

OKREŚLENIE PRZYDATNOŚCI TRZECH ODMIAN ŻURAWKI (*Heuchera cvs.*) DO BIOREMEDIACJI KADMU (Cd), OŁOWIU (Pb) I CYNKU (Zn) Z TERENÓW POGÓRNICZYCH ZAGŁĘBIA DĄBROWSKIEGO

SUITABILITY OF THREE CULTIVARS OF CORAL BELLS (*Heuchera cvs.*) TO BIOREMEDIATION OF CADMIUM (Cd), LEAD (Pb) AND ZINC (Zn) FROM POST-MINING AREA IN ZAGŁĘBIE DĄBROWSKIE

Gabriela Szał¹, Patryk Ochota², Janusz Mirosławski³, Piotr Z. Brewczyński¹

¹ Zakład Szkodliwości Biologicznych i Immunoalergologii Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Kierownik Zakładu, Dyrektor Instytutu: dr n. med. P.Z. Brewczyński

² Zakład Szkodliwości Chemicznych i Toksykologii Genetycznej Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Kierownik Zakładu: dr hab. n. med. A. Sobczak, Dyrektor Instytutu: dr n. med. P.Z. Brewczyński

³ Katedra i Zakład Toksykologii, Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej, Śląski Uniwersytet Medyczny, Kierownik Katedry i Zakładu: dr hab. D. Wierchuła, Dziekan Wydziału: dr hab. n. farm. S. Boryczka

Streszczenie

Wstęp: Wieloletnia płytko eksploatacja węgla kamiennego w rejonie Będzina w Zagłębiu Dąbrowskim doprowadziła do degradacji środowiska. Profile gleb zostały przemieszczone i zanieczyszczone ponadnormatywnie metalami ciężkimi. Ponieważ jest to region silnie zaludniony, ryzyko narażenia na szkodliwe działanie metali ciężkich dotyczy dużej populacji osób. Przyspieszenie oczyszczania gruntów terenów pogórnich można uzyskać wykorzystując rośliny, które nie tylko tolerują podwyższone ilości tych metali ale potrafią je też gromadzić w swoich organach.

Materiał i metody: Przedmiotem badań były trzy kultury żurawki: 'Chatterbox', 'Purple Petticoats' i 'Strawberry Swirl', uprawiane na terenie pogórnym i na poltku kontrolnym w sezonie wegetacyjnym 2010 roku. Zawartość pierwiastków metalicznych (Cd, Pb, Zn) oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS) przy użyciu spektrometru PU 9100 firmy Philips i Perkin ELMER 4100ZL.

Wyniki: Wyniki przeprowadzonych badań gleb na obecność form całkowitych i wyekstrahowanych 1M HCl kadmu (Cd), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) pokazują, że zanieczyszczenie terenu pogórnego jest nadal

wysokie. Zawartości form dostępnych dla roślin w glebie poletka doświadczalnego, które wynoszą: kadm 1,92 mg·kg⁻¹, ołów 56,3 mg·kg⁻¹, cynk 153,7 mg·kg⁻¹, są od 2 do 4 razy większe niż zawartość naturalna w glebach o odczynie obojętnym (pH 6,5), którym charakteryzuje się większość gleb badanego terenu. Wybrane do badań odmiany żurawek: 'Chatterbox', 'Purple Petticoats' i 'Strawberry Swirl' pobrały znaczące ilości kadmu, ołowiu i cynku.

Wnioski: Rośliny z terenu pogórnego uprawiane w warunkach narażenia na istotnie wyższe stężenia metali ($p > 0,01$), nie wykazywały widocznej reakcji toksycznej na części nadziemne mimo, że gromadziły kadm, ołów i cynk zarówno w korzeniach, jak i liściach. Różnice odmianowe stwierdzono na poziomie istotności $p > 0,05$. Odmianą, która przemieszczała w swoim organizmie z korzeni do liści najwyższe ilości ołowiu była 'Palace Purple'. Dwie pozostałe odmiany: 'Chatterbox' i 'Strawberry Swirl' gromadziły metale w większym stopniu w korzeniach według zależności $Cd > Zn > Pb$.

Słowa kluczowe: teren pogórnicy, metale ciężkie, bioakumulacja, żurawki

Nadesłano: 4.05.2011

Zatwierdzono do druku: 31.05.2011

Abstract

Background: Long-term shallow exploitation of pit-coal in Będzin area (in mining district Zagłębie Dąbrowskie) has degraded the environment. Profiles of soil were dislocated and contaminated with heavy metals above permissible standards. Due to the fact that Zagłębie Dąbrowskie is densely populated, risk of harmful exposure to heavy metals affects high number of people. Decontamination of post-mining grounds is possible with planting plants which not only tolerate elevated heavy metals quantities but can also accumulate them in plant tissues.

Materials and methods: The cultivars 'Chatterbox' and 'Strawberry Swirl' and 'Palace Purple' of coral bells (*Heuchera* cvs.) were chosen to do the research. Cadmium, lead and zinc uptake in plants growing in contaminated and control fields was evaluated. Amount of heavy metals was determined by atomic absorption spectrometry (AAS).

Results: Content of metals detected in plants in post-mining soil was respectively: Cd 1,92 mg·kg⁻¹, Pb 56,3 mg·kg⁻¹, Zn 153,7 mg·kg⁻¹. Those metals value is from 2 to 4 times higher than natural content in neutral soil of pH 6,5 – a typical pH in this region. The examined cultivars of coral bells accumulated significant amount of Cd, Pb, Zn even if concentration of those metals was low, what is characteristic for clean regions of Poland.

Conclusions: The plants cultivated on contaminated soil of post-mining region didn't show toxic response (damaged leaves) even though they accumulated cadmium, lead and zinc in their roots and leaves. Cultivars differences of coral bells found on significance level ($p > 0,05$). The cultivar 'Palace Purple' has transported the highest amount of lead from roots to leaves. Other cultivars 'Chatterbox' and 'Strawberry Swirl' have accumulated higher amounts of metals in their roots in a sequence Cd > Zn > Pb.

