

- [4] Jonas H., *Zasada odpowiedzialności*, przekład M. Klimowicz, Wyd. Platan, Kraków 1996
- [5] Świniarski J., *Przywództwo immanentnym celem edukacji dla bezpieczeństwa*, w: *Wokół filozofii wychowania*, pod red. M. Adamkiewicza i S. Konstańczaka, Wyd. KF PAP, Słupsk 2000
- [6] Sztumski W., *Environmentalizm i cywilizacja życia*, Wyd. Res-Type, Katowice 1997
- [7] Rothbard M.N., *Egalitaryzm jako bunt przeciw naturze*, Wyd. Fijorr Publishing, Warszawa 2009
- [8] Liszewski D., *Ekologizm*, hasło w: *Słownik bioetyki, biopolityki i ekofilozofii*, pod red. M. Ciszka, PTF, Warszawa 2008.

ANNA GROBELAK, MAŁGORZATA KACPRZAK, KRZYSZTOF FIJAŁKOWSKI
Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

Fitoremediacja – niedoceniony potencjał roślin w oczyszczaniu środowiska

Phytoremediation – the underestimated potential of plants in cleaning up the environment

Streszczenie:

Zanieczyszczenie metalami ciężkimi jest problemem o charakterze globalnym. Ze względu na swoje właściwości, metale ciężkie stanowią bardzo specyficzną klasę zanieczyszczeń. W wyniku działalności człowieka i rozwoju przemysłu stężenie metali w glebach wzrasta drastycznie, a ich nawet jednorazowa depozycja powoduje, że mogą pozostać w ekosystemie wodnym lub glebowym przez wiele lat zmieniając tylko formy w jakich występują. Obiecujące możliwości usuwania metali z gleb daje zastosowanie roślin w procesach remediacji. Fitoremediacja obejmuje różnorodne techniki rekultywacji, prowadzi do usuwania zanieczyszczeń z gleby (fitoekstrakcja) lub unieruchamiania (fitostabilizacja), gdzie stworzone warunki glebowe jak i okrywa roślinna powodują zmniejszenie mobilności metali ciężkich. Fitoekstrakcja wykorzystuje niezwykłą zdolność roślin tzw. hiperakumulatorów do kumulowania metali w pędach nadziemnych, które w dalszym etapie procesu mogą zostać usunięte. Technika ta posiada swoje ograniczenia jak i zalety, ale generalnie uważana jest jako przyjazna dla środowiska, ekonomiczna, mało ingerująca w ekosystemy i akceptowalna społecznie. Warunki glebowe oraz stężenie zanieczyszczeń muszą mieścić się w zakresie tolerancji rośliny, co stanowi pewne ograniczenie w stosowaniu metody. Technika ta jest powszechnie postrzegana jako alternatywa dla ingerujących w ekosystem metod fizycznych. Stosowanie metod inżynierii genetycznej oraz poszukiwanie gatunków o odpowiednich cechach otwiera nowe możliwości dla fitoremediacji.

Abstract:

Heavy metal pollution is worldwide problem. Due to their immutable nature, heavy metals are unique class of toxicants. As a result of human activities and onset of industrial revolution, concentration of heavy metals has increased drastically, causing acute and diffuse contamination of soil. Once the heavy metals contaminate the soil or water ecosystem, they remain for many years. Toxic metals can only be remediated by removal from soil. Plant-based remediation techniques are showing increasing promise for use in soils contaminated with heavy metals. Phytoremediation includes a variety of remediation techniques primarily leading to contaminant removal (phytoextraction) or immobilization (phytostabilization), where soil conditions and vegetative cover are manipulated to reduce the heavy metals mobility. Phytoextraction uses the remarkable ability of hyperaccumulator plants to concentrate metals from the environment into the harvestable parts of above ground shoots. This technique has limitations and advantages. Phytoremediation is environmental friendly, a cost-effective, non-intrusive, aesthetically pleasing and socially accepted. Soil conditions and pollutant concentrations must be within the limits of plant tolerance. This technique is widely viewed as the ecologically responsible alternative to the destructive physical remediation methods. Improvement of plants by genetic engineering and screening appreciate plant species opens up new possibilities for phytoremediation.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, gleby zanieczyszczone, fitoremediacja, fitoekstrakcja, fitostabilizacja, hiperakumulator

