

ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W GLEBACH I ROŚLINACH Z TERENU GMINY BORZĘCIN (WOJEWÓDZTWO MAŁOPOLSKIE)

Tomasz Czech¹, Agnieszka Baran¹, Jerzy Wieczorek¹

¹ Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-129 Kraków, e-mail: Tomasz.Czech@ur.krakow.pl; Agnieszka.Baran@ur.krakow.pl

STRESZCZENIE

Celem badań było określenie zawartości metali ciężkich w glebach i roślinach jako wskaźnika antropopresji w terenie typowo rolniczym. Badania przeprowadzono w północnej części powiatu brzeskiego na terenie gminy Borzęcin (województwo małopolskie). Łącznie wyznaczono 15 punktów, w których pobrano próbki glebowe z poziomów 0–10 oraz 40–50 cm. Zawartości metali ciężkich (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe) w próbkach glebowych i roślinnych oznaczono na spektrofotometrze emisji atomowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES) firmy Perkin-Elmer, model Optima 7300 DV. Stwierdzono niski i średni stopień zanieczyszczenia gleb metalami. Istotna korelacja pomiędzy zawartością żelaza oraz innych metali ciężkich wskazywała na ich naturalne pochodzenie. W roślinach jedno i dwuliściennych pobranych w 6 punktach pomiarowych wykazano wysoką zawartość Zn i Cd, co eliminuje ich przydatność paszową. Powinny być wykorzystane jedynie do celów przemysłowych. Oceniając stopień bioakumulacji metali w roślinach stwierdzono średnią akumulację (WB 0,1–1) ołowiu, chromu, niklu i miedzi oraz wysoką cynku i kadmu.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, gleby, rośliny, współczynnik bioakumulacji

CONTENT OF HEAVY METALS IN SOIL AND PLANTS FROM AN AREA BORZĘCIN MUNICIPALITY (MALOPOLSKA PROVINCE)

ABSTRACT

The research aimed to assess the content of heavy metals in soils and plants as an indicator of human pressure in a typically agriculture area. The research was conducted in northern part of Brzesko district on Borzęcin municipality (Malopolska province). In total 15 points were set. At those points, soil samples were collected from the levels of 0–10 cm and 40–50 cm. Contents of heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe) in soil and plant samples were determined using a Perkin-Elmer model Optima 7300 DV inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer (ICP-AES). In the studies was found low and average degree of soil pollution with metals. The obtained results indicate a positive significant correlation between Fe and other metals which confirms their natural origin. In the mono- and dicotyledonous plants collected from 6 sampling points a high Zn and Cd contents were showed, which eliminates their feed usefulness. These plants should be used only for industrial purposes. Assessing the bioaccumulation coefficients of metals in plants average accumulation (WB 0.1–1) of lead, chromium, nickel, copper and high accumulation of zinc and cadmium were found.

Key words: heavy metals, soils, plants, bioaccumulation coefficient

WSTĘP

Metale ciężkie mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa ekologicznego. Zagrożenie to powstaje w wyniku emisji pierwiastków metalicznych z instalacji przemysłowych, zakładów energetycznych, szlaków komunikacyjnych oraz rolnictwa [Grzebisz i in. 2002, Nicholson i in. 2003, Franco-Uría i in. 2009, Wieczorek, Baran 2013]. Metale ciężkie akumulują się w glebie i następnie przedostają się do łańcucha troficznego, co z kolei może prowadzić do zachwiania prawidłowego rozwoju wszystkich organizmów [Luo i in. 2012]. Konsekwencje zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi rzadko są widoczne w krótkim okresie, natomiast mogą prowadzić do niebezpiecznych zmian ekologicznych, opóźnionych w czasie. Ważną cechą, która wyróżnia metale ciężkie od innych substancji niepożądanych jest to, że nie ulegają one biodegradacji, a jedynie biotransformacji na skutek zachodzących w glebie złożonych procesów fizyczno-chemicznych i biologicznych. Procesy te decydują o mobilności i biodostępności metali ciężkich w układzie gleba – roślina. Istotną rolę w procesach wiązania metali w glebie odgrywają: odczyn, wodorotlenki żelaza, glinu i manganu, materia organiczna, frakcja ilasta (ziarna o średnicy poniżej 0,002 mm), pojemność sorpcyjna oraz wilgotność [Qishlaqi, Moore 2007]. Powszechnie uznaje się, że podwyższona zawartość metali ciężkich w glebach może być wskaźnikiem antropopresji na danym terenie [Qishlaqi, Moore 2007, Baran, Wieczorek 2013].

