Streszczenie

Emisja zanieczyszczeń, w tym metali ciężkich, wywiera negatywny wpływ na jakość gleby. Ograniczeniem skutków środowiskowych zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi jest stosowanie metod remediacyjnych, które umożliwiają nie tylko usuwanie zanieczyszczeń, ale również poprawiają jej jakość. Metodą pozwalającą na trwałe usunięcie metali z gleby jest metoda płukania, ale jakość oczyszczanej gleby w dużym stopniu zależy od rodzaju środka myjącego. Głównym mankamentem stosowania konwencjonalnych środków myjących (np. roztworów kwasów, środków kompleksujących), mimo wysokiej skuteczności usuwania metali, jest pozbawianie gleby składników decydujących o jej żyzności. Z tego powodu poszukuje się środków alternatywnych, umożliwiających skuteczną remediację z jednoczesnym wzbogaceniem gleby w makro- i mikroskładniki istotne z punktu widzenia jej dalszego użytkowania.

Celem rozprawy doktorskiej jest określenie efektywności remediacji gleb zanieczyszczonych Cd oraz mieszaniną Cu, Pb, Zn metodą płukania z wykorzystaniem środków myjących pozyskanych z komunalnych osadów ściekowych oraz określenie właściwości fizyko-chemicznych gleb po remediacji. Badania, prowadzone w trzech etapach, obejmowały: i) ekstrakcję i charakterystykę środków myjących, ii) remediację gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi metodą płukania w warunkach statycznych i dynamicznych oraz iii) ocenę jakości gleb po zakończeniu remediacji.

Remediacji poddawano gleby modelowe różniące się właściwościami fizyko-chemicznymi, w tym teksturą (glina piaszczysto-ilasta, glina piaszczysta, ił zwykły), zawartością materii organicznej oraz pojemnością sorpcyjną. Gleby zawierały metale ciężkie w stężeniach typowych dla miejsc silnie zanieczyszczonych (Cd 300 mg/kg, Cu 7874 mg/kg, Pb 1414 mg/kg, Zn 566 mg/kg).

Komunalne osady ściekowe stanowią istotne źródło rozpuszczonej materii organicznej (RMO), substancji humuso-podobnych (RSHP) oraz substancji humusowych (RSH). Wykazano, że środki myjące wyekstrahowane z osadów ściekowych posiadają właściwości odpowiednie do zrównoważonej remediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, głównie ze względu na obecność grup funkcyjnych (zwłaszcza karboksylowych) zdolnych do kompleksowania jonów metali, zdolność obniżania napięcia powierzchniowego wody, obecność związków organicznych umożliwiających wzbogacenie gleby w materię organiczną oraz wysokie stężenia makroskładników (np. N, P, Ca, Mg). Warunki ekstrakcji uniemożliwiają wypłukiwanie metali ciężkich z osadów i ich przechodzenie do roztworów myjących,

co oznacza, że roztwory myjące uzyskane z osadów ściekowych nie powodują wtórnego zanieczyszczenia gleb metalami.

Remediację gleb prowadzono w warunkach statycznych oraz w dynamicznych (w reaktorze kolumnowym). W warunkach statycznych określono efektywność usuwania Cd oraz Cu, Pb i Zn w zależności od rodzaju środka myjącego, odczynu, czasu płukania i liczby płukań. W warunkach dynamicznych analizowano efektywność remediacji w zależności od rodzaju i natężenia przepływu środków myjących w reaktorze kolumnowym.

Wykazano, że wszystkie testowane środki myjące mogą być stosowane w remediacji gleb silnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi, ale efektywność procesu zależy od rodzaju środka myjącego, rodzaju metalu oraz warunków płukania. Wyższą sprawność usuwania metali uzyskano w warunkach statycznych niż dynamicznych. W warunkach dynamicznych, bardziej efektywne wypłukiwanie metali z gleby notowano przy wyższym natężeniu przepływu środków myjących i, niezależnie od rodzaju środka myjącego, efektywność remediacji w większym stopniu zależała od natężenia przepływu niż czasu utrzymania stabilnego przepływu w reaktorze. O całkowitej efektywności procesu decydowała efektywność usuwania metali z dominujących frakcji chemicznych, tj. frakcji redukcyjnej i jonowymiennej w przypadku Cd oraz frakcji jonowymiennej w przypadku Cu, Pb i Zn. Wykazano, że niezależnie od warunków płukania, RMO jest efektywna w remediacji gleb silnie zanieczyszczonych Cu (sprawność 73-92%) i Cd (sprawność 68-87%), ale nie powinna być stosowana do gleb zanieczyszczonych Pb (sprawność w zakresie 5-24%). Dobre efekty usuwania Pb, Zn lub Cd uzyskano stosując pozostałe roztwory myjące, tj. RSHP (sprawność 65-90%) i RSH (sprawność 61-89%).

Remediacja gleb środkami myjącymi z osadów ściekowych spowodowała wzbogacenie gleb w materię organiczną. Najwyższy wzrost zawartości materii organicznej uzyskano stosując roztwór RSH, a najniższy – roztwór RMO. Podobny trend uzyskano w przypadku wzbogacenia gleby w substancje humusowe (ok. 2-3-krotny wzrost w glebie po remediacji z zastosowaniem RSH), co jest zjawiskiem korzystnym biorąc pod uwagę wpływ substancji humusowych na właściwości i funkcje gleby. Płukanie gleb spowodowało także wzrost zasobności gleby w przyswajalne dla roślin formy azotu ($N\text{-}NH_4$), fosforu (P_2O_5) i potasu (K_2O), ale o poziomie wzrostu tych makroskładników decydowały warunki płukania (wyższy wzrost w warunkach statycznych niż dynamicznych). Rodzaj środka myjącego miał większy wpływ na wzbogacenie gleby w azot niż fosfor i potas.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że środki myjące z osadów ściekowych spełniają wymagania zrównoważonej remediacji. Ich wysoka skuteczność do usuwania metali z gleb silnie zanieczyszczonych (zwłaszcza Cu i Cd), korzystny wpływ na jakość gleby oraz niski koszt pozyskania czyni je atrakcyjną altermatywą w stosunku do środków komercyjnych.

Zaproponowana koncepcja remediacji polegająca na płukaniu gleb środkami myjącymi z osadów ściekowych wpisuje się strategię gospodarki cyrkulacyjnej, w której odpady (osady ściekowe) traktowane są jako zasoby.