



prof. dr hab. inż. Teofil Jesionowski  
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ  
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej  
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań  
tel. 61 665 3720, fax 61 665 3649  
e-mail: teofil.jesionowski@put.poznan.pl

Poznań, 03.09.2018 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Niemczyk**

z tytułu

**„*Wielofunkcyjne powłoki na podstawie pochodnych chitozanu*”**

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej

Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

(pismo nr WTiCh/A/267/2018 z dnia 12.07.2018 r.)

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Niemczyk została zrealizowana w Zakładzie Materiałów Funkcjonalnych i Biomateriałów Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Pracę wykonano pod kierunkiem Pani prof. dr hab. inż. Mirosławy El Fray, wysokiej klasy specjalistki w obszarze zaawansowanych materiałów polimerowych, biomateriałów i dziedzin pokrewnych.

Oceniając merytoryczną stronę pracy doktorskiej brano pod uwagę liczne kryteria. Przede wszystkim oryginalność badań i ich nowatorski charakter, trafność wyboru problemu badawczego, metodologię, dobór wykorzystanych metod i technik badawczych, jak i również poprawność interpretacji wyników oraz ich dyskusji z uwzględnieniem aktualnego stanu wiedzy. Ważny element oceny stanowi poprawność zrealizowanego celu badań, jak również użyteczny charakter pracy. Istotny, aczkolwiek dodatkowy, aspekt oceny to osiągnięcia naukowe Pani mgr inż. Agaty Niemczyk.

Wraz z postępowaniem cywilizacyjnym, który w ostatnich latach jest niezwykle intensywny, obserwuje się istotną potrzebę opracowywania nowych materiałów dedykowanych do zastosowań medycznych. Jest to spowodowane znacznym starzeniem się populacji ludzkiej, związanej z poprawą stylu życia, właściwego odżywiania czy postępu medycznego, a w konsekwencji z wydłużeniem życia. Obok postępu technicznego (automatyka i robotyka, optyka, elektronika etc.) niezbędny jest rozwój

w zakresie projektowania materiałów o zróżnicowanych funkcjach użytkowych, nie powodujących skutków ubocznych u pacjentów. Stąd prowadzone są liczne prace badawcze w wielu ośrodkach akademickich i naukowych, jak i również koncernach chemicznych, medycznych czy farmaceutycznych nad opracowywaniem produktów z użyciem biomateriałów. Niewątpliwie wśród nich kluczową rolę pełnią biopolimery, takie jak chityna i chitozan. Mają one wiele zalet: bioinertność, biogodność, biokompatybilność. Chitozan będący syntetyczną pochodną chityny jest ponadto łatwo rozpuszczalny w medium polarnym. Ponadto dzięki dominacji grup aminowych i hydroksylowych relatywnie łatwo można go modyfikować, nadając mu różne funkcje. Jest powszechnie wykorzystywany w ochronie środowiska (adsorbent nieorganicznych związków czy jonów metali szkodliwych dla środowiska, komponent membran, środek neutralizujący zanieczyszczenia organiczne – herbicydy, farmaceutyki itp.). Ma istotne znaczenie w projektowaniu materiałów medycznych, m.in. rusztowania w inżynierii tkankowej czy skafoldy, materiały opatrunkowe i bioresorbowalne, nośnik leków. W określonych warunkach pH jest polikationem ze sprotonowanymi grupami aminowymi, ponadto wykazuje dużą aktywność biologiczną. Dzięki wspomnianym już grupom funkcyjnym można nadawać mu właściwości amfifilowe, co czyni go jeszcze bardziej atrakcyjnym z punktu widzenia projektowania nowych, zaawansowanych biomateriałów polimerowych.

