

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Natalii Janiszewskiej pt. „Charakterystyka wpływu struktury łańcuchów polimerowych na właściwości cienkich warstw oraz ich oddziaływania z białkami”

1. Uwagi ogólne

Praca doktorska Pani mgr Natalii Janiszewskiej została zrealizowana na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Promotorem był Pan dr hab. Kamil Awsiuk, prof. UJ. Tematem przewodnim dysertacji jest wpływ taktyczności i, bardziej ogólnie, budowy makrocząsteczek polimerowych na oddziaływanie podłoża zbudowanego z cienkich warstw tych polimerów z peptydami, białkami i bakteriami. Duży nacisk położono na charakteryzację warstw polimerowych, a w szczególności ich topografię, energię powierzchniową i orientację makrocząsteczek i zbadanie subtelnych różnic w tym względzie pomiędzy polimerami różniącymi się taktycznością i architekturą.

2. Ocena merytoryczna pracy

2.1. Znaczenie problematyki podjętej w rozprawie

Zastosowania medyczne i biomedyczne polimerów są wielorakie. Poli(metakrylan metylu), któremu poświęcona jest spora część niniejszej dysertacji, jest jednym z historycznie pierwszych polimerów syntetycznych użytkowanych w ten sposób – w I. 40-tych XX w. próbowano z tego polimeru wytwarzać substytutu rogówki, a i współcześnie ma swoje zastosowania w terapii tej części oka (np. metoda INTACS w leczeniu stożka rogówki). Z kolei polietylen znalazł zastosowanie w endoprotezach stawu biodrowego, polidimetylosiloksan jest dobrym materiałem na implanty podskórne, a poli(tereftalan etylenowy) wykorzystuje się w protezach naczyniowych. Polimery są powszechnie stosowane w dermatologii (np. pomocniczo w przeszczepach skóry), okulistyce (podawanie leków do komory ciała szklistego) czy terapiach nowotworowych. Niektóre polimery wykazują właściwości bakteriobójcze lub bakteriostatyczne. Polimery wykorzystuje się również do modyfikacji oddziaływania białek z podłożem. Celem jest tutaj albo utrudnienie osiadania biomolekuł na podłożu, albo wręcz przeciwnie – immobilizacja białek. Ten ostatni przypadek umożliwia badanie białek, a także wykorzystanie ich do zastosowań biomedycznych, np. w sensorach czynników biologicznych. Jest jednak istotne, aby immobilizacja nie prowadziła do denaturacji białka, ani zniszczenia jego aktywności biologicznej, jak to ma miejsce w przypadku orientacji head-on białka IgG. Z tego względu badania zaprezentowane w niniejszej pracy mają duże znaczenie poznawcze. Autorka przeanalizowała szereg białek modelowych (fibrynogen, BSA, IgG) i zbadała wpływ podłoża na ich adsorpcję, konformację i orientację na podłożu. Zbadanie tak subtelnych różnic (również w przypadku konformacji samych polimerów) było możliwe głównie dzięki zastosowaniu ultra powierzchniowo czułej metody TOF-SIMS,

działającej w trybie statycznym w połączeniu ze statystyczną analizą danych metodą PCA. Wyniki pracy wyraźnie wykazują, że architektura i konformacja makrocząsteczek znacząco wpływa na łatwość adsorpcji, może również modyfikować konformację i orientację białek, jak również w pewnym stopniu modyfikować adhezję bakterii na podłożu. Z kolei możliwość tworzenia wzorów polimerowych na podłożu w połączeniu z preferencyjną adsorpcją białek na jednym typie polimeru otwiera drogę do budowy macierzy białkowych, a także detektorów do zastosowań biomedycznych.

2.2. Cel badawczy

Nadrzędny, całościowy cel pracy nie został jednoznacznie zdefiniowany, jednak można wywnioskować z informacji rozproszonych w tekście, że było nim badanie wpływu struktury makromolekuł na właściwości cienkich warstw, a w szczególności ich oddziaływanie z białkami (Rozdział 2) i innymi biomolekułami. Dodatkowym celem było wytworzenie mikromacierzy białkowych bazujących na mieszaninach polimerowych i zbadanie wpływu taktyczności na proces separacji fazowej (podrozdział 5.3.)

