

BIOAKUMULACJA METALI CIĘŻKICH W TRAWACH PASTEWNYCH

Adam Łukowski¹, Józefa Wiater¹, Anna Dymko²

¹ Politechnika Białostocka, Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: a.lukowski@pb.edu.pl

² Absolwent Politechniki Białostockiej, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

STRESZCZENIE

Celem badań było określenie bioakumulacji metali ciężkich (Pb, Ni, Cu, Zn, Cd) w trawach pastewnych z obszaru województwa podlaskiego na podstawie współczynnika bioakumulacji. W próbkach gleby oznaczono pH, pojemność sorpcyjną i zawartość węgla organicznego. Zawartość metali ciężkich w roślinach i glebach określono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu. Gleby charakteryzowały się głównie kwaśnym odczynem, wysoką pojemnością sorpcyjną i zawartością węgla organicznego. Zawartość metali ciężkich w badanych trawach pastewnych nie przekraczała krytycznych zawartości metali w odniesieniu do roślin paszowych, z wyjątkiem siedmiu próbek traw w przypadku ołowiu. Współczynniki zmienności w przypadku zawartości metali ciężkich w badanych trawach pastewnych były następujące: Pb – 37%, Ni – 63%, Cu – 30%, Zn – 34%, Cd – 48%. Największy współczynnik bioakumulacji odnotowano w przypadku niklu i trawy z miejscowości Remieńkiń (11,54), a najmniejszy dla kadmu i trawy z miejscowości Jemieliste (0,04).

Słowa kluczowe: trawa, metale ciężkie, bioakumulacja

BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN FORAGE GRASSES

ABSTRACT

The aim of this study was estimation of bioaccumulation of heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn, Cd) in forage grasses from the area of Podlasie Province based on the bioaccumulation factor. In the soil samples the pH, organic carbon content and CEC were determined. Determination of heavy metals contents in plant and soil material was carried out by flame atomic absorption spectrometry. Soils were characterized mainly by acidic reaction, high cation exchange capacity and organic carbon content. The content of heavy metals in studied forage grasses did not exceed the polish regulations related to plant usage for feeding purposes, except the lead content in seven samples. Coefficients of variation for particular heavy metals content in studied forage grasses were as follows: Pb – 37%, Ni-63%, Cu – 30%, Zn – 34%, Cd – 48%. The highest bioaccumulation factor was found for nickel and grass from the village Remieńkiń (11.54), while the lowest for cadmium and grass from the village Jemieliste (0.04).

Keywords: grass, heavy metals, bioaccumulation

WSTĘP

Naturalne środowisko wyróżnia zrównoważony obieg pierwiastków, który polega na zachowaniu równowagi pomiędzy uwalnianą ilością, a ich wiązaniem w utworach geologicznych. Do pierwiastków tych zaliczamy także metale ciężkie, które stanowią naturalny składnik litosfery i biosfery. Jedne z nich stwarzają zagrożenie, jako metale silnie toksyczne, między innymi Pb, Cd, Hg, inne pełnią funkcję mikroelementów dla roślin, zwierząt i mikroorganizmów, np.: Cu, Zn, Mn, Fe [Karczevska 2012].

W ostatnich latach zwiększający się poziom zawartości metali ciężkich powoduje uciążliwość dla poszczególnych komponentów środowiska. Istotne niebezpieczeństwo stanowi trwały charakter zanieczyszczeń metalami ciężkimi, ale też ich włączanie się do łańcucha pokarmowego. Źródłem metali ciężkich w pożywieniu ludzi i zwierząt są rośliny, bowiem pierwiastki, które pobierają z gleby przekraczają często ich zapotrzebowanie fizjologiczne, co powoduje, że nadmiar tych pierwiastków w glebach może działać fitotoksycznie [Niesiobędzka i inni 2005]. Najistotniejszy wpływ na obecność fitodostępnych

frakcji metali ciężkich w glebie mają czynniki glebowe, które tym samym wpływają na poziom akumulacji tych pierwiastków w roślinach [Kabata-Pendias i Pendias 1999, Sady i in., 2000].

Nagromadzenie metali ciężkich w częściach nadziemnych, jak i podziemnych roślin zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia metalu dostającego się ze środowiska zewnętrznego [Gregor 2004]. Działanie metali ciężkich w niewielkim stopniu jest zależne od ich całkowitej ilości w glebie. Uwarunkowane jest głównie ich biodostępnością, do której zalicza się czynniki takie jak: fizykochemiczne właściwości gleby oraz liczebność i różnorodność mikroorganizmów występujących w tym środowisku. Mikroorganizmy i rośliny mogą także wpływać na biodostępność metali ciężkich w ryzosferze [Kidd i inni 2007].

Zmiany zachodzące w roślinie do których należą: zmniejszenie biomasy, długości korzenia i pędu są wspólnymi wskaźnikami toksycznego działania metali ciężkich. Z kolei zmiany na poziomie komórek, tkanek i narządów są zwykle wynikiem bezpośredniego oddziaływania między metalem, a metabolizmem [Solanki i Dhankhar 2011].

Celem niniejszej pracy było określenie zawartości metali ciężkich (Pb, Ni, Cu, Zn, Cd) w trawach pastewnych i glebach pochodzących z obszaru województwa podlaskiego, a także określenie współczynnika ich bioakumulacji w badanych trawach.

MATERIAŁ I METODY

Próbki traw pastewnych, jak i próbki gleb, z terenu woj. podlaskiego zostały pobrane przez pracowników Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Białymstoku (gleby według normy PN-R-040:1997). Odczyn gleb oznaczono w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ KCl metodą potencjometryczną, węgiel całkowity metodą Tiurina, pojemność kompleksu sorpcyjnego metodą Kappena, a zawartość pseudo-ogólną metali w glebach (po uprzedniej mineralizacji w stężonym HNO_3 z dodatkiem 30% nadtlenu wodoru) metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej płomieniowej przy użyciu aparatu Varian AA100.