Key words: post-mining region, heavy metals, bioaccumulation, *Heuchera* cvs.

Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym zwiększa się wpływ czynników antropogenicznych na naturalne środowisko przyrodnicze. Teren zdegradowany, w potocznym rozumieniu, obejmuje gleby, grunty i wody zmienione lub zniszczone przez działalność przemysłową. Degradacja może być skutkiem wieloletniej i wielorakiej działalności człowieka takiej jak eksploatacja kopalni, przetwarzanie surowców, składowanie odpadów przemysłowych. Za zdegradowane uznaje się te tereny, które są nieprzydatne do określonego sposobu zagospodarowania bez wykonania działań rekultywacyjnych. Czynniki szkodliwe występujące w środowisku zdegradowanym oddziałują negatywnie na zdrowie człowieka.

Południowo-zachodnia część Polski obfituje w złoża surowców. Złoża węgla kamiennego w Zagłębiu Dąbrowskim są eksploatowane od przeszło 250 lat. Skutkiem trwającej dziesięciolecia emisji ogromnych ilości zanieczyszczeń, spowodowanych wydobywaniem i przetwórstwem surowców mineralnych (węgle, rudy metali) w skoncentrowanych tu zakładach przemysłowych, jest m.in. ponad normatywne zanieczyszczenie gleb. Również geomechaniczne przekształcenia powodują wadę użytkową gruntów. Gleby na terenach pogórnich charakteryzują się, oprócz nienaturalnych wyniosłości i zapadłisk z przemieszanymi profilami glebowymi, zaburzonym składem granulometrycznym i wysokimi, często ponadnormatywnymi zawartościami pierwiastków śladowych. Ilość fitodostępnych form zanieczyszczeń, głównie metali ciężkich oraz zakwaszenie wpływa na obniżenie ich wartości użytkowej.

Metale są naturalnym komponentem gleb, a w śladowych ilościach stanowią niezbędne dla roślin mikroelementy. Metale ciężkie to pierwiastki zdefiniowane jako posiadające określone właściwości (metaliczne) i gęstość właściwą większą niż 4,5 g·cm⁻³. Zagrożenie dla człowieka metalami ciężkimi polega głównie na wchodzeniu ich do wyższych ogniw łańcucha pokarmowego. Szczególnie niebezpieczne dla organizmów żywych są kadm (Cd), ołów (Pb), rtęć (Hg), chrom (Cr), miedź (Cu), nikiel (Ni), cynk (Zn) i arsen (As). Nadmiarowe zawartości fitodostępnych form metali toksycznych w glebie są ich źródłem w następnych ogniach. Dlatego zanieczyszczenie metalami stanowi współcześnie jeden z najważniejszych problemów środowiskowych.

Realizacja polityki zrównoważonego rozwoju wymaga eliminacji i przeciwdziałania negatywnym skutkom procesów niszczących grunty i gleby [1]. Prawo ochrony środowiska i Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych nakazują poprawę wartości użytkowej gruntów m.in. przez zapobieganie procesom degradacji i dewastacji gruntów, rekultywację i zagospodarowanie ich na cele rolnicze i leśne.

Rekultywacja ma na celu umożliwienie wykorzystania i użytkowania terenu (np. zmiana terenów przemysłowych i pogórnich na tereny budownictwa mieszkaniowego). Celem rekultywacji biologicznej jest przywrócenie walorów produkcyjnych lub innych walorów użytkowych terenom zniszczonym wskutek działalności antropogenicznej. Obejmuje ona różnorodne zabiegi o charakterze agrotechnicznym, w tym fitoremediację. Rola roślin w rekultywacji gruntów jest nie do przece-

nienia: rozbudowanym systemem korzeniowym chronią glebę przed erozją a dzięki fotosyntezie zwiększają swoją biomasę, jednocześnie użyźniając podłoże. Jednym z problemów niskobudżetowego zagospodarowania terenów pogórnich dla celów zieleni miejskiej jest wybór roślin, które, tolerując obecność zanieczyszczeń, spełniłyby funkcje estetyczne [2–4].

Dotychczas opublikowano niewiele prac o roślinach ozdobnych, które zastosowane do aranżacji zieleni miejskiej, jednocześnie oczyszczałyby glebę średnio zanieczyszczoną metalami toksycznymi i były dekoracyjne przez cały sezon wegetacyjny [5, 6]. Byliny ozdobne tzw. zadarniające ograniczają ponadto erozję eoliczną i pluwiálną powierzchni gruntów, przez co zmniejszają reemisję metali do atmosfery.

Żurawka (*Heuchera* cvs.) jest ozdobną, zimozieloną byliną, która może być stosowana jako roślina rabatowa lub okrywowa na większych powierzchniach [7].

Przeprowadzone badania miały na celu sprawdzenie czy żurawka może spełniać rolę bioakumulatora, przyczyniając się do dekontaminacji terenów pogórnich o średnim stopniu zanieczyszczenia metalami ciężkimi.

Materiał i metody

Dostępne dane o tolerancji roślin na fitotoksyczne stężenia metali ciężkich stanowią często rezultat badań prowadzonych w warunkach kontrolowanych – w doświadczeniach wazonowych lub laboratoryjnych przy wzroście roślin w roztworach pożywek. Tym samym nie w pełni odzwierciedlają środowiskową różnorodność i zmienność warunków polowych, co zmniejsza ich wiarygodność.

