



dr hab. inż. Katarzyna Gorazda prof. PK
Katedra Technologii Nieorganicznej i Biotechnologii Środowiska
Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej
Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej
Politechnika Krakowska
Ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

Kraków, 07.12.2020 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Skrzypczaka

**pt.: “Otrzymywanie biokompozytów do kontrolowanego transportu
mikroelementów nawozowych”**

opracowana na zlecenie Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej

1. Ocena wyboru tematyki pracy

Zapewnienie odpowiedniego poziomu produkcji żywności oraz jej dobrej jakości związane jest obecnie z wykorzystaniem nawozów zawierających oprócz podstawowych składników pokarmowych również mikroelementy wspomagające rozwój roślin oraz ich odporność na zmienne warunki. Intensyfikacja nawożenia wiąże się również ze znacznymi problemami środowiskowymi w wyniku przenawożenia, uwalniania biogenów do hydrosfery czy degradacją gleby. Poszukiwanie rozwiązań sprzyjających precyzyjnemu nawożeniu tj. zastosowanie nawozów o kontrolowanym lub spowolnionym uwalnianiu makro- i mikroelementowych składników odżywczych jest odpowiedzią na powyższe problemy.

Dotychczasowe rozwiązania rynkowe opierają się jednak na surowcach nieodnawialnych oraz zastosowaniu komponentów polimerowych nie ulegających biodegradacji w środowisku a co za tym idzie niezgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju.

W pracy podjęto się opracowania innowacyjnych biokompozytów hydrożelowych zawierających biomasę odpadową, wzbogaconych w mikroelementy i charakteryzujących się kontrolowanym uwalnianiem składników pokarmowych.

Wytworzone preparaty hydrożelowe będą nośnikiem zarówno makro jak i mikroelementów zimmobilizowanych w materiale biodegradowalnym, pełniącym jednocześnie funkcję magazynu wody. Rozwiązanie łączy w sobie potrzeby nowoczesnego rolnictwa precyzyjnego oraz założenia gospodarki o obiegu zamkniętym a w szczególności jednego z obszarów priorytetowych tj. biomasy i bioproduktów.

Podjęta tematyka pracy jest nowatorska i podyktowana zapotrzebowaniem rynku na nowoczesne, biodegradowalne preparaty mikroelementowe na bazie surowców odnawialnych o kontrolowanym uwalnianiu składników nawozowych i wody.

2. Ogólna charakterystyka i struktura rozprawy

2.1. Część literaturowa

Przedstawiona do recenzji rozprawa zawarta została na 129 stronach i podzielona na siedem rozdziałów. W przeglądzie piśmiennictwa autor wprowadza w zagadnienia realizowane w pracy badawczej. Scharakteryzowane zostały składniki odżywcze istotne dla rozwoju roślin z naciskiem na mikroelementy nawozowe, ich rola dla roślin oraz przyczyny niedoboru. Opisano formy występowania mikroelementów w glebie oraz warunki dla ich dostępności dla roślin. Autor skupił się również na wyjaśnieniu metod oceny biodostępności składników pokarmowych w testach *in vitro* i *in vivo*. W dalszej części przeglądu literaturowego przeanalizowano regulacje prawne dotyczące nawozów w prawodawstwie polskim oraz europejskim i podział nawozów uwzględniający pochodzenie i zastosowania. Po analizie wpływu tradycyjnego nawożenia na otaczające środowisko zdefiniowano grupy nawozów, które w sposób kontrolowany mogą uwalniać składniki odżywcze do gleby tj. nawozy o obniżonej rozpuszczalności, nawozy otoczkowane, nanonawozy oraz nawozy na bazie biomasy czy hydrożele. Nawozy hydrożelowe, które są przedmiotem badań w pracy zostały obszernie scharakteryzowane, począwszy od analizy materiałów wykorzystywanych do produkcji tych trójwymiarowych sieci, poprzez przegląd prowadzonych na świecie badań i produktów dostępnych na rynku. Autor wykazał znaczące zainteresowanie tematyką hydrożeli nawozowych w ostatnich latach, przeanalizował różne matryce tj. alginian/alkohol poliwinylowy, chitozan/skrobia, karagen czy

alginian sodu. W ostatniej części podjęto tematykę biosorpcji, sposobów jej modelowania matematycznego i optymalizacji metodą RSM.

