



Prof. dr hab. inż. Paweł Chmielarz
Kierownik Katedry Chemii Fizycznej
e-mail: p_chmiel@prz.edu.pl

Rzeszów, 14.01.2025 r.

Recenzja

pracy doktorskiej Pana mgr inż. Mateusza Grabowskiego
pt. „Modyfikacja polilaktydu poprzez wprowadzenie do struktury
polimeru ugrupowania zawierającego podatne na termiczną dysocjację
wiązanie kowalencyjne”

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo nr L.Dz. 53/SN/2024 z dnia 10 grudnia 2024 roku informujące o tym, że Rada Naukowa Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w Łodzi na swym 161 posiedzeniu dnia 9 grudnia 2024 powołała mnie na recenzenta w tym postępowaniu. Podstawę formalną wykonania wspomnianego opracowania stanowi umowa z Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN na opracowanie wspomnianej recenzji. Recenzję oparto na przekazanych mi materiałach, czyli zawartości pracy doktorskiej obejmującej m. in. opracowanie Doktoranta wraz z załączonymi 6 publikacjami.

Informacje dotyczące pracy doktorskiej i dorobku naukowego

Rozprawa doktorska została zrealizowana w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk pod kierunkiem Promotora: Pani dr hab. Melanii Bednarek oraz Promotora pomocniczego: dr Bartłomieja Kost. Podstawową część rozprawy obejmuje monotematyczny cykl artykułów naukowych stanowiących osiągnięcie naukowe, wymienionych w dysertacji i opatrzonych





wspólnym tytułem. Wykaz ten uzupełnia wprowadzenie w tematykę badawczą syntezy i modyfikacji polilaktydu, merytoryczny opis problematyki poruszanej w publikacjach wraz z wnioskami i bibliografią obejmującą 76 pozycji literaturowych, a także krótkie streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

W dysertacji zawarty jest również wykaz osiągnięć naukowych Doktoranta, w tym zestawienie publikacji i spis wystąpień konferencyjnych w formie komunikatów ustnych i prezentacji posterowych. Na uwagę zasługuje będący na bardzo dobrym poziomie sumaryczny dorobek naukowy Kandydata, który składa się z 6 opublikowanych prac ujętych w bazie *Journal Citation Reports* (JCR) o sumarycznej wartości *Impact Factor* równej 35,8. Wspomniane prace były cytowane 15 razy według bazy Scopus. Pan mgr inż. Mateusz Grabowski był również wykonawcą w projekcie finansowanym ze środków Narodowego Centrum Nauki (Opus). Dalej w autoreferacie zamieszczone są kopie wspomnianych publikacji (prace nr Publikacja 1–6) stanowiących rozprawę doktorską wraz z oświadczeniami współautorów.

Praca doktorska – wymogi formalne

Praca doktorska Pana mgr inż. mgr inż. Mateusza Grabowskiego obejmuje artykuły naukowe uzupełnione autorskim opracowaniem. Wspomniane artykuły zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach zagranicznych, m. in. w *Polymer Reviews* oraz dwukrotnie w *Polymer*. W tym miejscu warto zaznaczyć, iż większość z wymienionych czasopism to absolutna czołówka w dziedzinie chemii polimerów, w tym zagadnień dotyczących syntezy i charakterystyki polilaktydu.

Z analizy zapisów zamieszczonych w artykułach (sekcja „Author Contributions”) oraz oświadczeniach współautorów wynika, że wkład Doktoranta wraz z Promotorem i Promotorem pomocniczym w powstanie prac był wiodący i polegał na opracowaniu koncepcji i metodologii badań, ich przeprowadzeniu wraz z analizą oraz opracowaniem uzyskanych wyników w formie publikacji, co jest



kluczowe przy ocenie wpływu pracy naukowej na rozwój dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przytoczone informacje świadczą o bardzo wysokim poziomie merytorycznym wyników prac naukowych zaprezentowanych w formie dysertacji, stanowiących podstawę postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora nauk ścisłych i przyrodniczych oraz są potwierdzeniem jakości prowadzonych badań. Podsumowując, nie mam wątpliwości, iż wymogi ustawowe i zwyczajowe przyjęte dla tej formy prezentacji rozprawy doktorskiej zostały spełnione.

