

Prof. dr hab. inż. Jadwiga Laska
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Biomateriałów i Kompozytów
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30

RECENZJA

przygotowana w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego

doktora habilitowanego

dr inż. Beacie Fryczkowskiej

prowadzonym przez Radę Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, prof. Mirosława Pajora z dnia 17 października 2018 r. (znak: WIMiM/306/2018) oraz dołączona do niego dokumentacja postępowania habilitacyjnego. Recenzję sporządzono zgodnie z art. 16. Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 poz.1789).

Informacje ogólne

Dr inż. Beata Fryczkowska jest adiunktem w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej. Swoją działalność naukowo-dydaktyczną związała z ATH (wcześniej Filia Politechniki Łódzkiej w Bielsku Białej) po ukończeniu studiów w 1993 r. Tytuł zawodowy magistra inżyniera uzyskała na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, a pracę magisterską pt. „Badania nad syntezą substratów i nowych polimerowych nośników leków” wykonała pod kierunkiem prof. Jana Łukaszczyka. Pracę doktorską pt. „Badania nad syntezą i właściwościami soli 2-(N-acyloamino)-winylofosfoniowych i ich pochodnych” Pani Beata Fryczkowska wykonała pod kierownictwem prof. Romana Mazurkiewicza, a stopień doktora nauk chemicznych uzyskała na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w 2004 r. Jako pracownik naukowo-dydaktyczny dr inż. Beata Fryczkowska pracowała na stanowiskach asystenta-stażysty, asystenta, a od 2004 r na stanowisku adiunkta. Praca badawcza na tych etapach związana była z syntezą związków chemicznych o dużym potencjale aplikacyjnym, a szczególnie o właściwościach predestynujących je do dalszych zastosowań w przemyśle farmaceutycznym, środków powierzchniowo-czynnych, tworzyw polimerowych itp. Poza tematyką realizowaną jako praca magisterska czy doktorska dr inż. Beata Fryczkowska prowadziła badania polimerów, w tym polimerów przewodzących, o czym świadczą liczne

artykuły naukowe publikowane od 2004 r. oraz udzielone patenty. W trakcie kolejnych etapów rozwoju naukowego dr inż. Beata Fryczkowska uzyskała wiedzę zarówno w dziedzinie technologii chemicznej, jak i chemii oraz inżynierii materiałowej.

Ocena osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Dr inż. Beata Fryczkowska przedstawiła do oceny osiągnięcie naukowe, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, jako cykl dwunastu publikacji powiązanych tematycznie pod wspólnym tytułem „Porowate materiały i kompozyty polimerowe: projektowanie, preparatyka, właściwości i zastosowania”. Dziewięć artykułów zostało opublikowanych w czasopismach z listy JCR charakteryzujących się wskaźnikiem wpływu IF od 0,525 do 1,866, a trzy spoza tej listy z punktacją MNIŚW od 9 do 12. Wszystkie publikacje tego cyklu są wieloautorskie, jednak w połowie artykułów wkład naukowy Habilitantki jest dominujący i wynosi 80%, w pozostałych sześciu artykułach jest na poziomie 40-70%. W dziewięciu artykułach Habilitantka jest pierwszym autorem, a w dziesięciu osobą do korespondencji, co także świadczy o jej dużym wkładzie w przygotowanie tych artykułów. Udział pozostałych autorów potwierdzony jest oświadczeniami, w których podany jest udział procentowy oraz rodzaj wykonanych badań. Należy także nadmienić, że wyniki badań naukowych związanych z przedstawionym osiągnięciem były prezentowane na osiemnastu konferencjach naukowych krajowych i międzynarodowych. W piętnastu komunikatach konferencyjnych dr inż. Beata Fryczkowska jest wymieniona jako pierwszy autor. Habilitantka opublikowała swoje prace w czasopismach związanych ściśle z inżynierią materiałową, takich jak Journal of Applied Polymer Science, International Journal of Polymer Science, Desalination and Water Treatment, Acta Physica Polonica, Polish Journal of Chemical Technology, Inżynieria Ekologiczna czy Journal of Ecological Engineering.