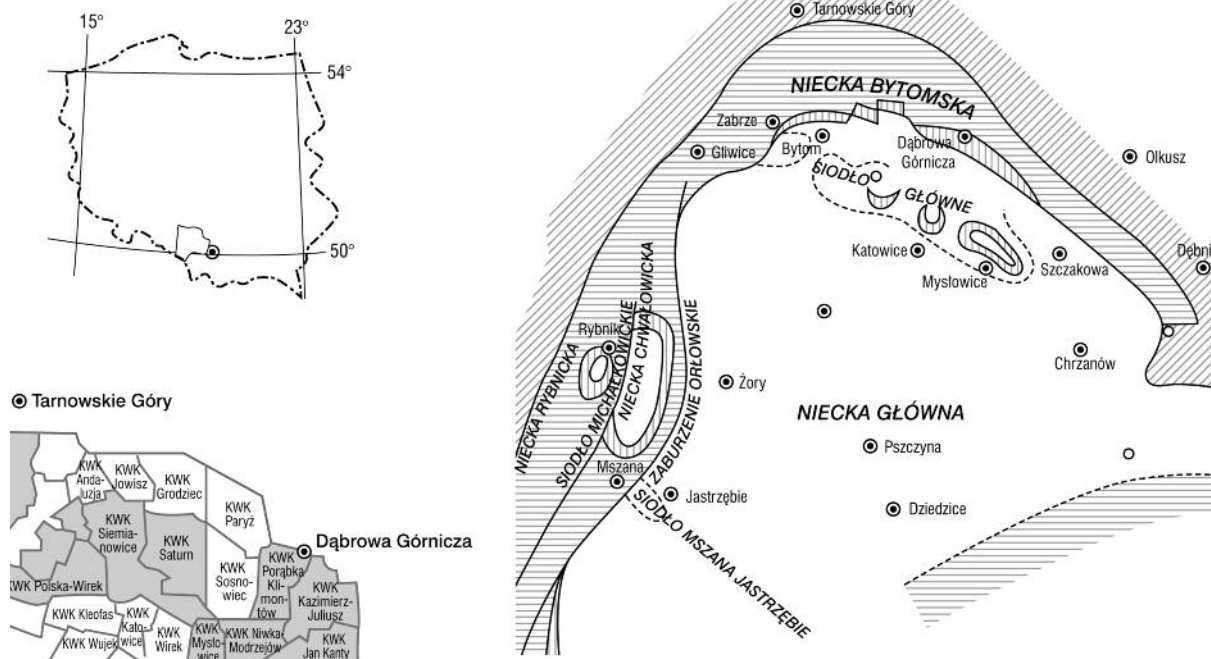
Eksperyment przeprowadzono w warunkach polowych.

Wszystkie próbki pobrano po zakończeniu eksperymentu.

Miejsce doświadczenia

Teren pogórnicy

Aglomeracja śląsko-dąbrowska jest w skali kraju najbardziej uprzemysłowionym i zurbanizowanym regionem, a jednocześnie regionem o najbardziej zdegradowanym środowisku. Zagłębie Dąbrowskie jest częścią wschodnią tego regionu (ryc. 1). Zajmuje obszar około 1800 km². Są to w całości tereny pogórnice, o różnym stopniu przekształceń geomechanicznych.



Rycina 1. Schemat lokalizacji Węglowego Zagłębia Dąbrowskiego w Górnośląskiej Niece Węglowej i w Polsce. Położenie badanego terenu pogórnego: 19°06'–19°11' długości geograficznej wschodniej, 50°19'–50°21' szerokości geograficznej północnej

Figure 1. Location of Dąbrowski Mining Region in Upper Mining Basin and in Poland. Location of post mining site 19°06'–19°11' of east longitude, 50°19'–50°21' north latitude

Górnictwo złóż węgla kamiennego, kopalni pospolitych i hutnictwo w Dąbrowskim Zagłębiu Węglowym to ciągły proces działalności gospodarczej od przeszło 200 lat. Złoża węgla kamiennego, położone płytko pod powierzchnią, umożliwiały eksploatację również metodą odkrywkową. Do połowy lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku większość kopalń tego rejonu zakończyła działalność produkcyjną, zostawiając po sobie zdegradowane tereny.

Do badań wybrano obszar na peryferiach miasta Będzin, w dzielnicy Łagisza. W tym rejonie do początku lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku istniały szyby wydobywcze i odkrywki 12 kopalni węgla kamiennego. Oprócz wydobycia formalnego, okoliczna ludność pozyskiwała nielegalnie węgiel, niskiej jakości, z tzw. „bieda-szybów”, dlatego jest to jeden z najbardziej zmienionych geomorfologicznie obszarów Zagłębia [8]. Powierzchnia ziemi poddana była przekształceniom towarzyszącym eksploatacji odkrywkowej, eksploatacji podziemnej złóż węgla kamiennego i składowaniu odpadów.

Poletko doświadczalne do uprawy polowej zlokalizowano na gruntach nieużytkowanych rolniczo w ciągu ostatnich 10 lat.

Teren kontrolny

Województwo podlaskie, położone w północno-wschodniej części Polski, należy do jej najczystszych regionów. Poletko do uprawy kontrolnej założono na naturalnym terenie wiejskim w gminie Policzna, w powiecie hajnowskim. Teren ten leży w granicach otuliny Puszczy Białowieskiej, jest obszarem podlegającym szczególnej ochronie. Charakteryzuje się najniższymi w Polsce zawartościami pierwiastków śladowych w glebie [9]. Grunty, na których założono poletko doświadczalne, były w poprzednich latach uprawiane według zasad rolnictwa ekologicznego.

Oba poletka miały powierzchnię około 2×4 m. Na obu poletkach, doświadczalnym i kontrolnym, nie zastosowano w czasie trwania eksperymentu żadnego typu nawożenia.

Przedmiot badań

Żurawki to zimozielone, ozdobne byliny (ryc. 2.). Rodzaj żurawka (*Heuchera L.*) należy do rodziny *Saxifragaceae*, swoje naturalne siedliska ma w Ameryce Północnej. Ze względu na dużą dekoracyjność i niezbyt wygórowane potrzeby co do stanowiska, na którym rośnie (żywność i struktura podłoża) jest stosowana w ogrodnictwie i coraz szerzej znajduje zastosowanie w zieleni miejskiej do nasadzeń rabatowych i zadarniających [10, 11].

Przedmiotem badań były trzy kultury żurawki: ‘Chatterbox’, ‘Purple Petticoats’ i ‘Strawberry

Swirl’, uprawiane na terenie pogórnym i na poletku kontrolnym w sezonie wegetacyjnym 2010 roku. Rośliny każdej z odmian żurawki zostały wysadzone w rzędach, w odstępach około 0,3 m jedna od drugiej.

