

**Paweł Wowkonowicz\*, Bartosz Malowaniec\*\*,  
Krystyna Niesiobędzka\*\*\***

**METALE CIĘŻKIE W ROŚLINACH I GLEBACH NA TRWAŁYCH  
UŻYTKACH ZIELONYCH W OKOLICACH WARSZAWY**

**HEAVY METALS IN SOIL AND PLANTS ON GRASSLAND AROUND  
WARSAW**

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, gleba, roślina, formy biodostępne, użytki zielone.

**Keywords:** heavy metals, soil, plant, bioavailable, grassland.

*The aim of this study was to investigate the degree of heavy metal (Cd, Cu, Zn, Pb, Ni) contamination of soil on grassland around Warsaw and relationship between the total content of heavy metals and their bioavailable forms. Samples of soil and plants were collected on pastures and analyzed. The results were shown and compared with previous data. The content of Cu, Zn, Ni did not exceed the average levels in plants and soils in Poland. The amount of Cd and Pb in studied plants and soils were higher than the average for Polish grassland. Significant correlations between bioavailable forms of heavy metals (Zn, Ni, Cu) and total heavy metal content were found and presented.*

## 1. WPROWADZENIE

W ostatnich dziesięcioleciach na naturalne krążenie pierwiastków śladowych w przyrodzie coraz silniej nakładają się efekty procesów związanych z działalnością gospodarczą człowieka. Wiąże się ona z wydobywaniem i przetwarzaniem różnych surowców na-

---

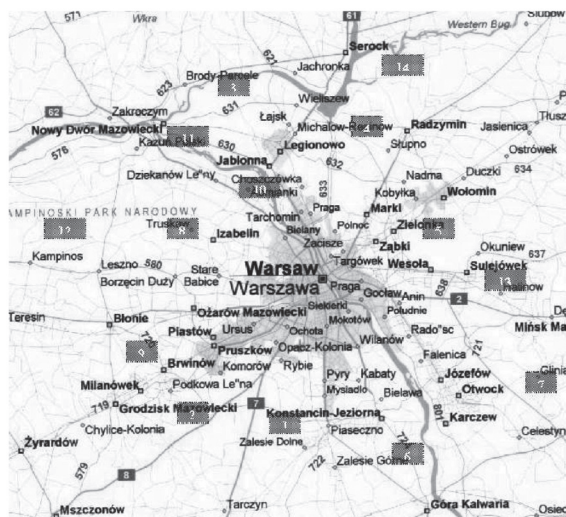
\* *Mgr inż. Paweł Wowkonowicz – Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy, ul. Krucza 5/11d, 00-548 Warszawa; tel.: 22 622 90 98, 666 145 900; e-mail: p.wowkonowicz@ios.edu.pl*

\*\* *Mgr inż. Bartosz Malowaniec – Clondalkin Industrial Estate, Greyhound, Dublin 22, Irlandia; e-mail: malow@o2.pl*

\*\*\* *Dr Krystyna Niesiobędzka – Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Systemów Ochrony Środowiska, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa oraz Wyższa Szkoła Zawodowa w Ciechanowie; tel.: 22 234 59 53; e-mail: krystynaniesiobedzka@is.pw.edu.pl*

turalnych oraz konsumpcją wytworzonych produktów. Działalności tej towarzyszy powstawanie produktów odpadowych, z których gazy i pyły są emitowane do atmosfery, ścieki są odprowadzane do wód powierzchniowych, a odpady stałe gromadzone na składowiskach lub w osadnikach [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Nadmierna akumulacja metali ciężkich w warstwie powierzchniowej gleb stanowi jedną z przyczyn degradacji chemicznej gleb oraz zanieczyszczenia wód glebowo-gruntowych i powierzchniowych. Nagromadzenie w glebach metali ciężkich, szczególnie w formie łatwo dostępnej dla roślin, może być bezpośrednią przyczyną nadmiernego pobierania tych metali przez rośliny i stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. O dostępności metali ciężkich dla roślin decyduje wiele czynników środowiska przyrodniczego, przy czym trzy z nich, tj. skład granulometryczny gleb, odczyn i zasobność gleb w próchnicę, mają szczególne znaczenie [Zawadzki 1999].

