

dr hab. inż. Marian Kordas, prof. ZUT

Szczecin, 19.08.2022 r.

e-mail: mkordas@zut.edu.pl

tel. 91 449-43-32

## RECENZJA

### **rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Wojtalika nt. „Synthesis of molybdenum disulphide nanoparticles with controlled properties in impinging jet reactors”**

Promotor pracy: dr hab. inż. Łukasz Makowski, prof. PW

Promotor pomocniczy: dr inż. Wojciech Orciuch

Podstawą formalną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Warszawskiej, Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Sosnowskiego z dnia 5 lipca 2022 r. informujące, że 21 czerwca 2022 r. uchwałą RNDICH.6-26.2022 zostałem poproszony o opracowanie recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Wojtalika pt. „Synthesis of molybdenum disulphide nanoparticles with controlled properties in impinging jet reactors” w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplina inżynieria chemiczna. Wymogi formalne recenzji zawarte są w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

#### **1. Podstawowe dane o kandydacie ubiegającym się o nadanie stopnia doktora**

Pan mgr. inż. Michał Wojtalik jest absolwentem drugiego stopnia kierunku inżynieria chemiczna i procesowa, które ukończył na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechniki Warszawskiej dnia 21 grudnia 2016 r.

Przesłana do recenzji dokumentacja zawiera oświadczenie, że kandydat nie ubiegał się w przeszłości o nadanie stopnia naukowego doktora, a postępowanie w tej sprawie jest prowadzone po raz pierwszy.

Dorobek naukowy kandydata składa się z: 4 artykułów z bazy JCR, 2 artykułów spoza bazy JCR, 10 wystąpień konferencyjnych (w tym 6 prezentacji ustnych), 8 rozdziałów w monografiach. Pan mgr. inż. Michał Wojtalik brał również udział w grantie badawczym, oraz otrzymał zespołową nagrodę I stopnia Rektora PW za osiągnięcia naukowe w latach (2019-2020) za prace naukowe związane z praktycznym wykorzystaniem reaktorów zderzeniowych w tym opracowanie modelu kinetyki precypitacji disiarczku molibdenu.

Na podkreślenie zasługuje również to, że już jako student pierwszego stopnia kandydat zdobywał znaczne doświadczenie zawodowe pracując w siedmiu zakładach pracy, gdzie zajmował stanowiska: praktykanta, stażysty, automatyka, specjalisty R&D, wdrożeniowca instalacji procesowych. Obecnie Pan mgr. inż. Michał Wojtalik jest współwłaścicielem biura projektowego zajmującego się projektowaniem procesów i instalacji przemysłowych w branży chemicznej, kosmetycznej, farmaceutycznej i spożywczej, gdzie zajmuje stanowisko członka zarządu i dyrektora technicznego.

## 2. Informacje o ocenianej rozprawie doktorskiej

### Wybór tematu badawczego, celu rozprawy oraz zastosowanych metod badawczych

Disiarczek molibdenu ( $\text{MoS}_2$ ) wykazuje bardzo wysoką odporność termiczną i chemiczną przez co najpowszechniejsze zastosowanie znalazł jako środek smarny przykładowo jako dodatek do olei silnikowych. Badania naukowe wykazały, że polepszenie właściwości np. smarnych otrzymywane są w przypadku zastosowania nanocząstek  $\text{MoS}_2$ . Disiarczek molibdenu oprócz wykorzystania w układach zmniejszających tarcie znajduje zastosowanie również między innymi w procesach katalitycznych czy przemyśle energetycznym.

Przemysłowa produkcja disiarczku molibdenu jest oparta głównie na naturalnych złożach, które niestety nie zapewniają uzyskania cząstek o powtarzalnych właściwościach fizykochemicznych i charakteryzują się różnym stopniem krystalizacji w zależności od lokalizacji złoża i zastosowanych metod przetwarzania. Coraz częściej stosowanym podejściem, które umożliwia produkcję cząstek  $\text{MoS}_2$  o pożądanych właściwościach jest zastosowanie syntezy chemicznej prowadzonej w reaktorach zderzeniowych.

Głównym celem pracy było zbadanie wpływu warunków prowadzenia syntezy chemicznej disiarczku molibdenu na wielkość uzyskanych cząstek poprzez zmianę stężeń i warunków przepływu w reaktorze zderzeniowym. Dzięki zastosowaniu odpowiednich warunków prowadzenia procesu oraz geometrii reaktora zderzeniowego możliwe jest uzyskanie idealnego wymieszania strumieni zasilających.