W części literaturowej opierając się na 263 pozycjach literaturowych, w tym jednej współautorstwa Doktoranta, opublikowanych w większości na przełomie ostatnich 10 lat udowodniono, że obecnie stosowane do wytwarzania hydrożeli nawozowych materiały to syntetyczne polimery jedynie w części zastąpione składnikami pochodzenia naturalnego. Wskazano potrzebę prowadzonych prac badawczych opierających się na kompozycjach w całości składających się ze składników naturalnych i wzbogaconych w biomasę, która zwiększa możliwości sorpcyjne materiału.

2.2. Cel zakres pracy i metodyka badawcza

W rozdziale 3 w jasny i syntetyczny sposób zdefiniowano cel pracy, którym było opracowanie innowacyjnych kompozytów hydrożelowych z immobilizowaną biomasą do kontrolowanego transportu mikroelementów nawozowych z wykorzystaniem procesu biosorpcji. Wykorzystano biomasę odpadową po ekstrakcji nasion czarnej porzeczki, rzepaku, lucerny i nawłoci CO₂ w stanie nadkrytycznym oraz skorupki jaj. Za cele szczegółowe postawiono optymalizację składu kompozytów hydrożelowych na bazie alginianu sodu, alginianu sodu i karboksymetylocelulozy wzbogaconych w biomasę i ocenę ich właściwości. Założono optymalizację procesu wzbogacania w mikroelementy i ocenę ich właściwości sorpcyjnych jak również opracowanie metody nanoszenia powłok polimerowych i ocenę uwalniania mikroskładników. Zebrane dane miały posłużyć do wytworzenia docelowych formułacji zawierających jony miedzi, manganu, i cynku, których właściwości użytkowe zbadano w testach *in vitro* i *in vivo*. Zaplanowano również działania przygotowujące produkt do procesu komercjalizacji.

Opis metodyki badawczej przedstawiony został w rozdziale 4 gdzie scharakteryzowano stosowane materiały, surowce i aparaturę. W tej części zawarto również metodykę przygotowania kompozytów i sposób oceny ich właściwości użytkowych tj. identyfikacja grup funkcyjnych, analiza powierzchni, pęcznienie, punkt zerowego ładunku czy kinetyka suszenia. Scharakteryzowano sposób optymalizacji parametrów procesowych, kinetyki i równowagi procesu. Opisano sposób powlekania kapsulek, badania uwalniania jonów miedzi i wzbogacania mikroelementami. Do charakterystyki właściwości nawozowych posłużono się testami ekstrakcyjnymi i testami kiełkowania, a po mineralizacji materiału wykonano analizy ICP-OES.

2.3. Wyniki badań, dyskusja i wnioski

Rozdział 5 zawiera wyniki badań oraz ich dyskusję przedstawione na 66 stronach i poparte 25 tabelami oraz zobrazowane na 26 rysunkach.

W celu doboru właściwego składu biokompozytów hydrożelowych, który charakteryzuje się najlepszą pojemnością sorpcyjną wybrano metodę powierzchni odpowiedzi RSM. Wykorzystano plan Box'a-Behnken'a dobierając zmienne w postaci stężenia alginianu sodu w zakresie 2-5%, stężenia karboksymetylocelulozy w zakresie 0-2% oraz biomasy na przykładzie skorupki jaj w zakresie 1-10%. W przypadku kompozytów z immobilizowaną biomasą optymalizacji dokonano na podstawie pozostałości po ekstrakcji rzepaku CO₂ w stanie nadkrytycznym dobierając zmienne w postaci

stężenia alginianu sodu w zakresie 2-3%, stężenia karboksymetylocelulozy w zakresie 0-1% oraz biomasy w zakresie 2-10%. Uzyskano optymalne stężenia komponentów odpowiednio 5% ALG; 1,2% CMC i 10% skorupki jaj oraz 2 % ALG; 0,5% CMC i 10% pozostałości po ekstrakcji rzepaku.

Właściwości fizykochemiczne struktur biokompozytów tj. identyfikacja grup funkcyjnych, pęcznienie, punkt zerowego ładunku elektrycznego, kinetyka suszenia czy wytrzymałość mechaniczną określono na wybranych pięciu materiałach przygotowanych według zoptymalizowanych wcześniej kompozycji zawierających alginian sodu i karboksymetylocelulozę oraz biomasę w postaci skorupki jaj i pozostałości po ekstrakcji rzepaku, nawłoci, lucerny i porzeczki. Wyniki porównano do matrycy nie zawierających biomasy.

