

Prof. dr hab. inż. Anna Biedunkiewicz
Katedra Technologii Materiałowych
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
70-310 Szczecin
Al. Piastów 19
Tel.: +48 914494071

Szczecin, 27.04.2023r.

Recenzja

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego

dr inż. Justyny Krzak

ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia pt.:

„Wielokierunkowa funkcjonalizacja powierzchni powłokami tlenkowymi w procesie zol-żel”,

w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria materiałowa*

Recenzja została wykonana na podstawie decyzji Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie oraz Uchwały nr 11/09/RDND13/2022-2024 Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Wrocławskiej oraz w oparciu o art. 219 ust.1.pkt.2b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2020 poz.85 z późniejszymi zmianami).

Dokumentację merytoryczną przygotowaną w wersji elektronicznej przez dr inż. Justynę Krzak stanowiły: *dane wnioskodawcy, dyplom potwierdzający posiadanie stopnia doktora, autoreferat z wykazem jednotematycznych publikacji, indywidualny wkład autorki w powstanie poszczególnych pozycji z cyklu, wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, publikacje z jednotematycznego cyklu H1-H9 oraz inne potwierdzenia, w tym publikacje we współpracy międzynarodowej.*

Charakterystyka ogólna

Pani dr inż. Justyna Krzak jest absolwentką Politechniki Wrocławskiej Wydziału Chemicznego, gdzie 2. lipca 2004 roku uzyskała tytuł magistra inżyniera na kierunku Biotechnologia w specjalność Chemia Bionieorganiczna oraz Wydziału Mechanicznego, gdzie 13. października 2005 roku uzyskała tytuł magistra inżyniera na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn w specjalności Inżynieria Materiałów Konstruktacyjnych. W tym samym 2005 roku dyplomowa praca magisterska *Antykorozyjne powłoki implantów medycznych uzyskiwane metodą zol-żel* uzyskała wyróżnienie w Konkursie Prac Dyplomowych z Dziedziny Mechaniki i Budowy Maszyn im. Prof. Romana Sobolskiego. Rozprawę doktorską pt.: *Biologicznie aktywne powłoki na podłożach metalicznych uzyskiwane metodą zol-żel* Pani Justyna Krzak obroniła dnia 1. lipca 2010 roku uzyskując stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W latach 2021-2022 na Wydziale Zarządzania Politechniki Wrocławskiej Habilitantka odbyła dwuletnie studia podyplomowe pn.: *Zarządzanie własnością intelektualną w biznesie.*

W trakcie trwania studiów w okresie od 10.01.2005 do 30.09.2005 roku zatrudniona była jako referent - koordynator ds. Unii Europejskiej w Centrum Doskonałości Materiałów Zol-Żelowych i Nanotechnologii Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, a od 1. października 2010 roku zatrudniona została na stanowisku asystentki w Instytucie Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej. Po upływie roku od 1. października 2011 roku Pani dr inż. Justyna Krzak awansowała na stanowisko adiunkta, gdzie pracuje do dnia dzisiejszego. Należy dodać, że Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej od 03.01.2014 roku zmienił nazwę na Katedrę Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, a od 01.01.2020 roku na Katedrę Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej na Wydziale Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej.

W latach 2010 - 2019 Justyna Krzak odbyła staże w następujących jednostkach odpowiednio:

1. Institute for Photonics and Nanotechnologies (IFN) Department of Physics Sciences and Matter Technologies (DSFTM) of National Research Council (CNR), Trento, Italy; termin i czas trwania: XII 2019; zakres tematyczny: warstwy optyczne, elastyczna fotonika, właściwości strukturalne cienkich warstw,
2. Institute for Health and Consumer Protection, Joint Research Centre (JRC), Ispra, Włochy; termin i czas trwania: XI 2014, XII 2014, III 2015, VII 2015; zakres tematyczny: zarządzanie jednostką, analiza struktury oraz przedsięwzięć jednostki, zarządzanie infrastrukturą badawczą; oraz badania strukturalne modyfikacji powierzchni w laboratoriach IHCP-JRC ,
3. W ramach projektu systemowego realizowanego w Programie Operacyjnym Kapitał Ludzki - Wsparcie zarządzania infrastrukturą badawczą beneficjentów Działania 2.1 oraz 2.2 POIG (angielski akronim SIMS, kwalifikacja w ramach konkursu), staże w trzech renomowanych ośrodkach - instytutach badawczych oraz przedsiębiorstwie o profilu Hi-tech; termin i czas trwania:
 - a) VI 2014 - USA, IBM (T.J Watson Research Centre, Yortown Heights),
 - b) V 2014 - Niemcy, Lipsk - Fraunhofer Center for International Management and Knowledge Economy IMW,
 - c) V 2014 - Niemcy, Drezno - The Technische Universitat Dresden. zakres tematyczny: zarządzanie infrastrukturą badawczą, a w konsekwencji, wprowadzenie systemowych zmian dotyczących zarządzania infrastrukturą badawczą w polskich jednostkach naukowo-badawczych,
4. R&D firmy Whirlpool Europe S.r.l. z siedzibą w Cassinetta di Biandronno we Włoszech; termin i czas trwania: XI-XII 2010, VII 2012; program: IAPP Marie Curie, projekt Green Kitchen zakres tematyczny: efektywność energetyczna, optymalizacja wykorzystania zasobów i innowacyjności procesowej urządzeń AGD oraz ich integracji w gospodarstwie domowym; zol-żelowe materiały czujnikowe dedykowane metalom w wodzie pitnej. Partnerzy: Whirlpool R&D S.r.l., Politecnico di Milano, University of Applied Sciences of Southern Switzerland (SUPSI).