Celem badań, których wyniki zaprezentowano i omówiono w niniejszym opracowaniu, była ocena zanieczyszczenia gleb trwałych użytków zielonych metalami ciężkimi, zarówno w formie całkowitej, jak i biodostępnej, oraz roślin występujących na tych terenach. Obiektem badań objęto trwałe użytki zielone usytuowane na terenach niezurbanizowanych. Próbkę do badań pobrano w znacznej odległości (od 250 m do 10 km) od dużych, wylotowych szlaków komunikacyjnych z Warszawy, tak, aby ograniczyć wpływ pylenia z transportowanych materiałów, substancji pochodzących ze spalania materiałów pędnych oraz ścierania opon, nawierzchni dróg i przewodów trakcji elektrycznych (rys. 1). Zakresem badań objęto następujące metale ciężkie: miedź (Cu), kadm (Cd), nikiel (Ni), cynk (Zn) oraz ołów (Pb), zawarte w glebach i roślinach. Szatę roślinną wybraną do badań stanowiły trawy: wiechlika łąkowa, kostrzewa czerwona, kupkówka pospolita i życica trwała oraz mniszek lekarski.



**Rys.1.** Rozmieszczenie stanowisk poboru próbek do badań

**Fig. 1.** Locations of the grassland for samples collection

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Glebę do analiz pobrano z warstwy 0–10 cm. Była to próbka mieszana, składająca się z trzech próbek pobranych z 1 m<sup>2</sup> o masie około 3 kg. Materiał roślinny do analiz stanowiły części nadziemne wymienionych roślin, pobrane z powierzchni, gdzie pobierano próbki gleby. Próbki gleby do analiz suszono w temperaturze pokojowej, a następnie przesiano przez sito o średnicy 1 mm. Materiał roślinny przemyto wodą destylowaną i suszono w temperaturze pokojowej, a następnie w temperaturze 60°C. W glebie oznaczono:

- 1) odczyn – potencjometrycznie w KCl;
- 2) sumę kationów o charakterze zasadowym – metodą Kappena;
- 3) zawartość węgla organicznego – metodą Tiurina;
- 4) zawartość jonów wymiennych – w roztworze octanu amonu.

Całkowitą zawartość metali ciężkich w glebie i roślinach oznaczono techniką AAS, po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasu azotowego i 70% kwasu nadchlorowego w stosunku 3:1. Natomiast formy biodostępne ekstrahowano z gleby w 0,05 M EDTA [Ure 1996].

## 3. WYNIKI BADAŃ

Zaobserwowano dużą zmienność odczynu gleb, który wahał się od silnie kwaśnego do słabo zasadowego, przy czym większość badanych gleb charakteryzował odczyn bardzo kwaśny lub kwaśny. Suma kationów o charakterze zasadowym była największa na stanowiskach: Stara Wieś, Łąki Radzymańskie i Boża Wola i wynosiła kolejno 35,2, 43,5 i 29,5 cmol(+)/kg, gdzie zarejestrowano obojętny lub zasadowy odczyn gleby. Zawartość węgla organicznego wahała się od 1,3% do 7,6%, przy czym najbardziej zasobne w tę substancję były gleby ze stanowisk Turów, Truskaw oraz Górki (tab. 1).

Zawartość metali ciężkich w badanych glebach podano w tabeli 2, a w badanych roślinach w tabeli 3.

Całkowita zawartość kadmu w powierzchniowej warstwie badanych gleb była zróżnicowana (od 0,27 do 6,26 mg Cd·kg<sup>-1</sup> s.m.) i znacznie przewyższała, z wyjątkiem stanowiska Wola Karczewska, średnią zawartość kadmu w polskich glebach, wynoszącą 0,22 mg Cd·kg<sup>-1</sup> s.m. [Mocek i in. 1996]. Według Michówki i in. [1997] średnia zawartość kadmu w glebach Tatrzańskiego Parku Narodowego wynosiła 1,5 mg Cd·kg<sup>-1</sup> s.m., w glebach Lubelszczyzny – 0,22 mg Cd·kg<sup>-1</sup> s.m. [Lipiński, Bednarek 1997], natomiast w glebach ogródków działkowych Opola – średnio 2,1 mg Cd·kg<sup>-1</sup> s.m. [Wacławek, Maćko 2001]. Według Kabaty-Pendias [1993] zawartość kadmu w trawach waha się pomiędzy 0,01 a 3,32 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., przy średniej 0,12 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.. Trawa z tatrzańskich łąk zawiera średnio 1,4 mg·kg<sup>-1</sup> [Michówka i in. 1997]. W badanych trawach zawartość kadmu mieściła się w przedziale od 1,93 do 3,90 mg·kg<sup>-1</sup>. W rejonach Lubelszczyzny, ogólnie uznanych za niezanieczyszczone,