Do identyfikacji grup funkcyjnych za pomocą metody FTIR wykorzystano jedynie 2 kompozyty z biomasą (skorupki jaj oraz pozostałość po ekstrakcji porzeczki z otoczką chitozanową) przed i po procesie sorpcji jonów miedzi. Zidentyfikowano najważniejsze grupy biorące udział w wiązaniu mikroelementów: grupy karboksylowe, hydroksylowe oraz węglanowe a dodatkowo w przypadku materiałów otoczkowanych grupy aminowe. Stwierdzono, że proces sorpcji opiera się na żelowaniu jonowym i wymianie jonowej.

Badając zdolność hydrożeli do pęcznienia w różnych mediach (woda, kwas cytrynowy, chlorek sodu i azotan sodu) udowodniono że hydrożele na bazie alginianu i karboksymetylocelulozy mają wysoki stopień pęcznienia 85-90% a wprowadzona do kompozytów biomasa powoduje zmniejszenie zdolności do zatrzymywania wody do 20-40%. Środowisko 0,1 M kwasu cytrynowego prowadziło natomiast do degradacji kompozytów.

Wyznaczony punkt zerowego ładunku elektrycznego, odgrywający istotną rolę w procesach wymiany jonowej, dla badanych kompozytów wynosił około 6, jedynie w przypadku materiału wzbogaconego w biomasę po ekstrakcji nawłoci był wyższy i wyniósł około 7.

Przechowywanie biokompozytów hydrożelowych w formie stabilnej ma istotny wpływ na koszty magazynowania i transportu, stąd analiza kinetyki suszenia jest istotnym zagadnieniem dotyczącym badanych materiałów. W pracy wykazano, że obecność karboksymetylocelulozy i skorupki jaj w kompozycji zwiększa szybkość usuwania wody, natomiast wprowadzona biomasa roślinna wykazała odwrotne działanie zmniejszając szybkość suszenia w zakresie 30-80%.

Udowodniono, że dodatek do biokompozytów biomasy roślinnej wpływa na parametry wytrzymałościowe struktur powodując znaczne zwiększenie ich elastyczności. Dodatek karboksymetylocelulozy zwiększył odporność na ściskanie, natomiast dodatek skorupki jaj obniżył ich właściwości mechaniczne. Dodatkowo badaniom wytrzymałościowym poddano kompozyty ALG/CMC/SJ wzbogacone w jony miedzi, cynku i manganu (których wytwarzanie opisano dopiero w dalszej części pracy) obserwując znikomy wpływ jonów miedzi oraz zwiększoną elastyczność materiałów w przypadku jonów cynku i manganu.

W podrozdziale 5.3 wykonano optymalizację procesu sorpcji jonów miedzi metodą RSM wykorzystując jedynie biokompozyt ALG/CMC/SJ. Jako zmienne parametry analizowano wpływ pH roztworu zawierającego jony miedzi (3-5), stężenie kapsulek biokompozytu ($3-35 \text{ g/dm}^3$) oraz stężenie jonów miedzi w roztworze ($50-250 \text{ mg/dm}^3$) na pojemność sorpcyjną materiału. Wykazano pozytywny wpływ stężenia jonów miedzi na pojemność sorpcyjną i wyznaczono optymalne warunki procesu sorpcji tj. $\text{pH} = 5$, stężenie jonów miedzi w roztworze 250 mg/dm^3 i stężenie kapsulek biokompozytu 5 g/dm^3 .