Nieukorzenione sadzonki żurawki zostały wysadzone na obu poletkach na początku kwietnia a zebrane w końcu sierpnia, w tej samej fazie rozwojowej – intensywnego wzrostu wegetatywnego, gdy osiągnęły największy sezonowy przyrost biomasy. Rośliny we wczesnych fazach rozwojowych najintensywniej pobierają pierwiastki znajdujące się w glebie, w tym metale ekotoksyczne [12, 13]. Masa próbki każdej z odmian wynosiła około 1 kg.



Rycina 2. Schematyczny szkic żurawki
Figure 2. Picture of *Heuchera L.*

Sposób przygotowania prób

Postępowanie z próbkami gleb

Próbki glebowe o masie około 2 kg każda pobrano z poziomu 0–20 cm jako próbkę średnią z kilkunastu próbek pojedynczych.

Dla określenia rodzaju gleb na poletkach doświadczalnych w świeżych próbkach przeprowadzono badania organoleptyczne. Następnie z próbki gleby terenu pogórnego i kontrolnej, metodą kwartyfikacji, wydzielono po dwie próbki analityczne o masie około 0,30 kg. Jedną partię próbek przekazano do Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Gliwicach z zaleceniem wykonania oznaczeń podstawowych składników odżywczych (analiza nr 272 – Badanie gleb, ziem i podłoży ogrodnictwa), pozostałe próbki gleby wysuszone w temperaturze 105 °C. W próbkach wysuszonych wykonano oznaczenia granulometryczne (metodą sitową), zawartość części organicznych – metodą termiczną, odczyn gleby – potencjometrycznie w roztworach w stosunku 1:2 H₂O.

Mineralizację próbek gleb i roślin przeprowadzono na mokro. Do wydzielenia frakcji całkowitej metali w glebie i ogólnej zawartości metali w roślinach stosowano mineralizację w wodzie królewskiej. Ekstrakcję form rozpuszczalnych pierwiastków w glebie przeprowadzono 1M HCl·dm⁻³. Stosowano 30% HCl Merck Suprapur.

Postępowanie z próbkami roślin

Oddzielono części nadziemne badanych żurawek od korzeni, osobno dla każdej odmiany. Liście i korzenie zostały dokładnie oczyszczone z gleby za pomocą narzędzi plastikowych i opłukane dwukrotnie w wodzie dejonizowanej. Następnie zostały wstępnie osuszone między warstwami bibuły i wysuszone w temperaturze 105 °C. Po wysuszeniu, liście i korzenie każdej z odmian osobno rozdrobiono i przesiano do wielkości cząstek < 2 mm. Stosowano moździerz agatowy i sita polipropylenowe. Uzyskany materiał roślinny przechowywano do czasu analiz w szklanych naczyniach bez dostępu światła.

Po odważeniu, mineralizację próbek roślin przeprowadzono na mokro w stężonym kwasie azotowym HNO₃ (69,0–70,0% HNO₃ Baker Instra-Analyzed for Trace Metal Analysis) i 30 % nadtlenu wodoru H₂O₂ (Baker Analyzed).

Wykonanie oznaczeń

Próbki do analiz, po wysuszeniu do stałej masy, odważano na wadze mikroanalitycznej SE Genius firmy Sartorius o dokładności 0,00001 g. Masa pojedynczych próbek wynosiła około 1 g. Zwrócono szczególną uwagę na zachowanie czystości, homogeniczności i reprezentatywność próbek.

Próbki analizowano w trzech powtórzeniach. Poprawność oznaczeń sprawdzano analizując wraz z próbkami badanymi certyfikowany materiał odniesienia INCT-MPH-2 Mieszanina ziół polskich.

Zawartość pierwiastków metalicznych oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją w płomieniu (FAAS) przy użyciu spektrometru PU 9100 firmy Philips (Zn) oraz absorpcyjnej spektrometrii atomowej z elektrotermiczną atomizacją (ETAAS) przy użyciu aparatu Perkin Elmer 4100ZL (Cd, Pb).

Analiza statystyczna

Obliczono średnie zawartości metali w glebie i organach roślin oraz odchylenia standardowe średnich. Porównano zawartości, osobno dla poszczególnych frakcji w glebie, oznaczanych pierwiastków w organach roślin tych samych odmian z terenu badanego i kontrolnego. Dla stwierdzenia różnic między badanymi odmianami oceniano zawartości poszczególnych pierwiastków w odpowiednich organach roślin z tego samego miejsca uprawy. Istotność różnic sprawdzono testem t Studenta dla oryginalnych wartości prób niezależnych, przy ustalonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Wyniki poddano analizie statystycznej wykorzystując program Statistica 7.1.

Wyniki badań

Poprawność otrzymanych wyników oznaczeń metali ciężkich oceniono przez porównanie z wynikami oznaczeń pierwiastków w materiale certyfikowanym (tab. I).

Tabela I. Porównanie wartości stężeń pierwiastków, zmierzonych w Instytucie Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu z wartościami podanymi przez producenta materiału certyfikowanego INCT-MPH-2 Mieszanina Ziół Polskich

Table I. Comparison between elements concentration values measured by the Institute of Occupational Medicine and Environmental Health in Sosnowiec and indicated values by manufacturer of Polish herbs mixture INCT-MPH-2

	Pb	Cd	Mn	Fe	Zn	Cu
	mg · kg ⁻¹ s.m.					
Wartość certyfikowana	2,16 ± 0,23	0,199 ± 0,015	191 ± 12	460	33,5 ± 2,1	7,77 ± 0,53
Wartość zmierzona	2,13 ± 0,06	0,202 ± 0,003	183,8 ± 0,3	459 ± 15	33,09 ± 0,79	8,05 ± 0,21

W tabeli II przedstawiono wyniki monitoringu gleb w rejonie Będzina w odniesieniu do obowiązujących kryteriów zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi.

zujących kryteriów zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi.

