



Dr hab. Marzena Smol-Aruszanjan, prof. IGSMiE PAN  
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN  
Zakład Geoinżynierii i Inżynierii Środowiska

Kraków, 7.05.2024r.

## RECENZJA

Osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego  
Pana dr Karola Leluka w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego  
w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych  
w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka

### 1. Podstawa wykonania recenzji

Ocenę osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego  
dr Karola Leluka w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora  
habilitowanego opracowano w oparciu o:

- a) Zawiadomienie nr 02/02/D08/2023 Prorektora ds. Nauki Politechniki Wrocławskiej, Prof. dr hab. inż. Andrzeja Ożyhar, o wyznaczeniu na Recenzenta i Członka Komisji Habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego z dnia 26.02.2024r.;
- b) Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, Prof. Politechniki Wrocławskiej dr hab. inż. Roberta Króla z dnia 23.02.2024r., znak RDND08/47/2024;
- c) Uchwałę nr 933/39/RDND08/2021-2024 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka z dnia 21.02.2024 r. w sprawie powołania komisji habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, wszczętym na wniosek Pana dr Karola Leluka;
- d) Dostarczone materiały na nośniku danych pendrive, obejmujące dokumentację:
  - ✓ Wniosek przewodni;
  - ✓ Dane wnioskodawcy;
  - ✓ Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora;
  - ✓ Autoreferat;
  - ✓ Wykaz osiągnięć naukowych;
  - ✓ Kopie 7 publikacji (A1 – A7) składające się na osiągnięcie pt. „Modyfikowane biokompozyty polimerowe do zastosowań w sektorze opakowaniowym” wraz z oświadczeniami współautorów wybranych publikacji (A4, A5, A7);
- e) Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2020 poz.85), wraz z późniejszymi zmianami.

## 2. Sylwetka Habilitanta

Pan dr Karol Leluk ukończył studia magisterskie w 2005 r. na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Pracę magisterską pt. „Dielektryczne badania nowego materiału EMC” przygotował pod kierunkiem Pana dr hab. Kazimierza Orzechowskiego, prof. UWr. Habilitant stopień doktora nauk chemicznych uzyskał w 2009 r., w zakresie chemii fizycznej i teoretycznej. Praca doktorska pt. „Dielektryczne badania kaolinitu i jego interkalowanych pochodnych” przygotowana była również pod kierunkiem Pana dr hab. Kazimierza Orzechowskiego, prof. UWr.

Od 2009 r. Habilitant zatrudniony jest na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, początkowo na stanowisku asystenta, a od 2013 r. na stanowisku adiunkta (obecnie adiunkta badawczo-dydaktycznego). Od września 2020 r. pełni funkcję Prodziekana ds. badań naukowych i współpracy zagranicznej na tymże wydziale.

## 3. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe Habilitant wskazał cykl 7 monotematycznych publikacji, zatytułowany „Modyfikowane biokompozyty polimerowe do zastosowań w sektorze opakowaniowym”. W skład cyklu publikacji wchodzi:

- ✓ **A1. Karol J. Leluk**, Cold Plasma Surface Modification of PLA and LDPE Polymer Plastics. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2023, vol. 25, s. 141-147. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.014>.
- ✓ **A2. Karol J. Leluk**, Stanisław Frąckowiak, Joanna Ludwiczak, Tomasz Rydzkowski, Vijay Kumar. Thakur The impact of filler geometry on polylactid acid-based sustainable polymer composites. *Molecules*. 2021, vol. 26, nr 1, art. 149, s. 1-19. <https://doi.org/10.3390/molecules26010149>.
- ✓ **A3. Joanna Ludwiczak**, Stanisław Frąckowiak, **Karol J. Leluk**, Study of thermal, mechanical and barrier properties of biodegradable PLA/PBAT films with highly oriented MMT. *Materials*. 2021, vol. 14, nr 23, art. 7189, s. 1- 12. <https://doi.org/10.3390/ma14237189>.
- ✓ **A4. Karol J. Leluk**, Joanna Ludwiczak, Stanisław Frąckowiak, Andrzej Iwańczuk Effect of carbon black on thermal, mechanical and electroconductive properties of Mater-Bi® matrix. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2020, vol. 54, nr 1/2, s. 119-123 <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2020.54.14>.
- ✓ **A5. Stanisław Frąckowiak**, Joanna Ludwiczak, **Karol J. Leluk**, Man-made and natural fibres as a reinforcement in fully biodegradable polymer composites: a concise study. *Journal of Polymers and the Environment*. 2018, vol. 26, nr 12, s. 4360-4368. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1301-9>.
- ✓ **A6. Raluca N. Darie-Niță** autor, Cornelia Vasile, Elena Stoleru, Daniela Pamfil, Traian Zaharescu, Liliana Tarțau, Niță Tudorachi, Mihai Brebu, Gina Mihaela. Pricope, Raluca Petronela. Dumitriu, **Karol J. Leluk**, Evaluation of the rosemary extract effect on the properties of polylactic acid-based materials. *Materials*. 2018, vol. 11, nr 10, art. 1825, s. 1-33. <https://doi.org/10.3390/ma11101825>.

41

- ✓ **A7.** Iuliana Spiridon, **Karol J. Leluk**, Ana Maria Resmerita, Raluca N. Darie, Evaluation of PLA-lignin bioplastics properties before and after accelerated weathering. Composites. Part B, Engineering. 2015, vol. 69, s. 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.10.006>.

Łącznie w przedstawionych 7 publikacjach dokumentujących osiągnięcie naukowe znajduje się tylko 1 artykuł samodzielny, a 6 współautorskich. Sumaryczny IF dla publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe wynosi 19,929. Do wybranych publikacji dołączono oświadczenia współautorów wskazujące na udział Habilitanta w przygotowaniu pracy, zaś w pozostałych informacja ta znajduje się w Author Contributions. Z uwagi na brak deklaracji udziału procentowego w prowadzeniu prac badawczych i przygotowaniu publikacji w pracach A2-A7 nie można jednoznacznie stwierdzić faktycznego udziału Habilitanta w powstaniu tych prac. Wskazują na to także bardzo ogólne sformułowania dotyczące wkładu Habilitanta, np. w pracy A4 w oświadczeniu wskazano że Habilitant „odpowiadał za koncepcję artykułu, badanie właściwości dielektrycznych oraz redakcję treści manuskryptu” – z tego opisu nie można jednoznacznie wywnioskować jaki był udział Habilitanta w opracowanie wyników badań czy też powstaniu nowej wiedzy i wniosków. To samo dotyczy np. pracy A6, w której w Author Contributions wskazano że Habilitant brał udział tylko w weryfikacji wyników prowadzonych badań. Z uwagi na wspomniany brak informacji dotyczący procentowego udziału w poszczególnych pracach, zakłada się że dla współautorów jest on równy i wynosi dla Habilitanta 100% w A1, 20% w A2, 33% w A3, 25% w A4, 33% w A5 9% w A6, 25% w A7. Tym samym sumaryczna liczba punktów MNiSW przypadająca dla Habilitanta w przedstawionych do oceny prac wynosi 149 punktów. Przedstawione prace powstały we współpracy z badaczami z różnych jednostek naukowych, oraz opublikowane zostały w większości w wysoko punktowanych czasopismach z listy MNiSW, co oceniam bardzo pozytywnie. Potwierdza to wysoką jakość naukową opublikowanych prac oraz zdolność Habilitanta do współpracy w zespołach zarówno krajowych jak i międzynarodowych.

Jako główne osiągnięcie naukowe Habilitant wskazuje doświadczalną analizę możliwości modyfikacji polikwasu mlekowego w kierunku zmian jego właściwości fizycznych, w szczególności powierzchniowych, pod kątem aplikacji biomateriałów w przemyśle opakowaniowym. Prowadzone przez Niego badania miały na celu zaprojektowanie, wykonanie oraz charakterystykę właściwości fizykomechanicznych biokompozytów.

