

PIERWIĄSTKI ŚLADOWE W GLEBACH  
WYBRANYCH REZERWATÓW  
PARKU KRAJOBRAZOWEGO „PODLASKI PRZEŁOM BUGU”

JOLANTA RACZUK

Akademia Podlaska, Instytut Biologii, Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska  
08-10 Siedlce, ul. B. Prusa 12

Keywords: forest soils, trace elements, reserve.

TRACE ELEMENTS IN SOILS OF SELECTED RESERVE OF THE LANDSCAPE PARK  
„THE PODLASIE RAVINE OF THE BUG RIVER”

The aim of this work was to determine the content of Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd in forest soils of the Landscape Park „The Podlasie Ravine of the Bug River”. The study of trace elements content in soils was done on the area of the „Łęg Dębowy” and „Stary Las” forest reserves. The trace elements were determined by the AAS method after the samples had been mineralized in a microwave mineralizer in concentrated nitric acid and in 30% hydrogen peroxide. The soils of the studied areas are not polluted with heavy metals. Geometric series of the occurrence was established as follows:

Mn (229) > Zn (23.1) > Pb (15.0) > Cr (11.6) > Cu (7.4) > Ni (6.4) > Cd (0.11) mg.kg<sup>-1</sup> d.w.

It was observed that trace elements (particularly Pb and Cd) were accumulated in organic and organo-mineral horizons. Statistical analysis showed a significant correlation between trace elements and clay particles and colloidal fraction amounts, and between the content of Mn, Zn, Cu, Pb, Cd and the organic carbon.

Streszczenie

Celem pracy było poznanie zawartości Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd w glebach leśnych Parku Krajobrazowego „Podlaski Przełom Bugu”. Badania pierwiastków śladowych w glebach były prowadzone na obszarze rezerwatu „Łęg Dębowy” oraz „Stary Las”. Zawartość pierwiastków śladowych oznaczono metodą ASA w roztworze uzyskanym po mineralizacji prób glebowych w mineralizatorze mikrofalowym w stężonym kwasie azotowym oraz 30% nadtlenu wodoru. Badane gleby nie są zanieczyszczone metalami ciężkimi. Średnia geometryczna zawartość pierwiastków w badanych glebach tworzyła następujący szereg:

Mn (229) > Zn (23,1) > Pb (15,0) > Cr (11,6) > Cu (7,4) > Ni (6,4) > Cd (0,11) mg.kg<sup>-1</sup> s.m.

Stwierdzono, że pierwiastki śladowe kumulowały się głównie w poziomach organicznych i mineralno-organicznych. Analiza statystyczna wykazała wysoce istotne korelacje pomiędzy badanymi metalami a zawartością części sypialnych i ilu koloidalnego oraz pomiędzy zawartością Mn, Zn, Cu, Pb, Cd a węglem organicznym.

## WPROWADZENIE

Wśród wielu obszarów Polski Wschodniej objętych różną formą ochrony znajduje się Park Krajobrazowy „Podlaski Przełom Bugu”. Został on utworzony w celu zachowania w stanie naturalnym najcenniejszych pod względem przyrodniczym, krajobrazowym i kulturowym fragmentów lewobrzeżnej doliny Bugu. Bug zaś jest jedną z niewielu rzek w Europie, których doliny mają charakter naturalny z licznymi zakolami i starorzeczami, co przede wszystkim odnosi się do jej środkowego fragmentu częściowo objętego granicami parku. Do zachowania dużej naturalności krajobrazu przyczynił się fakt, że rzeka na tym odcinku od wielu lat stanowi granicę państwa.

Park Krajobrazowy „Podlaski Przełom Bugu” jest to teren o unikalnych walorach przyrodniczych, o znacznie zróżnicowanych warunkach siedliskowych: od przybrzeżnych wydm piaszczystych poprzez murawy kserotermiczne, kośne łąki, różnych obszarów leśnych aż do olsów, łągów, zbiorowisk bagiennych [14]. W siedliskach tych ważną rolę odgrywają skład i właściwości chemiczne gleby, spośród których obecnie szczególne zainteresowanie wzbudza zawartość pierwiastków śladowych. Na terenie parku dotychczas prowadzono nieliczne badania dotyczące zanieczyszczenia środowiska pierwiastkami śladowymi [16]. Określenie zawartości i profilowego rozmieszczenia pierwiastków śladowych w glebach jest odzwierciedleniem aktualnego stanu środowiska przyrodniczego, dlatego też w tym aspekcie podjęto badania gleb wybranych rezerwatów Parku Krajobrazowego „Podlaski Przełom Bugu”. Ponadto badano zależności występujące pomiędzy ilością pierwiastków śladowych a zawartością w profilach glebowych części spławialnych oraz węglą organicznego.

## OBIEKT BADAŃ

Do badań wytypowano gleby występujące na obszarze dwóch rezerwatów: „Łęg Dębowy” i „Stary Las” wchodzących w skład Parku Krajobrazowego „Podlaski Przełom Bugu”.

Typ rzeźby terenu, na którym znajduje się rezerwat „Łęg Dębowy” określany jest jako łąkowe dno dolinowe. Podstawowym czynnikiem kształtującym stosunki wodne na tym obszarze, jest poziom wody w Bugu. Cały obszar rezerwatu leży w szerokiej dolinie Bugu w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki, na obszarze terasy holocenijskiej, corocznie zalewanej w okresie spływu wód wiosennych. Drzewostany rezerwatu rosną na siedliskach żyznych oraz bardzo żyznych i mają charakter drzewostanów naturalnych. Głównym typem siedliskowym rezerwatu jest las łąkowy (72,9%), pozostałą powierzchnię (27,1%) zajmuje ols typowy, przy czym niewielkie powierzchnie wyniesień związane przestrzennie z lasem łąkowym, zaliczono do odrębnego typu siedliskowego – lasu wilgotnego. Najczęściej występującym typem gleb na obszarze rezerwatu „Łęg Dębowy” są mady rzeczne, gleby gruntowo-glejowe oraz gleby mułowe, a ich skałą macierzystą są utwory aluwialne o różnym składzie granulometrycznym.