Praca doktorska – ocena merytoryczna

Aktualność tematyki badawczej

Recenzowana praca doktorska dotyczy analizy możliwości modyfikacji polilaktydu wynikającej z wprowadzenia do jego struktury wiązania kowalencyjnego o charakterze odwracalnym, a mianowicie wiązania węgiel-węgiel w grupie tetrafenyloetanu podatnego na dysocjację termiczną. W części literaturowej dysertacji mgr inż. Mateusz Grabowski podkreślił, iż wymagania stawiane obecnie materiałom polimerowym są coraz bardziej restrykcyjne, ze względu na trudności pojawiające się podczas otrzymywania produktów o pożądanych właściwościach fizykochemicznych, biologicznych oraz mechanicznych. Dlatego też od dekad trwają badania nad opracowaniem metodologii syntezy polimerów otrzymywanych z surowców odnawialnych. W tym kontekście kluczowy wydają się być polilaktyd – biodegradowalnym polimer, wytwarzany z surowców odnawialnych, takich jak skrobia kukurydziana, charakteryzujący się przy tym dobrą stabilnością chemiczną, wysoką przezroczystością oraz niską przepuszczalnością dla gazów, co czyni go idealnym materiałem do zastosowań opakowaniowych. Dodatkowo, za sprawą swoich właściwości mechanicznych, jest najczęściej stosowany w produkcji włókien, a także w medycynie, np. w implantach czy szwach chirurgicznych, gdzie biodegradacja jest zjawiskiem pożądanym. W aspekcie zastosowań w medycynie,



biotechnologii czy mikrobiologii, zasadniczą wadą polilaktydu jest jego hydrofobowość, co sprawia, że materiał ten ma ograniczoną zdolność do wchłaniania wody, co z kolei wpływa na interakcje z tkankami i komórkami. W związku z tym, często wykazuje słabą adhezję do komórek i tkanek, co może utrudniać proces integracji materiału z organizmem. Niska adhezja może z kolei prowadzić do pogorszenia biokompatybilności, co jest szczególnie istotne w zastosowaniach takich jak implanty czy systemy dostarczania leków. Ponadto, słaba interakcja z komórkami może ograniczać proliferację i różnicowanie komórek na powierzchni polilaktydu, co negatywnie wpływa na regenerację tkanek. Dodatkowo, w kontekście aplikacji medycznych, jego hydrofobowość może prowadzić do trudności w modyfikacji powierzchni, co jest kluczowe dla poprawy właściwości biokompatybilnych. W związku z tym, poszukiwanie metod poprawy adhezji, takich jak modyfikacje chemiczne lub fizyczne, staje się ważnym kierunkiem badań w celu zwiększenia efektywności polilaktydu w zastosowaniach biomedycznych.

Autor rozprawy przedstawił nową strategię syntezy polilaktydu i sieci polilaktydowych. W pierwszej części pracy, ugrupowanie tetrafenyloetanu posiadające zdolność do termicznej dysocjacji z wytworzeniem rodników, wykorzystano jako inifeter w celu inicjowania polimeryzacji rodnikowej monomerów nienasyconych. Tymczasem w drugiej części pracy, wspomniane ugrupowanie wykorzystano do syntezy odwracalnych/dynamicznych kowalencyjnych sieci polilaktydowych. Nie ulega wątpliwości, iż otrzymane przez Kandydata materiały polimerowe (a scharakteryzowane w pracach nr 1–5) oferują możliwość ich dalszej modyfikacji w wyniku procesu wprowadzania grup funkcyjnych, których obecność może być wykorzystywana do polimeryzacji i konstruowania bardziej skomplikowanych i dobrze zdefiniowanych struktur polimerowych z wykorzystaniem chociażby wybranych metod polimeryzacji rodnikowej z odwracalną dezaktywacją (RDRP, ang. Reversible-Deactivation Radical Polymerization). W tym kontekście szczególnie obiecująca wydaje się być koncepcja nadawania bioaktywności polilaktydu w kierunku proliferacji ludzkich komórek neuronowych, co stwarza możliwość ich zastosowania w opracowywaniu rusztowań 3D do wzrostu komórek.