W publikacji A7 podjęto tematykę otrzymywania termoplastycznych biokompozytów PLA, napełnianych dwoma rodzajami ligniny, poddania kompozytów procesowi przyspieszonego starzenia (czynniki aktywne: UV, temperatura, wilgotność), a następnie pomiar i porównanie szeregu właściwości fizykomechanicznych. Badaniami objęto charakterystykę chemiczną (FT-IR) napełniaczy, zmianę właściwości mechanicznych (statyczne rozciąganie, udarność Charpy), charakterystycznych temperatur przemian fazowych (DSC, TG/DTG), właściwości sorpcyjne (DVS), jak i morfologię powierzchni (SEM, zwilżalność). Następnie wyniki tychże analiz, porównywano w odniesieniu do materiału wyjściowego (PLA) oraz kompozytów z ligniną uzyskując informację na temat wpływu obu ekstrahowanych komponentów na właściwości biokompozytu jak i procesu przyspieszonego starzenia. Habilitant za najważniejsze aspekty poznawcze badań wskazał:

- ✓ potwierdzenie doświadczalne otrzymania odnawialnego biokompozytu o właściwościach bardziej korzystnych niż jego surowce;
- ✓ powiązanie niewielkich różnic strukturalnych obu napełniaczy z wynikającymi właściwościami mechanicznymi obu kompozytów;
- ✓ określenie zachowania kompozytów w podwyższonych temperaturach i po procesie przyspieszonego starzenia;
- ✓ kompleksowa weryfikacja danych dotyczących oddziaływań międzycząsteczkowych w kompozytach (na podstawie badań DSC, SEM, DVS) na właściwości makroskopowe (właściwości mechaniczne, zwilżalność);
- ✓ ukazanie aplikacyjności biokompozytu PLA, wykonanego z surowców odnawialnych do zastosowań w materiałach o wysokiej udarności.

Praca A6 dotyczy analizy napełniacza pozyskanego w wyniku procesu ekstrakcji chemicznej z surowca odnawialnego – rozmarynu. Przeprowadzono weryfikację wybranych właściwości biokompozytu PLA napełnianego ekstraktem z rozmarynu (w postaci stałej), w szczególności pod kątem właściwości biostatycznych i antyutleniających. Proszek ekstraktu rozmarynowego został otrzymany z liści tej rośliny w wyniku procesu ekstrakcji alkoholem etylowym w kolumnie Soxhleta a następnie procesu strącania osadu produktu końcowego. Istotnym aspektem poznawczym pracy było przeprowadzenie przez Habilitanta testów biokompatybilności metodą *in vitro*. Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji Habilitant uznał:

- ✓ uzyskanie kompozytów opartych o surowce ze źródeł odnawialnych o polepszonych właściwościach elastycznych (obniżony moduł Young'a, wzrost wydłużenia względnego, względem matrycy PLA), niskiej przepuszczalności gazów, niskiej migracji bio-dodatku, co czyni je potencjalnymi kandydatami jako substytutów tworzyw poliolefinowych w niektórych aplikacjach przemysłu opakowaniowego (w tym do żywności);
- ✓ wykazanie właściwości antibakteryjnych oraz biokompatybilności w testach *in vitro*, co potencjalnie rozszerza pole aplikacji badanego materiału, do inżynierii tkankowej (opatrunki, leczenie ran, rusztowania, kontrolowane uwalnianie leków).

Celem pracy A5 było wykonanie biokompozytu – opartego na matrycy i napełniaczu ze źródeł odnawialnych, który spełniałby stawiane przed nim oczekiwania względem właściwości fizyko mechanicznych, najlepiej konkurencyjnych w odniesieniu do ropopochodnych kompozytów termoplastycznych. Ze względu na fakt że biokompozyty polimerowe oparte na matrycy wykonanej z jednego tworzywa wykazują mocno ograniczone właściwości, pod uwagę wzięto wykonanie mieszaniny jako bazy do dalszych modyfikacji. Z tego względu przedmiotem badań były kompozycje oparte na mieszaninie PLA i PBS, napełniane włóknami lnu, konopi i Cordenki (jako przedstawiciela włókna syntetycznego) w ilościach 10%, 30%, 50%. Ze względu na wykonanie kompozytów wzmacnianych włóknem ciętym (o współczynniku proporcji przekraczającym 10) jako podstawowe dane do interpretacji przyjęto wyniki pomiarów wytrzymałościowych. W kompozytach zaobserwowano wzrost wartości wytrzymałości na zrywanie, przy czym największe przyrosty tego parametru wystąpiły dla kompozytu napełnianego włóknami Cordenki. Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji Habilitant wskazał:

- ✓ uzyskanie biokompozytu wzmacnianego włóknem syntetycznym o korzystnych właściwościach mechanicznych (udarność);
- ✓ mimo tworzenia kępek włókien (brak homogeniczności) biokompozyty napełniane Cordenką nadal wykazują właściwości mechaniczne (statyczne jak i udarność) bardziej korzystne niż odpowiadające mu kompozyty napełniane włóknami lnianymi bądź konopnymi;
- ✓ niedoskonałość oddziaływań została wykazana na poziomie teoretycznym jak i w warunkach eksperymentalnych – mimo wystąpienia tego niekorzystnego zjawiska, włókna Cordenki nadal korzystnie poprawiają właściwości biokompozytów.

W pracy A4 analizowano przydatności kompozytów elektroprzewodzących wykonanych na bazie surowca odnawialnego do aplikacji w materiałach opakowaniowych. Jako matrycy użyto komercyjnie dostępnego i wykorzystywanego tworzywa Mater-Bi®, a modyfikatorem właściwości przewodzących była sadza. Badania prowadzone były w aspekcie wykonania i przetestowania materiału do wykonania opakowań do żywności, które można wykorzystać w procesie dezaktywacji mikroorganizmów pulsacyjnym polem elektrycznym (PEF). Za najważniejsze aspekty poznawcze Habilitant uznał:

- ✓ wykonanie kompozytu z matrycą polimerową opartą o surowce odnawialne, wykazującym korzystne właściwości elektryczne przy akceptowalnych właściwościach wytrzymałościowych do zastosowań opakowaniowych;
- ✓ niski poziom perkolacji otrzymanych kompozytów;
- ✓ możliwość sterowania właściwościami dielektrycznymi, tj. położeniem maksimum oraz kształtem pasma absorpcji promieniowania elektromagnetycznego, zawartością napełniacza. Stwarza to potencjalne możliwości aplikacyjne jako relaksorów dielektrycznych opartych na materiałach odnawialnych.

W pracy A3 analizowano możliwości poprawy właściwości użytkowych biokompozytów opartych na PLA (80% udziałów) domieszkowanych 20% PBAT. Jako napełniacza funkcjonalnego użyto organicznie modyfikowanego montmorylonitu (zawierającego ok. 30% soli amonowej). Celem poprawy oddziaływań międzyfazowych zastosowano 1% dodatku modyfikatora (CE) materiału matrycy biokompozytu. Próbkę otrzymywane były w procesie kalandrowania. Zastosowanie dodatków modyfikujących (MMT i CE) doprowadziło do otrzymania układu wieloskładnikowego o korzystnych właściwościach wytrzymałościowych w aspekcie wytwarzania folii, szczególnie w przypadku wysoko napełnianego układu (5% napełniacza). Za najważniejsze aspekty poznawcze Habilitant wskazał:

- ✓ dodatek komponentu elastycznego (PBAT) obniża kruchość matrycy PLA;
- ✓ wprowadzenie komponentu PBAT (20%) do matrycy PLA znacznie obniżyło przepuszczalność wobec tlenu. Najniższą wartość przepuszczalności wykazały kompozyty z dodatkiem 5% montmorylonitu modyfikowanego organicznie, mimo że zadowalające efekty otrzymano już przy najniższej zawartości dodatku nieorganicznego;
- ✓ proces mieszania w stopie i orientacji wytłoczyny (kalandrowanie) skutkowało utworzeniem galerii napełniacza (MMT) w otrzymanych foliach. Obraz SEM potwierdził także mieszalność komponentów matrycy PLA i PBAT;

- ✓ wszystkie prowadzone modyfikacje (mieszanki, dodatki, proces orientowania) doprowadziły do polepszenia właściwości użytkowych badanych materiałów w kontekście zastosowań do aplikacji opakowaniowych (elastyczność, przepuszczalność, wytrzymałość).

