

**Grzegorz Siebielec, Tomasz Stuczyński, Henryk Terelak, Krystyna Filipiak, Piotr Koza,  
Renata Korzeniowska-Puculek, Artur Łopatka, Jan Jadczyzyn**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

UWARUNKOWANIA PRODUKCJI ROLNICZEJ W REGIONACH  
O DUŻYM UDZIALE GLEB ZANIECZYSZCZONYCH  
METALAMI ŚLADOWYMI\*

**Wstęp**

W dokumencie Europejskiej Ramowej Strategii Ochrony Gleb, opublikowanym w 2006 roku, zanieczyszczenie gleb zostało wymienione jako jedno z najpoważniejszych zjawisk degradacji i zagrożeń dla ich jakości. Spośród trwałych zanieczyszczeń gleb najbardziej powszechne jest zanieczyszczenie metalami śladowymi. Strategia zakłada konieczność wyznaczenia obszarów podlegających degradacji oraz określenia czynników sprawczych, skutków i sposobów przeciwdziałania negatywnym zmianom. W związku z tym problematykę zanieczyszczenia gleb metalami należy rozpatrywać wieloaspektowo, gdyż poza wpływem na funkcję produkcyjną gleb (wielkość i jakość plonu) może ono wpływać na bioróżnorodność siedliska, zdrowotność mieszkańców, a nawet sytuację organizacyjno-ekonomiczną regionu. Jednocześnie nieco inne podejście wymagane jest dla oceny zagadnień związanych z zanieczyszczeniem gleb w bezpośredniej bliskości emiterów na obszarach typowo przemysłowych i zanieczyszczeniem agroekosystemów, gdzie ekstremalnie wysokie zawartości metali nie występują.

W artykule podsumowano najistotniejsze aktualnie czynniki sprawcze zanieczyszczenia gleb, jego potencjalne skutki oraz występowanie obszarów zanieczyszczonych na użytkach rolnych Polski. Celem opracowania była również identyfikacja gmin o dużym udziale gleb zanieczyszczonych i charakterystyka uwarunkowań produkcji rolniczej w tych gminach.

**Źródła zanieczyszczenia gleb metalami**

Całkowita zawartość metali śladowych w glebie jest odzwierciedleniem tła naturalnego oraz dopływu metali ze źródeł antropogenicznych. Naturalna zawartość me-

---

\* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

tali śladowych w glebie zależy od ich ilości w skale macierzystej, z której powstała gleba oraz od procesu glebotwórczego, ściśle związanego z warunkami klimatycznymi. Zależnie od cech klimatu oraz właściwości geochemicznych samego pierwiastka podlega on procesom wymywania w profilu glebowym lub akumulacji w wierzchniej warstwie gleby (17).

Istnieje wiele dróg, którymi metale śladowe pochodzenia antropogenicznego mogą trafiać do gleb. Globalnie jako najważniejsze źródła zanieczyszczenia gleb metalami określano w 20. wieku (3, 48):

1) przemysł i urbanizację, a w tym:

- przemysł górniczy i hutniczy,
- elektrownie,
- składowiska odpadów przemysłowych,
- ruch komunikacyjny;

2) zabiegi agrotechniczne, a w tym:

- nawozy mineralne, wapno,
- środki ochrony roślin,
- nawozy naturalne, organiczne i osady ściekowe,
- nawadnianie.

Obecnie znaczenie i skala oddziaływania wymienionych źródeł są różne. Zabiegi agrotechniczne jako źródło metali nie mają obecnie istotnego znaczenia dzięki przepisom dotyczącym zawartości metali w nawozach. W przeszłości pewne niebezpieczeństwo wiązało się ze stosunkowo wysoką zawartością Cd w nawozach fosforowych, wynikającą z obecności tego pierwiastka w surowcu do ich wytwarzania lub stosowaniem wapna odpadowego czy fosfogipsu, zawierających do kilkunastu mg Cd · kg<sup>-1</sup> (3, 24).

Zawartość metali w komunalnych osadach ściekowych może być znaczna (19, 23), jednak uregulowania prawne dotyczące stosowania osadów ściekowych w rolnictwie (25) redukują ryzyko wprowadzenia nadmiaru metali do gleby, o ile zapisy dotyczące dawki osadu i zawartości metali są skutecznie przestrzegane. Przy wzrastającej ilości wytwarzanych osadów ściekowych należy się spodziewać wzrostu skali wykorzystania osadów w rolnictwie, co może mieć wpływ na bilans metali śladowych w glebach; zagadnienie to będzie wymagało bardziej szczegółowych badań.

Badania na reprezentatywnej grupie osadów ściekowych z całego kraju wskazują, że niecałe 60% osadów ściekowych produkowanych w Polsce spełnia wszystkie wymagania odnośnie zawartości metali śladowych dla stosowania w rolnictwie (tab. 1). Co ciekawe, udział osadów o nadmiernej zawartości metali jest w przemysłowym regionie Górnego Śląska podobny jak w grupie referencyjnej, reprezentującej resztę kraju. Najwięcej przekroczeń zawartości kadmu odnotowuje się na Górnym Śląsku, podczas gdy przekroczenia zawartości niklu, chromu czy cynku nie wykazują geograficznych uwarunkowań.

Zanieczyszczenia gleb jako efekt ruchu komunikacyjnego wiązały się głównie z obecnością ołowiu w benzynach; powszechne wprowadzenie paliwa bezołowiowego ogranicza występowanie tego problemu.

Tabela 1

Udział osadów ściekowych spełniających kryteria zawartości metali śladowych dopuszczalne przy rolniczym stosowaniu osadów według rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z 2002 roku

Pierwiastek	Limit (mg · kg <sup>-1</sup> )	Udział osadów spełniających kryterium			
		Górny Śląsk (n = 32)		pozostały obszar kraju (n = 28)	
		liczba	%	liczba	%
Kadm	10	24	75	25	89
Nikiel	100	30	94	23	82
Miedź	800	32	100	28	100
Ołów	500	30	94	28	100
Chrom	500	30	94	24	86
Cynk	2500	25	78	20	71
Wszystkie metale	-	19	59	16	57

Źródło: Siebielec G. i Stuczyński T., 2007 (34).