2.3. Bibliografia

Bibliografia dysertacji jest obszerna, składa się ze 180 pozycji, przy czym tylko jedna pozycja stanowi autocytowanie. Nie licząc podręczników akademickich z chemii i chemii fizycznej polimerów oraz podręczników anglojęzycznych, Autorka cytuje prawie wyłącznie (z pojedynczymi wyjątkami) anglojęzyczne artykuły opublikowane w renomowanych czasopismach międzynarodowych, takich jak *Macromolecules*, *Langmuir*, *Colloids and Surfaces B* czy *Polymer Reviews*, w większości specjalizujących się w chemii, chemii fizycznej, fizyce polimerów oraz biomateriałach. 26 pozycji to artykuły opublikowane w ostatnich 5 latach, zaś 56 – w ostatnich 10 latach. Należy stwierdzić, że cytowana literatura jest kompletna, adekwatna do tematyki pracy oraz aktualna.

Jedna uwaga krytyczna: cytowania pozycji [31], [39], [141], [151], [164] i [165] są niekompletne – brak tytułów czasopism.

2.4. Metody badań wykorzystane w pracy

Doktorantka w swojej pracy badawczej wykorzystała szereg sensownie dobranych metod eksperymentalnych. Podłoża polimerowe wytwarzane były na trzy sposoby: i) metodą spin-coatingu, tj. wylewania roztworu polimerowego na wirujące podłoże krzemowe, ii) metodą horizontal dipping, polegającą na przesuwaniu głowicy w kształcie walca w kontrolowanej niewielkiej odległości nad podłożem z jednoczesnym rozprowadzeniem roztworu polimerowego (to technika w porównaniu z poprzednią umożliwia uzyskiwanie bardziej jednorodnych warstw o większej powierzchni) oraz iii) z wykorzystaniem druku mikrokontaktowego, pozwalającego zdeponować zaprojektowany wcześniej wzór na podłożu, ukierunkowujący separację faz w mieszaninie polimerowej.

Jeśli chodzi o badania składu chemicznego próbek, to bodaj najcenniejsze informacje uzyskano metodą spektrometrii mas jonów wtórnych z pomiarem czasu przelotu (TOF-SIMS). Technika ta w połączeniu ze statystyczną obróbką danych metodą analizy głównych składowych (PCA) umożliwia identyfikację wielkocząsteczkowych związków chemicznych zdeponowanych na podłożu. Co więcej, przy pracy w trybie statycznym wskazuje grupy funkcyjne (polimery) lub fragmenty cząsteczek (białka) zorientowane w kierunku otoczenia, co z kolei daje unikalną możliwość zbadania orientacji cząsteczek względem podłoża. Inną wykorzystaną techniką analityczną była spektroskopia ramanowska, umożliwiająca identyfikację molekuł poprzez analizę widm ramanowskich. Trzecia technika, spektroskopia fotoemisji promieniowania X, posłużyła weryfikacji składu pierwiastkowego badanych warstw organicznych.

Kolejna grupa technik dotyczy pomiarów topograficznych. Mikroskopia sił atomowych w trybie bezkontaktowym oprócz topografii próbek uwidoczniała również różnice w składzie poszczególnych obszarów mieszanin polimerowych, w których nastąpiła separacja faz. Z kolei analiza Minkowskiego obrazów AFM umożliwiła pół-ilościowe badanie domen na próbkach. Profilometria igłowa została wykorzystana do pomiaru grubości warstw organicznych, zadanie niewykonalne dla mikroskopu sił atomowych ze względu na ograniczony zasięg skanera. Pomiary kąta zwilżania cieczy polarnej i niepolarnej umożliwiły wyznaczenie energii powierzchniowej z rozbiciem na składową polarną i dyspersyjną. Mikroskopia fluorescencyjna w połączeniu ze znacznikowaniem białek pozwoliła na względny pomiar ilości białka zaadsorbowanego na powierzchni.

Dobór zastosowanych metod badawczych był właściwy, ich połączenie umożliwiło wyciągnięcie wniosków na temat m.in. składu powierzchni, ilości zaadsorbowanych biomolekuł i ich orientacji oraz konformacji.

2.5. Opis poszczególnych części rozprawy

Na początku pracy Doktorantka zaprezentowała swój dorobek naukowy, przedstawiła streszczenie pracy oraz bardzo użyteczny spis skrótów. Praca składa się z 7 rozdziałów, uzupełniona jest bibliografią oraz spisem tabel i rysunków.