W pracy A2 określano wpływ naturalnych napełniaczy o różnej geometrii (współczynnika proporcji) na właściwości biokompozytu PLA. Pod uwagę wzięto włókna celulozy o długościach 60  $\mu\text{m}$ , 700  $\mu\text{m}$  i 900  $\mu\text{m}$ , węglan wapnia oraz montmorylonit (modyfikowany oktadecyl aminą). W wyborze napełniacza kierowano się przede wszystkim aspektem ekonomicznym, przy jednoczesnym zapewnieniu możliwie szerokiego spektrum budowy przestrzennej, przy czym włókna celulozy traktowane były jako pręty (o różnym współczynnika proporcji), węglan wapnia – sześciian (średni rozmiar cząstek 40  $\mu\text{m}$ ), natomiast montmorylonit – układ płytkowy (w szczególności po eksfoliacji – dwuwymiarowy). Czynnikiem różnicującym wymienione materiały jest także ich natura chemiczna - od polarnych włókien celulozy po montmorylonit o silnym charakterze apolarnym. Wybraną matrycą było PLA, ze względu na znaczną popularność tego tworzywa a co za tym idzie czynnik ekonomiczny. Kompozyty przygotowano w procesie mieszania w stopie, używając 5% i 30% dodatku napełniacza celulozowego, oraz 5% węglanu wapnia i montmorylonitu, a następnie poddano szeregowi badań właściwości fizykomechanicznych. Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji Habilitant wskazał:

- ✓ współczynnik kształtu wprowadzonego napełniacza odgrywa kluczową rolę w końcowych właściwościach materiału, zgodną z przewidywaniami teoretycznymi;
- ✓ zgodnie z oczekiwaniami – uzyskano polepszone właściwości barierowe dla kompozytów napełnianych montmorylonitem (przy akceptowalnym poziomie właściwości wytrzymałościowych), czyniąc materiał atrakcyjny pod kątem aplikacji opakowaniowych.

W pracy A1 przedstawiono efekty modyfikacji powierzchniowej (aktywacji) dwóch materiałów polimerowych (PLA i LDPE) z wykorzystaniem plazmy niskotemperaturowej. Oceniano tutaj wpływ czterech procesów obróbki powierzchniowej różniących się warunkami procesowymi na polikwas mlekowy. LDPE, jako przedstawiciel popularnego materiału stosowanego w przemyśle opakowaniowym, posłużył jako próba odniesienia. Jako czynnika modyfikującego wykorzystano procesy zachodzące podczas wyładowań w następujących gazach: argonie, azocie, tlenie i powietrzu, przy czym pozostałe parametry (jak moc źródła, czas ekspozycji, ciśnienie, przepływ gazu) nie ulegały zmianie. Analiza powierzchni materiałów polimerowych była przeprowadzana przed i po modyfikacji za AFM oraz zwilżania (analit: woda destylowana). Dodatkowo, celem określenia dynamiki zmian zachodzących na powierzchni zmodyfikowanych materiałów, pomiar kąta zwilżania dla wody prowadzono w wybranych odstępach czasowych (maksymalnie do 160h po procesie modyfikacji). Próbkę do badań przygotowane były w procesie prasowania i z tak przygotowanych wyprasek wycięto mniejsze płytki (20x20 mm) które poddano procesowi modyfikacji. Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji Habilitant wykazał:

- ✓ modyfikacja plazmowa prowadzi do fizycznych i chemicznych zmian materiałów, różnicując pod względem użytego do procesu gazu;

- ✓ w zależności od użytego gazu, zmienia się czas po którym powierzchnia materiału wraca do formy stabilnej; Stabilizacja materiału zawsze miała przebieg asymptotyczny;
- ✓ ze względu na charakter zaobserwowanych zmian, wydaje się zasadnym sformułowanie wniosku o przewadze efektów modyfikacji fizycznej (w PLA nad LDPE) oraz zmianach chemicznych w LDPE górujących na zmianami fizycznymi.

