

Rafał KUCHARSKI

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych,
40-833 Katowice, ul. Kossutha 6

OCZYSZCZANIE GLEB Z METALI CIĘŻKICH METODĄ FITOEKSTRAKCJI

Streszczenie. Na podstawie zgromadzonych w Instytucie Ekologii Terenów Uprzemysłowionych danych o zanieczyszczeniu gleb w województwie śląskim wybrano obszar zlokalizowany w strefie bezpośredniego oddziaływania dawnej huty cynku i ołowiu, na którym przeprowadzono badania polowe nad zastosowaniem metody fitoekstrakcji do usuwania metali ciężkich z gleb. W oparciu o wyniki eksperymentów laboratoryjnych dokonano wyboru gatunków roślin rodzimych i obcych, charakteryzujących się dużą skutecznością w procesie oczyszczania gleb z ołowiu i kadmu. Zwrócono również uwagę na możliwość ułatwienia procesu fitoekstrakcji poprzez dodanie do gleby substancji zwiększających biokumulację metali w częściach nadziemnych roślin. Skuteczność procesu fitoekstrakcji oceniano w optymalnych warunkach agrotechnicznych. Obok zasadniczych działań w projekcie, koncentrujących się na pracach związanych z oczyszczeniem gleb z metali, oceniano ryzyko towarzyszące procesowi fitoekstrakcji, stres u roślin wywołany nadmierną biokumulacją metali oraz określono sposób bezpiecznej dla środowiska utylizacji zanieczyszczonego plonu roślin. Równolegle prowadzono ocenę możliwości wykorzystania typowych maszyn rolniczych w procesie fitoekstrakcji, a także dokonano szacunkowej oceny kosztów oczyszczania gleb tą metodą.

SOIL CLEANING OF HEAVY METALS USING PHYTOEXTRACTION METHOD

Summary. The problems resulting from soil contamination are described and the general approach to the soil cleaning is presented. More attention was paid to the issue of phytoextraction, a novel method of environmental friendly biological soil cleaning, using special species of plants. In the process, metals are removed from the soil with contaminated crops. Methods of contaminated crop disposal and estimation of process cost is also described.

Zmiany gospodarcze, zachodzące w kraju w ciągu ostatnich kilkunastu lat, zaowocowały sukcesywną restrukturyzacją przemysłu. W znacznej ilości nierentownych przedsiębiorstw bądź zakładów stosujących przestarzałe, szkodliwe dla środowiska technologie wstrzymano produkcję, niemniej jednak pozostał problem gleb zanieczyszczonych w wyniku długoletniej niekontrolowanej emisji szkodliwych substancji.

W procesie oczyszczania gleb dominującą rolę odgrywa element kosztów. Szacunkową ocenę kosztów oczyszczania gleby przy zastosowaniu różnych technologii przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Koszt niektórych metod oczyszczania gleb [4]

Sposób oczyszczania	Koszt oczyszczenia 1m ³ gleby w \$	Czas oczyszczenia w miesiącach	Dodatkowe czynniki i koszty	Powstające problemy
Wiązanie <i>in situ</i>	90-200	6-9	Długoterminowy monitoring	Odcieki
Przemieszczanie zanieczyszczonej gleby	100-400	6-9	Transport i usunięcie gleby, długoterminowy monitoring	Odcieki
Ekstrakcja i przepłukiwanie gleby	250-500	8-12	Co najmniej 5000 m ³ materiału, recykling chemiczny	Odpad
Fitoekstrakcja	15-40	18-60	Długi czas	Odpad

Stając przed problemem remediacji zanieczyszczonego terenu, przede wszystkim ustala się dokładnie sposób podejścia i plan działań. Każda nietrafna decyzja owocować może trudnymi do wyobrażenia stratami, gdyż koszty przedsięwzięć technicznych zmierzających do polepszenia jakości zanieczyszczonych terenów są wysokie. Wybór drogi postępowania ułatwia określenie sposobu przyszłego użytkowania terenu.