średnia zawartość Cd w trawach wynosi  $0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , przy jego średniej zawartości w glebie wynoszącej  $0,13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Warda 1997]. Zawartość kadmu w mniszku lekarskim wynosiła od  $2,13$  do  $4,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Według Gworek i Mocek [2001] zawartość kadmu w liściach mniszka waha się pomiędzy  $0,25$  a  $4,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Badane gleby nie wykazywały zanieczyszczenia cynkiem, którego całkowita ilość wahała się pomiędzy  $7,5$  a  $39,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , przy średniej krajowej  $40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Kabata-Pendias 1999]. W badanych trawach zawartość cynku (Zn) wahała się między  $16$  a  $48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , według Kabaty-Pendias i Pendias [2001] natomiast zawartość Zn w trawach z terenu Polski mieści się w zakresie od  $12$  do  $72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , ze średnią  $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . W pracy Gworek i Mocek [2001] zawartość cynku w liściach mniszka lekarskiego z rejonu Niziny Południowo-Podlaskiej oscylowała pomiędzy  $19$  a  $164 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . W mniszku najmniejszą zawartość tego pierwiastka zaobserwowano w miejscowości Stara Wieś, wynoszącą  $0,98 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., a największą w Woli Karczewskiej i Bożej Woli, wynoszącą  $7,65$  oraz  $20,08 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.

Średnia zawartość niklu (Ni) w glebach Polski wynosi  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , przy zakresie od  $0,1$  do  $328 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W badanych glebach, zawartość tego pierwiastka wahała się pomiędzy  $3,05$  a  $35,20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Na Lubelszczyźnie wynosi  $9,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Lipiński, Bednarek 1997], a w glebach północno-wschodniej Polski –  $25,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Niesiołędzka 1998]. Ostrowska [1996] podaje średnią zawartość niklu w trawach wynoszącą  $0,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a w mniszku lekarskim –  $0,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , przy średniej zawartości w glebie  $12,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Według Kabaty-Pendias i Pendias [1999], zawartość niklu w polskich trawach waha się pomiędzy  $0,01$  a  $19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ze średnią  $0,84 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . W badaniach prezentowanych w niniejszej pracy zawartość niklu w badanych trawach mieściła się w zakresie od  $0,8$  do  $2,28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , w mniszku lekarskim natomiast wynosiła od  $0,98$  do  $7,65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a w punkcie 11 –  $20,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Średnia zawartość miedzi (Cu) w glebach Polski mieści się w szerokim zakresie – od  $0,2$  do  $725 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , przy średniej wartości  $6,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W glebach północno-wschodniej Polski średnia zawartość miedzi wynosi  $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Niesiołędzka 1998]. Gleba na badanych stanowiskach nie była zanieczyszczona tym pierwiastkiem. W badanych trawach zawartość miedzi waha się w przedziale od  $3,25$  do  $8,75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Zawartość miedzi w trawach Polski według Kabaty-Pendias [2001] mieści się w zakresie od  $2,2$  do  $211 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . W Kotlinie Kłodzkiej [Wacławek, Maćko 2001] wszystkie gatunki traw zawierały miedź w zbliżonych ilościach, ze średnią zawartością  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , przy zawartości tego pierwiastka w glebie wynoszącej  $19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Podobne badania wykonano w okolicach Szczecina [Wybieralski, Maciejewska 2011], gdzie uzyskano następujące wyniki:

- 1) średnią zawartość miedzi w glebie –  $9,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,
- 2) średnią zawartość miedzi w trawach –  $11,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Zawartość miedzi w mniszku lekarskim wahała się w granicach od  $6,40$  do  $20,56 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Badane gleby wykazywały niewielkie zróżnicowanie w zakresie całkowitej zawartości ołowiu. Wartości te mieściły się w zakresie od 35,3 do 45,7 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. Średnia zawartość ołowiu w glebach polskich użytkowanych rolniczo wynosi 14 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. [Kabata-Pendias, Pendias 1999], w Kotlinie Kłodzkiej – 10 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. [Wacławek, Maćko 2001], w glebach północno-wschodniej Polski natomiast – 29 mg·kg<sup>-1</sup>s.m. [Niesiobędzka 1998]. W trawach z terenów zanieczyszczonych średnie zawartości ołowiu wynoszą nawet 387 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. [Wybieralski, Maciejewska 2011], na terenach niezanieczyszczonych natomiast oscylują wokół 0,4 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. [Niesiobędzka 1998] oraz 0,35 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. [Wacławek, Maćko 2001]. W badanych trawach uzyskano zawartości ołowiu zawierające się w zakresie od 3,9 do 7,5 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. W mniszku uzyskano zawartości tego pierwiastka wynoszące od 2,95 do 4,53 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.

Porównując uzyskane wyniki z wytycznymi IUNG [Kabata-Pendias i in. 1993] odnośnie zawartości niklu (Ni), miedzi (Cu), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) badane gleby mogą być użytkowane rolniczo jako trwałe użytki zielone, a trawy i mniszek lekarski wykorzystane do celów paszowych. Badane gleby na stanowiskach: Lesznówola, Łąki Radzymańskie, Turów i Górki należy zaliczyć do średnio zanieczyszczonych kadmem (Cd), a na stanowisku Sikory i Truskaw są silnie zanieczyszczone. Jeśli chodzi o badane trawy, zawartość kadmu znacznie przekraczała wartość uznaną za granicę przydatności paszowej roślin w Polsce, wynoszącą 0,5 mg·kg<sup>-1</sup> [Kabata-Pendias i in. 1993].

**Tabela 1.** Właściwości chemiczne gleb

**Table 1.** Properties of analyzed soils

Nr	pH w KCl	Suma kationów o charakterze zasadowym, c mol(+) · kg	Pojemność sorpcyjna, c mol(+) · kg	Węgiel organiczny, %
1	5,15	14,3	18,61	3,9
2	7,40	35,2	36,48	3,5
3	4,20	20	24,61	2,5
4	7,90	43,5	44,33	2,4
5	3,35	19,8	39,45	7,4
6	5,62	23,2	25,94	1,8
7	3,70	0,9	9,30	3,3
8	6,70	24,8	28,93	7,6
9	5,15	12,8	15,35	2,1
10	5,45	31	34,79	2,3
11	6,95	29,5	30,85	3,1
12	4,50	31	36,25	5,7
13	4,22	18,1	21,96	2,2
14	5,30	6,3	9,98	1,3

**Tabela 2.** Zawartość metali ciężkich w badanych glebach w mg·kg<sup>-1</sup> s.m.**Table 2.** Heavy metals content in soils in mg·kg<sup>-1</sup> d.m.

Nr.	Lokalizacja	Ołów		Kadm		Nikiel		Miedź		Cynk	
		A*	B**	A*	B**	A*	B**	A*	B**	A*	B**
1	Lesznowola	23,5	5,6	3,0	0,19	4,2	1,15	6,55	3,15	23,5	5,6
2	Stara wieś	21,0	5,1	1,85	0,15	9,7	1,65	9,20	4,39	21,0	5,1
3	Siekory	9,0	2,3	3,75	śl.	9,85	1,09	6,0	1,53	9,0	2,3
4	Łąki Radzywińskie	8,0	2,5	3,3	0,11	7,85	1,36	6,05	1,87	8,0	2,5
5	Turów	34,5	7,6	3,05	0,01	8,5	1,19	10,4	4,62	34,5	7,6
6	Dębówka	8,0	2,7	6,25	0,10	35,2	5,97	21,3	6,98	8,0	2,7
7	Wola Karczewska	7,5	2,2	0,27	n.o.	3,05	0,52	5,60	1,76	7,5	2,2
8	Truskaw	18,0	4,6	3,15	0,39	5,15	1,61	7,25	2,74	18,0	4,6
9	Czubin	19,5	3,2	2,2	0,1	6,3	0,73	6,95	2,28	19,5	3,2
10	Łomianki	39,5	13,3	1,75	0,21	19,3	1,96	12,35	6,1	39,5	13,3
11	Boża Wola	38,5	13,1	3,75	0,95	30,45	4,35	21,05	8,28	38,5	13,1
12	Górki	25,5	4,3	2,26	0,38	9,3	0,93	7,10	1,79	25,5	4,3
13	Chobot	21,5	3,3	1,3	0,14	4,0	0,54	4,55	1,52	21,5	3,3
14	Załubice Nowe	24,0	4,2	1,05	śl.	6,6	0,25	2,30	1,11	24,0	4,2

