

PROF. DR HAB. ZBIGNIEW BARTCZAK  
CENTRUM BADAŃ MOLEKULARNYCH I MAKROMOLEKULARNYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

---

SIENKIEWICZA 112, 90-363 ŁÓDŹ, TEL:+48 (42) 680.3317, FAX: +48 (42) 684.7126  
E-MAIL: bartczak@cbmm.lodz.pl

Łódź, 4.01.2019

**RECENZJA**

**rozprawy habilitacyjnej dr. Michała Puchalskiego**

**„Rola uporządkowania struktury nadcząsteczkowej polilaktydu i jego kopolimerów w optymalizacji właściwości fizycznych i użytkowych wyrobów włókienniczych, a także w ocenie sposobu ich degradacji”**

Podstawą opracowania oceny są:

- Uchwała Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów z dn. 9.11.2018r. dot. powołania recenzentów w postępowaniu habilitacyjnym dr. Michała Puchalskiego.
- Kopie 10 opublikowanych prac współautorskich dr. Michała Puchalskiego, przedstawionych jako praca habilitacyjna
- Autoreferat zawierający komentarz do pracy habilitacyjnej
- Oświadczenia współautorów dot. udziału we wspólnych pracach
- Wykaz opublikowanych prac naukowych, informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i działalności popularyzującej naukę.

Dr Michał Puchalski przedstawił rozprawę habilitacyjną w formie spójnego cyklu publikacji składającego się z 7 opublikowanych oryginalnych prac badawczych, 3 rozdziałów w monografiach oraz prawo własności intelektualnej w postaci 1 zgłoszenia patentowego wraz z załączonym autoreferatem zawierającym komentarz autorski, oświadczeniami współautorów o ich wkładzie w powstanie publikacji habilitacyjnych oraz pozostałymi załącznikami.

## **1. Charakterystyka biograficzna kandydata**

Pan dr Michał Puchalski ukończył studia magisterskie z fizyki, w zakresie fizyki doświadczalnej, na Wydziale Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego, broniąc pracę magisterską pt. „*Badanie ziaren srebra o nanometrowych średnicach w zastosowaniu dla elektroniki*” wykonaną pod kierunkiem dr. hab. Wielisława Olejniczaka, prof. UŁ. Praca magisterska została nagrodzona na konkursie prac magisterskich łódzkiego oddziału PTCh.

Po ukończeniu studiów magisterskich w 2005r. zdecydował się kontynuować tematykę badawczą z zakresu nanocząstek metali w ramach studiów doktoranckich na Wydziale Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego, których owocem była rozprawa doktorska pt. „*Badanie własności fizycznych nanocząstek metali na przykładzie nanosrebra*”, obroniona na rozprawie publicznej w 2010 r. Promotorem pracy doktorskiej był dr hab. Wielisław Olejniczak, prof. UŁ a jej recenzentami prof. dr hab. inż. K.J. Kurzydłowski (Politechnika Warszawska) i prof. dr hab. R. Czajka (Politechnika Poznańska).

Od 2009r. do chwili obecnej dr Puchalski jest pracownikiem Katedry Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów Politechniki Łódzkiej, zatrudnionym początkowo na stanowisku technicznym, a od 2010r. na stanowisku adiunkta.

Habilitant nie odbył stażu w zagranicznym bądź krajowym ośrodku naukowym lub akademickim.

## **2. Ocena formalna rozprawy habilitacyjnej**

Głównym osiągnięciem naukowym, na podstawie którego dr Michał Puchalski ubiega się o stopień doktora habilitowanego jest cykl powiązanych tematycznie prac składający się z 7 opublikowanych oryginalnych prac badawczych, 3 rozdziałów w monografiach oraz prawo własności intelektualnej w postaci 1 zgłoszenia patentowego.

Cykl badań naukowych i prac rozwojowych zaprezentowanych w przedłożonym zbiorze prac obejmuje obszar nauk technicznych z dziedziny Włókiennictwo i wpisuje się dobrze w trendy badawcze poszukiwań nowych materiałów i wyrobów oraz metod oceny ich jakości wykraczających poza ramy tradycyjnego włókiennictwa, obejmując zagadnienia z zakresu fizyki polimerów, fizyki włókna, inżynierii materiałowej i towaroznawstwa.