Dwa pierwsze rozdziały to wprowadzenie, odpowiednio teoretyczne i eksperymentalne. Pierwszy opisuje podstawowe pojęcia związane z polimerami, a w szczególności ich stereoizomerię, zwłaszcza taktycznością, będącą kluczowym pojęciem w pracy. Porusza również problem mieszalności polimerów, w tym teorię Flory'ego-Hugginsa, rozpad spinodalny i poprzez zarodkowanie i wzrost, przedstawia także podstawowe rodzaje kopolimerów. W dalszej części Autorka pokrótce opisuje strukturę białek i trzy metody ich immobilizacji na podłożu. Omawia także czynniki warunkujące ten proces. Rozdział drugi prezentuje konkretne związki i biomolekuły badane w ramach pracy: polimery (PMMA, PtBMA, PS-PGL), białka (BSA, IgG, lizozym, OVA, fibrynogen, streptawidyna), jak również metody wytwarzania podłoży polimerowych oraz techniki eksperymentalne analizy składu i budowy powierzchni badanych warstw.

Kolejne rozdziały prezentują wyniki własnych badań Doktorantki. Każdy zaopatrzonej jest we wprowadzenie, zwracające uwagę na sens i znaczenie eksperymentów prowadzonych w ramach konkretnej części pracy, a także podrozdział metodologiczny, podający szczegóły wykorzystanych technik eksperymentalnych – tutaj znajdziemy konkretne dane i parametry, takie jak rozdzielczość masowa, analizowane pole powierzchni próbki (TOF-SIMS), rodzaj wykorzystanych ostrzy, tryb pracy (AFM), energię wiązki prom. X i energię przejścia analizatora (XPS) czy rodzaje cieczy wykorzystanych do pomiarów energii powierzchniowej w pomiarach kąta zwilżania. I tak trzeci rozdział omawia wpływ taktyczności podłoża PtBMA na adsorpcję biomolekuł i bakterii do podłoża. Na podstawie wnikliwej statystycznej analizy widm TOF-SIMS metodą PCA udało się ustalić, że izotaktyczny polimer eksponuje do powierzchni swobodnej swoje boczne grupy estrowe, przywierając do podłoża łańcuchem głównym, w odróżnieniu od odmiany syndio- i ataktycznej, w których to właśnie łańcuch główny jest widoczny na powierzchni warstwy polimerowej. Takie ułożenie nieznacznie tylko wpływa na wartość energii powierzchniowej, ale w znacznym stopniu modyfikuje jej składową polarną, co może mieć znaczenie dla oddziaływania z czynnikami biologicznymi. Istotnie, polarność podłoża wpływa na adsorpcję peptydów, jednak nie na ilość zaadsorbowanych białek. Ponownie jednak metoda TOF-SIMS ujawnia subtelne różnice w orientacji i konformacji białek na podłożach o różnej taktyczności, co zaobserwowano na przykładzie BSA i IgG. Idąc w kierunku jeszcze bardziej zaawansowanych struktur biologicznych pokazano, że Gram-dodatnie bakterie *S. aureus* mają nieco większą tendencję do osiadania na izotaktycznym podłożu niż na polimerach o naprzemiennej lub nieustalonej taktyczności, podczas kiedy dla Gram-ujemnych *E. Coli* takiej różnicy brak. W rozdziale 4. Doktorantka opisała wyniki

badania oddziaływania warstwy PMMA z biomolekułami. Zastosowana metodologia była podobna, jak w przypadku PtBMA. Tutaj na odmianę stwierdzono, że grupy estrowe polimeru eksponowane są do powierzchni swobodnej w przypadku syndio- i ataktycznej wersji polimeru, a łańcuch główny – dla wersji izotaktycznej. Stwierdzono że zarówno surowicza albumina wołowa, jak i fibrynogen mniej chętnie adsorbują do izotaktycznej warstwy polimerowej niż do dwóch pozostałych. Taktyczność polimeru wpływa również na orientację zaadsorbowanych białek. Kolejny, piąty rozdział, poświęcony jest próbie wytworzenia mikromacierzy białkowych w oparciu o regularne wzory polimerowe ułożone na podłożu i preferencyjną adsorpcję białek do jednego z polimerów. W pierwszej kolejności Doktorantka sporządziła mieszaniny PMMA-PtBMA o różnej taktyczności. Materiały te na natywnym tlenku krzemu tworzą strukturę warstwową niezależnie od taktyczności. Z kolei modyfikacja podłoża krzemowego 3-aminopropylotrietoksyilanem APTES) w przypadku ataktycznego PtBMA prowadzi do dwuwymiarowych wzorów. W kolejnym kroku na podłożu nałożono regularny wzór APTES w postaci pasków, co ukierunkowało separację fazową mieszaniny polimerowej, w efekcie prowadząc do regularnego wzoru polimerowego. Nałożenie na tak przygotowane podłożo roztworu białka spowodowało selektywną adsorpcję do domen PtBMA, co dowiodło, że na takiej drodze można uzyskać mikromacierze białkowe. Co więcej, białko (IgG) pozostawało biologicznie aktywne po adsorpcji. Siódmy rozdział jest poświęcony kopolimerowi PS-PGL, w dwóch odmianach: z częścią PGL o architekturze liniowej i szczotki polimerowej. Ta pierwsza odmiana wykazuje bardziej hydrofobowe właściwości, nie zmienia ich na skutek ekspozycji na wodę i chętniej adsorbuje na niej modelowe białko (BSA). W przypadku odmiany ze szczotką polimerową PGL, wraz z ekspozycją na wodę wzrasta hydrofilowość polimeru i zmniejsza się ilość zaadsorbowanego białka.