Mineralizacja materiału roślinnego na sucho w celu oznaczenia metali ciężkich polegała na ogrzewaniu próbek roślinnych w piecu mufowym w temperaturze $450 \text{ }^\circ\text{C}$, a następnie substan-

cje zawarte w popiele roztworzono w stężonym kwasie azotowym (V). Oznaczenia zawartości metali ciężkich tj. Pb, Ni, Cu, Zn, Cd w materiale roślinnym dokonano metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej płomieniowej na aparacie Varian SpectrAA100.

W przypadku wszystkich roślin obliczono współczynnik bioakumulacji badanych metali, zdefiniowany, jako stosunek zawartości metalu w nadziemnej części rośliny do jego zawartości pseudo-ogólnej w glebie (tab. 4). Obliczony został także współczynnik zmienności zawartości metali w badanych roślinach.

WYNIKI

Badane gleby, pochodzące z terenu województwa podlaskiego, charakteryzowały się pH w szerokim zakresie (tab. 1). Najniższą jego wartość odnotowano w glebie z miejscowości Rumejki – 4,2, zaś najwyższą w glebie z miejscowości Twarogi Lackie – 7,7. Większość to gleby lekko kwaśne, kwaśne i bardzo kwaśne, reszta to gleby obojętne i zasadowe. Najniższa zawartość węgla organicznego w badanych glebach (tab. 1) wynosiła 0,69% w miejscowości Boćki, a najwyższa to 42,48% w glebie z miejscowości Ożary. W badanych próbkach dominowała wysoka zawartość węgla organicznego. Największa wartość pojemności sorpcyjnej ($80,5 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$) została odnotowana w glebie z miejscowości Łacha, zaś najmniejsza ($27,5 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$) w glebie z miejscowości Bargłów Dworny (tab. 1).

Zawartości pseudo-ogólne wszystkich badanych metali w warstwie ornej gleb (tab. 2) nie przekraczały limitów zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.

Zawartość Pb, Ni, Cu, Zn i Cd w badanych trawach (tab. 3) nie przekraczała krytycznej zawartości dla roślin przeznaczonych do celów paszowych wg IUNG [Kabata-Pendias i inni 1993], z wyjątkiem siedmiu próbek w przypadku ołowiu (zawartość Pb $>10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.). Zawartości w/w metali w poszczególnych próbkach traw nie były istotnie zróżnicowane, z wyjątkiem niklu, w przypadku którego współczynnik zmienności był równy 63% (tab. 3). Największą zawartość ołowiu stwierdzono w próbce trawy z miejscowości Białosuknia ($14,72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), a najmniejszą ilość tego pierwiastka odnotowano w próbce

Tabela 1. Zawartość C_{org} , pH oraz kationowa pojemność sorpcyjna badanych gleb
Table 1. Content of C_{org} , pH and CEC of studied soils

| L.p. | Gmina | Miejscowość | pH w 1 mol·dm ⁻³ KCl | C_{org} [%] | Pojemność sorpcyjna [mmol(+)·kg ⁻¹] |
|------|----------------------|------------------|---------------------------------|---------------|---|
| 1 | Choroszcz | Babino | 6,4 | 1,87 | 43,3 |
| 2 | Radziłów | Glinki | 4,8 | 1,55 | 54,5 |
| 3 | Jedwabne | Brzostowo | 7,3 | 2,96 | 64,5 |
| 4 | Miastkowo | Miastkowo | 4,7 | 2,18 | 45,0 |
| 5 | Goniądz | Białosuknia | 7,2 | 1,98 | 54,5 |
| 6 | Perlejewo | Twarogi Lackie | 7,7 | 1,38 | 59,5 |
| 7 | Rutka Tartak | Potopy | 7,3 | 3,44 | 62,3 |
| 8 | Wiżajny | Kłajpeda | 6,0 | 2,78 | 65,5 |
| 9 | Klukowo | Usza Wielka | 6,1 | 0,96 | 34,0 |
| 10 | Wasilków | Wólka Poduchowna | 5,5 | 1,57 | 28,0 |
| 11 | Boćki | Boćki | 5,6 | 0,69 | 40,5 |
| 12 | Dubicze Cerkiewne | Jagodniki | 6,9 | 3,36 | 82,5 |
| 13 | Juchnowiec Kościelny | Rumiejki | 4,2 | 1,99 | 39,5 |
| 14 | Augustów | Żarnowo III | 5,6 | 36,35 | 68,5 |
| 15 | Dobrzyniewo Duże | Dobrzyniewo Duże | 5,5 | 38,46 | 48,5 |
| 16 | Supraśl | Sokołda | 5,6 | 30,47 | 59,5 |
| 17 | Zabłudów | Gnieciuki | 5,4 | 16,02 | 40,0 |
| 18 | Szczuczyn | Bęckowo | 6,2 | 21,29 | 41,0 |
| 19 | Turośl | Łacha | 6,8 | 41,4 | 80,5 |
| 20 | Zbójna | Gawrychy | 5,2 | 12,19 | 57,5 |
| 21 | Trzcianne | Chojnowo | 5,8 | 14,58 | 54,0 |
| 22 | Krasnopol | Remieńki | 5,6 | 25,54 | 76,5 |
| 23 | Milejczyce | Pokaniewo | 5,8 | 37,71 | 69,5 |
| 24 | Nowy Dwór | Bieniowce | 5,3 | 33,96 | 50,5 |
| 25 | Sokółka | Kuryły | 5,2 | 24,78 | 61,0 |
| 26 | Filipów | Jemieliście | 5,8 | 26,68 | 56,0 |
| 27 | Kobylin Borzymy | Franki Piaski | 7,0 | 11,84 | 64,5 |
| 28 | Rutki | Ożary | 5,5 | 42,48 | 68,5 |
| 29 | Raczki | Wronowo | 6,8 | 2,93 | 75,0 |
| 30 | Szypliszki | Lipniak | 6,8 | 2,03 | 57,3 |
| 31 | Bargłów Kościelny | Bargłów Dworny | 7,3 | 4,32 | 27,5 |
| 32 | Siemiatycze | Wiercień Duży | 4,3 | 2,45 | 59,0 |
| 33 | Wysokie Mazowieckie | Tybory Żochy | 6,9 | 4,58 | 68,0 |

