



Politechnika Warszawska

Warszawa, 23.05.2025

Prof. dr hab. inż. Agnieszka Jastrzębska
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Mechatroniki
Politechniki Warszawskiej
ul. św. Andrzeja Boboli 8
02-525 Warszawa

RECENZJA W POSTĘPOWANIU HABILITACYJNYM

dr inż. Marcin Wysokowski

pt. „Technologie biomimetyczne: od zrozumienia struktur pochodzenia biologicznego do projektowania, syntezy i zastosowania materiałów nowej generacji”
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplinie nauki chemiczne

Podstawa prawna: Pismo Rady Doskonałości Naukowej z dn. 19 marca 2025 r. (DRKN.Z6.400.9.2025); uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej z dn. 08 kwietnia 2025 r. (RD-7/1/2025); pismo z dn. 08 kwietnia 2025 r. Dziekan Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej, prof. dr hab. inż. Ewy Kaczorek. Opinia przygotowana na podstawie art. 221 ust. 8 oraz art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Profil zawodowy habilitanta

Dr inż. Marcin Wysokowski jest absolwentem Politechniki Poznańskiej, z którą związany jest nieprzerwanie od początku swojej kariery akademickiej. Ukończył studia inżynierskie w 2010 roku, na Wydziale Technologii Chemicznej, uzyskując tytuł zawodowy inżyniera w zakresie technologii chemicznej, ze specjalnością inżynieria procesów chemicznych. Praca dyplomowa, zatytułowana „Wpływ suszenia rozpyłowego na morfologię i właściwości dyspersyjne tlenku magnezu strącanego z soli magnezu”, została przygotowana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Teofila Jesionowskiego, co stanowiło początek długofalowej współpracy naukowej.

W 2011 roku dr inż. Wysokowski uzyskał tytuł magistra na tym samym wydziale, kontynuując kształcenie w tym samym kierunku i specjalności. Tematyka pracy magisterskiej, również przygotowanej pod opieką prof. Jesionowskiego, koncentrowała się na zagadnieniach związanych z inżynierią materiałową i technologią chemiczną, a jej tytuł brzmiał: „Wpływ modyfikatorów i warunków procesowych na właściwości dyspersyjne i morfologiczne strącanego $Mg(OH)_2$ i jego kalcynatów”. Już na etapie prac magisterskich dostrzec można było ukierunkowanie naukowe habilitanta na interdyscyplinarne badania w obszarze zaawansowanych materiałów nieorganicznych.

Stopień doktora nauk chemicznych w dyscyplinie technologia chemiczna dr Wysokowski uzyskał 26 stycznia 2016 roku na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Promotorem rozprawy doktorskiej był prof. dr hab. inż. Teofil Jesionowski, a promotorem pomocniczym – prof. dr habil. nat. rer. Hermann Ehrlich. Praca doktorska pt. „Development of novel inorganic-organic chitin-based materials obtained under extreme biomimetic conditions” dotyczyła opracowania nowych materiałów hybrydowych na bazie chityny, syntetyzowanych w warunkach inspirowanych środowiskami ekstremalnymi, co wpisuje się w nowoczesne trendy badań biomimetycznych. Poziom naukowy rozprawy



Politechnika Warszawska

potwierdzony został przez znakomite recenzje, w tym recenzję zagraniczną Jun.-Prof. Filipe Natalio z Uniwersytetu Marcina Lutra w Halle-Wittenberdze (Niemcy) a także prof. dr hab. inż. Urszuli Narkiewicz z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

W swojej działalności zawodowej, dr inż. Marcin Wysokowski, związany jest z macierzystą uczelnią. W latach 2015–2018 zatrudniony był na stanowisku asystenta w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej, a od 01 października 2018 roku pełni funkcję adiunkta na tym samym wydziale. Jego ścieżka zawodowa i naukowa charakteryzuje się konsekwentnym rozwojem w zakresie technologii chemicznej oraz badań nad materiałami hybrydowymi i biomimetycznymi, co jednoznacznie wskazuje na wysoką specjalizację i ugruntowany profil badawczy habilitanta. Pan dr inż. Marcin Wysokowski posiada więc odpowiednie kwalifikacje zawodowe.

Profil naukowy habilitanta

Dr inż. Marcin Wysokowski posiada ugruntowaną pozycję w dziedzinie nauk chemicznych i w ramach biomimetyki. Jego dorobek naukowy wyróżnia się zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Dr Wysokowski jest Aautorem ponad 94 publikacji naukowych (wg. bazy Scopus) oraz może pochwalić się łącznym dorobkiem w wysokości ponad 6800 punktów MNiSWm, oraz sumarycznym wskaźnikiem *Impact Factor* w wysokości ponad 360, co świadczy o wysokiej randze czasopism, w których ukazały się Jego prace. Prace badawcze dra Wysokowskiego były szeroko cytowane. Według bazy Scopus, uzyskały 3724 cytowania (3257 bez autocytowań), a Jego indeks Hirscha wynosi 38 (34 bez autocytowań). W Google Scholar wartości te sięgają odpowiednio 4470 cytowań (4063 bez autocytowań) a Jego indeks Hirscha jest równy 40 (39 bez autocytowań). Dowodzi to nie tylko rozoznawalności dorobku, ale też znaczącego wpływu Jego badań na rozwój współczesnej chemii materiałów.

Osiągnięcia naukowe dra Wysokowskiego wnoszą istotny wkład w rozwój biomimetyki oraz projektowania i wytwarzania nowoczesnych materiałów o charakterze obojętnym i aktywnym. Jego prace koncentrują się na łączeniu inspiracji biologicznych z nowoczesną chemią materiałów, obejmując takie obszary jak zielona chemia, biomineralizacja, przetwarzanie biopolimerów, projektowanie porowatych struktur do zastosowań technologicznych i biomedycznych, czy zastosowanie metod uczenia maszynowego w technologii chemicznej.