Reasumując, uważam, że podjęcie pracy w tak nowatorskiej dziedzinie wiedzy, jaką jest synteza i analiza właściwości sieci polilaktydowych spełnia kryteria, jakim powinna odpowiadać współczesna praca doktorska. Należy podkreślić, iż oceniana dysertacja wpisuje się w trend nieustannych prac badawczych podejmowanych w wielu światowych ośrodkach, w tym także w zespole łódzkim nad opracowaniem technologii otrzymywania nowych nanomateriałów do zastosowań w obszarze technologii tworzyw sztucznych oraz inżynierii biomedycznej. W tym kontekście zapotrzebowanie na przyjazne środowisko oraz charakteryzujące się korzystnymi właściwościami użytkowymi nanomateriały są motywacją do ciągłego rozwoju badań nad opracowaniem nowych i efektywnych technik ich otrzymywania, które umożliwiają w szerokim zakresie kontrolę właściwości fizykochemicznych i biologicznych produktów końcowych. W dalszej perspektywie umożliwi to projektowanie precyzyjnie zdefiniowanych materiałów polimerowych, co doskonale wpisuje się w zagadnienia, w których Doktorant już się specjalizuje, a stanowić będzie jedno z moich pytań w końcowej części recenzji.

Zakres pracy i fachowość Doktoranta w doborze i interpretacji metod badawczych

W pierwszej części pracy mgr inż. Mateusz Grabowski opisał możliwość wprowadzenia ugrupowania tetrafenyloetanu do łańcucha polilaktydu. W tym celu przeprowadził badania wstępne mające na celu przeanalizowanie reaktywności komercyjnego tetrafenyloetano-1,2-diolu (TPED) jako związku pozwalającego na ulokowanie wspomnianej grupy w strukturze polilaktydu. Kolejne prace wykazały jednak niewystarczającą reaktywność trzeciorzędowych grup hydroksylowych w TPED zarówno w reakcji inicjowania polimeryzacji laktydu jak też w reakcji z diizocyjanianami. Co warto podkreślić, w dalszej części pracy Doktorant zaproponował alternatywne metody wprowadzania ugrupowania tetrafenyloetanu. W tym celu otrzymał pochodne benzofenonu z reaktywnymi grupami hydroksylowymi, będące prekursorami grup tetrafenyloetanu. Wykorzystując otrzymane pochodne opracował dwie metody wbudowania wspomnianych grup do makrocząsteczki polilaktydu. Pierwszą, poprzez inicjowanie pochodną





hydroksybenzofenonu kationowej polimeryzacji laktydu, w wyniku której, w następstwie sprzęgania, otrzymano łańcuchy polilaktydu z wbudowaną jedną grupą tetrafenyloetanu oraz drugą, opartą na reakcji sprzęgania pochodnej tetrafenyloetanodiolu z oligodiolem polilaktydu z użyciem diizocyjanianu, w wyniku której otrzymano poli(estro-uretan) zawierający wiele grup tetrafenyloetanu w łańcuchu. Wprowadzenie wspomnianych ugrupowań do łańcucha polilaktydu umożliwiło – w toku dalszych prac – syntezę kopolimerów blokowych polilaktydu z monomerami winylowymi.

Sporo uwagi Autor poświęcił również weryfikacji możliwości wykorzystania ugrupowania tetrafenyloetanu do syntezy odwracalnych/dynamicznych kowalencyjnych sieci polilaktydowych. W tym kontekście opracował dwie metody ich syntezy. W pierwszej, wykorzystał pochodną hydroksybenzofenonu zawierającą pierścień epoksydowy jako komonomer w reakcji kopolimeryzacji z laktydem, a otrzymany kopolimer usieciował w wyniku reakcji sprzęgania bocznych grup benzofenonu. Obecność grup tetrafenyloetanu w węzłach sieci mających zdolność inicjowania polimeryzacji monomerów winylowych, wykorzystał również do wprowadzenia jednostek akrylonitrylu do struktury sieci. W tym kontekście Kandydat wykazał, że wprowadzenie bloków poliakrylonitrylu do struktury sieci skutkuje poprawą odporności termicznej oraz poprawą właściwości mechanicznych. Natomiast druga metoda otrzymywania sieci zawierających w swojej strukturze grupy tetrafenyloetanu oparta została na sprzęganiu polilaktydów gwiaździstych (zawierających grupy tetrafenyloetanu w rdzeniu) za pomocą diizocyjanianu. Co ważne, w toku dalszych prac zademonstrował również właściwości samonaprawiające się otrzymanych sieci.

