



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Wojcieszek
„Badania nanocząstek metali/tlenków metali i ich przemian w roślinach z użyciem technik spektrometrii mas”

Nanotechnologia to jedna z najszybciej rozwijających się technologii z zakresu inżynierii materiałowej. Ponieważ produkty wytwarzane z nanomateriałów posiadają unikalne, często nowe właściwości użytkowe w porównaniu z materiałami w skali makrometrycznej, ich produkcja na świecie lawinowo rośnie. Do środowiska i organizmów żywych nanocząstki projektowane (syntezowane) dostają się w wyniku emisji ze źródeł antropogenicznych, np. wspomnianych produktów użytkowych, ale wprowadzane są również świadomie wraz z nawozami, paszami i żywnością oraz jako czynniki diagnostyczne lub terapeutyczne (nanocząstki teranostyczne). Pomimo intensywnie prowadzonych badań nie dysponujemy jeszcze pełną wiedzą o wielu ich właściwościach, w tym toksyczności. O wykorzystaniu nanocząstek do powszechnego stosowania powinna decydować wnikliwa analiza i ocena ryzyka środowiskowego oraz zdrowotnego. Ostatnio EFSA (EFSA Journal 2021, 19:6585) opublikowała opinię, w której uznała, że nie można wykluczyć genotoksyczności nanocząstek tlenku tytanu(IV), powszechnie stosowanych jako dodatek do żywności (barwnik E171).

W świetle tego ważne jest poznanie losów nanocząstek (NPs) w środowisku naturalnym, a także sposobów ich pobierania i oddziaływania na żywe organizmy. Wiedza na temat przemian, jakim NPs ulegają pod wpływem substancji biologicznych, a szczególnie na temat ich transportu i biotransformacji w roślinach jest ciągle niedostateczna. Trudności prowadzenia badań nanocząstek na niskich poziomach stężeń, odpowiadających ich stężeniom w środowisku, wynikają chociażby z braku wystarczająco zweryfikowanych technik analitycznych. Niezbędne zatem jest rozwijanie i opracowywanie czułych oraz dokładnych metod analitycznych pozwalających na jakościowe i ilościowe badania NPs w różnego typu matrycach. W celu uzyskania pełnego i wiarygodnego obrazu badanych obiektów bardzo ważne jest wykorzystanie komplementarnych technik eksperymentalnych. Co więcej stosowane procedury przygotowania próbek do analizy nanocząstek muszą zapewnić zachowanie oryginalnych połączeń występujących w badanym materiale.

Mgr inż. Justyna Wojcieszek w swojej pracy doktorskiej zajęła się właśnie dwoma zasygnalizowanymi wyżej problemami badawczymi formułując temat rozprawy jako „Badania nanocząstek metali/tlenków metali i ich przemian w roślinach z użyciem technik spektrometrii mas”. Tematyka prowadzonych badań wpisuje się w najnowsze kierunki rozwoju tej dziedziny chemii, a zakres badań jest bardzo obszerny, szczególnie biorąc pod uwagę bogactwo badanych układów (rodzaje nanocząstek, różne rodzaje roślin) oraz wykorzystanych nowoczesnych technik badawczych.

Praca doktorska wykonana została w Katedrze Chemii Analitycznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Macieja Jarosza. Funkcję promotora pomocniczego pełniła dr hab. inż. Lena Ruzik. Część badań Doktorantka wykonała podczas kilku staży odbytych w Laboratory of Bioinorganic Analytical and Environmental Chemistry, CNRS, University of Pau at des Pays de l'Adour we Francji pod kierunkiem Pani prof. dr hab. Joanny Szpunar.

Ocena konstrukcji i zakresu badań przedstawionych w rozprawie

Rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Wojcieszek ma formę spójnego tematycznie zbioru pięciu artykułów opublikowanych w latach 2016-2020 w czasopismach indeksowanych w bazie JCR. Rozprawa została uzupełniona o cel pracy, zwięzły wstęp teoretyczny, przewodnik po publikacjach, zawierający opis najważniejszych osiągnięć, podsumowanie i bibliografię. Zgodnie z wymaganiami do Rozprawy dołączone zostały również streszczenia w języku polskim i angielskim oraz oświadczenia współautorów publikacji.