Za działalność na polu organizacyjnym, dydaktycznym i naukowym Rektor Politechniki Wrocławskiej nagrodził Panią Justynę Krzak nagrodami zespołowymi dwukrotnie w 2015 i 2021 roku, natomiast w 2017 roku indywidualną nagrodą. W 2016 roku za wybitne osiągnięcia naukowe Rektor Politechniki Wrocławskiej przyznał Habilitantce stypendium. Wyróżnienie przyznane Jej jako promotorki dyplomowej pracy magisterskiej, pt. *Funkcjonalizacja materiałów tlenkowych związkami organicznymi o charakterze farmakologicznym* w Konkursie Prac Dyplomowych z Dziedziny Mechaniki i Budowy Maszyn im. Prof. Romana Sobolskiego w 2014 roku jest kolejnym dowodem wyróżniającej się aktywności Habilitantki na polu dydaktycznym i naukowym. Na szczególną uwagę zasługuje nagroda *IAAM Scientist Medal* przyznawana przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Zaawansowanych Materiałów wybitnym badaczom i naukowcom w uznaniu ich szczególnego wkładu w sferę nauki o materiałach, inżynierii i technologii. Pani Justyna Krzak otrzymała tę nagrodę w 2016 roku. Pani Justyna Krzak w 2006 roku została wyróżniona I nagrodą na IV Konferencji Naukowej Studentów Politechniki Wrocławskiej w sesji *Techniczne spojrzenie na człowieka*.

Ocena dorobku naukowego

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój nauki wynikający z ustawy - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (j.t. Dz. U. 2020 r. poz. 85, z późn. zm.), dr inż. Justyna Krzak wskazała cykl dziewięciu (9) powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod wspólnym tytułem „*Wielokierunkowa funkcjonalizacja powierzchni powłokami tlenkowymi w procesie zol-żel*”, które ukazały się w latach 2013-2020 w czasopismach naukowych z listy JCR: *Biomedical Materials* (H1-2013), *Journal of Biomed Mater Research Part A* (H2-2014), *Journal of Nanomaterials* (H3-2014), *Journal of Solid State Chemistry* (H4-2015), *Surface and Coatings Technology* (H5-2016), *RSC Advances* (H6-2016), *Materials* (H7-2017), *Applied Surface Science* (H8-2019), *Ceramics International* (H9-2020). Wszystkie publikacje H1- H9 są wieloautorskie, w publikacjach tych Habilitantka nie jest główną autorką. W publikacjach H1, H4, H5, H7, H8, H9 wymieniona została jako ostatnia, natomiast w publikacjach H2, H4, H5, H7 pełniła funkcję autorki korespondencyjnej, natomiast w publikacjach H8 i H9 nie wyróżniono jednego autora lub autorki korespondencyjnej. Sumaryczny *impact factor* wg WoS (IF) jednotematycznego cyklu publikacji wynosi **29,074**, natomiast liczba cytowań tych publikacji, bez autocytowań, wynosi **151**.

Dr inż. Justyna Krzak jest współautorką 40 artykułów naukowych, w tym trzech rozdziałów w monograficznych opracowaniach zwartych. Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitantka opublikowała 31 artykułów i dwa (2) rozdziały w monografiach, pt.: *Advancement of surface by applying a seemingly simple sol-gel oxide materials* w książce: *Advanced surface engineering materials* / ed. by Ashutosh Tiwari, Rui Wang, Bingqing Wei. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons; Beverly, MA : Scrivener Publishing, cop. 2016. s. 33-96 (Advanced Materials Series) oraz *Sol-gel surface functionalization regardless of form and type of substrate* w: *Handbook of nanomaterials for manufacturing applications* / ed. by Chaudhery Mustansar Hussain. Amsterdam: Elsevier, cop. 2020. s. 111-147. (Micro & Nano Technologies), których jest główną autorką. Ponadto 41 publikacji współautorskich zaprezentowanych zostało w ramach 10 konferencji krajowych i 31 międzynarodowych, w tym po doktoracie 7 na konferencjach krajowych i 25 międzynarodowych. Dwukrotnie była główną autorką uczestnicząc w konferencjach międzynarodowych, nie odnotowano wykładów, w tym także wykładów plenarnych, wygłoszonych na zaproszenie organizatorów konferencji. W Jej dorobku znajduje się dziewięć artykułów naukowych opublikowanych w latach 2011-2022 z udziałem współautorskim dwudziestu trzech (23) pracowników naukowych jednostek zagranicznych, w tym jeden artykuł wpisujący się w jednotematyczny cykl (H8). W dwóch publikacjach, tj.: *Functionalizable Sol-Gel Silica Coatings for Corrosion Mitigation - Review* (*Materials* 2018, 11, 197; doi:10.3390/ma11020197) oraz *Novel approach of silica-PVA hybrid aerogel synthesis by simultaneous sol-gel process and phase separation* (*The Journal of Supercritical Fluids*, 166, 2020, 104997; <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104997>), była autorką korespondencyjną.

Sumaryczny *impact factor* wg WoS (IF) całego dorobku **78,598**, natomiast liczba cytowań wszystkich publikacji, bez autocytowań, wynosi **483**. Indeks Hircha całego dorobku Habilitantki wynosi **13** według bazy Web of Science. W dorobku Pani Justyny Krzak znajduje się współautorstwo jednego (1) patentu polskiego pt.: *Nowe związki wapnia z kwasem kawowym i sposób wytwarzania nowych związków wapnia z kwasem kawowym*, nr PL 210661, opublikowany 29.02.2012, zgłoszony w okresie przed doktoratem.

Dorobek naukowy Pani Justyny Krzak powstał w oparciu o współpracę ze współpracownikami, studentami i doktorantami macierzystej uczelni oraz we współpracy z interdyscyplinarnymi grupami naukowców krajowych i międzynarodowych w ramach realizacji zadań badawczych, krajowych projektów na badania własne, bądź realizowanych z funduszy europejskich z programów takich jak POIG i POKL oraz projektów europejskich.