Podjętą przez Habilitanta tematykę prac badawczych uznaję za bardzo ważną i aktualną, szczególnie w obliczu wdrażania założeń gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w sektorze bio-gospodarki. Za najważniejsze osiągnięcia i wnioski z przeprowadzonych badań Habilitant uznał:

- ✓ biokompozyty polimerowe są w stanie częściowo zastąpić materiały ze źródeł nieodnawialnych, szczególnie w sektorze opakowaniowym (A1 – A7);
- ✓ substytucja może być rozważona w aspekcie wybranych, specyficznych właściwości – brak jest uniwersalnego charakteru jak w przypadku tworzyw ze źródeł nieodnawialnych (A2 – A7);
- ✓ doświadczalnie udowodniono otrzymanie biokompozytów opartych o surowce odnawialne charakteryzujące się bardziej korzystnymi właściwościami niż komponenty wyjściowe (A2 – A7);
- ✓ ze względu na właściwości, większość z otrzymanych biokompozytów jest potencjalnymi materiałami do zastosowań w przemyśle opakowaniowym, także aktywnych opakowań do żywności; za aspektem aplikacyjnym przemawia również korzyść ekonomiczna (w porównaniu do innych biokompozytów) (A1 – A7);
- ✓ korzystnym, z punktu widzenia właściwości materiałowych, jest stosowanie komponentów otrzymanych na drodze syntezy z surowców odnawialnych (jak np.: włókna) lub procesów fizycznych (ekstrakcja) (A2, A7);
- ✓ stosowanie mieszanin matryc polimerowych, oprócz modyfikacji właściwości mechanicznych, może także pozytywnie wpływać na inne właściwości użytkowe, jak np. barierowość wobec gazów, bez konieczności stosowania kosztownych wypełniaczy mineralnych (A2, A3);
- ✓ modyfikacja właściwości powierzchniowych jest pochodną zmian zachodzących w biokompozycie/biopolimerze, ale nie jest możliwym proste i pewne przewidzenie ich kierunku (A1 – A7);
- ✓ dane z badań zwilżalności mogą stanowić podstawę do przeprowadzenia testów in vitro w kontekście spodziewanych oddziaływań zachodzących na granicy faz kompozyt – medium zewnętrzne (A6).

Podsumowując, tematyka osiągnięcia naukowego jest bardzo aktualna i ważna w kontekście rozwijającej się bio-gospodarki, w tym także gospodarki odpadami i nowatorskimi biomateriałami, które coraz częściej wykorzystywane są w inżynierii środowiska. Przedstawiony jako osiągnięcie naukowe cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt. „Modyfikowane biokompozyty polimerowe do zastosowań w sektorze opakowaniowym” potwierdza odpowiedni poziom naukowy i stanowi znaczący wkład Habilitanta w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

#### 4. Ocena aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni i instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Habilitant zarówno przed, jak i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora aktywnie działał w obszarze nauki, zarówno na Uniwersytecie Wrocławskim, jak i Politechnice Wrocławskiej. W tym czasie został autorem i współautorem 26 artykułów oraz 4 rozdziałów w monografiach naukowych. Przed uzyskaniem stopnia doktora uczestniczył aktywnie w 6 konferencjach krajowych i międzynarodowych, zaś po uzyskaniu stopnia doktora – w 12 konferencjach, seminariach i warsztatach o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Ponadto uczestniczył w realizacji 9 projektów badawczych. Warta podkreślenia jest wysoka aktywność Habilitanta w projektach krajowych i międzynarodowych, w których brał i bierze nadal aktywny udział jako wykonawca i kierownik lub koordynator ze strony Politechniki Wrocławskiej. Projekty zakończone to:

- ✓ Opracowanie innowacyjnych, wymiennych struktur energochłonnych kasków ochronnych na bazie tworzyw biodegradowalnych/BIOKASK, Lider XI, 0223/L-11/2019, 2022 Wykonawca;
- ✓ Biocomposite Packaging for Active Preservation of Food/BIOFOODPACK, M-ERA.NET.2 (j. call 2016), M-ERA.NET.2/2016/06/2018, 2020 – 2021 Kierownik ze strony Politechniki Wrocławskiej, 2018 – 2020 Wykonawca;
- ✓ Conversion of phytogenic silica reach food industry by-products into value-added products/Convert-Si, ERA-IB-15-129 (6th call), ERA-NET-IB/Convert Si/13/2016, 2017 – 2018 Kierownik ze strony Politechniki Wrocławskiej;
- ✓ Opracowanie technologii odzysku polistyrenu z odpadowego styropianu budowlanego/-Duży Bon na Innowacje (fundusz na lata 2014 – 2020), POIR.02.03.02-02-000311, 2017 Koordynator ze strony Politechniki Wrocławskiej;
- ✓ Polimerowe chirurgiczne systemy resorbowalne z pamięcią kształtu/MEMSTENT, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, POIG.01.03.01-00-123/08-00, 2012 – 2013 Wykonawca;
- ✓ Materiały polimerowe otrzymywane innowacyjnymi technikami przetwórstwa odpadów z elektroniki i samochodów, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, POIG 01.03.01-00-025/08, 2012 Wykonawca;
- ✓ Nowe przyjazne dla środowiska kompozyty polimerowe z wykorzystaniem surowców odnawialnych, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, POIG 01.03.01-00-092/08-00, 2009 – 2012 Wykonawca.

Obecnie jest Kierownikiem ze strony Politechniki Wrocławskiej w międzynarodowym projekcie:

- ✓ Validation of Lunar Water Extraction and Purification Technologies for InSitu Propellant and Consumables Production/LUWEX, HORIZON-RIA (HORIZON CL4-2022-SPACE-01) nr 101081937, od 2022 r.

Warta podkreślenia jest aktywność Habilitanta na szczeblu międzynarodowym w ramach pobytów naukowych. Przed uzyskaniem stopnia doktora, Habilitant odbył trzymiesięczny pobyt realizowany w ramach studenckiego programu stypendialnego Erasmus-Socrates w



Instytucie Fizyki na Uniwersytecie Georga Augusta (Getynga, Niemcy). W ramach pobytu realizował prace badawcze nad mieszaninami krytycznymi dwu i trój-składnikowymi. Z kolei po uzyskaniu stopnia doktora, odbył trzy krótkoterminowe pobyty naukowe zagraniczne w ramach Short Term Scientific Mission – European COST Action. Pierwszy z nich w 2011 r. w Instytucie Fizyki i Matematyki na Wydziale Fizyki Makromolekuł Uniwersytetu Karola (Praga, Czechy). Kolejny w 2012 r. w Instytucie Mechaniki Bułgarskiej Akademii Nauk (Sofia, Bułgaria) oraz trzeci w 2015 r. w Instytucie Technologii Żywności i Agrochemii (Walencja, Hiszpania). Podczas wskazanych krótkoterminowych pobytów naukowych, Habilitant prowadził badania naukowe związane z tematyką osiągnięcia naukowego, w tym głównie analizy procesu powierzchniowej modyfikacji materiałów polimerowych.

Działalność naukowa Habilitanta bardzo ściśle związana jest ze współpracą z podmiotami gospodarczymi, zarówno polskimi jak i zagranicznymi. Godne uwagi jest, że w ramach współpracy z podmiotami gospodarczymi odbył dwa kilkumiesięczne staże przemysłowe, w tym trzymiesięczny staż w MACOPLAST (przetwórstwo PVC) w MACOPRODUCTION Polska Sp. z o.o. (o/Wrocław) w 2013 r., oraz pięciomiesięczny staż w ERGIS-EUROFILMS o/Oława (linia produkcji folii PP oraz bednarki PET) w 2014 r. Staże te realizowane były w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, a wiedza i doświadczenie nabyte podczas ich realizacji niewątpliwie pozytywnie wpłynęły na ilość realizowanych zleceń, ekspertyz i innych aktywności prowadzonych we współpracy z podmiotami gospodarczymi po 2014 r.