Kluczowe zagadnienia z wyżej wspomnianych obszarów, w szczególności projektowania zaawansowanych materiałów polimerowych do zastosowań medycznych, są domeną ewaluowanej dysertacji doktorskiej, co świadczy o aktualności problemu badawczego, jak i umiejętności doboru tematyki badawczej, celem poszerzenia wiedzy w ujęciu poznawczym, ale co istotniejsze z punktu widzenia rozwoju nowych materiałów, więc także utylitarnym. O znaczeniu wyżej nakreślonych kierunków badań świadczą dane statystyczne zaczerpnięte z bazy SCOPUS, z dn. 26.08.2018 r. I tak dla poszczególnych obszarów tematycznych wynoszą one odpowiednio: *chitosan* – 270 024, *coatings form chitosan* – 13 124, *chitosan modification* – 77 333, *biopolymers* – 271 251, *biomaterials* – 573 056.

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona na 149 stronach maszynopisu w języku polskim. Pierwszy element pracy stanowią *Streszczenie* oraz *Abstract*. Dalsze rozdziały to *Spis treści*, *Symbola i oznaczenia stosowane w pracy*, *Wprowadzenie* i *Część literaturowa*. Następnie Doktorantka zawarła *Część eksperymentalną*, *Wyniki i dyskusję*, *Podsumowanie i wnioski*. Całość pracy wieńczą: *Literatura* (piśmiennictwo stanowią aż 204 aktualne dane publikacyjne i monograficzne, jak również opracowania techniczne), *Spis rysunków* i *Spis tabel*. Oceniana rozprawa zawiera 60 rysunków

i 9 tabel. Jest bardzo estetycznie zredagowana, co przyczynia się do efektywnej absorpcji ocenianego materiału przez czytelnika.

W części literaturowej dysertacji doktorskiej, Pani mgr inż. Agata Niemczyk przedstawiła, w uporządkowany i syntetyczny sposób, aktualny stan wiedzy dotyczący chitozanu, uwzględniając jego budowę chemiczną i właściwości (fizykochemiczne, biologiczne, przeciwdrobnoustrojowe i antygrzybiczne). Ze względu na istotne znaczenie chitozanu w projektowaniu filmów i powłok, Doktorantka podjęła się opisu tego ważnego zagadnienia zwracając uwagę na metodologię ich wytwarzania, jak i kierunki zastosowań. Kolejny rozdział jest dedykowany amfifilowym pochodnym chitozanu. Pani mgr inż. Agata Niemczyk wskazując na charakterystyczne grupy funkcyjne chitozanu opisała możliwości jego modyfikacji, a w konsekwencji tych działań, funkcje użytkowe tego interesującego syntetycznego biopolimeru (rozpuszczalność w układach wodnych i niepolarnych, charakter hydrofilowo-hydrofobowy, właściwości hemostatyczne, hemokompatybilne, antybakteryjne, zwiększoną trwałość termiczną etc.). Ze względu na zakres tematyczny dysertacji ostatnie kwestie poruszone w przeglądzie teoretycznym dotyczą powłok ochronnych stosowanych do modyfikacji powierzchni cewników urologicznych i kardiologicznych.

Dokonana analiza literaturowa była główną podstawą do zdefiniowania celu naukowego, hipotezy, jak i zakresu pracy.

Nadrzędnym celem pracy doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Niemczyk było opracowanie oryginalnej technologii wytwarzania powłok z pochodnych chitozanu na podłożach polimerowych oraz zbadanie ich właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. Zakres badań obejmował również opracowanie sposobu otrzymywania pochodnych chitozanu o różnym stopniu podstawienia trzema kwasami tłuszczowymi, pozwalającymi otrzymać pochodne o właściwościach amfifilowych.

Doktorantka postawiła tezę, że poprzez zmianę stopnia podstawienia i rodzaju kwasu użytego do modyfikacji chitozanu ulegną zmianie jego finalne właściwości, co w konsekwencji pozwoli na uzyskanie powłok funkcjonalnych o właściwościach amfifilowych mających kluczową rolę w procesie tworzenia powłoki, wpływając na jej właściwości użytkowe.