Tabela II. Historyczny i aktualny poziom zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleb terenu pogórniczego w odniesieniu do obowiązujących wartości dopuszczalnych i ocena stopnia zanieczyszczenia
Table II. Past and present level of heavy metals pollution of post mining soil in relation to standard values and pollution level assessment

	Zawartość mg · kg ⁻¹ s.m.					
	Pb		Zn		Cd	
	średnia	zakres	średnia	zakres	średnia	zakres
1982–1991 ¹⁾	282	22–835	132	176–9000	15,3	2–67
2009 ²⁾	120,0	5,81–538,6	420,0	36,9–1963	3,50	0,081–11,2
Wartości dopuszczalne w glebie ³⁾	100		350		5	
Stopień zanieczyszczenia gleb dla maksimum zakresu w 2009 ⁴⁾		III°		IV°		V°

¹⁾ Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński

²⁾ Starostwo Powiatowe w Będzinie

³⁾ Rozporządzenie Ministra Środowiska Dz.U. 2002.165.1359

⁴⁾ – Wytyczne IUNG

Różne metody ekstrakcji jonów metali z próbek gleby pozwalają wyodrębnić ich formy występowania określane np. jako frakcja całkowita (ogólna) i frakcja dostępna dla roślin (przyswajalna, mobilna). Uważa się, że w ocenie pobierania pierwiastków śladowych przez korzenie roślin właściwe jest oparcie o formę przyswajalną, która stanowi pewną

część frakcji całkowitej. Udział frakcji pierwiastka dostępnej dla roślin w stosunku do ogólnej jest warunkowany rodzajem gleby i sposobem ekstrakcji. Różnice w stężeniach mobilnych form kadmu, ołowiu i cynku (po ekstrakcji 1M HCl) w glebach terenu pogórniczego i kontrolnego pokazano w tabeli III.

Tabela III. Porównanie zawartości mobilnych form kadmu, niklu, ołowiu i cynku w glebach terenu pogórniczego i poletka kontrolnego

Table III. Comparison of mobile cadmium, lead, nickel and zinc content in post mining soil and control field

	Zawartość frakcji mobilnej (ekstrahowanej 1M HCl) (mg · kg ⁻¹ s.m.)		
	Cd	Zn	Pb
Teren pogórniczny	1,92	56,26	153,68
Poletko kontrolne	0,09	6,47	34,71

Wyniki podstawowych badań jakości gleb wykazały, że pod względem granulometrycznym i zawartości makropierwiastków (N, P, K) gleby na obu poletkach były podobne (tab. IV). Mała zawartość części popielnych (organicznych), okre-

ślona po wyprażaniu próbek, potwierdza, że są to gleby mineralne, ubogie. Nieco wyższa zawartość azotu (III) na poletku kontrolnym jest skutkiem prowadzonych uprzednio upraw ekologicznych.

Tabela IV. Wyniki podstawowych badań jakości gleb terenu pogórniczego Zagłębia Dąbrowskiego i poletka kontrolnego

Table IV. Results of basic survey of soil quality in post mining Dąbrowski region and control field

Wskaźnik jakości gleby	Teren pogórniczny	Poletko kontrolne
Typ gleby	Lekka (piasek gliniasty lekki)	Lekka (piasek słabogliniasty)
Zawartość części popielnych (%)	10,8	3,4
Zawartość części szkieletowych > 2 mm (%)	22,0 (średnio szkieletowe)	12,6 (średnio szkieletowe)
Zawartość części ziemistych < 2 mm (%)	78,0	87,4
pH	6,5 (lekko kwaśne)	4,3 (kwaśne)
Zawartość azotu (N-NO ₃) (mg/l)	5 (niska)	108 (średnia)
Zawartość fosforu (P) (mg/l)	75 (średnia)	37 (niska)
Zawartość potasu (K) (mg/l)	88 (niska)	95 (niska)
Zasolenie (gNaCl/l)	0,15	0,9

W tabeli V porównano wyniki badań własnych frakcji całkowitej wybranych metali ciężkich w gle-

bie terenu pogórniczego z zawartościami naturalnymi gleb nie zanieczyszczonych.

Tabela V. Porównanie zawartości metali ciężkich w glebach terenu pogórniczego i poletka kontrolnego w odniesieniu do zawartości naturalnych w glebach lekko kwaśnych i kwaśnych

Table V. Comparison of heavy metals content in post mining soil and control field in relation to natural content in acidic soil and slightly acidic one

	Zawartość (mg · kg ⁻¹ s.m.)		
	Pb	Zn	Cd
Teren pogórniczny	67,2	298	2,42
Zawartość naturalna ¹⁾ (pH 6,5)	40	70	0,5
Poletko kontrolne	9,5	52	0,12
Zawartość naturalna ¹⁾ (pH 4,5)	20	50	0,3
Zawartość naturalna ²⁾	< 12	25–50	> 0,5
Niezanieczyszczone gleby na świecie Średnia zawartość naturalna ³⁾	0,005	0,08	0,04

¹⁾ gleby niezanieczyszczone wg Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska

²⁾ okolice Białowieży wg atlasu geochemicznego

³⁾ Kabata-Pendias 2004

Pobranie pierwiastków przez organy rośliny zależy między innymi od zawartości „potencjalnie” przyswajalnych pierwiastków w glebie i ich transportu z korzeni do części nadziemnych. Tempo przyswajania może zależeć od warunków wegetacji (np. pory roku) i stadium rozwoju rośliny. Wielkością, za pomocą której określa się zdolności roślin do gromadzenia pobranych pierwiastków w różnych organach organizmu roślinnego jest wskaźnik bioakumulacji (WB). Na podstawie oznaczonych stężeń metali w organach żurawek wyznaczono wskaźniki bioakumulacji, zdefiniowane jako stosunek śred-

niego stężenia pierwiastka w roślinie do jego stężenia w glebie. Obliczenia przeprowadzono osobno dla liści i korzeni w stosunku do wyznaczonej frakcji przyswajalnej poszczególnych pierwiastków (tab. VI i tab. VII). Materiał roślinny zielonolistnych odmian ‘Chatterbox’ i ‘Strawberry Swirl’, z powodu małej ilości suchej masy każdej z odmian, analizowano łącznie.