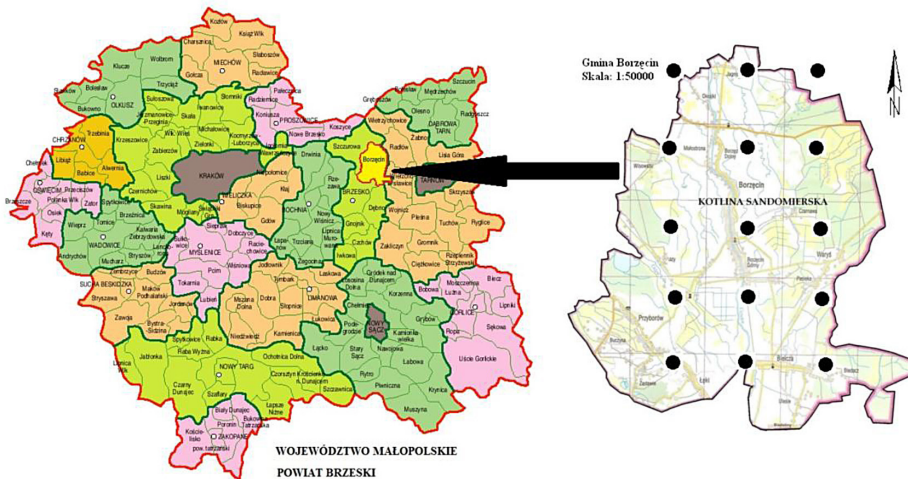
Celem badań była ocena zawartości metali ciężkich w glebach i roślinach w wybranych punktach na terenie gminy Borzęcin w województwie małopolskim.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w północnej części powiatu brzeskiego na terenie gminy Borzęcin (województwo małopolskie). Gmina Borzęcin jest regionem typowo rolniczym, w którym 70% użytków rolniczych stanowią grunty orne, a pozostałe 30% zajmują łąki trwałe, lasy i grunty leśne, pastwiska oraz sady. Obszar gminy Borzęcin charakteryzuje się sporym zróżnicowaniem pod względem rodzaju gleb. Na znacznej części gminy występują mady brunatne, które wytworzyły się z osadów aluwialnych rzeki Uszwicy, następnie gleby brunatne wylugowane i czarne ziemie zdegradowane. Najmniej liczne są gleby murszowo-mineralne, występujące we wschodniej części gminy.

Punkty poboru próbek glebowych i roślinnych na badanym obszarze zostały wyznaczone metodą regularnej siatki kwadratów o boku równym 3,5 km. Dokładne położenie każdego z punktów wprowadzono do satelitarnego odbiornika GPSmap 60CSx. Łącznie wyznaczono 15 punktów, w których pobrano próbki glebowe z

poziomów 0–10 oraz 40–50 cm (rys. 1). W tych samych punktach, w których pobierano materiał glebowy, pobrano również próbki roślin. Pobierano części nadziemne roślin jedno i dwuliściennych. Nie określono składu gatunkowego pobranych roślin. W materiale glebowym wykonano oznaczenia podstawowych właściwości fizyczno-chemicznych. Skład granulometryczny określono metodą Bouyoucosa-Casagrande w modyfikacji Prószyńskiego, pH w zawieszynie KCl o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ metodą potencjometryczną, a zawartość węgla organicznego metodą Tiurina.