Key words: heavy metals, contaminated soils, phytoremediation, phytoextraction, phytostabilization, hyperaccumulator

Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi zwraca znaczną uwagę opinii publicznej, a skala problemu wymaga natychmiastowego działania [1]. Metale ciężkie są wszechobecnym zanieczyszczeniem w uprzemysłowionym społeczeństwie a ich głównym źródłem są antropogeniczne emisje do środowiska na skutek działalności przemysłu kopalnianego w tym szczególnie wydobywanie rud metali, gazu ziemnego, paliw kopalnianych, produkcji paliw i energii oraz na skutek stosowania nawozów i pestycydów [2]. Zanieczyszczenia gleby metalami różnią się znacząco od zanieczyszczeń powietrza czy wody gdyż pozostają w niej zdecydowanie dłużej niż w pozostałych elementach biosfery [3]. W ciągu ostatnich dziesięcioleci roczna światowa depozycja metali osiągnęła 22,000 Mg kadmu, 939,000 Mg miedzi, 789,000 Mg ołowiu i 1,350,000 ton cynku [4]. Dane te potwierdzają, że zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi jest globalną katastrofą, w której największy udział ma człowiek wraz ze swą konsumpcyjną naturą [5]. Wszystkie metale ciężkie przy wysokiej koncentracji działają toksycznie na organizmy ludzi, zwierząt, roślin i mikroorganizmów [6-11]. Opierając się na fizycznych i chemicznych właściwościach metali wyróżnia się trzy odmienne mechanizmy toksyczności względem organizmów żywych: (i) tworzenie reaktywnych form przez autooksydację i reakcję Fentona (Fe, Cu), (ii) blokowanie podstawowych grup funkcyjnych biomolekuł (Cd, Hg), oraz (iii) przemieszczenie podstawowych jonów metali z biomolekuł [12].

Gleby skażone metalami ciężkimi poddawane są procesom remediacji z zastosowaniem technik chemicznych, fizycznych i biologicznych. Metody chemiczne i fizyczne mogą nieodwracalnie wpływać na właściwości gleby, niszczyć bioróżnorodność, powodować że stają się bezużyteczne jako medium dla wzrostu i rozwoju roślin, a także są metodami wymagającymi poniesienia dużych nakładów finansowych, zwłaszcza techniki składowania i chemicznego traktowania gleb [13]. Jeżeli przy wyborze metody remediacji uwzględnimy jeszcze właściwości gleby, warunki geograficzne, położenie skażonego terenu oraz jego dużą powierzchnię, mamy gotową odpowiedź dlaczego większość przedsiębiorstw i potencjalnych trucicieli wykazuje tendencje do ignorowania problemu oraz zapomina o jego istnieniu i długotrwałych w skutkach zagrożeniach związanych z migracją zanieczyszczeń do środowiska [2]. Zanieczyszczenia organiczne gleby mogą ulegać procesom degradacji, natomiast metale ciężkie nie podlegają biologicznemu rozkładowi a jedynie przekształceniu z formy utlenionej lub organicznego kompleksu w inną nadal pozostającą w środowisku [8,14,15].

Rozważając remediację gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi uzasadnione wydaje się stosowanie roślin akumulujących metale ciężkie na zasadzie ich ekstrakcji z zanieczyszczonej gleby [16]. Pojęcie fitoremediacji pochodzi od greckiego słowa *phyton* - roślina i łacińskiego *remediare* - naprawiać. Rośliny mogą być uznawane za pompy

napędzane energią słoneczną, które wyciągają i gromadzą w swych poszczególnych organach metale ciężkie [14]. Technologie fitoremediacyjne skupiają się na zastosowaniu roślin do procesów usuwania, przenoszenia, stabilizacji i/lub degradacji zanieczyszczeń w glebie, osadach i wodzie [17]. Przy czym wykorzystywane są naturalnie występujące lub stworzone metodami inżynierii genetycznej rośliny o zdolnościach do kumulowania znacznych ilości metali ciężkich w swych tkankach bez objawów toksycznego wpływu tych metali na wzrost i rozwój roślin [13,14]. Fitoremediacja uznana jest za efektywną, nieinwazyjną, korzystną finansowo, estetyczną, akceptowalną społecznie i stanowiącą ekologiczną alternatywę dla ingerujących w ekosystem metod fizycznych remediacji [16,18]. Fitoremediacja posiada zalety jak również ograniczenia stosowania (Tab. 1) [2].