Główny cel pracy Doktorantka sformułowała jako opracowanie metodologii analitycznej do badania pobierania oraz możliwych przemian wybranych nanocząstek metali/tlenków metali w roślinach jadalnych za pomocą różnych technik spektrometrii mas. Do swoich badań wybrała nanocząstki platyny (PtNPs), tlenku tytanu(IV) (TiO₂NPs), tlenku cynku (ZnONPs) oraz tlenku ceru(IV) (CeO₂NPs). Wybór ten Doktorantka uzasadniła wykorzystaniem NPs w żywności i produktach higienicznych (TiO₂NPs), powszechności występowania w środowisku (CeO₂NPs, ZnONPs) oraz sprzecznymi informacjami na temat ich wpływu na organizmy żywe (CeO₂NPs, PtNPs). Ocenę pobierania i transportu nanocząstek metali i tlenków metali przeprowadziła dla roślin jadalnych uprawianych hydroponicznie, takich jak rzodkiewka (*Raphanus sativus* L.), sałata (*Lactuca sativa* L.), gorczyca biała (*Sinapis alba* L.), pieprzycza siewna (*Lepidium sativum*). Jako podstawową metodę badawczą oznaczania NPs Doktorantka zastosowała technikę spektrometrii mas z plazmą sprzężoną indukcyjnie pracującą w trybie pomiarowym pojedynczej cząstki (*single particle* ICP-MS) (P1, P2, P4). Do identyfikacji połączeń niektórych jonów metali z naturalnie występującymi w roślinach ligandami organicznymi zaproponowała wykorzystanie chromatografii wykluczania (SEC) oraz chromatografii oddziaływań hydrofilowych (HILIC) sprzężonych z różnymi detektorami (ICP MS, ESI MS, ESI-qTOF-MS, ESI Orbitrap-MS) (P3). Do określenia rozmieszczenia NPs w tkankach wybranych roślin zastosowała technikę ICP-MS z ablacją laserową (P2).

Prace oryginalne składające się na Rozprawę opublikowane zostały w następujących czasopismach: Journal of Analytical Atomic Spectrometry (prace P1, P3, IF 3,6), Science of the Total Environment (praca P2, IF 6,55) oraz Frontiers in Environmental Science (praca P4, IF 2,75). Ostatnia publikacja, w Nanomaterials (praca P5, IF 4,03), jest obszerną pracą dyskusyjną opisującą doświadczenia zdobyte w obszarze prowadzonych badań. Sumaryczny współczynnik oddziaływania tych prac wynosi 20,53, a liczba współautorów od 5 do 7. W pierwszej pracy dwóch pierwszych autorów ma jednakowy wkład do publikacji, natomiast w pozostałych Doktorantka jest pierwszym autorem. Z dołączonych do rozprawy doktorskiej oświadczeń współautorów publikacji wynika, że Doktorantka w większości sama wykonała eksperymenty związane z opracowaniem i zastosowaniem techniki *single particle* ICP-MS, technik łączonych oraz LA ICP-MS do oznaczania nanocząstek metali w roślinach, a także miała dominujący udział w napisaniu i przygotowaniu do druku publikacji naukowych.

Wszystkie artykuły zamieszczone w rozprawie doktorskiej zostały wcześniej poddane wnikliwej i rygorystycznej recenzji wymagających specjalistów i edytorów naukowych, co niewątpliwie ułatwia pracę recenzentowi rozprawy, jednak nie zwalnia go od obowiązku dokonania własnej analizy i oceny.

Praca zatytułowana „*Single particle ICP-MS characterization of platinum nanoparticles uptake and bioaccumulation by Lepidium stivium and Sinapis alba plants*” (P1) zawiera opis badań dotyczących optymalizacji procedury uwalniania nanocząstek

