

Prof. dr hab. inż. Ludomira Granicka
Instytut Biocybernetyki
i Inżynierii Biomedycznej im. M. Nałęcz PAN
ul. Księcia Trojdena 4
02-109 Warszawa



Warszawa, dnia 6 sierpnia 2026 r.

RECENZJA

Pani dr inż. Karolina Cysewska swoją aktywność zawodową związała od 2018 roku z Wydziałem Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki, Politechniki Gdańskiej. Początkowo z Katedrą Inżynierii Biomedycznej, później od roku 2019 z Katedrą Inżynierii Materiałów Funkcjonalnych. Zainteresowania naukowe dr Karoliny Cysewskiej koncentrują się na elektroaktywnych powłokach dla interfejsów neuronowych, jak również platform do kontrolowanego uwalniania leków dla implantów naczyniowych.

Po doktoracie, poza publikacjami wskazanymi w osiągnięciu naukowym, Pani dr inż. Karolina Cysewska jest autorką jednego artykułu oraz współautorką 19 artykułów, wszystkich z listy JCR o średnim współczynniku wpływu 4,79, zaś łącznym 95,73, z których w dziesięciu (o średnim współczynniku wpływu 4,49) jest pierwszym autorem.

Pani Doktor była kierownikiem i głównym wykonawcą projektu NCN, Preludium pt. „Warstwy z polimerów przewodzących dla biodegradowalnych metalicznych materiałów na implanty”. Ponadto po uzyskaniu stopnia naukowego doktora była głównym wykonawcą na stanowisku „post-doc” w projekcie FNP pt. „Nanokrystaliczne materiały ceramiczne do efektywnej elektrochemicznej konwersji energii”.

Aktualnie jest kierownikiem polskiego zespołu (Politechnika Gdańska i firma Balton) w międzynarodowym projekcie mERA.NET3 UE pt. „Innovative stent coating with polyphenol-rapamycin complex with improved drug-eluting properties to target in-stent-restenosis (PoRaCoat)” realizowanym w konsorcjum (koordynator-Fraunhofer IKTS), a także kierownikiem i głównym wykonawcą krajowego projektu badawczego NCN, Sonata pt. „Opracowanie wielofunkcyjnej elektrody neuronowej z wykorzystaniem polimeru przewodzącego”.

Habilitationka odbyła po doktoracie trzy staże zagraniczne: 2-miesięczny na Uniwersytecie Oksfordzkim (Oksford, Wielka Brytania), 1-miesięczny w Instytucie Biomateriałów FAU (Erlangen, Niemcy) oraz 1,5-miesięczny w Fraunhofer IKTS (Drezno, Niemcy)

Pani dr inż. Karolina Cysewska prowadzi na Politechnice Gdańskiej kursy: „Elektronika nasobna”, „Systemy Diagnostyki Laboratoryjnej”, „Pomiary wielkości nieelektrycznych”, „Sensory i przetworniki pomiarowe”, „Wybrane zagadnienia inżynierii materiałów funkcjonalnych”. Była m.in. promotorem dwóch wyróżnionych prac inżynierskich oraz opiekunem dwóch prac magisterskich. Habilitationka uzyskała również indywidualne nagrody: Stypendium START Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP) dla wybitnych młodych naukowców na początku kariery naukowej (2019–2020) oraz 3-letnie stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców (2020–2023). Ponadto Pani Doktor jest m.in. członkinią Rady Dyscypliny Inżynierii Biomedycznej na kadencję 2024–2028 na Politechnice Gdańskiej.

Jako osiągnięcie naukowe zatytułowane „Funkcjonalne interfejsy przewodzące dla zastosowań w inżynierii biomedycznej” Pani dr inż. Karolina Cysewska przedstawiła cykl dziesięciu powiązanych tematycznie publikacji (publikacje oznaczone w „Wykazie osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny” jako 1a, 1b, 1c, 1d; 2a, 2b, 2c, 3a, 3b, 3c, zaś w PDF publikacji jako odpowiednio Os1_1, Os1_2, Os1_3, Os1_4, Os2_5, Os2_6, Os2_7, Os3_8, Os3_9, Os3_10) o łącznym współczynniku wpływu 45,10.

W ramach tego osiągnięcia naukowego Habilitationka wyróżniła tematycznie trzy osiągnięcia dotyczące (1) wykorzystania elektroaktywnych powłok z polimerów przewodzących na biodegradowalnych metalach jako platform kontrolowanego uwalniania leków dla implantów naczyniowych, (2) opracowania metodologii oraz warunków syntezy powłok PEDOT:PSS umożliwiających poprawę interfejsu elektrycznego sztywnych elektrod neuronowych, (3) opracowanie nowych architektur miękkich biointerfejsów elektrodowych obejmujących hydrożelowe interfejsy, elastyczne elektrody metaliczne oraz przewodzące hydrożele.