Na mechanizm fitoremediacji składają się akumulacja i transport zanieczyszczeń oraz ich detoksyfikacja. W ryzofosferze hiperakumulatorów uwalniane są protony, które powodują zakwaszenie środowiska glebowego przez co zwiększa się mobilność metali oraz ich biodostępność, co jest głównym czynnikiem determinującym efektywność procesu fitoremediacji [19]. Transport jonów metali przez błonę komórkową umożliwiają zakotwiczone w błonie białka transportujące, które prawdopodobnie spełniają kluczową rolę w tym procesie. Rośliny w strefie ryzofosfery wydzielają chelaty, z których najlepiej poznane to metalotioneiny oraz fitochelatyny. Chelaty wiążą jony metali przez co transport już nienaładowanych jonów do komórek jest znacznie ułatwiony. Kolejnym czynnikiem przyspieszającym absorpcję metali przez korzenie jest sekrecja kwasów organicznych, jak np. kwas jabłkowy czy cytrynowy [19,20]. W fitoremediacji oprócz pobierania metali, strategiczne znaczenie ma również mechanizm ich detoksyfikacji. Hiperakumulatory ewoluowały własne mechanizmy chroniące przed negatywnym wpływem metali na komórki. Okazuje się, że chelatacja ma podstawowe znaczenie także w fazie detoksyfikacji, gdyż związane przez ligandy jony stają się nienaładowane i obojętne, a przez to ich toksyczny wpływ na komórkę znacząco zredukowany. W komórce dochodzi do sekwestracji metali, a ich głównym miejscem magazynowania jest wakuola, gdzie w ostatniej fazie detoksyfikacji, nazywanej fazą kompartmentacji metale są przetransportowane do wakuoli lub apoplastycznych przedziałów komórki. Pozwala to na bezpieczne zdeponowanie metali ograniczając ich występowanie tylko do określonych miejsc, przez co pozostałe elementy komórki nie są na nie narażone [19-23]. Niektóre rośliny chronią się przed akumulacją i długotrwałym magazynowaniem wybranych jonów metali transformując je w mniej toksyczne formy lotne jak np. Hg(2) na Hg(0), co wykorzystywane jest w fitowolatilizacji [13].

W dziedzinie fitoremediacji metali ciężkich z gleb zostały zdefiniowane różne kategorie, takie jak: a) fitoekstrakcja-absorpcja i zatrzymywanie zanieczyszczeń przez korzenie

oraz ich przemieszczanie do pędów; b) fitostabilizacja – zachodzi immobilizacja metali w glebie lub korzeniach, przez co redukuje się ich mobilność i biodostępność, c) fitowolatyliczacja – niektóre jony pierwiastków podgrup I, V i VI jak rtęć, selen, lub arsen są absorbowane przez korzenie a następnie przekształcane w formy mniej toksyczne i kolejno uwalniane do atmosfery [2,3,19,20,24-30].

Przykłady zastosowania roślin w fitostabilizacji oraz fitoekstrakcji, w oparciu o doświadczenia polowe i wazonowe przedstawiono w tabeli 2 [31].