Rezerwat „Stary Las” leży poza zasięgiem wód zalewowych Bugu. Obszar rezerwatu pokrywają utwory zlodowacenia środkowopolskiego stadiału Warty. Największą powierzchnię zajmują wzgórza czołowo-morenowe zbudowane z osadów zwałowych oraz fluwiogłajalnych. Głównym typem siedliskowym rezerwatu jest grąd typowy oraz zbiorowiska zastępcze łągu. W rezerwacie „Stary Las” występują głównie gleby płowe, rdzawe oraz gleby deluwialne a ich skałą macierzystą są utwory fluwiogłajalne, zwałowe i deluwialne.

## METODYKA BADAŃ

Do badań wytypowano cztery najbardziej reprezentatywne profile glebowe w rezerwacie „Łęg Dębowy” oraz trzy profile w rezerwacie „Stary Las”. W analizowanych próbach glebowych oznaczono [17]:

- skład granulometryczny gleb metodą areometryczną Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego,
- węgiel organiczny – metodą Tiurina,
- odczyn w 1 mol  $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  metodą elektrometryczną przy stosunku gleby do roztworu jak 1 : 2,5.

Pierwiastki śladowe oznaczono metodą ASA po mineralizacji próbki glebowej w mineralizatorze mikrofalowym stosując stężony kwas azotowy i 30% nadtlenek wodoru [1]. Uzyskane wyniki opracowano korzystając z komputerowego programu Statistica.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

## Właściwości fizyczno-chemiczne gleb

Na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych oraz zgodnie z Systematyką Gleb Polski [19] gleby występujące na obszarze rezerwatu „Łęg Dębowy” zaliczono do następujących podtypów: mady rzeczne brunatne (profil 1), mady rzeczne próchniczne (profil 2), gleby mułowo-glejowe (profil 3) oraz gleby torfowo-mułowe (profil 4). Natomiast pokrywą glebową rezerwatu „Stary Las” stanowiły gleby: płowe zaciekowe (profil 5), gleby brunatno rdzawe (profil 6) oraz gleby deluwialne próchniczne (profil 7).

Analizowane gleby mineralne wykazywały skład granulometryczny pyłów oraz piasków o zróżnicowanej zawartości części spławalnych. W podłożu mad oraz gleb organicznych występował żwir piaszczysty i piasek luźny.

W glebach wytworzonych z aluwiiw rzecznych, a występujących w rezerwacie „Łęg Dębowy” zawartość części spławalnych ( $\varphi < 0,02$  mm) kształtowała się od 2 do 38% w tym frakcji iłu koloidalnego ( $\varphi < 0,002$  mm) od 0 do 13% (Tab. 1). Zawartość frakcji pyłu (0,1–0,02 mm) wahała się od 2 do 68%, a frakcji piasku (1–0,1 mm) od 6 do 96%. Gleby występujące na obszarze rezerwatu „Stary Las” zostały wytworzone z pyłów fluwioglacjalnych oraz piasków zwałowych. Zawartość części spławalnych kształtowała się w nich od 1 do 47%, w tym frakcji iłu koloidalnego od 1 do 12%. Ilość frakcji pyłu (0,1–0,02 mm) wahała się od 2 do 73% a frakcji piasku od 7 do 97%.

Analizowane gleby charakteryzowały się zróżnicowanymi właściwościami fizyczno-chemicznymi. Odczyn ich mierzony w 1 mol  $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  kształtował się od bardzo silnie kwaśnego (pH 3,1) do obojętnego (pH 7,0). Najniższy odczyn (pH 3,1–4,4) wykazywały gleby rezerwatu „Stary Las”, natomiast w glebach rezerwatu „Łęg Dębowy” odczyn zwiększał się w głąb profilów glebowych od pH 3,4 do pH 7,0. Związane było to z aktywnym oddziaływaniem wód Bugu, które nioszą żyzne namuły neutralizujące kwasy organiczne powstałe w trakcie rozkładu materii organicznej.

Zawartość węgla organicznego w analizowanych profilach wahała się od 0,05 do 33,72% (Tab. 1). Rozmieszczenie C organicznego w profilu mady rzecznej próchnicznej oraz gleby torfowo-mułowej było nierównomierne, co jest typowe dla gleb warstwianych wytworzonych z utworów aluwialnych [4, 5]. W pozostałych profilach glebowych zawartość C organicznego na ogół zmniejszała się wraz z głębokością. Największe ilości węgla organicznego od 28,74 do 35,85% stwierdzono w poziomach organicznych O<sub>1</sub>, dość znaczną ilość C organicznego w zakresie 3,12–7,52%, stwierdzono również w poziomach próchnicznych A badanych gleb.



Tabela 1. Właściwości fizyczno-chemiczne badanych gleb  
Physicochemical properties of investigated soils