Przedstawione prace badawcze opublikowane zostały w znaczących międzynarodowych czasopismach z tzw. „listy filadelfijskiej” w latach 2012-2018, m.in. w *Polymers* (IF=2.935, 40 pkt MNiSzW), *Textile Research Journal* (IF= 1.540, 40 pkt MNiSzW), *Fibres*

& Textiles in Eastern Europe (IF= 0.801, 25 pkt MNiSzW), AUTEX Research Journal (IF= 0.957, 25 pkt MNiSzW). Średni współczynnik wpływu IF tych prac wynosi 1.344. Artykuły są w większości świeże (opublikowane w latach 2012-18), a mimo tego uzyskały już pewną liczbę cytowań (32); jeden z nich był cytowany 12 razy.

Przedstawione prace mają charakter doświadczalny, a ich zakres merytoryczny w pełni odpowiada przedstawionemu tematowi rozprawy.

Wszystkie z załączonych artykułów naukowych to prace wieloautorskie (3-7 autorów). W przypadku 4 publikacji badawczych i 1 monograficznej Habilitant jest pierwszym autorem, wskazanym do korespondencji. Habilitant ocenił swój udział w powstaniu przedłożonych publikacji i patentów w zakresie od 20 do 50%, wyszczególniając, co w każdej z prac było jej dziełem. Jednocześnie dr Puchalski załączył oświadczenia współautorów o ich udziale we wspólnych pracach. Z oświadczeń tych wynika, że dr Puchalski był pomysłodawcą i autorem wiodącym 5 prac, a jego udział w pozostałych pracach wieloautorskich był istotny i znaczący.

Tematyka przedłożonych publikacji jest spójna, rozprawę można praktycznie rozważać jako monotematyczną. Prace te dotyczą wpływu uporządkowania struktury nadcząsteczkowej polilaktydu i jego kopolimerów na ich właściwości fizyczne i roli tej struktury w optymalizacji właściwości fizycznych i użytkowych wyrobów włókienniczych, a także w ocenie sposobu ich degradacji, zgodnie z tytułem Rozprawy. Publikacje przedstawionego cyklu mają charakter poznawczy, ale jednocześnie przedstawiają wyniki o dużym znaczeniu praktycznym.

Pewnym, choć niezbyt istotnym mankamentem formalnym rozprawy jest niedostateczna czytelność niektórych rysunków zamieszczonych w autoreferacie, m.in. rys. 1b, rys.3, rys.8-10. Zbyt słabo zróżnicowano tu symbole i linie, co znacznie utrudnia śledzenie omawianych zależności. Niewiele pomagają, niestety, oryginalne rysunki zamieszczone w publikacjach źródłowych. Ponadto, legendy krzywych na rys.8b autoreferatu i źródłowym rysunku Fig.5b w pracy P5 wydają się być sprzeczne.

### **3. Ocena osiągnięcia naukowego - merytoryczna ocena rozprawy habilitacyjnej**

#### **a. Cel naukowy pracy**

Kandydat przedstawił jako osiągnięcie naukowe cykl publikacji powiązanych tematycznie. Badania zaprezentowanych w tym zbiorze obejmują obszar nauk technicznych z dziedziny Włókiennictwo i wpisują się dobrze w trendy badawcze poszukiwań nowych materiałów i wyrobów oraz metod oceny ich jakości, często wykraczających poza ramy tradycyjnego włókiennictwa.

Głównym powodem podjęcia przez Habilitanta badań przedstawionych w rozprawie i czynnikiem spinającym tematycznie wszystkie wchodzące w jej skład prace jest bardzo ważne zagadnienie poszukiwania nowych materiałów polimerowych (tutaj w postaci polimerów biodegradowalnych pozyskiwanych ze źródeł odnawialnych) i ich optymalnego wykorzystania, m.in. do wytwarzania innowacyjnych wyrobów włókienniczych, a także zachowania tych wyrobów podczas ich eksploatacji i wystawienia na działanie różnego typu czynników degradujących.

Habilitant do większości swych prac badawczych wybrał polilaktyd (PLA) – biodegradowalny liniowy poliester alifatyczny otrzymywany z kwasu mlekowego pozyskiwanego z całkowicie odnawialnych źródeł, produkowany na skalę wielkotonażową – oraz kopolioester kwasu mlekowego z glikolidem (PGLA), istotny dla zastosowań biomedycznych.

Głównym celem naukowym przedstawionego osiągnięcia była ocena wpływu struktury cząsteczkowej i orientowanej w procesach przetwórczych struktury nadcząsteczkowej, w tym formy krystalicznej PLA, na właściwości użytkowych wyrobów włókienniczych i możliwości ich optymalizacji, a także zmiany struktury cząsteczkowej i nadcząsteczkowej w procesach degradacji wyrobów włókienniczych z PLA w warunkach naturalnych i symulowanych.

