

**Do Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Inżynierii Chemicznej
Prof. dr. hab. inż. Zofia Lendzion-Bieluń
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
W Szczecinie**

Prof. Dr. hab. Michael Giersig

Foreign member of Polish Academy of Sciences

Head of Department:

Theory of Continuous Media and Nanostructures
Institute of Fundamental Technological Research
Polish Academy of Science
Pawińskiego St. 5B; 02-106 Warsaw, Poland

e-mail: mgiersig@ippt.pan.pl
phone: (+48) 22 826 12 81 ext. 410
mobile: +49 15754999168
<https://www.ippt.pan.pl>

**Recenzja pracy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Aleksandra Staciwy
z tytułem**

**„Otrzymywanie, modyfikacja i charakteryzowanie sfer węglowych do zastosowania w procesach
absorbujących”**

Oceny niniejszej rozprawy doktorskiej dokonano na podstawie pracy przedłożonej przez mgr inż. Piotra Aleksandra Staciwy. Rozprawa składa się z krótkiego streszczenia, wykazu publikacji stanowiących część doktoratu oraz wykazu pozostałych osiągnięć kandydata, a także słów kluczowych. Przedłożona do recenzji praca, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Urszula Narkiewicz, a promotorem pomocniczym dr inż. Daniel Sibera, powstała na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej, w Katedrze Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii, i została napisana w języku polskim.

Ocena przedłożonej pracy doktorskiej

W części głównej pracy, składającej się z dziewięciu rozdziałów, kandydat szczegółowo przedstawił w Rozdziale 1 zagadnienia związane z emisją CO₂, metodami jego wychwytywania oraz adsorpcją na powierzchni adsorbentów. Kandydat wykazał duże zrozumienie problemu zanieczyszczenia powietrza oraz jego znaczenia na skalę międzynarodową, a także konieczności podjęcia globalnych redukujących produkcje CO₂ działań angażujących państwa z całego świata. W sposób logiczny i na wysokim poziomie naukowym przedstawił znane fakty fizykochemiczne, opierając się na starannie wyselekcjonowanej, licznej literaturze.

W **Rozdziale 2** kandydat precyzyjnie zdefiniował pojęcie aktywnego węgla, omawiając jego różnorodność pod względem pochodzenia oraz różnice morfologiczne i strukturalne. Zwrócił uwagę na liczne publikacje, które potwierdzają szerokie zastosowania aktywnego węgla, jego znaczenie w energetyce oraz ochronie środowiska, jak również fizykochemiczne metody jego produkcji.

Wprowadzenie do tematyki „Sfer węglowych” w **Rozdziale 3** było trafne i naukowo poprawne. Kandydat podkreślił olbrzymi potencjał zastosowania sfer węglowych w wielu dziedzinach, takich jak adsorpcja, kataliza, magazynowanie energii czy biomedycyna. Zwrócił uwagę na ich specyficzne właściwości, które

determinują te zastosowania, takie jak morfologia, wysoka wartość powierzchni właściwej i porowatość, stabilność termiczna i chemiczna oraz nietoksyczność.

Rozpoznanie potrzeby tworzenia oraz pełnej charakteryzacji nowych systemów opartych na węglu stało się jedną z głównych myśli przewodnich i celów kandydata. Testowanie oraz modyfikacja istniejących metod, poprzez optymalizację kluczowych parametrów w procesach karbonizacji i polikondensacji, zakończyły się sukcesem w postaci sferycznych struktur węglowych o ogromnym potencjale aplikacyjnym. Fakt, że modyfikacja materiału węglowego mogła być przeprowadzona w jednoetapowej syntezie, zasługuje na szczególne wyróżnienie.

Przekonujące i logiczne przejście do części „Teza i cel pracy” w **Rozdziale 4** świadczy o naukowej dojrzałości kandydata. Nie oznacza to jednak, że nie wymaga ono dodatkowego doprecyzowania. Użyte sformułowania, takie jak „ulepszenie metody otrzymywania wydajnych adsorbentów” czy „w szerokim zakresie modyfikacji”, wymagają bardziej precyzyjnego i kwantyfikowanego języka naukowego. Podobnie, opisy dotyczące zakresu pracy i etapów badawczych, jak „określenie optymalnej ilości” czy „określenie optymalnej temperatury”, a także „porównanie zastosowania konwencjonalnego”, są zbyt ogólnikowe i wymagają większej precyzji.

Komentarz do uzyskanych wyników proponuję nazwać „**Dyskusja otrzymanych wyników**”, co lepiej korespondowałoby z **Rozdziałem 6**, dotyczącym selektywności. W tym rozdziale używany opisowy język nie odpowiada w pełni naukowej formie rozprawy doktorskiej.

Zmiana kolejności **Rozdziału 8** z **Rozdziałem 7** wydaje się bardziej logiczna, co lepiej potwierdziłoby stabilność w procesie cyklicznej adsorpcji/desorpcji CO₂. Wyniki zawarte w **Rozdziale 9** należałoby uzupełnić krótkim komentarzem z odniesieniem do literatury. Na przykład: skąd wiadomo, że IAST 14,2 jest lepsze od 20,2? Jaki jest najlepszy znany współczynnik IAST dla materiałów węglowych według literatury? Trafnie dobrana bibliografia jest dobrą podstawą do tych uzupełnień.