**Objaśnienia:** \*A – zawartość ogólna (ekstrakcja mieszaniną kwasu azotowego i 70% kwasu nadchlorowego); \*\*B – zawartość ekstrahowana 0,05M EDTA.

**Tabela 3.** Zawartość metali ciężkich w badanych roślinach w mg·kg<sup>-1</sup> s.m.**Table 3.** Heavy metals content in plants in mg·kg<sup>-1</sup> d.m.

Nr.	Lokalizacja	Ołów		Kadm		Nikiel		Miedź		Cynk	
		mniszek lekarski	trawa	mniszek lekarski	trawa	mniszek lekarski	trawa	mniszek lekarski	trawa	mniszek lekarski	trawa
1	Lesznowola	3,78	5,35	2,13	3,90	1,10	0,95	6,75	7,43	35,25	40,25
2	Stara wieś	3,45	4,90	n.o.	1,93	0,98	1,55	7,60	3,98	38,45	18,5
3	Siekory	4,33	4,33	3,8	3,65	1,43	2,00	7,90	6,25	32,48	29,5
4	Łąki Radzywińskie	4,53	5,53	2,78	3,25	1,93	0,8	7,95	4,20	36,75	16,5
5	Turów	3,60	4,73	3,98	2,43	1,55	1,95	8,63	7,30	38,0	32,0
6	Dębówka	4,50	6,75	3,00	3,33	2,65	2,00	17,25	3,25	42,25	17,5
7	Wola Karczewska	3,15	3,95	3,75	2,70	7,65	0,48	10,1	5,18	49,75	20,0
8	Truskaw	2,95	4,25	4,35	3,08	2,43	0,88	11,25	8,75	49,0	48,5
9	Czubin	3,23	4,70	2,75	2,98	1,35	0,48	10,9	6,70	29,25	18,75
10	Łomianki	3,58	4,80	3,63	2,63	1,75	2,28	9,88	8,25	47,0	26,5
11	Boża Wola	4,25	7,50	4,30	3,35	20,08	1,78	20,56	6,30	42,0	8,0
12	Górki	3,78	5,18	2,75	3,00	1,93	1,28	7,08	0,83	9,5	7,5
13	Chobot	4,50	5,00	3,25	2,95	1,43	1,35	6,40	6,40	48,5	45,75
14	Załubice Nowe	3,43	6,53	3,03	2,95	2,10	1,95	9,10	5,05	27,75	16,5

W tabeli 4 zamieszczono uzyskane wyniki badań dotyczących składu granulometrycznego badanych gleb.