W charakterze głównego wykonawcy zadania badawczego, pn.: *Application of sol-gel sensors/markers for identification of chemicals and bacteria in grey water*, Habilitantka brała udział w realizacji jednego projektu europejskiego (Marie Curie Actions 2010-2014) we współpracy z firmą Whirlpool Europe S.r.l. Włochy. W charakterze wykonawcy i jeden raz głównego wykonawcy zadań badawczych brała udział w czterech projektach z programów POIG (2010-2014, 2010-2014, 2012-2013, 2017-2019), a także jako stypendystka z programu POKL (2009/2010). Realizacja projektów z programu POIG oraz POKL trwała

od 10 lub 12 miesięcy. Ponadto uczestniczyła w czterech projektach krajowych finansowanych przez MNiSW, NCN, w tym jednym promotorskim (główny wykonawca) i jednym badawczym (wykonawca) przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych. Po doktoracie, w latach 2017-2020, realizowała badania naukowe w funkcji wykonawcy projektu finansowanego przez NCN, a od grudnia 2021 roku w funkcji kierownika projektu przyznanego przez NCN. Źródłem funduszy na badania własne były również program stypendialny dla Najlepszych Doktorantów Politechniki Wrocławskiej, a po doktoracie z funduszy uczelnianych, w tym dwa na badania własne w roku akademickim 2013/2014 oraz 2014/2015, których pełniła funkcję kierownika projektu. Na rzecz otoczenia gospodarczego zrealizowała następujące projekty badawcze:

- projekt badawczy realizowany dla WZZ Herbapol pn.: *Synteza i badania fizykochemiczne związków wapnia z ligandami pochodzenia naturalnego*, zakończony wnioskiem patentowym, wykonawca, 2001 – 2004;
- projekt pn.: *“Application of SiO₂ coatings produced by sol-gel method as a protective coating according to the Electrolux requirements”* zrealizowany na zlecenie ELECTROLUX Italy S.p.A., główny wykonawca (PI), 2012-2013;
- Whirlpool Europe S.r.l. Włochy - *współpraca w zakresie powłokowych materiałów czujnikowych*; Projekt GeenKitchen w ramach IAPP, Marie Curie Action, FP7 PEOPLE (2010-2014);
- projekt pn. *Usługi badawcze na rzecz podmiotów komercyjnych w zakresie badań fizykochemicznych i mechanicznych*, **kierownik projektu**, 01.2014-12.2014;

W dorobku Habilitantki daje się zauważyć dynamiczny wzrost aktywności w pozyskiwaniu środków na współpracę naukowo-badawczą i realizację własnych celów badawczych. Na uwagę zasługuje realizacja badań będących w toku:

- od października 2021 roku w charakterze *głównego wykonawcy* projektu, pt.: *„Improving the Efficiency of Hydrogen Storage Vessels through Novel Oxide Coatings – HyStor”*, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Small Grant Scheme (SGS), Programu „Badania Stosowane” ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego,
- od maja 2021 roku w charakterze *głównego wykonawcy* projektu, pt.: *Reduction of hydrogen permeability through MDPE liner by applying doped sol-gel coatings*, realizowanego na zlecenie RAIGI, Francja,
- decyzją Dyrektora z dnia 05-11-2021 Narodowego Centrum Nauki przyznany został grant na realizację projektu, pt.: *Badania wpływu samoleczących, organiczno-nieorganicznych warstw zol-żel na odporność korozyjną i zmęczenie stali w zakresie VHCF*, którego **kierownikiem** jest dr inż. Justyna Krzak - umowa z grudnia 2021r.

Aktywność naukowa dr inż. Justyny Krzak nie ograniczała się tylko do współpracy z pracownikami macierzystej jednostki. Współpraca ta obejmowała inne jednostki naukowe z kraju i zagranicy, a jej efektem były wyniki wspólnie realizowanych badań w ramach projektów i/lub nawiązywanych kontaktów z inicjatywy Habilitantki. Warto tu wymienić jednostki badawcze, z którymi współpracuje lub współpracowała. Są to:

- **Jednostki krajowe:** Katedra i Zakład Chemii Fizycznej i Biofizyki, Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytet Medyczny, Wrocław; Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław; Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Polska Akademia Nauk, Wrocław; Katedra Chemii Nieorganicznej, Analitycznej i Elektrochemii Wydział Chemiczny, Politechnika Śląska, Gliwice; Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski, Chorzów; Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu; Klinika Neurochirurgii, Akademia Medyczna we Wrocławiu.
- **Jednostki zagraniczne:** Institute of Materials Science and Engineering, University of Kaiserslautern, Kaiserslautern, Niemcy; Department of Molecular Sciences, The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Szwecja; Biological Physics Group, Department of Physics & Astronomy,

University of Manchester, Wielka Brytania; Laboratory for Electron Microscopy, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Niemcy; Institute for Photonics and Nanotechnologies (IFN)—National Research Council (CNR) CSMFO Laboratory, Trento, Italy; Institute of Biomaterials, Department of Material Science & Engineering University of Erlangen-Nuremberg, Niemcy.

Powierzchnie funkcjonalne nadają materiałom nowe właściwości, a tym samym umożliwiają nowe obszary ich zastosowań. Poprzez obróbkę powierzchni i/lub powłoki można precyzyjnie uzyskać ich nowe właściwości konstrukcyjne i funkcjonalne. Przykładem takich rozwiązań technologicznych są wielofunkcyjne powłoki nazywane bio-tribo-korozyjnymi, których wdrożenia w wielu gałęziach przemysłu wpisują się w sukcesy inżynierii powierzchni. Funkcjonalne powierzchnie i materiały zostały opracowane do wykorzystania w wielu dziedzinach nauki i techniki. Szeroka skala możliwości projektowania materiałów funkcjonalnych ujawnia także istniejące problemy. Warto tu wspomnieć o możliwościach, a także związanych z nimi problemach łączenia funkcjonalności tak, aby funkcje te nie mogły wpływać na siebie negatywnie. Dążenie do projektowania funkcjonalnych materiałów i procedur modyfikacji powierzchni tak, aby były jak najbardziej "zielone", ale jednocześnie zachowywały trwale swoje właściwości stanowi problemy. Rozwiązywanie tego typu problemów powinno wpisywać się w cele realizowanych badań naukowych dotyczących otrzymywania funkcjonalnych materiałów.