Fitoekstrakcja

Nazywana również fitoakumulacją wykorzystuje potencjał roślin tzw. hiperakumulatorów do absorbowania niezwykle dużych zawartości metali ciężkich. Jest to technologia obejmująca mobilizację jonów przez redukcję związkami chelatującymi, pobieranie zanieczyszczeń z gleby przez korzenie roślin, następnie transport w ksylemie, redystrybucję do tkanek oraz sekwestrację w komórkach [13,22]. W kolejnym etapie rośliny są zbierane i usuwane, a sam proces może być wielokrotnie powtarzany aż do uzyskania pożądanych efektów, zapewniając tym samym trwałe usunięcie metali takich jak Pb, Cd, Ni, Cu, Cr i V [5,19,32,33]. Ze względu na toksyczne działanie metali ciężkich na wzrost i rozwój roślin proces może być stosowany na obszarach o niskim do umiarkowanego poziomie zanieczyszczeń [13].

W celu osiągnięcia wysokiej efektywności procesu fitoremediacji stosowane rośliny powinny charakteryzować się dużym potencjałem do kumulowania metali ciężkich, tolerancją na zanieczyszczenia gleby oraz osiągać odpowiednio duży przyrost biomasy w niekorzystnych warunkach glebowych [8,23,34,35]. Niestety wiele roślin charaktery-

zujących się ponadprzeciętną zdolnością do kumulowania metali ciężkich (opisanych jest ich ok. 400 gatunków), to rośliny zielne, wolno rosnące, o małym przyroście biomasy i płytkim systemie korzeniowym jak np. tobołki [2,8,13,36] (Tab. 3).

Tab. 1. Korzyści i ograniczenia stosowania fitoremediacji [2]

Zalety	Ograniczenia
Stosowana do zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych	Limitowana przez głębokość penetracji korzeni, rozpuszczalność i dostępność zanieczyszczeń.
Redukuje ilość składowanych odpadów	Chociaż szybsza niż naturalne samoczyszczanie się, to jednak wymagają długiego okresu czasu, nawet do kilkadziesiąt lat.
Nie wymaga zastosowania drogiego sprzętu i wyspecjalizowanego personelu	Zakres stosowania ograniczony do terenów o niskim i średnim poziomie zanieczyszczeń
Może być stosowana <i>in situ</i> przez co zmniejsza się zaburzający wpływ na środowisko glebowe i rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń	Biomasa uzyskana z fitoekstrakcji wymaga szczególnego traktowania jako materiał niebezpieczny
Ze wstępnych szacunków kosztów wynika, że fitoremediacja jest tańsza od konwencjonalnych metod remediacji	Zależność od klimatu oraz sezonowości. Efektywność procesu może ulec zmniejszeniu podczas uszkodzenia roślin w okresie wegetacji na skutek występowania choroby lub szkodników oraz lokalnych skrajnych warunków pogodowych.
Metoda łatwa do wdrożenia i utrzymania. Rośliny są tanim, łatwo dostępnym i odnawialnym źródłem energii.	Należy unikać wprowadzania inwazyjnych i nieodpowiednich gatunków roślin (obecnie gatunki mogą zachwiać bioróżnorodność)
Przyjazne dla środowiska i społecznie akceptowalne.	Istnieje ryzyko transferu metali do innych matryc środowiska jak woda lub powietrze oraz zostać włączone do łańcucha pokarmowego.
Generują mniej hałasu niż inne metody remediacji a wręcz przeciwnie, otuliny drzew redukują hałas pochodzący z działalności przemysłowej	Wprowadzone metody uprawy mogą wpłynąć negatywnie na mobilność metali

Tab. 2. Zastosowanie różnych gatunków roślin w fitoekstrakcji i fitostabilizacji [31]