| Lokalizacja<br>Nr profilu<br>Locality<br>Profile No              | Poziom<br>genetyczny<br>Genetic<br>horizons | Głębokość<br>Depth<br>cm | % frakcji o średnicy w mm<br>% of particles of diameter in mm |          |        |         | pH w<br>1 mol KCl<br>pH in<br>1 mol KCl | C org. %<br>Organic C<br>% |
|--|---|--------------------------|---|----------|--------|---------|---|----------------------------|
|  |   |                          | 1-0,1   | 0,1-0,02 | < 0,02 | < 0,002 |   |                            |
| Rezerwat „Łęg Dębowy”  |   |                          | Reserve „Łęg Dębowy”  |          |        |         |   |                            |
| 1<br>Mada rzeczna<br>brunatna<br>River alluvial<br>brown soil    | O1  | 0-2                      | 0   | 0        | 0      | 0       | 4,4                                     | 33,72                      |
|  | A1  | 2-9                      | 44  | 39       | 17     | 8       | 4,5                                     | 5,26                       |
|  | A2  | 9-16                     | 44  | 37       | 19     | 8       | 4,8                                     | 3,21                       |
|  | B1br  | 16-41                    | 49  | 38       | 13     | 4       | 5,8                                     | 0,94                       |
|  | B2br  | 41-84                    | 94  | 35       | 20     | 6       | 6,7                                     | 0,44                       |
|  | CG  | 84-180                   | 53  | 37       | 10     | 4       | 6,9                                     | 0,11                       |
|  | DG  | 180-200                  | 94  | 4        | 2      | 0       | 6,7                                     | 0,10                       |
| 2<br>Mada rzeczna<br>próchniczna<br>River alluvial<br>humus soil | O1  | 0-1                      | 0   | 0        | 0      | 0       | 5,2                                     | 28,74                      |
|  | A   | 1-20                     | 17  | 59       | 24     | 11      | 4,9                                     | 5,72                       |
|  | AG  | 20-46                    | 9   | 53       | 38     | 13      | 6,0                                     | 1,74                       |
|  | G1  | 46-81                    | 14  | 66       | 20     | 8       | 7,0                                     | 0,63                       |
|  | G2  | 81-112                   | 30  | 55       | 15     | 8       | 6,9                                     | 1,34                       |
|  | DG  | 112-160                  | 93  | 4        | 3      | 0       | 7,0                                     | 0,10                       |
| 3<br>Gleba mułowo-<br>glejowa<br>Mud-gley soil                   | Am  | 0-5                      | 18  | 50       | 32     | 10      | 5,2                                     | 7,51                       |
|  | Aegg  | 5-20                     | 13  | 62       | 25     | 9       | 4,9                                     | 4,72                       |
|  | Agg   | 20-42                    | 10  | 64       | 26     | 10      | 5,6                                     | 1,03                       |
|  | G   | 42-89                    | 6   | 68       | 26     | 10      | 6,5                                     | 0,22                       |
| 4<br>Gleba torfowo-<br>mułowa<br>Peaty-gley soil                 | POtm  | 0-10                     | 0   | 0        | 0      | 0       | 6,4                                     | 17,24                      |
|  | Otm1  | 10-31                    | 0   | 0        | 0      | 0       | 5,8                                     | 21,27                      |
|  | Otm2  | 31-54                    | 0   | 0        | 0      | 0       | 5,7                                     | 24,12                      |
|  | Otm3  | 54-78                    | 0   | 0        | 0      | 0       | 5,5                                     | 28,11                      |
|  | DG  | 78-100                   | 96  | 2        | 2      | 0       | 6,8                                     | 0,44                       |
| Rezerwat „Stary Las”   |   |                          | Reserve „Stary Las”   |          |        |         |   |                            |
| 5<br>Gleba płowa<br>zaciekowa<br>Soil glossic<br>lessives        | O1  | 0-3                      | 0   | 0        | 0      | 0       | 3,2                                     | 35,85                      |
|  | A   | 3-7                      | 41  | 43       | 16     | 3       | 3,1                                     | 4,62                       |
|  | AEet  | 7-22                     | 42  | 42       | 16     | 3       | 3,5                                     | 1,15                       |
|  | Eet   | 22-43                    | 42  | 44       | 14     | 2       | 3,9                                     | 0,32                       |
|  | E/Bt  | 43-64                    | 48  | 41       | 11     | 1       | 4,0                                     | 0,10                       |
|  | IIBt  | 64-98                    | 71  | 47       | 12     | 10      | 4,2                                     | 0,07                       |
|  | IIIC1                                       | 104-126                  | 13  | 69       | 18     | 12      | 3,7                                     | 0,09                       |
|  | IIIC2                                       | 126-150                  | 7   | 73       | 20     | 8       | 3,8                                     | 0,04                       |
|  | IIIC3                                       | 150-200                  | 28  | 66       | 6      | 3       | 3,9                                     | 0,07                       |
| 6<br>Gleba brunatno-<br>rdzawa<br>Rusty brownish<br>soil         | O1  | 0-2                      | 0   | 0        | 0      | 0       | 4,8                                     | 32,44                      |
|  | A   | 2-8                      | 69  | 20       | 11     | 5       | 4,7                                     | 3,12                       |
|  | ABbr  | 8-28                     | 70  | 19       | 11     | 3       | 4,1                                     | 1,47                       |
|  | BbrBv                                       | 28-54                    | 74  | 15       | 11     | 3       | 4,3                                     | 0,29                       |
|  | C1  | 54-89                    | 87  | 4        | 9      | 5       | 4,2                                     | 0,10                       |
|  | IIIC2                                       | 89-150                   | 95  | 3        | 2      | 1       | 4,4                                     | 0,06                       |
|  | IIIC3                                       | 150-200                  | 97  | 2        | 1      | 1       | 4,5                                     | 0,05                       |
| 7<br>Gleba deluwialna<br>próchniczna<br>Deluvial humus<br>soil   | O1  | 0-1                      | 0   | 0        | 0      | 0       | 5,4                                     | 30,24                      |
|  | A1  | 1-12                     | 10  | 43       | 47     | 12      | 5,2                                     | 8,32                       |
|  | A2del                                       | 12-33                    | 15  | 43       | 42     | 11      | 4,9                                     | 5,41                       |
|  | ACdel                                       | 33-60                    | 26  | 48       | 26     | 8       | 4,7                                     | 3,11                       |
|  | Cdel  | 60-115                   | 38  | 46       | 16     | 5       | 4,6                                     | 0,60                       |
|  | Cdel  | 115-150                  | 35  | 47       | 18     | 7       | 4,7                                     | 0,35                       |