**Tabela 4.** Skład granulometryczny badanych gleb

**Table 4.** Granulometric composition of analyzed soils

Nr	Zawartość w % poszczególnych frakcji o rozmiarze ziaren w mm								
	>1	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	0,05–0,02	0,02–0,005	0,005–0,002	<0,002
1	2,4	9,7	20,7	29,2	16,5	9,8	6,8	2	2,9
2	3,9	6,9	19,3	27,2	14,3	10,5	9,5	6	2,3
3	0,0	3,7	21,8	50,9	6,5	4,5	4,3	3,5	4,8
4	0,3	0,3	4,1	55,3	26,4	8	4,5	0,8	0,3
5	4,1	9,6	14,9	43,2	13,0	8	5	2	0,3
6	0,1	9,8	4,3	10,1	10,6	26,5	16	4	18,5
7	1,8	6,1	24,6	37,0	16,2	6	3,2	0,8	4,2
8	0,7	5,8	13,9	49,7	16,8	5	2,5	2,5	3,0
9	1,5	3,8	13,3	28,6	7,6	25	10	3	7,2
10	0,9	1,9	8,6	47,2	17,1	9	7	3,5	4,8
11	0,3	1,5	6,4	23,4	13,9	18	10,5	10	16,0
12	1,2	2,6	19,4	36,3	20,9	5,5	4	2,5	7,5
13	1,4	7,6	24,9	40,3	8,7	6,5	3,5	1,9	5,1
14	0,3	2,8	29,3	49,1	4,2	5	2	2	5,3

Na podstawie uzyskanych wyników, obliczono także korelację pomiędzy podstawowymi właściwościami gleb a zawartością metali ciężkich i ich form biodostępnych w glebach i w roślinach (tabele 5, 6 i 7).

**Tabela 5.** Współczynniki korelacji pomiędzy całkowitą zawartością pierwiastków oraz form biodostępnych a podstawowymi właściwościami gleb ( $p < 0,05$ )

**Table 5.** Statistical relations between total and bioavailable heavy metals content and the soil properties

Pierwiastek	pH (KCl)	S	T	C-org.	$\emptyset < 0,002$
Cd całkowity	0,27	0,39	0,22	0,10	0,55*
Cd biodostępny	0,44	0,39	0,23	0,05	0,50*
Ni całkowity	0,28	0,33	0,14	-0,22	0,85**
Ni biodostępny	0,36	0,34	0,14	-0,05	0,83**
Cu całkowity	0,27	0,34	0,19	0,02	0,79**
Cu biodostępny	0,30	0,35	0,22	0,13	0,62*
Zn całkowity	-0,03	0,16	0,26	0,15	0,05
Zn biodostępny	0,17	0,30	0,25	0,15	0,20
Pb całkowity	0,47	0,02	-0,17	-0,21	0,41
Pb biodostępny	-0,46	-0,47	-0,27	0,26	-0,56*

**Objaśnienia:** \* istotne, \*\* wysoce istotne.

**Tabela 6.** Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością pierwiastków w roślinach a podstawowymi właściwościami gleb ( $p < 0,05$ )

**Table 6.** Statistical relations between heavy metals content in plants and the soil properties

Pierwiastek	pH (KCl)	S	T	C-org.	$\emptyset < 0,002$
Cd w mniszku lekarskim	0,41	0,33	0,22	0,12	-0,18
Cd w trawie	-0,01	-0,11	-0,24	-0,18	0,31
Ni w mniszku lekarskim	0,21	0,02	-0,09	-0,01	0,57*
Ni w trawie	-0,08	0,20	0,25	-0,10	0,29
Cu w mniszku lekarskim	0,3	0,20	-0,14	0,01	0,85**
Cu w trawie	-0,21	-0,16	-0,01	0,56*	-0,30
Zn w mniszku lekarskim	-0,03	0,11	0,31	0,28	0,13
Zn w trawie	-0,12	-0,01	0,25	0,51*	-0,02
Pb w mniszku lekarskim	0,11	0,40	0,31	-0,40	0,37
Pb w trawie	0,39	0,18	0,04	-0,36	0,70

**Objaśnienia:** \* istotne, \*\* wysoce istotne.

**Tabela 7.** Współczynniki korelacji pomiędzy całkowitą i biodostępną zawartością pierwiastków a ich zawartością w roślinach oraz pomiędzy całkowitą a biodostępną zawartością pierwiastków ( $p < 0,05$ ).