Podsumowując, mgr inż. Mateusz Grabowski wykazał się sprawnością w prowadzeniu syntez nowej generacji związków wielkocząsteczkowych (sieci polilaktydowych) oraz interpretacji wyników dotyczących ich właściwości fizykochemicznych. Zakres prac badawczych, jakie wykonał i opisał w swojej rozprawie, spełnia wymagania stawiane wobec Kandydatów do stopnia naukowego doktora nauk ścisłych i przyrodniczych.





Sposób zredagowania rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Grabowskiego została zredagowana w sposób staranny, znalazłem jedynie nieliczne uchybienia językowe oraz interpunkcyjne. Układ pracy jest typowy, a jednocześnie poprawny dla prac doktorskich. Pewną trudność w ocenie pracy doktorskiej na podstawie publikacji jest ich numeracja i przypadkowe zamieszczenie w dysertacji, co znacznie utrudnia charakterystykę rozwoju badań Doktoranta. Ułatwieniem w tej sytuacji byłoby zestawienie wszystkich publikacji na końcu dysertacji oraz ich odpowiednie oznakowanie, co w sumie umożliwiłoby wertowanie tego obszernego materiału zgodnie z potrzebami.

Uwagi i pytania

W recenzowanej dysertacji trudno jest znaleźć słabe punkty, co niewątpliwie potwierdza wysoką jakość zrealizowanych przez Kandydata prac badawczych, niemniej jednak z obowiązku recenzenta poniżej zamieszczam następujące uwagi i pytania:

- Pierwsza uwaga dotyczy braku bardziej gruntownego zbadania mechanizmu reakcji, wraz z wyznaczeniem pozornych stałych szybkości poszczególnych reakcji składowych i oceny wpływu określonych parametrów na ich przebieg. Doktorant ograniczył się jedynie do potwierdzenia, iż w zastosowanych w pracy warunkach polimeryzacja rzeczywiście zachodzi, gdyż jej efektem jest uzyskanie polimeru charakteryzującego się potwierdzoną masą cząsteczkową (wyniki GPC) oraz strukturą (wyniki ^1H NMR, ^{13}C NMR i FT-IR).
- W tym kontekście warto również wyznaczyć frakcję łańcuchów zakończonych w sposób rodnikowy (DCF, ang. Dead Chain Fraction). Stanowić to będzie potwierdzenie zachowania funkcyjności grup końcowych w powstałych łańcuchach polimerowych po zakończeniu polimeryzacji. Z tego względu prawdopodobieństwo wewnątrzcząsteczkowego sprzęgania powstających





polimerów powinno być nieznaczące, może jednak zostać zwiększone ze względu na bliskość aktywnych rodników w układach gwiazdzystych, które Kandydat opisuje w dysertacji.