Badania przedstawione jako osiągnięcie naukowe skupione są na modyfikacji poliakrylonitrylu, polidifluorowinylidenu oraz celulozy w celu otrzymywania materiałów o nowych właściwościach, a w konsekwencji służących nowym zastosowaniom. Wszystkie produkty polimerowe uzyskane w badaniach mają wspólną cechę, tj. rozwiniętą powierzchnię właściwą. Głównym kierunkiem tych badań było otrzymanie membran kompozytowych o zdefiniowanych cechach użytkowych, stwarzających możliwość zastosowania ich w procesach usuwania barwników, białek i metali ciężkich z roztworów wodnych. Habilitantka zastosowała trzy matryce polimerowe: klasyczny polimer – poliakrylonitryl, mniej powszechny

polidifluorowinylyden oraz polimer biodegradowalny – celulozę. Jako fazę rozproszoną zastosowano polianilinę, tlenek grafenu oraz nanorurki węglowe.

Membrany polimerowe znalazły się w ostatnich 20 latach na wysokiej pozycji w inżynierii materiałowej ze względu na wielorakie zastosowania oraz stosunkowo dużą łatwość dostosowywania ich właściwości do konkretnych zastosowań, stąd tematyka badawcza Habilitantki wpisuje się w aktualne potrzeby świata.

Jako najważniejsze osiągnięcia naukowe Habilitantki, mające istotny wpływ na rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa można wymienić:

1. opracowanie metody dyspergowania w matrycy polimerowej nanododatków węglowych, takich jak tlenek grafenu lub nanorurki węglowe oraz polimeru elektroaktywnego - polianiliny,
2. opracowanie metody wytwarzania membran oraz granul charakteryzujących się unikalnymi właściwościami sensorycznymi, separacyjnymi względem metali ciężkich i jonów metali, transportowymi, antyfoulingowymi i określoną hydrofilowością,
3. wyjaśnienie wpływu użytego koagulantu na proces tworzenia membrany (szczególnie jego wytrącania) oraz końcowe właściwości fizykochemiczne membrany/sorbentu,
4. wyjaśnienie mechanizmów separacji jonów metali na otrzymanych membranach,
5. wyjaśnienie właściwości antyfoulingowych otrzymanych materiałów kompozytowych.

Membrany na bazie poliakrylonitrylu zostały opisane w artykułach A1-A4 oraz B1-B2, membrany celulozowe – w artykułach A6-A9 oraz B3, a oparte na polidifluorowinylydencie w artykule A5.

Poliakrylonitryl jest polimerem szeroko stosowanym do otrzymywania włókien, jego właściwości można łatwo modyfikować metodami chemicznymi oraz poprzez dodatek odpowiedniej substancji organicznej lub nieorganicznej. Habilitantka podjęła zadanie modyfikacji poliakrylonitrylu dodatkiem polianiliny, tlenku grafenu oraz nanorurek węglowych. Głównym celem zastosowania polianiliny było zmniejszenie elektryzowania się materiału. Zbieranie się ładunku elektrycznego na powierzchni PAN jest tak wyraźne, że tkaniny poliakrylonitrylowe, jako przyciągające zanieczyszczenia, znalazły zastosowanie w wysokowydajnych filtrach, jednak w innych zastosowaniach zjawisko elektrostatyczności jest niekorzystne a w niektórych warunkach zwiększa ryzyko pożaru. Habilitantka opracowała metodykę otrzymywania membran PAN/PANI z roztworu DMF z zastosowaniem metody inwersji faz. Wyniki badań opisała w publikacjach A1 i A2. Zastosowana metoda pozwoliła otrzymać membrany o dużej wrażliwości na pH środowiska przy bardzo niskich stężeniach kwasu/zasady poniżej 1 ppm. Tak czułe sensory o bardzo prostej budowie mogą znaleźć

wielorakie zastosowania w przemyśle, analityce, medycynie czy ochronie środowiska. Otrzymane membrany PAN/PANI zostały przebadane przez habilitantkę pod kątem ultrafiltracji pogalwanizerskich ścieków przemysłowych, co zostało opisane w publikacji B1. Ilość usuniętych jonów Zn(II), Cu(II), Cd(II) sięgała nawet 100%.

Bardzo dobre właściwości sorpcyjne wobec jonów metali ciężkich wykazuje tlenek grafenu. Naturalnym kolejnym badanym dodatkiem do poliakrylonitrylu był więc tlenek grafenu, tym bardziej, że jest to związek intensywnie badany w grupie badawczej ATH, w której pracuje także dr Beata Fryczkowska. Habilitantka opracowała autorską metodę wytwarzania membran, w tym wypadku z jednorodnej dyspersji PAN/GO w DMF, co opisała w publikacjach A3 i B2. Opracowując metodę otrzymywania membran wykazała, że podczas mieszania GO z PAN w DMF, tworzą się oddziaływania pomiędzy silnie spolaryzowanymi grupami $C\equiv N$ poliakrylonitrylu, a atomami tlenu występującymi w GO, co zapobiega separowaniu się składników mieszaniny. Zastosowanie membran GO/PAN do ultrafiltracji ścieków pogalwanizerskich pozwoliło na usunięcie jonów z dobrą skutecznością – Fe(III) (91÷92%), Pb(II) (87÷98%), Zn(II) (68÷84%) oraz Cd(II) (67%). Nieoczekiwanym efektem zastosowania otrzymanych membran było znaczne zmniejszenie efektu *foulingu*, który jest bardzo niepożądanym zjawiskiem w procesach mikrofiltracji.

Modyfikację PAN wielościennymi nanorurkami węglowymi dr Fryczkowska opisała w publikacji A4. W tym wypadku także została zastosowana metoda inwersji faz, poprzez koagulację w wodzie. Otrzymane membrany kompozytowe PAN/MWCNT w odróżnieniu od PAN/PANI oraz PAN/GO były hydrofobowe, charakteryzowały się także wyższą porowatością i cieńszą warstwą naskórkową. W efekcie już 0,1-procentowy dodatek MWCNT do PAN powodował 10-krotny wzrost objętościowego strumienia filtratu. Podobnie jak w wypadku wcześniej badanych membran przeprowadzono badania filtracji ścieków syntetycznych oraz ścieków pogalwanizerskich, które potwierdziły skuteczność separacji jonów Zn(II), Co(II) i Ni(II) (100%) oraz Pb(II) (>85%). Także te membrany wykazywały znacznie większy objętościowy strumień permeatu. Habilitantka postawiła tezę, że powstające na całej powierzchni oraz w porach membran PAN/MWCNT i Pan/GO kompleksy membrana/jon metalu wywołują przyspieszony transport wody i wzrost objętościowego strumienia permeatu.

Opracowaną dla wymienionych trzech rodzajów membran metodę inwersji faz dr Beata Fryczkowska zastosowała do układu PVDF/GO, co opisała w publikacji A5. Membrany PVDF/GO były wcześniej badane przez inne zespoły i stosowane w procesach filtracji, jednak sporym problemem praktycznym było występowanie zjawiska *biofoulingu*. Zastosowanie metody otrzymywania opracowanej przez Habilitantkę oraz użycie DMF jako rozpuszczalnika

pozwoiliło na znaczne polepszenie wlaściwości transportowych membran PVDF/GO juź przy zawartości tlenku grafenu w kompozycie na poziomie 0,5-1%. Badania potwierdziły całkowitą odporność tego typu membrany na adhezję białka, czyli wyeliminowany został całkowicie efekt biofoulingu.

W ostatnim dwudziestoleciu szczególną uwagę przykłada się do materiałów ulegających biodegradacji, a przez to uważanych za niezagrażające środowisku naturalnemu. Membrany filtracyjne mają ograniczony czas użytkowania i wykonanie ich z materiałów biodegradowalnych jest jak najbardziej uzasadnione. Dr Beata Fryczkowska podjęła to wyzwanie i zbadała możliwość wytworzenia membran oraz granul sorpcyjnych na bazie celulozy i tlenku grafenu. Wyniki badań opisała w publikacjach A6-A9. Otrzymane membrany charakteryzowały się znacznie lepszymi wlaściwościami od opisanych w literaturze, m.in. wyeliminowany został efekt *biofoulingu*. Zarówno membrany jak i granule nadają się do separacji kationów żelaza, ołowiu, niklu i cynku. Biorąc pod uwagę biobójcze wlaściwości tlenku grafenu Habilitantka przebadala oddziaływanie otrzymanych membran celuloza/GO na dwa szczepy bakterii oraz grzyby. Wyniki badań wykazały zahamowanie wzrostu bakterii oraz grzybów. Sposób otrzymywania membran celuloza/GO został zastrzeżony w zgłoszeniu patentowym, a szczegółowe badania ich wlaściwości biobójczych zostały opublikowane w Journal of Ecological Eng. Publikacja ta wpisuje się w osiągnięcie naukowe i powinna być zaliczona do listy „A” Habilitantki. Badania wykazały, że GO nie traci swoich wlaściwości biobójczych w kompozycie, a membrany kompozytowe celuloza/GO mogą znaleźć potencjalne zastosowanie jako biomateriały. Niejako pobocznie Habilitantka opracowała metodę otrzymywania granul celulozowych, które mogą być wykorzystane do produkcji ekologicznych nawozów sztucznych o przedłużonym czasie uwalniania. Metoda otrzymywania została zastrzeżona w zgłoszeniu patentowym Z1 a wyniki badań opublikowane w publikacji D10.

Opisane powyżej prace badawcze oraz odkrycia dr inż. Beaty Fryczkowskiej doskonale wpisują się w dyscyplinę inżynierii materiałowej i wnoszą istotny wkład w rozwój tej dyscypliny. Opracowane materiały mają bardzo duży potencjał aplikacyjny. Habilitantka nie poprzestała jednak tylko na technikach i metodach otrzymywania, ale wnikliwie prześledziła wlaściwości tych materiałów i zaproponowała wyjaśnienie zaobserwowanych zjawisk. Do takich dociekań naukowych należy zaliczyć dyskusję nad wyjątkowo dobrymi wlaściwościami transportowymi wszystkich otrzymanych membran. Uzyskanie takich wyników należy powiązać z metodą otrzymywania, a bardziej szczegółowo Habilitantka tłumaczy to tworzeniem kompleksów grafenu z jonami żelaza skutkującym tworzeniem kanałów przyspieszających transport wody przez membranę, co zostało opublikowane w artykule

naukowym A3. Habilitantka sporo uwagi poświęciła także mechanizmom tworzenia się porów oraz wpływowi dodatków (PANI, GO) na wielkość i strukturę porów w membranach, co opisała w publikacjach A1 i A2. Podkreślić należy także wnikliwe i szerokie badania właściwości finalnych materiałów oraz udane próby powiązania ich z oddziaływaniami na poziomie molekularnym. Uwagę zwraca też rzetelność Habilitantki przy powoływaniu się na dane literaturowe podczas dyskusji własnych wyników badań. Habilitantka zastosowała wiele instrumentalnych metod badawczych, takich jak mikroskopia skaningowa, szerokokątowa oraz niskokątowa dyfraktometria rentgenowska, techniki spektroskopowe, co świadczy o dobrym warsztacie naukowym oraz dużej wiedzy o poszczególnych metodach badań materiałów.

Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitantki

Dr inż. Beata Fryczkowska ma bogaty dorobek publikacyjny, z którego wynika, że oprócz badań przedstawionych jako podstawa uzyskania habilitacji, prowadzi ona także badania poświęcone innym materiałom polimerowym, a także syntezom nowych związków. Łączna liczba opublikowanych artykułów to 38, w tym po doktoracie 32. Są one opublikowane w czasopismach naukowych o światowym zasięgu o IF od 0.4 do 2.3. Wyniki badań Habilitantka prezentowała także na 54 konferencjach międzynarodowych i krajowych (52 po uzyskaniu stopnia doktora), a na jednej wygłosiła referat. Dr Fryczkowska jest współautorką trzech patentów i dwóch zgłoszeń patentowych.

Dr inż. Beata Fryczkowska aktywnie uczestniczyła w realizacji 9 projektów badawczych (1 międzynarodowy we współpracy z firmą amerykańską Buckeye Technologies, 7 krajowych finansowanych przez NCN oraz 2 projekty POIG realizowane w konsorcjach naukowych). W jednym projekcie była kierownikiem, w pozostałych wykonawcą. Odbyła dwa staże naukowe: trzymiesięczny w Politechnice Śląskiej w Gliwicach oraz krótki pobyt na Uniwersytecie Technicznym w Kownie. Jest także recenzentem w zagranicznych czasopismach z dyscypliny inżynieria materiałowa. Łącznie zrecenzowała 6 artykułów naukowych.