Rys. 1. Położenie gminy Borzęcin oraz rozmieszczenie punktów poboru próbek gleb i roślin
Fig. 1. Location of Borzęcin district and distribution of soil and plant sampling points

W celu oznaczenia całkowitej zawartości metali ciężkich, gleby roztwarzano metodą na mokro w systemie zamkniętym w piecu mikrofalowym Multiwave 3000 firmy AntonPaar w mieszaninie stężonych kwasów HCl i HNO₃ (1:3, v/v) (suprapure, MERCK). Materiał roślinny mineralizowano na sucho w temperaturze 450 °C, a pozostały popiół roztworzono w rozcieńczonym (2:1) kwasie azotowym(V). W przygotowanych roztworach analizowano zawartości metali ciężkich (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe). Oznaczenia prowadzono na spektrofotometrze emisji atomowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES) firmy Perkin-Elmer model Optima 7300 DV.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono w programie Microsoft Excel 2003, natomiast do wizualizacji danych wykorzystano programu Surfer 8.0.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wybrane właściwości badanych gleb pobranych na terenie gminy Borzęcin przedstawiono w tabeli 1. W próbkach glebowych z poziomu 0–10 cm wartości pH wahały się pomiędzy 3,1 i 6,0, natomiast z poziomu 40–50 cm pomiędzy 3,6 i 7,0. Większość

próbek glebowych pobranych z poziomu 0–10 cm wykazywało odczyn bardzo kwaśny (stanowiły one 73% badanych próbek). Pozostałe 27% próbek charakteryzowało się odczynem kwaśnym i lekko kwaśnym. Blisko 67% badanych próbek glebowych pobranych z warstwy 40–50 cm miało odczyn kwaśny, 26% odczyn bardzo kwaśny i 7% odczyn obojętny.

Analiza składu granulometrycznego wykazała, że 53% próbek glebowych z poziomu 0–10 cm i 47% z poziomu 40–50 cm to utwory bardzo lekkie i lekkie, 14% z poziomu 0–10 cm i 20% z poziomu 40–50 cm to utwory średnie, a pozostałe 33% z każdego poziomu to utwory ciężkie.

Tabela 1. Właściwości fizyczno-chemiczne gleb

Table 1. Physico-chemical properties of soils

Parametr	Jednostka	Średnia	SD	Minimum	Maksimum	Mediana	V [%]
poziom 0-10 cm							
Odczyn	pH _{KCl}	4,3	0,8	3,2	6,0	4,0	19
Frakcja < 0,02 mm	[%]	24,9	13,0	9,0	47,0	23,0	52
C organiczny	[g · kg ⁻¹]	4,3	2,4	0,5	9,8	4,1	55
Fe		10,8	9,7	8,4	7,6	7,1	90
Mn		0,30	0,26	0,25	0,25	0,25	87
poziom 40-50 cm							
Odczyn	pH _{KCl}	4,5	0,8	3,6	7,0	4,4	18
Frakcja < 0,02 mm	[%]	23,7	19,2	5,0	62,0	21,0	81
C organiczny	[g · kg ⁻¹]	1,5	2,1	0,3	8,4	1,0	138
Fe		11,4	9,9	9,1	8,8	8,4	87
Mn		0,30	0,22	0,22	0,21	0,21	73

Objaśnienia: SD – Odchylenie standardowe; V – Współczynnik zmienności.

Explanations: SD – Standard deviation; V – Variation coefficient.