- Doktorant stwierdza, iż zaproponowana koncepcja syntezy materiałów polimerowych jest obiecująca ze względu na korzyści środowiskowe. W związku z powyższym w toku dalszych rozważań powinny pojawić się dodatkowe informacje dotyczące m. in. toksyczności wszystkich reagentów stosowanych w opracowanej metodologii. Szczególnie interesujące byłoby przedstawienie opisu wpływu przytoczonej metody na środowisko, poprzez wyznaczenie dla wybranych układów czynnika środowiskowego w postaci tzw. współczynnika E-factor, zdefiniowanego jako stosunek masy odpadów do 1 kg produktu.
- Podane przykłady syntezy związków wielkocząsteczkowych, w tym sieci polilaktydowych są dobrze dobrane i opisane. Niemniej jednak zdecydowanie sugerowałbym rozważenie dodania krytycznej dyskusji na temat zakresu i ograniczeń stosowalności opisanych w dysertacji związków, tj. ich selektywności, zakresu różnych monomerów tolerowanych przez dany system, czy optymalnej temperatury reakcji.
- W kontekście powyższych uwag warto również aby Kandydat mógł szczegółowo skomentować możliwość recyklingu i ponownego zastosowania zaproponowanych systemów oraz wyjaśnić która z wybranych kompozycji jest najbardziej obiecująca w ujęciu chociażby wpływu na środowisko (czynnik środowiskowy).
- Z lektury dysertacji wynika, iż strukturę uzyskanych związków potwierdzono technikami spektroskopowymi (^1H NMR, ^{13}C NMR oraz FT-IR). W tym przypadku do rozważenia pozostawiam uzupełniającą analizę ich struktury z wykorzystaniem chociażby spektrometrii mas jonów wtórnych z analizatorem czasu przelotu jonów (ToF-SIMS).
- Otrzymane przez siebie polimery Doktorant analizował, wykorzystując technikę analizy termicznej (DSC). Do rozważenia pozostawiam, czy analiza DSC z modulacją temperatury nie pozwoliłaby w odpowiednio dobranych





warunkach pomiarowych wykazać istnienie subtelnych efektów związanych z charakterystycznymi przemianami, które powinny zachodzić dla poszczególnych związków?

- W cyklu publikacji stanowiących podstawę osiągnięcia, wielokrotnie pojawia się informacja o tym, iż otrzymano polimery charakteryzujące się niską bądź wysoką dyspersyjnością, jednak nie skomentowano jaki wpływ na ich właściwości fizykochemiczne będzie miała taka wartość. Z czego wynika wysoka dyspersyjność? Czy mamy tu do czynienia z szeregiem specyficznych reakcji ubocznych, jeżeli tak to jakich?
- W odniesieniu do recenzowanej dysertacji sugeruję rozważyć możliwości zastosowania jednej z metod polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu (ATRP, ang. *Atom Transfer Radical Polymerization*) w syntezie precyzyjnie zdefiniowanych polimerów. W związku z powyższym warto rozwinąć tą dyskusję i wskazać potencjalne kierunki dalszych prac badawczych w aspekcie zastosowania opracowanych związków wielkocząsteczkowych, przykładowo w polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu bez udziału kompleksu katalitycznego (metal-free ATRP).
- Z lektury pracy wynika, iż jednym z kierunków potencjalnych zastosowań uzyskanych związków wielkocząsteczkowych jest otrzymywanie materiałów o właściwościach samonaprawiających się. Warto nadmienić, iż uszkodzone materiały o wskazanej wyżej charakterystyce mają zdolność do autonomicznego – bez ingerencji czynników zewnętrznych – naprawiania się, odzyskując swoją pierwotną wytrzymałość bez utraty integralności strukturalnej. W polimerach zdolnych do samonaprawy, autonomiczne naprawianie uszkodzeń jest możliwe głównie za sprawą zastosowania kopolimerów blokowych lub statystycznych, składających się z dwóch odrębnych bloków lub jednostek powtarzalnych, które różnią się właściwościami lepkością. Zazwyczaj bloki polimerowe charakteryzuje znaczna różnica w temperaturze zeszklenia (ang. *glass transition temperature*), gdyż jedna faza pozostaje w stanie plastycznym, podczas gdy druga faza w stanie szklistym celem zapewnienia stabilności mechanicznej.





Zdolność do naprawy zależy w tym ujęciu od interakcji pomiędzy tymi fazami, a skuteczność tego procesu od właściwości elastycznego segmentu materiału, ponieważ naprawa wymaga bliskiego kontaktu pomiędzy uszkodzonymi obszarami. W tym kontekście polimery rozgałęzione o topologii gwiazdy promują wskazaną charakterystykę, ponieważ odznaczają się niższą lepkością w porównaniu do ich liniowych odpowiedników, co ułatwia ponowne tworzenie wiązań/oddziaływań chemicznych. W związku z powyższym, warto doprecyzować charakterystykę otrzymanych sieci opartych na sprzęganiu polilaktydów gwiazdzistych.