Realizacja postawionego celu odbywała się przez przeprowadzenie badań w 2 głównych kierunkach:

- I. Poznanie roli mezofazy i transformacji formy krystalicznej  $\alpha'$  do formy  $\alpha$  w optymalizacji właściwości fizycznych i użytkowych wyrobów włókienniczych z PLA i jego kopolimerów.

- II. Badanie transformacji formy krystalicznej  $\alpha'$  do formy  $\alpha$  oraz zmiany stopnia krystaliczności jako wskaźników oceny procesu degradacji polilaktydu w środowiskach naturalnych i zbliżonych do naturalnych.

b. **Omówienie istotnych osiągnięć pracy**

Pierwszą część osiągnięcia przedstawionego jako podstawa wniosku habilitacyjnego stanowią publikacje [P2-P5, P7, M1, M2] i zgłoszenie patentowe [ZP1] opisujące prace badawcze Habilitanta prowadzone w kierunku optymalizacji właściwości fizycznych i użytkowych wyrobów włóknistych wykonanych z PLA z uwzględnieniem procesów krystalizacji i przemian fazowych w fazie krystalicznej. Do badań wytypowane zostały włókniny wytworzone ze stopu metodą 'spod filiiery' (spun-bonded) oraz włókna przędzone z roztworu polimeru metodą na mokro (wet spinning). Dodatkowo, Habilitant podjął się analizy zmian strukturalnych zachodzących podczas procesów barwienia i stabilizacji włókien.

W pracach [P2] i [P4] badane były włókniny formowane ze stanu stopionego metodą spod filiiery. Analizowano wpływ procesu kalandrowania, w którym następuje konsolidacja i stabilizacja runa, na strukturę nadcząsteczkową włókien PLA i właściwości fizyczne włókniny [P2]. Obserwowane zmiany właściwości mechanicznych włókien ze zmianą temperatury kalandra dr Puchalski zinterpretował w oparciu o ocenę zmian struktury nadcząsteczkowej wchodzących w jej skład włókien, analizowanej metodami rentgenograficznymi (dyfraktometria proszkowa, WAXS) i termicznymi (DSC) uzupełnionymi oceną dwójłomności optycznej włókien (mikroskopia polaryzacyjno-interferencyjna, MPI). Do śledzenia zmian struktury nadcząsteczkowej włókien PLA w badanych materiałach dr Puchalski zaproponował nowatorski w odniesieniu do PLA sposób oceny zmian strukturalnych na podstawie analizy odległości międzypłaszczyznowych  $d_{hkl}$  wyznaczonych z danych dyfrakcyjnych za pomocą równania Bragga. Obserwowane zmiany odległości międzypłaszczyznowych związanych z głównymi pikami dyfrakcyjnymi PLA, (110)/(200) i (203), stąd zmiany rozmiaru komórki elementarnej, pozwoliły zidentyfikować odmiany krystaliczne  $\alpha$  i  $\alpha'$  obecne w badanych próbkach. Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na stwierdzenie, iż w procesie formowania włókien metodą spod filiiery pojawia się krytyczna wartość temperatury kalandrowania, powyżej której nie następuje już znaczący wzrost krystaliczności polimeru, a zachodzące w tym zakresie temperatury zmiany strukturalne, w tym transformacja formy krystalicznej  $\alpha'$  do formy  $\alpha$ , prowadzą do

znaczącego spadku wytrzymałości otrzymanej włókniny. Uzyskane wyniki nie wykluczyły jednakże potencjalnego wpływu degradacji termicznej materiału, możliwej podczas procesu w temperaturze bliskiej temperaturze topnienia.