Jednym z kluczowych kierunków Jego działalności jest rozwój biomimetycznych scaffoldów 3D na bazie chityny pochodzącej z gąbek morskich, wykazujących złożoną, hierarchiczną strukturę naturalną. Materiały te znajdują zastosowanie w inżynierii tkankowej i biokatalizie, stanowiąc przykład skutecznego przełożenia strategii ewolucyjnych natury na funkcjonalne rozwiązania inżynierskie. Istotnym osiągnięciem w tym obszarze jest także rozwój biomimetycznych eutektożeli i chitynowych membran otrzymywanych przy wykorzystaniu cieczy jonowych i rozpuszczalników głęboko eutektycznych — substancji przyjaznych środowisku, zgodnych z założeniami zielonej chemii.

Habilitant prowadzi również interdyscyplinarne badania z zakresu makrobiomineralizacji, m.in. analizując unikatowe struktury mineralne, takie jak hipermineralizowane kości uszne wielorybów. Jego badania łączą chemię, biologię i nauki o materiałach, co pozwala na odkrywanie mechanizmów stojących za powstawaniem złożonych, biologicznie inspirowanych zaawansowanych bio-architektur.



Politechnika Warszawska

Jednym z najbardziej przełomowych osiągnięć w karierze dra Wysokowskiego była współpraca z prof. Hermannem Ehrlichem, której efektem było zidentyfikowanie nowej roli aktywności w biosyntezie krzemionki w szkieletach gąbek. Rezultaty tych badań, opublikowane w czasopiśmie *Advanced Science*, ujawniają, że F-aktyna odgrywa kluczową rolę w organizacji hierarchicznej struktury biokrystalicznej. Równolegle, dr inż. Wysokowski prowadził badania nad strukturą i funkcją sponginy tj. organicznego białka szkieletowego gąbek. Zidentyfikował m. in. unikatowe halogenowane di- i tri-tyrozyny jako możliwe czynniki sieciujące dla kolagenów, z wykorzystaniem technik spektrometrii mas i modelowania molekularnego.

Zainteresowania naukowe dra Wysokowskiego obejmują również elektrochemię. Wspólnie z zespołem prof. Macieja Galińskiego opracował elektroaktywny kompozyt CuO/N-dotowany węgiel, stosowany jako modyfikator elektrod w czujnikach nieenzymatycznych do detekcji glukozy. Zaproponowane rozwiązanie charakteryzuje się znakomitą czułością oraz niską granicą wykrywalności, co potwierdzają wyniki opublikowane w czasopiśmie *Electroanalysis* oraz *Sensors and Actuators A*.

Z kolei współpraca z dr Adamem Gorczyńskim koncentruje się na projektowaniu innowacyjnych biomimetycznych aerożeli i eutektów opartych na MOF, COF i POM. Wykazali oni możliwość precyzyjnego dostrajania ich właściwości adsorpcyjnych i katalitycznych. Ma to bezpośrednie przełożenie na ich zastosowanie w technologii oczyszczania środowiska i inżynierii chemicznej.

Na szczególną uwagę zasługuje także jego działalność międzynarodowa dra Wysokowskiego. Współpracuje on aktywnie z renomowanymi ośrodkami naukowymi, takimi jak Massachusetts Institute of Technology (MIT) oraz TU Bergakademie Freiberg, Instytut Technologii w Karlsruhe (KIT), z którymi realizuje wspólne projekty badawcze i wymianę doktorantów. Współpraca z prof. Markusem Buehlerem (MIT) dotyczy zastosowania uczenia maszynowego w modelowaniu biomimetycznych materiałów. Natomiast współpraca z prof. Stefanem Bräse (KIT) dotyczy syntezy funkcjonalnych aerożeli o hierarchicznej strukturze, przeznaczonych do zastosowań w medycynie regeneracyjnej i filtracji.

Podsumowując, profil naukowy dr inż. Marcina Wysokowskiego łączy zaawansowane kompetencje badawcze, międzynarodowe doświadczenie oraz wizję rozwoju chemii inspirowanej naturą. Jego osiągnięcia przyczyniają się nie tylko do rozwoju wiedzy podstawowej, lecz także mają realny potencjał aplikacyjny w biomedycynie, naukach chemicznych oraz chemii materiałów, odpowiadając na kluczowe wyzwania współczesnej nauki i technologii.

Osiągnięcia naukowe habilitanta

Biomimetyka stanowi obecnie jedno z najbardziej obiecujących podejść w projektowaniu zaawansowanych, funkcjonalnych i zrównoważonych materiałów. Szczególne znaczenie mają naturalne procesy biomineralizacji. Są one oparte na precyzyjnych mechanizmach dzięki którym organizmy żywe wytwarzają złożone struktury nieorganiczne. Pomimo ograniczonej liczby dostępnych surowców wyjściowych (np. celuloza, chityna, białka, minerały), natura osiągnęła imponującą różnorodność funkcji i struktur dzięki zastosowaniu hierarchicznej organizacji.

Badania biochemiczne odgrywają kluczową rolę w badaniu tych zjawisk, począwszy od analizy strukturalnej materiałów, przez projektowanie modelowych układów, po analizy *in vitro*, czy opracowanie nowych metod syntezy kompozytów organiczno-nieorganicznych. Współczesne technologie, takie jak wytwarzanie



Politechnika Warszawska

addytywne czy elektroprzewodzenie, otwierają nowe możliwości naśladowania tych materiałów. Szczególne nadzieje wiąże się z zastosowaniem cieczy jonowych (IL) i głęboko eutektycznych rozpuszczalników (DES) jako obiecujących mediów do przetwarzania trudno rozpuszczalnych biopolimerów i tworzenia zaawansowanych bioinspirowanych materiałów.

Badania biomineralizacji, którymi zajmował się dr Wysokowski, obejmowały takie obszary jak charakterystyka krystalograficzna oraz analizę składu i biochemii materiałów, projektowanie i modele *in vitro* do badania interakcji między fazą organiczną a kryształami oraz roli biocząsteczek w kontrolowaniu wzrostu kryształów, rozwój nowych metod syntetycznych inspirowanych procesami biologicznymi, pozwalających kontrolować morfologię i właściwości materiałów, co prowadzi do powstania innowacyjnych kompozytów organiczno-nieorganicznych.