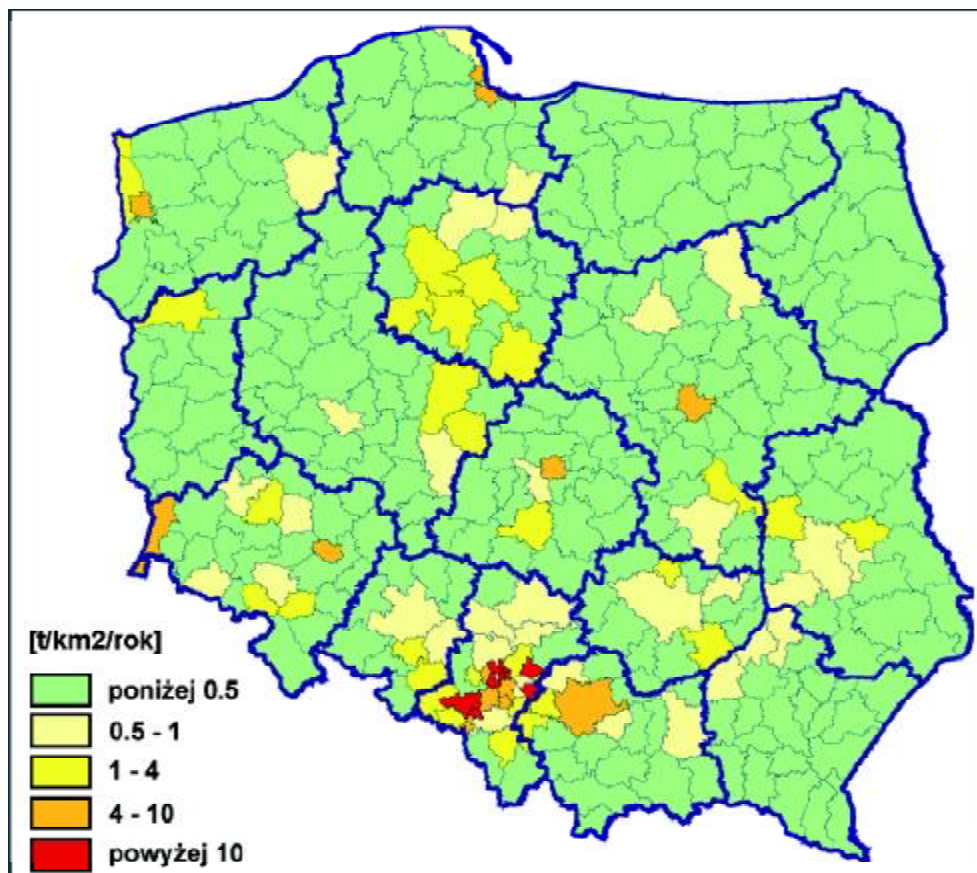
Spośród czynników antropogenicznych największy udział w zanieczyszczeniu gleb metalami mają emisje przemysłowe, związane z przemysłem górniczym i hutniczym oraz emisja wtórna z niezrekultywowanych składowisk odpadów przemysłowych. Zanieczyszczenia związane z działalnością przemysłową mają najczęściej charakter zanieczyszczeń obszarowych, które obejmują znaczne powierzchnie powstałe w wyniku oddziaływania pojedynczych źródeł o dużej emisji lub dużej liczby źródeł o mniejszej skali emisji. Emitowane zanieczyszczenia transportowane są często na bardzo duże odległości. Rozkład zagrożeń zanieczyszczeniami obszarowymi pomiędzy poszczególnymi regionami kraju jest zróżnicowany, a ich poziom w znacznym stopniu zależy od rodzaju i natężenia takich źródeł, jak: emisje zanieczyszczeń do powietrza, transport, zrzuty ścieków, jakość odpadów itp. Imisja zanieczyszczeń z tych źródeł jest procesem powolnym, jednak zachodzącym stale, co prowadzi do stopniowej ich akumulacji w glebach.

Największe zagrożenia zanieczyszczeniami obszarowymi występują w regionach o największej emisji zanieczyszczeń pyłowych do atmosfery (rys. 1).

Pewnym zobrazowaniem przestrzennym antropopresji może być również rozkład ilości ścieków przemysłowych odprowadzanych do wód i ziemi w poszczególnych powiatach (rys. 2). Metale zawarte w ściekach mają wpływ na stan chemicznej degradacji gleb dolin rzecznych.

Istotnym źródłem zanieczyszczenia gleb metalami śladowymi są nieustabilizowane składowiska odpadów pohutniczych rozproszone wśród terenów przemysłowych i rolnych, głównie w regionie śląskim (rys. 3). Brak pokrywy roślinnej powoduje migrację metali do gleb otaczających składowiska na drodze erozji wietrznej i wodnej. Procesy naturalnej sukcesji roślin odpornych na zanieczyszczenie metalami zachodzą powoli i nie zapewniają ochrony przed dyspersją metali w środowisku (rys. 4).

Należy wspomnieć, że metale śladowe w glebie mogą pochodzić również ze skały macierzystej zasobnej w te pierwiastki. Przykładami mogą być nieliczne występujące



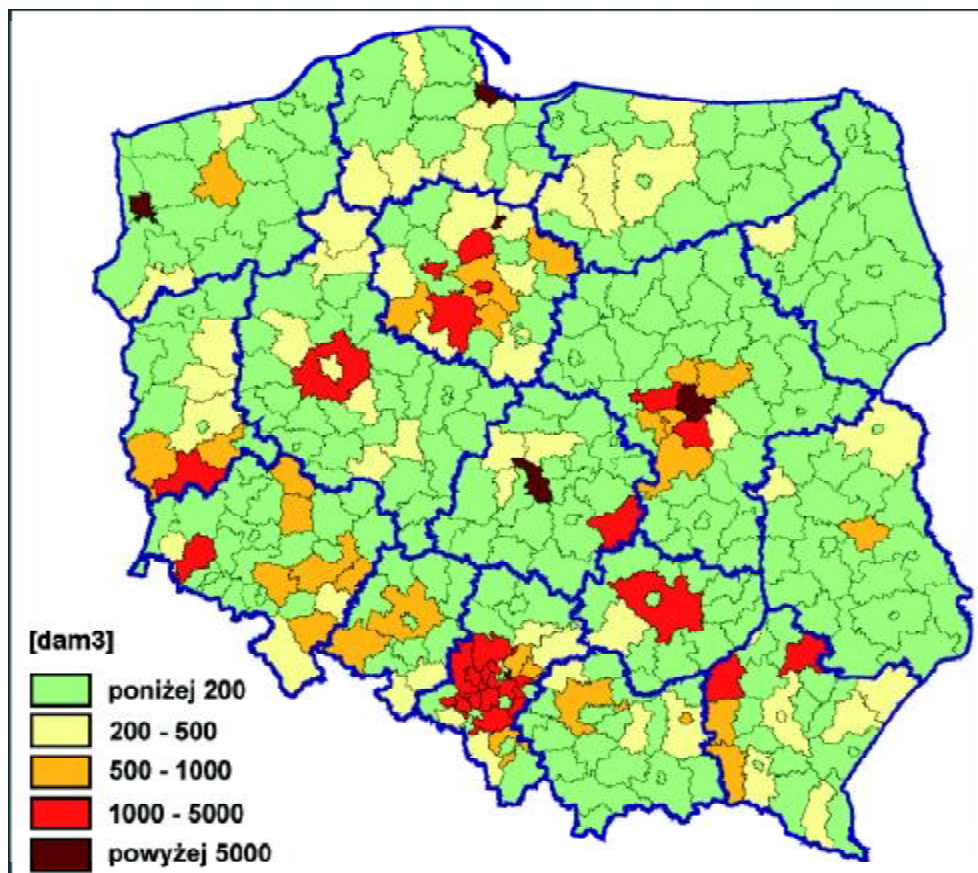
Rys. 1. Przestrzenny rozkład emisji zanieczyszczeń pyłowych z zakładów szczególnie uciążliwych na podstawie danych GUS z 2002 roku

Źródło: Stuczyński T. i in., 2006 (41).

w Polsce gleby serpentynowe, o wysokiej zawartości niklu, gleby powstałe na wychodniach skał rud cynku i ołowiu na Górnym Śląsku lub występujące punktowo podwyższone zawartości ołowiu na nieprzemysłowych obszarach województwa dolnośląskiego (40). W takim przypadku, nawet jeśli występują przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali w glebie trudno mówić o zanieczyszczeniu gleb. Metale pochodzące ze skały macierzystej gleb mają z reguły znacznie mniejszą rozpuszczalność niż metale pochodzące z zanieczyszczeń antropogenicznych.

### Potencjalne skutki zanieczyszczenia dla produkcji rolniczej

Zanieczyszczenie gleb metalami może mieć wpływ na ich przydatność rolniczą i potencjał produkcyjny, właściwości biologiczne oraz jakość płodów rolnych. Konsekwencją zanieczyszczenia gleb są zagrożenia związane z ich migracją do innych kom-



Rys. 2. Ścieki wymagające oczyszczania odprowadzone do wód powierzchniowych lub do ziemi w gminach na podstawie danych GUS z 2002 roku

Źródło: Stuczyński T. i in., 2006 (41).

ponentów środowiska – wody i powietrza. Szkodliwość metali śladowych wprowadzonych do gleby wiąże się z ich oddziaływaniem na procesy biologiczne zachodzące w glebie oraz z ich nadmiernym pobieraniem przez rośliny (1, 2). Zanieczyszczenie gleb metalami może ograniczać intensywność procesów obiegu materii w glebie wywoływanych przez mikroorganizmy, takich jak humifikacja i mineralizacja materii organicznej lub przemiany azotu, fosforu i siarki. Negatywne oddziaływanie zanieczyszczenia na aktywność lub liczebność mikroorganizmów stwierdzano najczęściej w bezpośredniej bliskości hut, przy bardzo dużej zawartości metali, takich jak cynk lub miedź (11, 15).