Za działalność naukową otrzymała czterokrotnie Nagrodę Rektora ATH.

Łączna liczba cytowań, bez autocytowań, wg bazy *Web of Science* wynosi 85, a Indeks Hirscha - 6. Sumaryczny *impact factor* wynosi 32,3. Parametry bibliograficzne są na dobrym poziomie. Dorobek naukowy po doktoracie należy uznać za znaczący.

Ocena dorobku dydaktycznego, organizacyjnego oraz współpracy międzynarodowej Habilitationki

Dr inż. Beata Fryczkowska bardzo intensywnie udziela się w dydaktyce w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Poza regularnymi zajęciami dydaktycznymi – seminariami i ćwiczeniami laboratoryjnymi dr Fryczkowska opiekuje się dyplomantami. Rozpiętość tematyki zajęć jest ogromna i dotyczy chemii organicznej, chemii ogólnej i nieorganicznej, fizycznej, analitycznej, biochemii, biomateriałów, polimerów, metod badawczych, korozji i zagrożeń cywilizacyjnych. Habilitationka była także promotorem 37 prac inżynierskich oraz 34 prac magisterskich. Wyniki badań uzyskane ze studentami są przedmiotem publikacji oraz zgłoszenia patentowego, co ukazuje dr Beatę Fryczkowską jako pasjonata nauki, który potrafi nią zainteresować młodzież. Habilitationka jest autorką dwóch skryptów „Ćwiczenia laboratoryjne z chemii organicznej”. W latach 2016-2018 była opiekunem studentów zagranicznych w ramach programu Erasmus. Od 2015 r. jest opiekunem koła naukowego pol-IM-er, a efektem jego działalności są publikacje naukowe.

Działalność organizacyjna Habilitationki obejmuje pracę w radzie Instytutu Włókiennictwa, Radzie Wydziału Nauk o Materiałach i Środowisku ATH oraz sześciu wydziałowych komisjach. Była także koordynatorem projektu „Budownictwo – mostem między tradycją regionu a nowoczesnością” odpowiedzialnym za przygotowanie programu, regulaminów, sprawozdań oraz organizację zajęć dydaktycznych w ramach projektu.

Współpraca międzynarodowa dr inż. Beaty Fryczkowskiej obejmuje udział w realizacji międzynarodowego projektu badawczego, udziału w programie Erasmus (opieka nad dwoma studentami zagranicznymi), udział w wielu konferencjach międzynarodowych, udział w organizacji konferencji 5th Central European Conference „Fiber-grade polymers, chemical fibers and special textiles”.

Dr inż. Beata Fryczkowska jest członkiem dwóch krajowych towarzystw naukowych.

Aktywność popularyzatorska Habilitationki jest także rozległa i polega na organizacji festiwali nauki, dni otwartych, nocy naukowców, realizacji projektu „Akademia Młodych Inżynierów”, prowadzeniu zajęć dla uczniów szkół średnich oraz organizacji otwartych wykładów tematycznych.

Podsumowując, dorobek naukowy, w tym publikacyjny, dydaktyczny i organizacyjny, dr inż. Beaty Fryczkowskiej jest wartościowy i mieści się w dyscyplinie inżynierii materiałowej.

Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z dokumentacją dotyczącą dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Beaty Fryczkowskiej stwierdzam, że spełnione są warunki określone w Art. 16 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789). Przedstawiony do oceny, jako osiągnięcie naukowe, cykl dwunastu artykułów naukowych pod wspólnym tytułem „Porowate materiały i kompozyty polimerowe: projektowanie, preparatyka, właściwości i zastosowanie” stanowi znaczący wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa. Na podkreślenie zasługuje opracowanie metody otrzymywania membran polimerowych o dużym potencjale aplikacyjnym oraz o właściwościach wyraźnie lepszych od membran stosowanych obecnie oraz wyjaśnienie zjawisk obserwowanych podczas procesu formowania membran, a także podczas ich testowania jako materiałów filtracyjnych.

Na podstawie przedstawionej oceny wnioskuję o nadanie dr inż. Beacie Fryczkowskiej stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Kraków, 27-11-2018

Jadwiga Laska