

WYKORZYSTANIE ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO DO EKSTRAKCY METALI CIĘŻKICH Z GLEBY

Jacek Antonkiewicz¹, Czesława Jasiewicz¹, Tomáš Lošák²

¹ Akademia Rolnicza w Krakowie

² Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, Czech Republic

Streszczenie. Badania przeprowadzone w latach 1997–2001 miały na celu określenie wpływu chemicznego zanieczyszczenia gleby na wielkość plonu oraz poziom bioakumulacji metali ciężkich w roślinach ślázowca pensylwańskiego. Schemat doświadczenia wazonowego obejmował osiem obiektów różniących się dawką wprowadzonych do gleby metali ciężkich – kadmu, ołowiu, niklu, miedzi i cynku. Średni okres wegetacji ślázowca pensylwańskiego wynosił 157 dni. Toksyczny wpływ metali ciężkich na plon ślázowca zarejestrowano od poziomu 80 mg Cd, 480 mg Pb, 240 mg Ni, 320 mg Cu i 800 mg Zn na 1 kg suchej masy gleby. Obniżenie plonu części nadziemnych w stosunku do plonu w obiekcie kontrolnym kształtowało się w zakresie od 24 do 98% w zależności od obiektu i roku badań. W miarę wzrostu zanieczyszczenia gleby systematycznie zwiększała się zawartość metali ciężkich w częściach nadziemnych roślin oraz wynos przez nie tych metali, z tym że przy najwyższych poziomach zanieczyszczenia notowano spadek odprowadzenia metali. Rośliny ślázowca w największym stopniu ekstrahowały z gleby nikiel, a w najmniejszym miedź. Poziom odprowadzenia metali ciężkich z gleby wskazuje, że ślázowiec pensylwański może być traktowany jako potencjalny fitoekstraktor przydatny do remediacji gleb chemicznie zanieczyszczonych.

Słowa kluczowe: ślázowiec pensylwański, fitoekstrakcja, metale ciężkie, wynos

WSTĘP

Degradacja gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi wywołana wysoką toksycznością tych pierwiastków powoduje konieczność remediacji takich gleb. Zastosowanie znajdują tu różne metody fizykochemiczne, które jednak są często mało opłacalne ekonomicznie lub mało efektywne [Alexander i in. 1997, Fitz i Wenzel 2002]. Z tej przyczyny od dawna wskazywano na fitoremediację jako metodę mogącą skutecznie konkurować

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Jacek Antonkiewicz,
Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków,
e-mail: rrantonk@cyf-kr.edu.pl

z tymi tradycyjnymi metodami remediacji zanieczyszczonych chemicznie gleb [Salt i in. 1998, Sas-Nowosielska i in. 1999]. Pierwszym krokiem w rozwoju fitoremediacji stało się poznanie roślin zwanych hiperakumulatorami, zdolnych do gromadzenia ponad 0,1% metali w suchej masie [Wasinkiewicz i in. 2004]. Wcześniejsze badania własne pozwoliły zorientować się, jaką zdolność do oczyszczania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi mają niektóre gatunki roślin [Antonkiewicz i Jasiewicz 2002, 2003]. Sukces metody fitoekstrakcji zależy przede wszystkim od wyboru odpowiedniego gatunku rośliny. Pożądane cechy roślin, umożliwiające ich zastosowanie do fitoekstrakcji, to m.in. szybki wzrost, wytwarzanie dużej biomasy w krótkim czasie, rozbudowany system korzeniowy, dobra tolerancja na zanieczyszczenia, duża zdolność do gromadzenia metali ciężkich szczególnie w tkankach części nadziemnych, wysoka odporność na choroby i szkodniki [Kucharski i in. 1999, Wasinkiewicz i in. 2004]. Do takich roślin należy ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ponadto gatunek ten nie ma specjalnych wymagań w stosunku do gleby. Uprawę ślazowca można zakładać na gruntach zanieczyszczonych chemicznie, w okręgach przemysłowych, w których uprawa tradycyjnych roślin konsumpcyjnych nie jest pożądana [Borkowska 1991, Borkowska i in. 1995].