Oczyszczane tereny można podzielić na następujące kategorie:

- * bardzo wrażliwe
 - ogrody działkowe i przydomowe,
 - tereny rolne,
 - place zabaw,
 - tereny przedszkoli i żłobków
- * wrażliwe
 - tereny zabudowy mieszkalnej
 - tereny rekreacyjne
- * mniej wrażliwe
 - tereny lokalizacji biur i sklepów
 - tereny przemysłowe
- * niewrażliwe
 - parkingi
 - drogi.

Przy obecnym stanie wiedzy i rozwoju technologii glebę lub grunt praktycznie można oczyścić z dowolną dokładnością z każdej niepożądanej substancji, należy tylko wcześniej odpowiedzieć na pytanie, jaki stopień oczyszczenia jest konieczny i jakie środki są dostępne na ten cel.

Przeprowadzenie oceny ryzyka jest jedną z metod określenia bezpiecznej dla organizmów żywych granicy, do której należy obniżyć zanieczyszczenie poszczególnych komponentów środowiska, stosownie do sposobu użytkowania terenu [7, 8, 9]. Taki sposób postępowania umożliwi racjonalne zaangażowanie środków w prowadzenie procesu oczyszczania.

Zanieczyszczony teren może zostać stosunkowo szybko zagospodarowany, jeżeli jest atrakcyjny dla inwestorów ze względu na panującą koniunkturę rynkową, korzystne położenie, a przede wszystkim w przypadkach, w których rewitalizacja i ponowne przeznaczenie pod nowe inwestycje są ekonomicznie opłacalne.

W województwie śląskim podniesienie skuteczności ochrony środowiska i rewitalizacja obszarów zdegradowanych stanowią priorytet w strategii rozwoju województwa i traktowane są jako podstawa planowania lokalnych programów działań w procesie integracji z Unią Europejską [6].

Warto nadmienić, że ceny terenów o dobrej lokalizacji będą szybko rosnąć wraz z rozwojem gospodarczym kraju. Stąd też umiejętność prowadzenia zgodnie z zasadami sztuki procesu rewitalizacji stanie się niebawem nową, wysoce dochodową specjalnością.

Jedną z form kontaktu z przyrodą są ogrody działkowe, szczególnie popularne na terenach katowickiej aglomeracji miejskiej (prawie 100 000 działek na powierzchni byłego województwa katowickiego). Stwierdzono [2], że największą część ogrodów (50% kompleksów) zaliczyć należy do terenów o lokalizacji niekorzystnej, zaś 6% kompleksów posiada lokalizację wybitnie niekorzystną. Równie poważnie w skali regionu wygląda problem zanieczyszczenia gruntów ornych, gdzie w skali dawnego województwa katowickiego 10% terenów zlokalizowanych jest z punktu widzenia stanu zanieczyszczenia środowiska wybitnie niekorzystnie, zaś 30% niekorzystnie.

Sposób postępowania z zanieczyszczonym terenem uzależniony jest od obecnego i planowanego sposobu użytkowania terenu, rodzaju zanieczyszczeń oraz dostępnej technologii. Oczyszczenie terenów zanieczyszczonych i umożliwienie ponownego wykorzystania bez szkody dla przyszłych użytkowników wymaga wdrożenia przyjaznych dla środowiska, a jednocześnie atrakcyjnych ekonomicznie metod oczyszczania gleb.

Poprawę jakości gleb można uzyskać stosując różnorodne, bardzo kosztowne technologie oferowane głównie przez rynek zagraniczny, na które w chwili obecnej w kraju nie wystarcza środków. Na terenach silnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi, gdzie efektywność oczyszczania metodami biologicznymi byłaby niewielka, preferuje się stosowanie metod technicznych, np. wymianę wierzchniej warstwy gleby, są to jednak sposoby bardzo kosztowne.

W przypadku niższych stężeń zanieczyszczeń skuteczną metodą oczyszczania gleb może się okazać fitoekstrakcja.