Tematyka rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Wojtalika jest aktualna i dotyczy istotnego problemu jakim jest optymalizacja procesu syntezy disiarczku molibdenu w reaktorze zderzeniowym co pozwala na uzyskanie produktu o wysokiej jakości. Moim zdaniem cel jaki

został wskazany przez autora rozprawy ma duże znaczenie praktyczne i został on osiągnięty, co bez wątpliwości wymagało dużej wiedzy i znajomości tematu.

Zastosowane nowoczesne metody badawcze zarówno doświadczalne jak i metody obliczeniowe CFD z wykorzystaniem komercyjnego pakietu ANSYS i Matlab są odpowiednie i nie budzą wątpliwości. W przypadku badania cząstek otrzymanych na drodze doświadczalnej właściwie wykorzystano zastosowane w pracy techniki badawcze TGA, FTIR, XRD, SEM.

### **Charakterystyka układu rozprawy oraz zastosowane piśmiennictwo**

Recenzowana rozprawa mgr. inż. Michała Wojtalika nt. „Synthesis of molybdenum disulphide nanoparticles with controlled properties in impinging jet reactors”, ma formę pisemnego manuskryptu, podsumowującego i uzupełniającego osiągnięcia naukowe doktoranta, które zostały opublikowane w formie prac naukowych i zaprezentowane na konferencjach.

Rozprawa obejmuje łącznie 91 stron, zawiera: spis treści, streszczenie, wykaz cyklu prac naukowych wraz z określeniem wkładu autora, wykaz konferencji, cel pracy, 6 rozdziałów, spis oznaczeń, spis rysunków, spis tabel, bibliografię, kopie cyklu artykułów naukowych oraz oświadczenia współautorów dotyczące udziału w pracach naukowych. Rozprawa doktorska zawiera 7 tabel, 54 rysunki oraz 66 odniesień literaturowych.

Teść i układ rozprawy doktorskiej, kolejność rozdziałów oraz ilość stron poszczególnych części są poprawne, kompletne i zgodne z ogólnie przyjętymi zasadami redagowania. Zastosowane piśmiennictwo jest poprawne i nie budzi zastrzeżeń.

Rozdział 4 stanowi wprowadzenie w którym doktorant opisuje podstawowe właściwości disiarczku molibdenu, metody jego otrzymywania oraz jego potencjalne zastosowanie jako dodatku do smarów, olei lub jako katalizator.

W rozdziale 5 ogólnie scharakteryzowano substraty, katalizatory, przygotowanie do prowadzenia reakcji syntezy w reaktorach zderzeniowych, metodykę pomiarów oraz opisano procesy separacji i metody pozwalające na uzyskanie materiału o pożądanej strukturze krystalicznej. W rozdziale tym pokazano również instalację doświadczalną oraz sposób prowadzenia procesu syntezy.

Rozdział 6 przedstawia opracowane wyniki w formie rozkładów wielkości cząstek otrzymanych na drodze doświadczalnej w różnych reaktorach zderzeniowych wraz z ich interpretacją i zdjęciami mikroskopowymi przedstawiającymi produkty reakcji chemicznej.

Rozdział 7 poświęcony jest badaniu kinetyki nukleacji i wzrostu cząstek w celu przewidywania wpływu parametrów procesowych na właściwości produktu końcowego. W rozdziale tym sformułowano równania kinetyczne i zastosowano standardową metodę momentów do rozwiązywania bilansu populacji oraz podano stałe kinetyczne wraz z algorytmem ich wyznaczania. W dalszej części rozdziału otrzymany model wprowadzono funkcją użytkownika do pakietu obliczeniowego ANSYS Fluent 2020R1 co umożliwiło przeprowadzenie modelowania obliczeniowej dynamiki płynów (CFD) dla różnych geometrii reaktorów.

W rozdziale 8 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych otrzymanych dla uproszczonych modeli kinetycznych dla różnych typów reaktora zderzeniowego przedstawiających obliczoną średnią wartość cząstek dla różnych warunków prowadzenia procesu. W rozdziale tym pokazano również wyniki badań w formie konturów obrazujących rozkład stężenia znacznika, rozkład prędkości, szybkości nukleacji oraz tempa wzrostu.

Ostatni rozdział 9 zawiera końcowe wnioski wynikające z przedstawionego zakresu prac sporządzone na podstawie uzyskanych wyników i omawia praktyczne zastosowanie proponowanych modeli i metodologii.

