



Poznań, 12 października 2024 roku

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Kosowskiej

pt. „Zastosowanie substancji porotwórczych w procesach wytwarzania polimerowych pian stałych przy użyciu ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym”.

Podstawą prawną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Pana Profesora dr hab. inż. Tomasza Sosnowskiego – Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Warszawskiej, z dnia 23 września 2024 roku informujące o powołaniu przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Chemiczna uchwałą RNDICH.9-34.2024 mojej osoby na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Kosowskiej.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Kosowskiej od samego początku sprawia pozytywne wrażenie. Jest interesująca, starannie napisana i zredagowana, z klasyczną i przejrzystą strukturą. Obejmuje bogatą literaturę przedmiotu, w większości z ostatnich lat. Co więcej, wyraźnie widać, że autorka z pasją podchodzi do tematu badań oraz szeroko pojętej inżynierii chemicznej.

### 1. Treść i zakres rozprawy

Produkcja porowatych struktur z materiałów polimerowych z wykorzystaniem płynów w stanie nadkrytycznym jest nowoczesną i zaawansowaną technologią, która zyskuje coraz większe zainteresowanie w wielu dziedzinach nauki i przemysłu. Proces ten łączy w sobie zalety inżynierii materiałowej oraz chemii nadkrytycznej, otwierając nowe możliwości tworzenia lekkich, wytrzymałych i funkcjonalnych materiałów o specyficznych właściwościach.

Płyny w stanie nadkrytycznym, najczęściej nadkrytyczny dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ), wyróżniają się niezwykłymi właściwościami fizycznymi, które sprawiają, że nadkrytyczne płyny są wyjątkowo efektywnym medium do przetwarzania polimerów. W produkcji porowatych struktur proces ten opiera się najczęściej na wykorzystaniu nadkrytycznego  $\text{CO}_2$  jako czynnika spieniającego. Dwutlenek węgla w stanie nadkrytycznym rozpuszcza się w polimerze, obniżając jego temperaturę zeszklenia lub temperaturę topnienia, co sprawia, że polimer staje się



bardziej elastyczny i plastyczny. Następnie, podczas dekompresji, CO<sub>2</sub> gwałtownie odparowuje, tworząc w polimerze pory. Rozmiar, kształt i rozkład porów mogą być kontrolowane poprzez zmianę parametrów procesu, takich jak ciśnienie, temperatura, czas nasycania i szybkość dekompresji. W porównaniu do tradycyjnych metod spieniania, technologia z wykorzystaniem nadkrytycznego CO<sub>2</sub> ma szereg zalet. Przede wszystkim eliminuje konieczność stosowania szkodliwych chemikaliów, które są powszechnie używane jako rozpuszczalniki lub spieniacze w konwencjonalnych procesach. To sprawia, że metoda ta jest bardziej ekologiczna i bezpieczna dla środowiska, co wpisuje się w globalny trend dążenia do zrównoważonego rozwoju. Ponadto, nadkrytyczny CO<sub>2</sub> jest tani, nietoksyczny i łatwo dostępny, co obniża koszty produkcji. Technologia ta, dzięki swojej wszechstronności, otwiera nowe możliwości rozwoju w wielu sektorach przemysłu, a dalsze badania nad jej optymalizacją mogą przynieść jeszcze bardziej obiecujące rezultaty. Praca doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Kosowskiej doskonale wpisuje się w tego typu ukierunkowane badania.

Celem rozprawy doktorskiej jest określenie wpływu warunków realizacji procesu spieniania poli( $\epsilon$ -kapolaktonu) (PCL) bez dodatku porogenów na właściwości wytwarzanych pian stałych i określenie warunków, w których proces jest najbardziej efektywny. Ponadto Autorka chciała doświadczalnie określić wpływ stężenia, stopnia rozdrobnienia i rodzaju stosowanych porogenów na właściwości użytkowe wytwarzanych kompozytowych struktur porowatych. Autorka opiniowanej rozprawy postawiła sobie równie ambitne zadanie oceny użyteczności do zastosowań w inżynierii tkankowej wytworzonych pian stałych z użyciem wybranych porogenów oraz ich mieszanin. Wymagało to zaplanowania i zrealizowania obszernego programu badawczego obejmującego zastosowanie wielu nowoczesnych metod badawczych. Zakres zaplanowanych do przeprowadzenia w pracy badań obejmował:

- zaprojektowanie, zbudowanie i uruchomienie odpowiedniego stanowiska badawczego,
- wykonanie badań eksperymentalnych procesu spieniania dla różnych parametrów operacyjnych,
- określenie wpływu wybranych parametrów na właściwości wytwarzanych struktur porowatych,
- wykonanie badań eksperymentalnych procesu spieniania kompozytów poli( $\epsilon$ -kapolaktonu) zawierających cząstki porogenów o różnym udziale,
- określenie stężeń poszczególnych porogenów w spienianych kompozytach celem uzyskania odpowiednich struktur porowatych,
- ocenę wpływu stopnia rozdrobnienia porogenu na właściwości pian stałych.

Praca została wykonana w Zakładzie Inżynierii i Dynamiki Reaktorów Chemicznych na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej pod opieką Pana Promotora Prof. dr hab. inż. Marka Henczki oraz promotora pomocniczego dr inż. Jana Krzysztoforskiego. Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy ważnej, ze względów poznawczych, problematyki wytwarzania i badania nowych struktur porowatych z materiałów polimerowych. Obecnie, bardzo szerokim spektrum nauki w ramach nowoczesnych, środowiskowych rozwiązań materiałowych jest poszukiwanie materiałów charakteryzującymi



się np. odpornością mechaniczną, stabilnością termiczną i chemiczną, odpornością na działanie promieniowania UV, powierzchnią właściwą i morfologią.

Rozprawa została przedstawiona w postaci 235 stronicowej monografii wydrukowanej przez Politechnikę Warszawską. Przedstawioną do recenzji pracę, składającą się z 7 rozdziałów, podzielić można na dwie zasadnicze części: część teoretyczną oraz część doświadczalną. Całość poprzedza rozdział zawierający streszczenie pracy w językach polskim i angielskim oraz krótkie wprowadzenie. Kończą natomiast wnioski końcowe, wykaz cytowanego piśmiennictwa oraz spisy symboli, skrótów, rysunków oraz tabel. Autorka, na samym końcu rozprawy, zamieściła swój dorobek naukowy. Tytuł rozprawy oddaje w pełni jej zawartość. Niespełna czterostronicowe wprowadzenie oraz sformułowane hipotezy badawcze wprowadzają czytelnika w analizowane zagadnienia i w sposób bardzo jasny przedstawiają konieczność podjęcia proponowanych przez Autorkę badań. Część teoretyczna przedstawia studia literaturowe dotyczące analizowanego zagadnienia. Przedstawiono w nim charakterystykę materiałów porowatych, metody wytwarzania, zastosowanie oraz mechanizmy procesu spieniania materiałów porowatych. Część doświadczalna omawia szeroko i szczegółowo plan pracy i metody badawcze (rozdział 4) oraz wyniki badań doświadczalnych (rozdział 5). Rozdział ten jest najobszerniejszy. Wszystkie prezentowane przez Doktorantkę wyniki badań są dobrze udokumentowane z wykorzystaniem tabel oraz rysunków. Wszystkie rysunki w pracy zostały przygotowane starannie, a ich jakość nie budzi zastrzeżeń. Rozdział 6 to analiza i dyskusja wyników, a rozdział 7 – krótko i zwięźle wymienia najważniejsze wnioski. Na końcu pracy Doktorantka zawarła spis literatury. Przedstawiony przegląd literatury obejmuje aż 179 pozycji literaturowych, w ogromnej większości z ostatniej dekady. Zrobiony jest on bardzo szczegółowo i w pełni odzwierciedla złożoność problemu jakim zajęła się Doktorantka. Pokazuje również rozwój koncepcji naukowych związanych z badanym zagadnieniem. Tak liczny zbiór cytowanych prac dowodzi ogromnego nakładu pracy Doktorantki, która umiejętnie wybrała oraz przejrzysto przedstawiła najważniejsze zagadnienia w części teoretycznej rozprawy. Podsumowując tę część pracy stwierdzić należy, że Autorka zarówno dobrze przygotowała się teoretycznie do zaplanowanych badań, jak też dobrze uzasadnia konieczność podjęcia tego rodzaju badań. Doktorantka wnosi znaczący element nowości naukowej w obecny stan wiedzy, a przeprowadzone badania odznaczają się oryginalnością i mają duży potencjał w aspekcie ich zastosowania w praktyce, w szczególności do zastosowań w medycynie regeneracyjnej.

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

Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest nowemu podejściu do spieniania poli( $\epsilon$ -kaprolaktonu) bez dodatku porogenów oraz określeniu wpływu warunków realizacji tego procesu na właściwości uzyskiwanych pian stałych. Autorka postawiła sobie za cel zbadanie, w jakich warunkach proces spieniania jest najbardziej efektywny, co jest szczególnie istotne w kontekście aplikacyjnym materiałów spienionych. W ramach swojej pracy Autorka przeprowadziła również badania dotyczące wpływu stężenia, stopnia rozdrobnienia oraz rodzaju stosowanych porogenów na właściwości użytkowe wytwarzanych kompozytowych struktur porowatych. Celem tych badań było określenie, w jaki sposób parametry te wpływają



na strukturę i właściwości mechaniczne pian. Ponadto, Autorka podjęła się ambitnego zadania oceny użyteczności wytworzonych pian stałych do zastosowań w inżynierii tkankowej, z wykorzystaniem wybranych porogenów oraz ich dwuskładnikowych mieszanin. Zadeklarowane cele pracy są w znacznym stopniu wynikiem zainteresowań badawczych i dokonań Autorki rozprawy, jak też twórczą kontynuacją badań prowadzonych przez Zespół kierowany przez Pana Prof. dr hab. inż. Marka Henczkę. Należy podkreślić, że przedstawiona tematyka rozprawy doktorskiej wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej nowoczesnych materiałów porowatych, dlatego podjęte działania badawcze uważam za w pełni uzasadnione.

Stwierdzam, że Pani mgr inż. Katarzyna Kosowska zrealizowała wszystkie zadeklarowane cele pracy a uzyskane z wykorzystaniem nowoczesnych metod badawczych (m.in. skaningowa mikroskopia elektronowa SEM, mikrotomografia komputerowa  $\mu$ -CT, skaningowa kalorymetria różnicowa DSC), a uzyskane wyniki – uznaję za wkład w rozwój prac badawczych związanych z metodami wytwarzania nowoczesnych materiałów. Na uwagę zasługuje fakt, że uzyskane wyniki mają duże znaczenie praktyczne, a przedstawiona do recenzji praca ma charakter interdyscyplinarny. Do głównych osiągnięć Doktorantki należy zaliczyć:

- wyprodukowanie pian stałych o dużej porowatości,
- określenie różnic we właściwościach kompozytowych pian stałych w porównaniu do pian wykonanych z poli( $\epsilon$ -kaprolaktonu) bez domieszek,
- zbadanie wpływu wybranych parametrów procesowych na właściwości użytkowe pian,
- zbadanie morfologii pian stałych,
- określenie wpływu wybranych parametrów na właściwości użytkowe wytwarzanych kompozytowych struktur porowatych
- określenie oddziaływania badanego podłoża polimerowego na komórki kostne,
- określenie wpływu materiałów kompozytowych na bioaktywność.

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

Recenzowaną rozprawę czyta się z zainteresowaniem, jest poprawna językowo i wolna od błędów natury edytorskiej. Praca jest dobrze napisana i zredagowana oraz ma przejrzysty, logiczny i wyczerpujący układ. W mojej ocenie Doktorantka mogła zamieścić większe rysunki, ponieważ obecny ich rozmiar utrudnia odczytanie szczegółowych wartości. Większe ilustracje z pewnością ułatwiłyby lepsze zrozumienie przedstawionych danych. Z drobnych uwag, np. Tabele 3.1 i 5.4 nie powinny być podzielone i rozbite na dwóch stronach, ponieważ utrudnia to ich czytelność i spójność (np. Tabele 3.3 i 3.4 Autorka podzieliła prawidłowo). Drugą grupę stanowią uwagi o charakterze merytorycznym. W tym przypadku oczekuję wyjaśnień Doktorantki podczas publicznej obrony pracy doktorskiej.

- Czy Pani zdaniem można było określić/przewidzieć efekty i właściwości wytwarzanych pian na podstawie dokonanego bogatego przeglądu literatury?
- Czym Doktorantka mogłaby szerzej wyjaśnić czym kierowała się podczas doboru warunków realizacji procesu wytwarzania pian stałych zaprezentowanych np. w Tabeli 4.1 (str. 79) oraz wybranych porogenów?