z Żarnowa III (3,47 mg·kg⁻¹ s.m.). Zawartość niklu w badanych trawach pastewnych mieściła się w przedziale od 4,95 do 39,00 mg·kg⁻¹ s.m. Najmniejszą zawartość omawianego metalu odnotowano w próbce trawy z miejscowości Tybory Żochy, a największą w próbce z miejscowości Remieńki. Zakres zawartości miedzi w badanych trawach pastewnych wynosił od 2,57 do 9,42 mg·kg⁻¹ s.m.. Największą zawartość tego pierwiastka stwierdzono w próbce z Bargłowa Dwornego. Zawartość cynku w badanych trawach pastewnych mieściła się w przedziale od 11,65 do 52,07 mg·kg⁻¹ s.m.. Najmniejszą jego zawartość odnotowano w trawie z Kłajpedy, a największą w próbce z miejscowości Glinki. Natomiast najniższą zawartość kadmu odnotowano w próbce

z miejscowości Rumiejki (0,042 mg·kg⁻¹ s.m.), a największą w trawie z miejscowości Gawrychy (0,391 mg·kg⁻¹ s.m.).

DYSKUSJA

Składniki mineralne pobierane z gleby przez organizmy roślinne stanowią zaspokojenie fizjologicznego zapotrzebowania na niektóre z nich (Fe, Mn, Zn, Cu), jednak mogą być wynikiem intoksykacji w związku ze zwiększonym zanieczyszczeniem środowiska. Obecność metali w znacznej mierze zależy od gatunku rośliny, okresu wegetacji oraz części morfologicznej. Ponadto coraz częściej zwraca się uwagę na kon-

Tabela 2. Zawartość metali w badanych glebach**Tabela 2.** Content of metals in studied soils

| L.p. | Gmina | Miejscowość | Zawartość [mg·kg ⁻¹ s.m.] | | | | |
|------|----------------------|------------------|--------------------------------------|-------|-------|------|-------|
| | | | Pb | Ni | Cu | Zn | Cd |
| 1 | Choroszcz | Babino | 6,12 | 6,25 | 5,75 | 30,1 | 0,338 |
| 2 | Radziłów | Glinki | 7,25 | 9,62 | 8,50 | 33,8 | 1,590 |
| 3 | Jedwabne | Brzostowo | 7,75 | 9,75 | 7,75 | 34,8 | 0,443 |
| 4 | Miastkowo | Miastkowo | 9,50 | 5,00 | 6,00 | 38,5 | 0,274 |
| 5 | Goniądz | Białosuknia | 7,88 | 12,00 | 6,62 | 28,5 | 0,403 |
| 6 | Perlejewo | Twarogi Lackie | 5,25 | 6,25 | 4,38 | 21,8 | 0,269 |
| 7 | Rutka Tartak | Potopy | 6,00 | 6,75 | 7,50 | 32,9 | 0,518 |
| 8 | Wiżajny | Kłajpeda | 9,25 | 7,00 | 8,12 | 43,0 | 0,740 |
| 9 | Klukowo | Usza Wielka | 6,50 | 4,25 | 4,00 | 33,4 | 0,478 |
| 10 | Wasilków | Wólka Poduchowna | 11,00 | 6,38 | 8,62 | 48,4 | 0,495 |
| 11 | Boćki | Boćki | 7,88 | 6,50 | 5,50 | 31,6 | 0,221 |
| 12 | Dubicze Cerkiewne | Jagodniki | 12,60 | 7,38 | 12,00 | 30,5 | 0,681 |
| 13 | Juchnowiec Kościelny | Rumejki | 6,88 | 4,75 | 8,50 | 30,1 | 0,398 |
| 14 | Augustów | Żarnowo III | 28,60 | 12,10 | 17,00 | 68,9 | 1,621 |
| 15 | Dobrzyniewo Duże | Dobrzyniewo Duże | 9,50 | 5,50 | 13,40 | 20,4 | 1,096 |
| 16 | Supraśl | Sokołda | 14,00 | 9,88 | 14,40 | 18,1 | 0,995 |
| 17 | Zabłudów | Gnieciuki | 19,60 | 7,38 | 21,50 | 28,4 | 1,145 |
| 18 | Szczuczyn | Bęckowo | 22,50 | 8,00 | 16,90 | 69,2 | 1,609 |
| 19 | Turośl | Łacha | 15,00 | 6,00 | 7,75 | 31,6 | 1,033 |
| 20 | Zbójna | Gawrychy | 13,90 | 4,50 | 7,50 | 32,9 | 1,175 |
| 21 | Trzcianne | Chojnowo | 25,20 | 7,62 | 11,10 | 43,5 | 0,781 |
| 22 | Krasnopol | Remieñkiñ | 23,10 | 3,38 | 6,25 | 20,2 | 0,525 |
| 23 | Milejczyce | Pokaniewo | 13,60 | 7,50 | 8,00 | 27,0 | 0,613 |
| 24 | Nowy Dwór | Bieniewce | 18,80 | 17,10 | 11,50 | 37,6 | 1,124 |
| 25 | Sokołka | Kuryły | 18,40 | 8,12 | 9,50 | 47,9 | 2,095 |
| 26 | Filipów | Jemieliste | 19,20 | 5,38 | 20,00 | 35,9 | 1,642 |
| 27 | Kobylin Borzymy | Franki Piaski | 6,38 | 2,88 | 3,50 | 17,5 | 0,388 |
| 28 | Rutki | Ożary | 15,20 | 6,25 | 6,75 | 16,8 | 1,037 |
| 29 | Raczkki | Wronowo | 7,50 | 6,12 | 7,62 | 45,6 | 0,392 |
| 30 | Szypliszki | Lipniak | 9,50 | 4,62 | 4,25 | 19,6 | 0,610 |
| 31 | Bargłów Kościelny | Bargłów Dworny | 9,75 | 8,75 | 10,20 | 35,1 | 0,712 |
| 32 | Siemiatycze | Wiercieñ Duży | 13,90 | 10,20 | 7,12 | 52,0 | 0,381 |
| 33 | Wysokie Mazowieckie | Tybory Żochy | 10,80 | 13,20 | 11,00 | 64,9 | 0,286 |

taminację organizmów roślinnych pierwiastkami zawartymi w pyłe osiadłym na powierzchni liści [Kowol i inni 2005].

