poprawy jakości powietrza, takie jak redukcja emisji zanieczyszczeń z transportu, przemysłu i energetyki - działania te są jednak długotrwałe i nie zawsze skuteczne. W związku z tym wykorzystuje się różne rozwiązania filtracji powietrza w pomieszczeniach w tym systemy wentylacji i klimatyzacji z modułem oczyszczania powietrza oraz przenośne oczyszczacze powietrza wykorzystujące wielostopniowe rozwiązania składające się z filtrów: wstępnego, HEPA i węglowego. W urządzeniach tych jednak mogą rozwijać się szkodliwe mikroorganizmy w tym pleśń i bakterie, stanowiące zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt.

W celu zapobieżenia rozwojowi mikroorganizmów w systemach filtracyjnych stosuje się odpowiednie powłoki o właściwościach antybakteryjnych uzupełnione emiterem promieniowania ultrafioletowego, co wiąże się z relatywnie wysokim kosztem takich rozwiązań i skomplikowaniem od strony technicznej. Innym podejściem jest zastosowanie odpowiednich pojedynczych filtrów z materiałów hybrydowych o właściwościach antybakteryjnych, czemu poświęcona została recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Wal zatytułowana: *Materiały hybrydowe na bazie naturalnych minerałów warstwowych jako wysokowydajne, bakteriobójcze adsorbenty do filtrów powietrza*.

Rozprawę doktorską przedłożoną do recenzji stanowi manuskrypt obejmujący część literaturową, w której Autorka dokonała rzetelnego przeglądu literatury dotyczącego zanieczyszczeń powietrza, metod jego oczyszczania i stosowanych do tego celu różnych adsorbentów, czynników wpływających na adsorpcję lotnych związków organicznych oraz oceny właściwości antybakteryjnych materiałów sorpcyjnych. Na podstawie przeglądu literaturowego Kandydatka wykazała brak literatury naukowej dotyczącej zastosowania wermikulitu jako adsorbentu do wychwytywania lotnych związków organicznych. Na tej podstawie sformułowała główny cel swojej rozprawy doktorskiej, który obejmował otrzymanie nowatorskich materiałów hybrydowych o właściwościach antybakteryjnych do usuwania lotnych związków organicznych z fazy gazowej, dedykowanych do systemów oczyszczania powietrza jako antybakteryjne wkłady filtracyjne. Planowane adsorbenty miały się cechować ponadto możliwością regeneracji i wielokrotnego użycia w kolejnych cyklach, przy minimalnej utracie pojemności adsorpcyjnej oraz masy. Dodatkowym celem postawionym w recenzowanej

rozprawie doktorskiej było poszerzenie wiedzy w zakresie modyfikacji i zastosowania glinokrzemianów warstwowych oraz materiałów na ich bazie do adsorpcji lotnych związków organicznych z fazy gazowej.

Pragnę podkreślić, dużą trafność wyboru zagadnienia badawczego, gdyż tematyka ta jest nie tylko oryginalna i ważna dla rozwoju nauki, ale również wychodzi na przeciw istotnemu zapotrzebowaniu przemysłu i społeczeństwa. Wykorzystanie modyfikowanego wermikulitu do adsorpcji lotnych związków organicznych, jest także innowacyjnym rozwiązaniem mającym bardzo duży potencjał wdrożeniowy.

Aby osiągnąć wyznaczone cele w swojej rozprawie doktorskiej, Pani mgr inż. Katarzyna Wal sformułowała cztery hipotezy badawcze tj. chemiczna modyfikacja wermikulitu prowadzi do zwiększenia porowatości materiału, co przekłada się na poprawę jego właściwości adsorpcyjnych; adsorbenty oparte na modyfikowanych glinokrzemianach skutecznie usuwają wybrane lotne zanieczyszczenia z fazy gazowej; wytworzone materiały zachowują możliwość regeneracji termicznej, co pozwala na ich wielokrotne wykorzystanie; wprowadzenie do układu cynku lub srebra umożliwia nadanie materiałom właściwości antybakteryjnych. Wspomniane hipotezy badawcze były następnie weryfikowane w toku prowadzonych prac.