Zakres pracy stanowił siedem głównych zadań badawczych: opracowanie warunków syntezy N,O-acylowanych pochodnych chitozanu z trzema różnymi kwasami tłuszczowymi, tj. kwasem linolowym,  $\alpha$ -linolenowym, dilynolowym; charakterystykę właściwości fizykochemicznych, termicznych i reologicznych otrzymanych pochodnych wraz z wyznaczeniem wpływu stopnia podstawienia na wskazane właściwości; ocenę podatności na degradację hydrolityczną, enzymatyczną i mikrobiologiczną pochodnych chitozanu wraz z określeniem wpływu degradacji na zmiany struktury chemicznej i właściwości pochodnych; ocenę aktywności przeciwdrobnoustrojowej pochodnych chitozanu; opracowanie sposobu wytwarzania powłok na podstawie pochodnych chitozanu;

charakterystykę właściwości powierzchniowych (kąąt zwilżania, morfologia powierzchni) i właściwości tribologicznych wybranych powłok oraz ocenę wpływu procesu samoorganizacji pochodnych na wskazane właściwości, a także ocenę cytotoksyczności i hemokompatybilności powłok dla potencjalnych zastosowań biomedycznych.

Dokonując zaawansowanych badań w ww. obszarach Pani mgr inż. Agata Niemczyk zdefiniowała najkorzystniejsze warunki syntezy N,O-acylacji chitozanu z kwasem linolowym, linolenowym i dilinolowym z zastosowaniem częściowego jonowego blokowania grup aminowych chitozanu, i użycia karbodiimidowego środka sprzęgającego EDC (chlorowodoru 1-etylo-3-(3-dimetyloaminopropyl)karboimidu), które umożliwiły otrzymanie 14 pochodnych różniących się rodzajem i zawartością (stopniem podstawienia) kwasu tłuszczowego i rodzajem chitozanu. Doktorantka budowę N,O-acylowanych pochodnych chitozanu potwierdziła na podstawie analizy wyników uzyskanych trzema metodami spektroskopowymi, tj.  $^1\text{H}$  NMR, FTIR i XPS. Przedstawione wykresy spektroskopowe w zakresie opisu liczbowego osi zdefiniowano w formie anglojęzycznej. Na podstawie analizy widm  $^1\text{H}$  NMR potwierdzono, iż reakcja modyfikacji chitozanu przebiegła na drodze O-acylacji (równoległe z N-acylacją), niemniej jednak do wyznaczenia miejsca i stopnia podstawienia pochodnych wykorzystano zaproponowany w pracy sposób analizy i interpretacji widm w podczerwieni chitozanu i jego pochodnych. Dzięki temu, ilościowo oceniono różnice struktury chemicznej otrzymanych materiałów. Pochodne podstawione kwasem monokarboksylowym (LA) wykazywały założony, rosnący udział kwasu tłuszczowego w szeregu pochodnych wraz z rosnącym udziałem N- i O-podstawienia w szeregu. Wykazano, że wzrost wartości stosunku absorbancji w szeregu pochodnych odpowiadający O-acylacji był znacznie większy niż odpowiadający N-acylacji. Dokonując analizy pochodnych z dikarboksylowym kwasem DLA wskazano na prawdopodobieństwo częściowego usieciowania tych pochodnych.

Prowadząc dalsze badania w zakresie modyfikacji chemicznej chitozanu wybranymi kwasami tłuszczowymi wykazano wpływ na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne pochodnych chitozanu. Stwierdzono ponadto, że intensywność zachodzących zmian zależy od rodzaju użytego kwasu i jego stopnia podstawienia. Zmiana właściwości pochodnych wynika głównie ze zmian regularności i konformacji makrocząsteczek indukowanej obecnością hydrofobowych łańcuchów kwasów tłuszczowych.