Metale ciężkie są pobierane przez rośliny, wraz z innymi pierwiastkami, w postaci jonowej. Komórki roślinne umożliwiają zmniejszenie szkodliwości toksycznych jonów, jednak metale ciężkie stają się prawdziwie szkodliwe dla rośliny wówczas gdy przekroczą bariery plazmalemy. Dodatkowo toksyczne działanie metali ciężkich na procesy życiowe roślin wynika z ich interakcji z funkcyjnymi grupami cząsteczek wchodzących w skład komórek, a w szczególności białek (grupy SH) i polinukleotydów [Baranowska-Morek 2003].

Ołów

Ołów jest zaliczany do pierwiastków o bardzo wysokim stopniu potencjalnego zagrożenia dla środowiska przyrodniczego. Według Królak [2000] ołów stanowi jedną z najgroźniejszych trucizn działających toksycznie na wszystkie żywe organizmy. Udział ołowiu pochodzenia atmosferycznego w roślinach wynosi 73–95%, mimo to udział części nadziemnych, a zwłaszcza liści, w pobieraniu ołowiu jest niewielki. Zahamowanie wnikania ołowiu do komórek roślin powoduje kutykula oraz warstwa wosków, która adsorbuje ten metal na powierzchni liści. Natomiast 93–96% kationów ołowiu jest pobierane przez rośliny i gromadzone w korzeniach, przez

Tabela 3. Zawartość metali w badanych trawach pastewnych**Table 3.** Content of metals in studied forage grasses

| L.p. | Gmina | Miejscowość | Zawartość [mg·kg ⁻¹ s.m.] | | | | |
|-----------------------------|----------------------|------------------|--------------------------------------|-------|------|-------|-------|
| | | | Pb | Ni | Cu | Zn | Cd |
| 1 | Choroszcz | Babino | 5,22 | 8,67 | 7,20 | 16,11 | 0,382 |
| 2 | Radziłów | Glinki | 8,22 | 8,75 | 7,85 | 52,07 | 0,079 |
| 3 | Jedwabne | Brzostowo | 13,47 | 8,75 | 5,80 | 24,45 | 0,147 |
| 4 | Miastkowo | Miastkowo | 11,97 | 8,52 | 8,32 | 21,28 | 0,079 |
| 5 | Goniądz | Białosuknia | 14,72 | 10,10 | 7,32 | 19,12 | 0,363 |
| 6 | Perlejewo | Twarogi Lackie | 13,97 | 17,57 | 7,77 | 19,53 | 0,100 |
| 7 | Rutka Tartak | Potopy | 3,72 | 8,40 | 8,95 | 23,82 | 0,338 |
| 8 | Wiżajny | Kłajpeda | 7,47 | 6,80 | 6,22 | 11,65 | 0,211 |
| 9 | Klukowo | Usza Wielka | 10,22 | 9,50 | 6,75 | 32,69 | 0,315 |
| 10 | Wasilków | Wólka Poduchowna | 7,72 | 8,32 | 5,22 | 21,32 | 0,213 |
| 11 | Boćki | Boćki | 7,72 | 9,55 | 8,17 | 48,67 | 0,083 |
| 12 | Dubicze Cerkiewne | Jagodniki | 7,22 | 9,30 | 6,77 | 20,88 | 0,225 |
| 13 | Juchnowiec Kościelny | Rumiejki | 11,47 | 8,22 | 7,20 | 27,96 | 0,042 |
| 14 | Augustów | Żarnowo III | 3,47 | 6,77 | 7,02 | 24,46 | 0,260 |
| 15 | Dobrzyniewo Duże | Dobrzyniewo Duże | 6,97 | 7,95 | 3,80 | 20,76 | 0,206 |
| 16 | Supraśl | Sokołda | 4,22 | 5,77 | 3,60 | 21,76 | 0,143 |
| 17 | Zabłudów | Gnieciuki | 9,47 | 8,77 | 5,22 | 36,99 | 0,302 |
| 18 | Szczuczyn | Bęckowo | 6,97 | 12,52 | 4,77 | 21,57 | 0,151 |
| 19 | Turośl | Łacha | 8,47 | 8,12 | 4,32 | 16,48 | 0,247 |
| 20 | Zbójna | Gawrychy | 10,97 | 12,65 | 5,40 | 32,11 | 0,391 |
| 21 | Trzcianne | Chojnowo | 4,72 | 7,07 | 3,82 | 24,52 | 0,220 |
| 22 | Krasnopol | Remieńki | 6,72 | 39,00 | 6,97 | 22,62 | 0,262 |
| 23 | Milejczyce | Pokaniewo | 7,72 | 7,90 | 3,50 | 20,70 | 0,276 |
| 24 | Nowy Dwór | Bieniowce | 4,72 | 10,02 | 4,80 | 25,36 | 0,196 |
| 25 | Sokołka | Kuryły | 4,22 | 5,80 | 2,57 | 22,39 | 0,110 |
| 26 | Filipów | Jemieliste | 9,22 | 16,15 | 5,25 | 25,26 | 0,062 |
| 27 | Kobylin Borzomy | Franki Piaski | 9,22 | 9,27 | 4,90 | 16,32 | 0,081 |
| 28 | Rutki | Ożary | 9,22 | 6,47 | 3,67 | 25,29 | 0,174 |
| 29 | Raczki | Wronowo | 9,97 | 28,37 | 5,90 | 16,57 | 0,240 |
| 30 | Szypliszki | Lipniak | 5,97 | 9,50 | 5,55 | 19,34 | 0,236 |
| 31 | Bargłów Kościelny | Bargłów Dworny | 7,47 | 9,07b | 9,42 | 27,02 | 0,336 |
| 32 | Siemiatycze | Wiercień Duży | 6,97 | 7,97 | 6,07 | 24,69 | 0,133 |
| 33 | Wysokie Mazowieckie | Tybory Żochy | 4,97 | 4,95 | 9,02 | 28,66 | 0,146 |
| Średnia | | | 8,02 | 10,50 | 6,03 | 24,74 | 0,205 |
| Współczynnik zmienności [%] | | | 37 | 63 | 30 | 34 | 48 |

co mogą one pobierać od 3 do ok. 50 razy więcej ołowiu, niż liście [Gruca-Królikowska i Wacławek 2006].

Przy koncentracji przekraczającej zawartość krytyczną w roślinie, ołów oddziałuje negatywnie zarówno na ilość, jak i jakość plonu. Zawartość ołowiu w roślinach użytkowanych rolniczo wymaga więc systematycznego monitoringu, ponieważ niebezpieczne stężenia tego pierwiastka mogą być przekraczane w roślinnej diecie pokarmowej zwierząt i ludzi, bez widocznych objawów szkodliwego wpływu na rośliny [Gorlach i Gambus 2000].

Według Gorlacha i Gambusia [2000] normalna zawartość ołowiu w roślinach powinna mieścić się w przedziale 1–1,5 mg·kg⁻¹ s.m.. Autorzy ci podają również, iż krytyczna zawartość ołowiu w roślinach przeznaczonych na cele paszowe mieści się w przedziale 10–25 mg·kg⁻¹ s.m., co wskazuje na przydatność badanych traw do celów paszowych (tab. 3). Kicińska [2009] w badaniach traw z gatunku *Agrostis capillaris* i *Brachypodium silvaticum*, z terenów niezanieczyszczonych, stwierdziła, że zawartość ołowiu nie przekraczała 50 mg·kg⁻¹ s.m., co jest zgodne z naszymi ustaleniami w przypadku traw pastew-

nych woj. podlaskiego. Bardzo niską zawartość omawianego pierwiastka w trawach na obszarach niezanieczyszczonych podaje Niesiołowska [1998] oraz Waclawek i Moćko [2001]. Według autorów oscyluje ona, odpowiednio, wokół 0,4 oraz 0,35 mg·kg⁻¹ s.m.

Ocenę stopnia i kierunku mobilności metali w roślinach określa współczynnik bioakumulacji. Wartość tego współczynnika odzwierciedla pobieraną ilość metali ciężkich z gleby oraz informuje o przemieszczeniu się ich z roztworu glebowego do części nadziemnych rośliny [Czech i inni 2014].

Współczynnik bioakumulacji ołowiu w przypadku badanych traw pastewnych (tab. 4) mieścił się w przedziale od 0,12 do 2,66. Znacznie niższe wartości tego współczynnika stwierdziła Symonowicz i in. [2012] w badaniach nad wpływem nawożenia fosforem i potasem na pobieranie metali ciężkich przez rutwicę wschodnią (*Gallega orientalis Lam.*). W przypadku ołowiu dla poszczególnych obiektów nawozowych kształtowały się one na poziomie 0,06–0,08. Również w badaniach Czech i in. [2014] dotyczących zawartości metali ciężkich w glebach i roślinach z terenu gminy Borzęcin współczynnik bioakumulacji ołowiu był niższy, w stosunku do naszych rezultatów (średnia 0,83) i wynosił średnio 0,1.

Nikiel

Nikiel stanowi niezbędny dla rozwoju i funkcjonowania roślin mikroelement, jednak w większych stężeniach wykazuje działanie toksyczne. Wchodzi w skład centrum aktywnego ureazy, czyli enzymu hydrolizującego mocznik, dlatego spełnia istotną rolę w odżywianiu roślin mocznikiem [Witte i inni 2002]. Ilość niklu w tkankach roślinnych zależy od zawartości i biodostępności w glebie, jak również od gatunku rośliny, okresu wegetacji oraz części morfologicznej [Królak 2003]. Nikiel należy do pierwiastków znacznie mobilnych i jego dostępność dla roślin zwłaszcza na terenach zanieczyszczonych jest duża [Wiechuła i in. 2012]. Jego niedobór w roślinie prowadzi do nekrozy wierzchołkowej liści i gromadzenia się mocznika w komórkach. Nikiel w większości wypadków gromadzi się w korzeniach roślin.

Według Kabaty-Pendias i Pendias [1999], zawartość niklu w polskich trawach waha się pomiędzy 0,01 a 19 mg·kg⁻¹ s.m. ze średnią 0,84 mg·kg⁻¹ s.m. Wyniki uzyskane w trakcie naszych badań mieszczą się w tym zakresie (z wyjątkiem

wyższej zawartości w dwóch próbkach). Wowkonowicz i in. [2011] podaje inny zakres zawartości niklu w trawach – od 0,8 do 2,28 mg·kg⁻¹ s.m.. Natomiast Gowin i Grygierzec [2005] odnotowali w tymocie łąkowej 0,68 mg Ni·kg⁻¹ s.m., a największą jego ilość w życicy wielokwiatowej (3,65 mg·kg⁻¹ s.m.), wyniki znacznie niższe od uzyskanych w przypadku badanych traw pastewnych.

Współczynnik bioakumulacji niklu (tab. 4) wahał się w przedziale od 0,38 do 11,54 ze średnią równą 1,8. W badaniach wcześniej cytowanych Czech i in. [2014] współczynnik ten w przypadku Ni, w roślinach jedno- i dwuliściennych, wynosił średnio 0,4. Jeszcze niższą wartość (średnia 0,17 dla traw) otrzymujemy opierając się na wynikach badań Wowkonowicza i in. [2011] nad zawartością metali ciężkich w roślinach użytków zielonych z okolic Warszawy.

Miedź

Miedź uczestniczy w procesach prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin, dodatkowo wchodzi w połączenia kompleksowe z różnymi związkami organicznymi, np.: aminokwasami, białkami, składnikami błon komórkowych, które z jednej strony biorą udział w pobieraniu jonów miedzi przez korzenie roślin, ich transporcie w ksylemie i floemie, rozmieszczeniu w poszczególnych organach, jak i procesach metabolicznych [Dziadek i Waclawek 2005]. Roślinność zazwyczaj pobiera jony miedzi w formie kationu metalicznego, kationów kompleksowych, a także w postaci połączeń metaloorganicznych. Najwięcej miedzi zatrzymują na ogół korzenie roślin.

Średnia optymalna zawartość miedzi w roślinach wynosi od 5 do 20 mg·kg⁻¹ s.m., z kolei poniżej 4–5 mg·kg⁻¹ s.m., obserwuje się efekty niedoboru tego pierwiastka. W zależności od gatunku, stadium wegetacji, części morfologicznych roślin, od jej zawartości w siedlisku i warunków klimatycznych, zawartość miedzi w roślinach waha się w dużych zakresach. Według Falkowskiego i in. [2000], przeciętna zawartość miedzi w trawach jest wyraźnie uzależniona od rodzaju gleby.

Zawartość miedzi w trawach Polski [Kabaty-Pendias i Pendias 1999] mieści się w zakresie od 2,2 do 21 mg·kg⁻¹ s.m., co jest zgodne z wynikami uzyskanymi w trakcie badań traw pastewnych. Średnia zawartość Cu według w/w autorów wynosi 6,0 mg·kg⁻¹ s.m. – jest to wynik identyczny, jak uzyskany w trakcie naszych badań. Węższy zakres zawartości miedzi w trawach podają inni

Tabela 4. Współczynniki bioakumulacji metali ciężkich dla badanych traw pastewnych**Table 4.** Bioaccumulation factors of heavy metals of studied forage grasses

| L.p. | Gmina | Miejscowość | Współczynnik bioakumulacji | | | | |
|---------|----------------------|------------------|----------------------------|-------|------|------|------|
| | | | Pb | Ni | Cu | Zn | Cd |
| 1 | Choroszcz | Babino | 0,85 | 1,39 | 1,25 | 0,54 | 1,13 |
| 2 | Radziłów | Glinki | 1,13 | 0,91 | 0,92 | 1,54 | 0,05 |
| 3 | Jedwabne | Brzostowo | 1,74 | 0,90 | 0,75 | 0,70 | 0,33 |
| 4 | Miastkowo | Miastkowo | 1,26 | 1,71 | 1,39 | 0,55 | 0,29 |
| 5 | Goniądz | Białosuknia | 1,87 | 0,84 | 1,11 | 0,67 | 0,90 |
| 6 | Perlejewo | Twarogi Lackie | 2,66 | 2,81 | 1,78 | 0,90 | 0,37 |
| 7 | Rutka Tartak | Potopy | 0,62 | 1,24 | 1,19 | 0,72 | 0,65 |
| 8 | Wiżajny | Kłajpeda | 0,81 | 0,97 | 0,77 | 0,27 | 0,29 |
| 9 | Klukowo | Usza Wielka | 1,57 | 2,24 | 1,69 | 0,98 | 0,66 |
| 10 | Wasilków | Wólka Poduchowna | 0,70 | 1,30 | 0,61 | 0,44 | 0,43 |
| 11 | Boćki | Boćki | 0,98 | 1,47 | 1,49 | 1,54 | 0,38 |
| 12 | Dubicze Cerkiewne | Jagodniki | 0,57 | 1,26 | 0,56 | 0,68 | 0,33 |
| 13 | Juchnowiec Kościelny | Rumejki | 1,67 | 1,73 | 0,85 | 0,93 | 0,11 |
| 14 | Augustów | Żarnowo III | 0,12 | 0,56 | 0,41 | 0,36 | 0,16 |
| 15 | Dobrzyniewo Duże | Dobrzyniewo Duże | 0,73 | 1,45 | 0,28 | 1,02 | 0,19 |
| 16 | Supraśl | Sokołda | 0,30 | 0,58 | 0,25 | 1,20 | 0,14 |
| 17 | Zabłudów | Gnieciuki | 0,48 | 1,19 | 0,24 | 1,30 | 0,26 |
| 18 | Szczuczyn | Bęckowo | 0,31 | 1,57 | 0,28 | 0,31 | 0,09 |
| 19 | Turośl | Łacha | 0,56 | 1,35 | 0,56 | 0,52 | 0,24 |
| 20 | Zbójna | Gawrychy | 0,79 | 2,81 | 0,72 | 0,98 | 0,33 |
| 21 | Trzcianne | Chojnowo | 0,19 | 0,93 | 0,34 | 0,56 | 0,28 |
| 22 | Krasnopol | Remieńkiń | 0,29 | 11,54 | 1,12 | 1,12 | 0,50 |
| 23 | Milejczyce | Pokaniewo | 0,57 | 1,05 | 0,44 | 0,77 | 0,45 |
| 24 | Nowy Dwór | Bieniewce | 0,25 | 0,59 | 0,42 | 0,67 | 0,17 |
| 25 | Sokółka | Kuryły | 0,23 | 0,71 | 0,27 | 0,47 | 0,05 |
| 26 | Filipów | Jemieliste | 0,48 | 3,00 | 0,26 | 0,07 | 0,04 |
| 27 | Kobylin Borzymy | Franki Piaski | 1,45 | 3,22 | 1,40 | 0,93 | 0,21 |
| 28 | Rutki | Ożary | 0,61 | 1,04 | 0,54 | 1,51 | 0,17 |
| 29 | Raczki | Wronowo | 1,33 | 4,64 | 0,77 | 0,36 | 0,61 |
| 30 | Szypliszki | Lipniak | 0,63 | 2,06 | 1,31 | 0,99 | 0,39 |
| 31 | Bargłów Kościelny | Bargłów Dworny | 0,77 | 1,04 | 0,92 | 0,77 | 0,47 |
| 32 | Siemiatycze | Wiercień Duży | 0,50 | 0,78 | 0,85 | 0,47 | 0,35 |
| 33 | Wysokie Mazowieckie | Tybory Żochy | 0,46 | 0,38 | 0,82 | 0,44 | 0,51 |
| Średnia | | | 0,83 | 1,80 | 0,80 | 0,77 | 0,35 |

autorzy. Gibczyńska i in. [2012] podaje przedział 2,90–7,24 mg·kg⁻¹ s.m., Woźniak [2005] od 3,9 do 12,9 mg·kg⁻¹ s.m., a Wowkonowicz i in. [2011] na podstawie badań użytków zielonych prezentuje wyniki, które mieszczą się w przedziale od 3,25 do 8,75 mg·kg⁻¹ s.m..

Współczynnik bioakumulacji miedzi (tab. 4) w badanych trawach pastewnych wahał się w przedziale od 0,24 do 1,78. Wartość średnia była równa 0,8, identyczna, jak w przypadku badań roślin z gminy Borzęcin [Czech i in. 2014] i bardzo zbliżona do wartości tego współczynnika dla Cu (średnia 0,85) obliczonego na podstawie wyników badań Wowkonowicza i in. [2011].

Cynk

Cynk pobierany jest przez rośliny w formie jonów Zn²⁺, jonów uwodnionych oraz chelatów organicznych, zarówno przez korzenie, jak i liście [Kabata-Pendias i Pendias 1999]. Jest składnikiem enzymów, w których odpowiada za tworzenie wiązań chelatowych pomiędzy enzymem, a substratem. Bierze dodatkowo udział w przemianach węglowodanów, białek oraz fosforanów. Niedobór cynku hamuje również tworzenie tryptofanu, uważanego za materiał wyjściowy do syntezy regulatorów wzrostu [Dziadek i Waćławek 2005]. Istnienie cynku w glebach ma ogrom-

ne znaczenie w funkcjonowaniu ekosystemów roślinnych. Z łatwością przedostaje się systemem korzeniowym, gdzie transport jest o wiele szybszy, niż w przypadku pobierania go przez liście. Pierwiastek kumuluje się na powierzchni korzeni tworząc złogi krystaliczne. Taka akumulacja pierwiastka dotyczy często roślin uprawnych, gdzie korzenie pełnią funkcję jadalną.

Średnia zawartość cynku w badaniach traw przeprowadzonych przez Falkowskiego i in. [2000] wynosiła $23,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, co jest wynikiem bardzo zbliżonym do uzyskanego przez nas w przypadku badanych traw pastewnych. Kalem-basa i Malinowska [2009] na podstawie doświadczenia z trawą miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*), nawożoną osadami ściekowymi, podają, że zawartość Zn wahała się w granicach $34,82\text{--}62,86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$. Zawartości stwierdzone w trakcie naszych badań znajdują się w większości poniżej dolnej granicy tego zakresu, natomiast mieszczą się w przedziale zawartości dla traw z terenu Polski wg Kabaty-Pendias i Pendiasa [1999] – $3,7$ do $292 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$. W badaniach wpływu różnych form siarki na zawartość cynku w kupkówce pospolitej (*Dactylis glomerata L.*) odnotowano zawartość $122 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ [Kozłowska-Strawska 2009], co jest wynikiem wielokrotnie wyższym, niż uzyskane w trakcie naszych badań.

Najniższy współczynnik bioakumulacji cynku w trawach pastewnych (Tab. 4) wynosił $0,07$, zaś najwyższy – $1,54$. Wartość współczynnika obliczona na podstawie badań Wowkonowicza i in. [2011] oraz podana przez Czecha i in. [2014] mieści się w tym przedziale, odpowiednio $1,53$ i $1,34$. Natomiast Wiechuła i in. [2013] w badaniach gatunków roślin leczniczych największą wartość współczynnika bioakumulacji dla cynku stwierdzili dla kwiatów rumianku pospolitego ($4,85$), a najmniejszą dla tarczycy bajkalskiej – $1,04$.

Kadm

Mechanizm przedostawania się kadmu z gleby do rośliny opiera się przede wszystkim na pobieraniu przez system korzeniowy i liście i jest proporcjonalny do jego stężenia w środowisku. Roślinność łąkowa pobiera ponad 50% kadmu z powietrza atmosferycznego [Filipek-Mazur i inni 2007]. Zdolność do akumulacji kadmu w roślinach zależy nie tylko od jego ilości w glebie, ale również od gatunku, odmiany, części rośliny, czy stadium rozwoju. W warzywach liściastych

z obszarów nieskażonych kadmem występuje w ilości około $0,07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, natomiast z obszarów skażonych kadmem może się kumulować w większych ilościach – do $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (np. w trawach) [Satarug i inni 2003].

Według Kabaty-Pendias i in. [1993] zawartość kadmu w trawach waha się pomiędzy $0,01$ a $3,32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$. Wszystkie uzyskane przez nas wyniki zawartości kadmu w trawach pastewnych mieszczą się w tym zakresie, natomiast są niższe, niż zawartości odnotowane przez Wowkonowicza i in. [2011] – $1,93$ do $3,90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$. Zbliżone wyniki do części naszych podają Kucharczak i Moryl [2010] w przypadku traw pochodzących z dwóch rejonów, gminy Bogatynia oraz centralnej i północnej część powiatu zgorzeleckiego. Średnie zawartości omawianego pierwiastka wynosiły odpowiednio $0,101$ i $0,118 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$.

Współczynnik bioakumulacji kadmu (tab. 4) w badanych trawach zawierał się w przedziale od $0,04$ do $1,13$, przy średniej równej $0,35$. Natomiast w badaniach Symanowicz i in. [2012] oraz Czecha i in. [2014] średnia wartość tego współczynnika dla Cd była znacznie wyższa i wynosiła odpowiednio $0,96$ i $2,0$. Również współczynnik obliczony na podstawie badań Wowkonowicza i in. [2011] jest wysoki i wynosi $1,91$. Według Klokego i in. [1984] wartości graniczne współczynnika bioakumulacji dla Cd wynoszą od 1 do 10 .

WNIOSKI

1. Zawartość Pb, Ni, Cu, Zn i Cd w badanych trawach pastewnych nie przekraczała krytycznych zawartości metali w odniesieniu do roślin paszowych, z wyjątkiem siedmiu próbek traw w przypadku ołowiu.
2. W trawach z obszaru województwa podlaskiego stwierdzono duże zróżnicowanie zawartości niklu.
3. Badane trawy przejawiały największą skłonność do bioakumulacji niklu, a najmniejszą do akumulacji kadmu.

BIBLIOGRAFIA

1. Baranowska-Morek A. 2003. Roślinne mechanizmy tolerancji na toksyczne działanie metali ciężkich. Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika, Tom 52, 283–298.

