

Streszczenie

Zanieczyszczenia ropopochodne stanowią poważne wyzwanie ekologiczne ze względu na ich toksyczność oraz trudności w naturalnym procesie degradacji. Wraz z dynamicznym wzrostem globalnego zapotrzebowania na paliwa kopalne, znaczne ilości tych substancji trafiają do atmosfery, wód i gleb. Ich rosnące stężenie w środowisku wymaga opracowania nowych, bardziej efektywnych metod usuwania. Obecnie w remediacji zanieczyszczeń stosuje się trzy główne podejścia: fizyczne, chemiczne i biologiczne. Wykorzystując zalety mikroorganizmów zdolnych do katalitycznej redukcji zanieczyszczeń w warunkach beztlenowych lub mikroaerofilnych oraz produkcji prądu elektrycznego, układy bioelektrochemiczne mogą stanowić atrakcyjną alternatywę dla tradycyjnych metod. Dodatkową korzyścią tych systemów jest jednoczesna produkcja prądu oraz związków chemicznych, takich jak biosurfaktanty, co czyni je jeszcze bardziej atrakcyjnymi w kontekście efektywnej bioremediacji. Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było zwiększenie wydajności procesu degradacji związków ropopochodnych przy zastosowaniu układów bioelektrochemicznych w postaci mikrobiologicznych ogniw paliwowych.

Część literaturowa poniższej pracy obejmuje przegląd publikacji, monografii, aktów prawnych, norm oraz patentów. Opisano w niej problematykę związaną z remediacją związków ropopochodnych, właściwości i zastosowanie biosurfaktantów w przemyśle i bioremediacji oraz przybliżono najważniejsze aspekty działania układów bioelektrochemicznych. Część eksperymentalna składała się z czterech doświadczeń, w których wykorzystano różne środowiska mikrobiologiczne jako źródła mikroorganizmów zdolnych do degradacji związków ropopochodnych oraz produkcji prądu elektrycznego.

W pierwszym eksperymencie wykorzystano zewnętrzne potencjały, aby przyspieszyć wzrost społeczności mikroorganizmów pochodzących z gleby miejskiej zanieczyszczonej związkami ropopochodnymi. W tym celu zaprojektowano jednokomorowy układ bioelektrochemiczny z poziomą katodą powietrzną oraz ciągłym mieszaniem. Przebadane zostały trzy wartości potencjałów (-0,3 V; 0,0 V; +0,3 V względem Ag/AgCl), a następnie określono ich wpływ na tempo rozwoju biofilmu. Eksperyment ten po raz pierwszy wykazał pozytywny wpływ potencjału na działanie układów bioelektrochemicznych, w których jako źródło węgla wykorzystano związki ropopochodne. Dodatkowo, wykazano silny wpływ potencjału anodowego na różnorodność społeczności bakterii, wskazując, że społeczności o największej różnorodności były najbardziej skuteczne w bioelektrochemicznej konwersji związków ropopochodnych na energię elektryczną. W eksperymencie udowodniono, że negatywny potencjał (-0,3 V względem Ag/AgCl) miał korzystny wpływ na produkcję prądu elektrycznego w układach bioelektrochemicznych (BES) oraz promował wzrost bardziej bioróżnorodnego biofilmu anodowego.

W kolejnej części pracy porównano trzy różne materiały anodowe: węglę ze stali nierdzewnej, gąbkę grafitową oraz welon z włókna węglowego, analizując ich wpływ na produkcję prądu elektrycznego. Dodatkowo zbadano wpływ kosubstratu, jakim był octan sodu, oraz enzymu

lakazy na stopień degradacji składników ropy naftowej. Do eksperymentu zastosowano szklany reaktor bateryjny, zawierający sześć półogniw anodowych, w celu zapewnienia identycznych warunków wzrostu biofilmu elektroaktywnego na każdym z materiałów anodowych. Eksperyment wykazał, że najbardziej wydajnym energetycznie materiałem anodowym była węgla ze stali nierdzewnej, która charakteryzowała się najwyższymi wartościami gęstości prądu w każdym cyklu zasilania reaktora. Wysoką wydajność przypisano strukturze anody, charakteryzującej się większymi włóknami większymi przestrzeniami między nimi w porównaniu do materiałów węglowych. Ponadto stwierdzono, że enzym lakazy znacząco zwiększał skuteczność degradacji związków ropopochodnych.

W trzecim eksperymencie przetestowano dziewięć konsorcjów mikrobiologicznych, pochodzących z gleb środowisk antropogenicznych, gleb azjatyckich oraz cieków wodnych, pod kątem produkcji prądu elektrycznego i degradacji składników ropy naftowej. W tym celu wykorzystano jednokomorowe mikrobiologiczne ogniwa paliwowe z katodami powietrznymi. Przeprowadzono dwie serie pomiarowe, w których jako źródło węgla zastosowano octan sodu w połączeniu z ropą naftową lub samą ropę naftową. Eksperyment wykazał, że konsorcja pochodzące z gleb charakteryzowały się wyższą produkcją prądu elektrycznego w porównaniu do konsorcjów z cieków wodnych. Ponadto potwierdzono pozytywny wpływ kosubstratu, którym był octan sodu, na wzrost biofilmu elektroaktywnego, co przyczyniło się do szybszej adaptacji konsorcjów i produkcji prądu o wyższych gęstościach mocy. W badaniach nad degradacją związków ropopochodnych stwierdzono jednak, że konsorcja zasilane wyłącznie ropą naftową wykazywały wyższy stopień degradacji składników ropy naftowej w porównaniu do konsorcjów z dodatkowym kosubstratem. Na podstawie wyników wybrano trzy konsorcja mikrobiologiczne do dalszych badań.

W ostatnim eksperymencie przetestowano trzy wcześniej wybrane konsorcja mikrobiologiczne: kanał ściekowy stacji paliw, separator związków ropopochodnych oraz glebę azjatycką ze Sri Lanki. W ciągu dziewięciu miesięcy badań oceniono wydajność produkcji energii elektrycznej i degradacji związków ropopochodnych oraz zidentyfikowano potencjalne produkty obniżające napięcie powierzchniowe w ogniwach. Zaprojektowano nowy typ ogniwa, składający się z jednej komory anodowej i dwóch połączonych katod powietrznych. Najwyższą gęstość mocy ($221,68 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$) oraz wydajność kulombowską wynoszącą $55,28 \pm 9,01 \%$ zaobserwowano dla konsorcjum z kanału ściekowego stacji paliw. Podczas cykli zasilania każdego z konsorcjów mikrobiologicznych zaobserwowano spadek napięcia powierzchniowego. Dodatkowo, badania anolity z ogniw potwierdziły obecność mono- i diramnoflipidów. Udowodniono tym obecność producentów biosurfaktantów w badanych społecznościach mikrobiologicznych.

Wyniki badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej dostarczają informacje na temat zastosowania układów bioelektrochemicznych w bioremediacji zanieczyszczeń ropopochodnych. W trakcie badań wykazano, że procesy zachodzące w tych układach mogą prowadzić do produkcji związków powierzchniowo czynnych, takich jak mono- i diramnoflipidy. Otrzymane wyniki mogą stanowić podstawę dla przyszłych badań oraz wdrożeń układów bioelektrochemicznych, przyczyniając się do rozwoju zrównoważonych i skutecznych metod bioremediacji.

Wider Bolton