Przedstawione przez Panią Doktor w ramach osiągnięcia naukowego w tematyce wykorzystania elektroaktywnych powłok z polimerów przewodzących na biodegradowalnych metalach jako platform kontrolowanego uwalniania leków dla implantów naczyniowych publikacje 1a, 1b, 1c, 1d, których jest pierwszym autorem, zawierają m. in. opis opracowanej przez Habilitationkę koncepcji elektrochemicznej modyfikacji czystego, komercyjnego żelaza

(prace 1a, 1b, 1c), jako potencjalnego materiału biodegradowalnego do tymczasowych implantów naczyniowych (np. stentów) przewodzącymi powłokami z polipirołu, które w swojej strukturze zawierały cząsteczki przeciwzapalnego leku, salicylanu. Habilitantka zbadała uwalnianie leku w trybie ciągłym, w sporządzonym przez siebie stanowisku pomiarowym, opracowała i przeprowadziła pomiary elektrochemiczne (cykliczna voltamperometria, spektroskopia impedancyjna). Wykazała, że zastosowana metoda elektroosadzania pozwala na skuteczne wprowadzenie cząsteczek salicylanu do powłoki z polipirołu, umożliwiając jego stopniowe, samoistne uwalnianie w warunkach symulujących płyny ustrojowe (publikacja 1a/Os1_1).

W kolejnej pracy przeciwzapalne fosforan deksametazonu oraz salicylan inkorporowano do polipirołu podczas jednoetapowego procesu elektrosyntezy na podłożu żelazowym i badano wpływ inkorporacji tych dwóch leków na proces elektroosadzania warstwy polipirołu na żelazie. Habilitantka zauważyła, że podczas polimeryzacji salicylan sodu pełnił podwójną rolę pasywatora i domieszki, podczas gdy deksametazon działał jako współdomieszka, która w wysokim stężeniu hamowała proces osadzania polipirołu na żelazie. Po dodaniu współdomieszki w odpowiedniej ilości, efektywność całkowitego procesu uwalniania leku wzrosła. Natomiast zbyt duża ilość współdomieszki o dużej masie cząsteczkowej spowodowała zmniejszenie ilości uwalnianego leku. Stwierdzono ponadto, że zmiana parametrów elektroosadzania (czas, napięcie, stężenie domieszek) umożliwia regulację grubości i struktury powłoki, modyfikując profil uwalniania leków (publikacja 1b/Os1_2).

W dalszej pracy Habilitantka badała związek między parametrami elektrochemicznymi elektropowłok a ich cytotoksycznym wpływem na materiał biologiczny. Badano cytotoksyczność względem komórek śródbłónka żyły pępowinowej (HUVEC) polimeru przewodzącego polipirołu, w zależności od parametrów depozycji i domieszek, stosując pirol (0,1–0,3M) domieszkowany salicylanem (0,1–0,3M) lub deksametazonem (0,1–3 mM), przy potencjałach od 1,0 do 1,6 V i ładunkach osadzania do 2,4 C. Zauważono m.in., że wyższe potencjały i ładunki elektroosadzania prowadzą do wzrostu cytotoksyczności, najprawdopodobniej w wyniku nadutlenienia struktury polimeru i zwiększonej chropowatości powierzchni. Najwyższą cytozgodność wykazały powłoki przygotowane pod napięciem 1,2 V z 0,1 M pirolem i 0,1 M salicylanem. Jednocześnie stwierdzono, że opracowane powłoki są obiecujące dla biodegradowalnych implantów naczyniowych ze względu na ich przewodnictwo elektryczne i zdolność do wbudowania leków (publikacja 1c /Os1_3/).

W następnej pracy opisano elektroosadzanie polipirołu na materiale drukowanego addytywnie stentu ze stopu Fe–30Mn–1C (FeMnC). Habilitantka opracowała tutaj koncepcję elektroosadzania przewodzących powłok polipirołu oraz kompozytowych powłok z polipirołu z inkorporowanymi nanodiamentami (PPy-ND). Zoptymalizowany proces elektroosadzania pozwolił na uzyskanie stabilnych powłok PPy-ND o regulowanym składzie, przy czym integracja nanodiamentów z matrycą polimerową została potwierdzona przy zastosowaniu spektroskopii ATR-FTIR oraz analizy rentgenowskiej z dyspersją energii (EDX) (publikacja 1dOs1_4)).