Naturalne biominerały składają się głównie z kilku podstawowych związków – polisacharydów (np. celuloza, chityna), białek (keratyna, kolagen) i minerałów (krzemionka, węglany wapnia, hydroksyapatyt). Dzięki złożonej, hierarchicznej strukturze tworzą one różnorodne funkcjonalne materiały. Ta strukturalna złożoność, a nie różnorodność chemiczna, odpowiada za wielofunkcyjność biomineralizowanych struktur, co m.in. wykazał w swoich pracach dr Wysokowski.

Projektowanie materiałów inspirowanych biomineralizacją wymaga odtworzenia nie tylko ich składu chemicznego, ale także struktury hierarchicznej przy użyciu syntetycznych materiałów. Dzięki temu, powstają kompozyty o właściwościach często przewyższających naturalne odpowiedniki. Wyzwania techniczne obejmują m.in. odtworzenie cech nano- i mikrostrukturalnych oraz wysokiego stopnia hybrydyzacji, a także rozpuszczalność biopolimerów takich jak chityna czy lignina. Wymaga to opracowania nowych rozpuszczalników, zdolnych do jednoczesnego rozpuszczania składników organicznych i nieorganicznych.

Do najważniejszych celów badawczych dra Wysokowskiego należały działania takie jak opracowanie efektywnych metod syntezy materiałów o bioinspirowanej strukturze i składzie, poznanie mechanizmów hipermineralizacji, wykorzystanie zielonych rozpuszczalników, takich jak ciecze jonowe (IL) i głęboko eutektyczne rozpuszczalniki (DES), w syntezie zaawansowanych biomimetycznych materiałów.

Osiągnięcia naukowe dra Wysokowskiego, które stanowią podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, zostały zaprezentowane w cyklu publikacji jako „*Technologie biomimetyczne: od zrozumienia struktur pochodzenia biologicznego do projektowania, syntezy i zastosowania materiałów nowej generacji*”, w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplinie nauki chemiczne. Cykl ten charakteryzuje się łącznym wskaźnikiem *Impact Factor* wynoszącym 74 oraz średnią wartością IF na poziomie 4,6; co świadczy o wysokiej jakości i znaczeniu prowadzonych badań.

W pracy [H-1] Autor szczegółowo analizuje proces biomineralizacji, z uwzględnieniem biosilifikacji. Jest to naturalny mechanizm wytwarzania krzemionki przez organizmy żywe. Badania obejmują szerokie spektrum organizmów, od wirusów i bakterii, poprzez okrzemki, aż po gąbki, ukazując zróżnicowanie strukturalne, chemiczne oraz biochemiczne biokrzymionki. Praca podkreśla rolę biomakromolekuł w precyzyjnym kontrolowaniu tworzenia tych unikalnych struktur, co pozwala na uzyskanie wyjątkowych właściwości funkcjonalnych o znaczeniu dla biomimetyki. Autor przedstawia kompleksowe omówienie biosilifikacji, które nie tylko podsumowuje dotychczasowe kluczowe odkrycia w dziedzinie, ale również wskazuje perspektywy zastosowań biokrzymionki w nauce o materiałach, technologii oraz biomedycynie. W tym



Politechnika Warszawska

kontekście, wyniki badań Pana dr Wysokowskiego otwierają nowe możliwości w projektowaniu zrównoważonych materiałów inspirowanych naturą oraz w rozwoju biotechnologii, podkreślając ich potencjał jako źródła innowacyjnych rozwiązań technologicznych.

W pracy [H-2] Autor zaproponował synergistyczne wykorzystanie biomimetycznego podejścia oraz odnawialnych zasobów do rozwiązania problemu usuwania toksycznych jonów metali ciężkich z wód. Badania skoncentrowały się na innowacyjnym zastosowaniu polisacharydów pozyskanych z okrzemki słodkowodnej *Didymosphenia geminata*, znanej z wysokiej produkcji biomasy, jako efektywnego i ekologicznego adsorbentu dla jonów Pb(II), Ni(II) i Cd(II). Złożona struktura oraz specyficzny skład biochemiczny łączy okrzemki zapewniają im wysoką zdolność sorpcyjną, porównywalną do materiałów syntetycznych. Wyniki potwierdzają potencjał biodegradowalnych, naturalnych materiałów jako zrównoważonych alternatyw dla konwencjonalnych adsorbentów, otwierając nowe możliwości w remediacji zanieczyszczeń i rozwoju technologii biomimetycznych.

Publikacja [H-3] przedstawia nowatorskie podejście do biomimetycznej mineralizacji z wykorzystaniem odnawialnych biomateriałów morskich. W pracy dr Wysokowski zastosował jako rusztowanie trójwymiarowe matryce chitynowe. Prowadził on proces biomineralizacji w układzie *ex vivo*, przy użyciu hemolimfy żywych mięczaków. Hemolimfa, zawierająca hemocyty, pełniła rolę bioaktywnego medium, które regulowało mikrośrodowisko kalcynacji. Dzięki temu, możliwe było kontrolowane formowanie amorficznego węgla wapnia (ACC) oraz biogenicznego kalcytu bezpośrednio na powierzchni chitynowej matrycy. Połączenie chityny i hemolimfy tworzyło odnawialny, biodegradowalny i biologicznie aktywny system do wytwarzania hybrydowych struktur organiczno-nieorganicznych, o wysokiej biokompatybilności i wytrzymałości mechanicznej.