Analiza kinetyki i równowagi sorpcji jonów miedzi w zoptymalizowanych wcześniej warunkach została wykonana dla biokompozytów wzbogaconych w biomasę roślinną i skorupki jaj oraz dla biokompozytów na bazie alginianu i karboksymetylocelulozy. Analizowano modele podstawowe PFOR, PSOR i GRLE oraz model dyfuzji wewnątrzcząsteczkowej. Stwierdzono, że kinetykę sorpcji najlepiej opisuje model uogólniony (GRLE). Wprowadzenie do biokompozytu karboksymetylocelulozy przyspiesza szybkość wzbogacania w jony miedzi natomiast wprowadzenie biomasy roślinnej wpływa na jego spowolnienie. Na podstawie dyfuzyjnego modelu Weber'a-Morris'a wykazano, że proces sorpcji jest dwuetapowy a w przypadku biokompozytów z wprowadzoną biomasą odpadową trójetapowy. Na podstawie modelu Sips'a wyznaczono parametry równowagowe wyznaczając maksymalną zdolność sorpcyjną dla biokompoztów. Najwyższe wartości uzyskano dla materiałów wzbogaconych w skorupki jaj (23,5 mg/g) oraz pozostałości po ekstrakcji porzeczek (19,4 mg/g). Wykazano wydajność sorpcji jonów Cu z roztworu na poziomie 80%. Dodatek karboksymetylocelulozy zwiększył zdolność sorpcyjną biokompozytu o około 40%.

W kolejnym etapie pracy tylko na kompozycie ALG/CMC/P naniesiono otoczki chitozanowe o dwóch różnych grubościach, nie stwierdzając podczas procesu uwalniania jonów miedzi z kompozytu do roztworu. Nastąpiła homogenizacja powierzchni a sama struktura uzyskała bardziej zwartą i regularną formę.

Badania uwalniania jonów Cu w ciągu 14 dni przeprowadzono dla wszystkich wzbogaconych biokompozytów oraz dla dwóch biokompozytów z otoczką chitozanową. Autor zaproponował różne media tj. 0,1M kwas cytrynowy, 0,1 M NaNO₃, 1% NaCl, roztwory o pH równym 3; 5,8 i 7. Wykazano znaczący wpływ pH roztworu na proces desorpcji. Dodatek do formulacji biomasy oraz karboksymetylocelulozy spowodował zmniejszenie uwalniania jonów do roztworu natomiast powłoka chitozanowa wpłynęła na dwukrotne obniżenie tego parametru. Analizę kinetyki uwalniania jonów Cu przeprowadzono na trzech kompozytach ALG i ALG/CC oraz ALG/CMC/SJ stwierdzając że mechanizm dyfuzji zachodzi zgodnie z prawem Fick'a a wprowadzona biomasa wpływa na obniżenie szybkości desorpcji czterdziestokrotnie.

Po wnikliwej charakterystyce jakościowej i analizie mechanizmu sorpcji i desorpcji mikroelementów na przykładzie jonów Cu z matrycy biokompozytów hydrożelowych Autor przystąpił do wstępnego określenia właściwości użytkowych w testach kiełkowania. Jako materiał badawczy wytypowano ALG/CMC/P i jego formę z otoczką chitozanową ALG/CMC/PO1. Zastosowano dawkowanie umożliwiające wprowadzenie 20-300% zapotrzebowania ogórka na związki Cu. Najlepsze rezultaty plonowania uzyskano dla dawki pokrywającej w 100% zapotrzebowanie na miedź oraz w przypadku preparatu otoczkowanego 200%. Wykazano korzystny wpływ stosowanych biokompozytów z jonami Cu na parametry rośliny (długość korzeni, łodygi, masy kielków i chlorofilu oraz zawartość Cu w materiale roślinnym) jak również trzykrotny wzrost współczynnika przyswajalności Cu. Nie stwierdzono działania fitotoksycznego.

W ostatnim etapie badań Doktorant skoncentrował się na wytworzeniu kapsułek biokompozytów wzbogaconych jonami Zn, Cu i Mn na podstawie zoptymalizowanych wcześniej procedur. Wykorzystano kompozyty ALG/CMC/SJ o najlepszych parametrach jakościowych i sorpcyjnych. Po wnikliwej charakterystyce jakościowej oraz ocenie parametrów użytkowych w testach ekstrakcyjnych i testach kiełkowania Autor wykazał wysoki udział frakcji biodostępnych dla roślin na poziomie 98% oraz niską zawartość frakcji wymywalnych w wodzie. Uwalnianie całości

mikroskładników następuje w ciągu 24h w środowisku obojętnego cytrynianu amonu. Zastosowanie biokompozytów wzbogaconych w mikroelementy dało o 19% wyższą masę kielków w porównaniu do kontroli. Zastosowanie optymalnej dawki preparatu powodowało 100% wyższy współczynnik przyswajalności Mn i 700% wyższy współczynnik przyswajalności Zn. Potwierdzono tym samym, że po zastosowaniu wytworzonych preparatów następuje biofortyfikacja roślin w wybrane mikroelementy a stosowanie dawki powyżej 100% zapotrzebowania na dany mikroelement wywołuje efekt fitotoksyczny.