Przeprowadzając analizę zmian właściwości termicznych wyznaczonych na podstawie termogramów DSC pochodnych chitozanu stwierdzono, że obecność kwasu linolowego istotnie wpłynęła na przebieg endotermy eliminacji wody z pochodnych. Niski stopień podstawienia przesunął maksimum tej przemiany w stronę wyższych temperatur, jednakże wraz ze zwiększającym się udziałem kwasu i hydrofobizacją makrocząsteczek maksimum ulegało przesunięciu w stronę niższych temperatur,

nawet poniżej wartości otrzymanej dla niemodyfikowanego chitozanu. Dodatkowo, początkowa temperatura degradacji termicznej ulegała przesunięciu w zależności od ilości naszczepionych kwasów tłuszczowych, co zostało opisane w kontekście zmian przestrzennego ułożenia (konformacji) makrocząsteczek pochodnych z różnym stopniem podstawienia i różną krystalicznością. Tu warto dodać, że nie dokonano badań strukturalnych z wykorzystaniem szerokokątowej dyfrakcji promieni rentgenowskich (WAXS), a badania te byłyby z pewnością ważnym uzupełnieniem informacji o zachodzących zmianach czy przemianach strukturalnych. Zmiana organizacji makrocząsteczek będąca konsekwencją oddziaływań hydrofobowych miała miejsce również w przypadku charakterystyki dyspersji pochodnych i była widoczna w różnicach lepkości oznaczanych dyspersji pochodnych chitozanowych.

Pani Agata Niemczyk przeprowadziła także testy „stabilności” hydrolitycznej i enzymatycznej. Na podstawie badań podatności na degradację hydrolityczną wykazano, iż stopień i miejsce podstawienia chitozanu wpływa na szybkość i przebieg tego procesu. Wszystkie pochodne charakteryzowały się znacznie wyższym stopniem pęcznienia, różnym przy zróżnicowanym udziale kwasu. Również wykazano, że ubytek masy pochodnych był większy niż ubytek masy niemodyfikowanego chitozanu. Na podstawie badań spektroskopowych udowodniono, iż główne zmiany w strukturze badanych materiałów zachodzą w obrębie grup estrowych i mostków glikozydowych. Wartość pH medium degradacyjnego podczas całego okresu badania wykazywała pewne wahania w obrębie pochodnych, niemniej jednak zawsze mieściła się w zakresie pH obojętnego. Z kolei testy degradacji enzymatycznej przeprowadzono w obecności lizozymu. Hydrolityczne działanie enzymu spowodowało znaczące obniżenie lepkości badanego układu, a wszystkie pochodne wykazywały większą podatność na działanie lizozymu niż niemodyfikowany chitozan, w związku z mniejszą ilością występujących między- i wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych.

W mojej ocenie, najistotniejszym elementem charakterystyki otrzymanych pochodnych chitozanowych, szczególnie w odniesieniu do ich biomedycznego zastosowania, były badania degradacji mikrobiologicznej i aktywności przeciwdrobnoustrojowej. Powszechnie wiadomo, że zastosowanie chitozanu czy jego komercyjnych produktów w charakterze materiałów antybakteryjnych jest bardzo duże. Prowadzone są różnego typu modyfikacje aby te właściwości zoptymalizować. Chitozan i otrzymane przez Doktorantkę jego pochodne nie stanowiły źródła węgla i/lub azotu ani dla bakterii Gram ujemnej *E. coli* ani Gram dodatniej *S. aureus*. Chitozan i jego pochodne wykazały właściwości bakterio- i grzybobójcze czy nawet działanie przeciwdrobnoustrojowe.

Podsumowując powyższe osiągnięcia można stwierdzić, że odpowiednio projektując właściwości chitozanu zmieniając stopień podstawienia grup funkcyjnych, jak i dobierając rodzaj kwasu tłuszczowego otrzymuje się materiały o korzystnych funkcjach użytkowych. Otwiera więc to nową ścieżkę w projektowaniu funkcjonalnych materiałów medycznych.