**Table 7.** Statistical relations between total and bioavailable heavy metals content and their content in plants, relations between total and bioavailable heavy metals content

Zawartość metali	Forma pierwiastka	
	całkowita	biodostępna
Cd w mniszku lekarskim	-0,15	-0,01
Cd w trawie	0,48	0,19
Cd całkowity	x	0,22
Ni w mniszku lekarskim	0,50*	0,45
Ni w trawie	0,57*	0,40
Ni całkowity	x	0,95**
Cu w mniszku lekarskim	0,85**	0,76**
Cu w trawie	-0,14	0,02
Cu całkowity	x	0,95**
Zn w mniszku lekarskim	0,05	0,22
Zn w trawie	0,34	0,27
Zn całkowity	x	0,89**
Pb w mniszku lekarskim	-0,03	-0,48
Pb w trawie	0,62*	-0,35
Pb całkowity	x	-0,19

**Objaśnienia:** \* istotne, \*\* wysoce istotne.



Całkowita zawartość kadmu w glebie wykazała dodatnie korelacje z zawartością frakcji ilastej ( $R=0,55$ ). Podobne zależności zaobserwowali Michówka i in. [1997] oraz Gworek i Mocek [2001]. Natomiast brak takiej zależności stwierdził Lipiński i Bednarek [1997]. Zawartość kadmu w trawie była skorelowana z całkowitą zawartością kadmu ( $R=0,49$ ). Opinie na ten temat w literaturze są podzielone. Wysokie współczynniki korelacji otrzymali Gworek i Mocek [2001] i Mocek i in. [1996], Gąsiorek i in. [1997] natomiast wykazali brak takich zależności, powołując się na Kabatę-Pendias i Pendias [1999], która podaje, że roślinność łąkowa może pobierać 50% kadmu z powietrza atmosferycznego.

Badania wykazały wysoką zależność pomiędzy całkowitą zawartością cynku w glebie a zawartością cynku biodostępnego ( $R=0,89$ ). Zaobserwowano również istotne współzależności pomiędzy zawartością cynku w trawie a węglem organicznym ( $R=0,51$ ). Dane literaturowe natomiast wskazują na występowanie wysokiej korelacji pomiędzy zawartością niklu i kadmu w glebach [Ostrowska 1996; Kabata-Pendias i Pendias 1999], co również potwierdzają uzyskane w niniejszej pracy wyniki badań ( $R=0,68$ ). Całkowita zawartość niklu w glebach bardzo wysoko korelowała z zawartością frakcji ilastej ( $R=0,85$ ). Również [Lipiński, Bednarek 1997] zaobserwował podobną zależność.

Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy zawartością Ni w glebie a pojemnością sorpcyjną i zawartością substancji organicznej. Na tej podstawie można wnioskować, że nikiel jest słabo kumulowany w powierzchniowej warstwie gleby, na co zwraca uwagę również [Michówka i in. 1997]. Wyniki badań wskazały na bardzo wysoką współzależność pomiędzy zawartością niklu biodostępnego a całkowitą zawartością niklu ( $R=0,95$ ) oraz zawartością frakcji ilastej ( $R=0,83$ ). Świadczy to o tym, że zawartość form mobilnych zwiększa się wraz ze zwiększaniem się zawartości całkowitej niklu w glebie. Stwierdzono istnienie silnej korelacji pomiędzy zawartością niklu w roślinności a całkowitą zawartością niklu w glebie (w trawie:  $R=0,57$ , w mniszku lekarskim  $R=0,50$ ). Podobną zależność ( $R=0,87$ ) otrzymała w pracy Miechówka i in. [1997].

Uzyskane wyniki badań wskazują na wysoką zależność między całkowitą zawartością miedzi a zawartością frakcji ilastej ( $R=0,79$ ), co również zaobserwowała w swojej pracy Jaworska [1996]. Zawartość form biodostępnych miedzi wykazuje silną zależność od całkowitej zawartości miedzi w glebie ( $R=0,95$ ) oraz zawartości frakcji ilastej ( $R=0,62$ ). Zawartość miedzi w trawie wykazała dodatnią korelację z węglem organicznym ( $R=0,56$ ) w glebach, a zawartość miedzi w mniszku lekarskim korelowała z zawartością miedzi biodostępnej ( $R=0,76$ ), całkowitą zawartością miedzi ( $R=0,85$ ) oraz frakcją ilastą ( $R=0,85$ ).

Wyniki analiz wykazały także istnienie zależności pomiędzy całkowitą zawartością ołowiu a jego zawartością w trawie. Zawartość ołowiu w badanych roślinach nie korelowała z zawartością form biodostępnych, co może być spowodowane tym, że od 73 do 95% ołowiu w roślinach jest pochodzenia atmosferycznego, a nie pobranego z gleby [Kabata-Pendias 2001].