Gatunek rośliny	Proces fitoremediacji	Rodzaj doświadczenia	Zawartość metali w glebie (mg/kg)	Odniesienia literaturowe
<i>Brassica Juncea</i>	fitostabilizacja	wazonowe	Cr (100)	Bluskov i inni (2005)
<i>Lupinus albus</i>	fitostabilizacja	wazonowe	Cu, Pb, Zn (30/2947/2058)	Marinez-Alcala i inni (2009)
<i>Populus tremuloides</i>	Nieokreślono	polowe	Cu	Seguin i inni (2004)
<i>Salix viminalis x Salix Schweriniae</i>	fitostabilizacja	wazonowe	Hg (30)	Wang i inni (2005)
<i>Stachys sylvatica</i>	fitostabilizacja	polowe	As	Antosiewicz i inni (2008)
<i>Nicotiana tabacum</i>	fitoakumulacja	wazonowe	ZnEDTA (60.1)	Loosemore i inni (2004)
<i>Salix viminalis</i>	fitoakumulacja	wazonowe	Cd, Cu, Zn (1.76/547/666)	Hammer i Keller (2002)
			Cd, Cu, Zn (2.49/227/1144)	Hammer i Keller (2002)
<i>Alyssum pintodasilvae</i>	fitoakumulacja	polowe	Ni (2199-3028)	Garcia-Leston i inni (2007)
		wazonowe	Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Ni (100/250/500/2000/2500)	Kidd i Monterroso (2005); Kidd i inni 2007
<i>Brassica oleracea</i>	fitoakumulacja	wazonowe	Tl (1300)	Al.-Najar i inni (2003)
<i>Iberis intermedia</i>	fitoakumulacja	wazonowe	Tl (1300)	Al.-Najar i inni (2003)
<i>Pteris vittata</i>	fitoakumulacja	wazonowe	As (105)	Silva Gonzagai inni (2006)
<i>Thlaspi caerulescens</i>	fitoakumulacja	wazonowe	Cd/Pb/Zn (15.4/4800/2190)	Puschenreiter i inni (2003)
			Cd/Cu/Zn (2.49/227/1144)	Hammer i Keller (2002)
			Cd/Cu/Zn (1.76/547/666)	Hammer i Keller (2002)
<i>Thlaspi goeingense</i>	fitoakumulacja	polowe	Ni (2580)	Wenzel i inni (2003)
		wazonowe	Cd/Ni/Pb/Zn (15.4/26.2/4800/2190)	Puschenreiter i inni (2003)

Tab. 3. Przykłady hiperakumulatorów [2,8,13,36]

Pierwiastek	Gatunek rośliny	Zawartość metalu (mg/kg)
Cynk (Zn)	<i>T. caerulescens</i>	39,600
Kadm (Cd)	<i>T. caerulescens</i>	1,800
Nikiel (Ni)	<i>Alyssum bertolonii</i>	13,400
Selen (Se)	<i>Astragalus racemosus</i>	14,900
Tall (Tl)	<i>Iberis intermedia</i>	3,070
Miedź (Cu)	<i>Ipomoea alpina</i>	12,300
Kobalt (Co)	<i>Haumaniastrum robertii</i>	10,200
Arsen (As)	<i>P. vittata</i>	27,000

Koncentracja metali u hiperakumulatorów jest 100 do 1000 razy wyższa niż u roślin rosnących na glebach niezanieczyszczonych metalami oraz 10 do 100 razy wyższa w porównaniu do większości innych roślin rosnących na glebach zanieczyszczonych metalami ciężkimi [34]. Uzasadnione więc jest stosowanie gatunków odpornych na metale ciężkie, intensywnie rosnących, o dużym potencjale do kumulowania metali, wytwarzających bujny system korzeniowy i nie wymagających żyznej gleby, odpornych na choroby i szkodniki oraz mało atrakcyjnych jako pokarm dla zwierząt [37]. Alternatywą mogą być wybrane gatunki drzewiaste np. topola czy wierzba, czy też wybrane gatunki z rodziny *Gramineae* [8,38,39]. Jeżeli biodostępność metali nie jest wystarczająca aby ją zwiększyć można wprowadzić tzw. indukowaną fitoekstrakcję, w której stosuje się związki chelatujące jak np. EDTA, EGTA, EDDHA, EDDS [8,20,22,40-43]. Substancje te zwiększają ilość biodostępnych metali w roztworze glebowym przez uwalnianie i wypieranie metalu z fazy stałej gleby lub zwiększają rozpuszczalność wytrąconych metali [32]. Działanie pewnych związków chelatujących niesie jednak ryzyko wymywania metali i ich przenikania do wód gruntowych [8,44]. W celu zwiększenia efektywności fitoekstrakcji metodami inżynierii genetycznej tworzy się rośliny o ulepszonych cechach rekultywacyjnych, a także prowadzi się selekcję i testowanie w poszukiwaniu odpowiednich hiperakumulatorów [20, 45,46].