2. Czech T., Baran A., Wieczorek J. 2014. Zawartość metali ciężkich w glebach i roślinach z terenu gminy Borzęcin. *Inżynieria Ekologiczna*, 37, 89–98.
3. Dziadek K., Waclawek W. 2005. Metale ciężkie w środowisku. Cz. I. Metale ciężkie (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) w środowisku glebowym. *Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia*, 10 (1–2), 33–44.
4. Falkowski M., Kukułka I., Kozłowski S. 2000. Własności chemiczne roślin łąkowych. Wydaw. Nauk. AR. Poznań, 76–84.
5. Filipek- Mazur B., Gondek K., Mazur K. 2007. Oddziaływanie zanieczyszczeń komunikacyjnych wzdłuż drogi krajowej nr 4 (Bochnia-Sędziszów Małopolski) na zawartość pierwiastków śladowych w glebie i runi łąkowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 520, 31–37.
6. Gibczyńska M., Stankowski S., Mazur J., Lewandowska L. 2012. Zawartość cynku i miedzi w trawie *Festololium braunii* na podłożach wykonanych z popiołów węgla wzbogaconych materia organiczną i aktywnymi mikroorganizmami. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis Agricultura, Alimentaria, Piscaria, Zootechnica*, 295 (22), 5–12.
7. Gorlach E. i Gambuś F. 2000. Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 472, 275–296.
8. Gowin K., Grygierzec B. 2005. Zawartość niektórych metali (Cr, Ni, Cd, Pb) w wybranych gatunkach i odmianach traw. *Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia. Tom III*, 311–314.
9. Gregor, M. 2004. Metal availability, uptake, transport and accumulation in plants. In: Prasad, M.N.V. (Ed.), *Heavy metal stress in plants- from biomolecules to ecosystems*. Springer-verlag, Berlin, pp. 1–27.
10. Gruca-Królikowska S., Waclawek W. 2006. Metale w środowisku. Cz. II Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia*, 11(1–2), 41–56.
11. Kabata-Pendias A., Motowicka- Terelak T., Piotrowska M. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Puławy, IUNG Seria P. 53*, 5–14.
12. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
13. Kalembsa D., Malinowska E. 2009. Influence of sewage sludge fertilization on heavy metal content in biomass of silver grass during field experiment. *Environment Protection Engineering*, 35(2), 149–155.
14. Karczewska A. 2012. *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Podręcznik. Wydanie II*, Wrocław, 116–121.
15. Kicińska A. 2009. Badania zawartości Pb w glebach i trawach *Agrostis capillaris* i *Brachypodium silvaticum*. *Geologia*, 35, 253–262.
16. Kidd P.S., Domínguez-Rodríguez M.J., Díez J., Monterroso C. 2007. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*, 66 (8), 1458–1467.
17. Kloke A., Sauberbeck D.R., Vetter H. 1984. Changing metal cycles and human health. Springer – Verlag, Berlin, (red. J.O.Nriagu), 113–141.
18. Kowol J., Wiechula D., Kwapuliński J., Mierosławski J., Otrębska B., Rabsztyń E., Jakubowska J., Karpińska K., Jeziorska R. 2005. Zastosowanie współczynników chemoekotoksykologicznych w ocenie stopnia kontaminacji roślin leczniczych metalami. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna Supplement*, 283–286.
19. Kozłowska-Strawska J. 2009. Zmiany zawartości cynku w roślinach nawożonych różnymi formami siarki. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 254–261.
20. Królak E. 2000. Heavy metals in the falling dust in the Eastern Mazowieckie Province *Polish Journal of Environment Studies*, 9, 517–522.
21. Królak E. 2003. Accumulation of Zn, Cu, Pb and Cd by Dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) in environments with various degrees of metallic contamination. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12(6), 713–721.
22. Kucharczak E., Moryl A. 2010. Zawartość metali w roślinach uprawnych pochodzących z rejonu Zgorzelecko-Bogatyńskiego. Część I. Ołów, kadm, glin. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 42, 52–61.
23. Niesiobędzka K. 1998. Metale ciężkie w aspekcie właściwości gleb w północno-wschodniej Polsce. *Chemia i inżynieria środowiska*, 5(3), 223–234.
24. Niesiobędzka K., Wojtkowska M., Krajewska E. 2005. Migracja cynku, ołowiu i kadmu w układzie gleba – roślinność w środowisku miejskim. *Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa*.
25. Sady W., Rożek S., Domagała-Świątkiewicz I. 2000. Biokumulacja kadmu w marchwi w zależności od wybranych właściwości gleb. *Zeszyty Naukowe AR Kraków*, 364, 171–173.
26. Satarug S., Baker J. R., Urbenjapol S., Haswell-Elkins M., Reilly P. E. B., Williams D. J., Moore M.R. 2003. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in nonoccupationally exposed population. *Toxicology Letters*, 137, 65–83.
27. Solanki R., Dhankhar R. 2011. Biochemical changes and adaptive strategies of plants under heavy metal stress. *Biologia*, 66, 195–204.

28. Symanowicz B., Kalembsa S., Skorupka W. 2012. Wpływ nawożenia fosforem i potasem na pobieranie metali ciężkich przez rutwicę wschodnią (*Galega orientalis* Lam.) Ochrona środowiska i zasobów naturalnych, 54, 131–140.
29. Waclawek W., Moćko A. 2001. Relationships between soil properties and speciation forms of heavy metals. *Chemia i inżynieria środowiska*, 8(2–3), 253–268.
30. Wiechuła D., Doczekalska M., Pis A. 2013. Ocena fitokumulacji ołowiu i cynku w roślinach leczniczych z terenów pozyskiwania surowców zielarskich w województwie dolnośląskim. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna XLVI* (1), 96–104.
31. Wiechuła D., Loska K., Jonderko W. 2012. Ocena zanieczyszczenia niklem pokrzywy zwyczajnej (*Urtica Dioica* L.) z terenu województwa śląskiego, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna XLV* (1), 20–25.
32. Witte C.P., Tiller S.A., Taylor M.A., Davies H.V. 2002. Addition of nickel to Murashige and Skoog medium in plant tissue culture activates urease and may reduce metabolic stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 68(1), 103–104.
33. Wowkonowicz P., Malowaniec B., Niesiobędzka K. 2011. Metale ciężkie w roślinach i glebach na trwałych użytkach zielonych w okolicach Warszawy. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 49, 309–319.