Zagadnienie wpływu zanieczyszczenia metalami gleb użytkowanych rolniczo, gdzie ekstremalnie wysoka zawartość metali najczęściej nie występuje, nie jest w pełni rozpoznane. Badania aktywności różnorodnych procesów mikrobiologicznych na reprezentatywnej grupie zanieczyszczonych gleb użytkowanych rolniczo w rejonie Tar-



Rys. 3. Składowisko cynkowo-olowiowych odpadów pohutniczych (żużli) w Piekarach Śląskich  
Źródło: Dokumentacja własna.

nowskich Gór wskazują na brak zależności pomiędzy zawartością metali a mierzonymi parametrami aktywności – aktywnością enzymów, oddychaniem czy wielkością biomasy (36). Najwidoczniej poziom zawartości metali i formy w jakich występują w tych długotrwale zanieczyszczonych glebach nie ograniczają ogólnej aktywności mierzonej takimi parametrami, jak oddychanie gleby lub aktywność enzymów. Ponadto mikroorganizmy wykazują mechanizmy przystosowawcze do warunków stresowych (7). Prawdopodobnie zmienia się struktura populacji mikroorganizmów, choć niezauważalny jest spadek ogólnej aktywności. Można oczekiwać, że w określonych sytuacjach ograniczeniu może ulegać aktywność procesów wrażliwych, takich jak np. nityfikacja. Zmiany w strukturze populacji mikroorganizmów wynikające z toksyczności dla najbardziej wrażliwych szczepów mogą ograniczać bioróżnorodność danego ekosystemu glebowego.

Wpływ zanieczyszczenia gleb metalami na organizmy glebowe, takie jak dżdżownice nie jest w pełni rozpoznany. Dotychczasowe badania koncentrowały się najczęściej na ocenie wpływu metali dodawanych w postaci **solii na aktywność i rozwój organizmów**. Nawet niska zawartość ołowiu wprowadzonego w postaci soli metalu oddziałuje toksycznie na dżdżownice (30). Ocena wpływu zanieczyszczenia gleb metalami na rozwój dżdżownic w warunkach rzeczywistych jest znacznie trudniejsza.



Rys. 4. Naturalna sukcesja roślin na składowisku odpadów pohnutniczych w Piekarach Śląskich  
Źródło: Dokumentacja własna.

Potencjalnie zanieczyszczenie może ograniczać aktywność fauny glebowej, a także zwiększać transfer metali do łańcucha pokarmowego poprzez te organizmy.

Negatywny wpływ metali śladowych na rośliny uprawne może objawiać się toksycznością, powodującą ograniczenie wzrostu roślin i ich plonowania, a także obniżeniem jakości plonu na skutek nagromadzenia nadmiernych ilości metali z punktu widzenia bezpieczeństwa żywieniowego. Występowanie symptomów toksyczności dla roślin w glebach użytkowanych rolniczo nie jest w Polsce powszechne. Dotyczą zazwyczaj gleb bardzo silnie zanieczyszczonych w pobliżu dawnych instalacji przemysłowych czy składowisk odpadów pohnutniczych lub silnie zanieczyszczonych gleb kwaśnych. W badaniach reakcji roślin na zanieczyszczenia w 40 różnych glebach z rejonu Tarnowskich Gór praktycznie nie stwierdzono ograniczenia wzrostu roślin pomimo wysokich całkowitych zawartości metali w większości gleb (31). Zahamowanie wzrostu roślin wystąpiło jedynie na kilku średnio zanieczyszczonych glebach kwaśnych, gdzie słaby ich rozwój wynikał z dużej mobilności metali i wpływu samego odczynu.

Znacznie bardziej istotny problem stanowi jakość jadalnych części roślin uprawianych na glebach zanieczyszczonych. Na gruntach ornych rozmieszczonych wokół przemysłowych terenów województwa śląskiego znaczne przekroczenia dopuszczalnych zawartości kadmu i ołowiu w roślinach są dość powszechne (9, 31). Kadm jest

dość łatwo pobierany przez rośliny i transportowany do ich części nadziemnych w przeciwieństwie do ołowiu (3). Znaczne ilości ołowiu mogą być akumulowane w korzeniach roślin, natomiast jego nadmiar w częściach nadziemnych najczęściej wynika z zanieczyszczenia roślin pyłem lub jest powodowany przez glebę zasobną w ten pierwiastek.

Odrębne zagadnienie stanowi zawartość kadmu w plonach roślin uprawianych na glebach niezanieczyszczonych, w rolniczych regionach kraju. Badania obejmujące około 35 tysięcy próbek roślinnych pobranych na terenie całego kraju (45) wskazują na przekroczenia dopuszczalnych zawartości kadmu w roślinach zbożowych i okopowych, nawet na glebach klasyfikowanych jako niezanieczyszczone (tab. 2). W dużej mierze za zjawisko to odpowiedzialne jest zakwaszenie gleb dużych obszarów użytków rolnych Polski. Przekroczenia te nie wiążą się z zagrożeniem dla zdrowotności populacji, natomiast mogą stanowić realną trudność w spełnianiu kryteriów jakości określonych dla płodów rolnych. S t u c z y ń s k i i in. (42) wskazują na potrzebę uwzględnienia właściwości gleb w ocenie stanu zanieczyszczenia oraz na konieczność szerszej dyskusji na temat wartości progowych i metod analizy ryzyka.

Decydujące znaczenie dla środowiskowych skutków zanieczyszczenia gleb ma mobilność metali zawartych w glebie i ich dostępność dla roślin i organizmów glebowych. Metale śladowe występują w glebie w różnych formach. Całkowita zawartość metali w glebie obejmuje różne frakcje charakteryzujące się zróżnicowaną dostępnością dla roślin. Rośliny pobierają metale znajdujące się w roztworze glebowym, które pozostają w stanie równowagi z frakcjami związanymi ze stałą fazą gleby wskutek procesów adsorpcji, wymiany, kompleksowania lub wytrącania (22). Spośród właściwości gleb największy wpływ na dostępność metali śladowych mają odczyn i pojemność sorpcyjna. Na ogół dostępność Zn, Pb i Cd zmniejsza się wraz ze wzrostem pH, przynajmniej w zakresie wartości pH spotykanych w glebach (rys. 5), co wiąże się głównie ze zwiększoną adsorpcją i wytrącaniem w środowisku o odczynie obojętnym i zasadowym (27, 28, 32).

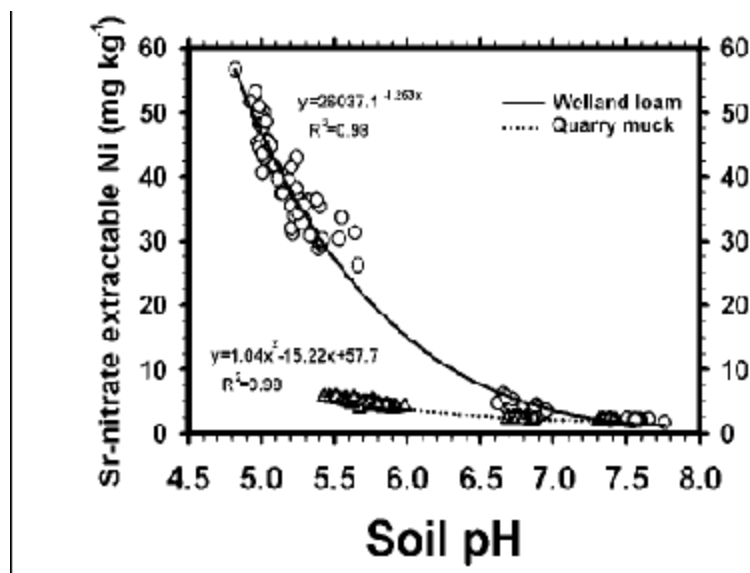
Tabela 2

Procentowy udział grup roślin spełniających kryteria jakości pod względem zawartości kadmu, według wytycznych IUNG w poszczególnych klasach zanieczyszczenia gleb tym pierwiastkiem

Stopień zanieczyszczenia gleb	Przydatność rośliny		
	konsumpcyjna	paszowa	pozostałe
0	75,6	21,3	3,1
I	47,1	39,7	13,2
II	21,8	50,1	28,1
III	11,2	43,9	44,9
IV	8,0	47,6	44,4
V	0	44,0	56,0
Razem	72,2	23,4	4,4

Źródło: Stuczyński T. i in., 2007 (42).