Przedstawione przez Panią Doktor w ramach osiągnięcia naukowego w temacie opracowania metodologii oraz warunków syntezy powłok PEDOT:PSS, umożliwiających poprawę interfejsu elektrycznego sztywnych elektrod neuronowych publikacje oznaczone w „Wykazie osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny” jako 2a, 2b, 2c, zaś w PDF publikacji jako odpowiednio Os2_1, Os_2, Os_3, z których jedna z publikacji jest jednoautorska, a w dwóch pozostałych jest drugim autorem, zawierają m. in. opis badania wpływu temperatury symulowanego płynu ustrojowego na parametry elektryczne interfejsu elektrody z poli(3,4-etylenodioksytiofenu) domieszkowanego polistyrenosulfonianem (PEDOT:PSS), zsyntetyzowanej przez elektroosadzanie na elektrodach grafitowych lub grafitowych pokrytych złotem. Wynik przeprowadzonych eksperymentów wskazuje na zmniejszenie impedancji interfejsu oraz zwiększenie pojemności magazynowania ładunku wskutek wzrostu temperatury. Habilitantka wykazała, że temperatura roztworu jest kluczowym czynnikiem, który może wpływać na parametry interfejsu elektrycznego elektrod do stymulacji neuronowej. Zauważyła, że kontrolowanie zmian parametrów elektrycznych zależnych od temperatury jest niezbędne dla zapewnienia niezawodności, bezpieczeństwa i skuteczności zastosowań stymulacji neuronowej (publikacja 2a/Os 2_5).

Habilitantka opracowała koncepcję i przeprowadziła eksperymenty w kolejnej pracy, w której przedstawiono wyniki badania wpływu ładunku osadzania PEDOT:PSS na parametry jego interfejsu elektrycznego. Powłoki PEDOT:PSS wytworzono metodą elektroosadzania na dostępnych komercyjnie elektrodach platynowych, przy zastosowaniu różnych ładunków polimeryzacji (1, 3, 6, 9 mC). Elektrody scharakteryzowano pod kątem ich interfejsu elektrycznego, takiego jak impedancja międzyfazowa, okno potencjału, pojemność warstwy podwójnej, pojemność magazynowania ładunku oraz limit prądu w symulowanych warunkach fizycznych, dążąc do optymalizacji parametrów elektroosadzania.

Wyniki badania pozwoliły odpowiedzieć na pytanie: czy i w jakim stopniu zmiana ładunku osadzania wpłynęła na parametry interfejsu elektrycznego elektrod platynowych na bazie PEDOT:PSS. Elektrody polimeryzowane z 9 mC wykazały znaczny wzrost pojemności właściwej, co wskazuje na zwiększoną pojemność magazynowania ładunku, a także wykazały niższą rezystancję w buforowanym roztworze soli fizjologicznej, co świadczyć może o poprawie przewodności (publikacja 2b/Os 2_6).

Kolejna publikacja zawierała analizę wpływu stężenia monomeru 3,4-etylenodioksytiofenu (EDOT), stężeń domieszek, w tym polistyrenosulfonianu sodu (NaPSS) i nadchloranu litu, a także wyboru rozpuszczalnika (woda lub acetonitryl) na właściwości elektrochemiczne i morfologiczne powłok PEDOT na elektrodach platynowych. Właściwości powłok badano przy wykorzystaniu elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej, voltamperometrii cyklicznej oraz pomiarów granicznej wartości prądu wstrzykiwanego. Ponadto przeprowadzono badanie z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej z dyspersyjną spektroskopią rentgenowską (SEM-EDX).

Otrzymane wyniki pozwoliły Habilitantce na zoptymalizowanie warunków osadzania powłok PEDOT, uzyskując dla optymalnych parametrów (0,01 M EDOT i 2,5 mg mL⁻¹ NaPSS w wodzie) film o najwyższych wartościach pojemności podwójnej warstwy oraz granicznej wartości prądu wstrzykiwanego.

Przedstawione przez Panią Doktor w ramach osiągnięcia naukowego w temacie opracowania nowych architektur miękkich biointerfejsów elektrodowych obejmujących hydrożelowe interfejsy, elastyczne elektrody metaliczne oraz przewodzące hydrożele publikacje 3a, 3b, 3c, z których w dwóch jest pierwszym autorem, zaś w jednej ostatnim autorem, zawierają m. in. opis opracowanej przez Habilitantkę metody syntezy miękkiego interfejsu w warstwie PEDOT:PSS. Wytworzona przez Habilitantkę powłoka PEDOT:PSS z miękkim interfejsem hydrożelowym, charakteryzowała się parametrami elektrycznymi interfejsu, najnowocześniejszej elektrody PEDOT:PSS osadzonej elektrolitycznie.