Fitostabilizacja

W przeciwieństwie do fitoekstrakcji, fitostabilizacja nie wiąże się z usuwaniem metali ale z ich zatrzymywaniem w glebie przez absorpcję i akumulację w korzeniach, adsorpcję na powierzchni korzeni lub precypitację w strefie ryzosfery redukując w ten sposób zagrożenie dla środowiska. Dochodzi także do fizycznej stabilizacji gleby, przeciwdziałania erozji wodnej i wietrznej oraz odbudowy okrywy roślinnej, przez co ogranicza się rozprzestrzenianie metali do innych matryc jak woda czy powietrze [13,19]. Immobilizacja toksycznych metali może być wspomagana przez dodatek materii organicznej w postaci biomasy, kompostu i osadów, przez podniesienie wartości pH w skutek zastosowania wapnowania, lub przez dodatek minerałów ilastych, fosforanów lub węglanów [19,47]. Dodatki te mają na celu tworzenie nierozpuszczalnych komplek-

sów metali o ograniczonej biodostępności dla roślin, a także stanowią nawóz wykorzystywany przez rośliny w odbudowie okrywy roślinnej [13,19,48,49]. Fitostabilizacja przynosi więc najlepsze efekty na glebach drobnoziarnistych, o dużej zawartości materii organicznej. W technologii fitostabilizacji nie usuwa się otrzymanej biomasy roślinnej. Najczęściej stosowane są wybrane gatunki roślin głównie z rodziny *Gramineae* (trawy) lub *Leguminosae* (motylkowate) [39,50]. Stwierdzono, że rośliny stosowane w fitostabilizacji powinny posiadać wysoki współczynnik biokoncentracji, a niski współczynnik translokacji metali do pędów nadziemnych, charakteryzować się wysokim poziomem tolerancji na zanieczyszczenia gleby oraz dużą produkcją biomasy korzeni [13].

Fitoremediacja, nazywana „zieloną technologią”, znajduje szerokie zastosowanie w remediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi oraz w oczyszczaniu osadów, wód powierzchniowych i gruntowych. Odnajdujemy tu zarówno pozytywne aspekty jak i ograniczenia stosowania procesu. Oczyszczanie środowiska z udziałem roślin stanowi obiecującą i przyszłościową alternatywę dla metod konwencjonalnych. Fitoremediacja jest nadal w fazie badań i eksperymentów, które niejednokrotnie wymagają długiego czasu, ich rezultaty są obiecujące a dalsze badania konieczne.

LITERATURA:

- [1] Garbisu C., and Alkorta I.: Basic concepts on heavy metal soil bioremediation. *European Journal of mineral procession and Environmental Protection*, 3, 58-66 (2003).
- [2] Alkorta I., Hernandez-Alica J., Becerril J.M., Amezcaga I., Albizu I., and Garbisu C.: Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 3, 71-90 (2004).
- [3] Lasat M.M.: Phytoextractoin of toxic metals – A revive of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 27(1), 165-168 (2002).
- [4] Singh O.V., Labana S., Pandey G., Budhiraja R., and Jain R.K.: Phytoremediation: an overview of metallicion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 36, 3706-3710 (2003).
- [5] Chehregani A., Noori M., Yazdi H.L.: Phytoremediation of heavy-metal-polluted soils: screening for new accumulator plants in Angouran mine (Iran) and evaluation of removal ability. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 1349-1353 (2009).
- [6] Baudouin C., Charveron M., Tarrouse R., and Gall Y.: Environmental pollutants and skin cancer. *Cell Biology and Toxicology*, 18, 341-348 (2002).
- [7] Bodar C.W., Pronk M.E., Sijm D.T.: The European Union risk assessment on zinc and zinc compounds: the process and the facts. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1, 301-319 (2006).
- [8] Doumet S., Lamperi L., Checchini L., Azzarello E., Mungai S., Mancuso S., Petruzzelli G., Del Bubba M.: Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: influence of different complexing agents. *Chemosphere*, 72, 1481-1490 (2008).
- [9] Fotakis G., Timbrell J.A.: Role of trace elements in cadmium chloride uptake in hepatoma cell lines. *Toxicology Letters*, 164, 97-103 (2006).
- [10] Sawidis T.: Effect of cadmium on pollen germination and tube growth in *Lilium longiflorum* and *Nicotiana tabacum*. *Protoplasma*, 233, 95-106 (2008).
- [11] Stoltz E. and Greger M.: Accumulation properties of AS, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. *Environmental and Experimental Botany*, 47(3), 271-280 (2002).