Rys. 5. Zależność pomiędzy odczynem gleby i rozpuszczalnością niklu w glebie organicznej (Quarry muck) i mineralnej (Welland loam)

Źródło: Siebielec G. i Chaney R. L., 2006 (32).

Pojemność sorpcyjna gleby związana jest ze składem granulometrycznym i mineralogicznym oraz zawartością materii organicznej. Najczęściej dostępność Zn, Pb i Cd jest niższa w glebach cięższych i o większej zawartości materii organicznej, choć niektóre połączenia metali ze związkami organicznymi mogą zwiększać ich rozpuszczalność (27).

Koncentracja innych pierwiastków ma wpływ na dostępność Zn, Pb i Cd dla roślin zarówno poprzez interakcje z tymi metalami, jak i poprzez wpływ na ich aktywność w roztworze glebowym. Podwyższona zawartość fosforu w glebie obniża pobieranie Zn i Cd, a Zn ogranicza pobieranie Cd. Fosfor ogranicza pobieranie ołowiu poprzez wytrącanie nierozpuszczalnych fosforanów w glebie lub na powierzchni korzeni (6, 37). Stwierdzono również, że podwyższona zawartość chlorków w glebie zwiększa pobieranie kadmu (20, 38).

Zachowanie się metali pochodzenia antropogenicznego w glebie zależy w dużym stopniu od formy w jakiej dostają się one do gleby, np. opad pyłu z atmosfery wnosi metale w formie tlenków, węglanów bądź siarczanów. Metale pochodzące z pyłów hutniczych są dość łatwo dostępne, natomiast metale, które dostają się do gleby wraz z osadami ściekowymi są mniej przyswajalne dla roślin (4, 28). Najmniej dostępne są metale pochodzące ze skały macierzystej gleby, ponieważ w dużej części pozostają w sieci krystalicznej minerałów pierwotnych (35).

Oprócz zagrożenia środowiskowego duży udział gleb zanieczyszczonych powoduje ograniczenia dla produkcji rolniczej, wpływające na sytuację społeczno-ekonomiczną i konieczność poszukiwania alternatywnych sposobów wykorzystania gruntów.

### Kryteria oceny stanu zanieczyszczenia gleb

Kryteria oceny zanieczyszczenia gleb metalami śladowymi i innymi substancjami są w naszym kraju uregulowane rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (26). Określono w nim dopuszczalne zawartości substancji szkodliwych, w tym metali śladowych, z uwzględnieniem typu użytkowania ziemi. Podane w rozporządzeniu standardy wprowadzają podział gleb i ziemi na „nie zanieczyszczone” i „zanieczyszczone” (o zawartości metalu wyższej niż dopuszczalna). W tabeli 3 przedstawiono dopuszczalne zawartości metali śladowych dla różnych typów użytkowania ziemi.

Z uwagi na fakt, że rozporządzenie nie określa stanów pośrednich w celu bardziej miarodajnej oceny ryzyka akumulacji metali w roślinach często dodatkowo uwzględniany jest sposób oceny zanieczyszczenia gleb metalami opracowany przez IUNG (18). Wytyczne te uwzględniają właściwości gleb decydujące o mobilności metali w środowisku (odczyn, materia organiczna, skład granulometryczny) i klasyfikują gleby według 6 tzw. stopni zanieczyszczenia; progi dla poszczególnych stopni są ustalone w sposób odzwierciedlający ryzyko akumulacji kadmu, cynku, ołowiu, miedzi i niklu w roślinach uprawnych.

W badaniach naukowych do oceny skutków zanieczyszczenia gleb często stosuje się ekstrakcje mało stężonymi roztworami soli neutralnych, takich jak chlorek wapnia lub azotan wapnia. Frakcje metali wymywane tymi roztworami stanowią dobrą miarę dostępności metali dla roślin (21, 31, 33). Celowe wydaje się włączenie takich oznaczeń do praktycznych badań środowiskowych i analiz ryzyka.

Tabela 3

Zawartości graniczne wybranych pierwiastków śladowych w powierzchniowej warstwie gleby (mg/kg) według rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi

Pierwiastek	Obszary chronione	Użytki rolnicze	Tereny przemysłowe
Arsen	20	20	60
Chrom	50	150	500
Cynk	100	300	1000
Kadm	1	4	15
Kobalt	20	20	200
Miedź	30	150	600
Molibden	10	10	250
Nikiel	35	100	300
Ołów	50	100	600
Rtęć	0,5	2	30

Źródło: Dz. U. Nr 165, poz. 1359 (26).

### Stan zanieczyszczenia gleb metalami w Polsce

Informacje na temat stanu zanieczyszczenia gleb w Polsce pochodzą z wyników programu monitoringu gleb użytkowanych rolniczo, realizowanego w IUNG w Puławach w latach 1992–1997 (47). Program ten obejmował ponad 45 tysięcy punktów poboru próbek glebowych na terenach użytkowanych rolniczo w całym kraju. Oznaczenia właściwości gleb i zawartości zanieczyszczeń były prowadzone w Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych i opracowywane w IUNG (47).

Na podstawie danych monitoringowych należy stwierdzić, że według aktualnie obowiązujących w Polsce przepisów prawnych (26) ponad 99% powierzchni użytków rolnych w skali kraju spełnia kryteria zawartości metali wymagane dla gleb rolnych (rys. 6, tab. 4). W najbardziej uprzemysłowionym woj. śląskim, w przypadku takich pierwiastków, jak kadm, cynk i ołów, gleby zanieczyszczone stanowią od 5 do 10% gleb użytkowanych rolniczo. Fakt ten związany jest z oddziaływaniem przemysłu wydobywczego i przetwórczego rud cynku i ołowiu zlokalizowanego w wielu miastach regionu. Wyższe zawartości metali na poziomie przekraczającym wartości progowe występują także w pojedynczych punktach badawczych w glebach innych regionów historycznie obciążonych skutkami wydobywania i przeróbki rud metali (Głogów, Lubin). W niektórych przypadkach przekroczenia dopuszczalnych zawartości wyni-



Rys. 6. Zanieczyszczenie gleb kadmem według kryteriów IUNG

Źródło: Terelak H. i in., 1999 (46).

Tabela 4

Udział gleb niezanieczyszczonych według kryteriów zawartych w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi w poszczególnych województwach

Województwo	Udział gleb niezanieczyszczonych (%)				
	miedź	nikiel	ołów	cynk	kadm
Dolnośląskie	99,67	99,87	99,47	99,44	100,00
Kujawsko-pomorskie	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Lubelskie	99,95	100,00	99,92	100,00	99,95
Lubuskie	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Łódzkie	99,91	100,00	99,78	99,53	99,81
Małopolskie	99,96	99,75	97,33	98,79	99,25
Mazowieckie	100,00	100,00	99,98	99,98	100,00
Opolskie	99,94	100,00	99,69	99,57	99,57
Podkarpackie	99,96	99,96	99,96	100,00	99,96
Podlaskie	100,00	99,96	99,96	99,96	100,00
Pomorskie	99,95	100,00	99,91	99,95	99,91
Śląskie	100,00	99,81	90,19	91,69	94,37
Świętokrzyskie	100,00	100,00	99,95	100,00	99,95
Warmińsko-mazurskie	100,00	99,97	99,93	99,90	100,00
Wielkopolskie	100,00	100,00	99,89	99,82	99,98
Zachodniopomorskie	100,00	100,00	99,96	99,89	100,00
Polska	99,96	99,96	99,31	99,43	99,66

Źródło: Stuczyński T. i in., 2005 (41) na podstawie danych monitoringowych – Terelak H. i in., 1999 (45).

kają także z naturalnie wysokiego poziomu metali w glebach powstałych ze skały macierzystej o dużym udziale tych pierwiastków.