Pani mgr inż. Agata Niemczyk w wyniku przeprowadzonych badań opracowała dwie oryginalne metody wytwarzania powłok na podstawie pochodnych chitozanu na podłożach z biomateriałów należących do grupy elastomerów termoplastycznych. Podłoża polimerowe stanowiły następujące materiały tj. poli(etero-b-amid) PA33 i PA69 oraz poliester PET-DLA.

Pierwsza metoda – oznaczona w dysertacji jako „metoda A” – opierała się na związaniu powłoki z powierzchnią poprzez oddziaływania fizykochemiczne i obejmowała cztery kluczowe etapy: funkcjonalizację powierzchni czynnikiem chemicznym ( $H_2O_2$ ), aktywację nowopowstałych grup funkcyjnych, powlekanie powierzchni dyspersją pochodnej techniką zanurzeniową oraz suszenie powłoki. Badania powłok wytworzonych wskazaną metodą prowadzono celem oceny możliwości zastosowania ich jako powłok ochronnych zewnętrznych powierzchni cewników kardiologicznych i urologicznych, dlatego główny nacisk badań położony został na właściwości hydrofilowo-hydrofobowe powierzchni powłok oraz ich właściwości tribologiczne. Obecność powłok na powierzchniach powlekanych potwierdzono metodą spektroskopii w podczerwieni, a grubość utworzonych powłok oszacowano metodą mikroskopową. Zwilżalność powierzchni oceniono na podstawie pomiarów wartości statycznego kąta zwilżania powłok wykonanych z chitozanu i jego serii pochodnych. Wskazano istotny wpływ obecności kwasów tłuszczowych na hydrofilowość powierzchni powłoki. Wraz ze wzrostem udziału kwasu tłuszczowego w pochodnej (z wyjątkiem pochodnych o najwyższym udziale kwasu) wartość kąta zwilżania malała.

Za bardzo ważne uznają także opracowanie (bio)tribologicznego układu pomiarowego symulującego warunki *in vivo* procedury cewnikowania, pozwalające na ocenę przydatności wytworzonych powłok w charakterze powłok ochronnych cewników kardiologicznych i urologicznych. Doktorantka scharakteryzowała wartości współczynnika tarcia powłok wytworzonych z serii testowanych pochodnych chitozanowych. Uzyskane wartości były znacznie niższe w porównaniu do materiałów bez powłok, jako i wykazywały bardzo dobre właściwości ślizgowe tych materiałów w odniesieniu do próbek referencyjnych. Wynik ten świadczy o wysokim potencjale aplikacyjnym wytworzonych powłok z pochodnych chitozanu.

Odnotowano ponadto silne właściwości samoorganizacji makrocząsteczek pochodnych w powłoce podczas etapu jej schnięcia w zależności od charakterystyki powierzchni powlekanej. Poprzez badania zmiany kąta zwilżania w czasie, zaproponowano wyjaśnienie różnic w wartościach kąta zwilżania i współczynnika tarcia powłok wytworzonych z jednego materiału na różnych podłożach. Wyniki te

odniesiono do zdolności samoorganizacji pochodnych, a różnice pomiędzy powłokami otrzymanymi z różnych pochodnych odniesiono do różnic strukturalnych pochodnych z naszczepionym monokarboksylowym lub dikarboksylowym kwasem tłuszczowym.