- [12] Schutzenubel A., and Polle A.: Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany* 53: 1351–1365 (2002).
- [13] Padmavathiamma P. and Li L.Y.: Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 184, 105-126 (2007).
- [14] Raskin I., Smith R.D. and salt D.E.: Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*, 8, 221-226 (1997).
- [15] Garbisu C. and Alkorta I.: Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77, 229–236 (2001).
- [16] Garbisu C., Hernandez-Allica J., Barrutia O., Alkorta I. and Becerril J.M.: Phytoremediation: a technology using green plants to remove contaminants from polluted areas. *Rev. Environ. Health*, 17, 75–90 (2002).
- [17] Hughes J.B., Shanks J., Vanderford M., Lauritzen J. and Bhadra R.: Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures. *Environmental Science and Technology*, 31, 266-271 (1997).
- [18] Meagher R.B.: Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*, 3, 153–162 (2000)
- [19] Jabeen R., Ahmad A., Iqbal M.: Phytoremediation of Heavy Metals: Physiological and Molecular Mechanisms. *Botanical Review*, 75, 339-364 (2009).
- [20] Gang W., Hubiao K., Xiaoyang Z., Hongbo Shao., Liye C., Chengjiang R.: A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. *Journal of Hazardous Materials*, 174, 1-8 (2010).
- [21] Tong Y., Kneer P. and Zhu Y.G.: Vacuolar compartmentalization: a second-generation approach to engineering plants for phytoremediation. *Trends Plants and Science*, 9, 7-9 (2004).
- [22] Sheoran V., Sheoran A.S., Poonia P.: Phytomining: A review. *Minerals Engineering*, 22, 1007-1019 (2009).
- [23] Wei S., Teixeira da Silva J.A., Zhou Q.: Agro-improving method of phytoextracting heavy metal contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 662-668 (2008).
- [24] Kavamura V.N., Esposito E.: Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. *Biotechnology Advances*, 28, 61-69 (2010).
- [25] Eapen S., Suseelan K.N., Tivarekar S., Kotwal S.A., Mitra R.: Potential for rhizofiltration of uranium using hairy root cultures of *Brassica juncea* and *Chenopodium amaranticolor*. *Environmental Research*, 91, 127–133 (2003).
- [26] January M.C., Cutright T.J., Van Keulen H., Wei R.: Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: can *Helianthus annuus* hyperaccumulate multiple heavy metals? *Chemosphere*, 70, 531–7 (2008).
- [27] Panfili F., Manceau A., Sarret G., Spadini L., Kirpichtchikova T., Bert V., et al.: The effect of phytostabilization on Zn speciation in a dredged contaminated sediment using scanning electron microscopy, X-ray fluorescence, EXAFS spectroscopy, and principal components analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69, 2265–2284 (2005).
- [28] Vázquez S., Agha R., Granado A., Sarro M.J., Esteban E., Peñalosa J.M., et al.: Use of white lupin plant for phytostabilization of Cd and As polluted acid soil. *Water, Air and Soil Pollution*, 177, 349–365 (2006).
- [29] Brunner I., Luster J., Günthardt-Goerg M.S., Frey B.: Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution*, 15, 559–568 (2008).
- [30] Newman L.A., Reynolds C.M.: Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 225–30 (2004).
- [31] Kidd P., Barcelo J., Bernal M.P., Navari-Izzo F., Poschenrieder C., Shilev S., Clemente R., Monterroso C.: Trace element behavior at the root-soil interface: Implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 243-259 (2009).
- [32] Prasad M.N.V., and Freitas H.: Metal hyperaccumulation in plants-Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, 275-321 (2003).
- [33] Sas-Nowosielska A., Kucharski R., Małkowski E., Pogrzeba M., Kuperberg J.M. Kryński K.: Phytoextraction crop disposal- an unsolved problem. *Environmental Pollution*, 128, 373-379 (2004).