Stosując kryteria IUNG ocenia się, że udział gleb rolnych niezanieczyszczonych takimi pierwiastkami, jak: kadm, cynk, ołów, miedź i nikiel przekracza 98% wszystkich gleb.

Bardziej szczegółowe badania próbek glebowych potwierdziły brak obszarów zanieczyszczonych w niektórych regionach typowo rolniczych (woj. podlaskie) oraz niewielki udział takich gleb (poniżej 1% wszystkich gleb) w regionach nieco bardziej uprzemysłowionych (woj. dolnośląskie); (39, 40). Należy podkreślić, że nawet w regionach przemysłowych zdecydowana większość gleb użytków rolnych nadaje się do uprawy roślin, a ryzyko nadmiernej akumulacji metali w roślinach jest ograniczone i ma charakter lokalny. Stwierdzone lokalnie przekroczenia standardów jakości gleb powinny być przedmiotem badań szczegółowych, w celu określenia zasięgu obszarów ryzyka i opracowania zasad użytkowania zapewniających eliminację zagrożeń.

Dość liczne badania nad zanieczyszczeniem gleb regionów o charakterze przemysłowym koncentrowały się głównie na ocenie wpływu hut metali nieżelaznych na glebę. Największe zainteresowanie dotychczas dotyczyło Górnego Śląska z hutnictwem cynku i ołowiu oraz Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. W regionie Górnego Śląska kilka opracowań dotyczyło rejonu Tarnowskich Gór, od stuleci ośrodka

górnictwa i przeróbki rud cynku i ołowiu. W badaniach przeprowadzonych na przełomie lat 80. i 90. ubiegłego stulecia na glebach wykorzystywanych głównie rolniczo i ogrodniczo (9, 14) stwierdzono duży udział gleb o zawartościach kadmu, cynku i ołowiu znacznie przewyższających zawartości naturalne, spotykane w glebach nieznajdujących się pod wpływem antropopresji. W ponad 25% miejsc stwierdzono zawartości przekraczające obecne wartości graniczne dla kadmu ustalone dla rolniczego użytkowania ( $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) oraz w ponad 5% miejsc przekraczające limity dla gleb terenów przemysłowych ( $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); (9). Podobną sytuację zaobserwowano w przypadku ołowiu i cynku. Zawartości niklu, chromu i miedzi były z reguły na poziomie naturalnych zawartości dla gleb regionu.

Gleby w bezpośredniej bliskości emiterów pyłów pohutniczych zostały silnie zanieczyszczone (10), przy czym badania zwykle dotyczyły obszaru strefy ochronnej wokół zakładów lub odległości nie większej niż kilka kilometrów. Zawartości cynku i ołowiu dochodziły do kilku, a nawet kilkunastu tysięcy  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w obrębie kilkuset metrów od emiterów pyłów. Liczne badania w rejonie oddziaływania hut Miasteczko Śląskie i Bolesław potwierdziły dominujący wpływ opadu pyłów na rozmiar zanieczyszczenia, o czym świadczyło zmniejszanie się zawartości Zn, Pb i Cd wraz z głębokością, a także zależność zawartości od odległości od huty oraz wielkości opadu pyłów (10). Najściślejszą zależność od odległości wykazano dla ołowiu (49), który jest mniej mobilny niż kadm i cynk; w mniejszym stopniu podlegał więc wymywaniu w głąb profilu gleby. Ponadto najwyższe zawartości stwierdzono w glebach rędzinowych o najwyższym pH, a co za tym idzie największej zdolności unieruchamiania metali (49). Najwyższe zawartości metali występowały w glebach cięższych, o czym świadczą korelacje całkowitych zawartości metali z zawartością części spławialnych, potwierdzone w późniejszych badaniach (31).

Brak jest aktualnych danych na temat dostępności metali w glebach terenów pod oddziaływaniem hutnictwa rud cynku i ołowiu. Badania takie nie były na większą skalę wykonywane, a oceny przeprowadzone w pobliżu niektórych obiektów w latach 70. nie mają obecnie zastosowania, gdyż wykonywano je w latach intensywnego opadu pyłów zawierających metale w dość mobilnej formie. W późniejszych badaniach dotyczących gleb z rejonu Tarnowskich Gór analizy sekwencyjne wykazały, że metale w tych glebach występują w formach stosunkowo słabo rozpuszczalnych (5, 36). Nierozpoznany dotychczas jest stan zanieczyszczenia gleb wokół składowisk odpadów pohutniczych na Górnym Śląsku. Niezrekultywowane składowiska odpadów zawierających do kilku procent cynku i ołowiu stanowią realne źródło wtórnej dyspersji zanieczyszczeń (43).

Podsumowując, dostępne dane świadczą o wysokich całkowitych zawartościach metali w glebach na obszarach bezpośredniego oddziaływania hut cynku i ołowiu, traktowanych niezależnie od przyjętych kryteriów jako zanieczyszczone. Należy jednak zaznaczyć, że z reguły najwyższe zawartości spotykane są w glebach o odczynie obojętnym lub alkalicznym i dużej pojemności sorpcyjnej, co decyduje o ograniczonej mobilności i biodostępności metali. Ponadto najwyższe zawartości stwierdza się w pobliżu emiterów zanieczyszczeń (np. hut).

Badania wykonane dotychczas na terenach oddziaływania hut miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM) wykazały kumulację miedzi i innych metali w glebach w bezpośredniej bliskości hut. W odległości kilkuset metrów od emiterów zawartości miedzi i ołowiu dochodziły do kilku tysięcy mg/kg gleby. W znacznie mniejszym stopniu gleby te uległy zanieczyszczeniu cynkiem. W glebach o stosunkowo dużej zawartości materii organicznej miedź i ołów kumulowały się w poziomach powierzchniowych przy ograniczonym przemieszczaniu się do warstw głębszych (29, 44).

Podobnie jak w przypadku hut cynku i ołowiu na Górnym Śląsku nie są znane dokładne i aktualne zasięgi zanieczyszczeń wokół hut miedzi. D r o z d i in. (8) wykazali w I połowie lat 80. dużą zmienność zasięgu i stopnia zanieczyszczenia w zależności od kierunku. Zawartości miedzi powyżej obecnego limitu dla obszarów przemysłowych ( $>600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); (26) oznaczano w próbkach z miejsc położonych nie dalej niż 900-1800 metrów od huty. Aktualne badania wykazały zawartości miedzi na poziomie  $200\text{-}300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w odległości 3-5 km od Huty Głogów (16). Wartości te nie przekraczają zawartości granicznych dla terenów przemysłowych (26). Zawartość miedzi w odległości 0,5 km od huty dochodziła do ponad  $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

### **Produkcja rolnicza na terenach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych**

Wykorzystując dane środowiskowe oraz społeczno-ekonomiczne pozyskane z Głównego Urzędu Statystycznego (13) scharakteryzowano warunki produkcji rolniczej w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych. Do oceny zakwalifikowano gminy o udziale zanieczyszczonych gleb użytków rolnych, według kryteriów rozporządzenia w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (26), większym niż 5% wszystkich użytków rolnych. Udział gleb zanieczyszczonych został oszacowany na podstawie cyfrowych map zanieczyszczenia gleb użytków rolnych Polski wytworzonych poprzez interpolację punktowych danych monitoringowych. W 10 gminach udział gleb zanieczyszczonych wynosi ponad 50% użytków rolnych, a w 34 gminach jest większy niż 5% użytków rolnych. Występowanie takich gmin stwierdzono w 5 województwach, przy czym najwięcej w województwie śląskim i małopolskim (tab. 5). Rozkład przestrzenny gmin o dużym udziale gleb zanieczyszczonych przedstawiono na rysunku 7.

Użytki rolne w gminach w grupach 10-30% i ponad 50% gleb zanieczyszczonych zajmują nie więcej niż 45% całkowitej powierzchni gmin, tj. nieco mniej niż wynosi udział użytków rolnych w Polsce – 50,9% (13); (tab. 6). Gminy te nie mają zatem w pełni rolniczego charakteru. Użytki rolne to w zdecydowanej większości grunty orne stanowiące ponad 75% powierzchni. Pastwiska zajmują jedynie 2-3,8% użytków rolnych. Mały udział pastwisk jest korzystny, gdyż użytkowanie pastwiskowe zwiększa ryzyko transferu metali do organizmów zwierząt. Zwraca uwagę duży udział odłogowanych użytków rolnych, stanowiący ponad 20% całkowitej powierzchni w każdej z grup gmin (tab. 6), przy średniej dla kraju 5,1% (13). Fakt ten świadczy o poszuki-

Tabela 5

Liczba gmin o udziale gleb zanieczyszczonych powyżej 5% powierzchni użytków rolnych

Województwo	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)				
	>50	30-50	10-30	5-10	<5
Dolnośląskie	0	0	1	1	131
Małopolskie	4	0	3	7	152
Opolskie	0	0	0	2	66
Śląskie	6	4	2	3	103
Łódzkie	0	0	1	0	158
Razem	10	4	7	13	2150

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 6

Struktura użytkowania gruntów w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych

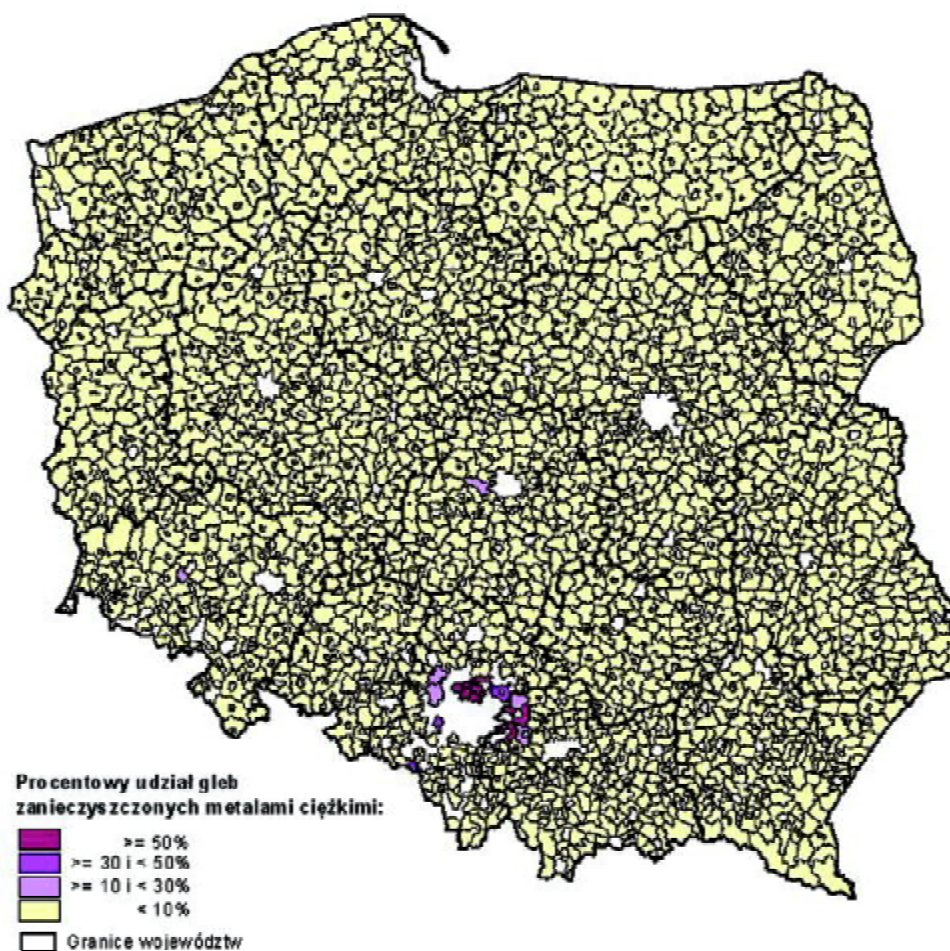
Sposób użytkowania	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)		
	>50	30-50	10-30
Użytki rolne (% pow.)	43,5	65,5	45,1
Grunty orne (% UR)	74,6	76,8	81,3
Łąki (% UR)	22,1	18,8	14,2
Pastwiska (% UR)	2,0	3,3	3,8
Odłogi (% UR)	32,5	24,3	24,8

Źródło: Opracowanie własne.

waniu alternatywnych źródeł utrzymania przez mieszkańców wsi. Wydaje się, że niezbędne są analizy przestrzenne w celu określenia czy w gminach tych preferencyjnie wyłączane są z produkcji rolniczej użytki na glebach zanieczyszczonych.

Gminy o największym udziale gleb zanieczyszczonych (powyżej 50%) charakteryzuje dość niski potencjał produkcji rolniczej, wyrażony syntetycznym wskaźnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP) – 58,3. Pozostałe analizowane gminy, z przedziału 5-50% gleb zanieczyszczonych, posiadają nieco lepsze warunki siedliskowe, bowiem średni WWRPP wynosi ponad 65 punktów (tab. 7). Średnie plony zbóż, poza gminą Krotoszyce w województwie dolnośląskim o bardzo wysokim wskaźniku WRPP – 92,8 – są stosunkowo niskie. Mimo to istnieje zależność pomiędzy wskaźnikiem WRPP a średnim plonem zbóż, co może wskazywać, że zanieczyszczenie gleb nie ogranicza potencjału plonotwórczego gleb w analizowanych gminach (rys. 8). Stosunkowo niskie plony wynikają zapewne z małych nakładów na produkcję rolniczą. Odrębnym zagadnieniem jest oczywiście jakość uzyskiwanego plonu.

W analizowanych gminach nieznaczny odsetek stanowią gleby o bardzo niskiej zawartości materii organicznej (poniżej 1%), co ogranicza negatywne skutki zanieczyszczenia; w uproszczeniu można stwierdzić, że im większa zawartość materii organicznej tym niższa biodostępność metali. Wielce niekorzystnym zjawiskiem jest na-



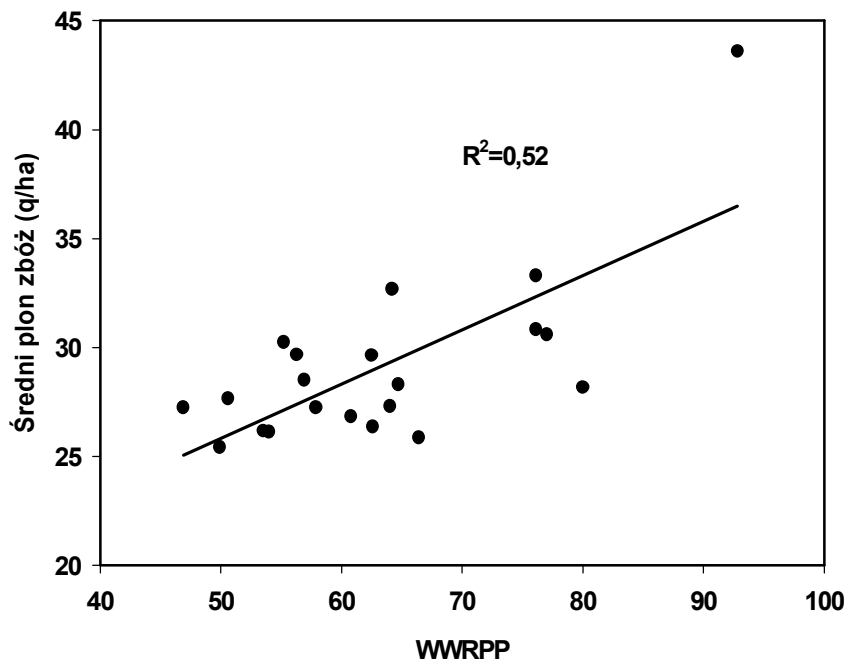
Rys. 7. Rozkład przestrzenny gmin o udziale gleb zanieczyszczonych przekraczającym 10% powierzchni użytków rolnych

Źródło: Opracowanie własne.

tomiast duży udział gleb kwaśnych w tych gminach, co zwiększa ryzyko migracji metali do łańcucha pokarmowego (tab. 7).