Dopełnieniem pracy jest przygotowanie instrukcji stosowania preparatu oraz ocena wartości rynkowej, zaproponowanie technologii wytwarzania i możliwości komercjalizacji produktu. Badania podsumowano w rozdziale 6 i wyciągnięto prawidłowe wnioski.

3. Pytania i uwagi dyskusyjne

Podczas analizy rozprawy doktorskiej przedstawionej do recenzji nasunęły się poniższe pytania i uwagi, które mają charakter otwartej dyskusji i nie obniżają mojej bardzo pozytywnej oceny pracy, ale mogą pomóc w jej zrozumieniu i odbiorze:

1. Proszę o wyjaśnienie na jakiej podstawie dobrano zakresy stężeń alginianu sodu, karboksymetylocelulozy oraz biomasy w rozdziale 5.1.
2. Proszę o wyjaśnienie na jakiej podstawie dobrano zakresy stężeń alginianu sodu i karboksymetylocelulozy w kompozycie ALG/CMC w tabeli 5.
3. Podana w tabeli 10 zawartość makro i mikroskładników w materiałach stosowanych do wytwarzania biokompozytów została przeliczona na kilogram próbki w stanie rzeczywistym czy na suchą masę próbki?. Podobnie w tabeli 27 masa składników przeliczona jest na próbkę biokompozytów w stanie powietrzno-suchym czy wysuszoną do stałej masy?
4. Proszę o wyjaśnienie jak obliczano pęcznienie oraz komentarz do opisu osi y na rys. 16 (do czego odnosi się % masowy).
5. Czym podyktowany był wybór kompozytu ALG/CMC/SJ w badaniach optymalizacji procesu sorpcji oraz na jakiej podstawie dobrano zakresy zmiennych parametrów tj. pH roztworu zawierającego jony miedzi, stężenia kapsulek biokompozytu oraz stężenia jonów miedzi w roztworze?
6. Jakie były przesłanki do wyboru biokompozytu ALG/CMC/P po sorpcji jonów Cu jako jedynego przedstawiciela do badań nad wytworzeniem powłok chitozanowych?
7. Na jakiej podstawie dokonano wyboru mediów oraz czasu w badaniach uwalniania jonów Cu z biokompozytów w rozdziale 5.7? Czy norma PN-EN 13266:2003 Nawozy wolnodziałające - - Oznaczanie uwalniania składników odżywczych -- Metoda dla nawozów otoczkowanych nie miałyby tu zastosowania?
8. Jakie były przesłanki do wyboru biokompozytu ALG/CMC/P i ALG/CMC/PO1 jako jedynego przedstawiciela do testów kiełkowania w rozdziale 5.6 ?

Uwagi:

- W rozdziale 4.1. nie zawarto informacji o podstawowych parametrach biomasy odpadowej wykorzystywanej w badaniach tj. zawartość wilgoci, uziarnienie, jednorodność oraz wielkości

próby reprezentatywnej i sposobu jej poboru do badań jak również warunków w których ona powstała lub ją spreparowano.

- W rozdziale 4.2. powlekanie kapsulek powinny znaleźć się dodatkowo konkretne warunki prowadzenia procesu otaczania chitozanem
- W mojej opinii tabela 10 charakteryzująca skład materiałów użytych do poszczególnych formułacji powinna znaleźć się na początku rozdziału 5 lub po tabeli 4.
- Kompozyty z otoczką chitozanową oznaczano w pracy dodatkowym symbolem O czym zatem różni się kompozyt ALG/CMC/P z otoczką chitozanową wykorzystany do badań w rozdziale 5.2.2 od ALG/CMC/PO1?
- Wykresy 13a 14.a, 16, 21a, 22, 24, 25, 30 a i b są mało czytelne (czcionka w opisach osi) podobnie jak rys. 26 i 27 są bardzo ciemne i nie pozwalają na odczyt parametrów zawartych na zdjęciu.
- W rozdziale 4 „metody i materiały” brak jest procedury dotyczącej badań uwalniania jonów Cu z biokompozytów w różnych mediach w ciągu 14 dni.
- Wykonanie analizy na zawartość azotu w biokompozytach uzupełniłoby dane dotyczące makroskładników nawozowych.