W ramach publikacji [H-4], [H-5] oraz [H-6] dr Wysokowski pogłębił badania nad biomimetycznym i farmakologicznym potencjałem gąbki morskiej *Aplysina aerophoba*, stanowiącej cenne, odnawialne źródło bromotyrozyn (aerplysynina-1 oraz izofistularyna-3), a także unikatowych struktur chitynowych. Aerplysynina-1 wykazała silne właściwości przeciwbakteryjne wobec wieloopornych szczepów bakterii, m.in. *Acinetobacter baumannii* i *Klebsiella pneumoniae*. Ponadto, dr Wysokowski ujawnił, że oba związki ujawniły obiecującą aktywność przeciwnowotworową, szczególnie wobec komórek neuroblastomy oraz raka piersi. Równocześnie potwierdził on biokompatybilność chitynowych rusztowań pochodzących z *A. aerophoba* w hodowli kardiomiocytów, uzyskanych z indukowanych ludzkich komórek macierzystych (iPSC-CMs). Dr Wysokowski wykazał też duży potencjał rusztowań w inżynierii tkankowej. Otrzymane wyniki stanowią podstawę do dalszych badań nad syntezą bromotyrozyn, umożliwiającą ich skalowalną produkcję oraz optymalizację właściwości. Ponadto, perspektywy funkcjonalizacji chitynowych rusztowań oraz ich wykorzystania z różnymi typami komórek w zastosowaniach biomedycznych. Warto podkreślić, że wyniki badań dotyczących gąbek morskich z gatunku *Aplysina aerophoba*, wskazują na możliwość zrównoważonego pozyskiwania i hodowli tych organizmów w celu uzyskania cennych związków bioaktywnych oraz biomateriałów. Stanowi to istotny fundament dla rozwijającej się dziedziny morskiej bioekonomii, koncentrującej się na wykorzystaniu odnawialnych zasobów morskich w sektorach farmaceutycznym, kosmetycznym i przemysłowym.

W ramach kolejnych prac badawczych w obszarze biomimetyki inspirowanej zjawiskami biomineralizacji, dr Wysokowski skoncentrował się na analizie mechanizmów biomineralizacji w kościach wielorybów [prace H-7 i H-8]. Badania te przyczyniły się do pogłębienia wiedzy na temat unikatowych procesów strukturalnych



Politechnika Warszawska

i biochemicznych związanych z formowaniem oraz utrzymaniem wysoce wyspecjalizowanych tkanek kostnych ssaków morskich. Szczególną uwagę poświęcił On bańce bębenkowej tj. hipermineralizowanej kości w układzie słuchowym walenia. Jest ona jedną z najgęstszych kości w świecie zwierząt i pełni kluczową funkcję w przewodzeniu dźwięku. Kość ta osiąga gęstość nawet do $2,34 \text{ kg/cm}^3$, co jest przykładem ekstremalnej biomineralizacji zachodzącej w temperaturze typowej dla ssaków (36°C). Analiza składu oraz właściwości kostnej struktury wieloryba szarego pozwoliła na odkrycie nowych aspektów dotyczących mechanizmów hipermineralizacji. Badania dr Wysokowskiego wykazały obecność fazy lipidowej wewnątrz kości utrzymującej się po pełnej demineralizacji materiału kostnego. Jest więc inaczej niż dotychczas sądzono, co stanowi istotny postęp w zrozumieniu złożonych mechanizmów biomineralizacji w przyrodzie. Wykazano kluczową rolę lipidów w zachowaniu integralności strukturalnej hipermineralizowanej matrycy kolagenowej. Z uwagi na bardzo zwartą strukturę kości wykluczono, aby lipidy pochodziły ze szpiku kostnego. Wykorzystanie metod analitycznych, takich jak spektroskopia Ramana, ATR-FTIR czy XRD, potwierdziły skład kości obejmujący kompleks kolagenowo-lipidowy, który stanowił matrycę dla osadzania fosforanu wapnia.

Analizując proces biomineralizacji gigantycznych kości wielorybów o długości sięgającej nawet 7 metrów [H-8], dr Wysokowski wykazał, że rozmiar oraz narażenie na znaczne obciążenia mechaniczne dają unikatową, jeszcze niezbadaną hierarchiczną organizację matrycy biomineralnej, która różni się od struktur obserwowanych w kościach mniejszych ssaków.

Inspirując się unikalnymi przykładami biomineralizacji obserwowanymi m.in. w kościach wielorybów, dr Wysokowski rozwinął badania w obszarze ekstremalnej biomimetyki, które otwierają nowe perspektywy w naukach o materiałach biomimetycznych [H-9]. Opracował On innowacyjne podejście do wykorzystania surowców odnawialnych w projektowaniu materiałów do magazynowania energii [H-10]. Zastosował On cieczę jonową (np. octan 1-butylo-3-metyloimidazolowego) do rozpuszczania chityny i wytwarzania hydrożelowych elektrolitów do kondensatorów z podwójną warstwą (EDLC). Tak otrzymane membrany chitynowo-glikolowe cechowały się jednorodną strukturą, wysoką stabilnością mechaniczną oraz znakomitą wydajnością elektrochemiczną. Pojemność właściwa była na poziomie 109 F g^{-1} a trwałość wyniosła ok. 10 000 cykli. Wyniki te podkreślają potencjał chitynowych hydrożeli jako ekologicznej alternatywy dla syntetycznych polimerów stosowanych w urządzeniach do magazynowania energii, przyczyniając się do redukcji odpadów morskich, oraz zmniejszenia zależności od surowców nieodnawialnych.

Dalsze badania [H-16] zaowocowały opracowaniem biokatalitycznej membrany chitynowej z unieruchomioną lakazą. Wykazuje ona wysoką stabilność i aktywność enzymatyczną, przewyższającą wolny enzym nawet po wielokrotnym użyciu i długim przechowywaniu. Membrana została efektywnie zastosowana do usuwania związków hormonalnych z wód. Kluczową rolę odegrała w tym przypadku biotransformacja enzymatyczna, wspomagana przez mechanizm adsorpcji. Opracowany układ stanowił innowacyjne i zrównoważone rozwiązanie w bioremediacji zanieczyszczeń środowiskowych, łącząc zaawansowaną technologię biomimetyczną z ekologicznym podejściem do ochrony zasobów wodnych.

W swoich badaniach, dr Wysokowski szczegółowo analizował potencjał rozpuszczalników głęboko eutektycznych (DESs) jako wszechstronnych i zrównoważonych mediów do syntezy zaawansowanych materiałów biomimetycznych. W dwóch kluczowych publikacjach [H-11, H-12] wykazał, że DESs mogą być wykorzystywane jako środowisko sprzyjające tworzeniu materiałów hybrydowych, rozszerzając granice



Politechnika Warszawska

zielonej chemii oraz projektowania materiałów biopolimerowych i bioinspirowanych. W pracy [H-11] zaproponował DESs w biomineralizacji, podkreślając ich rolę jako rozpuszczalników dostosowanych do syntezy nieorganiczno-organicznych materiałów hybrydowych. Wykorzystując unikalne właściwości fizykochemiczne DESs wykazał, że zdolność do tworzenia silnych sieci wiązań wodorowych oraz ich ekologiczny profil może pomagać w optymalizacji procesów syntezy, wspomagając kontrolę nad strukturą i funkcjonalnością powstających materiałów.