Zawartość C organicznego w badanych próbkach gleb mieściła się w zakresie od 0,5 do 9,8 g (poziom 0–10 cm) oraz od 0,3 do 8,4 g·kg⁻¹ (poziom 40–50 cm). Oceniono, że 73% badanych próbek glebowych z poziomu 0–10 cm cechuje wysoka klasa próchniczności [Sequi, De Nobili, 2000]. Z kolei blisko 60% próbek glebowych pobranych z poziomu 40–50 cm miała niską klasę próchniczności. Średnia zawartość żelaza i manganu w próbkach glebowych pobranych z poziomu 0–10 cm wynosiła 10,8 g Fe oraz 0,30 g Mn·kg⁻¹ s.m., a w próbkach z poziomu 40–50 cm 11,4 g Fe oraz 0,30 g Mn·kg⁻¹ s.m.

Średnia zawartość metali ciężkich w poziomie 0–10 cm badanych gleb wyniosła: 0,35 mg Cd; 19,9 mg Cr; 8,2 mg Cu; 10,2 mg Ni; 18,1 mg Pb oraz 55,3 mg Zn·kg⁻¹ s.m., a w poziomie 40–50 cm: 0,13 mg Cd; 16,9 mg Cr; 5,1 mg Cu; 10,9 mg Ni; 7,3 mg Pb oraz 32,7 mg Zn·kg⁻¹ s.m. (tab. 2). W próbkach glebowych z warstwy 0–10 cm stwierdzono średnio ponad 2,5 razy większą zawartość Cd i Pb, 1,7 razy większą zawar-

tość Zn i Cu oraz 1,2 razy większą zawartość Cr w stosunku do ilości oznaczonych w materiale z warstwy 40–50 cm. Jedynie zawartość niklu w obu warstwach była zbliżona.

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w glebach [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Table 2. Heavy metals content in soils [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Parametr	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	poziom 0-10 cm					
Średnia	0,35	19,9	8,2	10,2	18,1	55,3
SD	0,19	10,4	4,4	6,3	6,7	29,3
Minimum	0,01	7,0	2,4	3,3	2,8	8,7
Maksimum	0,80	36,1	16,4	26,1	29,8	110,9
Mediana	0,31	18,8	8,0	9,6	17,9	50,7
V [%]	56	52	54	62	37	53
	poziom 40-50 cm					
Średnia	0,13	16,9	5,1	10,9	7,3	32,7
SD	0,11	14,0	4,5	8,8	4,9	21,6
Minimum	0,01	2,2	0,3	2,4	1,5	3,6
Maksimum	0,42	46,8	15,7	30,5	18,2	68,9
Mediana	0,12	13,5	3,4	7,0	6,0	38,4
V [%]	85	83	87	81	67	66

Objaśnienia: patrz tabela 1. **Explanations:** see Table 1.

Większe zróżnicowanie zawartości metali ciężkich stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z poziomu 40–50 cm, dla których wartość współczynnika zmienności mieściła się w zakresie od 66 do 87%, a dla poziomu 0–10 cm wahała się od 37 do 62%. W próbkach z poziomu 0–10 cm najmniejszą wartość współczynnika zmienności wykazano dla ołowiu, zaś największą dla niklu. Z kolei w próbkach z poziomu 40–50 cm najmniejszą wartość współczynnika zmienności wykazano dla cynku i ołowiu, a największą dla miedzi.

Stopień zanieczyszczenia gleb metalami oceniono przy wykorzystaniu współczynnika zanieczyszczenia (*Pollution Index PI*) [Wei i Yang, 2010]. Wartość *PI* wyliczono jako stosunek aktualnej zawartości ocenianego metalu do jego tła geochemicznego. Współczynnik zanieczyszczenia $PI < 1$ oznacza słabe, $1 \leq PI < 3$ – średnie, $3 \leq PI < 6$ znaczne zanieczyszczenie a $PI > 6$ bardzo silne zanieczyszczenie gleb danym metalem. Jako tło przyjęto zawartości podane przez Kabatę-Pendias i in. [1993]: 50 mg Zn, 0,3 mg Cd, 30 mg Pb, 15 mg Cu, 10 mg Ni i 20 mg Cr $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Współczynniki zanieczyszczenia przyjmowały następujące wartości: 1,2 (Cd); 1,0 (Cr); 0,5 (Cu); 1,0 (Ni), 0,6 (Pb) oraz 1,1 (Zn), co świadczy o średnim zanieczyszczeniu badanych gleb Cd, Cr, Ni, Zn oraz słabym zanieczyszczeniu Cu i Pb. Oceniając natomiast zawartość metali w glebach w oparciu o wartości graniczne dla gleb podane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby i ziemi standardów jakości