- Z drugiej jednak strony ważne w kontekście aspektów społecznych wydają się być potencjalne zastosowanie opracowanych układów w projektowaniu precyzyjnie zdefiniowanych materiałów biomedycznych – koncepcja nadawania bioaktywności polilaktydu w kierunku proliferacji ludzkich komórek neuronowych, co stwarza możliwość ich zastosowania w opracowywaniu rusztowań 3D do wzrostu komórek. W tym miejscu pojawia się jednak problem konkurencji szeregu podmiotów biotechnologicznych, które prowadzą zaawansowane prace B+R w dziedzinie inżynierii biomedycznej i tworzą innowacyjne rozwiązania w zakresie opracowywania nowych biomateriałów, czy badania tych rozwiązań w testach przedklinicznych i klinicznych z udziałem pacjentów w celu ich ostatecznego dopuszczenia i wdrożenia do praktyki klinicznej. Niemniej jednak jest to problematyka warta rozważenia, stąd pytanie do Pana mgr inż. Mateusza Grabowskiego, czy uważa efekt realizacji pracy doktorskiej za przydatny w kontekście zastosowań biomedycznych?
- Ponadto jak Doktorant ocenia możliwości i warunki syntezy w większej skali związków wielkocząsteczkowych z udziałem opracowanej metodologii o potencjalnym zastosowaniu?

Wymienione niedopatrzenia, a także moje uwagi dyskusyjne nie mają wpływu na pozytywną ocenę całej pracy, w której poprawnie zaplanowane i przeprowadzone badania doprowadziły do zrealizowania postawionego na początku celu pracy. Uważam, iż ich wyjaśnienie może być przydatne





w przygotowaniu kolejnych artykułów naukowych obejmujących niezwykle ważny obszar tematyczny dysertacji.

Podsumowanie

Stwierdzam, że oceniana dysertacja Pana mgr inż. Mateusza Grabowskiego zawiera szereg elementów nowości naukowej i stanowi istotny wkład w rozwój dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych. Recenzowana praca doktorska stanowi ponadto opis ważnego osiągnięcia naukowego, a zatem spełnia wymogi formalne zawarte w obowiązujących przepisach ustawowych. Autor rozprawy zrealizował założone cele pracy, tzn. przeprowadził syntezę i analizę właściwości fizykochemicznych nowych związków wielkocząsteczkowych. Kandydat wykonał przy tym szeroki zakres badań stosując i modyfikując znane techniki badawcze. Zarówno zaplanowanie eksperymentów, realizacja, jak i forma przedstawienia wyników wraz z ich analizą, świadczą o dojrzałości naukowej Doktoranta oraz wskazują na przygotowanie do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych w dyscyplinie nauk chemicznych.

W związku z powyższym stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska spełnia warunki określone w ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 3 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 wraz z późniejszymi zmianami), ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. 2018 r., poz. 1668 z późniejszymi zmianami), ustawie o Polskiej Akademii Nauk z dnia 30 kwietnia 2010 r. (Dz. U. 96, poz. 619 wraz z późniejszymi zmianami) oraz ustawie z dnia 13 stycznia 2023 r. o zmianie ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz niektórych innych ustaw* (Dz. U. z 2023 r., poz. 212), formułuję więc wniosek do Rady Naukowej Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk o przyjęcie pracy doktorskiej i dopuszczenie Pana mgr inż. Mateusza Grabowskiego do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

Ponadto mając na uwadze zakres wykonanych badań, wagę otrzymanych wyników scharakteryzowanych w artykułach opublikowanych w czasopiśmie





naukowych o wysokim współczynniku *Impact Factor*, z całym przekonaniem wnioskuję o wyróżnienie ocenianej rozprawy doktorskiej zgodnie z kryteriami wyróżniania prac doktorskich przez Radę Naukową Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN.

Prof. dr hab. inż. Paweł Chmielarz