Do przeprowadzenia badań Doktorantka wybrała wermikulit będący naturalnym minerałem z grupy glinokrzemianów pochodzący z Ugandy. W części eksperymentalnej swojej dysertacji Pani mgr inż. Katarzyna Wal przedstawiła modyfikację kwasową wermikulitu, otrzymanie i charakterystykę materiałów hybrydowych zawierających cynk oraz srebro, a także ocenę ich właściwości adsorpcyjnych względem lotnych związków organicznych i ditlenku węgla. Otrzymane materiały poddane zostały analizie pod kątem efektywności usuwania zanieczyszczeń w warunkach zbliżonych do rzeczywistych i zdolności do regeneracji oraz aktywności antybakteryjnej i przeciwwgrzybiczej. Uzyskane wyniki potwierdzają dużą skuteczność opracowanych adsorbentów w procesie wychwytywania lotnych związków organicznych z jednoczesnym działaniem przeciwdrobnoustrojowym.

Otrzymane przez Panią mgr inż. Katarzynę Wal materiały stanowią bardzo dobrą i uniwersalną alternatywę dla filtrów stosowanych dotychczas w systemach oczyszczania powietrza, cechując się większą trwałością, ograniczonym oddziaływaniem na środowisko przy jednocześnie niższym koszcie wytwarzania. Należy podkreślić, iż zastosowanie wytworzonych przez Panią mgr inż. Katarzynę Wal materiałów umożliwia połączenie dwóch etapów filtracji w jednym, co może znacząco uprościć istniejące systemy oczyszczania powietrza i daje możliwość projektowania nowych kompaktowych systemów o większej efektywności procesu usuwania lotnych związków organicznych i zanieczyszczeń mikrobiologicznych.

Niniejsza rozprawa doktorska przygotowana została bardzo dobrze zarówno od strony merytorycznej jak i edycyjnej. W szczególności Kandydatka wykazała się umiejętnością opisów metodologii i technik badawczych oraz przede wszystkim wyników otrzymanych przez siebie badań, co świadczy między innymi o dużej wiedzy teoretycznej w tym zakresie.

Podczas czytania rozprawy doktorskiej nasunęły mi się pytania, na których udzielenie odpowiedzi będę wdzięczny Autorce recenzowanej rozprawy doktorskiej:

- co zadecydowało o wyborze metody NLDFIT do wyznaczania rozkładów wielkości porów,
- jaka jest odporność na ścieranie otrzymanego materiału adsorpcyjnego.

Należy podkreślić, iż wszystkie postawione w recenzowanej rozprawie doktorskiej cele zostały z dużym sukcesem zrealizowane, a opracowany nowatorski adsorbent może znaleźć z powodzeniem szerokie zastosowanie jako element filtracyjny w systemach klimatyzacyjnych i wentylacyjnych, a także w przenośnych oczyszczaczach powietrza. Dwukierunkowe działanie otrzymanego adsorbentu i wysoka skuteczność czynią go idealnym rozwiązaniem dla pomieszczeń, gdzie ważna jest jakość i czystość powietrza. Niniejsza rozprawa doktorska nie tylko pozwoliła na otrzymanie unikalnych bakteriobójczych adsorbentów do filtrów powietrza na bazie naturalnych minerałów warstwowych i poszerzyła znacząco wiedzę w tym zakresie, ale stanowi także potwierdzenie umiejętności Kandydatki w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz jest inspiracją do dalszych prac badawczych.

Podsumowując ocenę stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Wal, pt.: *Materiały hybrydowe na bazie naturalnych minerałów warstwowych jako wysokowydajne, bakteriobójcze adsorbenty do filtrów powietrza*, spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, określone w Art. 187 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku (tekst jedn. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) tzn. tzn. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Kandydatka wykazuje się bardzo dobrą ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej inżynieria chemiczna oraz ma bardzo duże umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Zwracam się zatem z wnioskiem o przyjęcie niniejszej rozprawy doktorskiej przez Szanowną Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej i dopuszczenie Pani mgr inż. Katarzyny Wal do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jerostaw Kwiatkowski