Ostatni rozdział poświęcony jest całościowemu podsumowaniu pracy.

2.6. Uwagi krytyczne, polemiczne i pytania

Układ pracy jest logiczny, tekst tworzy spójną całość. Bardzo dobrym rozwiązaniem jest umieszczenie cząstkowych podsumowań w każdym z rozdziałów prezentujących własne wyniki (rozdz. 3-7). Na pochwałę zasługuje również podobny układ każdego z tych rozdziałów: od krótkiego wprowadzenia, poprzez prezentację zastosowanych metod preparatyki i analitycznych aż o prezentację wyników i wspomniane podsumowanie. Rysunki przygotowane są bardzo starannie i właściwie opisane.

2.6.1. Do rozdziału 1.

Zaprezentowana w podrozdziale 1.2.2. dyskusja o mieszaninach polimerowych jest niewątpliwie potrzebna ze względu na rozdział 5. Jednak czytelnik odnosi wrażenie, że ta wiedza nie została należycie wykorzystana. W rozdz. 5. brak komentarza na temat termodynamiki separacji faz w mieszaninach PMMA-PtBMA. Nie jest jasne dlaczego domeny dwuwymiarowe powstają tylko na podłożu APTES i tylko w przypadku ataktycznego PtBMA. W którym punkcie diagramu fazowego znajduje się mieszanina – czy mamy do czynienia z rozpadem spinodalnym czy przez zarodkowanie i wzrost?

W podrozdziale 1.3.1. wskazany byłby poglądowy rysunek prezentujący struktury α -helisy i β -kardki.

2.6.2. Do rozdziału 2.

We wzorach strukturalnych polimerów (rys. 2.1, 2.2, 2.3) wkradły się błędy – w łańcuchach głównych PS, PMMA i PtBMA dodano nadmiarowe grupy CH_2 .

W podrozdziale 2.2.5. omawiając sposób wyznaczenia składowych dyspersyjnej i polarnej napięcia powierzchniowego Autorka podaje gotowe wzory na te wielkości, wprowadzając je zdaniem

sugerującym, że w sposób oczywisty wynikają z równania Younga. Warto było w tym miejscu podać wyprowadzenie wzorów lub choćby napisać w jaki sposób wynikanie następuje.

W sekcji poświęconej wykorzystanym metodom badawczym brakuje opisu metody XPS. Szczegóły pomiaru (kąt wyjścia fotoelektronów, energia przejścia analizatora, energia prom. X itd.) zostały co prawda omówione w rozdz. 3.2.4, jednak brak ogólnego omówienia samej idei metody. Wprawdzie technika ta pełni w pracy tylko rolę pomocniczą, tym niemniej zasługuje na choćby krótki opis. Tym bardziej, że np. profilometria została w tej sekcji omówiono, pomimo, iż jest to metoda dużo prostsza od XPS i również pełni w prezentowanych badaniach rolę nieco poboczną.

2.6.3. Do rozdziału 3.

Jaką metodę czyszczenia podkładów krzemowych zastosowano w badaniach przedstawionych w tym i dalszych rozdziałach (3-5)? W tekście brak tej informacji. Autorka opisuje procedurę czyszczenia podłoża dopiero w rozdziale 6. Czy w pozostałych przypadkach również stosowano procedurę RCA?

W rozdz. 3.2.3 (s. 44) jest „3x10⁸ CFU”, a powinno być „3·10⁸ CFU” (brak wykładnika potęgowego).