W pracy [P4] analizowano wpływ uporządkowania struktury włókien uformowanego runa na strukturę nadcząsteczkową i właściwości mechaniczne gotowej włókniny. Zmianę orientacji polimeru we włóknach runa uzyskiwano poprzez zmianę ciśnienia powietrza w kanale formującym włókna, wpływającego na prędkość odbioru włókien. Uzyskane wyniki potwierdziły wcześniejsze wnioski, sformułowane w pracy [P2], a ponadto pozwoliły na ich uzupełnienie o ocenę wpływu wstępnej orientacji materiału na etapie formowania runa na zmiany struktury nadcząsteczkowej tworzywa włókniny za pomocą wcześniej zaproponowanej metody WAXS, uzupełnionej pomiarami FTiR i DSC. Badania te wykazały możliwość wstępnego porządkowania polimeru na etapie formowania runa, w postaci mezofazy, której ilość zależy od prędkości odbioru włókna. Wstępne uporządkowanie i orientacja polimeru wpływa na jego krystalizację w procesie kalandrowania, w którym następuje konsolidacja i stabilizacja końcowej struktury włókniny. Wstępna orientacja polimeru we włóknach wpływa zarówno na wzrost stopnia krystaliczności jak i uporządkowanie (orientację) krystalitów. Habilitant stwierdza również wpływ na rozmiar krystalitów we włókninie mierzony odległościami międzypłaszczyznowymi (str. 17 Autoreferatu), chyba niezbyt poprawnie, jako że odległości międzypłaszczyznowe związane są z rozmiarem komórki elementarnej a nie rozmiarami całych krystalitów.

W pracy [P5] Habilitant przedstawił wyniki badań włókien PLA formowanych z roztworu polimeru metodą na mokro. W pracy tej wykazano wpływ struktury cząsteczkowej polimeru (zawartość D-laktydu) oraz warunków formowania włókien na uporządkowanie struktury nadcząsteczkowej, w tym istnienie zakresu niekorzystnych warunków formowania prowadzących do pogorszenia właściwości mechanicznych, ale sprzyjających krystalizacji polimeru w formie  $\alpha$ . Wykazano również, iż materiał o dużej zawartości D-laktydu (>10%) wykazuje zdolność do porządkowania struktury (tworzenia mezofazy) w procesie formowania włókna z roztworu, prowadzącą do poprawy wytrzymałości włókien w porównaniu z włóknami amorficznymi. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano tezę, iż w celu otrzymania materiału o wysokiej wytrzymałości mechanicznej proces formowania włókien PLA z roztworu metodą na mokro należy prowadzić w warunkach technologicznych pozwalających uzyskać maksymalnie krystaliczną postać tworzywa w formie krystalicznej  $\alpha'$ . Podobne wyniki Habilitant uzyskał w badaniach prowadzonych dla włókien otrzymywanych z kopolimeru kwasu mlekowego z glikolidem, PGLA, który również okazał się zdolny do

wytwarzania mezofazy w procesie przędzenia włókien z roztworu polimeru metodą na mokro [M1]. Podczas przetwarzania PGLA metodami ze stopu polimer ten nie krystalizuje, natomiast warunki formowania włókien z roztworu na mokro sprzyjają porządkowaniu się struktury i powstawaniu mezofazy w ilości nawet do 20%. W pracy [P7] dr Puchalski potwierdził zdolność do porządkowania struktury nadcząsteczkowej PGLA do postaci mezofazy oraz fazy krystalicznej zarówno w formie  $\alpha'$  jak i  $\alpha$  pod wpływem nanododatków mineralnych (hydroksyapatyt,  $\beta$ -fosforan trójwapniowy) jak i odpowiednio dobranych parametrów technologicznych procesu formowania włókien z roztworu polimeru na mokro, co pozwala uzyskać materiały o zróżnicowanych parametrach mechanicznych. Uzyskane wyniki są bardzo istotne z punktu widzenia projektowania włóknistych materiałów kompozytowych do zastosowań medycznych wytwarzanych z bioresorbowalnych kopolimerów takich jak PGLA.

Komentarz krytyczny: Zawartość mezofazy i fazy krystalicznej w badanych materiałach była szacowana na podstawie ich dyfraktogramów z zastosowaniem procedury rozdzielania (dekonwolucji) na składowe amorficzne, mezofazę i fazę krystaliczną. Przykładowy wynik dekonwolucji pokazany na rys. 11 (str. 24 Autoreferatu) czy też porównanie wyników otrzymanych dla próbki LG2W prezentowanych w Tabeli 1 Autoreferatu (mezo=2.79%, kryst.=19.2%) i Tabeli 6 w pracy [P7] (mezo=9.2%, kryst.=13.5%) skłania do pytania o dokładność oszacowania udziału mezofazy i fazy krystalicznej – obliczone piki mezofazy i fazy krystalicznej są dość szerokie, o zbliżonej szerokości połówkowej i prawie tym samym położeniu. W tej sytuacji można mieć pewne wątpliwości co do jednoznaczności uzyskanego rozwiązania: założenie nieco innego kształtu pików (w pracy użyto pewnej kombinacji liniowej funkcji Gaussa i Lorentza), np. funkcji z większym lub mniejszym udziałem składowej Gaussa bądź też często używanej w takich obliczeniach funkcji Pearson-VII może doprowadzić do uzyskania alternatywnego rozwiązania o podobnym stopniu dopasowania do danych doświadczalnych. W pracy źródłowej [P7] problem ten nie był jednak dyskutowany i nie przedstawiono szczegółów dotyczących sposobu doboru parametrów i optymalizacji rozwiązania.