Wysoko funkcjonalizowane powierzchnie o różnych funkcjach, to między innymi funkcjonalne powierzchnie do poprawy interakcji komórka-implant, materiały/powłoki inteligentne do dostarczania funkcjonalnych składników, tj. leki, białka, enzymy, czy na przykład powłoki dla bioreaktorów. Zapotrzebowanie na nie jest duże w różnych zastosowaniach medycznych i biotechnologicznych. Aktualnie problemem w tym zakresie, a jednocześnie wyzwaniem dla wykorzystania biochemicznych funkcji aktywnych biomolekuł jest tworzenie nowych powierzchni, które mogą trwale wiązać biomolekuły bez zmiany ich pierwotnej konformacji i aktywności. Problemy te pojawiają się na przykład w obiecującej enkapsulacji wrażliwych na ciepło i delikatnych biomolekuł, w tym między innymi enzymów, białek, przeciwciał i innych mikroorganizmów. Możliwości rozwiązywania tego typu problemów stwarza synteza metodą zol-żel nieodłącznie związana z niską temperaturą. W procesie syntezy zol-żel wokół biomolekuły rośnie trójwymiarowa, porowata nieorganiczna matryca tlenkowa charakteryzująca się sztywnością fizyczną, możliwością regulacji porowatości, obojętnością chemiczną, a także wysoką stabilnością fotochemiczną i termiczną oraz przezroczystością optyczną. Perspektywą zastosowania biomolekuł unieruchomionych w zolu jest opracowanie optycznych i elektrochemicznych biosensorów, które mogą być przydatne w zastosowaniach medycznych, środowiskowych i przemysłowych. Te inteligentne materiały funkcjonalne są przedmiotem intensywnych badań naukowych.

Wyniki badań Habilitantki wpisują się w obszar badawczy, który pozwala łączyć osiągnięcia inżynierii powierzchni materiałów konstrukcyjnych z osiągnięciami wynikającymi z projektowania materiałów funkcjonalnych.

Zaproponowana przez profesora dra hab. inż. Tadeusza Wierchonia z Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej definicja inżynierii powierzchni porządkuje postępowanie projektanta materiałów spełniających określone funkcje dla zastosowań w priorytetowych obszarach nauki i gospodarki w konwencji materiał → właściwości → zastosowania. Zgodnie z tą definicją *inżynieria powierzchni, to kształtowanie: mikrostruktury, składu fazowego i chemicznego, topografii i morfologii wytwarzanych warstw powierzchniowych oraz ich właściwości takich jak np.: twardość, odporność na korozję, zużycie, wytrzymałość zmęczeniowa, zwilżalność, stan naprężeń własnych, biogodność, a więc właściwości użytkowych wyrobów z materiałów konstrukcyjnych i funkcjonalnych w aspekcie wzrostu ich trwałości i niezawodności z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych obrabianego detalu. Inżynieria Powierzchni, to Inżynieria Materiałowa warstw powierzchniowych konkretnych wyrobów w aspekcie zwiększenia ich trwałości i niezawodności, obniżenia strat materiałowych i energetycznych poprzez zapewnienie tym elementom oczekiwanych właściwości.*

Uniwersalną drogą do syntezy zaawansowanych materiałów w szerokim zakresie form, takich jak sferyczne lub ultradrobne proszki, włókna, cienkie powłoki, materiały gęste lub porowate, w tym wysokiej czystości tlenki nieorganiczne oraz hybrydy nieorganiczno-organiczne jest metoda zol-żel. Projektowanie i wytwarzanie materiałów, w tym cienkich powłok, tzw. filmów, metodą zol-żel jest obszarem badawczym

"zielonej chemii". Procesy zol-żel są dość skuteczne w wytwarzaniu wieloskładnikowych filmów w większości tlenkowych, a także w dostrajaniu struktury powierzchni filmów do warunków ich zastosowania/eksploatacji. Projektowanie to zaczyna się na poziomie doboru odpowiednich prekursorów, użycia odpowiednich modyfikatorów, tak by możliwa była kontrola procesów hydrolizy i kondensacji, następnie opracowania warunków obróbki termicznej, dla których ważnymi parametrami są temperatura, czas szybkości zmian temperatury w poszczególnych etapach.