Celem badań było określenie wpływu zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi – kadmem, ołowiem, niklem, miedzią i cynkiem – na wielkość plonu oraz poziom bioakumulacji Cd, Pb, Ni, Cu i Zn w roślinach ślazowca pensylwańskiego wykorzystywanego do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych chemicznie.

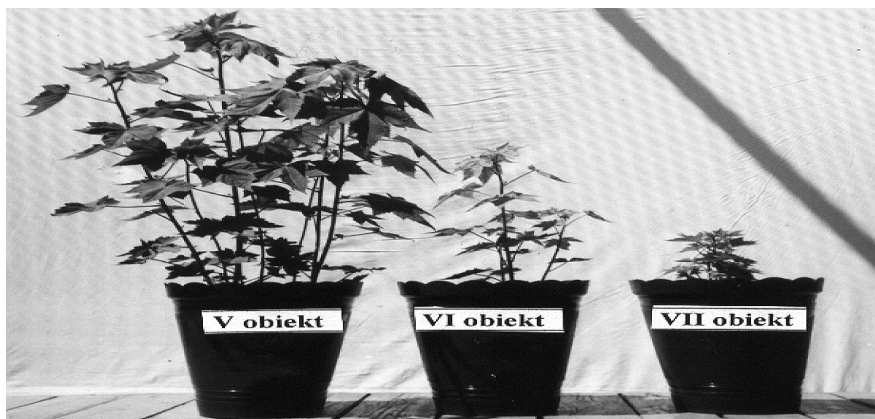
MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 1997–2001 w warunkach doświadczenia wazonowego w hali wegetacyjnej. Do doświadczenia użyto gleby o składzie granulometrycznym pyłu zwykłego. Pojemność sorpcyjna gleby wynosiła $81,1 \text{ cmol (+)} \cdot \text{kg}^{-1}$, wartość pH_{KCl} była równa 6,0, a zawartość węgla organicznego stanowiła 9,5%. Zawartość metali ciężkich w glebie, oznaczona po mineralizacji w 65-procentowym kwasie azotowym i 70-procentowym kwasie nadchlorowym, wynosiła ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby): kadm – 1,2, ołów – 54,3, nikiel – 5,0, miedź – 13,8, cynk – 226,6. Schemat doświadczenia obejmował osiem obiektów (każdy w czterech powtórzeniach): obiekt kontrolny (bez dodatku metali ciężkich) i siedem obiektów ze wzrastającymi dawkami metali ciężkich (I–VII; patrz tab. 1). Przyjęte poziomy zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi są porównywalne z występującymi w różnych rejonach działalności hutniczej [Kicińska i Helios-Rybicka 1995]. Metale ciężkie zastosowano w formie wodnych roztworów soli: $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ i $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Gleba we wszystkich wazonach otrzymywała corocznie jednakowe nawożenie podstawowe: 0,3 g N w NH_4NO_3 , 0,08 g P w KH_2PO_4 , 0,20 g K w $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KCl}$ i 0,05 g Mg w $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na 1 kg s.m. gleby. Metale ciężkie wymieszano z glebą na tydzień przed wysiewem nasion. Okres wegetacji ślazowca pensylwańskiego w kolejnych latach badań trwał odpowiednio 143, 164, 153, 160 i 165 dni. W czasie wegetacji rośliny podlewano wodą redestylowaną, utrzymując wilgotność gleby na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej. Rośliny zbierano w fazie kwitnienia. Po zbiorze materiał roślinny suszono w termostacie w temperaturze 75°C , a następnie określano wielkość plonu części

nadziemnych. Zawartość Cd, Pb, Ni, Cu i Zn oznaczano po spopieleniu na sucho, techniką płomieniową za pomocą spektrofotometru absorpcji atomowej (ASA) firmy Philips, model PU 9100 X [Ostrowska i in. 1991].