Zmiany strukturalne podobne do tych zachodzących pod wpływem temperatury podczas etapu kalandrowania mogą zachodzić również podczas procesów wykańczalniczych, takich jak barwienie włókien czy stabilizacja termiczna skrętu przędz, przebiegających w równie wysokiej temperaturze. Zagadnienie te były przedmiotem badań opisanych w pracach [P3] i [M2]. Zmiany właściwości mechanicznych skorelowano ze zmianami struktury

nadcząsteczkowej analizowanymi omawianą już metodą rentgenograficzną. Rezultaty tych badań pozwoliły na wskazanie warunków procesu powodujących niekorzystną z punktu widzenia właściwości mechanicznych gotowego wyrobu transformację krystalograficzną formy  $\alpha'$  do formy  $\alpha$ , która może nastąpić podczas barwienia i/lub stabilizacji w kąpieli wodnej już w temperaturze 90°C w zależności od składu chemicznego kąpieli.

Właściwości użytkowe materiałów zależą w znacznym stopniu od ich odporności na starzenie. Procesy degradacji prowadzą do utraty właściwości użytkowych materiałów polimerowych wystawionych na działanie różnego rodzaju czynników środowiskowych. Waga zagadnienia skłoniła Habilitanta do podjęcia badań w tym kierunku. W drugiej części przedstawionych prac badawczych dr Puchalski prowadził badania z zakresu wykorzystania pomiarów zmian struktury krystalicznej, w tym transformacji formy  $\alpha'$  do formy  $\alpha$  w ocenie degradacji wyrobów włókienniczych z PLA w warunkach zbliżonych do naturalnych. Główne prace badawcze przeprowadzono na eksperymentalnym polu uprawnym Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, gdzie przeprowadzono doświadczenia z włókninami z PLA o potencjalnym zastosowaniu w rolnictwie i ogrodnictwie. Habilitant stwierdził, iż w wyniku jednosezonowego użytkowania włókien z PLA zaszły w nich jedynie nieznaczne zmiany strukturalne w postaci niewielkiego spadku masy cząsteczkowej oraz spadku udziału frakcji amorficznej, jednakże bez transformacji odmiany krystalicznej ( $\alpha' \rightarrow \alpha$ ) [M3]. Wyniki te potwierdziły możliwość stosowania wyrobów z PLA w warunkach polowych przez okres dłuższy niż jeden sezon. W pracy [M3] dr Puchalski wykazał ponadto, że kompostowanie w warunkach analogicznych do kompostowania biomasy w ogrodnictwie (w otwartych kompostownikach z dostępem tlenu) powoduje zmiany strukturalne PLA obserwowane nie tylko w postaci spadku masy cząsteczkowej, ale również w postaci wzrostu krystaliczności i transformacji formy krystalicznej  $\alpha' \rightarrow \alpha$ . Warunki kompostowania w kompostownikach otwartych, stosowanych do kompostowania biomasy w ogrodnictwie, okazały się jednak niewystarczające do doprowadzenia włókniny do ostatniego etapu biodegradacji – mineralizacji – w ciągu jednego roku. Zaproponowana przez Habilitanta metodyka oceny postępu degradacji PLA w oparciu o rentgenograficzną analizę zmian struktury nadcząsteczkowej okazała się bardzo dobrym uzupełnieniem powszechnie stosowanego pomiaru ubytku masy cząsteczkowej, również w przypadku materiałów o zmienionej pod wpływem degradacji barwie. W pewnych przypadkach przeprowadzenie jedynie prostszych badań rentgenograficznych może okazać się wystarczające do oceny postępu degradacji PLA.



W kolejnych badaniach przeprowadzono próby biodegradacji włókien PLA w warunkach polowych w kompostownikach zamkniętych, bez dostępu tlenu [P6]. Osiągnięciem Habilitanta było opracowanie metodyki badawczej oraz wykazanie, że kompostowanie PLA w warunkach beztlenowych powoduje zmiany strukturalne obserwowane w postaci spadku masy cząsteczkowej i wzrostu krystaliczności bez wyraźnej transformacji formy krystalicznej  $\alpha'$  do  $\alpha$ . Wyniki badań pozwoliły ponadto na wskazanie korzystnego składu kompostu.