Analiza struktury zasiewów w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych wskazuje, że ponad 70% całkowitej powierzchni upraw stanowią zboża, w tym 20-30% zajmuje pszenica. Żyto zajmuje 5-15% powierzchni wszystkich upraw. Należy zaznaczyć, że uprawa pszenicy na glebach zanieczyszczonych niesie nieco większe ryzyko transferu kadmu do łańcucha pokarmowego, gdyż gatunek ten w tych samych warunkach z reguły gromadzi więcej kadmu w ziarnie niż żyto (Grabiński i Stuczyński, dane niepubl.). Innym gatunkiem powszechnie uprawianym w analizowanych gminach jest ziemniak, który zajmuje 9-17% powierzchni upraw.





Rys. 8. Zależność pomiędzy wskaźnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej a plonowaniem w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych (powyżej 10% użytków rolnych)

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7

Wskaźniki jakości gleb w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych

Wyszczególnienie	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)			
	>50	30-50	10-30	5-10
Wskaźnik WRPP	58,3	67,6	67,9	65,7
Udział gleb o zawartości materii organicznej <1% (%)	0,001	0,07	0,20	1,36
Udział gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych (%)	12,8	27,0	41,6	49,2
Udział gleb zagrożonych erozją (%)	29,6	12,9	20,2	50,3

Źródło: Opracowanie własne.

Średnia powierzchnia gospodarstwa w poszczególnych grupach gmin wynosi 1,8-4,4 ha, będąc najniższą w gminach o udziale gleb zanieczyszczonych przewyższającym 50% (tab. 8). Według danych GUS nieznaczny odsetek gospodarstw ogranicza się do jednego źródła dochodów, wyłącznie z produkcji rolniczej. Niepokojącym zjawiskiem jest niewielki odsetek gospodarstw stosujących nawozy wapniowe, który stanowi zaledwie kilka procent (tab. 8). Wapnowanie jest najprostszym sposobem ograniczania rozpuszczalności metali w glebie, a co za tym idzie zmniejszania transferu metali, takich jak cynk, kadm i nikiel do części nadziemnych roślin (33).

Tabela 8

Charakterystyka produkcji rolniczej w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych

Wskaźnik	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)			
	>50	30-50	10-30	5-10
Powierzchnia gospodarstwa (ha)	1,8	3,8	4,4	2,6
Udział gosp. o dochodach tylko z rolnictwa (%)	1,9	3,4	11,1	4,8
Produkcja towarowa (1000 zł/gosp.)	11,1	11,5	40,2	11,3
Obsada zwierząt (SD/100 ha)	22,3	25,6	25,7	34,4
Udział gosp. stosujących nawozy wapniowe (%)	2,4	6,6	7,5	6,1
Udział gosp. nierozdrobnionych (%)	85,6	89,6	82,4	84,3

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS z roku 2005.

### Podsumowanie

Jak wskazują badania monitoringowe nieznaczny odsetek gleb użytkowanych rolniczo stanowią gleby zanieczyszczone metalami śladowymi zarówno według kryteriów zawartych w rozporządzeniu w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, jak i wytycznych IUNG. W 34 gminach udział gleb zanieczyszczonych metalami, oceniany według obecnych kryteriów, wynosi ponad 5% użytków rolnych. Są one zlokalizowane w województwach: śląskim, małopolskim, dolnośląskim, opolskim i łódzkim. W gminach tych przeważają niewielkie gospodarstwa, w których produkcja rolnicza nie jest jedynym źródłem dochodów. Największy problem środowiskowy stanowi w nich duży udział gleb kwaśnych i niewielkie nakłady na wapnowanie, co negatywnie wpływa na jakość plonów. Wydaje się, że dla ograniczenia ryzyka związanego z występowaniem gleb zanieczyszczonych na użytkach rolnych niezbędne jest wprowadzenie, oprócz zabiegów wapnowania, właściwej praktyki rolniczej uwzględniającej odpowiedni dobór odmian i nawozów. W badaniach Grabiński i Słucki (12) stwierdzono duże zróżnicowanie nagromadzenia kadmu w ziarnie pszenicy w zależności od odmiany i formy nawozu potasowego. Celowa byłaby zmiana struktury zasiewów w kierunku zmniejszenia udziału pszenicy na korzyść innych gatunków zbóż.

Celem wspólnym dla ośrodków naukowych i administracji powinno być zintensyfikowanie działań na rzecz wyznaczenia dokładnych zasięgów zanieczyszczenia, ewidencji obszarów zanieczyszczonych w postaci baz danych oraz oceny ryzyka związanego z zanieczyszczeniem gleb. Istotne znaczenie ma doskonalenie metod rekultywacji gleb zanieczyszczonych, wśród których metody unieruchamiania metali za pomocą tanich i powszechnie dostępnych materiałów należy uznać za priorytetowe.

## Literatura

1. B a a t h E.: Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *Water Air Soil Poll.*, 1989, **47**: 335-379.
2. C h a n e y R. L.: Zinc phytotoxicity. In: *Zinc in soils and plants* (ed. A. D. Robson). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1993, 135-150.
3. C h a n e y R. L., O l i v e r D. P.: Sources, potential adverse effects and remediation of agricultural soil contaminants. In: *Contaminants and the soil environment in the Australasia-Pacific Region* (ed. R. Naidu). Proceedings of the First Australasia-Pacific Conference on Contaminants and Soil Environment in the Australasia-Pacific Region, Adelaide, 1996, 323-359.
4. C h a n e y R. L., R y a n J. A., K u k i e r U., B r o w n S. L., S i e b i e l e c G., M a l i k M., A n g l e J. S.: Heavy metal aspects of compost use. W. P. J. Stofella i B. A. Kahn (eds). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2001.
5. C h ł o p e c k a A., B a c o n J. R., W i l s o n M. J., K a y J.: Forms of cadmium, lead, and zinc in contaminated soils from southwest Poland. *J. Environ. Qual.*, 1996, **25**: 69-79.
6. C o t t e r - H o w e l l s J.: Lead phosphate formation in soils. *Environ. Poll.*, 1995, **90**: 1-8.
7. D i a z - R a v i n a M., B a a t h E.: Development of metal tolerance in soil bacterial communities exposed to experimentally increased metal levels. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1996, **62**: 2970-2977.
8. D r o z d J., K o w a l i Ń s k i S., L i c z n a r M.: Strefowe zanieczyszczenie gleb Cu, Zn i S oraz zmiany erozyjne pokrywy glebowej w rejonie oddziaływania huty miedzi. *Rocz. Glebozn.*, 1984, **35**: 33-47.
9. D u d k a S., P i o t r o w s k a M., M a t y s i a k Z., W i t e k T.: Spatial distribution of trace metal concentrations in arable soils and crop plants of Poland. *Pol. J. Environ. Stud.*, 1995, **4**: 9-16.
10. F a b e r A., N i e z g o d a J.: Zanieczyszczenie gleb i roślin uprawnych w pobliżu huty cynku i ołowiu. *Cz. I. Gleby. Rocz. Glebozn.*, 1982, **33**: 93-107.
11. F r i t z e H., N i i n i S., M i k k o l a K., M a k i n e n A.: Soil microbial effects of a Cu-Ni smelter in southwestern Finland. *Biol. Fertil. Soils*, 1989, **8**: 87-94.
12. G r a b i Ń s k i J., S t u c z y Ń s k i T.: Pobieranie kadmu przez odmiany pszenicy ozimej i jarej w zależności od formy chemicznej nawozu potasowego. *Ann. UMCS, Sec. E*, 2004, **59**: 553-558.
13. GUS. *Rocznik Statystyczny*. Warszawa, 2006.
14. G z y l J., M a r c h w i Ń s k a E., K u l k a E., K u c h a r s k i R., N o w i Ń s k a Z., S a s - N o w o s i e l s k a A., P i e s a k Z., W c i s ł o E.: Monitoring zanieczyszczeń roślin jadalnych i paszowych w województwie katowickim. *Wyd. IETU, Katowice*, 1995.
15. J o r d a n M. J., L e c h e v a l i e r M. P.: Effects of zinc-smelter emissions on forest soil microflora. *Can. J. Microbiol.*, 1975, **21**: 1855-1865.
16. K a r c z e w s k a A.: Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 2002, **432**: ss. 159.
17. K a b a t a - P e n d i a s A., D u d k a S., C h ł o p e c k a A., G a w i n o w s k a T.: Background levels and environmental influences on trace metals in soils of the temperate humid zone of Europe. In: *Biogeochemistry of trace metals* (ed. D. Adriano). Lewis Publishers, 1992, 61-84.
18. K a b a t a - P e n d i a s A., M o t o w i c k a - T e r e l a k T., P i o t r o w s k a M., T e r e l a k H., W i t e k T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy*, 1993.
19. K u k l a H., S a d u r s k i W., S t u c z y Ń s k i T., P i s t e l o k F.: Charakterystyka sorpcji metali ciężkich w osadach ściekowych z regionu Górnego Śląska. *Mat. III Konf. Nauk.-Techn. „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”*. Świnoujście, 1999.
20. L i Y. M., C h a n e y R. L., S c h n e i t e r A.: Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant Soil*, 1994, **167**: 275-280.
21. L i Y. M., C h a n e y R. L., S i e b i e l e c G., K e r s h n e r B. A.: Response of four turfgrass cultivars to limestone and biosolids compost amendments of a zinc and cadmium contaminated soil at Palmerton, PA. *J. Environ. Qual.*, 2000, **29**: 1440-1447.