Alternatywna, druga opracowana procedura („metoda B”) pozwoliła Pani mgr inż. Agacie Niemczyk na wytworzenie powłok związanych chemicznie (oddziaływania kowalencyjne) z podłożem polimerowym. W metodzie tej zastosowano plazmę argonową połączoną z przepłukiwaniem powierzchni tlenem w celu wytworzenia nadtlenkowych i karboksylowych grup funkcyjnych zdolnych do reakcji z grupami aminowymi i hydroksylowymi chitozanu i jego pochodnych. Poszczególne etapy procesu wytwarzania powłoki opisano w funkcji zmian zwilżalności powierzchni, a za pomocą zaawansowanej techniki XPS potwierdzono obecność powłoki na podłożu polimerowym. Ocenę jakości powłok z wybranych pochodnych wykonano analizując mikrofotografie SEM powierzchni PET-DLA przed i po procesie nanoszenia powłoki, wykazując pozytywny wpływ powłok na morfologię powierzchni polegający na obniżeniu jej chropowatości. Ponadto, w badaniach zwilżalności powierzchni (uzupełnionych wynikami głębokościowej analizy składu pierwiastkowego powłoki metodą XPS) wykazano, że bez względu na zastosowaną metodę wytwarzania powłok czy rodzaju podłoża otrzymane w pracy amfifilowe pochodne chitozanu wykazują zdolność do samoorganizacji powłoki indukowanej właściwościami podłoża, na które są nanoszone. Doktorantka stwierdziła, że pokrycie powierzchni kopolimeru PET-DLA powłokami z wybranych pochodnych skutkowało zwiększeniem hydrofilowości powierzchni oraz obniżeniem tarcia, co wskazuje na wysoki potencjał użytkowy powłok wytworzonych. Kluczowe w ujęciu znaczenia aplikacyjnego są także wyniki badań cytotoksyczności i hemokompatybilności powłok. Powłoki z wybranych pochodnych chitozanu charakteryzowały się brakiem toksyczności oraz brakiem negatywnego wpływu na krwinki czerwone. Ponadto, na podstawie przeprowadzonych badań mikrobiologicznych wykazano, iż naniesienie powłoki z chitozanu oraz jego pochodnych z kwasem LA lub ALA znacząco obniża adhezję bakterii *E. coli* (powyżej 80%) na powierzchni materiału PET-DLA.

Do zrealizowanego istotnego celu naukowego i użytecznego, jak i ambitnych zadań Pani mgr inż. Agata Niemczyk zastosowała niezbędne metody i techniki. Warto zaznaczyć, że Doktorantka nie ograniczyła się do powszechnie znanych i dostępnych sposobów charakteryzowania funkcjonalnych materiałów polimerowych, a swoje badania rozszerzyła do wielowątkowej analizy (chemicznej, fizycznej, biologicznej i mechanicznej). Uznaję to podejście za bardzo profesjonalne, co z pewnością było zaszczerpione przez Panią Promotor, niemniej od Doktorantki wymagało absorpcji wiedzy z wielu trudnych obszarów.

Praca została zredagowana bardzo poprawnie, a jej szata graficzna jest godna pochwały. Dysertacja doktorska zawiera nieliczne błędy edytorskie czy stylistyczne, których znaczenie można pominąć.

Jedynie wskażę frazę „wartości spadają”, która jest bardzo często stosowana w tej i innych pracach. Pozwolę sobie ponadto wskazać kilka kwestii dyskusyjnych czy problematycznych, a wynikają one z obowiązków recenzenta i dają pośrednio dowód na zapoznanie się z pracą:

1. Ze względu na budowę chemiczną chitozanu ulega on rozpuszczaniu w odpowiednim środowisku. Uważam jednak, że tworzy on w konsekwencji głównie układy dyspersyjne. Definicja roztworu czy roztworu rzeczywistego jest zupełnie inna. W pracy mamy do czynienia głównie z pochodnymi chitozanu o właściwościach amfifilowych, i tu jestem pewien, że nie tworzy się roztwór;
2. Doktorantka rzetelnie przedstawiła rezultaty pomiarów kąta zwilżania, uwzględniając błędy pomiarowe. Nasuwa się jednak pytanie czy wytworzone filmy miały na tyle zbliżoną chropowatość/niejednorodność powierzchni, że te rezultaty można uznać za reprezentatywne? Ponadto do profesjonalnej oceny właściwości amfifilowych badanych dyspersji konieczne wydają się pomiary napięcia międzyfazowego i sugerowałbym wyznaczenie wartości swobodnej energii powierzchniowej;
3. Mimo bardzo pozytywnej oceny doboru technik badawczych, uważam za celowe zastosowanie spektroskopii Ramana, która dla biopolimeru, jakim jest chitozan, jest bardzo efektywna, z reguły bardziej niż spektroskopia FTIR. Oczywiście efektywność modyfikacji chitozanu wybranymi kwasami trudno ocenić ignorując spektroskopię w podczerwieni.