WYNIKI I DYSKUSJA

W pierwszym roku doświadczenia wzrost roślin ślazuwca pensylwańskiego utrzymywał się do V poziomu zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi. W obiektach VI i VII nie zarejestrowano wzrostu roślin, co można wiązać z biodostępnym zanieczyszczeniem polimetalicznym, które było bardzo toksyczne dla kiełkujących nasion. W drugim roku, po wysadzeniu w tych obiektach sadzonek korzeniowych ślazuwca, zaobserwowano tam powolny, ale systematyczny wzrost roślin. W trzecim i kolejnych latach badań tempo wzrostu roślin we wszystkich obiektach było zdecydowanie większe. W badanym okresie nie obserwowano zasadniczych różnic wyglądu roślin do IV poziomu zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi. Przy większym zanieczyszczeniu, tj. od dawki 80 mg Cd, 480 mg Pb, 240 mg Ni, 320 mg Cu i 800 mg Zn · kg⁻¹ · s.m. gleby (V obiekt), wzrost ślazuwca był zahamowany (rys. 1).



Rys. 1. Wygląd roślin ślazuwca pensylwańskiego w obiektach najsilniej zanieczyszczonych metalami ciężkimi; dawki metali – patrz tabela 1

Fig. 1. Appearance of *Sida hermaphrodita* plants in treatments most strongly contaminated with heavy metals; metal rates – see Table 1

Aby sprawdzić, czy i w jakim stopniu wzrost i rozwój ślazuwca pensylwańskiego wiąże się z zanieczyszczeniem gleby metalami ciężkimi, określono wielkość plonu nadziemnych części roślin. Stwierdzono, że zanieczyszczenie do poziomu 40 mg Cd, 160 mg Cu, 120 mg Ni, 240 mg Pb i 400 mg Zn na 1 kg s.m. gleby nie miało istotnego wpływu na plonowanie ślazuwca (tab. 1). Rośliny ślazuwca w obiektach 0–IV miały zdrowy wygląd i ciemnozieloną barwę. Toksyczny wpływ metali ciężkich na rośliny, przejawiający się wyraźną redukcją plonu i chlorozą liści, obserwowano od V poziomu zanieczyszczenia gleby. Istotne obniżenie plonu w stosunku do obiektu kontrolnego było zróżnicowane w zależności od obiektu oraz roku badań i wynosiło: 1997 r. – 46%, 1998 r. – 37–98%, 1999 r. – 25–54%, 2000 r. – 26–49%, 2001 r. – 24–51% (tab. 1). We wcześ-

Tabela 1. Plon suchej masy części nadziemnych roślin ślázowca pensylwańskiego (g·wazon⁻¹)
 Table 1. Dry matter yield of top parts of *Sida hermaphrodita* plants (g·pot⁻¹)

Obiekt Treatment	Dawki metali mg·kg ⁻¹ s.m. gleby Metal rates mg·kg ⁻¹ d.m. soil	Lata – Years				
		1997	1998	1999	2000	2001
0	kontrola – control	118,04	609,01	952,98	1001,34	1033,29
I	Cd 5 Cu 20 Ni 15 Pb 30 Zn 50	123,94	612,76	978,51	1000,31	1029,69
II	Cd 10 Cu 40 Ni 30 Pb 60 Zn 100	111,93	593,62	935,56	969,29	998,00
III	Cd 20 Cu 80 Ni 60 Pb 120 Zn 200	115,41	586,80	946,93	974,67	994,75
IV	Cd 40 Cu 160 Ni 120 Pb 240 Zn 400	105,98	580,57	866,59	883,87	885,01
V	Cd 80 Cu 320 Ni 240 Pb 480 Zn 800	63,66	383,04	715,65	736,26	783,47
VI	Cd 160 Cu 640 Ni 480 Pb 960 Zn 1600	–	233,83	461,15	517,29	545,39
VII	Cd 320 Cu 1280 Ni 960 Pb 1920 Zn 3200	–	12,25	436,78	505,89	510,34
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		15,73	29,65	140,57	119,09	161,78

niejszych badaniach własnych również wykazano, że ślazuca pensylwański cechuje się wysokim potencjałem plonowania, a więc dużą odpornością na obecność metali ciężkich w glebie [Jasiewicz i Antonkiewicz 2000]. Podobnie Borkowska i Styk [1997] donoszą, że ślazuca pensylwański ma wysoki potencjał plonowania, dzięki czemu można go z powodzeniem wykorzystywać do rekultywacji terenów chemicznie zdegradowanych.

Fitoekstrakcję metali ciężkich z gleby oceniano na podstawie zawartości Cd, Pb, Cu, Ni i Zn w testowanych roślinach i wynosu przez nie tych pierwiastków. Zawartość poszczególnych metali ciężkich w roślinach była zróżnicowana w zależności od obiektu i roku doświadczenia i mieściła się w przedziałach ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.): Cd – 0,41–19,11, Pb – 14–18,57, Ni – 0,42–190,90, Cu – 2,17–10,50, Zn – 22,12–489,05 (tab. 2). Największą zawartość Cd, Pb, Ni i Zn w ślazuca zaobserwowano w pierwszym roku badań, po wprowadzeniu metali ciężkich do gleby w formie rozpuszczalnych soli, Cu natomiast w drugim roku badań. Wynikało to m.in. stąd, że wymienione metale były najbardziej dostępne dla ślazuca. Zawartość metali ciężkich w roślinach zwiększała się w miarę wzrostu poziomu zanieczyszczenia gleby tymi metalami. W obiektach VI i VII, w których w pierwszym roku doświadczenia rośliny nie wyrosły, największą zawartość wszystkich metali odnotowano w drugim roku badań. W latach następnych zawartość metali ciężkich w ślazuca we wszystkich obiektach była nieco niższa, co wynikało m.in. z „efektu rozcieńczenia” wywołanego wzrostem plonu (tab. 1, 2). Spośród badanych metali największym zróżnicowaniem zawartości w zależności od obiektu i roku prowadzenia doświadczenia charakteryzował się nikiel ($V = 98,58\text{--}193,63\%$), a najmniejszym miedź ($V = 17,05\text{--}40,35\%$).

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w częściach nadziemnych roślin ślazuca pensylwańskiego ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Table 2. Heavy metal contents of top parts of *Sida hermaphrodita* plants ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)

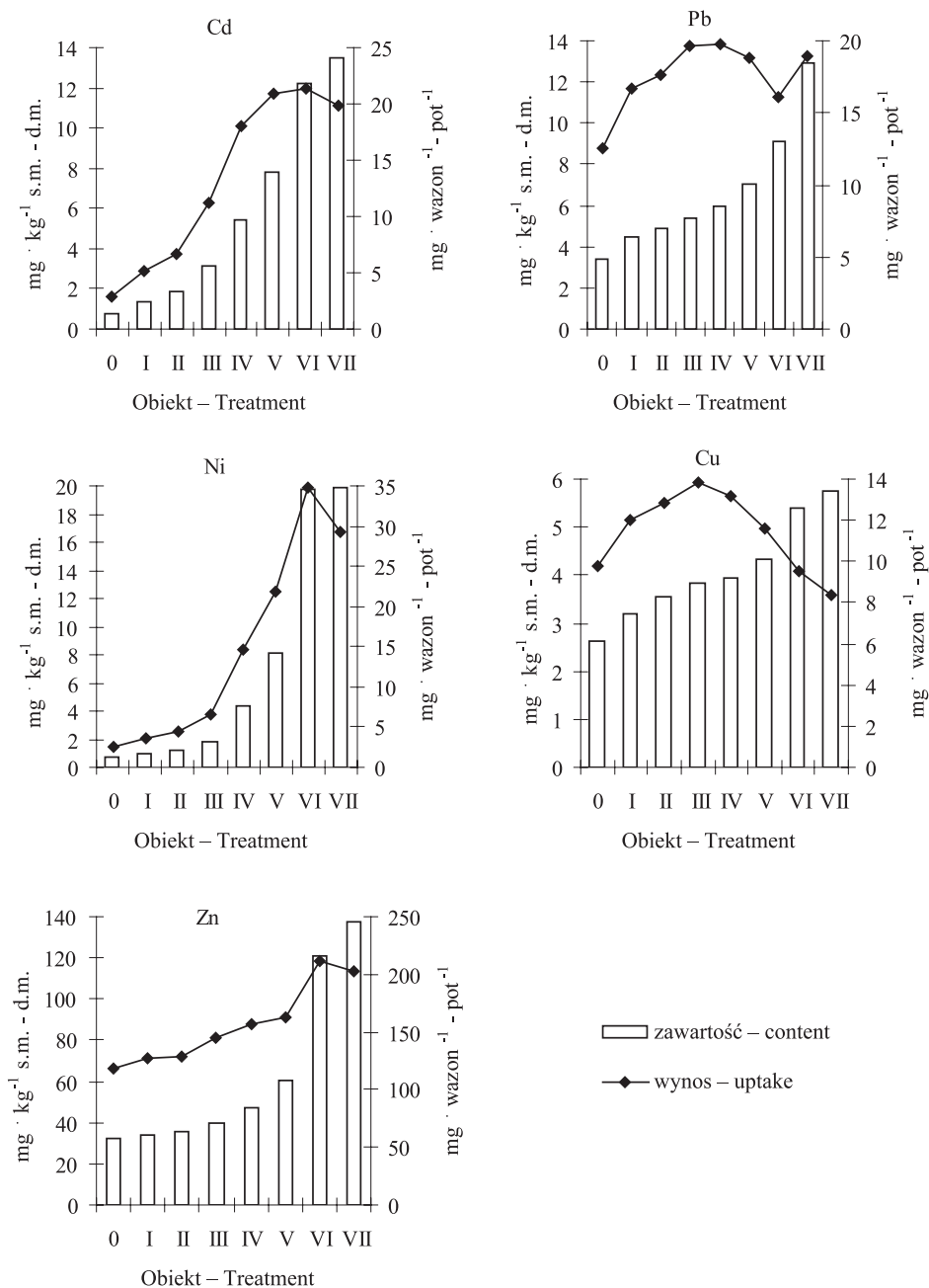
Obiekt Treatment	Lata – Years				
	1997	1998	1999	2000	2001
Kadm – Cadmium					
0	1,36	0,91	0,41	0,81	0,94
I	2,18	1,87	0,68	1,32	1,67
II	3,46	2,59	1,04	1,56	2,24
III	4,87	3,84	1,79	2,62	4,20
IV	7,96	6,15	3,05	5,94	6,45
V	19,11	10,64	3,59	7,89	9,18
VI	–	16,09	6,14	13,07	14,80
VII	–	17,11	8,78	14,24	16,71
Ołów – Lead					
0	5,00	3,11	2,14	4,34	3,57
I	7,53	4,09	3,67	4,67	4,78
II	8,91	5,10	3,80	4,80	5,37
III	10,08	5,76	4,41	5,01	6,04

Tabela 2 cd. – Table 2 contd

Obiekt Treatment	Lata – Years				
	1997	1998	1999	2000	2001
IV	12,25	6,08	4,64	5,88	6,42
V	18,57	6,38	5,06	7,17	7,99
VI	–	9,07	6,45	9,97	10,68
VII	–	15,34	10,90	12,86	14,55
Nikiel – Nickel					
0	1,06	1,10	0,62	0,42	0,74
I	1,54	1,42	0,89	0,55	1,03
II	1,96	1,75	1,06	0,63	1,67
III	2,54	2,33	1,20	1,30	2,54
IV	6,83	4,92	3,36	4,13	5,10
V	48,19	13,81	4,52	5,92	7,61
VI	–	56,85	21,93	9,50	11,71
VII	–	190,90	25,33	14,19	16,89
Miedź – Copper					
0	3,23	3,54	2,17	2,79	2,34
I	3,85	4,16	2,59	3,09	3,26
II	4,34	4,56	2,93	3,36	3,64
III	4,58	4,82	3,19	3,55	4,00
IV	4,80	5,08	3,23	3,68	4,11
V	5,35	5,63	3,40	3,95	4,78
VI	–	8,13	4,49	4,39	6,00
VII	–	10,50	5,04	5,14	6,81
Cynk – Zinc					
0	29,94	28,32	22,12	34,99	40,41
I	32,61	30,87	24,32	35,98	42,85
II	44,50	31,85	26,06	37,73	43,97
III	52,53	38,46	28,03	40,45	50,83
IV	61,19	44,07	27,81	54,32	59,96
V	154,61	77,32	29,45	61,81	71,49
VI	–	159,15	76,06	128,76	134,45
VII	–	489,05	97,16	140,22	161,96

Obiekty 0–VII – patrz tabela 1 – Treatments 0–VII – see Table 1

Na rysunku 2 przedstawiono średnią ważoną zawartości pierwiastków w częściach nadziemnych ślazuca za pięcioletni okres badań. Zależała ona wyraźnie od stopnia zanieczyszczenia podłoża, zwiększając się systematycznie wraz ze wzrostem zanieczyszczenia. Inni autorzy [Borkowska i in. 1995, 1996, Borkowska i Styk 1997] badający



Rys. 2. Średnia w okresie badań zawartość metali ciężkich w roślinach (mg · kg⁻¹ s.m.) i sumaryczny wynos tych metali (mg · wazon⁻¹) przez rośliny ślazuwca pensylwańskiego

Fig. 2. Mean heavy metal content of plants (mg · kg⁻¹ d.m.) and total heavy metal uptake (mg · pot⁻¹) by plants of *Sida hermaphrodita* in study period

kilka gatunków roślin (ligustr, wiklinę, topinambur i ślazowiec pensylwański) m.in. pod kątem ich wykorzystania w rekultywacji stwierdzili, że spośród nich ślazowiec kumuluje największą ilość metali i jest odporny na wysokie stężenie metali ciężkich w tkankach części nadziemnych. O tym, że gatunki wykorzystywane do fitoremediacji powinny odznaczać się dużą tolerancją na wysokie stężenie metali w podłożu, piszą także Kucharski i inni [1994].

Ilość pierwiastków wyniesionych z plonem zależy od jego wielkości oraz od zawartości danego pierwiastka w roślinie. Wynos metali ciężkich z gleby, w zależności od obiektu i roku badań, kształtował się w granicach ($\text{mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$): Cd – 0,16–8,53, Pb – 0,19–7,42, Ni – 0,12–13,29, Cu – 0,13–3,98, Zn – 3,53–82,65 (tab. 3). W miarę wzrostu zanieczyszczenia gleby wynos metali ciężkich przez części nadziemne ślazowca systematycznie się zwiększał. Największa ilość badanych metali została odprowadzona z plonem zebrany w ostatnim, a najmniejsza w pierwszym roku badań.

Tabela 3. Wynos metali ciężkich przez części nadziemne roślin ślazowca pensylwańskiego ($\text{mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$)

Table 3. Uptake of heavy metals by top parts of *Sida hermaphrodita* plants ($\text{mg} \cdot \text{pot}^{-1}$)

Obiekt Treatment	Lata – Years				
	1997	1998	1999	2000	2001
Kadm – Cadmium					
0	0,16	0,56	0,39	0,81	0,97
I	0,27	1,15	0,66	1,32	1,72
II	0,39	1,54	0,97	1,51	2,24
III	0,56	2,25	1,70	2,56	4,18
IV	0,84	3,57	2,64	5,25	5,71
V	1,22	4,07	2,57	5,81	7,20
VI	–	3,76	2,83	6,76	8,07
VII	–	0,21	3,84	7,20	8,53
Ołów – Lead					
0	0,59	1,90	2,04	4,35	3,69
I	0,93	2,51	3,59	4,68	4,93
II	1,00	3,03	3,55	4,65	5,36
III	1,16	3,38	4,18	4,88	6,01
IV	1,30	3,53	4,02	5,19	5,68
V	1,18	2,44	3,62	5,28	6,26
VI	–	2,12	2,97	5,16	5,82
VII	–	0,19	4,76	6,50	7,42
Nikiel – Nickel					
0	0,12	0,67	0,59	0,42	0,76
I	0,19	0,87	0,87	0,55	1,06

Tabela 3 cd. – Table 3 contd

Obiekt	Lata – Years				
Treatment	1997	1998	1999	2000	2001
II	0,22	1,04	0,99	0,61	1,67
III	0,29	1,37	1,14	1,27	2,53
IV	0,72	2,85	2,91	3,65	4,51
V	3,07	5,29	3,23	4,36	5,96
VI	–	13,29	10,11	4,91	6,39
VII	–	2,34	11,06	7,18	8,62
Miedź – Copper					
0	0,38	2,16	2,07	2,79	2,42
I	0,48	2,55	2,53	3,09	3,36
II	0,49	2,71	2,75	3,26	3,63
III	0,53	2,83	3,02	3,46	3,98
IV	0,51	2,95	2,80	3,26	3,64
V	0,34	2,16	2,44	2,91	3,74
VI	–	1,90	2,07	2,27	3,27
VII	–	0,13	2,20	2,60	3,47
Cynk – Zinc					
0	3,53	17,25	21,08	35,04	41,75
I	4,04	18,91	23,80	35,99	44,12
II	4,98	18,91	24,38	36,58	43,88
III	6,06	22,57	26,54	39,42	50,56
IV	6,49	25,59	24,10	48,02	53,06
V	9,84	29,62	21,08	45,51	56,01
VI	–	37,21	35,07	66,61	73,33
VII	–	5,99	42,44	70,94	82,65

Obiekty 0–VII – patrz tabela 1 – Treatments 0–VII – see Table 1

Sumaryczny w pięcioletnim okresie badań wynos metali ciężkich z plonem był stosunkowo wysoki (rys. 2). Największe odprowadzenie kadmu, niklu i cynku odnotowano przy szóstym poziomie zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi, ołowiu przy czwartym, a miedzi przy trzecim poziomie. W następnych obiektach wynos tych pierwiastków się zmniejszał, przy czym w obiekcie z najsilniej zanieczyszczonej glebą nie był niższy niż w obiekcie kontrolnym, z wyjątkiem wynosu miedzi (spadek o 14,46% w stosunku do obiektu kontrolnego). Największy wzrost odprowadzenia w stosunku do obiektu kontrolnego wystąpił w przypadku niklu (ponad 12-krotny), mniejszy – kadmu (ok. 6,4-krotny), cynku (ok. 1,8-krotny), ołowiu (ok. 1,6-krotny) i miedzi (ok. 1,4-krotny). Można zatem stwierdzić, że ślazuwec pensylwański w największym stopniu ekstrahował z gleby nikiel, a w najmniejszym miedź.

Bardzo istotnym elementem powodzenia metody fitoekstrakcji gleb zanieczyszczonych mieszaniną związków różnych metali jest znalezienie gatunku i odmiany rośliny

o dużej zdolności do gromadzenia metali, szczególnie w tkankach części nadziemnych [Sas-Nowosielska i in. 1999, Antonkiewicz i Jasiewicz 2002]. Jak wykazały przeprowadzone badania, w przypadku polimetalicznych zanieczyszczeń gleby należy liczyć się z możliwością ograniczenia plonów przy wysokiej zawartości metali ciężkich w glebie. Strategia postępowania w procesie fitoekstrakcji stosowanej do oczyszczania gleb zanieczyszczonych kilkoma metalami powinna uwzględniać m.in. dłuższy okres niezbędny do usunięcia zanieczyszczeń, użycie roślin niewrażliwych na dużą zawartość metali towarzyszących, etapowe usuwanie zanieczyszczeń [Sas-Nowosielska i in. 1999]. Wyniki zaprezentowane w niniejszej pracy pozwalają wstępnie stwierdzić, że ślazowiec pensylwański mógłby być wykorzystany do fitoekstrakcji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi.

PODSUMOWANIE

Plon części nadziemnych roślin ślazowca pensylwańskiego zależał od poziomu zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi (Cd, Pb, Ni, Cu i Zn) i roku prowadzenia doświadczenia. Wraz ze wzrostem zanieczyszczenia gleby plon systematycznie się zmniejszał. Najmniejszy plon zarejestrowano w pierwszym roku badań, a w następnych latach, niezależnie od obiektu, wystąpiła tendencja wzrostowa. Obniżenie plonu w stosunku do obiektu kontrolnego kształtowało się w granicach od 24 do 98%, zależnie od obiektu i roku doświadczenia.

Zawartość badanych pierwiastków zależała od poziomu zanieczyszczenia gleby i roku prowadzenia badań. Ślazowiec pensylwański najwięcej kumulował cynku, nieco mniej niklu, kadmu i ołowiu, a najmniej miedzi.

W miarę wzrostu zanieczyszczenia gleby wzrastało odprowadzenie metali ciężkich przez badaną roślinę. Największy wnos z plonem stwierdzono w przypadku cynku, mniejszy – pozostałych czterech pierwiastków.

PIŚMIENNICTWO

- Alexander M., Hatzinger P.B., Kelsey J.W., Kottler B.D., Nam K., 1997. Sequestration and realistic risk from toxic chemicals remaining after bioremediation. *Ann. New York Acad. Sci.* 829, 1–5.
- Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz., 2002. The use of plants accumulating heavy metals for detoxication of chemically polluted soils. *EJPAU, Environmental Development* 1 (5), 1–13, www.ejpau.media.pl
- Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz., 2003. Ocena przydatności topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.) do fitoremediacji gleby zanieczyszczonej Cd, Pb, Ni, Cu i Zn. *Arch. Ochr. Środ.* 29, 4, 81–87.
- Borkowska H., 1991. Studia nad niektórymi elementami biologii i agrotechniki sidy (*Sida hermaphrodita* Rusby) jako rośliny pastewnej. Rozprawa habilitacyjna 132, AR w Lublinie.
- Borkowska H., Jackowska I., Milczak M., Piotrowski J., Styk B., 1995. Ślazowiec pensylwański (*Sida*) – roślina terenów zdegradowanych chemicznie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418, cz. II, 745–750.
- Borkowska H., Jackowska I., Piotrowski J., Styk B., 1996. Wstępna ocena przydatności kilku gatunków roślin wieloletnich do rekultywacji osadów pościekowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434, 927–930.
- Borkowska H., Styk B., 1997. Ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Uprawa, wykorzystanie. Wyd. AR w Lublinie.

- Fitz W.J., Wenzel W.W., 2002. Arsenic transformations in the soil–rhizosphere–plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *J. Biotechnol.* 99, 259–278.
- Jasiewicz Cz., Antonkiewicz J., 2000. Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny z gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Cz. I. Ślazuwec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 472, 323–330.
- Kicińska A., Helios-Rybicka E., 1995. Metale ciężkie w układzie gleba–roślina na obszarze oddziaływania huty cynku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418, 751–759.
- Kucharski R., Marchwińska E., Gzyl J., 1994. Agricultural policy in polluted areas. *Ecol. Eng.* 3, 299–312.
- Kucharski R., Sas-Nowosielska A., Pogrzeba M., Kryński K., Małkowski E., 1999. Perspektywy stosowania metody fitoekstrakcji do oczyszczania gleb w warunkach polskich. *Ochr. Śr. Zasobów Nat.* 18, 469–475.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. Wyd. IOŚ Warszawa.
- Salt D.E., Smith R.D., Raskin I., 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 643–648.
- Sas-Nowosielska A., Kucharski R., Kryński K., Małachowski E., Pogrzeba M., 1999. Problemy związane z fitoremediacją terenów rolniczych położonych w rejonie oddziaływania przemysłu metali nieżelaznych. *Ochr. Śr. Zasobów Nat.* 18, 463–468.
- Wasinkiewicz K., Wojtera J., Tomaszewska B., 2004. Transformowanie roślin w celu ich wykorzystania w fitoremediacji terenów zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Biotechnologia* 1 (64), 108–126.

USING *Sida hermaphrodita* Rusby FOR EXTRACTION OF HEAVY METALS FROM SOIL

Abstract. Research conducted in the years 1997–2001 was aimed to determine the effects of the chemical contamination of soil on the yield of *Sida hermaphrodita* and its bioaccumulation of heavy metals. The design of a pot experiment comprised eight treatments differing in the rate of heavy metals – cadmium, lead, nickel, copper and zinc – applied jointly to the soil. The vegetation period of *Sida* lasted 157 day on average. A toxic effect of the metals on the yield of the top parts of plants was observed from the level of 80 mg Cd, 480 mg Pb, 240 mg Ni, 320 mg Cu and 800 mg Zn per kg of soil dry matter. The reduction in the yield relative to the control ranged between 24 and 98%, depending on the treatment and the year of research. As the soil contamination increased, the heavy metal contents of the top parts gradually rose, as did the uptake of the metals up to the highest rates of pollutants at which it started to decrease. The uptake of heavy metals by *Sida* was greatest for zinc and smallest for copper. As indicated by the high levels of metals removed from the soil, *Sida hermaphrodita* Rusby may be considered a potential phytoextractor which will be useful for the reclamation of chemically contaminated soils.

Key words: *Sida hermaphrodita* Rusby, phytoextraction, heavy metals, uptake

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.07.2006