- Dlaczego średni rozmiar porów (str. 86) wyrażono średnicą  $d_{43}$ , a nie np.  $d_{32}$ ?
- Str.89, czy objętość kropli można wyrażać w  $\mu\text{m}$ ?
- Str. 104, czy wyniki przedstawione na Rysunku 5.8. są statystycznie istotne? Na ile istotne można uznać różnice w materiałach uzyskanych dla czasu spieniania 0,08 h i 0,5 h? Czy dokonała Pani analizy statystycznej tych konkretnych wyników (np. Tabela 5.1 sugeruje, że dla żywotności komórek dokonano podstawowych obliczeń).
- I na koniec – czy może Pani przedstawić swoją opinię nt. oceny możliwości zastosowania opracowanych materiałów kompozytowych jako podłoża do hodowli komórek kostnych i dalszych prac w celu opracowania funkcjonalnego implantu kostnego.

Powyższe uwagi, poczynione z obowiązku recenzenta, w najmniejszym stopniu nie podważają wartości poznawczej i aplikacyjnej rozprawy, a stanowią jedynie podstawę do merytorycznej dyskusji podczas publicznej obrony pracy doktorskiej. W mojej opinii przedstawiony w rozprawie materiał spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

#### 4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Uwzględniając aktualność podjętej tematyki rozprawy, trafność zdefiniowanego celu oraz poprawność wnioskowania, pozytywnie oceniam rozprawę doktorską pt. „Zastosowanie substancji porotwórczych w procesach wytwarzania polimerowych pian stałych przy użyciu ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym”. Złożoność problemów z jakimi spotkała się Doktorantka realizując recenzowaną rozprawę, a także ich interdyscyplinarność, niewątpliwie wymagała wiedzy teoretycznej i praktycznej niezbędnej do prowadzenia badań eksperymentalnych oraz ogromnego nakładu pracy. Sposób zaplanowania i prowadzenia badań, jak również forma przedstawienia uzyskanych wyników oraz ich analiza świadczą o dużej wiedzy oraz kompetencjach. Uważam, że Doktorantka zrealizowała założony cel swojej pracy.

**Reasumując stwierdzam, że recenzowana przeze mnie praca doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Kosowskiej spełnia podstawowe wymogi stawiane doktoratom w dziedzinie nauk technicznych i tym samym wnoszę do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynierii Chemicznej Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Katarzyny Kosowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

POLITECHNIKA POZNAŃSKA  
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ  
INSTYTUT TECHNOLOGII I INŻYNIERII CHEMICZNEJ



PROF. DR HAB. INŻ. MAREK OCHOWIAK  
KIEROWNIK ZAKŁADU INŻYNIERII I APARATURY CHEMICZNEJ





prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak  
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ  
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej  
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789  
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

### **Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie**

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Kosowskiej

**pt. „Zastosowanie substancji porotwórczych w procesach wytwarzania polimerowych pian stałych przy użyciu ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym”.**

Uważam, że ze względu na istotne elementy nowości naukowej, pomyślnie zrealizowany bardzo obszerny program badawczy, przejrzysty sposób opracowania dużej liczby uzyskanych wyników oraz duże ich znaczenie praktyczne praca zasługuje na wyróżnienie. Na podkreślenie zasługuje też bogaty dorobek publikacyjny Autorki obejmujący łącznie 19 wartościowych prac. W 8 z nich mgr inż. Katarzyna Kosowska występuje na pierwszym miejscu wśród współautorów. Należy również wspomnieć o przyznanych 2 patentach, 6 zgłoszeniach patentowych oraz 5 realizowanych projektach naukowych. Wartość indeksu Hirscha wynosi 5 (WoS) (Scopus podaje wartość 7), a liczba cytowań 63. Jest to więc duży pod względem ilościowym i wartościowy pod względem merytorycznym dorobek.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA  
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ  
INSTYTUT TECHNOLOGII I INŻYNIERII CHEMICZNEJ

PROF. DR HAB. INŻ. MAREK OCHOWIAK  
KIEROWNIK ZAKŁADU INŻYNIERII I APARATURY CHEMICZNEJ