### **3. Ogólna ocena merytoryczna rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska jest wykonana w formie pisemnej, której zadaniem jest omówienie cyklu tematycznie powiązanego dorobku naukowego doktoranta na który składa się 7 prac naukowych oraz uzupełniające informacje przygotowane w ramach sześciu konferencji naukowych. Cykl 7 powiązanych prac naukowych (wszystkie prace są na liście MNiSW), złożony jest z: 4 artykułów z bazy JCR, 2 artykułów spoza bazy JCR oraz jednego rozdziału w monografii. Wszystkie 7 powiązanych tematycznie prac naukowych są współautorskie. Na podkreślenie zasługuje to, że aż w 6 pracach głównym autorem jest Pan mgr. inż. Michał Wojtalik a w przypadku jednej publikacji nie znajdującej się w bazie JCR doktorant jest na drugim miejscu. W pracy zamieszczono odpowiednie oświadczenia współautorów o ich udziale w poszczególnych pracach naukowych. Co istotne na stronie 10 rozprawy kandydat

szczegółowo określił swój indywidualny wkład w przygotowanie każdej pracy naukowej. Tak przygotowane informacje jasno pokazują, że w przedstawionym cyklu powiązanych zbiorowych publikacji udział Pana mgr. inż. Michała Wojtalika jest wiodący i nie budzi żadnych wątpliwości.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska wykazała, że doktorant koncentruje się na opisie precypitacji disiarczku molibdenu przy użyciu metody „mokrej”, która prowadzona jest w reaktorach zderzeniowych oraz określeniu wpływu warunków powadzenia procesu na właściwości uzyskiwanego produktu.

Głównym celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie kinetyki reakcji oraz opisanie procesu precypitacji za pomocą zaproponowanego modelu kinetycznego nukleacji i wzrostu. Następnie uzyskany model kinetyczny w połączeniu z obliczeniową mechaniką płynów (CFD) pozwolił na przeprowadzenie symulacji numerycznych.

Doktorant poprzez zrealizowanie nakreślonego celu określił przebieg procesu wytwarzania cząstek co pozwoliło na przewidywanie ich końcowego rozmiaru zależnie od geometrii testowanego reaktora oraz warunków przepływu i początkowych stężeń substratów. Co istotne wyznaczenie kinetyki oraz obliczenia numeryczne zostały weryfikowane na drodze doświadczalnej.

Informacje zawarte w recenzowanej pracy doktorskiej wykazały, że doktorant umiejętnie posługuje się nowoczesnymi przyrządami pomiarowymi oraz potrafi stosować nowoczesne metody obliczeniowe do rozwiązywania praktycznych zagadnień inżynierskich.

Mam tylko jedną uwagę, a raczej pytanie nie umniejszające wartości recenzowanej pracy doktorskiej. W związku z tym, że kandydat dobrze wywiązał się z opracowania kinetyki reakcji i powiązania jej z techniką CFD (dowodem czego są ostatnie publikacje naukowe) to czy były również próby opracowania innej geometrii reaktorów zderzeniowych niż reaktory typu T i V?

#### **4. Uwagi krytyczne**

Brak jest istotnych uwag. W pracy występują drobne błędy jednak błędy te nie wpływają na jakość recenzowanej rozprawy doktorskiej:

- tłumaczenie tytułu rozprawy na język polski, które jest zamieszczone w streszczeniu nie zawiera pełnych informacji, które znajdują się w tytule w języku angielskim str. 7,



- w rozdziale 3 oprócz celu pracy zamieszczono skrótowo informacje dotyczące zawartości rozdziałów 4-8 wydaje się, że informacje zamieszczone na stronie 13 należało przeredagować i zamieścić w streszczeniach rozprawy doktorskiej na str. 7 i 8,
- generalnie w pracy na końcu podpisów rysunków i opisów tabel nie jest stawiany znak kropki poza przypadkami: Figure (5.1, 8.19-8,24), Tabele (5.2, 7.1, 7.2).

### 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Praca nie budzi zastrzeżeń zarówno pod względem formalnym, jak i merytorycznym. Podjęta tematyka rozprawy, sformułowany cel pracy oraz sposób jego realizacji uważam za poprawny z tego powodu rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Michała Wojtalika nt. „Synthesis of molybdenum disulphide nanoparticles with controlled properties in impinging jet reactors” **oceniam pozytywnie.**

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Michała Wojtalika stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozprawa wykazuje cechy nowości naukowej a jej przygotowanie wykazało posiadanie przez kandydata zarówno wiedzy teoretycznej jak i praktycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria chemiczna.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia obecne wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała Wojtalika do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Mając na uwadze, że wyniki bezpośrednio związane z badaniami realizowanymi w ramach przygotowania rozprawy doktorskiej zostały opublikowane i mają nadany numer DOI oraz ich łączna liczba punktów MNiSW, przekracza wartość 150, **wnioskuję o wyróżnienie pracy Pana mgr. inż. Michała Wojtalika nt. „Synthesis of molybdenum disulphide nanoparticles with controlled properties in impinging jet reactors”.**