## Pierwiastki śladowe w glebach

Zawartość manganu w analizowanych glebach wahała się w granicach 45–692 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, przy średniej geometrycznej wynoszącej 229 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. (Tab. 2 i 3). W glebach rezerwatu „Łęg Dębowy” zawartość Mn kształtowała się od 105 do 692 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, średnio 275 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, a w glebach rezerwatu „Stary Las” zawartość Mn wahała się od 45 do 555 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., średnio 184 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. We wszystkich typach gleb najwięcej badanego metalu w ilości 443–692 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby akumulowały poziomy organiczne Ol. Ilość Mn w profilach glebowych zmniejszała się na ogół wraz z głębokością, przyjmując najmniejsze wartości rzędu 61–140 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby w skałach macierzystych. Skały podścielające analizowanych gleb, najczęściej oględzone zawierały większe ilości Mn niż skały macierzyste. Szczególnie dobrze było to widoczne w glebach aluwialnych i wynikało z procesów oksydacyjno-redukcyjnych, co stwierdziły również Czarnowska i Bontruk [4] badając gleby aluwialne Żuław. Kabata-Pendias i Pendias [13] podają, że średnia zawartość Mn w różnych rodzajach i typach gleb świata kształtowała się w przedziale 100–1300 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, natomiast w glebach aluwialnych Polski zawartość Mn wahała się od 150 do 1965 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., średnio 1085 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby.

Zawartość Mn w badanych glebach wykazywała wysoce istotną korelację z zawartością węgla organicznego oraz z zawartością części spławalnych w tym także z zawartością łu koloidalnego (Tab. 4). Zależność pomiędzy występowaniem manganu a składem granulometrycznym gleb wykazała również Czarnowska i in. [5] badając gleby aluwialne doliny Wisły oraz Gworek i Czarnowska [9] badając gleby aluwialne okolic Warszawy. Podobne zależności stwierdzono również w glebach występujących poza dolinami rzecznyymi [7, 10, 18].

Analiza statystyczna wykazała wysoce istotne korelacje pomiędzy Mn a pozostałymi metalami, przy czym siła korelacji malała w następującym porządku (Tab. 4): Pb > Zn > Cr > Cu > Cd > Ni.

Ilość cynku w analizowanych profilach glebowych wahała się od 8,9 do 69,1 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, przy średniej geometrycznej wynoszącej 23,0 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby (Tab. 2 i 3). Zawartość Zn w glebach rezerwatu „Łęg Dębowy” kształtowała się od 11,1 do 52,4 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleb, średnio 25,5 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby. Natomiast w glebach rezerwatu „Stary Las” zawartość cynku wahała się od 8,9 do 38 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, średnio 20,8 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby. Zawartość cynku w analizowanych glebach wytworzonych z utworów aluwialnych była zbliżona do ilości cynku w glebach występujących poza dolinami rzecznyymi, ale znacznie mniejsza od zawartości cynku w innych glebach aluwialnych Polski. W glebach aluwialnych Żuław stwierdzono średnio 66,5 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [3], a w glebach aluwialnych doliny Wisły stwierdzono cynk w ilości 56,9 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [4]. Średnia zawartość Zn w glebach świata mieściła się w zakresie 30–125 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, natomiast średnia zawartość Zn dla nie zanieczyszczonych gleb Polski wynosiła 40 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [13].

Zawartość cynku w analizowanych profilach glebowych była istotnie skorelowana z zawartością frakcji łu koloidalnego oraz z zawartością węgla organicznego, przy czym współczynniki korelacji nie były wysokie (Tab. 4). Analiza statystyczna wykazała wysoce istotną korelację pomiędzy cynkiem a badanymi metalami. Siła korelacji malała w następującym porządku: Pb > Mn > Cd > Cr > Ni > Cu.

Tabela 2. Zawartość pierwiastków śladowych w poziomach genetycznych badanych gleb  
Trace elements contents in genetic horizons of investigated soils

