

## **Rola bakterii autochtonicznych w mobilizacji i immobilizacji metali na terenach pokopalnianych górnictwa uranowego na Dolnym Śląsku**

### **Streszczenie**

Wydobycie uranu na terenach południowo-zachodniej Polski miało miejsce od 1948 do 1973 roku. W tym czasie w kopalniach rozmieszczonych w okolicach miejscowości takich, jak: Kowary, Radoniów, Grzmiąca w województwie Dolnośląskim wydobyto prawie 757 ton czystego uranu. Niezabezpieczone hałdy powydobywcze oraz wody wypływające z zamkniętych sztolni kopalni uranowych, znajdujących się na terenie Dolnego Śląska, stanowią potencjalne zagrożenie skażenia metalami ciężkimi dla środowiska naturalnego. Wiadomo, że ważnymi czynnikami wpływającymi na przechodzenie metali z form nierozpuszczalnych do rozpuszczalnych są czynniki abiotyczne takie, jak: pH, potencjał oksydoredukcyjny czy siła jonowa, a także to, w jakich związkach chemicznych występują metale. Należy jednak pamiętać, że oprócz istotnych warunków fizyczno-chemicznych ogromną rolę odgrywają czynniki biotyczne. Wśród nich najważniejszymi są mikroorganizmy zdolne do bardzo szerokiej adaptacji do warunków ekstremalnych (wysokich stężeń metali ciężkich) oraz wykorzystywania metali, jako źródła energii lub jako ostatecznych akceptorów elektronów.

W niniejszej pracy zbadano dwa odrębne środowiska powstałe w wyniku działalności wydobywczej uranu w połowie XX w. na obszarze Dolnego Śląska. Pierwszym z nich były hałdy zalegające przy sztolniach wydobywczych i odwiertach próbnych. Z wstępnych analiz wynikało, bowiem że stężenie uranu waha się tam od 112,8 do 2986,0 mg/kg s.m., a miejscowo osiąga nawet 11 000 mg/kg s.m. W związku z dużą zawartością metali ciężkich w hałdach sprawdzono, czy wśród mikroorganizmów autochtonicznych znajdują się bakterie zdolne do utleniania: (i) związków siarki w warunkach neutralnych oraz (ii) utleniania żelaza (II) w warunkach kwaśnych, jako procesów istotnych w mobilizacji metali ciężkich. Obydwa rodzaje stabilnych konsorcjów wyizolowano z 4 spośród 5 badanych środowisk: Grzmiącej, Kromnowa oraz dużej i małej hałdy w Radoniowie. Natomiast z hałdy w Kopańcu nie wyizolowano konsorcjum utleniającego  $Fe^{2+}$  w warunkach kwaśnych.

Drugim charakteryzowanym środowiskiem były maty mikrobiologiczne porastające odpływ sztolni 19A w kopalni „Podgórze”. Analizy elementarne wykazały ich zdolność do zatrzymywania znacznych ilości metali ciężkich: 13 541 mg As/kg s.m., 366 mg U/kg s.m., 1 725 mg Mn/kg s.m. czy 7 173 mg Fe/ kg s.m. Biorąc pod uwagę te właściwości scharakteryzowano dokładnie maty w kierunku zdolności do samooczyszczania wód kopalnianych. W tym celu zbadano: (i) morfologię oraz bioróżnorodność mat mikrobiologicznych, (ii) zdolności do sorpcji i desorpcji jonów  $\text{AsO}_2^-$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  oraz  $\text{UO}_2^{2+}$ , (iii) wyizolowano i scharakteryzowano konsorcja AsRB, FeRB oraz SRB, (iv) wyizolowano i scharakteryzowano nowy szczep *Raoultella* sp. SM1 zdolny do efektywnej redukcji żelaza (III) i precypitacji uranu w warunkach beztlenowych. Wykazano, że maty mikrobiologiczne zatrzymują metale ciężkie w biernym procesie biosorpcji, jak również, że w ich skład wchodzi mikroorganizmy, które są zdolne do aktywnej immobilizacji metali ciężkich poprzez redukcję związków arsenu, żelaza i siarki.

W niniejszej pracy wykazano, że w środowiskach powstałych po wydobyciu uranu na terenie Dolnego Śląska występują mikroorganizmy, które są zdolne zarówno do mobilizacji, jak i immobilizacji metali ciężkich. Pozostawienie tych terenów niemonitorowanych i niezabezpieczonych może spowodować w przyszłości skażenie metalami ciężkimi otaczającego je środowiska. Oprócz potencjalnych zagrożeń, mikroorganizmy autochtoniczne mogą być bardzo użyteczne w procesach biotechnologicznych, bioremediacji i bioługowania metali ciężkich zdeponowanych w hałdach. Stabilne konsorcja wyizolowane z hałd uranowych, maty mikrobiologiczne oraz mikroorganizmy strącające uran takie, jak zidentyfikowany szczep *Raoultella* sp. SM1 mogą być wykorzystane do przeprowadzenia kompleksowego procesu bioremediacji hałd. Dzięki odpowiedniemu zastosowaniu można byłoby przeprowadzić cały proces biotechnologiczny od uwolnienia metali (w tym uranu) z hałd do kontrolowanego strącania i odzyskiwania, wykorzystując również autochtoniczne mikroorganizmy do zabezpieczenia strefy przeprowadzonego procesu. Jednakże wprowadzenie takiego rozwiązania wymaga dokładnych analiz wydajności procesu bioługowania, badań nad wydajnością sorpcji i desorpcji w różnych warunkach pH oraz opracowania metody namnażania mat mikrobiologicznych, konsorcjów oraz pojedynczych szczepów zaangażowanych w powyższe procesy.