- [34] McGrath S.P., Zhao F.J. and Lombi E.: Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. *Advances in Agronomy*, 75, 1–56 (2002)
- [35] Liang H.M., Lin T.H., Chiou J.M., Yeh K.C.: Model evaluation of the phytoextraction potential of heavy metal hyperaccumulators and non-hyperaccumulators. *Environmental Pollution*, 157, 1945-1952 (2009).
- [36] Reever R.D., Baker A.J.M.: Metal accumulating plants. In: Raskin I., Ensley B.D. (ed.): *Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean up the Environment*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 193-229 (2000).
- [37] Thangavel P., and Subhram C.V.: Phytoextraction –Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. Part B, 70(1), 109–130 (2004).
- [38] Robinson B.H., Mills T.M., Petit T., Fung L.E., Green S.R., Clothier B.E.: Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant Soil*, 227, 301-306 (2000).
- [39] Zhang X., Xia H., Li Z., Zhuang P., Gao B.: Potential of four grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils. *Bioresource Technology*, 101, 2063-2066, (2010).
- [40] Tandy S., Schulin R., and Nowack B.: The influence of EDDS on the uptake of heavy metals in hydroponically grown sunflowers. *Chemosphere*, 62(9), 1454–1463 (2006).
- [41] Cooper E.M., Sims J.T., Cunningham S.D., Huang J.W., and Berti W.R.: Chelate- assisted phytoextraction of lead from contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*, 28, 1709-1719 (1999).
- [42] Huang J.W., Chen J., Berti W.R., and Cunningham S.D.: Phytoremediation of lead contaminated soil: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science and Technology*, 31(3), 800-805 (1997).
- [43] Luo C.L., Shen Z.G., Li X.D., and Baker A.J.M.: Enhanced phytoextraction of Pb and other metals from artificially contaminated soils through the combined application of EDTA and EDDS. *Chemosphere*, 63(10), 1773-178 (2006).
- [44] Santos F.S., Hernandez-Allica L., Becerril J.M., Amaral-Sobrinho N., Mazur N., Garbisu C.: Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soils with *Brachiaria decumbens*. *Chemosphere*, 65, 43-50 (2006).
- [45] Eapen S., and D'Souza S.F.: Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. *Biotechnology Advances*, 23, 97- 114 (2005).
- [46] Suresh B., and Ravishankar G.A.: Phytoremediation - A novel and promising approach for environmental clean-up. *Critical Reviews in Biotechnology*, 24, 97-124 (2004).
- [47] Schnoor J.L.: Phytostabilization of metals using hybrid poplar trees . 133-150. W: I. Raskin and Y.B.D. Ensley eds. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. Wiley, New York (2000).
- [48] Adriano D.C., Wenzel W.W., Vangronsveld J., and Bolan N.S.: Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma*, 122, 121-142 (2004).
- [49] Kacprzak M.: Wspomaganie procesów remediacji gleb zdegradowanych. Seria MONOGRAFIE 128. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa (2007).
- [50] Yoon J., Cao X., Zhou Q., and Ma L.Q.: Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of The Total Environment*, 368 (2–3), 456–464 (2006).

Zaprosili nas

Polski System Recyklingu Organizacja SA (PSR) na serię bezpłatnych szkoleń pt. „Obowiązek odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i użytkowych - zagadnienia teoretyczne i praktyczna realizacja”, które odbyły się 18 października w Warszawie, 4 listopada w Poznaniu oraz 19 listopada w Katowicach.

Instytut Techniki Budowlanej na seminarium, które odbędzie się 12 stycznia 2011 r. podczas Międzynarodowych Targów Budownictwa BUDMA 2011 w Poznaniu. Tematyką spotkania będą „Zielone zamówienia publiczne w budownictwie – problemy i rozwiązania”.