Dr Puchalski podjął również w ramach tej części badań prace zmierzające do zbadania zmian struktury nadcząsteczkowej włókien z PLA w procesie symulowanego starzenia w wybranych warunkach klimatycznych – klimatu umiarkowanego (S3) i subtropikalnego (S3x2) [P1]. Wykazano, że proces symulowanego starzenia powoduje wyraźne zmiany w postaci krystalizacji amorficznego oraz nisko-krystalicznego materiału zawierającego mezofazę. W przypadku wysokokrystalicznego PLA zmiany okazały się nieznaczne. Nie zaobserwowano też transformacji formy krystalicznej  $\alpha' \rightarrow \alpha$ , co potwierdziło przypuszczenia, że warunkach klimatycznych dostarczone ciepło jest niewystarczające do zapoczątkowania takiej przemiany. Ponadto, w przypadku degradacji w glebie lub kompoście oprócz wilgotności i ciepła bardzo ważnymi czynnikami degradującymi są mikroorganizmy i zmiany odczynu środowiska, które w procesach symulowanego starzenia nie są odwzorowane.

Podsumowując, wyniki badań strukturalnych prowadzonych przez Habilitanta rozszerzyły istotnie bazę wiedzy o PLA i jego kopolimerach do wykorzystania w przemyśle włókienniczym oraz w laboratoriach i działach kontroli jakości zakładów produkcyjnych zajmujących się wytwarzaniem biodegradowalnych wyrobów włókienniczych. Do najważniejszych osiągnięć Habilitanta, przedstawionych w rozprawie, można zaliczyć:

- Opracowanie uznanej w świecie naukowym metodologii oceny jakości struktury nadcząsteczkowej w materiałach włókienniczych z PLA umożliwiającej projektowanie właściwości użytkowych, w tym mechanicznych, wyrobów z PLA i jego kopolimerów oparciu o względnie łatwe pomiary dyfraktometryczne metodą proszkową WAXS.
- Wykazanie na podstawie pomiarów WAXS istotnych zmian w strukturze nadcząsteczkowej PLA zachodzących w procesach formowania włókien ze

stopu i z roztworu polimeru, barwienia i stabilizacji, które mogą być względnie łatwo kontrolowane poprzez dobór parametrów procesu, co umożliwia wytwarzanie materiałów włókienniczych o założonych właściwościach.

- Opracowanie uznanej w świecie naukowym metodologii oceny degradacji PLA w oparciu o pomiary dyfraktometryczne wykonane metodą proszkową. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że wystąpienie efektów makroskopowych degradacji materiałów włóknistych z PLA, np. fragmentacji, poprzedzone są znaczącymi zmianami struktury nadcząsteczkowej tworzywa, w tym w postaci transformacji formy krystalicznej  $\alpha' \rightarrow \alpha$ .

Kończąc omówienie rozprawy mogę uznać, że przedłożony zestaw 7 publikacji oryginalnych i 3 monografii, uzupełniony kompetentnie napisanym autoreferatem, dostarcza ważnej i użytecznej wiedzy na temat polimerów biodegradowalnych - PLA i jego kopolimerów, która może być z powodzeniem wykorzystana w laboratoriach i w przemyśle włókienniczym do wytwarzania biodegradowalnych wyrobów włókienniczych o pożądanym właściwościach. Uzyskane przez Habilitanta wyniki stanowią istotny, oryginalny wkład w uprawianą przez Niego dziedzinę nauki.

#### **4. Ocena dorobku naukowo-badawczego, istotnej aktywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej**

##### **a. Charakterystyka i ocena dorobku naukowego kandydata**

Dr Michał Puchalski rozpoczął działalność naukową w 2005r. na Wydziale Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego jako słuchacz Studium Doktoranckiego. W trakcie prac doświadczalnych nad swym doktoratem współpracował z firmą Amepox Microelectronics. Rozprawę doktorską pt. „*Badanie własności fizycznych nanocząstek metali na przykładzie nanosrebra*”, której promotorem był dr hab. Wielisław Olejniczak, prof. UŁ, obronił w roku 2010. Recenzentami pracy doktorskiej byli: prof. dr hab. inż. K.J. Kurzydłowski (Politechnika Warszawska) i prof. dr hab. R. Czajka (Politechnika Poznańska).