z dnia 9 września 2002 r. [Rozporządzenie... 2002], stwierdzono, że spełniały one standardy dla gleb grupy B (użytki rolnicze) oraz A (tereny chronione).

Zawartość metali ciężkich w roślinach przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zawartość metali ciężkich w roślinach [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Table 3. Heavy metals content in plants [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]

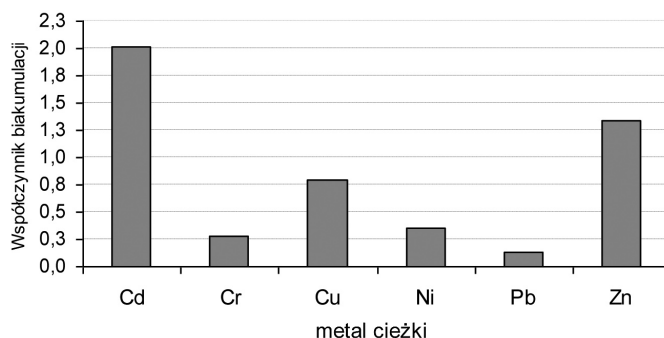
Parametr	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Średnia	0,70	5,47	6,48	3,59	2,49	73,87
SD	0,53	4,32	1,47	2,09	2,03	46,37
Minimum	0,15	0,01	4,58	0,79	0,19	31,91
Maksimum	2,09	13,52	9,04	8,21	7,70	187,26
Mediana	0,44	4,30	5,95	3,27	1,84	54,53
V [%]	76	79	23	58	81	63

Objaśnienia: patrz tabela 1

Explanations: see Table 1.

Średnia zawartości badanych metali w roślinach w kolejności malejącej wyniosła: 73,87 mg Zn, 5,47 mg Cr, 6,48 mg Cu, 3,59 mg Ni, 2,49 mg Pb oraz 0,70 mg Cd·kg⁻¹ s.m. Z wyjątkiem miedzi, zawartość metali ciężkich w roślinach była wyraźnie zróżnicowana, o czym świadczą wysokie wartości współczynnika zmienności, wynoszące od 58 (Ni) do 81% (Pb).

W celu oceny stopnia i kierunku mobilności metali ciężkich w roślinach wyliczono współczynniki bioakumulacji (WB). Wartość współczynnika bioakumulacji odzwierciedla zdolność roślin do pobierania metali z gleby oraz informuje o przemieszczeniu się ich z roztworu glebowego do części nadziemnych rośliny [Stanisławska-Głubiak, Korzeniowska 2005, Baran, Wieczorek 2013]. Wskaźnik ten jest stosunkiem zawartości metalu w roślinie do jego ilości w glebie. Wartość współczynników bioakumulacji wynosiła w kolejności malejącej: 2,0 (Cd) > 1,34 (Zn) > 0,8 (Cu) > 0,4 (Ni) > 0,3 (Cr) > 0,1 (Pb) (rys. 2).