W pracy występują drobne potknięcia edytorskie tj.:

- W tabeli 5 kompozyt ALG/CMC nie powinien zawierać biosorbentu na poziomie 10%
- W tytule Tab. 23 zawarto błędny opis analizowanych kompozytów

4. Ocena końcowa

Rozprawa przedstawiona do recenzji została przygotowana w sposób bardzo przemyślany i zorganizowana w logicznym ciągu badawczym. Wyczerpująca analiza literatury oparta na najnowszych pozycjach wprowadza czytelnika we wszystkie zagadnienia realizowanej pracy oraz wykazuje, że podjęta tematyka jest innowacyjna a jej rezultaty pożądane na rynku nowoczesnych biopreparatów do nawożenia precyzyjnego.

W mojej opinii cel pracy został osiągnięty, opracowano metodę wytwarzania innowacyjnych kompozytów hydrożelowych z immobilizowaną biomasą do kontrolowanego transportu mikroelementów nawozowych z wykorzystaniem procesu biosorpcji. Osiągnięto również cele szczegółowe optymalizując skład kompozytów hydrożelowych i proces ich wzbogacania w mikroelementy a wytworzone ostatecznie biokompozyty wykazały założone właściwości użytkowe w testach *in vitro* i *in vivo* i pozytywne działanie.

Innowacyjność samego produktu polega na zastosowaniu ekologicznego procesu wytwarzania kapsulek hydrożelowych opartego o materiały w pełni biodegradowalne oraz biomasę odpadową realizując zagadnienia gospodarki o obiegu zamkniętym poprzez zastosowanie tzw. surowców cyrkularnych. Technologia jest prosta i zapewnia zagospodarowanie wszystkich strumieni procesowych. Opracowane preparaty mają wysoką skuteczność i dostarczają mikroelementy na każdym etapie wzrostu rośliny.

W pracy przedstawionej do recenzji mgr inż. Dawid Skrzypczak rozwiązał oryginalny problem naukowy opracowując metodę wytwarzania innowacyjnych kompozytów hydrożelowych z

immobilizowaną biomasą do kontrolowanego transportu mikroelementów nawozowych z wykorzystaniem procesu biosorpcji a wyniki jego badań stanowią pełną ofertę technologiczną gotową do wdrożenia. Potwierdził tym samym umiejętność samodzielnego planowania badań i prowadzenia pracy eksperymentalnej z wykorzystaniem różnych technik badawczych oraz syntetycznej prezentacji i dyskusji wyników, ich interpretacji i wyciągania prawidłowych wniosków.

Dysertacja wnosi istotny wkład w zakresie poznawczym i użytkowym w zagadnienia biosorpcji mikroskładników na złożonym materiale biokompozytowym zawierającym odpadową biomasę nieopisywaną dotychczas w literaturze. Za szczególnie istotne uważam scharakteryzowanie właściwości fizykochemicznych struktur biokompozytów oraz analizę kinetyki i równowagi sorpcji oraz uwalniania składników mikroelementowych. Istotnym jest również opracowanie warunków wytworzenia biokompozytów o zweryfikowanych parametrach użytkowych do precyzyjnego nawożenia.

Praca została przygotowana w bardzo dobrym, czytelnym układzie i dopracowana pod kątem edytorskim.

Uwzględniając powyższą ocenę, uważam, że rozprawa mgr inż. Dawida Skrzypczaka zatytułowana: „Otrzymywanie biokompozytów do kontrolowanego transportu mikroelementów nawozowych”, spełnia wszystkie wymogi stawiane pracom doktorskim w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki”. Wnoszę o przyjęcie niniejszej rozprawy i dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania i publicznej obrony.

Ponadto, biorąc pod uwagę ogromny dorobek naukowy doktoranta, jakość merytoryczną i poznawczą pracy oraz jej wysoki poziom edytorski, wnoszę o wyróżnienie rozprawy.



dr hab. inż. Katarzyna Gorazda prof. PK