| Lokalizacja<br>Nr profilu<br>Locality<br>Profile No | Poziom<br>genetyczny<br>Genetic<br>horizon | Głębokość<br>Depth<br>cm | Mn   | Zn   | Cu   | Pb   | Ni   | Cr   | Cd   |
|---|--|--------------------------|--|------|------|------|------|------|------|
|   |  |                          | mg · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby- mg · kg <sup>-1</sup> d.w. of soil |      |      |      |      |      |      |
| Rezerwat „Łęg Dębowy”                               |  |                          | Reserve „Łęg Dębowy”   |      |      |      |      |      |      |
| 1   | Ol   | 0–2                      | 587  | 34,5 | 10,2 | 18,9 | 9,9  | 17,1 | 0,27 |
|   | A1   | 2–9                      | 349  | 32,4 | 7,9  | 14,8 | 8,7  | 16,0 | 0,15 |
|   | A2   | 9–16                     | 286  | 20,1 | 7,2  | 14,2 | 6,6  | 15,1 | 0,12 |
|   | B1br                                       | 16–41                    | 215  | 18,2 | 7,7  | 13,3 | 5,4  | 14,8 | 0,10 |
|   | B2br                                       | 41–84                    | 159  | 17,4 | 4,9  | 12,5 | 5,0  | 11,8 | 0,07 |
|   | CG   | 84–180                   | 61   | 153  | 3,4  | 11,1 | 4,7  | 10,4 | 0,05 |
|   | DG   | 180–200                  | 102  | 13,2 | 3,0  | 10,5 | 4,2  | 4,3  | 0,06 |
| 2   | Ol   | 0–1                      | 692  | 45,9 | 11,0 | 22,5 | 10,8 | 18,5 | 0,29 |
|   | A  | 1–20                     | 319  | 27,6 | 8,9  | 19,8 | 8,9  | 15,6 | 0,16 |
|   | AG   | 20–46                    | 370  | 30,2 | 9,7  | 16,7 | 11,9 | 20,2 | 0,18 |
|   | G1   | 46–81                    | 105  | 18,5 | 6,1  | 13,6 | 12,1 | 19,1 | 0,05 |
|   | G2   | 81–112                   | 140  | 20,5 | 7,4  | 14,9 | 15,8 | 18,2 | 0,11 |
|   | DG   | 112–160                  | 57   | 14,1 | 3,9  | 11,9 | 5,0  | 9,2  | 0,04 |
| 3   | Am   | 0–5                      | 532  | 49,1 | 11,9 | 24,2 | 12,5 | 25,3 | 0,63 |
|   | Aegg                                       | 5–20                     | 328  | 44,8 | 9,6  | 21,6 | 10,8 | 24,6 | 0,54 |
|   | Agg  | 20–42                    | 273  | 32,5 | 7,8  | 17,3 | 8,4  | 18,3 | 0,32 |
|   | G  | 42–89                    | 109  | 24,2 | 5,2  | 12,8 | 6,9  | 15,3 | 0,10 |
| 4   | POtm                                       | 0–10                     | 443  | 52,4 | 14,2 | 26,7 | 14,8 | 15,7 | 0,70 |
|   | Otm1                                       | 10–31                    | 392  | 34,2 | 10,0 | 23,2 | 12,4 | 13,5 | 0,67 |
|   | Otm2                                       | 31–54                    | 192  | 36,2 | 16,9 | 24,3 | 7,2  | 9,3  | 0,59 |
|   | Otm3                                       | 54–78                    | 170  | 15,1 | 7,7  | 18,1 | 4,1  | 8,9  | 0,42 |
|   | DG   | 78–100                   | 129  | 17,1 | 3,2  | 7,1  | 6,5  | 12,7 | 0,03 |
| Rezerwat „Stary Las”                                |  |                          | Reserve „Stary Las”  |      |      |      |      |      |      |
| 5   | Ol   | 0–3                      | 529  | 32,7 | 10,5 | 22,4 | 5,2  | 10,1 | 0,13 |
|   | A  | 3–7                      | 306  | 22,5 | 6,5  | 20,0 | 3,4  | 8,9  | 0,10 |
|   | A Eet                                      | 7–22                     | 263  | 15,2 | 8,1  | 18,0 | 3,2  | 7,4  | 0,06 |
|   | Eet  | 22–43                    | 66   | 10,4 | 5,2  | 5,5  | 2,2  | 5,5  | 0,04 |
|   | E/B  | 43–64                    | 152  | 16,2 | 6,7  | 16,5 | 3,7  | 6,6  | 0,05 |
|   | IIBt                                       | 64–98                    | 109  | 20,2 | 12,2 | 11,6 | 5,9  | 9,9  | 0,06 |
|   | IIIC1                                      | 104–26                   | 215  | 32,1 | 14,7 | 13,7 | 8,4  | 16,1 | 0,05 |
|   | IIIC2                                      | 126–150                  | 221  | 28,1 | 14,4 | 12,6 | 6,8  | 12,4 | 0,06 |
|   | IIIC3                                      | 150–200                  | 154  | 34,6 | 11,8 | 13,9 | 4,7  | 10,6 | 0,05 |
| 6   | Ol   | 0–2                      | 425  | 30,2 | 8,8  | 19,3 | 6,6  | 11,0 | 0,10 |
|   | A  | 2–7,5                    | 287  | 25,9 | 5,7  | 18,1 | 4,4  | 8,8  | 0,07 |
|   | ABbr                                       | 7,5–28                   | 263  | 22,5 | 4,8  | 20,6 | 6,1  | 10,9 | 0,03 |
|   | BbrBv                                      | 28–54                    | 307  | 27,4 | 6,8  | 17,9 | 3,5  | 7,9  | 0,04 |
|   | C1   | 54–89                    | 104  | 17,9 | 5,4  | 10,5 | 4,6  | 7,8  | 0,03 |
|   | C2   | 89–150                   | 54   | 14,4 | 3,7  | 8,6  | 2,1  | 6,8  | 0,02 |
| C3  | 150–200                                    | 45                       | 8,9  | 2,6  | 5,7  | 2,5  | 4,5  | 0,02 |      |
| 7   | Ol   | 0–1                      | 555  | 38,9 | 10,9 | 21,5 | 7,9  | 13,9 | 0,15 |
|   | A1   | 1–12                     | 352  | 23,4 | 8,2  | 17,4 | 6,1  | 12,1 | 0,09 |
|   | A2del                                      | 12–33                    | 289  | 21,3 | 7,9  | 15,2 | 5,9  | 11,5 | 0,07 |
|   | ACdel                                      | 33–60                    | 144  | 18,5 | 7,3  | 12,1 | 2,6  | 3,8  | 0,06 |
|   | Cdel                                       | 60–115                   | 100  | 15,2 | 5,2  | 8,7  | 4,5  | 6,3  | 0,04 |
|   | Cdel                                       | 115–150                  | 96   | 14,5 | 4,9  | 8,1  | 4,2  | 5,8  | 0,06 |



Tabela 3. Statystyczna ocena zawartości pierwiastków śladowych w badanych glebach (mg·kg<sup>-1</sup> s.m.)  
Statistic assessment of content trace elements of investigated soils (mg·kg<sup>-1</sup> d.w.)

| Lokalizacja<br>Locality                             | Pierwiastek<br>Element | Wahania<br>Range | Średnia<br>geometryczna<br>Geometric<br>mean | Średnia<br>arytmetyczna<br>Arithmetic<br>mean | Odchylenie<br>Standardowe<br>Standard<br>deviation |
|---|------------------------|------------------|--|---|--|
| Rezerwat<br>„Łęg Dębowy”<br>Reserve<br>„Łęg Dębowy” | Mn                     | 105–692          | 275  | 312   | 157  |
|   | Zn                     | 11,1–52,4        | 25,5   | 28,8  | 12,2   |
|   | Cu                     | 3,0–16,9         | 7,6  | 8,1   | 3,6  |
|   | Pb                     | 7,1–25,3         | 16,6   | 16,8  | 6,1  |
|   | Ni                     | 4,1–5,8          | 8,1  | 8,8   | 3,5  |
|   | Cr                     | 4,3–25,3         | 14,2   | 15,2  | 5,1  |
|   | Cd                     | 0,03–0,70        | 0,17   | 0,36  | 0,31   |
| Rezerwat<br>„Stary Las”<br>Reserve<br>„Stary Las”   | Mn                     | 45–555           | 184  | 229   | 146  |
|   | Zn                     | 8,9–38,9         | 20,8   | 22,3  | 8,1  |
|   | Cu                     | 2,6–14,7         | 7,2  | 7,8   | 3,3  |
|   | Pb                     | 5,5–22,4         | 13,4   | 14,5  | 5,1  |
|   | Ni                     | 2,1–8,4          | 4,6  | 4,8   | 1,8  |
|   | Cr                     | 4,5–16,1         | 8,9  | 9,3   | 3,0  |
|   | Cd                     | 0,02–0,13        | 0,05   | 0,06  | 0,03   |
| Średnia<br>Mean                                     | Mn                     | 45–692           | 229  | 271   | 156  |
|   | Zn                     | 8,9–52,4         | 23,1   | 25,6  | 12,2   |
|   | Cu                     | 2,6–16,9         | 7,4  | 7,9   | 3,5  |
|   | Pb                     | 5,5–29,7         | 15,0   | 15,7  | 5,8  |
|   | Ni                     | 2,1–5,8          | 6,4  | 6,8   | 3,4  |
|   | Cr                     | 4,3–25,3         | 11,6   | 12,2  | 5,1  |
|   | Cd                     | 0,02–0,70        | 0,11   | 0,21  | 0,25   |

Tabela 4. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy zawartością pierwiastków śladowych a ilością części  
spalwianych ( $\varphi < 0,02$  mm), frakcji iłu koloidalnego ( $\varphi < 0,002$  mm) oraz węgla organicznego  
w profilach glebowych

Correlation coefficient (r) between trace elements content as well as clay fractions ( $\varphi < 0,02$  mm),  
colloidal clay fractions ( $\varphi < 0,002$  mm) and organic carbon amount in profiles of soil

| Pierwiastki<br>śladowe<br>Trace<br>elements | < 0,02 mm | < 0,002 mm | Corg.    | Zn       | Cu       | Pb       | Ni       | Cr       | Cd       |
|---|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Mn  | 0,6251**  | 0,5447**   | 0,7148** | 0,7729** | 0,5303** | 0,7873** | 0,4977** | 0,5350** | 0,5150** |
| Zn  | 0,4492**  | 0,5843**   | 0,5025** | 1,000    | 0,6392** | 0,7504** | 0,6547** | 0,6722** | 0,7055** |
| Cu  | 0,4338**  | 0,6267**   | 0,4532** |          | 1,000    | 0,6223** | 0,4837** | 0,4228** | 0,5601** |
| Pb  | 0,4765**  | 0,4060*    | 0,6336** |          |          | 1,000    | 0,5276*  | 0,4868** | 0,7104** |
| Ni  | 0,4265**  | 0,6809**   | 0,2691   |          |          |          | 1,000    | 0,8388** | 0,6179** |
| Cr  | 0,4946**  | 0,7307**   | 0,1620   |          |          |          |          | 1,000    | 0,5153** |
| Cd  | 0,4379**  | 0,3914*    | 0,5066** |          |          |          |          |          | 1,000    |

- p = 0,05\* , - p = 0,01\*\*

Średnia zawartość miedzi w badanych glebach wynosiła  $7,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, zmieniając się od  $2,6$  do  $16,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby (Tab. 2, 3). Średnia zawartość Cu w glebach rezerwatu „Łęg Dębowy” wynosiła  $7,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby przy wahaniach  $3,2$ – $16,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, a średnia zawartość Cu w glebach rezerwatu „Stary Las” wynosiła  $7,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby przy wahaniach  $2,6$ – $14,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby. Zawartości te nie stanowiły zagrożenia dla środowiska glebowego i rozwoju roślin. W nie zanieczyszczonych glebach świata zawartość Cu wahała się od  $1$  do  $140 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, natomiast w glebach Polski od  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. w glebach bielcowych do  $53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby w czarnoziemach oraz do  $110 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby w glebach organicznych. W glebach aluwialnych naszego kraju stwierdzono Cu w zakresie  $16$ – $28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. (średnio  $22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby) [13].

W rozpatrywanych glebach zawartość Cu zmniejszała się na ogół w głąb profilu glebowych, przyjmując największe wartości w poziomach organicznych OI. Jedynie w profilu gleby płowej zaciekowej miedź przyjmowała najmniejsze wartości w poziomie eluwialnym Eet, natomiast w poziomie iluwialnym IIBt oraz w poziomach IIIC1, IIIC2, IIIC3 ilość miedzi zwiększała się wyraźnie w stosunku do poziomów powierzchniowych. To zjawisko dotyczyło wszystkich badanych pierwiastków, a związane było z procesem płowienia gleb jak również z nieciągłością litogeniczną występującą w badanym profilu glebowym.

Zawartość Cu w badanych glebach była istotnie skorelowana z zawartością części spławialnych oraz ilu koloidalnego, a także z zawartością C organicznego (Tab. 4). O rozmieszczeniu miedzi w profilach glebowych decydowały wyżej wymienione czynniki. Wykazano również wysoce istotną korelację pomiędzy miedzią a pozostałymi pierwiastkami. Siła korelacji malała w następującym porządku:  $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cr}$ .

Zawartość ołowiu w badanych glebach była wysoce istotnie skorelowana z zawartością C organicznego, a także z zawartością części spławialnych oraz ilu koloidalnego. Podobne zależności stwierdzono w glebach wytworzonych ze skał różnego pochodzenia geologicznego [7, 15, 18]. Poziomy wierzchnie analizowanych gleb zawierały więcej Pb w porównaniu z poziomami głębiej zalegającymi, ale nie została przekroczona wartość graniczna  $35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby wyznaczona dla poziomów mineralno-organicznych oraz organicznych [11]. Ilość Pb w analizowanych glebach kształtowała się od  $5,5$  do  $25,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, średnio  $15,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. W glebach wytworzonych z utworów aluwialnych oraz organicznych zawartość Pb wahała się od  $7,1$  do  $25,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., średnio  $16,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., a w glebach wytworzonych z utworów fluwioglacjalnych rezerwatu „Stary Las” zawartość ołowiu wahała się od  $5,5$  do  $22,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., średnio  $13,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby. Otrzymane ilości Pb były niższe od przeciętnych zawartości Pb w glebach Żuław ( $24,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby) [4], a zbliżone do wartości otrzymanych w glebach doliny Wisły [5] oraz w glebach występujących poza dolinami rzecznyymi [3, 7, 15]. Natomiast zawartość Pb w nie zanieczyszczonych glebach świata mieściła się w przedziale  $25$ – $40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby [13].