Fitoekstrakcja zaliczana jest do biologicznych metod oczyszczania gleb. Wykorzystuje się tu właściwości niektórych gatunków roślin umożliwiające pobieranie z gleby i gromadzenie w tkankach zanieczyszczeń w ilościach wielokrotnie wyższych od spotykanych w tkankach innych roślin. Pobieranie metali można zwiększać stosując odpowiednie środki stymulujące.

Sukces metody fitoremediacji zależy przede wszystkim od wyboru odpowiedniego gatunku rośliny. Pożądane cechy roślin umożliwiające zastosowanie w procesie fitoekstrakcji to [1, 5]:

- * zdolność do gromadzenia metali ciężkich, szczególnie w tkankach części nadziemnych,
- * wytwarzanie dużej biomasy w krótkim okresie czasu,
- * lokalne pochodzenie, ułatwiające adaptację w środowisku,
- * pokrój umożliwiający łatwy zbiór oraz odporność na choroby i szkodniki.

Kolejność działań w procesie oczyszczania gleb z metali ciężkich metodą fitoekstrakcji przedstawia się następująco:

- * uprawa roślin na zanieczyszczonej glebie,
- * zastosowanie związków ułatwiających pobieranie metali przez rośliny,
- * zebranie i zagospodarowanie plonu.

W trakcie ostatnich lat Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach we współpracy z partnerami amerykańskimi z powodzeniem wypróbował i wdrożył na skalę połową metodę oczyszczania gleb z metali [3].

Do najważniejszych osiągnięć w tym projekcie zaliczyć można przetestowanie 30 odmian roślin rodzimych, które mogą być przydatne w procesie oczyszczania, opracowanie własnych dodatków efektywnie uruchamiających metale oraz przetestowanie nowych urządzeń ułatwiających prowadzenie procesu.

Metoda fitoekstrakcji ma swoje zalety i wady. Wśród zalet należy wymienić możliwość zachowania struktury i życia biologicznego gleby (badania nad wpływem związków chelatujących na aktywność enzymatyczną gleby pozwoliły stwierdzić brak inhibicji procesów enzymatycznych), prostotę stosowania tej metody, co nie jest bez znaczenia, gdy planuje się oczyszczanie dużych obszarów.

Zaletą jest również możliwość prowadzenia procesu oczyszczania *in situ*, bez konieczności zdejmowania wierzchniej warstwy gleby i korzystania ze specjalnych urządzeń do prowadzenia procesu. Ponadto, metoda charakteryzuje się relatywnie niskimi kosztami i wysokim stopniem akceptowalności społecznej. Z drugiej jednak strony, istnieją dość istotne ograniczenia, związane z długotrwałością procesu oczyszczania, poziomem skażenia gleby, gdyż metodę stosować można przy niezbyt wysokich stężeniach zanieczyszczeń. Efektywność procesu w dużym stopniu uzależniona jest od warunków atmosferycznych.

Fitoekstrakcja jest powszechnie uznawana za jedną z najtańszych metod rozwiązywania problemu zanieczyszczonych gleb. W istocie, mimo że koszt jednostkowy oczyszczania jest niski w porównaniu z innymi metodami, oczyszczanie wielohektarowych powierzchni niesie ze sobą nakłady trudne do udźwignięcia przez budżet państwowy, nie mówiąc już o działaniach indywidualnych.

Tak więc, w praktyce fitoekstrakcja w Polsce w chwili obecnej mogłaby znaleźć zastosowanie do działań w mikroskali, przy oczyszczaniu terenów szczególnie cennych ze względu na lokalizację, lub też stwarzających duże zagrożenie dla użytkowników.

Tabela 2

Procentowy udział poszczególnych etapów procesu w całkowitym koszcie procesu fitoekstrakcji (na podstawie doświadczeń prowadzonych na 1 ha) [Kucharski i in. 1998]

Etapy procesu	% całości kosztów
Przygotowanie pola	<1
Nawozy	<1
Środki ochrony roślin	<<1
Pielęgnacja	<1
Nawadnianie	<1
Nasiona i siew	7
Pobór prób i analizy chemiczne	7
Dodatki do gleby	70
Zagospodarowanie zanieczyszczonego plonu	<1
Nadzór naukowy	15
Całość	100