Od 2009r. do chwili obecnej dr Puchalski jest pracownikiem Katedry Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów Politechniki Łódzkiej, zatrudnionym początkowo na stanowisku technicznym, a od 2010r. na stanowisku adiunkta.

W swojej karierze zawodowej dr Puchalski, oprócz tematyki przedstawionej w rozprawie, zajmował się wieloma innymi problemami badawczymi, między innymi:

przed uzyskaniem stopnia doktora:

- badaniami właściwości fizycznych i technologicznych nanocząstek metali opracowaniem technologii przemysłowej produkcji nanocząstek srebra do zastosowań mikroelektronice
- badaniami rezonansu spinowo-elektronowego w skali molekularnej metodą detekcji precesji pojedynczego spinu za pomocą mikroskopu STM
- badaniami właściwości nanostruktur węgla krzem
- badaniem struktur elektronowych kryształu złota o orientacji (111)

po doktoracie:

- badaniami struktury nadcząsteczkowej i morfologii innowacyjnych materiałów włóknistych o właściwościach antystatycznych i piezoelektrycznych
- badaniami struktury nadcząsteczkowej i morfologii materiałów włóknistych do zastosowań medycznych, do zastosowań w rolnictwie, włóknistych materiałów balistycznych
- oceną budowy nadcząsteczkowej i morfologicznej przyjaznych środowisku polimerowych materiałów wytwarzanych z biomasy
- badaniami włóknistych materiałów węglowych z prekursorów włókien alginianowych modyfikowanych nanostrukturami węgla
- badaniami wielofunkcyjnych kompozytów włóknistych do ochrony człowieka w warunkach szczególnie uciążliwej pracy.

Badania swe realizował m.in. w ramach wielu projektów badawczych, w których pełnił rolę wykonawcy, m.in. stypendium celowego GRRI-D (2006-2007), grantu MNiSW (2007-10), PROETEX (EU-6PR, 2006-10), INTELTEX (EU-6PR, 2006-10), GRAPH-PRINT (NCBiR, 2013-16), BIOGRATEX (POIG, 2008-13), BIOMASA (POIG, 2009-13), grantów NCN (2011-13, 2013-16), TECH-KOM (2015-18), STEP (POIR, 2018-20).

Dr Puchalski jest autorem i współautorem 37 oryginalnych publikacji badawczych (z których 28 powstało po uzyskaniu stopnia doktora) opublikowanych w renomowanych czasopismach z tzw. „listy filadelfijskiej” ( baza Journal Citation Reports, JCR) oraz 18 publikacji naukowych w czasopismach spoza bazy JCR i monografii. Sumaryczny współczynnik IF wg listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi  $\Sigma IF = 52.266$  (średni  $IF = 1.412$ ), z czego dla 7 prac włączonych do rozprawy habilitacyjnej  $\Sigma IF = 9.405$  (średni  $IF = 1.344$ ). Według Web of Science Core Collection prace stanowiące dorobek naukowy Habilitanta były dotychczas cytowane 185 razy (156 razy z wyłączeniem autocytowań; apps.webofknowlegdge.com, dostęp 3.01.2019). Spośród opublikowanych prac najczęściej cytowana była praca *Puchalski et al. Material Science-Poland 2007, 25, 473-478* - 23 razy. Cytowania prac Habilitanta przełożyły się średni indeks Hirsha,  $h = 9$ .

Istotnym składnikiem dorobku badawczego dr. Puchalskiego są też patenty - jest współautorem 3 patentów uzyskanych w Urzędzie Patentowym RP oraz 1 zgłoszenia patentowego.

Poza artykułami naukowymi i patentami Habilitant ma w swym dorobku naukowym 38 prezentacji (w tym 18 po uzyskaniu doktoratu: 13 komunikatów i 5 plakatów) na międzynarodowych konferencjach naukowych (12 komunikatów + 10 plakatów) oraz konferencjach krajowych i branżowych (8 komunikatów+8 plakatów).

Opublikowany dorobek naukowy Kandydata można uznać za znaczący, zwarty i charakteryzujący się dobrym poziomem naukowym.

Dr Puchalski był po uzyskaniu stopnia naukowego doktora wykonawcą w 2 międzynarodowych i 8 krajowych projektach badawczych. Ponadto, brał udział w realizacji projektów wykonywanych we współpracy z przedsiębiorcami (autor 17 ekspertyz i opracowań wykonanych na zamówienie).

W związku z działalnością naukową dr Puchalski otrzymał 2 nagrody międzynarodowe oraz szereg nagród i wyróżnień w macierzystej Uczelni.