Celowość podjęcia tematu badawczego

Przedmiot badań recenzowanej pracy doktorskiej jest innowacyjny, a jej tematyka dotyczy istotnych zagadnień związanych z badaniami materiałów adsorpcyjnych, które mają szerokie zastosowanie w katalizie, magazynowaniu energii, biomedycynie i innych dziedzinach. Materiały te cieszą się ogromnym zainteresowaniem ze względu na swoje potencjalne zastosowania, jednak mimo postępów technologicznych, są one nadal wyzwaniem badawczym. W przedłożonej pracy doktorskiej przedstawiono syntezę oraz badanie właściwości nanomateriałów na bazie węgla o specyficznych właściwościach adsorpcyjnych. Syntezę prowadzono zmodyfikowaną metodą Stöbera „one-pot”, a uzyskane produkty badano pod kątem składu chemicznego za pomocą metod mikroskopowych i spektroskopowych. Celem było określenie procesów i zależności, które zachodzą w roztworach zawierających żywice jako wydajne adsorbenty węglowe, oraz możliwości ich modyfikacji. Tematyka badawcza wpisuje się bardzo dobrze w aktualny trend badań nad aktywnymi nanomateriałami na bazie węgla.

Wynikiem przeprowadzonych badań są sześć oryginalnych artykułów naukowych z listy filadelfijskiej, które ukazały się w międzynarodowych czasopismach i znajdują się w dalszej części doktoratu jako załączniki. Warto podkreślić imponujący łączny współczynnik MNiSW wynoszący 690 pkt oraz sumaryczny Impact Factor o wartości 24,28. W dwóch z tych prac mgr Staciwa jest pierwszym autorem. Dodatkowo załączona lista 15 innych publikacji potwierdza dojrzałość naukową kandydata, co odzwierciedla się w wysokim Indeksie Hirscha (IH-8). Jego aktywność naukowa, w tym wystąpienia na konferencjach, publikacje monografii oraz patenty, udowadniają pełne zaangażowanie naukowe, które zaowocowało stworzeniem innowacyjnego doktoratu.

Ocena pracy doktorskiej opierała się na oryginalności badań, innowacyjności, doborze odpowiednich metod i technik badawczych oraz trafności podjętego tematu badawczego. Załączone oświadczenia współautorów potwierdzają znaczący wkład mgr Staciwy w publikacje, a prace składające się na dysertację są spójne tematycznie.

Pierwsza z prac wchodzących w skład rozprawy, zatytułowana „Carbon Spheres as CO₂ Sorbents”, poświęcona jest tworzeniu mikroporowatych kulek nanowęglowych metodą solwotermiczną wspomaganą mikrofalami. Celem było poprawienie właściwości adsorpcyjnych dwutlenku węgla oraz badanie wpływu karbonizacji. Dzięki nowatorskiej syntezie otrzymano wysoce porowate materiały nanowęglowe do adsorpcji CO₂, a zastąpienie autoklawu reaktorem solwotermicznym wspomaganym mikrofalami znacząco skróciło czas reakcji. W efekcie uzyskano produkt o jednolitym kształcie i wąskim rozkładzie wielkości. Dzięki zastosowaniu monohydratu szczawianu potasu jako aktywatora uzyskano kontrolowaną ilość mikroporów, co wpłynęło na efektywność adsorpcji CO₂ pod ciśnieniem atmosferycznym.

Druga praca, zatytułowana „Effect of Microwave-Assisted Solvothermal Process Parameters on Carbon Dioxide Adsorption Properties of Microporous Carbon Materials”, koncentruje się na wytwarzaniu kulek węglowych z rezorcyny i formaldehydu przy użyciu reaktora solwotermicznego wspomaganego mikrofalami. Badania wykazały, że możliwe jest pełne kontrolowanie właściwości adsorpcyjnych CO₂ poprzez zmienne takie jak czas reakcji, ciśnienie czy moc, co doprowadziło do znacznego skrócenia czasu reakcji do zaledwie 10 minut.

Pozostałe załączone prace, w których kandydat nie był pierwszym autorem, ale miał istotny wkład, są komplementarne i doskonale uzupełniają całą rozprawę doktorską.

Podsumowanie i ocena

Praca doktorska mgr Piotra Staciwy jest solidnym punktem wyjścia do dalszych analiz oraz stanowi dobrą podstawę do dalszych innowacyjnych badań. Oceniam ją jednoznacznie pozytywnie i uważam, że spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskich. Autor wykazał się dobrą znajomością metodyki syntezy i badań nanomateriałów oraz umiejętnością stosowania odpowiednich technik badawczych. Badania empiryczne zostały opisane w sposób rzetelny, a wyniki mają znaczną wartość naukową.

Na podstawie powyższego, proponuję ocenę: „**Bardzo dobry**” (1.0).

Praca w pełni spełnia wymogi określone w ustawie o szkolnictwie wyższym, dlatego wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Warszawa, 10. 09. 2024