W tabelach podano ponadto stosunek zawartości pierwiastka oznaczonego w korzeniach do zawartości w liściach (k/l). Obrazuje on „ruchliwość” pierwiastków w roślinie.

Tabela VI. Wskaźniki bioakumulacji kadmu, ołowiu i cynku w korzeniach WB(k) i liściach WB(l) odmian żurawki z poletka kontrolnego

Table VI. Bioaccumulation ratios of cadmium, lead and zinc in roots and leaves of cultivars from control field

Odmiana	‘Chatterbox’ + ‘Strawberry Swirl’			‘Purple Petticoats’			
	Pierwiastek	WB(k)	WB(l)	k/l	WB(k)	WB(l)	k/l
Kadm (Cd)		7,34	2,59	2,88	5,24	1,43	2,04
Ołów (Pb)		0,47	0,06	7,39	0,32	0,08	3,94
Cynk (Zn)		5,56	4,49	1,24	5,53	3,56	1,55

Tabela VII. Wskaźniki bioakumulacji kadmu, ołowiu i cynku w korzeniach WB(k) i liściach WB(l) odmian żurawki z terenu pogórniczego Zagłębia Dąbrowskiego

Table VII. Bioaccumulation ratios of cadmium, lead and zinc in roots and leaves of cultivars *Heuchera* cvs from post mining area of Zagłębie Dąbrowskie

Odmiana	‘Chatterbox’ + ‘Strawberry Swirl’			‘Purple Petticoats’			
	Pierwiastek	WB(k)	WB(l)	k/l	WB(k)	WB(l)	k/l
Kadm (Cd)		0,38	0,10	3,65	0,41	0,09	4,65
Ołów (Pb)		0,06	0,04	1,57	0,07	0,07	1,0
Cynk (Zn)		0,64	0,40	1,59	0,74	0,39	1,89

Wartości liczbowe oznaczonych stężeń w korzeniach i liściach każdej z badanych odmian pokazano w tabeli VIII.

Tabela VIII. Wyniki oznaczeń zawartości kadmu, ołowiu i cynku w organach różnych odmian żurawek

Table VIII. Cadmium, lead and zinc content in different cultivars of *Heuchera* cvs

Pierwiastek	Odmiany	Zawartość (mg · kg ⁻¹ s.m.)			
		Teren pogórniczny		Poletko kontrolne	
		liście	korzenie	liście	korzenie
Kadm (Cd)	‘Chatterbox’ + ‘Strawberry Swirl’	0,20	0,73	0,24	0,69
	‘Purple Petticoats’	0,17	0,79	0,13	0,49
Ołów (Pb)	‘Chatterbox’ + ‘Strawberry Swirl’	1,96	3,07	0,41	3,03
	‘Purple Petticoats’	3,66	3,66	0,52	2,05
Cynk (Zn)	‘Chatterbox’ + ‘Strawberry Swirl’	61,5	98,1	155,7	192,8
	‘Purple Petticoats’	60,3	114,2	123,7	191,8

Dyskusja

Jak napisano we wstępie, metale ciężkie są pierwiastkami o długim okresie półtrwania w środowisku, w sposób długotrwały zanieczyszczając między innymi gleby. Na terenie Zagłębia Dąbrowskiego pierwiastki metaliczne Zn, Pb, Cd nadal występują w sposób skojarzony, który można wyjaśnić ich wchodzeniem do obiegu geochemicznego z eksploatowanych złóż węgla (Cd), złóż cynku i ołowiu (okolice Olkusza). Mimo upływu lat od zakończenia w rejonie Będzina płytkiej eksploatacji węgla kamiennego obciążenie metalami ciężkimi jest nadal wysokie, choć nierównomiernie rozmieszczone. Potwierdzają to zestawione w tabeli II wyniki badań przeprowadzonych na obszarze Będzina [14, 15].

Miejsca upraw doświadczalnych roślin zostały tak dobrane, aby umożliwić stwierdzenie użyteczności żurawki do fitoremediacji metali ciężkich. Poletka doświadczalne różniły się poziomem przekształceń antropogenicznych, określonych między innymi zawartością metali, i zakwaszeniem. Zwłaszcza zawartość metali ciężkich w formie dostępnej dla roślin była wielokrotnie wyższa na terenie pogórnym Zagłębia Dąbrowskiego niż na poletku kontrolnym (tab. III.).

Gleba z poletka kontrolnego, znajdującego się w otulinie Białowieskiego Parku Narodowego była kwaśna. Niskie pH (<5,0) podłoża może spowodować uruchomienie i udostępnienie dla roślin jonów metali ciężkich, stanowiących nawet bardzo niską zawartość naturalną [16]. Wyniki przeprowadzonych badań i porównań z oszacowaniami naturalnych zawartości metali ciężkich dla gleb w Polsce i z czystych rejonów świata przedstawiono w tabeli V. Jedynie w przypadku cynku zawartość oznaczona w glebie z poletka doświadczalnego nieznacznie przekracza podaną przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska wartość naturalną. Pozostałe wartości były co najmniej dwukrotnie niższe od wartości podanych jako naturalne dla gleb o odczynie kwaśnym w Polsce. Pomimo to wszystkie badane odmiany żurawki pobrały z gleby poletka doświadczalnego cynk oraz kadm i ołów, zbędne dla swoich organizmów. Cynk jest biopierwiastkiem, jednakże jego nadmiar (zawartość w tkankach przewyższająca zapotrzebowanie fizjologiczne) może działać fitotoksycznie.