Wymienione powyżej uwagi są symboliczne, gdyż oceniana praca jest wykonana na możliwie najwyższym poziomie.

Aktywność naukowa Pani mgr inż. Agaty Niemczyk wyrażona jest w postaci 8 opublikowanych prac, w tym 4 indeksowanych na liście *Thomson Reuters JCR* o łącznym współczynniku oddziaływania 14,776. Doktorantka opublikowała swoje dokonania m.in. w tak prestiżowych czasopiśmie jak: *European Polymer Journal* (2 prace), *Carbohydrate Polymers*, *Tribology International*. Pozostałe cztery artykuły zostały wydane w czasopiśmie *Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives*, mającym także uznany wysoki poziom naukowy, prowadzonym przez Polskie Towarzystwo Chitynowe. Wartym uznania jest także zakres działalności związany z czynnym udziałem Doktorantki w prezentacjach osiągnięć w formie jednego wykładu plenarnego, jak i licznych komunikatów ustnych czy posterów. Pani Agata Niemczyk była także Laureatką konkursu Nagrody im. Prof. Henryka Struszczyka 2017 za oryginalne osiągnięcia autorskie w badaniach w dziedzinie chityny i jej pochodnych przyznawanej przez Polskie Towarzystwo Chitynowe, co pośrednio świadczy o Jej dużym potencjale naukowym. Wyróżniająca jest aktywność Doktorantki we współrealizacji projektów badawczych finansowanych przez instytucje krajowe (NCN, NCBiR), jak i ze środków europejskich (Fundacja DAAD czy 7PR UE). Kwalifikacje naukowe



Pani mgr inż. Agata Niemczyk udoskonalała odbywając staże naukowe w ośrodku niemieckim – Institute of Biomaterials, Department of Materials Science and Engineering, Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg, Niemcy (dwukrotnie, okres dwumiesięczny) oraz w głównej centrali badawczej Philips Research, Eindhoven, Holandia (9-miesięczny pobyt).

Chciałbym wyraźnie zaznaczyć istotny wkład Pani mgr inż. Agaty Niemczyk w rozwój technologii chemicznej i dziedzin pokrewnych, w szczególności w projektowaniu nowoczesnych, funkcjonalnych materiałów polimerowych. Sposób zaplanowania eksperymentów, zrealizowania badań, jak i forma przedstawienia oryginalnych, nowatorskich wyników oraz ich wnikliwa i rzeczowa analiza, świadczą o niekwestionowanych, wysokich kompetencjach naukowo-badawczych Autorki rozprawy i są niepodważalnym dowodem Jej wysokiego poziomu przygotowania do prowadzenia badań naukowych czy pracy w przemyśle.

**Na podstawie oceny pracy doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Niemczyk zatytułowanej „Wielofunkcyjne powłoki na podstawie pochodnych chitozanu” stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wszystkie wymogi ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki” (Dz. U. nr 65, poz. 595 z 16.04.2003 r., wraz z późniejszymi zmianami). Wnioskuje ponadto do Wysokiej Rady Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie o przyjęcie pracy i przeprowadzenie dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

**Biorąc pod uwagę istotny wkład w rozwój uprawianej przez Doktorantkę dziedziny naukowej, wyróżniający dorobek naukowy oraz niepodważalne kompetencje wyrażone w postaci ogromnej wiedzy i umiejętności wielowątkowej analizy rezultatów stawiam wniosek o wyróżnienie dysertacji.**