#### 4. WNIOSKI

1. Zawartość badanych pierwiastków w wierzchniej warstwie gleb trwałych użytków zielonych (0–10 cm) przekroczyła zawartości uznawane za naturalne dla kadmu i ołowiu. Porównując uzyskane wartości do wytycznych IUNG [Kabata-Pędias i in. 1993] gleby z czterech stanowisk wykazały średnie zanieczyszczenie, a z dwóch silne zanieczyszczenie kadmem. Wyniki dla pozostałych metali ciężkich są na poziomie tła geochemicznego.
2. Spośród badanych pierwiastków tylko zawartość kadmu w trawach przekroczyła wartość uznaną za granicę przydatności paszowej roślin w Polsce.
3. Zawartości Cu, Zn i Ni w badanych trawach nie odbiegały od wartości średnich, typowych dla roślinności trawiastej Polski. Natomiast zawartość ołowiu dwukrotnie, a kadmu nawet kilkakrotnie przewyższała wartości średnie.
4. Analiza statystyczna wykazała istotne korelacje między całkowitą zawartością Cu, Ni, Zn w glebach a ich formami biodostępnymi.

#### PIŚMIENICTWO

- BRULIŃSKA-OSTROWSKA E. 1996. Nikiel w roślinach łąkowych. Nikiel w środowisku-problemy metodyczne i ekologiczne. Zeszyty Naukowe „Komitetu Człowiek i Środowisko”. PAN, Warszawa.
- GWOREK B., MOCEK A. (red.). 2001. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. I. IOŚ, Warszawa.
- JAWORSKA H. 1996. Miedź i molibden w środowisku – problemy metodyczne i ekologiczne. Miedź całkowita i dostępna dla roślin w wybranych glebach płowych. Zeszyty Naukowe „Komitetu Człowiek i Środowisko”. PAN, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. 2001. Trace elements in soil and plants. CRC Press, Londyn.
- KABATA-PENDIAS A. i in. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999, Biogeochemia pierwiastków śladowych, PWN, Warszawa.
- LIPIŃSKI W., BEDNAREK W. 1997. Występowanie kadmu i niklu w glebach o różnym składzie granulometrycznym. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z: 448a. PAN, Warszawa.
- MICHÓWKA A., GAŚSIOREK M., ZALEWSKI T. 1997. Zawartość kadmu i niklu w glebach i roślinach polan pasterskich w Tatrzańskim Parku Narodowym. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z: 448b. PAN, Warszawa.
- MOCEK A., DRZYMAŁA S., MASZNER P. 1996. Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Akademia Rolnicza, Poznań.

- NIESIOBĘDZKA K. 1998. Metale ciężkie w aspekcie właściwości gleb w północno-wschodniej Polsce. *Chemia i inżynieria środowiska*, t. 5, nr 3.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z. 1991. Metody analizy i ocena właściwości gleb i roślin. IOŚ, Warszawa.
- URE A.M. 1996. Single extraction schemes for soil analysis and related applications. *Sc. Total Environ.* 178:3–10.
- WACŁAWEK W., BOŻYM M. 2011. Badania zawartości wybranych metali ciężkich (Pb, Cu, Cr) w roślinach jednoliściennych potencjalnych bioindykatorach. *Chemia i inżynieria środowiska*, t. 8, nr 11.
- WACŁAWEK W., MAĆKO A. 2001. Relationships between soil properties and speciation forms of heavy metals. *Chemia i inżynieria środowiska*, t. 8, nr 2–3.
- WARDA M. 1997. Wpływ właściwości gleb na akumulację kadmu i niklu w trawach roślin dwuliściennych wybranych z runi pastewnej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z: 448a. PAN, Warszawa.
- WYBIERALSKI J., MACIEJEWSKA M. 2011. Badania poziomu zanieczyszczeń metalami ciężkimi gleby i roślin na terenach przygranicznych w Rosołówku koło Szczecina. *Chemia i inżynieria środowiska*, t. 7, nr 1.
- ZAWADZKI S. (red.) 1999. *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa.