

Maria Trafas*, Teresa Eckes*, Tadeusz Gołda*

Lokalna zmienność zawartości metali ciężkich w glebach okolicy Olkusza**

1. Wstęp

W rejonach przemysłowych występują często przekształcenia chemiczne gleb, których konsekwencją mogą być ograniczenia możliwości ich użytkowania czy też spadek produktywności. W związku z występowaniem skutków użytkowych może pojawić się nie tylko problem stwierdzenia obecności przekształceń, lecz także ich ilościowego określenia, co może posłużyć do zmiany bonitacji gleb czy wyceny nieruchomości gruntowych [19]. Szczególnie dotyczy to przekształceń praktycznie nieusuwalnych, a takimi są np. zwiększenie w glebach kumulacji metali, a przede wszystkim metali ciężkich. Pierwszym etapem jest badanie aktualnego stanu i stopnia przekształcenia środowiska glebowego, co wymaga pobrania prób glebowych z określonego rejonu i wykonania ich analizy [1]. Przy interpretacji wyników badań pojawia się jednak problem ustalenia, co należy rozumieć pod pojęciem „zanieczyszczenia gleb”. Rozporządzenie w sprawie standardów jakości gleb stanowi, że o zanieczyszczeniu można mówić wtedy, gdy zawartości substancji zanieczyszczających w glebie przekraczają wartości dopuszczalne, a równocześnie ta podwyższona zawartość jest efektem oddziaływań antropogenicznych, a nie jest związana z czynnikami naturalnymi [15, 16].

Na ogół nie dysponuje się dostatecznie dokładnymi danymi, dotyczącymi wyjściowej zawartości składników zanieczyszczających, np. metali ciężkich, w glebach. Pewnym rozwiązaniem jest przyjęcie danych szacunkowych, podawanych w publikacjach dla gleb o podobnym składzie ziarnowym i budowie profilowej, czy zgeneralizowanych w postaci tabel, opracowanych przez zespół pracowników IUNG [6, 13]. W tabelach tych przytoczone są zawartości naturalne (stopień 0) dla określonych grup gleb. Można się jednak zastanawiać, czy właśnie one powinny

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Pracę wykonano w ramach grantu nr 4T 12E 041 29

być traktowane jako poziom wyjściowy, czy też przyjmować zawartość „podwyższoną” (stopień I), często stwierdzaną w glebach.

Dodatkowym elementem utrudniającym określenie faktycznego stopnia zanieczyszczenia i jego zasięgu jest występująca często duża przestrzenna zmienność zawartości składników zanieczyszczających. Z tego względu należy rozważyć, jak traktować przekroczenie wartości uznanej za naturalną czy dopuszczalną: czy zawartość większa o 1% lub 2% od zawartości dopuszczalnej to już zanieczyszczenie czy też nie. Sytuację komplikuje fakt, że w celu zmniejszenia liczby prób, przy równoczesnym zachowaniu dokładności wyników, pobierane są one jako próby średnie z kilku punktów. W rezultacie dysponujemy jednym bądź kilkoma wynikami, ale nie wiemy, z jaką dokładnością zostały one wyznaczone i jakie jest w ich przypadku odchylenie standardowe, co uniemożliwia ocenę, rzeczywiście występujących zmian [2, 3, 5, 7].

2. Cel badań

Opisywane w niniejszej pracy badania przeprowadzono w rejonie olkuskim, w zasięgu wpływów ZGH „Bolesław” [14]. Wyniki wcześniejszych prac prowadzonych w tym terenie w różnych latach wykazywały bardzo silne zanieczyszczenie gleb, a równocześnie duże przestrzenne zróżnicowanie zawartości głównych polutantów, tzn. cynku, ołowiu i kadmu [4, 7, 8, 10, 12, 18]. Analizując wyniki, zwracano też uwagę na to, że w wypadku niektórych gleb podwyższenie zawartości Zn, Pb, Cd może być uwarunkowane obecnością w podłożu triasowych dolomitów kruszonośnych.

Przeprowadzone badania miały dostarczyć danych o wielkości i rozpiętości zawartości pierwiastków stanowiących zanieczyszczenie gleb i pozwolić na poznanie błędu oceny, jaki może wystąpić przy pobieraniu prób pojedynczych i prób uśrednionych [5, 14]. Dążono też do stwierdzenia wpływu skał podścielających na zawartość metali w poziomie powierzchniowym oraz w poziomach głębszych.

3. Ogólna charakterystyka rejonu badań

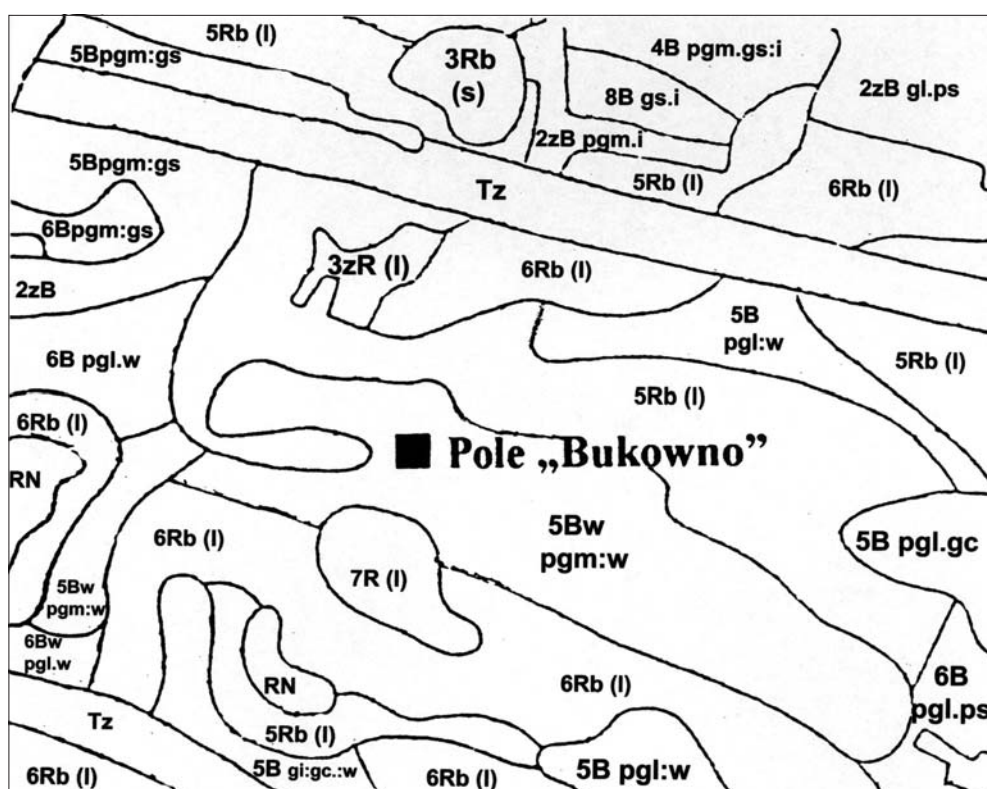
Badany obszar położony jest pomiędzy miejscowościami Bukowno-Wieś a Podlipie, około 3 km na NWW od ZGH „Bolesław” (rys. 1) w obrębie wzniesienia zbudowanego z triasowych dolomitów kruszonośnych, które ma przebieg zbliżony do południkowego [17]. W kierunku zachodnim opada ono wyraźnie (do 10%) nachylnym stokiem w stronę miejscowości Międzygórze i dalej do doliny Białej Przemszy; zbocze o wystawie wschodniej jest łagodniejsze.



Rys. 1. Lokalizacja pola badawczego „Bukowno”

Zgodnie z materiałami kartograficzno-glebowymi [9] występują tu gleby brunatne, wytworzone z piasków średnio głębokich, nawapieniowych, zaliczone do kompleksu 5.

W sąsiedztwie występują rędziny lekkie – płytkie, zaliczone do kompleksu 7, oraz średnio głębokie, zaliczone do kompleksu 5 (rys. 2). Cały obszar był użytkowany rolniczo, obecnie dużą jego część stanowią odłogi. Ze względu na położenie teren ten narażony był na emisję zanieczyszczeń z Zakładów Hutniczych, a także na ewentualny ich napływ z zakładów GOP.

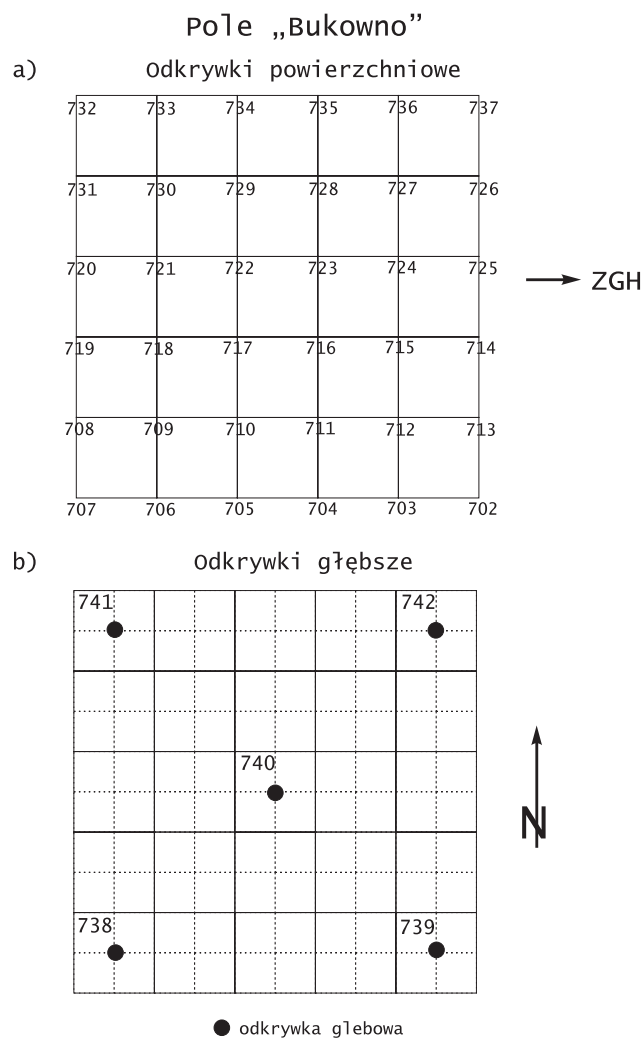


Rys. 2. Fragment mapy gleb z rejonu Bukowna z lokalizacją pola badawczego

4. Metodyka badań

Badania przeprowadzono na polu o wymiarach 50 × 50 m, na którym wytyczono siatkę kwadratów o bokach 10 m. W oczkach tej siatki pobrano próby z głębokości 0÷20 cm. Ponadto pobrano jedną próbę średnią z 30 nakłuc 0÷20 cm rozmieszczonych równomiernie na całej powierzchni. W obrębie badanego pola

wykonano też pięć odkrywek, z których pobrano próby z głębokości 0÷5, 5÷10, 10÷15, 15÷20, 20÷30, 30÷40, 40÷50 i głębiej z warstw dziesięciocentymetrowych, do głębokości 80 cm lub do występowania litej skały. Rozmieszczenie i numerację punktów poboru próbek zilustrowano na rysunku 3. Pobrane próbki po przewiezieniu do laboratorium doprowadzono do stanu powietrznie suchego. W wypadku próbek zwięźlejszych oddzielano kilka grudek, w których oznaczano potem gęstość objętościową metodą parafinowania. Pozostałą część próbki rozcierano w moździerzu porcelanowym i zmniejszano metodą kwartowania.



Rys. 3. Lokalizacja punktów poboru prób powierzchniowych (a) i odkrywek glebowych (b) w obrębie pola badawczego „Bukowno”

W pobranych próbkach oznaczono:

- skład mechaniczny metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego;
- gęstość objętościową;
- pH w H₂O i w 1 n KCl – potencjometrycznie, zgodnie z PN-ISO 10390;
- zawartość węgla organicznego metodą wyżarzania [11];
- przewodność elektryczną właściwą w roztworze wodnym gleby – konduktometrycznie; przy wykorzystaniu konduktometru CC-315, zgodnie z normą PN-ISO 11265 +AC;
- zawartość metali (Na, Mg, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Cd, Pb), rozpuszczalnych w mieszaninie HClO₄ i HNO₃ (4:1) metodą ASA na aparacie Hitachi z korekcją zeemanowską;
- zawartość CaCO₃ metodą objętościową za pomocą aparatu Scheiblera [11];
- zawartość rtęci na aparacie AMA 254.

5. Omówienie wyników badań

Uzyskane wyniki analizowane były odrębnie dla warstw powierzchniowych i dla głębszych profili glebowych.

5.1. Zmienność zawartości metali w warstwach powierzchniowych

Badania przeprowadzone na 0,25-hektarowym polu badawczym wykazały, że występują tam gleby brunatne, wytworzone z piasków gliniastych mocnych oraz glin piaszczystych lub lekkich (tab. 1 na wklejce). Materiał miejscami jest niejednorodny – w piasku występują większe lub mniejsze grudy glin. W poziomie próchnicznym na ogół nie występuje CaCO₃ lub pojawia się w ilościach śladowych, najczęściej w formie bardzo drobnych okruchów wapieni. Odczyn jest na ogół lekko kwaśny lub obojętny, zawartość materii organicznej utrzymuje się w granicach typowych dla piaszczystych gleb uprawnych. Niska przewodność elektrolityczna właściwa (30÷180 μS/cm) wskazuje, że gleby zawierają niewiele łatwo rozpuszczalnych soli. Zawartość badanych metali jest zróżnicowana (tab. 2), niektóre z nich występują w ilościach niewielkich, charakterystycznych dla gleb niezanieczyszczonych (Ni, Cu, Sr, Cr, Pb), spełniając nawet standardy wymagane dla rolnictwa ekologicznego [15]. Jednak ilości metali stanowiących główny składnik zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery (Zn, Pb, Cd) kwalifikują badane gleby do grupy silnie skażonych.

Tab. 1. Podstawowe właściwości próbek gleb z pola badawczego „Bukowno”

Nr próbki	Głębokość pobrania [cm]	Procentowa zawartość frakcji o średnicy [mm]						Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Straty prążeń [%]	pH w H ₂ O	pH w KCl	Zawartość CaCO ₃ [%]	PEW [μS/cm]	Fosfor (P) ogólny [%]
		1+0,1	0,1+0,05	0,05+0,02	0,02+0,006	0,006+0,002	< 0,002							
		701	0±20	70	5	5	6							
702	0±20	70	5	7	7	0	11	1,44	4,29	6,3	5,9	0	70	0,059
703	0±20	69	4	6	6	3	12	1,41	4,51	6,8	6,8	śląd	100	0,064
704	0±20	69	6	5	7	3	10	1,35	5,03	7,3	7,3	śląd	150	0,085
705	0±20	68	7	6	8	1	10	1,35	4,32	6,9	6,8	0	160	0,056
706	0±20	71	5	7	7	0	10	1,43	3,98	5,8	5,5	0	40	0,066
707	0±20	71	3	7	7	2	10	1,46	3,14	6	6	0	40	0,047
708	0±20	66	4	7	7	2	14	1,55	3,96	6	5,9	0	50	0,056
709	0±20	71	4	7	7	1	10	1,43	4,82	5,9	5,3	0	40	0,087
710	0±20	66	5	6	7	11	5	1,42	4,90	6,9	6,3	śląd	180	0,054
711	0±20	68	5	7	6	2	12	1,43	4,29	7,4	7,4	śląd	170	0,077
712	0±20	68	5	8	8	1	10	1,38	4,54	6,3	6,1	0	70	0,07
713	0±20	75	3	5	6	1	10	1,48	3,28	6	5,7	0	30	0,056
714	0±20	70	5	6	7	2	10	1,46	3,93	6,2	5,9	0	60	0,057
715	0±20	55	15	6	12	0	12	1,35	5,86	6	5,6	0	70	0,074
716	0±20	64	6	7	8	3	12	1,41	5,43	7,1	7,1	śląd	160	0,084
717	0±20	60	6	6	9	2	17	1,33	6,28	6,4	6,3	0	110	0,06
718	0±20	65	4	6	8	3	14	1,50	4,16	6,4	6,2	0	80	0,065
719	0±20	64	4	7	6	4	15	1,45	4,12	6,3	5,9	0	50	0,053
720	0±20	66	4	6	8	3	13	1,44	4,59	6,1	6	0	90	0,055
721	0±20	65	8	6	4	5	12	1,43	4,88	6,3	6,1	0	70	0,074
722	0±20	64	7	6	5	6	12	1,44	4,56	5,8	5,3	0	50	0,053
723	0±20	64	6	7	6	6	11	1,44	4,53	7,4	7,3	śląd	170	0,084
724	0±20	63	6	8	6	6	11	1,40	5,43	6,1	5,7	0	60	0,085
725	0±20	69	5	6	7	4	9	1,48	4,19	6,1	5,8	0	50	0,069
726	0±20	69	4	7	4	5	11	1,43	3,93	6,1	5,7	0	30	0,059
727	0±20	64	5	8	6	5	12	1,41	4,89	6	5,5	śląd	60	0,089
728	0±20	61	7	6	6	6	14	1,48	4,41	6,9	6,9	śląd	140	0,073
729	0±20	59	9	5	6	7	14	1,44	5,24	6,6	6,3	0	110	0,051
730	0±20	62	7	6	4	7	14	1,48	4,99	6,3	6,1	0	100	0,066
731	0±20	63	6	8	5	5	13	1,38	5,48	6,5	6,3	śląd	150	0,06
732	0±20	66	5	7	5	5	12	1,53	3,34	6,2	5,9	0	40	0,045
733	0±20	61	7	7	6	5	14	1,49	4,99	6,4	6,1	0	80	0,077
734	0±20	60	8	6	5	5	16	1,46	5,52	6,2	5,8	0	110	0,053
735	0±20	64	7	6	7	5	11	1,44	4,74	6,7	6,6	śląd	110	0,083
736	0±20	69	3	7	5	6	10	1,49	3,59	5,7	5,3	śląd	50	0,051
737	0±20	69	5	6	5	6	9	1,48	3,47	5,9	5,7	0	40	0,051

Tabela 2. Zawartości badanych metali w poziomie 0÷20 cm gleb z pola badawczego „Bukowno”, obliczone jako wartości średnie z 36 prób pojedynczych oraz w próbie średniej z 30 nakłuć

Pierwiastek	Obliczona wartość średnia [mg/kg]	Odchylenie standardowe [mg/kg]	Zawartość w próbie średniej [mg/kg]	Wartości dopuszczalne w warstwie 0÷30 cm [mg/kg] [16]	Dopuszczalne stężenia w glebach lekkich mg/kg [15]
Sód	141,52	38,33	160		
Magnez	1734,31	266,84	1770		
Potas	3151,11	489,42	3190		
Wapń	2523,61	1168,66	2510		
Chrom	18,75	9,16	20	150	50
Mangan	1186,25	226,85	1275		
Żelazo	16148,6	2441,78	17300		
Nikiel	19,62	2,77	20	100	30
Miedź	13,80	1,51	13	150	30
Cynk	1164,86	149,14	1155	300	100
Stront	2,07	0,71	2		
Kadm	10,34	1,57	10,5	4	0,75
Rtęć	0,051	0,01	0,05	2	0,5
Ołów	243,19	33,65	232,5	100	50

Współczynniki zmienności zawartości metali oznaczonych jako średnia z 36 prób na ogół wynoszą kilkanaście procent: cynku – 12,8%, kadmu – 15,2%, ołowiu – 13,8%. Najwyższe współczynniki zmienności występują w przypadku chromu (48,8%) oraz wapnia (46,3%) i strontu (34,2%). Duży współczynnik zmienności w przypadku Ca i związanego z nim strontu można wiązać z nierównomiernym rozproszaniem zwiertzeliny wapieni wśród piasku wodnolodowcowego.

Rozpiętość zawartości metali w obrębie badanego pola jest duża – maksymalne różnice zawartości w próbach gleb pobranych w odległościach 10 m wynoszą: w przypadku Zn – 375 mg/kg, Cd – 4,1 mg/kg, Pb – 65 mg/kg. Różnice te nie są tak drastycznie duże jak w przypadku Cr na badanych wcześniej glebach w Alwerni [5, 14], jednak są to wartości porównywalne z wielkością standardów (tab. 2). Ponadto trzeba uwzględnić też i tę okoliczność, że badane pole „Bukowno” położone jest w odległości ponad 3 km od emitorów ZGH „Bolesław”, a więc

w strefie, w której emisja i opad pyłu są już „uśrednione”, a w związku z tym rozrzut zawartości powinien być mniejszy. Potwierdza to także porównanie wyników określenia średniej zawartości metali w obrębie badanego pola na podstawie uśrednienia 36 próbek indywidualnych i oznaczeń w próbie średniej z 30 nakłuć (tab. 2). Charakteryzują się one dużą zgodnością, i to zarówno w przypadku tych metali, których zawartość jest zbliżona do naturalnej, jak i tych, które stanowią zanieczyszczenie.

5.2. Zmienność zawartości metali w profilach glebowych

Wyniki badań zawartości metali w warstwie 0÷20 cm, jak podano wyżej – kwalifikują gleby do grupy silnie skażonych. Ze względu na położenie można domniemywać, że ten stan jest wynikiem kumulacji zanieczyszczeń emitowanych z ZGH „Bolesław”. Wyniki analiz próbek pobranych z głębszych warstw profili glebowych wskazują jednak, że wysoka zawartość metali może mieć również źródło naturalne.

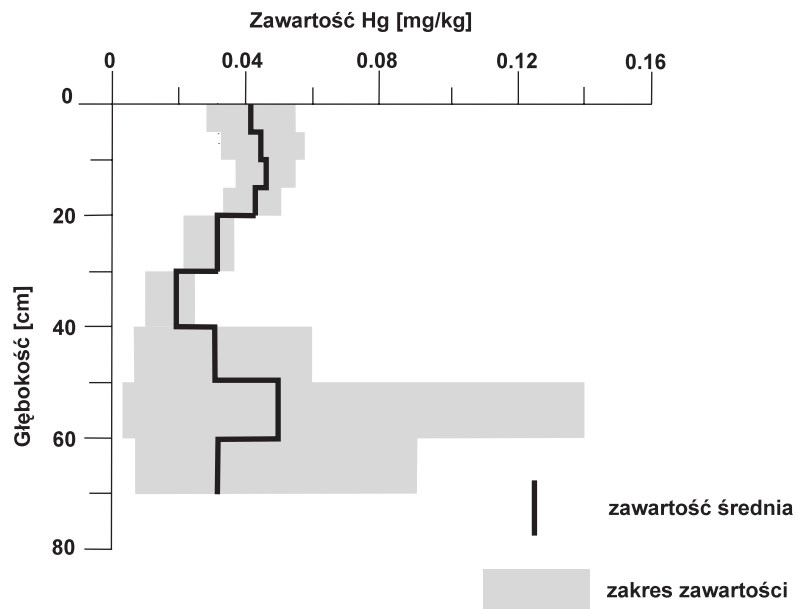
Trzy spośród badanych profili glebowych reprezentowały gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych mocnych i glin lekkich o miąższości 40÷60 cm, zalegających na skale węglanowej, pokrytej gliniastą zwietrzeliną (tab. 3 na wklejce). Pozostałe dwa profile charakteryzowały się w warstwie 0÷20 cm i 0÷30 cm składem ziarnowym odpowiadającym glinie lekkiej, podścielonej piaskiem luźnym. Badane próbki nie zawierały CaCO_3 , tylko w jednej (profil 738 z głębokości 15÷20 cm) stwierdzono jego śladowe ilości. Odczyn utrzymuje się na ogół w przedziale lekko kwaśnego, z tym że w głębszych poziomach pH w KCl ma wartości wyższe o 0,2÷0,3 jednostki. W jednym profilu (739) poniżej 30 cm odczyn jest obojętny. Przewodność elektrolityczna właściwa nie wykazuje pionowej zmienności i utrzymuje się w przedziale wartości bardzo niskich (20÷130 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Zawartość badanych metali w poszczególnych profilach glebowych przedstawiono na rys. 4–11.

Spośród badanych metali, których zawartości nie przekraczają normalnie spotykanych w glebach, Cr i Sr niemal nie wykazują pionowego zróżnicowania zawartości. W przypadku Ni do głębokości 20÷30 cm zawartości są nieco wyższe, korelujące ze składem mechanicznym. Wyraźniejszą tendencję do kumulacji w poziomie próchnicznym wykazują Cu i Hg. Wszystkie wymienione pierwiastki występują w wyższych ilościach na tych głębokościach, gdzie pojawia się gliniasta zwietrzelina.

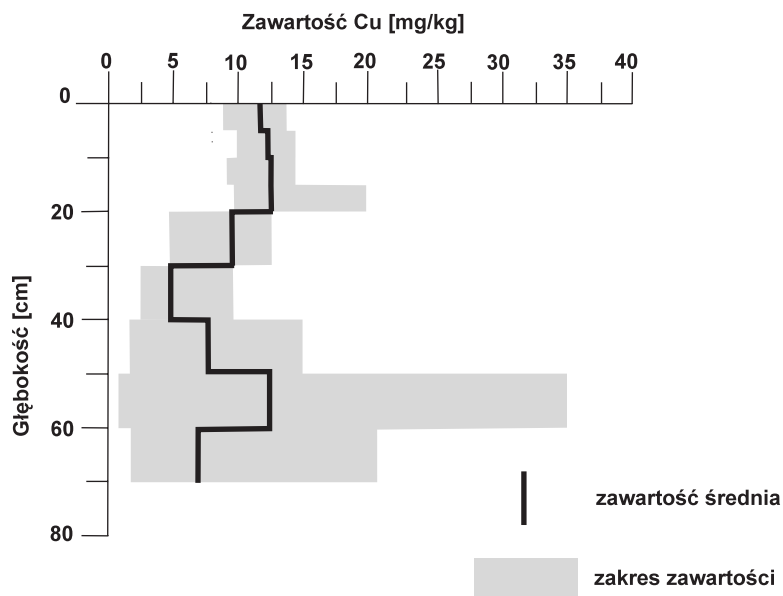
Zawartości Zn, Pb i Cd w badanych profilach są bardzo wysokie. Średnia zawartość Zn w warstwie 0÷20 cm wynosi 1050 mg/kg i 850 mg/kg w warstwie 20÷30 cm.

Tabela 3. Podstawowe właściwości próbek gleb z odkrywek glebowych z pola badawczego „Bukowno”

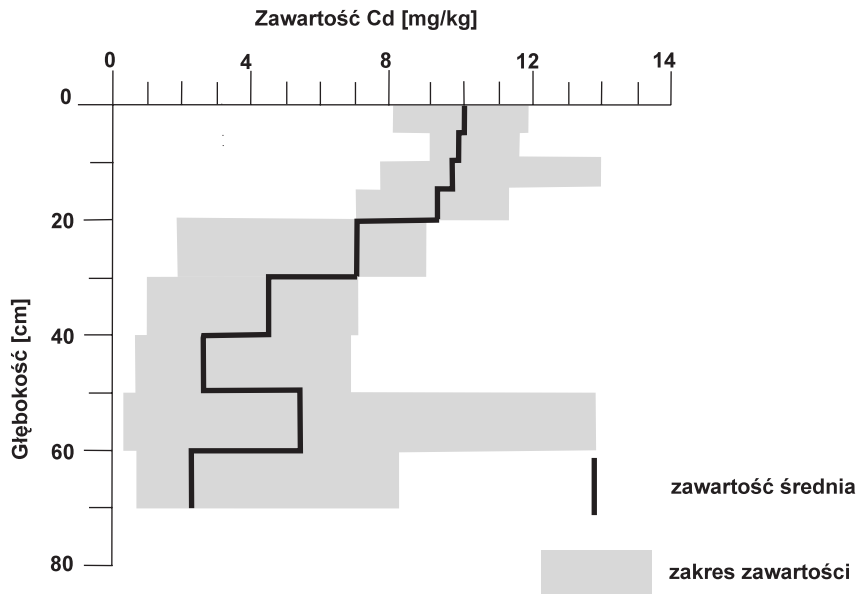
Nr odkrywki	Głębokość pobrania [cm]	Procentowa zawartość frakcji o średnicy [mm]						Gęstość objęt. [g/cm ³]	Straty prażenia [%]	pH w H ₂ O	pH w KCl	PEW [μS/cm]	Zawartość CaCO ₃ [%]	Fosfor (P) ogólny [%]
		1+0,1	0,1+0,05	0,05+0,02	0,02+0,006	0,006+0,002	< 0,002							
		738	0-5	69	10	5	4							
	5-10	69	5	6	6	6	8	1,36	4,81	6,3	5,9	80	0	0,066
	10-15	69	4	7	6	5	9	1,36	4,33	6,4	6	80	sl	0,067
	15-20	69	6	7	5	5	8	1,36	4,28	6,4	6,1	80	0	0,061
	20-30	64	5	6	8	7	10	1,53	3,39	6,7	6,3	70	0	0,044
	30-40	72	4	4	6	5	9	1,57		6,6	6,1	50	0	0,04
	40-50	72	4	4	5	6	9	1,62		6,6	6,1	50	0	0,025
	50-60	52	7	5	6	7	23	1,51		6,8	6,2	60	0	0,026
	0-5	67	7	9	6	4	8	1,16	5,94	6,4	5,9	100	0	0,069
	5-10	68	4	6	5	7	10	1,50	4,05	5,6	5,2	60	0	0,051
	10-15	66	5	5	5	7	12	1,51	3,75	6	5,6	50	0	0,05
	15-20	68	3	6	5	6	12	1,55	3,80	6,1	5,7	40	0	0,051
	20-30	69	6	4	5	6	10	1,56	3,07	6,4	6,1	50	0	0,04
	30-40	78	4	4	3	3	8	1,65		7,1	7,2	100	0	0,028
	40-50	49	3	6	8	7	27	1,66		7,4	7,2	120	sl	0,025
	50-60	13	5	9	14	12	47	1,50		7,4	6,6	80	0	0,044
	0-5	60	8	7	7	7	11	1,38	5,82	5,7	5,1	40	0	0,064
	5-10	62	6	5	7	8	12	1,41	4,65	6,2	5,9	70	0	0,057
	10-15	62	5	6	6	6	15	1,48	4,52	6,5	6,2	80	0	0,051
	15-20	62	5	7	6	8	12	1,48	4,47	6,5	6,1	60	0	0,054
	20-30	69	4	7	5	6	9	1,47	3,47	6,5	6,1	70	0	0,048
	30-40	69	4	10	0	6	11	1,55		6,6	6,2	50	0	0,028
	40-50	70	4	5	4	4	13	1,51		6,7	6,2	40	0	0,023
	50-60	66	3	4	5	14	8	1,56		6,8	6	40	0	0,019
	0-5	65	9	4	7	6	9	1,38	5,59	5,8	5,3	60	0	0,053
	5-10	64	5	7	5	8	11	1,51	3,89	5,9	5,4	40	0	0,055
	10-15	64	5	6	6	7	12	1,51	3,98	6,1	5,8	50	0	0,051
	15-20	65	4	6	5	7	13	1,57	3,25	6,3	6	50	0	0,036
	20-30	80	4	3	1	6	6	1,56	1,25	6,4	6	30	0	0,019
	30-40	87	3	1	0	1	8	1,56		6,5	6	20	0	0,012
	40-50	88	4	1	1	6	0	1,61		6,6	5,9	20	0	0,01
	50-60	93	2	0	1	3	1	1,62		6,5	6	20	0	0,01
	60-70	90	3	0	1	6	0	1,69		6,5	6	20	0	0,012
	0-5	73	6	4	5	3	9	1,28	5,90	5,8	5,3	70	0	0,052
	5-10	70	4	5	5	10	6	1,46	3,45	5,9	5,5	50	0	0,047
	10-15	71	3	5	5	12	4	1,47	3,14	6,1	5,7	50	0	0,043
	15-20	68	6	5	5	12	4	1,49	3,19	6,3	6	60	0	0,05
	20-30	71	4	5	5	10	5	1,49	2,93	6,3	6	50	0	0,046
	30-40	84	6	1	2	4	3	1,58		6,6	6,3	30	0	0,015
	40-50	90	5	0	1	1	3	1,73		6,6	6,2	20	0	0,012
	50-60	92	3	0	1	1	3	1,73		6,5	6,2	20	0	0,012
	60-70	90	5	0	1	1	3	1,72		6,6	6,2	20	0	0,013



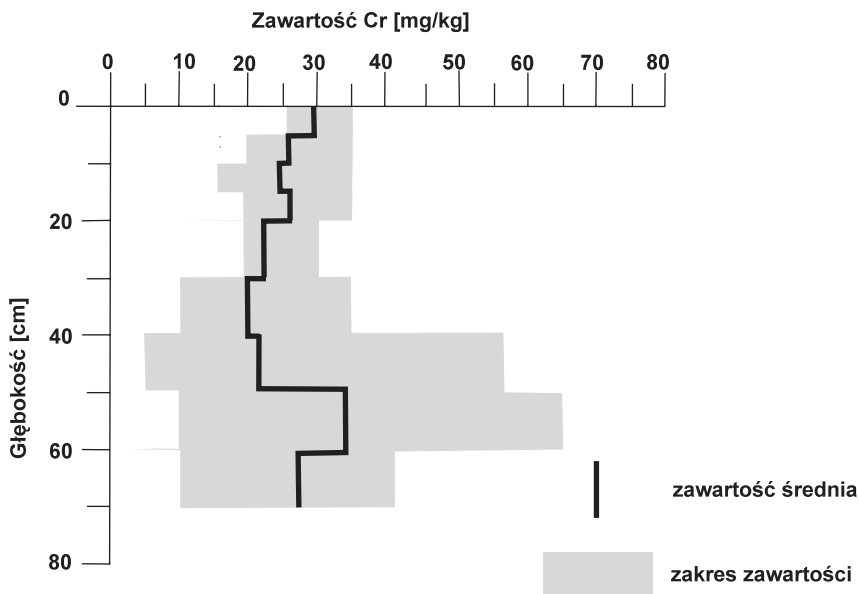
Rys. 4. Pionowy rozkład zawartości Hg w glebach pola badawczego „Bukowno”



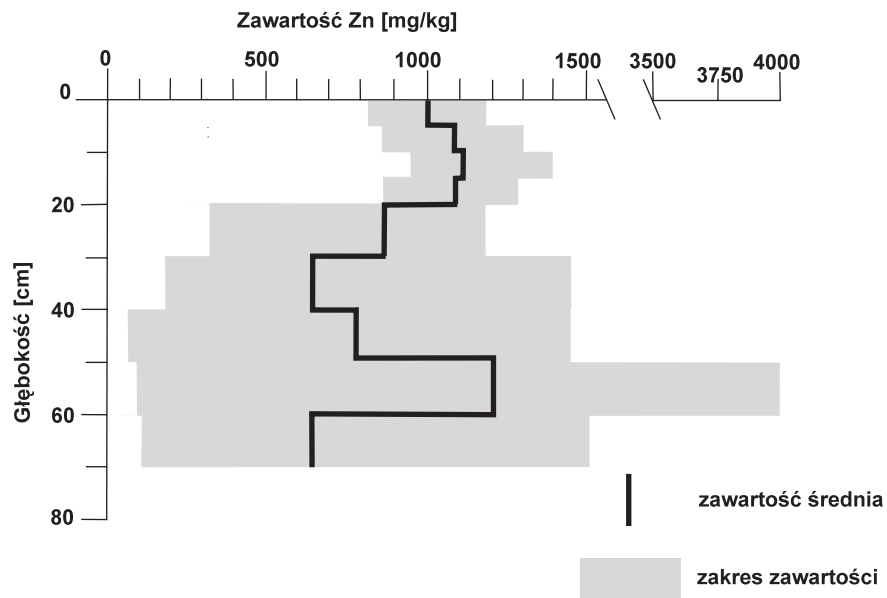
Rys. 5. Pionowy rozkład zawartości Cu w glebach pola badawczego „Bukowno”



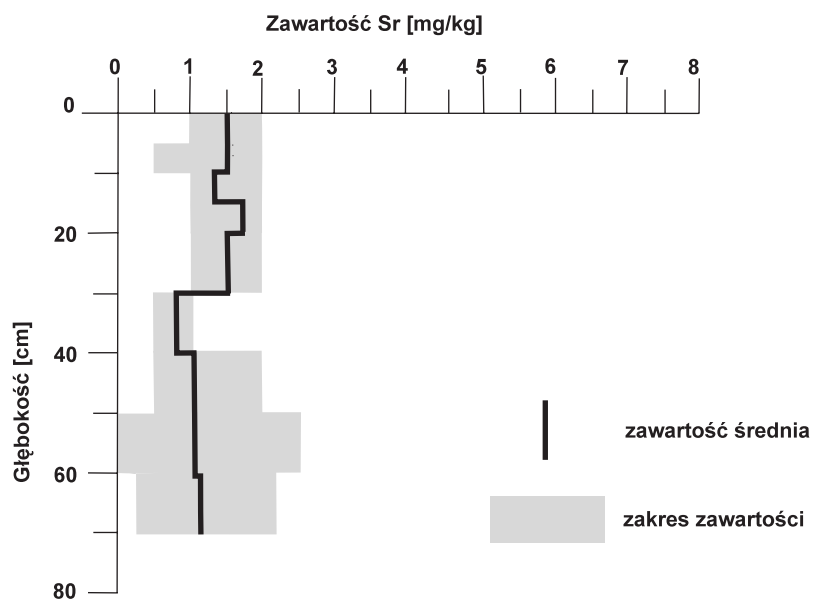
Rys. 6. Pionowy rozkład zawartości Cd w glebach pola badawczego „Bukowno”



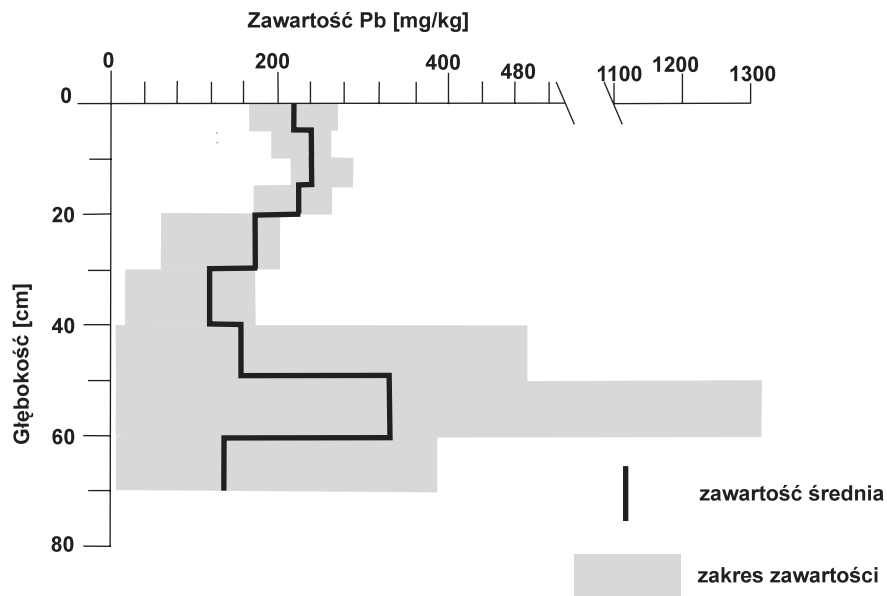
Rys. 7. Pionowy rozkład zawartości Cr w glebach pola badawczego „Bukowno”



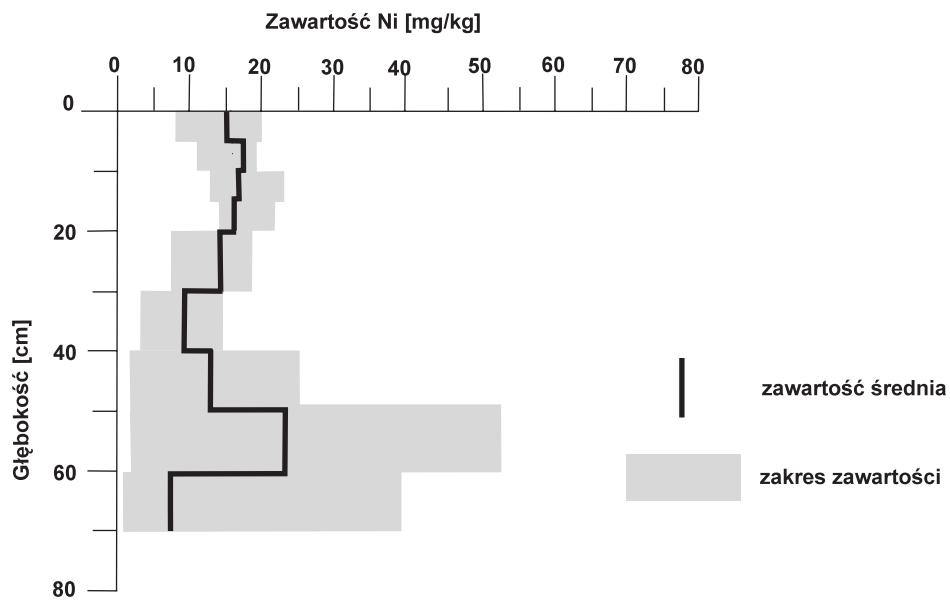
Rys. 8. Pionowy rozkład zawartości Zn w glebach pola badawczego „Bukowno”



Rys. 9. Pionowy rozkład zawartości Sr w glebach pola badawczego „Bukowno”



Rys. 10. Pionowy rozkład zawartości Pb w glebach pola badawczego „Bukowno”



Rys. 11. Pionowy rozkład zawartości Ni w glebach pola badawczego „Bukowno”

Poniżej 30 cm zawartości są niższe, jednak w profilu 739 już od głębokości 40 cm zawartości Zn wzrastają, by w glinie z dużą ilością odłamków skały osiągnąć poziom 4000 mg/kg. W profilu 740 od głębokości 40 cm zawartość Zn wzrasta, lecz wzrost ten jest mniej wyraźny. Najniższe zawartości Zn występują na głębokości 40÷60 cm w profilach 741 i 742, chociaż jak na bezpróchniczne piaski luźne są to wartości wysokie (85÷110 mg/kg). Poniżej 60 cm zaznacza się znów wzrost zawartości Zn. Bardzo podobny jest profilowy rozkład zawartości Cd – w profilach 738, 739, 740 najniższe zawartości występują na głębokości 30÷50 cm, poniżej zaznacza się wzrost. W profilach 741, 742 najniższe zawartości utrzymują się w poziomie 30÷60 cm, głębiej ilości są wyższe, szczególnie w przypadku profilu 741. Analogicznie przedstawia się zmienność zawartości Pb w badanych profilach.

Analizując omawiane wyniki, można stwierdzić, że wysoka zawartość Zn, Pb, i Cd jest najprawdopodobniej skutkiem nie tylko emisji, lecz także i naturalną cechą badanych gleb, związaną z charakterem skały podścielającej. Nasuwa się więc pytanie, czy te gleby uznać za zanieczyszczone, albo jaki jest poziom ich zanieczyszczenia. Uznając, że najniższy poziom zawartości w profilu odpowiada zawartości naturalnej stwierdzamy, że różnica pomiędzy warstwami powierzchniowymi a głębszymi jest nieporównywalna dla poszczególnych badanych profili (tab. 4).

Jeśli jako miernik zanieczyszczenia przyjmiemy zaznaczone w tabeli 4 różnice między warstwami powierzchniowymi i głębszymi – do czego może nas upoważniać sformułowanie z rozporządzenia w sprawie standardów jakości [16]. „Jeżeli przekroczenie wartości dopuszczalnej stężenia substancji w badanej glebie lub ziemi wynika z naturalnie wysokiej jej zawartości w środowisku, uważa się, że przekroczenie dopuszczalnej wartości nie wystąpiło” – to okazuje się, że profil 739 jest zanieczyszczony w bardzo małym stopniu, natomiast głębsze, piaszczyste profile 741 i 742 charakteryzuje bardzo silne skażenie. Jak z tego wynika pojęcie „zanieczyszczenie gleb” wymaga uściślenia.

Kolejny problem, który nasuwa się w trakcie analizy wyników, to problem migracji składników zanieczyszczenia w profilu glebowym. Okazuje się, że pomimo podkreślanej w wielu publikacjach ruchliwości Zn i Cd ich przemieszczanie z infiltrującą wodą jest na ogół niewielkie i nie przekracza głębokości 30÷40 cm pomimo łatwości infiltracji w przypadku lekkich utworów, z których wytworzone są badane gleby, oraz długiego okresu oddziaływania zanieczyszczeń. Przy tym nie zawsze jest jasne, czy stosunkowo wysoka zawartość metali w warstwach głębszych to wynik migracji, czy też obecności gliniastych produktów wietrzenia rozproszonych wśród piasków. W świetle uzyskanych wyników nie ulega wątpliwości, że dolomity kruszczone, zalegające w podłożu powodują podwyższenie zawartości metali w glebach.

Tabela 4. Porównanie zawartości Zn, Cd i Pb z różnych głębokości w profilach gleb z pola badawczego „Bukowno”

Numer profilu	Głębokość	Zn		Cd		Pb	
		Zawartość w warstwie	Różnica zawartości: warstwa pow. minus warstwa głębsza	Zawartość	Różnica zawartości: warstwa pow. minus warstwa głębsza	Zawartość	Różnica zawartości: warstwa pow. minus warstwa głębsza
		[mg/kg]					
738	warstwa 0÷20 cm	967	367	9,5	4,3	220	96
	warstwy głębsze (zawartość najniższa w profilu)	600		5,2		124	
739	warstwa 0÷20 cm	1100	-100	9,6	2,6	233	32
	warstwy głębsze (zawartość najniższa w profilu)	1200		7,0		201	
740	warstwa 0÷20 cm	1260		11,9		261	
	warstwy głębsze (zawartość najniższa w profilu)	620	640	5,2	6,7	126	135
741	warstwa 0÷20 cm	975		8,5	8,1	214	200
	warstwy głębsze (zawartość najniższa w profilu)	137	838	0,4		14	
742	warstwa 0÷20 cm	965		8,5	7,9	187	180
	warstwy głębsze (zawartość najniższa w profilu)	90	875	0,6		7	

Ustalenie zasięgu tego wpływu: czy występuje on tylko w tej strefie, gdzie zwietrzelina jest przemieszana z nadległymi utworami, czy też sięga wyżej, na przykład do granic strefy wzniosu kapilarnego wody gromadzącej się nad zwężlejszą zwietrzeliną wymaga dalszych badań.

6. Uwagi dotyczące stosowania standardów

Przeprowadzone badania wskazują na potrzebę dokładniejszego zdefiniowania pojęcia „zanieczyszczenie gleb” i „wartość dopuszczalna stężenia substancji” w odniesieniu do metali, wymienionych w rozporządzeniu Ministra Środowiska [16]. W rozporządzeniu tym wymieniono trzy grupy gruntów, w stosunku do których zróżnicowano wymagania.

W przypadku grupy A standardy są najostrzejsze, przy czym w załączniku podane są tylko wartości dopuszczalne stężeń w glebie lub ziemi, bez żadnych dodatkowych uwarunkowań, dotyczących np. głębokości. Oznacza to, że stwierdzenie przekroczenia wartości dopuszczalnej dla warstwy o dowolnej miąższości i głębokości występowania jest podstawą do uznania obszaru za zanieczyszczony (z zastrzeżeniem dotyczącym zawartości naturalnej).

W przypadku grupy B podane są wartości dopuszczalne dla dwu przedziałów głębokości: 0÷0,3 m oraz 0,3÷15 m.

Można tu rozważać następujące przypadki dotyczące warstwy powierzchniowej:

- wartość dopuszczalna odnosi się do zawartości uśrednionej z głębokości 0÷30 cm;
- wartość dopuszczalna odnosi się do każdej warstwy występującej w strefie 0÷30 cm.

W pierwszym przypadku należy zwracać uwagę na to, by pobrać próbkę dokładnie z całej warstwy 30-centymetrowej, gdyż – jak wskazują badania – w strefie 20÷30 cm zawartość metali na ogół wyraźnie się zmniejsza. Pobierając więc próbę z mniejszej głębokości, np. 0÷20 cm uzyskujemy wynik, który może być zawyżony w stosunku do wymagań rozporządzenia.

W drugim przypadku, w celu stwierdzenia, że gleby nie są zanieczyszczone, należałoby pobrać próby z warstwy powierzchniowej, gdyż te na ogół będą silniej obciążone (np. w przypadku użytków zielonych z głębokości 0÷10 cm, zaś w przypadku lasów z warstwy ściółki) [14, 20]. Napotkamy przy tym dodatkową trudność interpretacji związaną z niską gęstością objętościową prób z gleb łąkowych czy leśnych. Oznaczone wagowo zawartości metali będą w tym przypadku

zawyżone w stosunku do podobnie obciążonych polutantami gleb mineralnych [3, 14].

Jeżeli chodzi o warstwy głębsze, nie jest jasne, jaka powinna być interpretacja podanych wartości dopuszczalnych, gdy ocenia się gleby. Czy obecność nawet wysokich zawartości metali na głębokości poniżej 1,5 m, czyli poza profilem glebowym, stanowi wystarczającą podstawę do zakwalifikowania gleby jako zanieczyszczonej? Nawet gdy podwyższenie zawartości stwierdzone jest płycej, ale związane jest np. z wkładką o innych właściwościach, a zarówno ponad, jak i pod nią zawartości nie przekraczają standardowych, trudno jest arbitralnie wyrokować o czystości bądź zanieczyszczeniu gleb. Na pewno problem ten wymaga dyskusji.

Wymieniona w rozporządzeniu grupa C to tereny przemysłowe, komunikacyjne, użytki kopalne. Również i w ich przypadku kwalifikacja na podstawie oznaczonych zawartości metali w warstwach głębszych może nastęrczać trudności.

7. Wnioski

Przeprowadzone badania zmienności szeregu pierwiastków na szczegółowo opróbowanej powierzchni w rejonie Bukowna pozwalają na sformułowanie kilku wniosków, które powinny być uwzględnione podczas oceny stopnia zanieczyszczenia gleb:

1. Naturalna zmienność pierwiastków (w tym metali ciężkich) występujących w warstwach powierzchniowych gleb, o podobnym składzie ziarnowym i cechach typologicznych, wynosi kilkanaście procent. Wobec tego dopiero wzrost zawartości metali o ponad 15÷20% pierwotnej ich ilości może być traktowany jako w pełni udokumentowana zmiana zawartości metali w glebach. Należy ten fakt uwzględnić, interpretując wyniki badań wpływu emisji metali na gleby.
2. W glebach znajdujących pod silnym wpływem emisji przemysłowych zmienność zawartości metali, nawet na niewielkich odległościach, jest duża. W związku z tym wyniki oznaczeń poziomu zanieczyszczeń są obarczone dużym błędem. Powoduje to zwiększenie trudności oceny natężenia i dynamiki skażeń, a także oceny skuteczności ewentualnych działań rekultywacyjnych. Podniesienie wiarygodności wykonywanych ocen wymaga pobrania próby średniej z szeregu nakłuc wokół charakteryzowanego punktu. Pobranie próby pojedynczej może w sposób znaczący zmienić wyniki oceny rozkładu przestrzennego zanieczyszczeń w glebach, szczególnie gdy wyniki oznaczeń punktowych zostaną wykorzystane do interpolacji rozkładu zanieczyszczeń i określenia dalszych następstw np. w postaci zmian bonitacji.

3. W warstwach powierzchniowych gleb będących pod wpływem silnych i bardzo silnych zanieczyszczeń przenoszonych w powietrzu największe wahania występują w rejonie położonym w pobliżu źródła emisji (szczególnie gdy jest to emisja niezorganizowana). W miarę oddalania się od źródła emisji rozpiętości zawartości ulegają zmniejszeniu.
4. W profilu glebowym metale ciężkie koncentrują się przede wszystkim w warstwie powierzchniowej, w poziomach wzbogaconych w substancję organiczną. W większości wypadków miąższość strefy o podwyższonej koncentracji nie przekracza 30 cm. Przemieszczenie metali nie sięga głębiej niż 30 cm, wyjątkowo do 40 cm.
5. W rejonie Bukowna obecność płytko zalegających w podłożu dolomitów kruszonośnych może wpływać na podwyższenie zawartości metali w warstwach powierzchniowych.
6. Niezależnie od sposobu opróbowania, każda dokumentacja kartograficzna dotycząca zanieczyszczenia gleb powinna być uzupełniona o informację dotyczącą wiarygodności obrazu, np. poprzez podanie wariancji lub odchylenia standardowego.

Literatura

- [1] Barbiroli G., Casalicchio G., Raggi A.: *A New Approach to Elaborate a Multifunctional Soil Quality Index*. JSS-J Soils & Sediments, 4(3), 2004
- [2] Eckes T.: *Komputerowe wspomaganie oceny oddziaływania na środowisko glebowe – analiza stanów granicznych i przekroczeń*. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 4, z. 1, 1999
- [3] Gruszczyński S., Trafas M.: *Problemy metodyczne badania skażeń gleb*. Materiały Krajowej Konferencji „Geologiczne aspekty ochrony środowiska”, Kraków, Wyd. AGH 1991
- [4] Gruszczyński S., Trafas M.: *Próba oceny oddziaływania osadnika odpadów poflotacyjnych rud Zn i Pb na zmiany właściwości gleb*. Inżynieria środowiska, tom 1, Kraków, Wyd. AGH 1996
- [5] Gruszczyński S.: *The Assessment of Variability of the Concentration of Chromium in Soils with the Application of Neural Networks*. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 14, No. 6 (2005)
- [6] Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Warszawa, PWN 1999
- [7] Kucharski R., Marchwińska E.: *Problemy zagrożenia terenów rolnych metalami ciężkimi w rejonie Olkusza*. ZN AGH Nr 1368, Sozologia i Sozotechnika, z. 32, 1990

-
- [8] Lis J., Pasieczna A.: *Atlas geochemiczny Górnego Śląska 1: 200 000*. Warszawa, PIG 1995
- [9] *Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25 000. Powiat Olkusz*. Puławy IUNG
- [10] Praca zbiorowa (red. K.P. Turzańskiego i B. Godzik): *Ocena stanu zanieczyszczenia gleb województwa krakowskiego metalami ciężkimi i siarką*. Kraków, Biblioteka Monitoringu Środowiska 1996
- [11] Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.: *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog*. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska 1991
- [12] Praca zbiorowa: *Ocena wpływu części górniczej ZGH „Bolestaw” na środowisko. Praca studialna na rzecz ZGH Bolestaw*. Kraków, IKOŚ AGH 1995, maszynopis
- [13] Praca zbiorowa (kier. zespołu A. Kabata Pendias): *Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA*. Warszawa, PIOŚ IUNG, Biblioteka Monitoringu Środowiska 1995
- [14] Praca zbiorowa (kier. zespołu M. Trafas): *Technologia prowadzenia badań i kartograficznego opracowania wyników dotyczących skażenia gleb w rejonach przemysłowych. Raport końcowy z realizacji projektu badawczego Nr 8 T 12E 007 20*. Kraków, 2004 (maszynopis)
- [15] *Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich zanieczyszczających glebę*. Dz.U. Nr 37, poz 344 z dnia 12 kwietnia 2002 r.
- [16] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi*. Dz.U. 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.
- [17] *Szczegółowa mapa geologiczna Polski. Arkusz 945 Olkusz*. Oprac. S. Kurek, M. Preidl, Państwowy Instytut Geologiczny 1992; *Arkusz 944 Jaworzno (M-34-63-B)*. Oprac. S. Kurek, M. Paszkowski, M. Preidl, Państwowy Instytut Geologiczny 1999
- [18] Trafas M., Gruszczyński S., Gruszczyńska J., Zawodny Z.: *Zmiany właściwości gleb, wywołane wpływami przemysłu w rejonie olkuskim*. ZN AGH nr 1368, Sozologia i Sozotechnika, z. 32, 1990
- [19] Trafas M.: *Koncepcja oceny skutków przekształceń gleb*. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 4, z. 2, 1999
- [20] Trafas M., Eckes T.: *Badania pionowego rozkładu zawartości metali ciężkich w profilach glebowych*. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 8, z. 2, 2003