Niestety, nie odbył żadnego stażu w zagranicznym bądź krajowym ośrodku naukowym lub akademickim.

W ocenie recenzenta, aktywność naukowa dr. Puchalskiego przekładająca się na znaczną liczbę publikacji i patentów jest wystarczająca by uznać Go za dojrzałego pracownika nauki. Ocenę tą obniża jednak nieco brak w dorobku stażu odbytego za granicą.

## **b. Dorobek dydaktyczny, organizacyjny i popularyzatorski**

Z racji zatrudnienia na Politechnice na stanowiskach dydaktyczno-naukowych Habilitant, oprócz działalności naukowo-badawczej, zajmował się również dydaktyką. Był zaangażowany w przygotowywanie i prowadzenie zajęć ze studentami PŁ. O jakości jego pracy dydaktycznej świadczą uzyskane wyróżnienia i wysokie miejsca w konkursach na Najlepszego Nauczyciela Akademickiego organizowanych przez Samorząd Studencki PŁ (2012/13 i 2013/14). Ponadto, był opiekunem naukowym i promotorem 5 prac magisterskich i 10 prac licencjackich. W ramach pracy dydaktycznej od 2015r. sprawuje także opiekę naukową nad Studenckim Kołem Naukowym ECOresearch na Wydz. Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów PŁ.

Realizując działania w zakresie popularyzacji nauki wygłosił 10 referatów popularno-naukowych, m.in. w ramach kolejnych edycji Festiwalu Nauki, Techniki i Sztuki w Łodzi, kilka wykładów popularyzatorskich dla młodzieży szkolnej wygłoszonych w szkołach średnich i na uczelniach, organizował wielokrotnie wystawy naukowe, pokazy i warsztaty dla młodzieży.

Uczestniczył w szeregu kursów i szkoleń poszerzających wiedzę i umiejętności w zakresie nauk technicznych i prowadzenia zajęć dydaktycznych.

Brał udział w organizacji 1 międzynarodowej i 4 krajowych konferencji naukowych jako członek ich komitetów organizacyjnych.

Bardzo istotnym elementem aktywności Habilitanta jest również jego czynny udział w krajowym i międzynarodowym życiu naukowym poprzez podejmowanie się recenzowania projektów badawczych (1 projekt wdrożeniowy) oraz publikacji naukowych (6 recenzji dla renomowanych czasopism międzynarodowych z listy JCR i 2 dla czasopism krajowych).

Dr Puchalski jest członkiem Polskiego Towarzystwa Towaroznawczego, pełniąc w nim funkcje członka Komisji Rewizyjnej (od 2017r.) i Skarbnika łódzkiego oddziału PTT (od 2016r.).

Dorobek dr. Puchalskiego w zakresie dydaktyki, działań organizacyjnych i popularyzatorskich jest bardzo dobry i zdaniem recenzenta odpowiedni do Jego stażu pracy i aspiracji.

## 5. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z rozprawą habilitacyjną oraz dorobkiem naukowym dr. Michała Puchalskiego stwierdzam, że przedłożona przez Niego praca, w postaci jednorodnego cyklu publikacji z dołączonym autoreferatem, pt.: „*Rola uporządkowania struktury nadcząsteczkowej polilaktydu i jego kopolimerów w optymalizacji właściwości fizycznych i użytkowych wyrobów włókienniczych, a także w ocenie sposobu ich degradacji*”, spełnia warunek osiągnięcia naukowego, będącego ważnym i wymiernym wkładem Habilitanta w rozwój uprawianej przez Niego dyscypliny naukowej. Rozprawa prezentuje odpowiedni poziom merytoryczny i wnosi oryginalny wkład do wiedzy o polimerach w zakresie ważnego zagadnienia wytwarzania, właściwości fizykochemicznych i procesów degradacji wyrobów włókienniczych wytworzonych z polimerów biodegradowalnych.

Znaczny dorobek dydaktyczny, organizacyjny i popularyzatorski dopełnia obrazu dojrzałego pracownika naukowego.

Uważam, iż rozprawa habilitacyjna, z którą się zapoznałem, pomimo wyrażonych uwag krytycznych, spełnia wszystkie wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016 r. poz. 882 i 1311 oraz Dz.U. z 2017 r. poz.859) i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie doktora Michała Puchalskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie Włókiennictwo.



Prof. dr hab. Zbigniew Bartczak

Łódź, 4.01.2019