Rys. 2. Współczynnik bioakumulacji (WB) metali ciężkich

Fig. 2. Bioaccumulation factor (WB) of heavy metals

Oceniając stopień bioakumulacji metali wykazano średnią akumulację (WB 0,1–1) ołowiu, chromu, niklu i miedzi oraz wysoką cynku i kadmu w roślinach. Ocenę zawartości metali w roślinach oparto na możliwości paszowego wykorzystania wytworzonej biomasy, wykorzystując graniczne zawartości metali ciężkich w roślinach podane przez Kabatę-Pendias i in. [1993] oraz w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 23 stycznia 2007 r. w sprawie dopuszczalnych zawartości substancji niepożądanych w paszach [Rozporządzenie... 2007]. Dla cynku i miedzi, pierwiastków śladowych będących niezbędnymi mikroelementami, przyjęto następujące wartości graniczne: 50–100 mg Zn oraz 7–10 mg Cu·kg⁻¹ s.m. Natomiast według Kabaty-Pendias i in. [1993] dopuszczalna zawartość metali ciężkich w materiale paszowym wynosi: < 100 mg Zn, < 30 mg Cu, < 20 mg Cr, < 50 mg Ni, < 10 mg Pb oraz < 0,5 mg Cd·kg⁻¹ s.m. Powyżej tych wartości zebraną biomasę należy przeznaczyć na cele przemysłowe np. produkcję kompostów czy spalanie. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 23 stycznia 2007 r. w sprawie dopuszczalnych zawartości substancji niepożądanych w paszach [Rozporządzenie... 2007], zawartość kadmu w materiale paszowym nie powinna przekraczać 0,5 mg Cd, zaś ołowiu 10 mg Pb·kg⁻¹ s.m. W badaniach wykazano, że materiał roślinny pobrany z 6 punktów pomiarowych może być wykorzystany jedynie do celów przemysłowych ze względu na wysokie zawartości Zn i Cd, które eliminują jego przydatność paszową.

Zależność liniowa pomiędzy poszczególnymi metalami ciężkimi w glebie może wynikać z ich geochemicznych powiązań, a może także informować o źródłach ich pochodzenia [Guo i in. 2012]. W celu poznania tych zależności w badanych glebach obliczono współczynniki korelacji linowej pomiędzy poszczególnymi parami metali (tab. 4).

Tabela 4. Współczynnik korelacji pomiędzy zawartością metali ciężkich a innymi właściwościami gleby (poziom 0–10 cm)

Table 4. Values of correlation coefficient between heavy metals content and others soil properties (level 0–10 cm)

Parametr	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Cr	0,79***					
Cu	0,63*	0,80***				
Ni	0,77**	0,90***	0,85***			
Pb	0,38	0,18	0,21	0,13		
Zn	0,47	0,54*	0,59*	0,53*	0,11	
Fe	0,70**	0,92*	0,66*	0,75*	0,25	0,60*
Mn	0,41	0,54*	0,44	0,59	0,20	0,70**
pH	-0,03	-0,05	-0,10	-0,02	-0,29	0,55*
C organiczny	0,16	-0,13	0,06	-0,18	0,58	-0,25
Frakcja < 0,02 mm	0,55*	0,90***	0,78***	0,73**	0,17	0,58*

Objaśnienia: Istotne przy: *** $p \leq 0,001$; ** $p \leq 0,01$; * $p \leq 0,05$.

Explanations: Significant at *** $p \leq 0,001$; ** $p \leq 0,01$; * $p \leq 0,05$.

