

Zanieczyszczenie środowiska substancjami ropopochodnymi związane z działalnością górnictwa naftowego stanowi poważne zagrożenie ekotoksykologiczne. Substancje ropopochodne należą do jednych z bardziej uciążliwych i trudnych do usunięcia zanieczyszczeń gleby. Zagadnienie oczyszczania gleb skażonych substancjami ropopochodnymi z terenów starych dołów urobkowych wciąż nie jest rozwiązane w sposób zadowalający. Konieczność rekultywacji tych terenów wymaga opracowania nowych, przyjaznych dla środowiska technologii, skutecznych, prostych w zastosowaniu i uzasadnionych ekonomicznie.

Dotychczas opracowane i stosowane technologie oczyszczania środowiska glebowego z substancji ropopochodnych opierają się przede wszystkim na procesach fizycznych i chemicznych. Większość z nich prowadzona jest metodą ex-situ, którą charakteryzuje zbyt głęboka ingerencja w strukturę gleby, zmieniająca jej właściwości i utrudniająca późniejsze użytkowanie terenu. Alternatywą dla metod standardowych są, przyjazne dla środowiska, technologie bioremediacyjne. Umożliwiają one prowadzenie procesu oczyszczania metodą in-situ, która zapewnia szybkie przywrócenie homeostazy w środowisku glebowym. Jednakże wysoka zawartość zanieczyszczeń ropopochodnych w glebach powoduje duże trudności podczas prowadzenia prac bioremediacyjnych.

W pracy przedstawiono koncepcję nowatorskiej technologii efektywnego oczyszczania gleb silnie skażonych związkami ropopochodnymi w warunkach terenowych metodą in-situ. Technologię opracowano na podstawie wyników uzyskanych w trakcie wieloletnich, wnikliwych badań gleb z terenów starych dołów urobkowych oraz doświadczeń laboratoryjnych przeprowadzonych w warunkach modelowych i w skali półtechnicznej metodą pryzmowania (ex-situ). Opracowana koncepcja technologiczna, polegająca na etapowej realizacji kolejnych metod coraz głębszego oczyszczania, pozwala na stopniowe obniżanie poziomu zanieczyszczeń ropopochodnych w silnie skażonych glebach. Na podstawie wyników uzyskanych z szerokiego zakresu badań (właściwości fizyko-chemiczne, specjalistyczne analizy chromatograficzne zanieczyszczeń ropopochodnych, analizy mineralogiczne gleb) stwierdzono, że gleby z terenów starych dołów urobkowych kwalifikują się do grupy odpadów o kodzie ex 17 05 03* „gleba i ziemia zanieczyszczona substancjami ropopochodnymi”.

Wyniki uzyskane w ramach prac optymalizacyjnych, prowadzonych w skali półtechnicznej w warunkach ex-situ metodą pryzmowania, obejmujące: remediację wstępną, modyfikację struktury zanieczyszczonych gleb, stymulowaną bioremediację podstawową oraz bioaugmentację, polegającą na inokulacji wstępnie oczyszczonych gleb biopreparatami

sporządzonymi na bazie mikroorganizmów autochtonicznych (bakterii oraz bakterii i grzybów), wykazały skuteczność i wysoką efektywność poszczególnych etapów oczyszczania skażonych gleb.

Opracowane w oparciu o najnowsze techniki molekularne profesjonalne biopreparaty, niezawierające mikroorganizmów patogennych, charakteryzują się zdolnością do szybkiej adaptacji w skażonym środowisku, wysoką aktywnością biochemiczną w biodegradacji węglowodorów ropopochodnych oraz szerokim spektrum działania, gdyż pod ich wpływem biodegradacji ulegają również węglowodory o długich łańcuchach ($n\text{-C}_{23}$ do $n\text{-C}_{36}$) oraz węglowodory aromatyczne (BTEX i WWA), co dowodzi, że mogą być stosowane w warunkach przemysłowych (metoda in-situ).

Cały proces usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych z gleb na terenach dołów urobkowych kontrolowano za pomocą wielokierunkowego monitoringu, obejmującego badania właściwości fizyko-chemicznych (ze szczególnym uwzględnieniem określenia zawartości węglowodorów wchodzących w skład zanieczyszczeń oraz podatności na biodegradację poszczególnych grup węglowodorów) i mikrobiologicznych tych gleb (oznaczano: ogólną liczebność bakterii i grzybów, liczebność bakterii degradujących węglowodory ropopochodne, aktywność dehydrogenaz i celulazy), co pozwoliło na optymalizację przebiegu procesów bioremediacyjnych, jak i ocenę ich efektywności. Zastosowano również wskaźniki oceny stopnia biodegradacji n -alkanów (stanowiących 70 – 80 % ogólnej zawartości zanieczyszczeń ropopochodnych w glebach) w postaci stosunku $n\text{-C}_{17}/\text{Pr}$ i $n\text{-C}_{18}/\text{F}$ (Pr - pristan, F - fitan – trudno biodegradowalne związki z grupy izoprenoidów). Zmiany wartości wskaźników wiarygodnie odzwierciedlają efektywność kolejnych etapów prezentowanej technologii oczyszczania gleby z zanieczyszczeń ropopochodnych. Pozwoliło to na opracowanie innowacyjnej metody oceny skuteczności biodegradacji zanieczyszczeń ropopochodnych w glebach, co potwierdzono w trakcie realizowanego procesu oczyszczania gleby z terenów dołów urobkowych. Pełną ocenę stopnia biodegradacji węglowodorów ropopochodnych przeprowadzono na podstawie opracowanego modelu matematycznego. Obliczone stałe biodegradacji pierwszego rzędu (k) pozwoliły na prześledzenie i porównanie kinetyki przebiegu biodegradacji poszczególnych grup zanieczyszczeń ropopochodnych (TPH, $\Sigma n\text{-C}_8 - n\text{-C}_{22}$, $\Sigma n\text{-C}_{23} - n\text{-C}_{36}$, BTEX) w kolejnych etapach oczyszczania odpadów, a także na ocenę efektywności działania opracowanych biopreparatów.

Wielokryterialną ocenę efektywności opracowanych technik bioremediacyjnych w procesach oczyszczania gleb z terenów starych dołów urobkowych rozszerzono o badania

toksykologiczne z wykorzystaniem testów najnowszej generacji. Wykazano, że gleby oczyszczone wg opracowanej, nowatorskiej technologii są nietoksyczne.

Weryfikując opracowaną technologię efektywnego oczyszczania gleb silnie skażonych substancjami ropopochodnymi w warunkach przemysłowych metodą in-situ, uwzględniono także wpływ sezonowej zmienności warunków atmosferycznych na zachodzące w glebach procesy biodegradacji zanieczyszczeń ropopochodnych. Wykazano, że opracowana technologia oczyszczania gleb silnie skażonych substancjami ropopochodnymi umożliwia usunięcie tych zanieczyszczeń do poziomu nieprzekraczającego dopuszczalnych wartości określonych przez obowiązujące standardy jakości gleby i ziemi. Zastosowanie opracowanej technologii oczyszczania gleb skażonych substancjami ropopochodnymi pozwoliło na zakończenie rekultywacji terenów dołów urobkowych i przekazanie ich do zagospodarowania jako użytek leśny. Jest to technologia bezpieczna dla środowiska oraz uzasadniona ekonomicznie w przypadku jej zastosowania w warunkach przemysłowych.