Habilitantka wykazała się umiejętnością kształtowania mikrostruktury, składu fazowego i chemicznego, topografii i morfologii wytwarzanych warstw, interwarstw, warstw powierzchniowych poprzez dobór jakościowego i ilościowego składu chemicznego zolu i jego sposobu modyfikacji, katalizatora i stabilizatorów oraz warunków tj. temperatura i czas wygrzewania dla poszczególnych etapów syntezy (homogenizacji, starzenia zolu), szybkość ogrzewania przy przejściu z jednego do kolejnego etapu. Ważnym elementem tego projektowania było uwzględnienie właściwości podłoża, które determinują projektowanie odpowiedniej struktury zolu celem eliminacji zjawiska skurczu, naprężeń wewnętrznych i tym samym późniejszego pęknięcia warstwy powłokowej. Wszystkie te elementy projektowania decydowały o realizacji określonego celu, czyli uzyskania z góry założonych właściwości do konkretnych zastosowań. Jej wkładem autorskim w rozwój metody zol-żel są opracowane procesy umożliwiające wytwarzanie powłok wielowarstwowych oraz wskazanie na niektóre możliwości funkcjonalizacji sieci tlenkowych w procesach zol-żel w zależności od oczekiwanych właściwości użytkowych. Opublikowane w czasopiśmie z tzw. listy filadelfijskiej (IF w 1,644 ÷ 6,182) artykuły naukowe wchodzące w skład w jednotematycznego cyklu pod wspólnym tytułem „*Wielokierunkowa funkcjonalizacja powierzchni powłokami tlenkowymi w procesie zol-żel*”, których wkład autorski Pani Justyny Krzak potwierdzony został przez współautorów, dokumentują rzeczywiste Jej osiągnięcie i wkład w rozwój nauki i technologii. Interdyscyplinarna współpraca naukowo-badawcza wykazała, iż efekty projektowania na poziomie molekularnym prekursorów, ich kontrolowana modyfikacja oraz dobór metody nakładania i warunków obróbki termicznej warstw powierzchniowych dały pożądane efekty. Przedmiotem Jej badań było projektowanie składu chemicznego prekursorów i sposobu ich modyfikacji, dobór warunków procesu wytwarzania oraz procedury badawczej warstw powłokowych charakteryzujących się podwyższoną stabilnością w warunkach eksploatacji w porównaniu do podłoża, zadanymi właściwościami fizycznymi, chemicznymi, mechanicznymi, czy biologicznymi. Wyróżnić tu należy następujące materiały powłokowe i zagadnienia badawcze:

- wielowarstwowe powłoki zol-żelowe wytwarzane na dużej powierzchni,
- interwarstwy wykorzystywane w procesie konsolidacji osnowy polimerowej z włóknami lub proszkami fazy umacniającej,
- interwarstwy wykorzystywane w procesie konsolidacji składników kompozytów, tj. osnowy z fazą umacniającą, przy zachowaniu innych funkcji tej fazy, np. magnetycznych,
- antykorozyjne powłoki fobowe nanoszone na stal węglową dedykowane do pracy w kontakcie z ciekłym kaprolaktamem,
- wielowarstwowe filmy ZnO nanoszone metodą zol-żel na podłoża szklane do zastosowań na filtry promieniowania UV zachowujące transparentność w zakresie światła widzialnego,
- aerożele - hybrydy organiczno-nieorganicznej w układzie krzemionka-PVA syntezowane w jednoczesnym procesie zol-żel i separacją faz, której celem jest dążenie do opracowania materiału o jak najniższym współczynniku przewodzenia ciepła, przy zachowaniu jak największej wytrzymałości na kruche pęknięcie,
- powłoki kompozytowe amorficzno-krystaliczne wytwarzane w procesie konsolidacji zolu i proszków ceramicznych otrzymywanych w procesie zol-żel; celem badań jest wytwarzanie powłok o podwyższonych właściwościach tribologicznych na podłożach wrażliwych na działanie podwyższonej temperatury,
- nadawanie powłokom tlenkowym nowych funkcji poprzez:
 - funkcjonalizację powłok zol-żelowych wrażliwymi na podwyższoną temperaturę związkami farmakologicznie czynnymi, nowatorski proces wytwarzania powłoki SiO₂ funkcjonalizowanej kwasem askorbinowym (witamina C) lub witaminą E na podłożach metalicznych takich jak stal austenityczna 316L, stop tytanu typu Ti6Al4V; powłoki te

dedykowane są terapiom medycyny regeneracyjnej, implantologii celem redukcji stresu oksydacyjnego – pozytywne efekty biokasulacji potwierdzono w testach komórkowych *in vitro* oraz *in vivo*,

- funkcjonalizację powierzchni powłok w celu wzmocnienia barierowości polimerowych materiałów na przenikanie cząsteczek gazów (H_2 , CO_2) przy niskim i wysokim ciśnieniu,

- elastyczne struktury tlenkowe otrzymywane w procesach trwałego wprowadzania grup organicznych do struktury sieci, tzw. hybrydy nieorganiczno-organiczne, czego efektem jest eliminacja skurczu powłoki i nadanie powłokom dodatkowych właściwości, tj., odporność na kruche pękanie i poprawa przyczepności do podłoża,
- modyfikacja powłok SiO_2 składnikami organicznymi, w tym też badanie mechanizmu procesu sieciowania w procesie syntezy powłok SiO_2 w zależności od rodzaju prekursora (organokrzemiany i krzemiany),
- badanie wpływu rodzaju katalizatorów (kwasów nieorganicznych) na morfologię, przyczepność, zwilżalność i strukturę chemiczną powłok TiO_2 i ZrO_2 ,
- badanie orientacji niehydrolizujących grup organicznych w strukturze sieci tlenkowej,
- modyfikacja składu prekursora syntezy powłok SiO_2 celem otrzymania czujnika do identyfikacji zanieczyszczeń wody jonami rtęci (Hg^{2+}) oraz bakteriami.

Efektom badań naukowych Pani dr inż. Justyny Krzak jest oferta adresowana dla przemysłu aparaturowego *technologia wytwarzania oraz aplikacji zol-żelowej powłoki tlenkowej na powierzchnie metaliczne typu rurowego* opracowana po uzyskaniu stopnia doktora we współpracy z przedsiębiorstwem WTT S.A. Obecne zaawansowanie technologiczne rozwiązania osiągnęło poziom TRL 7, co oznacza gotowość do testów prototypu w warunkach operacyjnych. Warto dodać, że osiągnięciem tego rozwiązania jest możliwość zastępowania drogiej stali austenitycznej 316L dobrze obrabialną stalą węglową. Opracowana powłoka zol-żelowa o własnościach fobowych zabezpiecza stal P265GH przed korozją i zwilżaniem przez kaprolaktam.

Osiągnięciami rokującymi na wdrożenia są ponadto trzy zgłoszenia zastrzeżenia know-how na Politechnice Wrocławskiej (Punkt Kontaktowy ds. Transferu Technologii, Centrum Innowacji i Biznesu) stanowiące współautorskie wyniki badań o znaczeniu komercyjnym:

- *Tlenkowe powłoki zabezpieczające materiały polimerowe przed przenikaniem wodoru* (zgłoszenie 13/PK/2020);
- *Synteza oraz kierunkowa modyfikacja powierzchni kul krzemionkowych domieszkowanych nanocząstkami srebra i wykazujących właściwości antybakteryjne* (zgłoszenie 14/PK/2020);
- *Sterowanie procesem randomizacji dystrybucji aktywnych kul krzemionkowych w warstwie farb i lakierów nakładanych z fazy ciekłej* (zgłoszenie 15/PK/2020).

Doktor inżynier Justyna Krzak, Kandydatka do stopnia naukowego doktora habilitowanego rozwija nowe kierunki badawcze, które mieszczą się w dyscyplinie inżynieria materiałowa. We współpracy z pracownikami Katedry Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej, w której pełni funkcję zastępcy kierownika, oraz krajowymi i międzynarodowymi jednostkami naukowo-badawczymi, a także we współpracy z otoczeniem gospodarczym rozwija badania, projektuje nowe lub zmodyfikowane w stosunku do stanu istniejącego technologie wytwarzania materiałów powłokowych, ale także innych form materiałów, takie jak proszki, aerożele i kompozyty otrzymywane w procesach syntezy zol-żel należące do grupy materiałów konstrukcyjnych, funkcjonalnych, w tym też inteligentnych.

Analizując dorobek naukowy trudno uniknąć spostrzeżeń krytycznych. Biorąc pod uwagę cel realizowanych badań jaki wyłania się z dotychczasowego dorobku Habilitantki można dopatrzeć się pewnych niedoskonałości metodycznych. W świetle postępu, jaki dokonał się w obszarze technologii zol-żelowych na świecie oraz szeroko rozumianej inżynierii powierzchni, projektowanie nowych funkcjonalnych materiałów i procedur modyfikacji powierzchni powinno uwzględniać ocenę przydatności, inaczej trwałości w warunkach użytkowania. Takie podejście w połączeniu z ekologiczną syntezą zol-żel może zagwarantować, że

opracowane technologie w pełni należeć będą do "zielonej chemii" z punktu widzenia ochrony środowiska oraz zdrowia potencjalnych pacjentów i dodatkowo mogą być opłacalne. W toku realizacji dotychczas zrealizowanych badań uwidacznia się brak kompleksowej oceny właściwości tribo-korozyjnych, mechanicznych i innych fizycznych.

Badania naukowe dr inż. Justyny Krzak wpisują się w badania stosowane i podstawowe. Analizując mechanizm wzrostu sieci tlenkowej dobrze byłoby rozszerzyć je o analizę kinetyczną. Znajomość efektów energetycznych reakcji i jej kinetyki jest często niezbędna do przeskalowania badań z laboratoryjnych do przemysłowych.

W Autoreferacie Habilitantka nie uniknęła błędów terminologicznych i/lub braku precyzji w odniesieniu do następujących określeń: warunki *normalne/standardowe*, *prędkość/szybkość wzrostu sieci*, *tytanium* – tytaniumy to związki chemiczne będące formalnie pochodnymi kwasów tytanowych, np. tytanium (IV) baru $BaTiO_3$; w języku angielskim TiO_2 : titanium dioxide lub titanium (IV) oxide lub *titania*), *absorber* to pochłaniacz, urządzenie, czy aparat pochłaniający, natomiast materiał pochłaniający nazywany jest *absorbentem*, analizując krytycznie stan wiedzy na temat powłok antykorozyjnych Autorka stwierdza, że *...powłoki chromowe wykazują nieciągłość struktury oraz porowatość...*, co nie jest stwierdzeniem precyzyjnym, gdyż możliwe jest wytworzenie ciągłej i nieporowatej powłoki chromowej do zastosowań antykorozyjnych.

Ocena dorobku dydaktycznego

Dr inż. Justyna Krzak prowadziła i/lub prowadzi zajęcia laboratoryjne (L), ćwiczenia audytoryjne (A), oraz wykłady (W) w ramach studiów stacjonarnych, niestacjonarnych oraz w ośrodkach zamiejscowych w zakresie: *Chemii ogólnej* (W) na kierunkach Mechanika i Budowa Maszyn, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Mechatronika, *Chemii* (W,A) na kierunku Inżynieria biomedyczna, *Metody badań tkanek i biomateriałów* (W,L) na kierunku Inżynieria Biomedyczna, *Mechanika I* (A) na kierunkach Mechanika i Budowa Maszyn, Automatyka i Robotyka, Mechatronika, Zarządzanie Inżynierią Produkcji, *Mechanika II* (A) na kierunkach Mechanika i Budowa Maszyn, Automatyka i Robotyka, Mechatronika, *Technologie Informacyjne* (L) na kierunkach Mechanika i Budowa Maszyn, Automatyka i Robotyka, Mechatronika, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. Ponadto Habilitantka opracowała karty kursów dla kursu Chemia (wykład + ćwiczenia). Habilitantka opiekowała się **5** pracami magisterskimi i **15** pracami inżynierskimi, trzy prace dyplomowe są w trakcie realizacji, zrecenzowała **5** prac dyplomowych.

Dr inż. Justyna Krzak sprawuje opiekę w funkcji promotora pomocniczego rozprawy doktorskiej pod roboczym tytułem *Wytwarzanie i modyfikacja aerożeli krzemionkowych dla zastosowań biomedycznych*, oraz opiekuna naukowego rozprawy doktorskiej pt.: *Dobór parametrów syntezy i nanoszenia powłok zol-żelowych przeznaczonych do pracy w warunkach złożonych*.

Ocena dorobku organizacyjnego

Dr inż. Justyna Krzak brała aktywny udział w różnych formach działalności organizacyjnej. Równoległe z rozwojem naukowym swoje umiejętności miękkie Habilitantka rozwijała począwszy od zatrudnienia jako referent - koordynator ds. Unii Europejskiej w Centrum Doskonałości Materiałów Zol-Żelowych i Nanotechnologii Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej w 2005 roku. W późniejszym okresie rozwijała te umiejętności w ramach staży w (i) *Institute for Health and Consumer Protection, Joint Research Centre (JRC), Ispra, Włochy*, a także w (ii) *Watson Research Centre, Yortown Heights IBM (T.J.) USA*, (iii) *Fraunhofer Center for International Management and Knowledge Economy IMW, Lipsk, Niemcy*, (iv) *The Technische Universität Dresden, Drezno, Niemcy* oraz we współpracy z otoczeniem gospodarczym. W dużym stopniu tak rozwijana działalność naukowo-organizacyjna przełożyła się na sukces Pani dr inż. Justyny Krzak zostać, która została doceniona stając się laureatką konkursu Fundacji Nauki Polskiej w programie SKILLS Mentoring (10.2014-06.2015). Zdobyte kompetencje i

umiejętności przełożyły się awans na funkcję zastępczyni kierownika Katedry Mechaniki i Inżynierii Materiałowej, a od 2020 roku Katedry Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej, gdzie ... *wdrażała strukturę organizacyjną Katedry...* i ... *buduje strategię w oparciu o interdyscyplinarny rozwój Katedry realizowany we współpracy z przemysłem*. Motto Katedry brzmi *Kultura eksperymentu*. Dwuletnie studia podyplomowe na Wydziale Zarządzania Politechniki Wrocławskiej pn.: *Zarządzanie własnością intelektualną w biznesie*, zakończone w 2022 roku, umacniają kompetencje Pani Justyny Krzak i stanowią fundament ciągle rozwijającej się kariery zawodowej.

Do innych stanowisk zawodowych i funkcji społecznych pełnionych przez Habilitantkę zaliczyć należy:

- koordynator powstania Laboratorium Materiałów Zol-Żelowych i Nanotechnologii Dolnośląskiego Centrum Zaawansowanych Technologii Politechniki Wrocławskiej, przygotowanie specyfikacji technicznych aparatury oraz członek komisji przetargowych (01.10.2007-30.06.2008),
- samodzielny referent w projekcie RegStrat z 6.PR, "Strategic Policy Intelligence Tool for Belter and Technology Investment Strategies in Europe's Regions", Politechnika Wroclawska (02.07.2007-31.12.2007),
- prowadząca magazyn chemiczny w Instytucie Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej od 01.02.2006,
- kierownik Pasażu Niezawodna Technika, organizowanego w ramach IX Dolnośląskiego Festiwalu Nauki (14.09.2006-24.09.2006),
- członkostwo w komisji hospitacyjnej ds. Studiów Doktoranckich i Podyplomowych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej od 01.10.2015,
- członkostwo w komisjach dyplomowych na studiach 1-ego i 2-ego stopnia, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej od 01.10.2015,
- Członkostwo w Uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej ds. Nauczycieli Akademickich w Politechnice Wrocławskiej 27.10.2016 – 30.09.2020,
- członkostwo w Radzie Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej (01.10.2016 – 30.09.2018).

Po ukończeniu studiów na Politechnice Wrocławskiej wykazywała i konsekwentnie rozwijała aktywność w pozyskiwaniu środków finansowych na badania naukowe zarówno ze funduszy statutowych uczelni, programów stypendialnych, badawczych finansowanych ze środków krajowych i europejskich, we współpracy z sektorem gospodarczym krajowym i zagranicznym. Pozyskane fundusze umożliwiły Habilitantce stworzenie i rozwój warsztatu badawczego. Pani Justyna Krzak zbudowała i rozwija własny zespół badawczy angażując do współpracy najlepszych studentów realizujących interdyscyplinarne zadania naukowe w ramach projektów inżynierskich, prac dyplomowych magisterskich i doktorskich. Ponadto współtworzy interdyscyplinarną grupę badawczą *Materiały zol-żelowe*, która specjalizuje się w wytwarzaniu różnych form materiałów zol-żelowych oraz ich badaniu w obszarze właściwości fizykochemicznych, optycznych, mechanicznych i biologicznych we współpracy z fizykami, mechanikami, biologami.

Aktywność dr inż. Justyny Krzak we współpracy z sektorem gospodarczym była wynikiem współpracy badawczej z następującymi partnerami z przemysłu:

w ramach wyżej wymienionych projektów badawczych finansowanych z konkursów krajowych i zagranicznych:

- Whirlpool Europe S.r.l. Włochy - *współpraca w zakresie powłokowych materiałów czujnikowych; Projekt GeenKitchen w ramach IAPP, Marie Curie Action, FP7 PEOPLE,*
- Electrolux S.p.A., Włochy - *współpraca w zakresie powłok ochronnych,*

- RAIGI Arbouville, Rouvray-Saint-Denis, Francja - *współpraca w zakresie powłok ochronnych do zbiorników wysokociśnieniowych na paliwa gazowe,*

oraz realizowane z innych zadań badawczych:

- WTT SA, Opole - *współpraca w zakresie powłok ochronnych na stale węglowe, rozwiązania dedykowane przemysłowi chemicznemu; opracowanie technologii wytwarzania oraz aplikacji zol-żelowej powłoki tlenkowej na powierzchnie metaliczne typu rurowego. Obecne zaawansowanie technologiczne osiągnęło poziom TRL 7*
- BEST Systemy Grzewcze, Świdnica - *współpraca w zakresie materiałów izolacyjnych do zbiorników kriogenicznych;*
- Neapco Europe Sp. z o.o., Praszka - *współpraca w zakresie powłok ochronnych;*
- REGO Industrial Varnishing and Painting, Nowa Wieś, Wronki - *współpraca w zakresie powłok ochronnych; wspólna aplikacja o projekt; zakup przez firmę REGO licencji na poufne know-how zarejestrowane na Politechnice Wrocławskiej pod nr 14/PK/2020 i 15/PK/2020. (B.BORAK);*
- BioPharm Enterprises Limited, Wielka Brytania - *wspólne badania w zakresie charakteryzacji oddziaływań powierzchniowych cienkich warstw.*

Dr inż. Justyna Krzak była recenzentką prac publikowanych w renomowanych czasopismach międzynarodowych znajdujących się na tzw. liście filadelfijskiej, czyli Thomson Scientific Master Journal List, tj.: *Progress in Materials Science* (IF 48,165), *Ceramic International* (IF 4,527), *Acta of Bioengineering and Biomechanics* (IF 1,073), *Surface and Coating Technology* (IF 4,158), *Advances in Colloid and Interface Science* (IF 12,984), *Arabian Journal of Chemistry* (IF 5,165), *Composites Part B: Engineering* (IF 9,078), *International Journal of Engineering Science* (IF 8,843), *Materials Chemistry and Physics* (IF 4,094), *Materials* (IF 3,623).

Ponadto wykonała recenzję materiałów zgłoszonych w ramach *Konferencji Ko-oper, Interdyscyplinarność badań naukowych*, a także dwie ekspertyzy projektów badawczych: krajowego GT Technologies sp. z o.o. - Funduszu inwestycyjnego działającego w ramach Programu BRidge Alfa, NCBR - projekt pn. *NGSLIB* i międzynarodowego Chorwackiej Fundacji Nauki (The Croatian Science Foundation) – project pt. *AntiBacterial coating for BiodegradAble MEDICine mAterials, ABBAMEDICA*.

Spośród innych aktywności Habilitantki wyróżnić należy:

- funkcję edytora (Chief Guest Editor) w specjalnym wydaniu pt. *Sol-gel coatings* czasopisma *Polymers MDPI* (IF 4,329),
- organizację warsztatów i wykładów prof. Boccacciniego (Institute of Biomaterials, Univ. of Erlangen-Nuremberg, Niemcy) w macierzystej Katedrze w ramach programu Visiting Professors finansowanego z budżetu miasta Wrocławia w ramach funduszu Scientiae Wratislavienses,
- członkostwo w *Polskim Towarzystwie Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej* i w latach 2015-2018 w funkcji skarbnika oddziału Wrocławskiego PTMTS, członkostwo w *International Sol-Gel Society* (ISGS) oraz w *International Association of Advanced Materials* (IAAM).

PODSUMOWANIE

Przedłożony do oceny jednotematyczny cykl publikacji pod tytułem „*Wielokierunkowa funkcjonalizacja powierzchni powłokami tlenkowymi w procesie zol-żel*”, stanowi niezwykle istotny wkład Habilitantki w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa.

Uważam, że dr inż. Justyna Krzak jest doświadczonym naukowcem o dobrym dorobku naukowym w obszarze badań zarówno podstawowych jak i stosowanych. Rozprawa habilitacyjna świadczy o szerokiej wiedzy, a przede wszystkim doświadczeniu jakimi dysponuje dr inż. Justyna Krzak w obszarze projektowania, modyfikacji, funkcjonalizacji oraz charakteryzacji i badań właściwości użytkowych dedykowanych dla wielu gałęzi przemysłu materiałów syntezowanych metodą zol-żel. Podejście metodyczne

do badań jest na poziomie wypracowanym przez środowisko materiałów zol-żelowych, które reprezentuje Habilitantka. Osiągnięcia naukowo-badawcze po uzyskaniu stopnia doktora są wynikiem prac zespołowych, a publikacje będące tego efektem są wieloautorskie. Z przedstawionej dokumentacji dorobku i osiągnięć naukowo-badawczych, organizacyjnych i dydaktycznych stwierdzam, że Kandydatka do stopnia doktora habilitowanego legitymuje się osiągnięciami naukowymi w zakresie inżynierii powierzchni, inżynierii materiałów w zakresie chemii i techniki zol-żel, wniosła wkład w rozwój nauki krajowej i międzynarodowej. Dorobek swój znacznie powiększyła po doktoracie, o czym świadczą wskaźniki bibliometryczne. Warsztat pracy dr inż. Justyna Krzak oparty na szkole jaką jest środowisko naukowo-badawcze Politechniki Wrocławskiej przyczynia się do Jej rozwoju naukowo-badawczego, rokuje na intensywny postęp w technologii wytwarzania materiałów konstrukcyjnych, funkcjonalnych, a także inteligentnych w formie powłok, cienkich filmów, zaktywowanych warstw wierzchnich na różnych podłożach dedykowanych zaawansowanym obszarom wielu gałęzi przemysłu, w tym medycyny i ochrony środowiska naturalnego. Wskaźniki liczbowe nie odzwierciedlają w jakim stopniu znaczący jest wkład Kandydatki do stopnia doktora habilitowanego, jednak w połączeniu z dużym zaangażowaniem organizacyjnym wskazują na pasję i determinację w dążeniu do celu. Dorobek naukowy, organizacyjny i dydaktyczny oceniam pozytywnie.

Na podstawie dokonanej oceny całokształtu osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych stwierdzam, że dr inż. Justyna Krzak wykazała się kompetencją i dojrzałością w stopniu uzasadniającym uzyskanie samodzielności naukowej i spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2020 poz.85 z późniejszymi zmianami). **Popieram wniosek o nadanie dr inż. Justynie Krzak stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk techniczno-inżynierskich w dyscyplinie inżynieria materiałowa.**

*Piedziuliczka
Anna*