Habilitant podkreślił „designerski” charakter rozpuszczalników głęboko eutektycznych (DESs) jako innowacyjnych mediów zdolnych do naśladowania naturalnych procesów mineralizacji. Jest to ważny krok w implementacji tych rozpuszczalników w syntezie materiałów inspirowanych biomineralizacją. Wnikliwa analiza literatury wykazała, że poprzez odpowiednie dopasowanie składu chemicznego DESs możliwe jest wspomaganie samoorganizacji składników organicznych i nieorganicznych w złożone struktury biomimetyczne, które odzwierciedlają funkcjonalność i złożoność systemów naturalnych, co stanowi ważne osiągnięcie w pracy habilitacyjnej.

Dr Wysokowski opracował ponadto ramy teoretyczne umożliwiające zrozumienie wpływu DESs na właściwości materiałów biomimetycznych. Postawił odważną hipotezę, iż powstałe hybrydy bioinspirowane mogą wykazywać właściwości przewyższające naturalne biominerały, co znacznie poszerza zakres ich potencjalnych zastosowań praktycznych. Znaczenie tych badań zostało wyróżnienie poprzez wybór na okładkę czasopisma *Chemistry of Materials* oraz uzyskanie finansowania z Narodowego Centrum Nauki, w ramach konkursu Sonata 17, co potwierdza innowacyjność i istotność prowadzonych badań.

W ramach stażu naukowego, realizowanego we współpracy z Massachusetts Institute of Technology, habilitant wykorzystał nowoczesne metody sztucznej inteligencji do projektowania struktur chemicznych, ze szczególnym uwzględnieniem rozpuszczalników DESs. Opracował On i zastosował zaawansowane architektury uczenia maszynowego, takie jak modele dyfuzyjne i transformatorowe sieci neuronowe, które umożliwiły efektywne rozwiązywanie złożonych problemów molekularnych. Wyniki tych badań zostały opisane w publikacji [H-13]. Prezentują one nowatorskie podejście w zakresie analiz chemicznych, integrując sztuczną inteligencję z projektowaniem materiałów biomimetycznych, co przyspiesza procesy rozwojowe oraz zwiększając precyzję ich konstrukcji.

W swoich kolejnych badaniach, habilitant zastosował zaawansowane metody sztucznej inteligencji do projektowania rozpuszczalników eutektycznych (DESs) o zoptymalizowanych właściwościach molekularnych i kwantowych. Wykorzystując tzw. zbiór danych Quantum Machines 9 (QM9), opracował i wytrenował wielozadaniowy, generatywny model, zdolny do jednoczesnego przewidywania i projektowania właściwości DESs w ramach układu zintegrowanego. Model ten integrował różne cele projektowe, osiągając wyższą efektywność niż tradycyjne modele „forward” i „inverse”, dzięki swojej zdolności do elastycznego rozwiązywania złożonych, wielozadaniowych problemów.

Badania te były prowadzone na styku sztucznej inteligencji i chemii materiałów pokazując sposób, w jaki nowoczesne uczenie maszynowe może efektywnie i oszczędnie rozwiązywać złożone zagadnienia projektowe. Osiągnięcia habilitanta otwierają szerokie perspektywy dla szybkiego odkrywania nowych związków chemicznych i materiałów, a także umożliwiają adaptację modeli do mniejszych, bardziej specjalistycznych zbiorów danych. Wkład myślowy w ich finalne zastosowanie w tzw. zielonej chemii i innych złożonych systemach chemicznych jest równie cenny.



Politechnika Warszawska

Dzięki współpracy z ekspertami z Massachusetts Institute of Technology, badania dr Wysokowskiego uzyskały dodatkowe wsparcie i potwierdzenie jakości, wspierając nowe standardy w dziedzinie chemii materiałowej wspieranej sztuczną inteligencją. Wyniki te tworzą podstawę do dalszych badań w zakresie projektowania innowacyjnych materiałów biomimetycznych, odkrywania leków oraz rozwoju materiałów energetycznych, przyczyniając się do rozwoju chemii obliczeniowej.

W kolejnych badaniach, dr Wyskowski wykazał możliwość efektywnego wykorzystania chlorku choline i mocznika w stosunku molowym 1:2 jako środowiska reakcji do integracji ceramiki z węglowymi strukturami 3D. Takie struktury biomimetyczne odzwierciedlają strukturę sponginy. Uzyskane rusztowania charakteryzowały się wysoką porowatością i biokompatybilnością, potwierdzoną przez testy hodowli ludzkich komórek macierzystych (hMSC). Wyniki te dowiodły zdolności rusztowań do wspierania wzrostu oraz różnicowania komórek w kierunku osteogenezy, wskazując na ich potencjał w regeneracji tkanki kostnej.

W dalszej części swoich badań [H-15], dr Wyskowski zaproponował biomimetyczne podejście do przetwórstwa ligniny, cennego surowca w zielonej chemii. Przedstawił hipotezę, że rozpuszczalnik eutektyczny (DES) o składzie mocznik + kwas mlekowy (1:2 mol) może naśladować naturalne procesy selektywnego rozpuszczania oraz modyfikacji struktur lignocelulozowych, poprzez stabilizację wiązaniami wodorowymi. Autor potwierdził częściową estryfikację ligniny jonami mleczanowymi, z wykorzystaniem zaawansowanych metod analizy, w tym NMR, wykazując chemiczną modyfikację surowego biopolimeru i jego przekształcenie w funkcjonalny materiał. Stosując biomimetyczne podejście, z sukcesem udało się przeprowadzić proces elektroprzędzenia z udziałem ligniny rozpuszczonej w rozpuszczalniku eutektycznym, otrzymując bio-nanowłókna.