Omawiając metody badawcze wykorzystane w tym rozdziale Autorka twierdzi (s. 45), że „Wszystkie widma XPS zostały wykalibrowane względem piksu C1s o energii 2848,8 eV”, co należy chyba traktować jako zwykły błąd edycyjny (powinno być 284,8 eV).

W przypadku polimerów zamiast pojęcia „struktura drugo- i trzeciorzędowa” (rozdz. 3.3.1.) lepiej mówić o konformacji.

W tym i dalszych rozdziałach Doktorantka powołuje się na analizę mikrofotografii z użyciem miar Minkowskiego. Niestety w pracy brak szczegółów tych analiz (np. jak wyglądają profile miar względem progu odcięcia, z których miar skorzystano). Jak należy rozumieć „znormalizowaną intensywność fluorescencji” (Rys. 3.6, 4.3, względem czego znormalizowaną)?

Analizując wyniki pomiarów TOF-SIMS Doktorantka odnosi się do badań hydrofobowości aminokwasów, przeprowadzonych metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (s. 56-57). Jednak w tekście nie pada nawet nazwa metody, a tylko mierzona wielkość (czas retencji). Krótkie doprecyzowanie co i jak mierzono w zacytowanej pracy ułatwiłoby czytelnikowi śledzenie wyводу Autorki.

W opisie osi Rys. 3.13 jest „Pomiar *adsorbancji*”, a powinno być „*Absorbancja*”. Jako, że termin ten czasem jest mylony ze współczynnikiem absorpcji proszę o uściślenie czy wykres rzeczywiście przedstawia logarytmiczną miarę absorpcji przy podanej długości fali, tj. $A = \log(I_0/I)$. Czy da się przeliczyć przedstawioną na wykresie absorbancję na liczbę zaadsorbowanych na podłożu kolonii bakteryjnych by stwierdzić o ile więcej bakterii przywarło do podłoża polimerowego niż do czystego krzemu? Ponadto brak informacji jak w tych pomiarach wyliczono niepewność pomiarową, a to jest istotne, bo jej niewielka wartość uprawnia do stwierdzenia, że wspomniana różnica w tendencji bakterii do przywierania do podłoża rzeczywiście występuje.

2.6.4. Do rozdziału 4.

Do eksperymentów wybrano polimery różniące się taktycznością, ale o zbliżonym rozkładzie mas cząsteczkowych. Tym niemniej pewne różnice w tym względzie występują (50 vs. 52,5 vs. 60 kDa). Czy przeprowadzono eksperyment kontrolny pokazujący, że zaobserwowane efekty na pewno nie wynikają z tych niewielkich różnic w masach cząsteczkowych polimerów?

Z jakiego powodu izotaktyczny PMMA ma tendencję do eksponowania na powierzchni łańcucha głównego, podczas gdy dosyć chemicznie podobny izo-PtBMA eksponuje łańcuchy boczne?

2.6.5. Do rozdziału 5.

Replikacja wzoru $\text{SiO}_x/\text{APTES}$ w warstwę polimerową nie jest idealna. Czy da się poprawić jakość tego procesu?

W ramach pracy udało się istotnie doprowadzić do selektywnej adsorpcji białek do wybranych obszarów próbki, co otwiera drogę do utworzenia macierzy białkowych. Jednak zaproponowana metoda jest wieloetapowa i dosyć skomplikowana. Czy istnieje możliwość pokierowania adsorpcją białek z pominięciem warstwy polimerowej, a więc poprzez bezpośrednie oddziaływanie białka z APTESem lub innym związkiem nanoszonym metodą druku mikrokontaktowego?

2.6.6. Do rozdziału 6.

Jak można wyjaśnić fakt, że wpływ inkubacji warstwy PS-PGL w wodzie, w przypadku makrocząsteczek o architekturze grzebienia, zostaje zachowany nawet po wysuszeniu próbki i przetrzymaniu jej w warunkach ultra wysokiej próżni w aparaturze SIMS, kiedy z pewnością wszystkie cząsteczki wody zostały z próbki usunięte? Czy w takich warunkach nie należałoby się spodziewać powrotu makrocząsteczek do swojej wyjściowej konformacji?