Analiza statystyczna wykazała wysoce istotną korelację pomiędzy Pb a badanymi metalami, przy czym zależność ta według wyliczonych współczynników korelacji układa się w następującym szeregu malejącym (Tab. 4):  $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr}$ .

Zawartość niklu i chromu układała się podobnie w analizowanych glebach. Widoczne było pewne wzbogacenie poziomów wierzchnich w metale, a także podwyższone ich ilości w poziomach głębszych mady próchnicznej oraz gleby płowej zaciekowej. Analizowane gleby zawierały Ni od  $2,1$  do  $15,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, średnio  $6,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby. W glebach wytworzonych z utworów aluwialnych Bugu nikiel występował w granicach  $4,1$ – $15,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., średnio  $8,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, a chrom występował w zakresie  $4,3$ – $25,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby,



średnio 14,2 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby. Gleby rezerwatu „Stary Las” wytworzone z utworów fluwioglacjalnych, zwałowych i deluwialnych zawierały Ni od 2,1 do 8,4 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., średnio 4,6 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, a chrom w ilości od 4,5 do 16,1 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, średnio 8,9 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby. Zawartość obydwu pierwiastków w analizowanych glebach była niższa od najczęściej spotykanych w glebach aluwialnych, jak i w glebach występujących poza dolinami rzecznyymi [3, 7, 10, 18]. Zawartość Ni w glebach lekkich świata wahała się w przedziale 8–33 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., a w glebach ciężkich 10–92 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. Zawartość Cr w glebach świata kształtowała się w przedziale 7–150 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., a w glebach Polski średnia zawartość Cr w glebach lekkich wynosiła 7 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., w glebach średnich wzrastała do 15 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., a w ciężkich do 24 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [13].

Rozmieszczenie Ni oraz Cr było w rozpatrywanych profilach glebowych wysoce istotnie skorelowane z zawartością części spławialnych, a w szczególności z frakcją iltu koloidalnego (Tab. 4). Podobne zależności wykazali także w różnych typach i gatunkach gleb Kabata-Pendias i Motowicka-Terelak [12]. Nie wykazano istotnej korelacji pomiędzy ilością Cr i Ni a zawartością węgla organicznego. Udowodniona statystycznie zależność pomiędzy Ni i Cr a pozostałymi pierwiastkami układała się w następującym szeregu malejącym dla Ni: Cr > Zn > Cd > Pb > Cu, zaś dla Cr: Ni > Zn > Mn > Cd > Pb > Cu.

Zawartość kadmu w analizowanych próbach glebowych wahała się w szerokich granicach przyjmując wartości od 0,02 do 0,70 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, średnio 0,11 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby. W glebach rezerwatu „Łęg Dębowy” zawartość Cd wahała się od 0,03 do 0,70 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, średnio 0,17 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, czyli była niższa od średniej zawartości kadmu w glebach świata (0,4 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby) [2]. W glebach rezerwatu „Stary Las” zawartość Cd zmieniała się od 0,02 do 0,13 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, średnio 0,05 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.

Rozmieszczenie kadmu w profilach analizowanych gleb związane było wysoce istotnie z zawartością C organicznego, a istotnie z zawartością części spławialnych w tym także z zawartością iltu koloidalnego. Zależność pomiędzy kadmem a pozostałymi metalami układała się w następującym szeregu malejącym: Pb > Zn > Ni > Cu > Cr > Mn. Średnia zawartość kadmu w analizowanych glebach była niższa od zawartości Cd w madach doliny Wisły, gdzie wynosiła średnio 0,82 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby oraz w glebach Żuław, gdzie wynosiła 1,82 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [6]. Charakterystyczna była większa zawartość Cd w wierzchnich poziomach genetycznych gleb, gdzie oscylowała pomiędzy 0,09–0,70 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, niż w poziomach głębiej zalegających. Zawartość Cd w poziomach mineralno-organicznych oraz organicznych nie przekroczyła wartości granicznej wynoszącej 0,77 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [11]. Dla porównania w glebach aluwialnych Belgii [8] nie użytkowanych rolniczo i położonych w pewnej odległości od szlaków komunikacyjnych zawartość Cd w wierzchnich poziomach wynosiła od 0,20 do 2,0 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby. Średnia zawartość Cd w glebach kuli ziemskiej mieściła się w przedziale 0,20–1,05 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby [13].

Biorąc pod uwagę średnią zawartość metali ciężkich w analizowanych glebach, otrzymano następujące szeregi malejące:

- gleby rezerwatu „Łęg Dębowy”: Mn > Zn > Pb > Cr > Ni > Cu > Cd,
- gleby rezerwatu „Stary Las”: Mn > Zn > Pb > Cr > Cu > Ni > Cd.

Najwięcej metali ciężkich niezależnie od typu gleby stwierdzono w poziomach ściółki leśnej Ol, co potwierdzają również wyniki innych autorów [3, 7, 10, 15]. Decyduje o tym naturalna zawartość metali w organach wegetatywnych drzew i roślinności tworzącej podszyt i runo leśne, która jest wynikiem biogeochemicznego cyklu pierwiastków w ekosystemach leśnych. Wyższa zawartość pierwiastków śladowych w poziomach organicznych w

porównaniu z poziomami mineralnymi była wynikiem ich biologicznej akumulacji, silnej sorpcji przez próchnicę nadkładową oraz ich wolniejszym uwalnianiem, a być może także nieznacznym wpływem czynników antropogenicznych, szczególnie w przypadku Pb i Cd.

Analizując zawartość pierwiastków śladowych w glebach dwóch rezerwatów Parku Krajobrazowego „Podlaski Przełom Bugu” w porównaniu z zawartością pierwiastków śladowych w glebach Puszczy Białej [15], Kampinoskiego Parku Narodowego [3, 7] należy stwierdzić, że badane gleby leśne zawierają na ogół niższe ich ilości. Największe różnice wystąpiły w zawartości Cd na korzyść badanych gleb. Poziom pierwiastków śladowych w analizowanych glebach jest najbardziej zbliżony do poziomu tych pierwiastków w glebach Białowieskiego Parku Narodowego [10].

## WNIOSKI

1. Gleby rezerwatu „Łęg Dębowy” oraz „Stary Las” nie są zanieczyszczone pierwiastkami śladowymi. Średnia zawartość Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd wynosi odpowiednio: 229, 23,1, 7,4, 15,0, 6,4, 11,6, 0,11 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby.
2. Gleby rezerwatu „Łęg Dębowy” wytworzone z utworów aluwialnych rzeki Bug zawierają większe ilości pierwiastków śladowych niż gleby rezerwatu „Stary Las” wytworzone z utworów fluwioglacjalnych, zwałowych i deluwialnych.
3. Poziomy organiczne badanych gleb charakteryzują się większym nagromadzeniem pierwiastków śladowych niż poziomy mineralne, co związane jest głównie z ich biologiczną akumulacją, silną sorpcją oraz w przypadku Cd i Pb nieznacznym wpływem czynników antropogenicznych.
4. Udowodniono statystycznie, że skład granulometryczny w wysoce istotny sposób wpłynął na rozmieszczenie w profilach glebowych pierwiastków śladowych, natomiast zawartość węgla organicznego wpłynęła w wysoce istotny sposób na zawartość: Mn, Zn, Cu, Pb i Cd.

## LITERATURA

- [1] ASTM D5258: *Standard Practice for Acid-Extraction of Elements from Sediments using Closed Vessel Microwave Heating*, American Society for Testing and Materials, 1992.
- [2] Berrow M.L., G.A. Reavers: *Background levels of trace elements in soil*, Int. Conf. Environmental Contaminations, CEP Consultants Ltd., London – Edinburgh 1986, 339–340.
- [3] Czarnowska K., B. Gworek T. Kozanecka: *Zawartość metali ciężkich w glebach i mchu Kampinoskiego Parku Narodowego*, [w:] Wpływ działalności człowieka na środowisko glebowe w Kampinoskim Parku Narodowym, Wyd. SGGW-AR, Warszawa 1983, 123–137.
- [4] Czarnowska K., H. Bontruk: *Zawartość metali ciężkich w glebach aluwialnych Żuław*, Roczn. Glebozn., **46** (1/2), 65–77 (1995).
- [5] Czarnowska K., D. Broda, J. Chojnicki, E. Turecka: *Metale ciężkie w glebach aluwialnych doliny Wisły*, Roczn. Glebozn., **47** (3/4), 5–18 (1995).
- [6] Czarnowska K., E. Turemka: *Kadm w glebach aluwialnych doliny Wisły i Żuław*, Roczn. Glebozn., **47** (1/2), 31–38 (1997).
- [7] Czępińska-Kamińska D., E. Janowska: *Metale ciężkie w wybranych krajobrazach geochemicznych Kampinoskiego Parku Narodowego jako wskaźnik antropogenizacji środowiska*, Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., **471**, 895–902 (2000).
- [8] De Ternnerman L.O., M. Hoening, P.O. Scokart: *Determination of 'normal' levels and upper limit values of trace elements in soils*, Z. Pflanzenernahr. Bodenkd., **147** (6), 687–694 (1984).
- [9] Gworek B., K. Czarnowska: *Metale ciężkie w glebach wytworzonych z utworów aluwialnych i eolicznych okolic Warszawy*, Roczn. Glebozn., **47** (supl.), 65–73 (1996).

- [10] Gworck B., M. Degórski, Z. Brogowski: *Trace metals in auto and semihydrogenic soils found in three forest site types of Białowieża National Park*, Polish Jour. of Environ. Stud., **8** (5), 305–308 (1999).
- [11] Kabata-Pendias A., T. Motowicka-Terelak, M. Piotrowska H. Terelak, T. Witek: *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką*, Ramowe wytyczne dla rolnictwa, IUNG, Puławy 1993, 1–20.
- [12] Kabata-Pendias A., T. Motowicka-Terelak: *Metale ciężkie i siarka w roślinie wskaźnikowej jako podstawa przestrzennej gospodarki gruntami kraju*, Rap. Proj. KBN, 1996.
- [13] Kabata-Pendias A., H. Pendias: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999.
- [14] Krzemiński M.: *Parki krajobrazowe Mazowsza*, Wydział Ochrony Środowiska Mazowieckiego Urzędu Wojewódzkiego w Warszawie, 2001.
- [15] Kwasowski W., J. Chojnicki, M. Okołowicz, T. Kozanecka: *Metale ciężkie w glebach powierzchni wzorcowych (GPN) w Puszczy Białej*, Roczn. Glebozn., **51** (3/4), 85–90 (2000).
- [16] Królak E., G. Gołub: *Ocena zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi na terenie Parku Krajobrazowego „Podlaski Przełom Bugu”*, Arch. Ochr. Środ., **27** (1), 115–131 (2001).
- [17] Ostrowska A., S. Gawliński, Z. Szczubiałka: *Metody analizy chemicznej i oceny właściwości gleb i roślin*, Inst. Ochr. Środ., Warszawa 1991.
- [18] Raczuk J., J. Deska: *Trace elements in soils of various ecosystems of the Siedlce Upland*, Chemia i Inż. Ekolog., **7** (11), 1229–1235 (2000).
- [19] *Systematyka Gleb Polski*, Roczn. Glebozn., **40** (3/4), 1989.

Wpłynęło: 5 grudnia 2002, zaakceptowano do druku: 2 września 2003.