Jak wynika z tabeli VI ołów, określane jako najmniej ruchliwy pierwiastek zgromadził się w korzeniach [17, 18]. Kadm i cynk zostały pobrane z gleby przez korzenie żurawek ze znaczącą krotnością. Zielonolistne odmiany 'Chatterbox' i 'Strawberry Swirl' pobrały ponad 7 razy więcej kadmu i ponad 5 razy cynku niż wynosiła frakcja dostępna w glebie. Czerwonolistna odmiana 'Purple Petticoats' skumulowała ponad 5 razy więcej tych metali. Ilość

przetransportowanego i zgromadzonego w liściach odmian zielonolistnych kadmu ($0,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) i cynku ($155,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) były nieco większe niż w liściach odmiany 'Purple Petticoats' (Cd – $0,13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, Zn – $123,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$). Według przekrojowych badań roślin uprawnych cynk jest zaliczany do pierwiastków średnio, a kadm do słabo przemieszczanych [18].

Na terenie pogórnym według danych w tabeli VII wskaźniki biokumulacji każdego z metali ciężkich w korzeniach i liściach żurawki były mniejsze ($p < 0,01$) od odpowiednich wartości uzyskanych dla grupy kontrolnej. Przypuszczalnie zmieniły się mechanizmy transportu toksykantów między organami poszczególnych odmian. Ilościowo więcej kadmu i cynku zostało zatrzymane w korzeniach żurawek niż w warunkach uprawy kontrolnej, ale nastąpił wzrost transportu ołowiu do liści (tab. VIII.). Obliczony stosunek zawartości ołowiu w korzeniach do zawartości w liściach (k/l) dla odmian 'Chatterbox' i 'Strawberry Swirl' oznaczanych łącznie wynosi 7,39 w środowisku czystym i 1,57 na terenie pogórnym, a dla odmiany 'Purple Petticoats' odpowiednio 3,94 i 1,0.

Na terenie pogórnym metale były skumulowane w korzeniach w kolejności $\text{Zn} > \text{Cd} > \text{Pb}$. Współczynniki bioakumulacji dla liści badanych odmian układały się w szereg:

'Chatterbox' $\text{Zn} > \text{Cd} > \text{Pb}$

'Purple Petticoats' $\text{Cd} > \text{Zn} > \text{Pb}$

'Strawberry Swirl' $\text{Zn} > \text{Cd} > \text{Pb}$.

Na terenie pogórnym było około 21 razy więcej kadmu, ołowiu i cynku odpowiednio 8,70 i 4,43 razy więcej w glebie w porównaniu z glebą terenu kontrolnego. Stres wywołany większą zawartością toksykantów w glebie terenu pogórnego spowodował dostrzegalne zmiany w systemie korzeniowym żurawek. Ich korzenie były krótsze i mniej rozgałęzione niż korzenie roślin uprawianych na poletku kontrolnym. Zmiany wielkości ryzosfery skutkują zmniejszeniem przyswajania mikropierwiastków koniecznych do rozwoju, ale też i czynników toksycznych. O takich objawach podwyższonych stężeń kadmu, ołowiu i cynku na system korzeniowy roślin donosi wielu autorów [19, 20, 21]. Jednakże nadmierna zawartość metali ciężkich w roślinach nie zawsze wywołuje pojawienie się zewnętrznych uszkodzeń (nekroz, przebarwień). Wyższe stężenia tych metali w glebie terenu pogórnego nie spowodowały widocznych zmian w wyglądzie nadziemnych części roślin, zwłaszcza dotyczy to ocienianej wizualnie masy liści i dekoracyjności. Można to uzasadnić tym, że na terenie pogórnym metale te zostały przyswojone w ilości, którą Kabata-Pendias podaje jako normalną dla rozwoju roślin:

$\text{Cd} < 0,1-1, \text{Pb} 1-5, \text{Zn} 15-150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$

Naturalne zjawisko tolerancji zbędnych organizmom roślinnym metali ciężkich takich jak kadm i ołów, i potrzebnych tylko w ograniczonej ilości, jak cynk, jest wykorzystywane do poszukiwania roślin wyspecjalizowanych w gromadzeniu w swoich organizmach dużych ilości tych metali dla celów przywracania zanieczyszczonym gruntom ich walorów użytkowych [22, 23].

Roślinę, której właściwości genetyczne i fizjologiczne umożliwiają gromadzenie dużej ilości toksycznych metali bez widocznych symptomów działania tych metali na jej organizm zdefiniowano jako „bioakumulator”. Dla roślin – bioakumulatorów wyznaczono stężenia graniczne: Pb > 1000 mg·kg⁻¹ s.m., Cd > 100 mg·kg⁻¹ s.m., Ni > 1000 mg·kg⁻¹ s.m. (0,1%), Zn > 10000 mg·kg⁻¹ s.m. (1%). Funkcjonuje również klasyfikacja oparta na wskaźniku bioakumulacji. Gdy wartość wskaźnika zawiera się w przedziale 0,1–1,0 stopień akumulacji pierwiastka w roślinie określany jest jako średni. Najwyższy stopień przyporządkowany jest roślinom, dla których obliczony wskaźnik bioakumulacji jest większy od 1.

Odmiany roślin, m.in. ozdobnych, różnią się zdolnością do tolerowania i kumulowania metali toksycznych [5, 6, 24], co zostało również wykazane w przeprowadzonym doświadczeniu dla odmian żurawki ‘Chatterbox’, ‘Purple Petticoats’ i ‘Strawberry Swirl’. W przypadku roślin wieloletnich (np. bylin ozdobnych) korzystniejsze jest, z punktu widzenia sukcesywnego zmniejszania stężenia ekotoksycznych metali w glebie, gdy zawartości tych metali są wyższe w liściach, które można po każdym sezonie wegetacyjnym usuwać. Taką korzystną cechą, w odniesieniu do ołowiu, określanego jako trudny do usunięcia z gleb, charakteryzuje się odmiana ‘Purple Petticoats’.

Wnioski

Badane odmiany żurawki (*Heuchera* cvs.) tolerują kadm, ołów i cynk, które są podstawowymi zanieczyszczeniami terenów pogórnich Zagłębia Dąbrowskiego.

Żurawki ujawniły swój potencjał do bioakumulacji kadmu, ołowiu i cynku przy zróżnicowanej kwasowości gleb, który można wykorzystać do oczyszczania gleb, zakładając dłuższy czas trwania procesu.