22. Mattigod S. V., Sposito G., Page A.: Factors affecting the solubilities of trace metals in soils. In: Chemistry in the soil environment. ASA, SSSA, Madison, WI, 1981, 203-221.
23. McBride M. B.: Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are U.S. EPA regulations protective? J. Environ. Quality, 1995, **24**: 5-18.
24. McLaughlin M. J., Tiller K. G., Naidu R., Stevens D. P.: Review: The behavior and environmental impact of contaminants in fertilizers. Aust. J. Soil Res., 1995, **34**: 1-54.
25. Ministerstwo Środowiska: Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 1 sierpnia 2002 r. Dz. U. Nr 134, poz. 1140.
26. Ministerstwo Środowiska: Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi z dnia 9 września 2002 roku. Dz. U. Nr 165, poz. 1359.
27. Moraghan J. T., Mascani H. J.: Environmental and soil factors affecting micronutrients deficiencies and toxicities. In: Micronutrients in agriculture. 2 ed. (ed. Mortvedt i in.). SSSA, Madison, WI, 1991, 371-413.
28. Morel J. L.: Bioavailability of trace elements to terrestrial plants. In: Soil ecotoxicology (ed. Tarradellas i in.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1997, 141-176.
29. Roszyk E., Szerszeń L.: Nagromadzenie metali ciężkich w warstwie ornej gleb stref ochrony sanitarnej przy hutach miedzi. Cz. 1. Legnica. Roczn. Glebozn., 1988, **39**: 135-141.
30. Saint-Denis M., Narbonne J. F., Arnaud C., Ribera D.: Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida andrei* exposed to contaminated artificial soil: effects of lead acetate. Soil Biol. Biochem., 2001, **33**: 395-404.
31. Siebielec G.: Wpływ cynku, ołowiu i kadmu na wybrane biologiczne wskaźniki gleb użytkowanych rolniczo w rejonie Tarnowskich Gór. Praca doktorska, IUNG Puławy, 2001.
32. Siebielec G., Chaney R. L.: Mn fertilizer requirement to prevent Mn deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 2006, **37**: 163-179.
33. Siebielec G., Chaney R. L., Kukier U.: Liming to remediate Ni contaminated soils with diverse properties and a wide range of Ni concentration. Plant Soil, 2007, **299**: 117-130.
34. Siebielec G., Stuczyński T.: Trace metals in biosolids produced in Poland. Streszczenia konferencji EC Opole, 2007.
35. Siebielec G., Stuczyński T., Kabata-Pendias A., Terelak H., Mroczkowski W.: Ocena biodostępności metali śladowych w zależności od sposobu ich unieruchamiania w glebie z uwzględnieniem różnych źródeł zanieczyszczenia. Raport końcowy tematu badawczego 4.06. IUNG-PIB Puławy, 2005.
36. Siebielec G., Stuczyński T., Korzeniowska-Puculek R.: Metal bioavailability in long term contaminated soils of Tarnowskie Góry area. Pol. J. Environ. Stud., 2006, **15**: 121-129.
37. Sikora F. J., Wolt J.: Effect of cadmium and zinc treated sludge on yield and cadmium – zinc uptake of corn. J. Environ. Quality, 1986, **15**: 341-345.
38. Smolders E., Lambregts R. M., McLaughlin M. J., Tiller K. G.: Effect of soil solution chloride on cadmium availability to swiss chard. J. Environ. Quality, 1998, **27**: 426-431.
39. Stuczyński T. i in. (praca zbiorowa): Wdrożenie zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla potrzeb ochrony gruntów w województwie podlaskim. Urząd Marszałkowski Województwa Podlaskiego, IUNG-PIB Puławy, 2006, ss. 240.
40. Stuczyński T. i in. (praca zbiorowa): Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim w latach 2000–2005. Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, IUNG-PIB Puławy, 2007, ss. 223.
41. Stuczyński T., Dębicki R., Gonet S., Stępniewski W., Czyż E., Maliszewska-Kordybach B., Rejman J., Siebielec G., Stępniewska Z.: Analiza stanu oraz określenie kierunków działań w zakresie zrównoważonego wykorzystania i ochrony gleb. Ekspertyza na zlecenie Departamentu Polityki Ekologicznej Ministerstwa Środowiska i Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Puławy-Warszawa, 2005.
42. Stuczyński T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyzyn J., Kozłowski P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.

43. Stuczyński T., Siebielec G., Daniels W., McCarty G., Chaney R.: Biological aspects of metal waste reclamation with biosolids. *J. Environ. Quality*, 2007, **36**: 1154-1162.
44. Szerszeń L., Karczewska A., Roszyk E., Chodak T.: Rozmieszczenie Cu, Pb i Zn w profilach gleb przyległych do hut miedzi. *Rocz. Glebozn.*, 1991, **42**: 199-206.
45. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pondel H., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz.: Monitoring chemizmu gleb ornyc Polski – program badań i wyniki wstępne. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 1999, ss. 70.
46. Terelak H., Piotrowska M., Budzyńska K., Pietruch Cz., Wróblewska E., Zaliwski A.: Mapa – stan zanieczyszczenia gleb kadmem. IUNG Puławy, 1999.
47. Terelak H., Stuczyński T., Piotrowska M.: Heavy metals in agricultural soils in Poland. *Pol. J. Soil Sci.*, 1997, **30**: 35-42.
48. Tiller K. G.: Heavy metals in soils and their environmental significance. *Adv. Soil Sci.*, 1989, **9**: 113-142.
49. Turski R., Baran S.: Zawartość Pb, Zn, Cu, Mn, Bi i Sr w różnych typach gleb w rejonie oddziaływania huty cynku – Miasteczko Śląskie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1976, **179**: 609-625.

Adres do korespondencji:

*dr Grzegorz Siebielec*  
*Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: (081) 886 34 21 w. 317*  
*e-mail: [gs@iung.pulawy.pl](mailto:gs@iung.pulawy.pl)*

