

Anna CHRZAN<sup>1</sup>

## ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH METALI CIĘŻKICH W GLEBIE I FAUNIE GLEBOWEJ

### THE CONTENT OF SELECTED HEAVY METALS IN SOIL AND SOIL FAUNA

**Abstrakt:** Badano zawartość wybranych metali ciężkich - kadmu Cd, ołowiu Pb, cynku Zn, miedzi Cu i niklu Ni w glebach łąkowych i leśnych oraz w wyekstrahowanych z próbek glebowych zwierząt. Stanowiska usytuowane były w różnej odległości od drogi i od źródeł emisji przemysłowych. Faunę glebową rozdzielono na grupy troficzne - saprofagi, drapieżne i fitosaprofagi, w których oznaczano metale ciężkie. Gleby na badanych stanowiskach wykazywały odczyn od słabo kwaśnego do słabo zasadowego i wilgotność w granicach 20-32%. Zawartość metali w glebie wynosiła odpowiednio:  $0,63 \pm 0,94$  ppm Cd;  $8,8 \pm 12,53$  ppm Pb;  $77,75 \pm 148,78$  ppm Zn;  $12,17 \pm 23,91$  ppm Ni i  $1,58 \pm 8,95$  mg Cu kg<sup>-1</sup> s.m. Wyniki badań wskazują, że stężenia metali ciężkich nie przekraczają norm określonych dla gleb Polski. Kumulacja metali ciężkich w organizmach zwierząt glebowych była znacznie wyższa niż w glebie. W największym stężeniu w organizmach badanej fauny glebowej występował Zn i Pb. Najwyższą zawartość Zn (ponad 19904 ppm) stwierdzono w organizmach drapieżców na stanowiskach leśnych. Natomiast wysokie stężenia ołowiu wykazano u fitosaprofagów w glebach łąkowych (128-421 ppm) i drapieżców na stanowiskach leśnych (200 i 500 ppm). Stwierdzono, że drapieżne zwierzęta glebowe lepiej akumulowały badane metale ciężkie w glebach leśnych niż inne grupy troficzne.

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, fauna glebowa, saprofagi, drapieżce, fitosaprofagi, wskaźnik bioakumulacji

### Wprowadzenie

Gleba stanowi podstawowy element geookosystemu, który charakteryzuje się określonymi właściwościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi, ukształtowanymi pod wpływem wielowiekowego działania naturalnego procesu glebotwórczego oraz rolniczej i pozarolniczej działalności człowieka [1]. Naturalny obieg pierwiastków śladowych w przyrodzie podlega różnego rodzaju zniekształceniom pod wpływem chemicznego zanieczyszczenia środowiska w wyniku gospodarczej i technicznej działalności człowieka [2]. Szczególnie niebezpieczne dla organizmów żywych są zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Zanieczyszczona nimi gleba może przekazywać do dalszych ogniw łańcucha pokarmowego, tj. roślin, zwierząt i człowieka, albo stanowić źródło wtórne zanieczyszczenia powietrza lub wód. W odróżnieniu od powietrza lub wód proces oczyszczania gleb jest bardzo powolny [3]. Niezwykle istotna dla środowiska, a tym samym dla organizmów żywych, jest prawidłowa ocena zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i wynikających z tego zagrożeń.

Coraz większe zagrożenie gleb metalami ciężkimi pochodzi od pojazdów samochodowych, a specyfikę tego zagrożenia stanowi pasmowy układ obszarów zanieczyszczonych. Zawartość metali ciężkich w glebach przyległych do tras komunikacyjnych zależy od natężenia ruchu, oddalenia od jezdni, ukształtowania terenu oraz jego użytkowania, a także od właściwości fizykochemicznych gleby i warunków klimatycznych.

<sup>1</sup> Zakład Ekologii, Badań Łowieckich i Ekoturystyki, Instytut Biologii, Uniwersytet Pedagogiczny, ul. Podbrzezie 3, 31-054 Kraków, tel. 12 662 66 96, email: annachrn871@gmail.com

Celem podjętych badań było określenie zawartości metali ciężkich Pb, Cd, Ni, Zn i Cu w glebach łąkowych i leśnych usytuowanych w różnej odległości od ruchliwej drogi powiatowej nr 1444k (2, 100 i 200 m) w powiecie bocheńskim i od źródeł emisji przemysłowych Arcelor Mittal Poland (dawna Huta im. Tadeusza Sendzimira) w Krakowie oraz w wykstrahowanych z próbek glebowych zwierzętach.

### Materiał i metodyka

Próbki glebowe pobierano z badanych stanowisk za pomocą ramy glebowej o wymiarach 25 cm x 25 cm z powierzchni 1 m<sup>2</sup> i wypłaszano z nich faunę glebową metodą dynamiczną w zmodyfikowanym aparacie Tullgrena. Faunę glebową rozdzielono na grupy troficzne - saprofagi, drapieżne i fitosaprofagi, w których oznaczono metale ciężkie. Zawartość wybranych metali ciężkich w glebie i faunie glebowej oznaczono za pomocą FAAS po uprzedniej mineralizacji badanego materiału glebowego i materiału zwierzęcego. W tym celu próbki gleby i zwierzęta suszono w temperaturze 105°C do uzyskania suchej masy. Po uzyskaniu suchej masy każdą grupę troficzną ważono. Odważono również po 2 g wysuszonej gleby z każdego stanowiska. Glebę i organizmy glebowe poddano procedurze mineralizacyjnej w mineralizatorze w stężonym kwasie azotowym w temperaturze 120°C aż do całkowitego rozpuszczenia tkanek. Następnie otrzymane roztwory przelewano do kolb miarowych i dopełniano wodą destylowaną do objętości 10 cm<sup>3</sup>. W tak przygotowanych roztworach oznaczano zawartość metali ciężkich - kadmu, ołowiu, niklu, miedzi i cynku w spektrofotometrze FAAS (firmy BUCK 200 A). Określono również wilgotność oraz pH badanych gleb.

Wyniki były przeanalizowane jednoczynnikową analizą wariancji ANOVA. Analiza post hoc została wykonana przy użyciu testu HSD Tukeya. Dodatkowo obliczono współczynnik korelacji Pearsona oraz współczynnik  $r^2$  pomiędzy stężeniem metali ciężkich w glebie i w badanej faunie. Różnice uznano za istotne pod względem statystycznym dla  $p < 0,05$ .

### Wyniki i ich omówienie

Gleby na badanych stanowiskach wykazywały odczyn od słabo kwaśnego do słabo zasadowego i wilgotność w granicach 20-40% (tab. 1).

Charakterystyka gleby na badanych stanowiskach Tabela 1  
 Characteristics of soil in the studied localities Table 1

Parametry	Stanowisko I		Stanowisko II		Stanowisko III		Stanowisko IV	
	średnia	SD	średnia	SD	średnia	SD	średnia	SD
pH gleby	7,71	0,08	7,09	0,01	7,94	0,07	5,96	0,14
Wilgotność gleby [%]	32,16	2,87	26,2	0,88	40,28	1,99	19,57	1,27

Stanowisko I łąka oddalona o 2 m od ulicy Nieszkowice Wielkie  
 Stanowisko II łąka oddalona o 200 m od ulicy Nieszkowice Wielkie  
 Stanowisko III las oddalony o 100 m od ulicy Zawada  
 Stanowisko IV las Mogilski oddalony ok. 3 km od Huty im. T. Sendzimira w Krakowie

Zawartość metali w badanych glebach wynosiła odpowiednio:  $0,63 \pm 0,94$  ppm Cd;  $8,8 \pm 12,53$  ppm Pb;  $77,75 \pm 148,78$  ppm Zn;  $12,17 \pm 23,91$  ppm Ni i  $1,58 \pm 8,95$  mg Cu kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 2). Wyniki badań wskazują, że stężenia metali ciężkich nie przekraczają norm określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (DzU 2002, Nr 165, poz. 1359 z dn. 4.10.2002). Nie stwierdzono przekroczeń zawartości granicznych miedzi, ołowiu, kadmu, cynku i niklu dla gruntów zaliczanych do grupy B (obejmującej grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych). W badanych glebach pierwiastki te występowały w ilościach określonych jako dopuszczalne dla tej grupy gleb [4].

Tabela 2

Zawartość metali ciężkich w glebie badanych stanowisk

Table 2

Content of heavy metals in soil of analyzed areas

Zawartość metali w mg/kg s.m.	Stanowisko I	Stanowisko II	Stanowisko III	Stanowisko IV	Wartości dopuszczalne wg Rozporządzenia Ministra Środowiska*
Pb	12,49	8,8	12,53	11,11	100
Cd	0,84	0,68	0,63	0,94	4
Ni	23,91	17,73	12,17	15,79	100
Zn	101,6	77,75	93,98	148,78	300
Cu	8,79	7,41	8,95	1,58	150

\*Graniczne zawartości metali ciężkich zamieszczone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie jakości gleby oraz standardów jakości ziemi dla gruntów zaliczanych do grupy B (DzU 2002, Nr 165, poz. 1359 z dn. 4.10.2002)

Toksyczność metali nie wynika jedynie z poziomu ich zawartości w środowisku, ale przede wszystkim z ich biochemicznej roli w procesach metabolicznych oraz mechanizmów przyswajania, kumulowania i wydalania przez organizmy żywe. Zdolność przenikania metali ciężkich do roślin wyższych i zwierząt glebowych zależy od właściwości gleby i warunków, panujących w środowisku, jak również od formy fizykochemicznej, w której dany pierwiastek występuje.

Gleby są miejscem, gdzie akumuluje się większość antropogenicznie uruchomionego ołowiu pochodzącego m.in. ze spalin samochodowych, spalania odpadów, hutnictwa ołowiu, stosowania farb. Pierwiastek ten jest silnie wiązany w glebach i akumulowany w poziomie próchnicznym. Choć jest mało ruchliwy, to w kwaśnych i piaszczystych warunkach może być łatwo przyswajalny przez rośliny, co stwarza bezpośrednie zagrożenie dla organizmów żywych włączając się do łańcucha pokarmowego. Naturalna zawartość ołowiu w glebach niezanieczyszczonych (wg zaleceń IUNG w Puławach) waha się w granicach od 20 mg/kg dla gleb lekkich do 60 mg/kg dla gleb ciężkich [5]. W badaniach zawartość Pb była stosunkowo niska  $12,5 \pm 8,8$  mg/kg s.m. i nie przekraczała granicznych wartości. Istotne różnice w zawartości tego metalu stwierdzono pomiędzy stanowiskami łąkowymi  $12,5$  i  $8,8$  ppm s.m. ( $p = 0,0012$ ) i stanowiskiem łąkowym oddalonym o 200 m od drogi oraz stanowiskami leśnymi (tab. 2).

Kadm jest pierwiastkiem występującym w glebach w nieznacznych ilościach, a jego zawartość uzależniona jest od skały macierzystej, pH, typu gleby oraz wpływu takich czynników, jak: przemysłowe emisje kadmu do atmosfery, rozwój motoryzacji, niewłaściwe nawożenie, nawodnienia ściekami, stosowanie osadów ściekowych. Kadm wprowadzony do gleby jest łatwo rozpuszczalny w środowisku kwaśnym, a jego mobilność wzrasta w glebach lekkich. Staje się wtedy łatwo pobierany przez rośliny i włącza się do łańcucha pokarmowego. Naturalna zawartość kadmu w glebach niezanieczyszczonych (wg zaleceń IUNG w Puławach) waha się w granicach od 0,3 mg/kg dla gleb lekkich do 1,0 mg/kg dla gleb ciężkich [1]. W badanych glebach stężenie kadmu wynosiło  $0,94 \pm 0,63$  ppm s.m. Przy czym różnice statystycznie istotne wystąpiły tylko pomiędzy stanowiskiem I i III ( $p = 0,031$ ).

Nikiel naturalnie występujący w glebach pochodzi z wietrzenia skał magmowych. Jest pierwiastkiem silnie związanym z substancją organiczną gleby. Jego rozpuszczalność wzrasta wraz z zakwaszeniem gleby. Zanieczyszczenie gleb nikiem spowodowane jest emisją pyłów przemysłowych, nawożeniem ściekami i osadami komunalnymi. Naturalna zawartość niklu w glebach niezanieczyszczonych (wg zaleceń IUNG w Puławach) waha się w granicach od 10 mg/kg dla gleb lekkich do 50 mg/kg dla gleb ciężkich [5]. Średnia zawartość niklu w badaniach wynosiła  $23,9 \pm 12,2$  ppm s.m. (tab. 2). W największej ilości metal ten występował w glebie położonej najbliżej ulicy (stanowisko I), a w najmniejszej w wiejskim lesie. Różnice w zawartości niklu pomiędzy poszczególnymi stanowiskami były istotne statystycznie ( $p = 0,0005 \pm 0,00019$ ).

Cynk jest metalem ciężkim powszechnie występującym w przyrodzie. Tworzy trwałe połączenia z substancją organiczną gleby i akumuluje się w warstwie próchniczej. Związki cynku są łatwo rozpuszczalne, a wzrost kwasowości gleby i zawartości substancji organicznych powoduje, że pobieranie cynku przez roślinność jest ułatwione. Głównym źródłem zanieczyszczenia gleb cynkiem jest przemysł, nawożenie nawozami organicznymi, nawadnianie pól wodami zanieczyszczonymi przez ścieki komunalne oraz transport samochodowy. Naturalna zawartość cynku w glebach niezanieczyszczonych (wg zaleceń IUNG w Puławach) waha się w granicach od 50 mg/kg dla gleb lekkich do 100 mg/kg dla gleb ciężkich [2]. W badanych glebach stężenie Zn było większe i wynosiło  $148 \pm 77$  mg/kg s.m. (tab. 2). Nie przekraczało jednak granicznej zawartości tego pierwiastka według rozporządzenia ministra środowiska dla gruntów zaliczanych do grupy B [4]. Znacznie niższe zawartości Zn w pobliżu badanych stanowisk (Bochnia i jej okolice) stwierdził Żychowski [6] - średnio około 7,2 mg/kg. Wyższą od średniej zawartość cynku notuje się również w centrach miast i wzdłuż tras komunikacyjnych [7]. Niektórzy autorzy uważają, że podwyższona koncentracja Zn występuje nawet 100 m od krawędzi jezdni. Inni autorzy podają, że najwyższą zawartość cynku spotyka się głównie najbliżej jezdni, co potwierdzają wyniki badań [7, 8].

Miedź jest metalem występującym w glebie w formie mało ruchliwych połączeń. Jej zawartość jest ściśle związana ze składem granulometrycznym i odczynem gleby, obniżenie pH powoduje wzrost dostępności miedzi. Naturalna zawartość miedzi w glebach niezanieczyszczonych (wg zaleceń IUNG w Puławach) waha się w granicach od 10 mg/kg dla gleb lekkich do 25 mg/kg dla gleb ciężkich. Całkowita zawartość miedzi w analizowanych glebach zawierała się w granicach od  $1,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  do prawie  $9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 2). Zawartość miedzi w analizowanych glebach nie przekraczała wartości

dopuszczalnej według rozporządzenia ministra środowiska w sprawie standardów jakości gleby i ziemi [4]. Zaobserwowano istotne statystycznie różnice w zawartości miedzi na łące oddalonej 200 m od drogi i w lesie w odległości 100 m od ulicy ( $p = 0,049$ ). Pomiędzy pozostałymi stanowiskami różnice były nieistotne.

Kumulacja metali ciężkich w organizmach zwierząt glebowych była znacznie wyższa niż w glebie i zróżnicowana w zależności od grupy troficznej (tab. 3).

Tabela 3  
Zawartość metali ciężkich w grupach troficznych fauny glebowej (S, D, Fs) na badanych stanowiskach

Table 3

Content of heavy metals in trophic groups in soil fauna of analyzed areas

Zawartość metali w mg/kg s.m.	Grupa troficzna	Stanowisko I	Stanowisko II	Stanowisko III	Stanowisko IV
Pb	S	31,3	42,09	118,18	31,49
	D	97,03	218,75	200,36	500,13
	Fs	128,39	421,72	30,05	106,88
Cd	S	3,01	15,4	3,35	20,46
	D	6,38	3,36	15,8	2,76
	Fs	2,85	1,53	5,86	-
Ni	S	38,73	26,64	77,59	38,02
	D	12,2	70,31	41,84	255,8
	Fs	86,62	141,96	10,02	72,26
Zn	S	676,54	1229,1	3708,27	1735,11
	D	1372,1	3626	19904,9	10306,1
	Fs	1455,8	5749,9	1925,92	436,87
Cu	S	26,83	21,29	357,3	32,05
	D	45,4	10,1	481,6	289,28
	Fs	4,92	92,91	495,5	56,07

Bezkęrgowce glebowe pobierają zanieczyszczenia z przewodu pokarmowego lub przez skórę czy oskórek [9]. Atomy niektórych metali mogą pełnić ważne funkcje biologiczne i są niezbędne do zachowania prawidłowej struktury i funkcjonowania enzymów. Tam gdzie związki mają długi biologiczny okres półtrwania, ich przechodzenie wzdłuż łańcucha pokarmowego może prowadzić do biomagnifikacji na niektórych lub nawet wszystkich poziomach. Największe stężenia zanieczyszczeń stwierdza się zazwyczaj u drapieżców z wyższych poziomów troficznych piramidy pokarmowej [9].

Średnia zawartość Pb w suchej masie organizmów glebowych wynosiła  $500,13 \pm 30,05$  ppm (tab. 3). Przy czym u saprofagów glebowych zawartość tego pierwiastka wahała się w granicach  $118 \pm 31,3$  mg/kg s.m. Znacznie wyższe stężenia ołowiu stwierdzono u drapieżców glebowych  $500,13 \pm 97$  ppm. Również fitosaprofagi glebowe kumulowały duże ilości tego metalu  $421,7 \pm 30,0$  ppm s.m., przy czym najwięcej na stanowiskach łąkowych (128 i 421 ppm s.m.). Stwierdzono korelację pomiędzy zawartością Pb w glebie i w fitosaprofagach glebowych  $p = 0,016$ . Natomiast nie wykazano korelacji pomiędzy zawartością pozostałych metali w glebie i w organizmach fitosaprofagów. W przypadku saprofagów i drapieżców również nie wykazano korelacji pomiędzy stężeniem żadnego z badanych metali w ich ciele i glebie ( $p > 0,5$ ).

Zawartość kadmu w organizmach glebowych była wyższa niż w glebie i wynosiła  $20,5 \pm 1,5 \text{ mg kg}^{-1}$  s.m. Pierwiastek ten kumulował się w dużych ilościach zarówno u saprofagów ( $20 \pm 3 \text{ ppm s.m.}$ ), jak i drapieżców ( $15,8 \pm 2,8 \text{ ppm s.m.}$ ) (tab. 3). Przy czym różnice w zawartości Cd w saprofagach na stanowiskach III i IV  $p = 0,016$  oraz I i IV  $p = 0,039$  były statystycznie istotne (tab. 3).

Stężenie niklu w badanych organizmach glebowych wynosiło  $256 \pm 12 \text{ ppm s.m.}$  Wysokie wartości Ni stwierdzono u fitosaprofagów na stanowiskach łąkowych, a najwyższe u drapieżców glebowych na stanowisku leśnym.

W porównaniu z innymi pierwiastkami śladowymi cynk jest znacznie mniej toksyczny dla zwierząt i człowieka. Cynk w organizmach roślinnych i zwierzęcych współdziała w procesach fizjologicznych z różnymi pierwiastkami, a przede wszystkim z kadmem i miedzią [10]. W badanych zwierzętach glebowych stwierdzono wysokie stężenia tego metalu. Największe ilości Zn magazynowały drapieżne bezkręgowce leśne ( $10306 \pm 19904 \text{ ppm s.m.}$ ). Natomiast na stanowiskach łąkowych ten metal osiągnął wysoką koncentrację u fitosaprofagów, które odżywiają się żywymi częściami roślin (tab. 3).

Zawartość miedzi była wyższa na stanowiskach leśnych u drapieżców ( $481 \pm 289 \text{ ppm s.m.}$ ). Przy czym najwyższą koncentrację Cu odnotowano na stanowisku III we wszystkich grupach troficznych (tab. 3). Różnice w zawartości miedzi u saprofagów występujące pomiędzy pozostałymi stanowiskami były istotne statystycznie  $p = 0,01$ ,  $p = 0,03$ ,  $p = 0,009$ .

Toksyczność metali ciężkich zależy od funkcji, jakie spełniają w procesach metabolicznych organizmów oraz ich podatności na bioakumulację. Potencjalne zagrożenie może być wyrażone poprzez wskaźnik akumulacji, stanowiący stosunek średniego stężenia pierwiastka w organizmie do jego zawartości w glebie [11] (tab. 4).

Tabela 4

Wskaźnik bioakumulacji grup troficznych dla poszczególnych pierwiastków

Table 4

Bioconcentration factor of trophic groups

Stanowisko/grupa troficzna		Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	BCF <sub>sr</sub>
Stanowisko I	S	2,5	3,6	1,6	6,7	3	3,48
	D	7,8	7,6	0,5	13,5	5,2	6,92
	Fs	10,3	3,4	3,6	14,3	0,6	6,44
Stanowisko II	S	4,8	22,6	1,7	15,8	2,9	9,56
	D	24,9	4,9	4	46,6	1,4	16,36
	Fs	47,9	2,2	8	73,9	12,5	28,9
Stanowisko III	S	9,4	6,4	6,4	39,4	39,9	20,08
	D	16,0	3,4	3,4	211,8	53,8	62,02
	Fs	2,4	0,8	0,8	20,5	55,4	17,68
Stanowisko IV	S	2,8	21,8	2,4	11,7	20,3	11,8
	D	45	2,9	16,2	69,3	183,1	63,3
	Fs	9,6	0	4,6	2,9	33,5	10,52

$$\text{BCF}_{\text{sr}} = \text{BCF} (\text{Pb} + \text{Cd} + \text{Ni} + \text{Zn} + \text{Cu}) / 5$$

W największej ilości badane metale ciężkie kumulowały drapieżne bezkręgowce w glebach leśnych, na co wskazują wyznaczone średnie wartości współczynników biokoncentracji. Średnie wartości wskaźnika bioakumulacji BCF  $(Pb + Cd + Ni + Zn + Cu)/5$  wynosiły na tych stanowiskach leśnych 62 i 63.

Istnieje wyraźna skłonność do kumulacji określonych pierwiastków śladowych w roślinach. Na różną biodostępność w stosunku do metali ciężkich może mieć wpływ forma występowania analitu, stężenie i okres narażenia rośliny na jego działanie, komórkowa dystrybucja metalu, formy magazynowania metalu, interakcje z innymi związkami oraz cechy gatunkowe [11, 12].

Badania wskazują, że bezkręgowce glebowe w największej ilości kumulują Zn, Cu. Kumulacja pozostałych metali jest uzależniona od grupy troficznej. Saprofagi akumulowały Cd i Pb w średnim stopniu, a nikiel w słabym  $Zn > Cu > Cd > Pb > Ni$ . Natomiast drapieżce i fitosaprofagi kumulowały badane metale w podobnym stopniu, który można przedstawić schematycznie  $Zn > Cu > Pb > Ni > Cd$ .

## Wnioski

1. Wyniki badań wskazują, że stężenia metali ciężkich nie przekraczają norm określonych dla gleb Polski według Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie jakości gleby oraz standardów jakości ziemi dla gruntów zaliczanych do grupy B (DzU 2002, Nr 165, poz. 1359 z dn. 4.10.2002).
2. Kumulacja metali ciężkich w organizmach badanych zwierząt glebowych była wyższa niż stężenie metali w glebie.
3. Bezkręgowce glebowe w największej ilości kumulowały Zn i Cu.
4. Tylko w przypadku Pb stwierdzono zależność pomiędzy zawartością tego metalu w glebie a stężeniem w fitosaprofitach glebowych.

## Literatura

- [1] Szczepocka A. Criteria for estimating soil pollution from heavy metals. *Zesz Nauk SGPS*. 2005;32:13-27.
- [2] Gongalsky KB, Filimonova ZhV, Zaitsev AS. Relationship between soil invertebrate abundance and soil heavy metal contents in the environs of the Kosogorsky Metallurgical Plant, Tula oblast. *Russ J Ecol*. 2010;41(1):67-70. DOI: 10.1134/S1067413610010133.
- [3] Kowalik P. Ochrona środowiska glebowego. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 2001.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. DzU 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.
- [5] Kabata-Pendias A, Piotrowska M, Motowicka-Terelak T, Maliszewska-Kordybach B, Filiplak K, Krakowiak A, i in. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb - metale ciężkie, siarka i WWA. Warszawa: PIOŚ Bibliot Monit Środow.; 1995; 1-41.
- [6] Żychowski J. Delimitation of zinc and copper concentration in Bochnia soil. *Ecol Chem Eng*. 2007;14(1):91-97.
- [7] Santorufoa L, Van Gestel CAM, Rocca A, Maisto G. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environ Pollut*. 2012;161:57-63. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.09.042.
- [8] Czarnowska K. Heavy metals in lawn soils of Warsaw. *Roczn Glebozn*. 1999; 50(1/2):31-39.
- [9] Walker CH, Hopkin SP, Sibly RM, Peakall DB. Podstawy ekotoksykologii. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN; 2002.
- [10] Spurgeon DJ, Rowland P, Ainsworth G, Rothery P, Long S, Black IJH. Geographical and pedological drivers of distribution and risks to soil fauna of seven metals (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, V and Zn) in British soils. *Environ Pollut*. 2008;153(2):273-283. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.027>.

- [11] Rajfur M, Klos A, Waclawek M. Bioaccumulation of heavy metals in selected elements of biota forest fisher in Pokrzywna (Opole province, PL). *Chem Dydak Ekol Metrol.* 2010;15(2):167-171.
- [12] Islam E, Yang XE, He ZL, Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2007;8(1):1-13. DOI: 10.1631/jzus.2007. B0001.

## THE CONTENT OF SELECTED HEAVY METALS IN SOIL AND SOIL FAUNA

Institute of Biology, Pedagogical University in Krakow

**Abstract:** Content was studied of selected heavy metals - cadmium Cd, lead Pb, zinc Zn, copper Cu and nickel Ni in meadow soils and in forest soils and in soil animals samples extracted from soil. Positions were located at different distances from the road and from sources of industrial emissions. Soil fauna were separated into trophic groups of saprophags, predators and phitosaprophags, in which heavy metals were determined. Soils on the test sites showed little reaction from acidic to slightly alkaline and humidity within 20-32%. The range of metals content in soils amounted to properly:  $0.63 \pm 0.94$  ppm Cd;  $8.8 \pm 12.53$  ppm Pb;  $77.75 \pm 148.78$  ppm Zn;  $12.17 \pm 23.91$  ppm Ni and  $1.58 \pm 8.95$  mg Cu · kg<sup>-1</sup> s.m. The results from the studies show that the heavy metal concentrations did not exceed the standards set out for the soils of Poland. Heavy metals accumulation in soil animal organisms was significantly higher than in the soil. In the examined organisms of soil fauna, the metals in the highest concentration were zinc and lead. The highest content of Zn (> 19904 ppm) was found in the bodies of the predators in forest stands. High concentrations of lead have been demonstrated in phitosaprophags in meadow soils (128-421 ppm) and in predators in forest sites (200-500 ppm). It was found that predators of soil animals are better at bioaccumulations of tested heavy metals in forest soils (BCF > 60) than other trophic groups.

**Keywords:** heavy metals, soil fauna, saprophags, predators, phitosaprophags, bioconcentration factor values (BCF)