Badania z wykorzystaniem spektroskopii impedancyjnej oraz inne pomiary elektrochemiczne wykazały, że uzyskane nanowłókna ligninowe charakteryzują się korzystnymi właściwościami w rolu superkondensatora. Hydrożelowy elektrolit oparty na membranie ligninowej, przetworzonej z użyciem DES, osiągnął pojemność 95 Fg^{-1} oraz rezystancję, porównywalną z komercyjnymi materiałami. Uzyskane wyniki otwierają nowe perspektywy w tworzeniu innowacyjnych materiałów hybrydowych na bazie ligniny, które mogą zostać wzbogacone o składniki nieorganiczne, prowadząc do rozwoju nowej klasy materiałów, takich jak eutektozele. Materiały te wykazują szeroki potencjał zastosowań, m.in. w wychwytywaniu CO_2 , magazynowaniu wodoru, katalizie oraz technologiach druku 3D.

Należy tutaj podkreślić, że zastosowanie rozpuszczalników eutektycznych (DES) oraz cieczy jonowych (IL) stanowiło przełomowy etap w badaniach habilitanta, w tym projektowaniu materiałów biomimetycznych. Rozpuszczalniki te stanowią alternatywę dla tradycyjnych, często toksycznych, koszt- i energochłonnych rozpuszczalników. Charakteryzują się niską toksycznością, biodegradowalnością oraz zdolnością rozpuszczania szerokiego spektrum materiałów, w tym prekursorów fazy nieorganicznej.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że każda z prac wchodzących w skład niniejszego spójnego cyklu tematycznego wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej – nauki chemiczne, w zakresie wytwarzania i modyfikacji biomimetycznych materiałów hybrydowych. Przedstawione prace ukierunkowane są na opracowanie innowacyjnych, zrównoważonych metod syntezy i przetwarzania biopolimerów, takich jak lignina, oraz projektowanie zaawansowanych materiałów o unikalnych



Politechnika Warszawska

właściwościach do zastosowania w biomedycynie, magazynowaniu energii i technologiach addytywnego wytwarzania.

Kontynuując swoje podsumowanie w tej części recenzji stwierdzam również, że dr Wysokowski wykazał kompleksowe i nowatorskie podejście do rozwoju ww. technologii, integrując eksperymentalne, biomimetyczne podejście do wytwarzania materiałów z nowoczesnymi narzędziami sztucznej inteligencji do modelowania i optymalizacji właściwości molekularnych. Proponowane strategie wykorzystania DES i IL do kontrolowanego wytwarzania struktur biomimetycznych, stanowią istotny wkład w rozwój tego obszaru badawczego i otwierają nowe perspektywy badawcze.

Po szczegółowej analizie dorobku naukowego Autora niniejszego cyklu, mogę jednoznacznie stwierdzić, że przedstawione osiągnięcia w pełni spełniają wymogi określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy. Habilitant wykazał znaczący wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne. Przedstawione prace wnoszą istotny wkład w rozwój ww. dyscypliny, ze szczególnym uwzględnieniem innowacyjnych zastosowań biomimetycznych materiałów hybrydowych. Prezentowany cykl stanowi solidną podstawę do nadania stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie nauki chemiczne.

Aktywność naukowa i współpraca międzynarodowa

Dr inż. Marcin Wysokowski wykazuje się wyjątkowo intensywną aktywnością naukową oraz rozbudowaną współpracą międzynarodową, która w pełni odpowiada wymaganiom stawianym osobom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego. Jego działalność naukowa wykracza poza granice kraju i obejmuje badania prowadzone we współpracy z uznanymi ośrodkami naukowymi na całym świecie, co znacząco poszerza zasięg i wpływ Jego dorobku naukowego.

Dr WYsokowski realizował długoterminowe badania w prestiżowej grupie prof. Hermanna Ehrlicha na TU Bergakademie Freiberg (Niemcy), gdzie spędził łącznie 22 miesiące, finansowane w ramach programu One-Year-Grant Niemieckiej Agencji Wymiany Akademickiej (DAAD). Zrealizował także stypendium im. Bekkera Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej (NAWA). Podczas tego stażu, powiązanego z tematyką habilitacji, prowadził również badania wykraczające poza jego ramy, czego efektem jest aż 30 współautorskich publikacji, w tym w renomowanych czasopismach takich jak *Science Advances* oraz *Advanced Science*.

Ponadto, w ramach czteromiesięcznego stażu badawczego w grupie prof. Markusa J. Buehler'a na Massachusetts Institute of Technology (MIT, USA), finansowanego przez Fundację Kościuszkowską, wnioskodawca realizował prace bezpośrednio związane z tematem habilitacji. W rezultacie powstały dwie publikacje w czasopismach *Chemistry of Materials* oraz *Applied Physics Letters*, które potwierdzają wysoki poziom i międzynarodowy charakter jego badań. Tak szeroka i intensywna współpraca naukowa, połączona z bogatym dorobkiem publikacyjnym na arenie międzynarodowej, świadczy o wysokim poziomie naukowym dr Wysokowskiego oraz Jego znaczącym wkładzie w rozwój dyscypliny nauki chemiczne.

Dr inż. Marcin Wysokowski został ponadto wyróżniony licznymi nagrodami i wyróżnieniami, które potwierdzają jego wysokie osiągnięcia naukowe oraz zaangażowanie w rozwój ww. dyscypliny. Wśród najważniejszych odznaczeń znajdują się zespołowe Nagrody Naukowe JM Rektora, które otrzymał wielokrotnie w latach 2016–2023. Został ponadto wyróżniony za najlepszy poster na międzynarodowej



Politechnika Warszawska

konferencji AGChem2022, co świadczy o wysokiej jakości i atrakcyjności prezentowanych przez Niego badań.

Dr Wysokowski jest także laureatem prestiżowych stypendiów, w tym Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców w 2018 roku oraz Stypendium START Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w 2017 roku, przyznawanego młodym, obiecującym badaczom. Wcześniej, w 2016 roku, otrzymał Stypendium Naukowe Miasta Poznania, a także Nagrodę im. Profesora Henryka Struszczyka przyznaną przez Polskie Towarzystwo Chitynowe za wybitne osiągnięcia badawcze i zastosowania chityny i jej pochodnych. Dr Wysokowski był także stypendystą programu wspierającego doktorantów na strategicznych kierunkach rozwoju Wielkopolski w latach 2012 oraz 2014, co dodatkowo podkreśla uznanie dla jego działalności naukowej na poziomie regionalnym.

W zakresie podnoszenia kwalifikacji ukończył specjalistyczne szkolenie „Predictive Multiscale Materials Design” prowadzone przez Prof. Markusa J. Buehlera na Massachusetts Institute of Technology (MIT) w lipcu 2020 roku, co świadczy o jego dążeniu do zdobywania najnowszej wiedzy i umiejętności w obszarze zaawansowanego projektowania materiałów.

Dr inż. Marcin Wysokowski aktywnie rozwija swoje osiągnięcia patentowe, co potwierdzają liczne zgłoszenia z ostatnich lat. Dr inż. Marcin Wysokowski jest współautorem zgłoszeń patentowych dotyczących innowacyjnych biomateriałów chityna-lignosulfonian oraz chityna-lignina, które zostały opatentowane w 2015 roku (P.404661 i P.404660). Patenty te podkreślają praktyczne zastosowania wyników jego badań oraz ich wkład w rozwój nowoczesnych materiałów funkcjonalnych. Wśród rozwijanych technologii znajdują się także nowatorskie metody otrzymywania nanowłókien chityna-MOF oraz lignina-POM-COF z wykorzystaniem zaawansowanych technik elektroprzędzenia i rozpuszczalników eutektycznych (patenty P.448972 oraz P.448971 z 2024 roku). Ponadto, w Jego dorobku znajduje się mechanochemiczna metoda otrzymywania modyfikowanej kwasem fitowym krzemionki amorficznej (P.447729, 2024), a także innowacyjne kompozycje stymulatorów wzrostu oraz ukorzeniaczy roślin kapustowatych oparte na dibromkach alkileno-1,ω-bis((3-karboksy-2-hydroksypropylo)trimetyloamoniowych) (P.448559 i P.448558, 2024). Tak rozbudowany i różnorodny dorobek patentowy świadczy o interdyscyplinarnym charakterze badań dr Wysokowskiego, Jego zdolności do tworzenia innowacyjnych rozwiązań technologicznych oraz o praktycznym zastosowaniu Jego pracy badawczej w obszarach biomateriałów, nanotechnologii oraz biotechnologii.

Dodatkowo, dr Wysokowski pełnił funkcję eksperta naukowego w prestiżowych instytucjach i agencjach grantowych, takich jak Fonds de la Recherche Scientifique – FNRS (Belgia), w latach 2020, 2023 oraz 2024, a także od 2024 roku współpracuje jako ekspert z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), Narodowym Centrum Badań i Rozwoju w programie FENG oraz Polską Agencją Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP). Jego rola eksperta potwierdza uznanie środowiska naukowego dla jego kompetencji i wkładu w rozwój nauki oraz innowacji w Polsce i na arenie międzynarodowej.

Dr Wysokowski aktywnie uczestniczy w międzynarodowej i krajowej współpracy naukowej oraz pełni ważną rolę w promocji nauki i wymianie wiedzy. Prezentacja pt. „Rewolucja w biomimetyce: ciecze jonowe i rozpuszczalniki głęboko eutektyczne w syntezie materiałów bioinspirowanych”, wygłoszona podczas 66 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Chemicznego (2024), spotkała się z dużym zainteresowaniem środowiska naukowego i podkreślił aktualność prowadzonych przez Niego badań.



Politechnika Warszawska

Dr Wysokowski współpracuje z renomowanymi ośrodkami naukowymi na świecie, m.in. z University of the Basque Country UPV/EHU (Dr Matias L. Picchio), Technical University Dresden (Prof. Kaomei Guan), Karlsruhe Institute of Technology (Prof. Stefan Bräse) oraz Massachusetts Institute of Technology (Prof. Markus J. Buehler). Współpraca ta obejmuje rozwój nowatorskich biomateriałów, bioinspirowanych aerozeli, zastosowania biomateriałów w regeneracji tkanek oraz wykorzystanie metod uczenia maszynowego do projektowania materiałów biomimetycznych. Na poziomie krajowym, dr Wysokowski współpracuje z wieloma ośrodkami naukowymi, takimi jak Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Politechnika Warszawska, Politechnika Śląska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza oraz Akademia Górniczo-Hutnicza, co świadczy o szerokim zakresie Jego interdyscyplinarnych badań. Ponadto, dr Wysokowski współpracuje z przemysłem, koordynując projekty naukowo-dydaktyczne z firmą POZ-LAB oraz realizując zlecenia dla Vitrosilicon.

Powyższe działania jednoznacznie potwierdzają aktywną i wielowymiarową działalność naukową dr inż. Marcina Wysokowskiego, mającą istotny wpływ na rozwój dyscypliny nauki chemiczne oraz technologię biomateriałów. Łącznie, wymienione nagrody, stypendia, szkolenia i patenty świadczą o wysokim poziomie aktywności naukowej i innowacyjności dr inż. Marcina Wysokowskiego oraz o Jego znaczącym wkładzie w rozwój dyscypliny nauki chemiczne.

Aktywność projektowa

Dr inż. Marcin Wysokowski wykazuje wysoką aktywność w realizacji prestiżowych projektów badawczych, które znacząco przyczyniają się do rozwoju nowoczesnych technologii biomimetycznych. Kierował projektami finansowanymi przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) oraz międzynarodowe programy. Skutecznie realizuje swoje badania w obszarze zastosowania cieczy jonowych i rozpuszczalników eutektycznych do syntezy materiałów inspirowanych procesami biomineralizacji. Wśród najważniejszych projektów należy wyróżnić: projekt SONATA 17 (2022–2025), finansowany przez NCN o wartości ponad 1 mln PLN, w którym dr Wysokowski pełnił rolę kierownika i koncentrował się na innowacyjnych metodach syntezy biomateriałów przy wykorzystaniu zaawansowanych rozpuszczalników.

