FACULTY OF CHEMISTRY

DEPARTMENT OF PHYSICAL CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF POLYMERS

Conducting polymer coatings exhibiting bacteria-responsive antibacterial properties-synthesis, structure, and mutual interactions

Powłoki z polimerów przewodzących wykazujące właściwości antybakteryjne reagujące na obecność bakterii-synteza, struktura i wzajemne oddziaływania

mgr. Abdullah

Supervisor: dr hab. inż. Katarzyna Krukiewicz, prof. PŚ

Gliwice 2026

Streszczenie

Polimery przewodzące charakteryzują się odwracalną aktywnością redoks, zdolnością do transportu jonów, przewodnictwem elektrycznym oraz możliwością wbudowywania substancji biologicznie czynnych. Właściwości te sprawiają, że są one odpowiednimi materiałami do zastosowania w mikrobiologicznych układach elektrochemicznych, jednak jednocześnie stwarzają istotne wyzwania związane z projektowaniem interfejsu materiał–bakteria. W zastosowaniach bioelektronicznych powierzchnia elektrody powinna sprzyjać adhezji bakterii, utrzymaniu żywotności komórek oraz pozakomórkowemu transferowi elektronów. Z kolei w zastosowaniach medycznych ta sama tendencja do kolonizacji powierzchni powinna zostać ograniczona, zanim dojdzie do utworzenia dojrzałego biofilmu. W niniejszej rozprawie doktorskiej przeanalizowano oba te kierunki oraz opracowano strategie inżynierii powierzchni umożliwiające kontrolowanie oddziaływań pomiędzy powłokami na bazie PEDOT a komórkami bakteryjnymi.

W pierwszej części pracy określono podstawy naukowe dotyczące elektroprzewodzących materiałów biohybrydowych poprzez analizę strategii immobilizacji, bakteryjnych szlaków transferu elektronów oraz roli polimerów przewodzących w łączeniu biologicznego i elektronowego transportu ładunku. Dwa kolejne badania skupiły się na poprawie właściwości PEDOT:PSS jako materiału elektrodowego dla układów mikrobiologicznych. Funkcjonalizacja z wykorzystaniem związków organicznych wykazała, że glukoza była szczególnie skutecznym modyfikatorem, sprzyjającym tworzeniu biofilmu przez *Shewanella oneidensis* MR-1 oraz zwiększającym żywotność komórek, a jednocześnie usprawniającym transfer ładunku pomiędzy bakteriami a elektrodą. Modyfikacja z zastosowaniem soli metali wykazała natomiast, że wapń zapewniał korzystne połączenie chropowatości powierzchni, zwilżalności, żywotności komórek, tworzenia biofilmu oraz zdolności do magazynowania ładunku, podczas gdy bar nadawał temu samemu materiałowi właściwości ukierunkowane bardziej na działanie antybakteryjne.

W części rozprawy dotyczącej właściwości antybakteryjnych analizowano poli(3,4-etylenodioksytiofen) (PEDOT) otrzymywany metodą elektropolimeryzacji w obecności bromku dodecylotrimetyloamoniowego (DTAB). DTAB pełnił jednocześnie funkcję środka powierzchniowo czynnego, domieszki, czynnika kierującego strukturą oraz składnika antybakteryjnego. Otrzymana powłoka PEDOT@DTAB wykazywała znacznie większą zdolność do magazynowania ładunku niż niemodyfikowany PEDOT oraz hamowała tworzenie biofilmu zarówno przez *S. oneidensis*, jak i *Pseudomonas aeruginosa*. Stymulacja elektryczna

przyspieszała uwalnianie DTAB, wykazując tym samym, że aktywność redoks polimeru może być wykorzystana do regulowania uwalniania substancji antybakteryjnej z powłoki.

Najważniejszym osiągnięciem rozprawy było opracowanie powłoki PEDOT zawierającej ceftazydym (CAZ), w której uwalnianie antybiotyku było powiązane z aktywnością redoks bakterii. Ceftazydym został wprowadzony do matrycy polimerowej podczas elektropolimeryzacji bez pogorszenia zdolności PEDOT do magazynowania ładunku. Pasywne uwalnianie antybiotyku pozostawało na niskim poziomie, natomiast zewnętrzna stymulacja elektryczna oraz oddziaływanie z bakteriami elektroaktywnymi prowadziły do znacznie większego uwalniania CAZ. *S. oneidensis* oraz *P. aeruginosa* wywoływały odmienne odpowiedzi elektrochemiczne i spektroskopowe, co było zgodne z różnicami w mechanizmach pozakomórkowego transferu elektronów charakterystycznych dla tych gatunków. Powłoka zmniejszała żywotność bakterii na granicy faz materiał–bakteria, zachowywała właściwości antybiofilmowe podczas przedłużonej inkubacji oraz pozostawała kompatybilna z ludzkimi fibroblastami skóry.

Łącznie przeprowadzone badania wykazały, że powłoki na bazie PEDOT mogą być projektowane zarówno w celu wspierania rozwoju elektroaktywnych biofilmów, jak i w taki sposób, aby reagowały na kolonizację bakteryjną poprzez miejscowe działanie antybakteryjne. Uzyskane wyniki stanowią spójną podstawę do dalszego rozwoju powłok reagujących na obecność infekcji, przeznaczonych do zastosowania na cewnikach, implantach, opatrunkach oraz w innych urządzeniach bioelektronicznych.