Różnice między badanymi odmianami, wyznaczone na podstawie współczynników bioakumulacji w liściach pozwalają wytypować odmianę ‘Palace Purple’ żurawki jako najbardziej przydatną do nasadzeń sanitacyjnych dla ołowiu a ‘Strawberry Swirl’ dla kadmu.

Żywoćność i walory dekoracyjne, które prezentowały badane odmiany żurawki na ubogim

w składniki odżywcze a zanieczyszczonym ekotoksycznymi metalami podłożu dają podstawy do zalecania zastosowania ich jako okrywowych bylin ozdobnych na terenach zdegradowanych bez wykonywania dodatkowych zabiegów rekultywacji.

Literatura

- 1 Rogalski L., Błaszczok A., Bęś A.: Rekultywacja terenów pogórnich w uwarunkowaniach ekorozwoju. Inż. Ekol. 2005; 12: 223–224.
- 2 Szulc P. M., Kobierski M.: Przydatność wydmuchrzycy pontyjskiej (*Elymus elongatus* var. *ponticus*) w oczyszczaniu gleb zanieczyszczonych miedzią, ołowiem i kadmem. Ochr. Środ. i Zas. Natur. 2010; 3: 71–79.
- 3 Sierra M.J., Millan R., Esteban E.: Mercury uptake and distribution in *Lavendula stoechas* plants grown in soil from Almanen mining district (Spain) Food Chem. Toxicol. 2009; 47(11): 2761–2767.
- 4 Nowak J.: Rośliny ozdobne w środowisku miejskim warunkiem zdrowia fizycznego i psychicznego człowieka. Inż. Ekol. 2005; 12: 89–92.
- 5 Bosiacki M.: Phytoextraction of cadmium and lead by selected cultivars of *Tagetes erecta* L. Part II. Contents of Cd and Pb in plants. Acta Sci. Pol., Hort. Cult. 2009; 8(2): 15–26.
- 6 Arshad M., Silvestre J., Pinelli E. i wsp.: A field study of lead phytoextraction by various scented *Pelargonium* cultivars. Chemosphere 2008; 71: 2187–2192.
- 7 Czuchaj P., Szczepaniak S.: The influence of mulching on growth and flowering of some *Heuchera x brizoides* hort. ex Lemoine cultivars. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 2008; 525: 63–71.
- 8 Ciepela B., Zygmunt I.: Łągisza – wczoraj i dziś. Wyd. Progress Sosnowiec 1993: 93.
- 9 Lis J., Pasieczna A.: Atlas geochemiczny Górnego Śląska. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1995: 48
- 10 Czuchaj P., Szczepaniak S.: Ekspansja żurawek (cz I). Hasło Ogrodnicze 2005; 8: 146–148.
- 11 Czuchaj P., Szczepaniak S.: Ekspansja żurawek (cz II). Hasło Ogrodnicze 2005; 9: 193–198.
- 12 Bidar G., Pruvot C., Garçon G. i wsp.: Seasonal and annual variations of metal uptake, bioaccumulation, and toxicity in *Trifolium repens* and *Lolium perenne* growing in a heavy metal-contaminated field. Environ. Sci. Pollut. Res. 2009; 16: 42–53.
- 13 Francke A.: Wpływ terminu oraz rodzaju gleby na zawartość azotanów i metali ciężkich w liściach rakiety siewnej (*Eruca sativa* L.). Inż. Ekol. 2005; 12: 266–269.
- 14 Starostwo Powiatowe w Będzinie: Stan właściwości agrochemicznych gleb i zanieczyszczeń metalami ciężkimi gruntów na użytkach rolnych powiatu będzińskiego w dzielnicach miasta Będzin Grodziec i Łągisza. Opracowanie wyników i sprawozdania z wykonanych badań. Gliwice 2008: 57.
- 15 Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A.: Badania geostatyczne zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w wybranych rejonach Górnego Śląska. Ochr. Środ 1997; 2(65): 9–18.
- 16 Sady W., Smoleń S.: Wpływ czynników glebowo-nawozowych na akumulację metali ciężkich w roślinach. X ogólnopolskie Sympozjum Naukowe Efektywność stosowania nawozów w uprawach ogrodniczych, 17–18 czerwca 2004, Kraków.
- 17 Tyksiński W., Kurdubka J.: Różnice odmianowe w akumulacji kadmu i ołowiu przez rzodkiewkę (*Raphanus sativus* L.) Roczn. AR Pozn. CCCL VI, Ogrodn. 2004; 37: 209–215.

- 18 Kabata Pendias A., Pendias H.: Biochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1999: 400.
- 19 Kiepuł J., Gediga K.: The effect of progressive acidification of lessive soil on zinc content and its translocation in soil profile. *J. Elementol.* 2009; 14(2): 265–270.
- 20 Baran A., Jasiewicz C., Klimek A.: Reakcja roślin na toksyczną zawartość cynku i kadmu w glebie. *Proceedings of EC Opole 2 2008*; 2: 417–422.
- 21 Nowak J.: Effects of lead concentration and arbuscular mycorrhiza on growth, flowering and lead accumulation in shoots of *Pelargonium hortorum* L.H. Bailey ‘Tango Orange’. *Rocz. AR Pozn. CCCLXXXIII, Ogrodn.* 2007; 41: 147–151.
- 22 Memon A. R., Schröder P.: Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2009; 16(2): 162–75.
- 23 Maciejewska A., Ociepa E.: Bioakumulacja metali ciężkich w różnych gatunkach roślin. *Inż. Środ.* 2002; 5(1): 45–54.
- 24 Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Kubsik K.: Reakcja trzech odmian gorczycy białej na skażenie gleby miedzią, cynkiem i niklem. *Ochr. Środ. i Zas. Natur.* 2007; 32: 87–91.

Adres do korespondencji:

Gabriela Szał

Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego

41-200 Sosnowiec, ul. Kościelna 13,

tel. 32 266 08 85 w. 244

fax. 32 266 11 24

g.szal@imp.sosnowiec.pl