platyny z różnych części roślin hodowanych hydroponicznie na pożywce z dodatkiem PtNPs. Do rozłożenia ściany komórkowej roślin Doktorantka zaproponowała trawienie enzymatyczne (za pomocą Macerozymu R-10 zawierającego celulazę, hemicelulazę i pektynazę) wspomagane działaniem ultradźwięków (sonda ultradźwiękowa). W zoptymalizowanych warunkach rozkładu PtNPs były stabilne, nie ulegały rozpuszczeniu ani agregacji. Kontrolowanymi parametrami były stężenie liczbowe nanocząstek, ich średni rozmiar oraz rozkład wielkości. Mgr Wojcieszek zaobserwowała występowanie różnic pomiędzy pobieraniem i akumulacją platyny przez różne rośliny. Gorczyca (*Sinapis alba*) akumulowała Pt w większym stopniu niż pieprzyca (*Lepidium sativum*). Wykazała również, że nanocząstki, najprawdopodobniej w postaci aglomeratów, są transportowane z korzeni do pędów i liści roślin. W badanych tkankach roślin nie zaobserwowała sygnałów pochodzących od jonów platyny. Sformułowała również wniosek, że rośliny te mogą służyć do odzyskiwania Pt ze środowiska (stężenie Pt w korzeniach gorczycy było ponad 700 razy większe niż w pożywce). Opracowaną procedurę ekstrakcji enzymatycznej NPs z tkanek roślin zastosowała w badaniach przedstawionych w kolejnej pracy.

W publikacji **P2** (*Uptake, translocation, size characterization and localization of cerium oxide nanoparticles in radish (Raphanus sativus L.)*) Doktorantka wykazała, że CeO₂NPs są akumulowane głównie w korzeniach rzodkiewki, a tylko w niewielkim stopniu transportowane są do liści. W tym przypadku następowała aglomeracja nanocząstek w roztworze pożywki w ciągu pierwszej doby eksperymentu. W kolejnych dniach średni rozmiar i rozkład wielkości CeO₂NPs nie ulegały znaczącej zmianie. Również procedura rozkładu enzymatycznego nie zmieniała żadnego z tych parametrów. Ponieważ badania prowadzone techniką sp ICP-MS wskazały na częściowe rozpuszczanie nanocząstek w korzeniach rzodkiewki, Doktorantka podjęła próbę zbadania specjacji ceru stosując chromatografię wykluczania sprzężoną z ICP-MS. Jednak bardzo słaba efektywność ekstrakcji analitu z korzeni rzodkiewki za pomocą octanu amonu (tylko 0,19%) spowodowała, że badania nie były kontynuowane. Istotnym wnioskiem z tej części pracy jest informacja, że jedynie mniejsze nanocząstki są pobierane przez korzenie i transportowane do części nadziemnych, w których następuje aglomeracja.

Zastosowanie dodatkowej techniki badawczej, a mianowicie LA ICP-MS, pozwoliło mgr inż. Wojcieszek na uzyskanie informacji o dystrybucji NPs w jadalnych częściach rzodkiewki. Rzodkiewka wyhodowana w szklarni poddana została działaniu roztworów zawierających nanocząstki CeO₂ o stężeniu 5 i 50 mg/L przez 24 i 48 h. Potwierdzono, że pobieranie CeO₂NPs przez korzeń rzodkiewki zależy od ich stężenia oraz czasu kontaktu. Najwięcej ceru gromadzi się tuż przy powierzchni, ale CeO₂NPs są również transportowane w kierunku centralnej części korzenia. W ten sposób potwierdzono użyteczność tej metody do badania rozmieszczenia metali w świeżych tkankach roślin.

W części metodologicznej pracy wykazano, że forma pierwiastka występująca w próbkach, nanocząstki czy jony metali, ma wpływ na efektywność jonizacji analitu w plazmie w technice ICP-MS, a zatem na ostateczne wyniki oznaczeń. Powinno się zatem każdorazowo wyznaczać ten parametr i uwzględniać go podczas interpretacji wyników. Wyznaczone wartości efektywności jonizacji CeO₂NPs zostały wykorzystane podczas opracowywania wyników pomiarów w omawianej pracy.

Obie powyższe prace są poprawne metodologicznie, badania zaplanowano logicznie i wykonano bardzo starannie. Uzyskano bardzo ciekawe informacje jakościowe odnośnie pobierania, transportowania i akumulowania nanocząstek obu metali. Trudno

jednak jednoznacznie wnioskować o obecności lub braku wolnych jonów metali w badanych próbkach na podstawie badań wykonanych techniką *sp* ICP-MS, gdy nie została wyznaczona granica wykrywalności rozmiaru NPs. Ponieważ w obu pracach zdecydowano się operować stężeniem liczbowym nanocząstek, nie pozwala to także oszacować jaka była efektywność ekstrakcji enzymatycznej, tzn. czy wszystkie NPs znajdujące się w tkankach roślin zostały w ten sposób uwolnione do roztworu i czy nie nastąpiły straty NPs podczas oddzielania fazy ciekłej od pozostałości komórek roślinnych.

Porównanie pobierania nanocząstek oraz jonów cynku przez sałatę (*Lactuca sativa*) było ambitnym celem pracy zatytułowanej „*Elucidation of the fate of zinc in model plant using single particle ICP-MS and ESI tandem MS*” (P3). Ze względu na rozpuszczanie ZnONPs w pożywce badania nakierowano na identyfikację powstających w roślinach związków cynku z naturalnymi ligandami. Do wydzielenia rozpuszczalnych kompleksów cynku z liści i korzeni sałaty Doktorantka zaproponowała ekstrakcję sekwencyjną. W pierwszym etapie zastosowała octan amonu (pH 6,8), w drugim pektynazę (pH 4,5), a w trzecim celulazę (pH 4,5) osiągając w sumie ponad 90% odzysku w stosunku do całkowitej zawartości cynku w liściach. Otrzymane ekstrakty zostały poddane analizie metodą SEC-ICP-MS. Jako metodę uzupełniającą do identyfikacji połączeń cynku zastosowano chromatografię oddziaływań hydrofilowych sprzężoną z ICP-MS (HILIC-ICP-MS). Badania wykazały, że w wybranych warunkach kompleksy cynku są nietrwałe.

W końcowej części pracy mgr inż. Wojcieszek podjęła próbę identyfikacji kompleksów cynku wyekstrahowanych z roślin za pomocą octanu amonu stosując chromatografię HILIC połączoną z wysokorozdzielczymi technikami spektrometrii mas: ESI-FT-Orbitrap-MS oraz ESI-qTOF-MS/MS. Zastosowanie komplementarnych metod badawczych umożliwiło potwierdzenie, że cynk w sałacie występuje w postaci kompleksów z nikotaminą. Doktorantka zaproponowała struktury również innych kompleksów cynku występujących w roślinach oraz przeprowadziła analizę ilościową kompleksu Zn-nikotamina, stwierdzając, że stanowi on ponad 70% całkowitej zawartości cynku w badanej frakcji. To bardzo interesująca część pracy, wymagająca obszernej wiedzy z zakresu interpretacji widm masowych oraz ogromnej sprawności analitycznej.

Do tej pracy mam kilka uwag związanych z planowaniem i opisem eksperymentu oraz interpretacją wyników. Jakie było pH pożywki stosowanej w uprawie hydroponicznej? Zwykle doprowadza się takie medium do obojętnego pH, ale w pracy nie zostało to wyjaśnione. Jakie były powody rozpuszczania ZnONPs? Jestem też ciekawa, dlaczego Doktorantka, bazując na dobrym przeglądzie literatury (tabela 2 z pracy P3), zdecydowała się zastosować do ekstrakcji kompleksów cynku z matrycy roślinnej roztwory enzymów o dosyć niskim pH (ok. 4.5). Nie jest dla mnie zrozumiałe, co kryje się pod określeniem „słabo zdefiniowane addukty” dotyczące opisu chromatogramów SEC-ICP-MS frakcji uzyskanych po ekstrakcji enzymatycznej pektynazą i celulazą. W rozdziale 2.5.4 brakuje pełnego opisu stosowanej procedury ekstrakcji sekwencyjnej (stosunek fazy ciekłej do stałej, czas ekstrakcji, temperatura, itp.), jej optymalizacji lub odniesienia do literatury.

W pracy P4 (*Characterization of TiO₂NPs in radish (Raphanus stivus L.) by single particle ICP-QQQ-MS*) Doktorantka szczególną uwagę poświęciła optymalizacji warunków pracy komory reakcyjnej spektrometru mas w celu zredukowania interferencji poliatomowych podczas oznaczania tytanu. Jako gaz reakcyjny wybrała tlen, który zapewniał ilościową konwersję jonu ⁴⁸Ti⁺ w ⁴⁸Ti¹⁶O⁺, redukując w ten sposób

występowanie interferencji od izotopu ^{48}Ca . Z kolei zastosowanie H_2 jako gazu reakcyjnego wyeliminowało interferencje pochodzące od wapnia poprzez utworzenie adduktu $^{48}\text{Ca}^{16}\text{O}^{1}\text{H}^+$. Umożliwiło to wybranie do oznaczeń tytanu w roślinach izotopu o większym rozpowszechnieniu (73,7%), co przełożyło się na uzyskanie lepszej czułości oznaczeń oraz obniżenie granicy wykrywalności w odniesieniu do rozmiaru NPs (do 15-21 nm w zależności od stosowanego medium). Warto podkreślić, że pracy tej po raz pierwszy Doktorantka wyznaczyła granicę wykrywalności rozmiarów nanocząstek, a parametr ten wykorzystywała przy dyskusji wyników.

Badania wstępne obejmowały również ocenę stabilności NPs w pożywce oraz w etapie trawienia enzymatycznego, a także wpływu etapów filtrowania próbek oraz ich homogenizacji za pomocą sondy ultradźwiękowej (titanowej) na wyniki oznaczeń nanocząstek TiO_2 . Wyniki tych badań zostały wnikliwie przeanalizowane i wykorzystane przy optymalizacji procedury przygotowania tkanek roślin do oznaczania NPs techniką sp ICP-QQQ-MS. Co ciekawe, Doktorantka formułuje wniosek, że pod wpływem działania enzymu nastąpiło rozbicie małych aglomeratów TiO_2 NPs obecnych w zawiesinie nanocząstek wzorca i pojawienie się nanocząstek o mniejszych rozmiarach. Wydaje się, że bardziej adekwatną do realizacji swoich celów odpowiedź Doktorantka uzyskałaby prowadząc taki eksperyment dla kontrolnych próbek roślin z dodatkiem wzorca, gdyż związki obecne w próbkach biologicznych (komórkach) mogą wpływać (często pozytywnie, tworząc np. koronę) na stabilność NPs.

W części dotyczącej oddziaływania nanocząstek z roślinami Doktorantka wykazała, że nanocząstki TiO_2 , głównie te o mniejszych rozmiarach, są pobierane przez rzodkiewkę i transportowane do jej części nadziemnych.

Jak wspomniałam wcześniej, w ocenianej rozprawie znalazła się również praca dyskusyjna (P5). Praca ta jest bardzo wartościowa, gdyż w sposób kompleksowy pokazuje prawidłowy tok prac eksperymentalnych oraz wnioski w trakcie optymalizacji procedur analitycznych oznaczania nanocząstek w materiale roślinnym za pomocą techniki sp ICP-MS. Przedstawia także przegląd dotychczasowych osiągnięć w tej dziedzinie sygnalizując problemy pojawiające podczas takich badań. Znajdują się w niej także rozważania dotyczące możliwych scenariuszy analitycznych w przypadku całkowitego lub częściowego rozpuszczania nanocząstek w pożywce. Praca jest swego rodzaju podsumowaniem doświadczeń zdobytych przez Doktorantkę podczas wykonywania pracy doktorskiej i świadczy o Jej ogólnej wiedzy z zakresu chemii analitycznej, a szczególnie z analizy nanocząstek metali i tlenków metali w materiale roślinnym.

Podsumowując stwierdzam, że konstrukcja i zakres badań przedstawionych w rozprawie są właściwe, a badania w większości zostały zaplanowane i przeprowadzone w sposób metodycznie poprawny. W kolejnych pracach widać rozwój Doktorantki jako coraz bardziej świadomego i odpowiedzialnego analityka. Doktorantka wykazała praktyczną użyteczność opracowanych postępowań i procedur analitycznych, a także różnych wariantów spektrometrii mas w badaniach nanocząstek w roślinach. Przeprowadzone prace badawcze pozwoliły na poszerzenie wiedzy na temat pobierania, transportu oraz przemian NPs metali/tlenków metali w roślinach jadalnych hodowanych hydroponicznie. Co więcej, metodyka badań zastosowana w pracy P3 pozwoliła na identyfikację połączeń cynku z metabolomami komórkowymi. Powyżej zamieściłam kilka uwag, które warto przedyskutować, szczególnie planując kolejne eksperymenty. Chcę jednak podkreślić, że badania wykonane przez Doktorantkę

oceniam bardzo wysoko, zdając sobie sprawę z problemów występujących podczas oznaczania nanocząstek w złożonych matrycach.

Ocena redakcyjnej strony pracy

Pod względem redakcyjnym Rozprawa doktorska została przygotowana poprawnie. Zamieszczone w niej publikacje (P1-P5) zostały poprzedzone streszczeniem w języku polskim i angielskim, życiorysem naukowym Doktorantki, wykazem skrótów oraz celem pracy. Wstęp teoretyczny krótko wprowadza do zagadnień rozprawy dotyczących akumulacji i przemian NPs w roślinach, metod przygotowania próbek roślin do analizy oraz technik stosowanych do charakteryzowania nanocząstek metali i tlenków metali oraz technik łączonych wykorzystywanych do badania kompleksowych połączeń metali. Dołączony został również przewodnik po publikacjach, w którym Doktorantka odwołuje się do tabel i rysunków zamieszczonych w opublikowanych pracach, a w niektórych przypadkach uzupełnia ich treść o dodatkowe informacje (starannie przygotowane rysunki). Rozprawę wieńczy krótkie posumowanie. Czytelnik otrzymuje więc ciekawe i zwięzłe przedstawione rozważania, których lektura przekonuje zarówno o rozległej wiedzy Doktorantki, jak i umiejętności dokonania przez nią syntezy uzyskanych wyników.

Mam kilka uwag redakcyjnych do tej części rozprawy, głównie do niefortunnnych lub błędnych sformułowań, które z obowiązku recenzenta muszę zasygnalizować:

Strona 38: Powinno być „rozdzielczość przestrzenna” zamiast „poprzeczna”; Co oznacza sformułowanie technika SP-ICP-MS „opiera się na różnej dystrybucji NPs i jonów w roztworze”?

Strona 40: Podstawą ... spektroskopii UV-VIS)... „jest pomiar intensywności światła odbijanego od próbki i porównanie z intensywnością światła odbijanego od materiału odniesienia”;

Strony 41-43: w Tabeli 1 brakuje wyjaśnienia stosowanych skrótów, np. TGA-Au, GA-Au;

Strona 44: „chromatografia rozmiarów wykluczania”; „słaba moc rozdzielcza SEC”.

Podsumowanie

Po zapoznaniu się z rozprawą stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art.13 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r.* z późn. zmianami i wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie pani mgr inż. Justyny Wojcieszek do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, zakres badań, zawarte w niej wyniki doświadczalne, sposób interpretacji i wnioskowania wskazują, że mgr inż. Justyna Wojcieszek wykazała umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych i wniosła wkład w rozwój badań na oddziaływaniem nanocząstek metali i tlenków metali oraz ich transformacją w roślinach. Zaproponowane rozwiązania są oryginalne. Praca ma istotne walory nowości naukowej, jest poprawna metodycznie. Założone przez Doktorantkę ambitne cele rozprawy zostały zrealizowane.

Warto odnotować, że całkowity dorobek naukowy mgr inż. Justyny Wojcieszek liczy 14 prac w czasopiśmie z listy JCR (Σ IF 54,84), 2 rozdziały w monografiach, 24 prezentacje ustne na konferencjach krajowych i międzynarodowych oraz 19 prezentacji posterowych. Jej prace naukowe i wystąpienia konferencyjne były kilkakrotnie

nagradzane. Doktorantka odbyła 3 zagraniczne staże naukowe (w sumie ok. 18 miesięcy). Była również wykonawcą w dwóch projektach badawczych, a obecnie jest kierownikiem grantu Preludium finansowanego przez NCN.

Mając na uwadze publikacje o wysokich współczynnikach wpływu stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej, a także wiodącą rolę pani Justyny Wojcieszek w tych pracach oraz pozostały dorobek naukowy (w 12 z 14 prac Pani Wojcieszek jest pierwszym autorem, a w jednej autorem korespondującym), wnoszę o wyróżnienie pracy doktorskiej.

Beata Kozłowska

Białystok 08.05.2021 r.