2.6.7. Uwagi językowe i redakcyjne

Praca została zredagowana bardzo starannie. Jak wspomniano układ treści jest logiczny, podział na podrozdziały dobrze organizuje prezentowany materiał badawczy. Rysunki są czytelne i dobrze podpisane. Język pracy jest zwięzły i przeważnie klarowny. Tym niemniej Autorce nie udało się ustrzec drobnych potknięć językowych i interpunkcyjnych (w oczy rzuca się zwłaszcza notoryczny brak przecinków), które z pewnością można było wyeliminować przy kolejnej lekturze tekstu. Podaję tylko kilka przykładów:

- str. 1: „dzięki ich dostępność, odtwarzalność i możliwość modyfikacji”
- str. 2: „Największe powtarzające się ugrupowanie atomów w całym łańcuchu nazywane jest merem.” – chyba raczej chodzi o najmniejsze
- str. 5 „gdyż nie potrzebuje aż takich nakładów...” – to zdanie jest źle skonstruowane
- str. 8, rozdz. 1.2.3.: nastąpiło pomieszanie dwóch pojęć – monomer to substancja małowcząsteczkowa, z której syntezowany jest polimer, a mer to jednostka powtarzalna w makrocząsteczce polimerowe
- str. 14 „cząsteczki białek mogą adsorbować się do...” – wyraz „się” jest zbędny
- str. 18: polimery, które w wysokiej temperaturze zachowują się jak lepka ciecz to „termoplasty”, a nie „termoplastiki”

Te drobne niedociągnięcia oczywiście nie rzutują na wysoką ocenę pracy..

3. Rozpowszechnienie wyników pracy w publikacjach naukowych

Wyniki badań przedstawionych w pracy zostały opublikowane w dwóch artykułach w dobrych międzynarodowych czasopismach: *Colloids and Surfaces B* (IF=5,999) oraz *Applied Surface Science* (IF=6,3). Trzecia publikacja jest aktualnie w przygotowaniu. Oprócz wspomnianych artykułów Doktorantka jest współautorką sześciu innych publikacji, również opublikowanych w dobrych czasopismach (IF od 3,882 do 8,3) o tematyce pokrewnej do poruszanej w dysertacji, a więc traktujących o warstwach polimerowych i ich oddziaływaniu z czynnikami biologicznymi. Jest autorką sześciu wystąpień konferencyjnych, w tym jednego zagranicznego i pięciu krajowych. Jej pracy były

dotąd cytowane 28 razy (27 bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi 3. Te parametry można uznać za właściwe dla obecnego etapu kariery naukowej Doktorantki.

4. Wnioski końcowe

4.1. Przyjęcie rozprawy

Realizując badania przedstawione w rozprawie Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie biofizyka. Wiedza ta umożliwiła jej samodzielne przeprowadzenie zaawansowanych eksperymentów i rozwiązanie konkretnego problemu naukowego, polegającego na poznaniu wpływu architektury polimeru na jego oddziaływanie z molekułami biologicznymi.

Przedstawiona do oceny dysertacja spełnia wszystkie wymogi stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Art. 187 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. W związku z tym **wnioskuję o jej przyjęcie oraz o dopuszczenie Pani mgr Natalii Janiszewskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

4.2. Wyróżnienie rozprawy

W związku z faktem, iż niniejsza dysertacja przedstawia nowe, wysokiej jakości wyniki **wnioskuję o jej wyróżnienie.**

4.3. Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie rozprawy

Niniejsza rozprawa prezentuje nowe, bardzo interesujące wyniki, dotyczące konformacji polimerów w cienkich warstwach i oddziaływania tych warstw z obiektami biologicznymi: peptydami, białkami i bakteriami. Są to badania interdyscyplinarne, na pograniczu fizyki polimerów, biofizyki i biotechnologii. Doktorantka pokazuje jak uważna i dogłębna analiza statystyczna widm TOF-SIMS w połączeniu z innymi technikami pozwala wykryć tak subtelne efekty jak orientacja grup funkcyjnych polimerów lub orientacja cząsteczek aktywnych biologicznie na powierzchni, co byłoby trudne do wychwycenia przy pomocy innych technik eksperymentalnych. Prezentowane tutaj badania oprócz wiedzy podstawowej przynoszą możliwości aplikacyjne – tworzenie mikromacierzy białkowych, o potencjale w dziedzinie badania białek, ich detekcji czy innych zastosowaniach biotechnologicznych. Wyniki przedstawione są w sposób spójny i logiczny, a mnogość zastosowanych metod badawczych uwiarygadnia prezentowane tezy.


dr hab. inż. Jakub Habeko, prof. AGH