

## PROFILOWE ZRÓŻNICOWANIE ZAWARTOŚCI Cu, Ni, Cd NA TLE WYBRANYCH PARAMETRÓW FIZYKOCHEMICZNYCH GLEB LEŚNYCH

*I. Pisarek*

Katedra Ochrony Powierzchni Ziemi, Uniwersytet Opolski, ul. Oleska 22, 45-052 Opole  
e-mail: [izabella.pisarek@uni.opole.pl](mailto:izabella.pisarek@uni.opole.pl)

**Streszczenie:** Celem pracy była charakterystyka profilowego zróżnicowania wybranych metali ciężkich na tle niektórych parametrów fizykochemicznych gleb leśnych. Obiektami badań były gleby leśne Opolszczyzny reprezentujące następujące jednostki systematyczne: gleby brunatne kwaśne, płowe i bielice. Uzyskane wyniki badań wskazują na wyraźną kumulację Cu, Ni oraz Cd w poziomach organicznych badanych gleb, co wiąże się z biologicznym obiegiem tych pierwiastków w profilu. Jednocześnie znaczne nagromadzenie Cd w tych poziomach może być powodowane poprzez antropogeniczne zanieczyszczenie tym pierwiastkiem.

**Słowa kluczowe :** metale ciężkie, gleby leśne.

### WSTĘP

Skutkiem ubocznym rozwoju cywilizacji jest nadmierna akumulacja w środowisku glebowym substancji toksycznych, w tym metali ciężkich. Ich zawartość w glebie ukształtowana została w określonych warunkach ekologicznych przy współdziałaniu czynnika antropogenicznego. Charakter skał macierzystych oraz przebieg procesów glebotwórczych i geologicznych to naturalne czynniki kształtujące ich tło biogeochemiczne [4]. Zawartość metali ciężkich w glebach waha się w szerokich granicach [1-7], a poziom ich nagromadzenia jest dobrym wskaźnikiem określenia stopnia zanieczyszczenia środowiska. Jednocześnie metale ciężkie dostające się do gleby mogą ulegać przeróżnym transformacjom, poczynając od odkładania się w formie nierozpuszczalnych związków o stosun-

kowo nikłym oddziaływaniu na rośliny i mikroorganizmy - do występowania w bardzo aktywnej zjonizowanej formie. Mogą także tworzyć połączenia chelatowe z substancjami humusowymi, które stanowią ochronę przed toksycznym oddziaływaniem jonu metalu [4,5]. Rozmieszczenie i stężenie pierwiastków śladowych w glebach uzależnione jest przede wszystkim od ich składu granulometrycznego, w tym od udziału frakcji ilastej, a także od zawartości i jakości próchnicy oraz czynników warunkujących kwasowość gleby [4-7]. Odzwierciedleniem jakości środowiska glebowego na określonym terenie jest stan zbiorowisk leśnych.

Celem pracy była charakterystyka profilowego zróżnicowania wybranych metali ciężkich, na tle niektórych parametrów fizykochemicznych gleb Borów Niemodlińskich.

#### MATERIAŁ I METODY

Obiektami badań były gleby leśne Borów Niemodlińskich reprezentujące następujące jednostki systematyczne: gleba brunatna kwaśna (profile 1, 2, 4, 5), gleba płowa (profil 3) i bielica (profile 6, 7). W najbardziej reprezentatywnych miejscach zasięgów glebowych wykonano pełne odkrywki glebowe (profile 1-7), oraz określono budowę profilową i przynależność systematyczną badanych gleb.

W zebranych materiale glebowym, stosując ogólnie przyjęte w gleboznawstwie metody, oznaczono: skład granulometryczny, odczyn gleb, zawartość substancji organicznej (metodą spalania w piecu muflowym w temperaturze 550°C, z uwzględnieniem zawartości wody higroskopowej), całkowitą zawartość pierwiastków śladowych met. AAS (po uprzednim spaleniu substancji organicznej w piecu muflowym w temperaturze 450°C i trawieniu gleby stężonymi kwasami: fluorowodorowym (HF) i chlorowym (VII) (HClO<sub>4</sub>)).

Wszystkie analizy wykonano w trzech powtórzeniach, a podane w pracy wyniki stanowią ich średnią arytmetyczną. Celem obiektywnej interpretacji uzyskanych wyników i określenia zależności pomiędzy nimi obliczono współczynniki korelacji.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Badane gleby leśne nie wykazywały istotnego zróżnicowania ich składu granulometrycznego. Większość badanych profilów (profile 2, 4, 6, 7) wytworzona była z piasków o budowie całkowitej [6]. W profilach: 1,3,5 odnotowano niewielkie zróżnicowanie frakcji ilastej w poziomach niżej zalegających (Tab.1a,b). Jednocześnie analiza składu mechanicznego pozwoliła na zaliczenie

wszystkich charakteryzowanych gleb do lekkich (profile 1,3,4,5) i bardzo lekkich (profile 2,6,7). Charakter skał macierzystych oraz oddziaływanie czynników glebotwórczych wpływały w dużym stopniu na kształtowanie się właściwości fizykochemicznych badanych gleb. Wyrażało się to przede wszystkim w ich kwaśnym odczynie ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  2,7 – 4,4), który najniższe wartości osiągał w organicznych poziomach badanych gleb.

**Tabela 1a.** Wybrane właściwości fizykochemiczne badanych gleb

**Table 1a.** Some physicochemical properties of investigated soils

Poziom	$\text{pH}_{\text{KCl}}$	Materia organiczna [%]	% zawartość frakcji [mm]	
			<0,02	0,002
Profil 1 – Profile 1				
Ol	3,4	85,7	n.o. – n.d.	
Of	2,8	37,7	n.o. – n.d.	
Oh	2,8	30,2	n.o. – n.d.	
Ah	2,7	11,9	13	2
Bbr1	2,9	4,0	14	4
Bbr2	3,8	2,4	15	6
Bbrfe1	4,0	1,0	19	5
Bbrfe2	4,0	0,8	14	5
C	3,8	n.o.	24	13
Profil 2 – Profile 2				
Ol	3,1	76,3	n.o. – n.d.	
Of	3,5	77,3	n.o. – n.d.	
Oh	2,6	27,6	n.o. – n.d.	
Ah	2,8	2,9	9	3
Bbr1	3,0	2,0	13	4
Bbr2	4,0	0,9	9	4
C1	4,2	n.o.	5	3
C2	3,9	n.o.	8	5
Profil 3 – Profile 3				
Ol	3,3	84,8	n.o. – n.d.	
Of	3,3	52,0	n.o. – n.d.	
Ah	2,8	8,5	13	3
Ah/Bbr	3,2	3,3	15	3
Bbr1	3,7	1,7	17	3
Bbr2	3,8	1,1	18	3
Eetfe	4,0	0,2	7	3
Btfe	3,4	0,5	26	16
C	3,7	n.o.	12	7

Tabela 1b. Wybrane właściwości fizykochemiczne badanych gleb

Table 1b. Some physicochemical properties of investigated soils

Poziom	pH <sub>KCl</sub>	Materia organiczna [%]	% zawartość frakcji [mm]	
			<0,02	0,002
Profil 4 – Profile 4				
Ol	3,0	84,5	n.o. – n.d.	
Of	3,1	60,7	n.o. – n.d.	
Ah	2,4	5,0	17	3
Ah/Bbr1	2,9	2,9	17	5
Ah/Bbr2	3,4	2,0	12	3
Bfe/C	3,7	0,4	17	4
C1	3,9	n.o.	5	2
C2	3,5	n.o.	13	11
Profil 5 – Profile 5				
Ol	3,4	85,0	n.o. – n.d.	
Of	3,5	73,7	n.o. – n.d.	
Oh	2,7	59,5	n.o. – n.d.	
Ah	2,8	6,7	22	3
Bbr1	3,5	3,3	24	2
Bbr2	3,8	1,7	30	7
Bbr3	3,6	0,7	25	5
C1	3,7	n.o.	5	2
C2	4,0	n.o.	9	7
Profil 6 – Profile 6				
Ol	3,3	88,2	n.o. – n.d.	
Of	3,1	77,0	n.o. – n.d.	
Oh	3,4	65,6	n.o. – n.d.	
Ees1	3,1	0,9	2	1
Ees2	3,8	0,7	3	1
Bh1	3,4	5,9	3	2
Bh2	4,1	1,9	2	1
C1	4,4	n.o.	3	2
C2	4,3	n.o.	5	3
Profil 7 – Profile 7				
Ol	3,5	84,8	n.o. – n.d.	
Of	3,4	81,5	n.o. – n.d.	
Oh	3,0	53,3	n.o. – n.d.	
Ees	3,1	0,7	4	2
Bhfe	3,7	3,0	3	2
C1	4,1	0,2	3	3
C2	4,3	n.o.	2	2
C3	4,1	n.o.	2	2

Objasnienia: n.o. – nie oznaczono

Analiza morfologiczna pozwoliła na wyróżnienie w badanych glebach trzech podpoziomów organicznych, które charakteryzowały się odmienną kumulacją materii organicznej i różnym stopniem jej rozkładu [6]:

- podpoziomy Ol od 76,3 do 88,2%;
- podpoziomy Of od 37,7 do 81,5%;
- podpoziomy Oh od 27,6 do 65,6%.

Wraz z głębokością profilu zawartość materii organicznej w niżej zalegających poziomach (Ah, Ah/Bbr, Ees) obniża się i kształtuje na poziomie od 0,2 do 5,9%. Jedynie w poziomach Bh (profile 6,7) zalegających pod poziomem Ees obserwujemy wyższą kumulację materii organicznej, związaną z iluwalną akumulacją substancji humusowych.

### **Zawartość miedzi**

Wszystkie badane gleby, niezależnie od przynależności systematycznej charakteryzują się niską zawartością miedzi. Najwyższą koncentrację tego składnika odnotowano w poziomach ściółek. Średnia zawartość miedzi w poziomach organicznych kształtuje się od 12,8 mg/kg (w profilu 3) do 21,9 mg/kg (w profilu 5) i nie wskazuje na antropogeniczne zanieczyszczenie tym składnikiem [4-6]. Jednocześnie poziomy próchniczne analizowanych gleb charakteryzują się niższą zawartością Cu (Tab. 2a, b) w porównaniu z warstwą ściółki.

Obliczone współczynniki  $w$  wskazują jedynie niewielkie wzbogacenie tym pierwiastkiem. Najniższą koncentrację Cu w badanych glebach leśnych wykazują poziomy mineralne, charakteryzujące się jednocześnie niską zawartością części koloidalnych. W poziomach mineralnych odnotowano wzrost miedzi tylko w poziomach iluwalnych, w których stwierdzono jednocześnie większą zawartość frakcji  $< 0,02$  mm. Wyższa zawartość miedzi w poziomach organicznych w porównaniu z poziomami mineralnymi jest wynikiem ich biologicznej akumulacji, silniejszej sorpcji oraz wolniejszego uwalniania [3,4,7]. Zależność tę potwierdza istotny współczynnik korelacji ( $r = 0,766$ ).

### **Zawartość niklu**

Zawartość niklu w glebie uzależniona jest przede wszystkim od rodzaju skały macierzystej, procesów glebotwórczych oraz czynników biologicznych i antropogenicznych. W badanych glebach leśnych, zawartość Ni w całych profilach, kształtuje się na niskim poziomie z wyraźną tendencją do wzrostu wraz z jego głębokością (Tab.2 a,b). Proces ten może być związany z ruchliwością badanego

**Tabela 2a.** Profilowe zróżnicowanie metali ciężkich i wartość współczynnika wzbogacenia *w*  
**Table 2a.** Profiles distribution of heavy metals in the soil and value of enrichment coefficient *w*

Poziom	Zawartość metali ciężkich w mg/kg, wartość współczynnika wzbogacenia <i>w</i>					
	Cu	<i>w</i>	Ni	<i>w</i>	Cd	<i>w</i>
Profil 1 – Profile 1						
O1	13,2	1,19	5,2	0,50	1,12	1,40
Of	17,3	1,47	7,2	0,69	0,50	0,62
Oh	17,0	1,44	9,0	0,86	0,18	0,23
Ah	2,9	0,25	4,8	0,46	0,20	0,25
Bbr1	4,5	0,38	4,2	0,40	0,07	0,08
Bbr2	7,2	0,61	8,6	0,83	0,40	0,50
Bbrfe1	4,2	0,36	7,2	0,69	0,55	0,69
Bbrfe2	5,2	0,44	7,4	0,71	0,40	0,50
C	11,8	-	10,4	-	0,80	-
Profil 2 – Profile 2						
O1	20,3	2,70	8,1	1,09	1,22	3,05
Of	21,3	2,84	6,6	0,89	1,20	3,00
Oh	21,7	2,89	11,3	1,53	0,06	0,15
Ah	4,3	0,57	5,6	0,76	0,20	0,50
Bbr1	6,0	0,80	5,5	0,74	0,20	0,50
Bbr2	4,5	0,60	6,8	0,92	0,50	1,25
C1	5,2	0,69	5,2	0,70	0,90	2,25
C2	7,5	-	7,4	-	0,40	-
Profil3 – Profile 3						
O1	11,6	4,00	5,8	1,38	1,30	26,00
Of	14,0	4,83	7,5	1,78	1,32	26,40
Ah	3,5	1,21	6,7	1,60	0,14	2,80
Ah/Bbr	5,2	1,79	5,4	1,28	0,11	2,20
Bbr1	4,9	1,69	6,6	1,57	0,04	0,80
Bbr2	5,0	1,72	7,0	1,67	0,07	1,40
Eetfe	4,2	1,45	6,5	1,55	0,04	0,80
Btfe	4,5	1,55	11,8	2,81	0,05	1,00
C	2,9	-	4,2	-	0,05	-
Profil 4 – Profile 4						
O1	15,3	3,40	11,3	1,20	1,35	3,37
Of	15,5	3,44	10,5	1,11	1,05	2,62
Ah	7,2	1,60	6,6	0,70	0,97	2,42
Ah/Bbr1	5,9	1,31	5,4	0,57	0,03	0,07
Ah/Bbr2	6,7	1,49	7,4	0,78	0,87	2,17
Bfe/C	4,0	0,88	7,2	0,76	0,76	1,90
C1	2,8	0,62	7,4	0,78	0,09	0,22
C2	4,5	-	9,4	-	0,40	-

**Tabela 2b.** Profilowe zróżnicowanie metali ciężkich i wartość współczynnika wzbogacenia w  
**Table 2b.** Profiles distribution of heavy metals in the soil and value of enrichment coefficient w

Poziom	Zawartość metali ciężkich w mg/kg, wartość współczynnika wzbogacenia w					
	Cu	w	Ni	w	Cd	w
<b>Profil 5 – Profile 5</b>						
Ol	17,5	3,72	9,0	1,08	1,90	23,75
Of	22,5	4,78	9,2	1,10	1,70	21,25
Oh	25,8	5,49	16,9	2,03	2,00	25,00
Ah	3,6	0,76	4,8	0,57	0,59	7,37
Bbr1	5,0	1,06	5,2	0,62	0,10	1,25
Bbr2	5,2	1,10	8,6	1,03	0,10	1,25
Bbr3	5,4	1,14	7,5	0,90	0,03	0,37
C1	5,0	1,06	6,6	0,79	0,09	1,12
C2	4,7	-	8,3	-	0,08	-
<b>Profil 6 – Profile 6</b>						
Ol	11,0	1,55	46,8	7,09	0,43	21,50
Of	16,3	2,29	11,5	1,74	0,90	45,00
Oh	30,0	4,22	11,6	1,75	1,00	50,00
Ees1	5,5	0,77	4,2	0,64	0,04	2,00
Ees2	4,6	0,65	2,9	0,44	0,06	3,00
Bh1	6,6	0,93	4,5	0,68	0,01	0,50
Bh2	6,2	0,87	6,4	0,97	0,05	2,50
C1	5,6	0,79	4,9	0,74	0,06	3,00
C2	7,1	-	6,6	-	0,02	-
<b>Profil 7 – Profile 7</b>						
Ol	12,2	1,87	14,9	0,80	0,48	4,36
Of	10,2	1,57	45,0	2,42	1,00	9,09
Oh	17,0	2,61	7,5	0,40	1,38	12,54
Ees	7,8	1,20	4,1	0,22	0,02	0,18
Bhfe	0,5	0,07	5,0	0,27	0,80	7,27
C1	5,2	0,80	8,9	0,48	0,09	0,81
C2	5,0	0,77	11,7	0,63	0,10	0,91
C3	6,5	-	18,6	-	0,11	-

pierwiastka, a także z zasobnością skały macierzystej w Ni [4]. Jednocześnie wzbogacenie poziomów detrytusowych i epihumusowych profilów 3,4,5,6,7 w Ni, może świadczyć o podatności tego pierwiastka do tworzenia połączeń z materią organiczną, co potwierdza istotny współczynnik korelacji ( $r = 0,457$ ). Natomiast w profilu 6 najwyższa zawartość omawianego składnika przypada na poziom O1, a ponad 7-krotne wzbogacenie tej warstwy w Ni może świadczyć o oddziaływaniu czynnika antropogenicznego.

### Zawartość kadmu

Naturalna zawartość Cd w glebach zależy przede wszystkim od zasobności skały macierzystej w ten pierwiastek [1]. W wielu pracach [1-7] stwierdza się znaczne jego nagromadzenie w glebach w stosunku do tła geochemicznego, co jest związane głównie z antropogenizacją środowiska. Całkowita zawartość kadmu w badanych glebach leśnych kształtuje się na zróżnicowanym poziomie, z wyraźną tendencją do wysokiego wzbogacenia poziomów organicznych i próchnicznych. Bardzo wysoka wartość współczynnika  $w$  w poziomach próchnicy nadkładowej profilów 3,5,6 wskazuje na antropogeniczne pochodzenie kadmu [4] i jednocześnie jego podatność do tworzenia połączeń z materią organiczną (współczynnik korelacji  $r = 0,737$ ). Pozostałe profile charakteryzuje także wzbogacenie w kadm poziomów organicznych, które w profilach 1,2,4,7 może być powodowane min. biologicznym obiegiem składników. Niżej zalegające mineralne poziomy genetyczne i skały macierzyste profilów 1,2,3,4 wykazują podwyższoną zawartość omawianego pierwiastka. Efekt ten, poza zasobnością skały macierzystej, może być powodowany migracją Cd w profilu w warunkach kwaśnego odczynu.

### WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Najwyższą koncentrację miedzi wykazują poziomy ściółek badanych gleb leśnych. Zwiększona kumulacja tego składnika w poziomie organicznym wiązana jest z biologicznym obiegiem składników w profilu.
2. W badanych profilach gleb zawartość Ni kształtuje się na niskim poziomie, z wyraźną tendencją do wzrostu wraz z jego głębokością, co może być spowodowane ruchliwością badanego pierwiastka. Ponad 7-krotne wzbogacenie w Ni poziomu surowinowego profilu 6 może świadczyć o oddziaływaniu czynnika antropogenicznego na otaczającym go terenie.

3. Zawartość kadmu w badanych glebach leśnych kształtuje się na zróżnicowanym poziomie, z wyraźną tendencją do wzbogacenia poziomów organicznych i próchnicznych, co może być efektem presji czynnika antropogenicznego.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Czarnowska K., Bontruk H.:** Zawartość metali ciężkich w glebach aluwialnych Żuław. Roczn. Glebozn. 46, 1/2, 65-77, 1995.
2. **Drozd J., Licznar M., Weber J.:** Zawartość metali ciężkich w podpoziomach próchnicy nadkładowej w glebach degradowanego ekosystemu leśnego w Karkonoszach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 418, 851-857, 1995.
3. **Gambuś F.:** The influence of soil reaction on solubility of heavy metals in soil and their availability to plants. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456, 71-78, 1997.
4. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa, 1999.
5. **Malczyk P.:** Metale ciężkie w glebach wybranych ekosystemów leśnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434, 599-603, 1996.
6. **Pisarek I.:** Profilowe zróżnicowanie zawartości Fe, Mn, Pb i Zn na tle wybranych właściwości fizykochemicznych gleb leśnych. Zeszyty Naukowe PO, 260/ 44, 389 – 404, 2000.
7. **Skłodowski P., Zarzycka H.:** Wpływ użytkowania gleb na zawartość i rozmieszczenie metali ciężkich. Roczn. Glebozn. 48, 1/2, 5-13, 1997.

#### CU, NI AND CD CONTENT AND DISTRIBUTION OF SOIL PROFILES ON THE SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE FOREST SOILS

*I. Pisarek*

University of Opole, Department of Land Protection, Oleska 22, 45-052 Opole  
e-mail: [izabella.pisarek@uni.opole.pl](mailto:izabella.pisarek@uni.opole.pl)

**Summary:** The aim of the work was to determine the properties of soils on the content and distribution of Cu, Ni and Cd in profiles of the forest soils. Seven soils profiles, including Cambisols, Luvisols and Spodosols were taken. The horizons of the all investigated soils are characterized of acidity, texture and content of some heavy metals. Accumulation of analyzed metals in litter horizons was the effect of the biological accumulation of these elements. However, high content of cadmium in the litter, humus and accumulation horizons was result of antropogenic factors.

**Keywords:** heavy metals, forest soils.