Stwierdzono istotne dodatnie korelacje pomiędzy zawartością par metali w badanych glebach: Cd oraz Cr i Ni; Cr oraz Ni, Zn i Mn; Cu oraz Ni i Zn. Korelacje liniowe pomiędzy poszczególnymi parami metali ciężkich, potwierdzają jednakowe, najczęściej naturalne ich pochodzenie. Analizując wzajemne zależności pomiędzy zawartością różnych metali, w odrębny sposób potraktowano żelazo, gdyż korelacja pomiędzy zawartością żelaza i zawartością innego pierwiastka może umożliwić rozróżnienie gleb o naturalnej zawartości pierwiastka i wzbogaconych wskutek działalności człowieka [Presley i in. 1992]. Brak współzależności pomiędzy zawartością żelaza oraz innych metali ciężkich może wskazywać na ich antropogeniczne pochodzenie. Z wyjątkiem ołowiu, stwierdzono istotną korelację pomiędzy zawartością żelaza w glebie a ilością pozostałych metali, co potwierdza ich naturalne pochodzenie (tab. 4). W badaniach obliczono także współczynniki korelacji linowej pomiędzy zawartością poszczególnych metali a innymi właściwościami fizyczno-chemicznymi gleb. Powszechnie uznaje się, że odczyn gleb, zawartość materii organicznej oraz frakcji najdrobniejszej może wpływać na mobilność metali w środowisku. Zawartość większości metali (Ni, Cr, Cu, Cd, Zn) w badanych glebach była istotnie dodatnio skorelowana z zawartością frakcji najdrobniejszej < 0,002 mm (tab. 4). Venditti i in. [2000] w swoich badaniach dowiedli, że przy niskich wartościach pH gleb (gleby kwaśne i bardzo kwaśne) zwiększa się rozpuszczalność, a tym samym biodostępność metali ciężkich. W niniejszych badaniach, z wyjątkiem cynku, stwierdzono ujemne zależności pomiędzy pH i zawartością metali ciężkich w glebach, jednak były one nieistotne.

PODSUMOWANIE

Na badanym terenie stwierdzono niski i średni stopień zanieczyszczenia gleb metalami. Istotna korelacja pomiędzy zawartością żelaza oraz innych metali ciężkich, wyjąwszy ołów, wskazywała na ich naturalne pochodzenie. Porównując wartości współczynników bioakumulacji poszczególnych metali stwierdzono, że największe zagrożenie dla organizmów żywych stanowi kadm, gdyż wartość wskaźnika wyliczona dla tego metalu wynosiła 2 i była od niecałych dwóch do dwudziestu razy większa od obliczonych dla pozostałych metali. W badaniach innych autorów wykazano, że kadm jest bardzo mobilny w środowisku glebowym i wykazuje potencjalnie dużą toksyczność dla organizmów żywych, nawet przy małych zawartościach [An 2004]. W glebach użytkowanych rolniczo z obszaru Chin, poddanych antropopresji, średnia zawartość kadmu wyniosła 0,43 mg, a pozostałych metali: 117,22 mg Zn, 31,71 mg Cu, 37,55 mg Pb oraz 25,53 mg Ni · kg⁻¹ s.m. [Wei, Yang 2010]. Na terenie Hiszpani, średnie zawartość metali ciężkich w glebach użytkowanych rolniczo wyniosły: 0,38 mg Cd; 57,8 mg Zn; 19,6 mg Pb oraz 21,6 mg Cu · kg⁻¹ s.m, gleby [Micó i in. 2006]. W badanych glebach średnia zawartość Zn, Cd i Pb utrzymywała się na podobnym poziomie, a miedzi była ponad dwa razy mniejsza. Według Kabaty-Pendias i Pendiasa [2001] maksymalne zawartości metali ciężkich w glebach rolniczych w niektórych

krajach Europy mogą wynosić do: 300 mg Zn, 100 mg Pb, Ni i Cu oraz 5 mg Cd. W 6 próbkach roślinnych wykazano przekroczenie dopuszczalnych zawartości kadmu i cynku, co kwalifikuje je do wykorzystania przemysłowego a nie paszowego. Stan ten jest niepokojący, ponieważ gmina Borzęcin jest regionem typowo rolniczym, w którym 70% użytków rolnych stanowią grunty orne. Rozważając źródła kadmu i cynku dla roślin, można wyeliminować glebę. Otrzymane wyniki dotyczące zawartości metali w glebach sugerują raczej naturalny ich poziom. Według standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi [Rozporządzenie... 2002], zawartość cynku i kadmu spełniała normy dla gleb z grupy A i B. Potencjalne źródło metali mogą stanowić emisje pyłowe z pobliskich terenów przemysłowych i arterii komunikacyjnych. Istotnym źródłem metali może być również intensywne rozwinięte rolnictwo na tym obszarze. Na terenie gminy Borzęcin nie przeprowadzono dotychczas badań dotyczących zawartości metali ciężkich w glebach i roślinach, co utrudnia interpretację wyników i wnioskowanie oraz uniemożliwia porównanie uzyskanych wyników z wynikami innych autorów.