Roztwór prekursora hydrożelu składał się z nizopropyloakrylamidu, stosowanego jako główny monomer, N'-metylenobisakrylamidu jako środka sieciującego w stosunku 35:1, rozpuszczonych w 1 ml wody dejonizowanej. Zastosowanie hydrożelu pozwoliło uzyskać układ łączący zalety twardego rdzenia (umożliwiającego implantację lub precyzyjne pozycjonowanie) z miękkim i elastycznym interfejsem, istotnym z punktu widzenia integracji z tkanką biologiczną (publikacja 3a/Os3_8).

W kolejnej pracy Habilitantka opracowała koncepcję i zaprojektowała proces modyfikacji polidimetylosiloksanu (PDMS), celem umożliwienia tworzenia ścieżek złota o silnej adhezji i pożądanych właściwościach interfejsu elektrycznego. W tym celu powierzchnię PDMS chemicznie aktywowano plazmą tlenową i funkcjonalizowano 3-merkaptopropylotrimetoksylsilanem, co umożliwia kowalencyjne wiązanie z osadzoną warstwą złota. Stwierdzono, że warstwa złota o grubości 130 nm zapewnia optymalne właściwości elektrochemiczne, w tym niską rezystancję powierzchniową oraz graniczną wartość wstrzykiwanego prądu aż 8 mA, ponad dwukrotnie większy niż w przypadku komercyjnych elektrod. Zastosowany przez Habilitantkę protokół silanizacji umożliwia skalowalną integrację elastycznych, elektrochemicznie odpornych śladów złota na PDMS dla interfejsów neuronowych nowej generacji i miękkich systemów bioelektronicznych (publikacja 3b/Os3_9).

W związku z tym, że przewodzące hydrożele są obiecującymi kandydatami na bioelektrody neuronowe ze względu na swoją miękkość, przepuszczalność jonową i zmniejszone niedopasowanie mechaniczne do tkanki nerwowej, a idealne matryce biopolimerowe, takie jak alginian-żelatyna (Alg-GEL), nie posiadają wystarczającej funkcjonalności elektrycznej, Habilitantka w kolejnej swej pracy ukierunkowanej na miękkie interfejsy elektrodowe ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w elektrodach neuronalnych, zaproponowała materiały na bazie Alg-GEL zawierające PEDOT:PSS, polipirol (PPy):PSS (PPy-PSS) albo mieszaninę PPy-PEDOT:PSS jako miękkie, elektroaktywne materiały interfejsów. Pomiarów elektrochemicznych wykazały m. in. limity iniekcji prądu sięgające 4 mA, porównywalne z elektrodami platynowymi. Opracowane materiały z wprowadzoną elektroprzewodnością - hydrożele zawierające PEDOT i PPy wykazały lepszą długoterminową stabilność w porównaniu z samym Alg-GEL, który stopniowo tracił masę w ciągu 28 dni inkubacji. Potwierdzono cytozgodność materiałów modyfikowanych PPy lub PPy-PEDOT:PSS na linii mysich komórek fibroblastów NIH3T3, przy czym stwierdzono zwiększoną aktywność mitochondrialną komórek hodowanych w obecności modyfikowanych materiałów w porównaniu z materiałem niemodyfikowanym Alg-GEL (publikacja 3c/Os3_10).

Habilitantka w ramach wskazanego osiągnięcia „Funkcjonalne interfejsy przewodzące dla zastosowań w inżynierii biomedycznej” między innymi wykazała, że przewodzące powłoki polimerowe, elektroosadzane na biodegradowalnych metalach, mogą pełnić funkcję inteligentnych platform do kontrolowanego, miejscowego uwalniania bioaktywnych substancji leczniczych, bez konieczności stosowania zewnętrznego pobudzenia; zweryfikowała zaproponowaną strategię poprawy właściwości mechanicznych i elektrycznych interfejsu

tkanka-elektroda, w obrębie redukcji modułu sprężystości do zakresu odpowiadającego tkankom miękkim, polepszając lub zachowując parametry elektrochemiczne charakterystyczne dla klasycznych elektrod metalicznych.

Uzyskane wyniki prac z cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe wskazują, że obrany przez Habilitantkę kierunek prowadzi do pozyskania wartościowych wyników z obszaru inżynierii biomedycznej.

Podsumowując, osiągnięcia Pani dr inż. Karoliny Cysewskiej stanowią znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria biomedyczna, odpowiadając wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2024r. poz. 1571).

W mojej opinii Pani dr inż. Karolina Cysewska jest w pełni ukształtowanym pracownikiem naukowym, spełniającym wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego i powinna być dopuszczona do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