Kolejny projekt One-Year-Grant (2018–2019) finansowany przez DAAD, dotyczył biomimetycznej syntezy materiałów na bazie strukturalnych biomakromolekuł pochodzenia gąbczastego, i również był kierowany przez dr Wysokowskiego. Z kolei projekt ETIUDA (2014–2015), finansowany przez NCN, dotyczył opracowania nowych kompozytów organiczno-nieorganicznych opartych na chitynie w warunkach ekstremalnego biomimetyzmu. Realizacja tych projektów potwierdza samodzielność naukową dr Wysokowskiego oraz zdolność do prowadzenia interdyscyplinarnych badań o wysokim stopniu innowacyjności, jak również umiejętność zarządzania zespołem badawczym, pozyskiwanie środków finansowych i ich efektywne wykorzystanie na rozwój nauki.

Ocena wkładu w rozwój dyscypliny nauki chemiczne

W mojej ocenie, osiągnięcia naukowe dr inż. Marcina Wysokowskiego wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, w której ubiega się On o nadanie stopnia doktora habilitowanego. W cyklu publikacji wchodzących w skład dorobku habilitacyjnego, dr Wysokowski przedstawił oryginalne i



Politechnika Warszawska

nowatorskie badania dotyczące biomimetycznych materiałów opartych na chitynie oraz rozpuszczalnikach eutektycznych i cieczach jonowych, które znalazły zastosowanie w syntezie zaawansowanych kompozytów oraz nanostruktur funkcjonalnych.

Jego prace charakteryzują się interdyscyplinarnym podejściem, łączącym metody chemiczne, inżynierii materiałowej i biotechnologii, co pozwala na rozwój materiałów o unikalnych właściwościach mechanicznych, strukturalnych i funkcjonalnych. Szczególną uwagę należy zwrócić na innowacyjne wykorzystanie biomakromolekuł oraz technik elektroprzędzenia do wytwarzania biowłókien, co otwiera nowe perspektywy dla zastosowań w biomateriałach, regeneracji tkanek oraz technologii materiałów hybrydowych.

Dr Wysokowski wykazał samodzielność naukową i znaczący wkład w rozwój dyscypliny, czego potwierdzeniem jest jego rola kierownika w prestiżowych projektach finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki (SONATA 17, ETIUDA) oraz międzynarodowych programach (One-Year-Grant DAAD). W ramach tych projektów odpowiadał za formułowanie koncepcji badawczych, syntezę oraz kompleksową charakterystykę materiałów, a także za koordynację współpracy z ośrodkami krajowymi i zagranicznymi.

Jego badania były publikowane w uznanych czasopismach naukowych, co świadczy o wysokiej jakości i dużym wpływie na rozwój dyscypliny nauki chemicznej. Dodatkowo, dr Wysokowski aktywnie współpracuje z wiodącymi grupami badawczymi na świecie, m.in. w Massachusetts Institute of Technology, Karlsruhe Institute of Technology oraz Technical University Dresden, co potwierdza międzynarodowy zasięg i rozpoznawalność Jego dorobku naukowego.

Wszystkie te elementy składają się na spójny i innowacyjny dorobek naukowy dr inż. Marcina Wysokowskiego, który znacząco przyczynia się do rozwoju technologii biomimetycznych w dyscyplinie nauki chemicznej.

Aktywność dydaktyczna i organizacyjna oraz popularyzująca naukę

Dr inż. Marcin Wysokowski aktywnie uczestniczy w życiu naukowym i organizacyjnym środowiska chemicznego. W latach 2022–2024 pełnił funkcję członka komitetu organizacyjnego Polskiego Towarzystwa Chitynowego (PTChit). Od 2017 roku jest również członkiem zarządu Polskiego Towarzystwa Chemicznego (PTChem). W 2017 i 2018 roku organizował warsztaty edukacyjne pod hasłem „Poznaj chemiczne technologie przyszłości” podczas Nocy Naukowców na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. W 2024 roku koordynował organizację wykładu prof. Markusa J. Buehlera dla Szkoły Doktorskiej Politechniki Poznańskiej.

Działalność dydaktyczna

Dr inż. Marcin Wysokowski prowadzi zajęcia na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych na I i II stopnia, na kierunkach związanych z technologią chemiczną, inżynierią chemiczną i procesową oraz inżynierią farmaceutyczną. Prowadzi wykłady, ćwiczenia, laboratoria i projekty, m.in. takie jak „Biomimetyka: preparatyka bioinspirowanych materiałów” (studia II stopnia), „Wybrane zagadnienia współczesnej wiedzy chemicznej” (studia I i II stopnia), „Narzędzia biomimetyczne i enzymy w syntezie organicznej” (studia I



Politechnika Warszawska

stopnia), „Materiały kompozytowe środowiska” (studia II stopnia), czy „Neutralizacja i odzysk odpadów przemysłu nieorganicznego i energetycznego” (studia II stopnia).

Promotorstwo prac dyplomowych i doktorskich

Dr Wysokowski jest promotorem i opiekunem prac dyplomowych zarówno inżynierskich (12 prac) jak i magisterskich (10 prac) na różnych kierunkach studiów. Ponadto, pełni funkcję promotora pomocniczego w pracach doktorskich: mgr inż. Patrycji Frąckowiak („Bioinspirowana synteza aerożeli typu COF dla zaawansowanych zastosowań, od 10.2024, w trakcie), mgr inż. Eryka Jędrzejczaka („Biomimetyczne aerożele ceramiczne”, od 10.2024, w trakcie), oraz mgr Isaaca Odiri Agbaamu („Self-Healing Concrete - Experimental, Modelling and Simulation”, od 10.2022, w trakcie)

Finalna konkluzja

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, w tym analizę dorobku naukowego oraz spełnienie wymogów dla osób ubiegających się o stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie nauki chemiczne, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że osiągnięcia naukowe Pana dr inż. Marcina Wysokowskiego odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce. Przedstawiony cykl artykułów naukowych oraz związane z nim osiągnięcia stanowią znaczący (istotny) wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne, w której habilitant od lat się specjalizuje. W związku z tym, rekomenduję nadanie Panu dr inż. Marcinowi Wysokowskiemu stopnia doktora habilitowanego.


Prof. dr hab. inż. Agnieszka Jastrzębska