Od 2019 r. Habilitant bierze udział w ocenach wniosków projektów składanych do Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, w obszarze tematycznym związanym z materiałami polimerowymi. Ponadto jest członkiem krajowych i międzynarodowych zespołów eksperckich, takich jak m.in. Rada Klastra Gospodarki Odpadowej i Recyklingu – Krajowy Klaster Kluczowy, Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości Politechniki Wrocławskiej, Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Ochrony Klimatu Politechniki Wrocławskiej, Grupa Doradcza ds. Programów Inwestycyjnych UE – Partnerstwa Process4Planet, Klaster IV Horyzontu Europa.

Z kolei skromna jest aktywność Habilitanta w kontekście recenzowania prac naukowych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych. Od 2020 r. wykonał 4 recenzje, w tym głównie w czasopismach MDPI (czasopisma *Molecules*, *Membranes*) i jedną w Elsevier (czasopismo *Materials Today: Proceedings*).

Aktywność naukowa Habilitanta w najważniejszych wskaźnikach naukowych przedstawia się następująco:

- ✓ Impact Factor wszystkich publikacji: 70,853, w tym publikacje wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: 19,929, a publikacje po uzyskaniu stopnia naukowego doktora: 67,181;
- ✓ Web of Science: wszystkich publikacji: 25, liczba cytowań: 391, bez autocytowań: 378, indeks Hirsha h=8;
- ✓ Scopus: wszystkich publikacji: 31, liczba cytowań: 446, bez autocytowań: 405, indeks Hirsha h=10;
- ✓ Google Scholar: wszystkich publikacji: 28, liczba cytowań: 557, bez autocytowań: 524, indeks Hirsha h=10.

Podsumowując, w mojej ocenie Habilitant wykazał istotną aktywność naukową o której mowa w art. 219 ust. 1 pkt 3 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym. Wspomnianą aktywność naukową realizował w więcej niż jednej uczelni i instytucji naukowej, w tym zagranicznych. Potwierdza to spełnienie przez Habilitanta wymogów stawianych kandydatom ubiegającym się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego.

#### 5. Ocena aktywności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej

Działalność organizacyjna i popularyzatorska Habilitanta polega głównie na uczestnictwie w komitetach naukowych konferencji krajowych (w tym m.in. cyklicznej Konferencji Naukowej Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska – EKODOK) oraz promowaniu wyników badań realizowanych na Politechnice Wrocławskiej poprzez uczestnictwo w wywiadach oraz podcastach o zasięgu krajowym. Habilitant zatrudniony jest na stanowisku badawczo-dydaktycznym, co sugeruje że również aktywnie prowadzi zajęcia ze studentami jednakże nie zostało to ujęte w opisie dokumentacji. Od 2018 r. pełni funkcję promotora pomocniczego dwojga doktorantów – Pani mgr inż. Karoliny Sobczyk oraz Pana mgr inż. Macieja Borowczaka.

Przedstawiony do oceny dorobek dydaktyczny, organizacyjny i popularyzatorski jest wystarczający w zakresie wymagań stawianych kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

#### 6. Inne osiągnięcia

Habilitant został odznaczony w 2022r. Brązowym Medalem Prezydenta RP za długoletnią służbę oraz wielokrotnie był nagradzany przez Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność Uczelni (latach 2016, 2017, 2018, 2020, 2021, 2022).

#### 7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiony jako osiągnięcie naukowe cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych dr Karola Leluka reprezentuje odpowiedni poziom naukowy i stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska górnictwo i energetyka. Habilitant po uzyskaniu stopnia naukowego doktora wykazał aktywność naukową, realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej, w tym w instytucjach zagranicznych. Habilitant posiada udokumentowaną wiedzę teoretyczną i praktyczną, a jego dorobek naukowy przedstawia wymaganą wartość naukową. Biorąc pod uwagę wkład osiągnięcia naukowego w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, oraz potwierdzoną działalność organizacyjną i popularyzatorską stwierdzam, że Habilitant **spełnia kryteria do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego** określone w art. 219 us. 1 pkt 2 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2020 poz. 85 z późn. zm.).

Wniosuję o dopuszczenie dr Karola Leluka do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