Na podstawie badań w warunkach kontrolowanych i polowych oraz analizy doświadczeń zdobytych przez IETU i inne jednostki naukowe współpracujące w projekcie można stwierdzić, że:

- * metoda fitoekstrakcji nadaje się do oczyszczania dużych obszarów,
- * prowadzenie fitoekstrakcji może się odbywać przy użyciu nieskomplikowanego sprzętu rolniczego przy zastosowaniu postępowania zbliżonego w swym charakterze do rutynowych zabiegów agrotechnicznych,
- * prowadzenie procesu fitoekstrakcji nie wpływa negatywnie na strukturę i życie biologiczne gleby, co stwierdzono na podstawie badań nad wpływem związków chelatujących na aktywność enzymatyczną i mikrobiologiczną gleby,
- * istnieje możliwość skutecznego prowadzenia procesu oczyszczania na miejscu, bez konieczności zdejmowania wierzchniej warstwy gleby i budowy specjalnych urządzeń do prowadzenia procesu,
- * fitoekstrakcja w porównaniu z innymi metodami stanowi technologię atrakcyjną ze względu na koszty,
- * zanieczyszczony plon można zagospodarować, po uprzedniej redukcji jego objętości, jako wsad hutniczy, poddać procesowi pirolizy lub też potraktować jako źródło substancji organicznej przy rekultywacji zwałów poprodukcyjnych w hutnictwie cynku i ołowiu.

LITERATURA

1. Baker A.J.M., Reeves R.D.: *Metal-accumulating plants: The biological resource and its commercial exploitation in soil clean-up technology*. in *Phytoremediation Conference Proceedings*. International Business Communications and U.S. Department of Energy, Washington. DC. May, 1996.
2. Kucharski R., Marchwińska E.: *Problemy rolnictwa na terenach uprzemysłowionych*. Materiały z V Polsko-Niemieckiego Forum Ekologicznego, Fundacja im. P. Neumanna/Uniwersytet Śląski, Katowice 1992.
3. Kucharski R., Sas-Nowosielska A., Pogrzeba M., Małkowski E., Kryński K.: *Integrated Approach To The Remediation Of Heavy Metal-Contaminated Land*. Final Report '98, Biblioteka IETU, 1998.
4. Neidorf R.: *Phytoremediation*. EI DIGEST, Environmental Information, LTD. Minneapolis: 7-11. April 1996.
5. Salt D.E., Smith R.D., Raskin I.: *Phytoremediation*. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49, 643-648, 1998.
6. *Strategia zintegrowanego rozwoju województwa katowickiego 1998-2002*, 1997.
7. U.S. EPA.: *Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I. Human Health Evaluation Manual*. Part A. Interim Final EPA/540/1-89/002, U.S. EPA, Washington 1989.
8. U.S. EPA.: *Soil Screening Guidance: Technical Background Document*. 9355.4-17A EPA/540/R-95/128 PB96-963502, Washington, DC. May. 1996.
9. U.S. EPA.: *Exposure Factors Handbook*. Vol. EPA/600/P-95/002Fa. Washington D.C. August., 1997.

Abstract

Phytoextraction is one of the most promising soil cleaning technologies. The relatively low costs, simple technical requirements and high public acceptance make this a particularly appealing technology. The technology however, is still evolving and requires advances in a number of aspects in order to increase its accuracy and decrease the costs. In addition, a safety issue has to be stressed, in terms of environmentally responsible contaminated crop management.

Using existing IETU database on soil contamination in Katowice province, the pilot area for demonstration project localized in Bytom near abandoned zinc and lead smelter has been chosen.

Based on treatability study conducted in parallel at Phytotech and IETU, two local and one foreign plant species from the US have been chosen for field experiments.

To enhance metal plant uptake, metal mobilizing agents were introduced to the soil.

The experiment has been performed following the regime of good agricultural practices.

Together with the basic part of the project the risk accompanying the fitoextraction process will be estimated. The issue of safe handling of contaminated crop was also investigated.

Recenzent: Prof. dr hab. Stanisław Kalembasa