Podziękowania

Badania finansowane ze środków budżetowych na naukę w latach 2011–2014: Grant nr N N305 107640 „Wykorzystanie biotestów jako wskaźników zanieczyszczenia gleb na terenie województwa małopolskiego”.

PIŚMIENNICTWO

1. An Y.J. 2004. Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. *Environ. Pollut.*, 127: 21-26.
2. Baran A., Wieczorek J. 2013. Ocena zagrożenia związanego z zawartością metali ciężkich w glebach na terenie powiatu Olkuskiego (woj. małopolskie). *Proceeding of EcOpole*, 7(1): 281-285.
3. Franco-Uría A., López-Mateo C., Roca E., Fernández-Marcos M.L. 2009. Source identification of heavy metals in pastureland by multivariate analysis in NW Spain. *J. Hazard. Mater.*, 165: 1008-1015.
4. Grzebisz W., Cieśla L., Komisarek J., Potarzycki J. 2002. Geochemical assessment of heavy metals pollution of urban soils. *Pol. J. Environ. Stud.*, 11(5): 493-499.
5. Guo G., Wu F., Xie F., Zhang R. 2012. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *J. Environ. Sci.*, 24(3): 410-418.
6. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. IUNG, Puławy, s. 7-10.
7. Kabata-Pendias A., Pendias H. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
8. Luo Ch., Yang R., Wang Y., Li Y., Zhang G., Li X. 2012. Influence of agricultural practice on trace metals in soils and vegetation in the water conservation area along the East River (Dongjiang River), South China. *Sci. Total Environ.*, 431: 26-32.

9. Micó C., Peris M., Sánchez J., Recatalá L. 2006. Heavy metal content of agricultural soils in a Mediterranean semi-arid area: the Segura River Valley (Alicante, Spain). *Spanish J. Agric. Res.*, 4(4): 363-372.
10. Nicholson F.A., Smith S.R., Alloway B.J., Carlton-Smith C., Chambers B.J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci. Total Environ.*, 311: 205-219.
11. Presley B.J., Taylor R.J., Boothe P.N. 1992. Trace metal concentration in sediments of Eastern Mississippi Bight. *Marine Environ. Res.*, 33: 267-282.
12. Qishlaqi A., Moore F. 2007. Statistical analysis of accumulation and sources of heavy metals occurrence in agricultural soils of Khoshk River Banks, Shiraz, Iran. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 2(5): 565-573.
13. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 23 stycznia 2007 w sprawie dopuszczalnych zawartości substancji niepożądanych w paszach. *Dz. U.* 2007, nr 20, poz. 119.
14. Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi z dnia 9 września 2002 r. *Dz. U.* 2002, nr 165, poz. 1359.
15. Sequi P., De Nobili M. 2000. Carbonio organico. [In:] *Metodi di analisi chimica del suolo*. Milan. Capitolo VII: 1-5.
16. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J. 2005. Kryteria oceny toksyczności cynku dla roślin. *IUNG-PIB*, 107: 12 ss.
17. Venditti D., Durecu S., Berthelin J. 2000. A multidisciplinary approach to assess history, environmental risks, and remediation feasibility of soils contaminated by metallurgical activities. Part A: Chemical and physical properties of metals and leaching ability. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 38: 411-420.
18. Wei B., Yang L. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agriculture soils from China. *Microchemical J.*, 94: 99-107.
19. Wiczorek J., Baran A. 2013. Assessment of possible zinc accumulation in soils in the zone of possible zinc accumulation in soils in the zone of potential zinc-works influence. *Ecol. Chem. Eng. A*, 20(1): 109-115.