



Metale w glebach dzielnicy Włochy m.st. Warszawy

Hanna Tomassi-Morawiec¹, Anna Pasieczna¹, Wojciech Markowski¹

H. Tomassi-Morawiec



A. Pasieczna



W. Markowski

The metals in the soils of the Włochy district in Warsaw. *Prz. Geol.*, 64: 167–176.

Abstract. Chemical investigations of metals content in the soils (0.0–0.3 m) from the Włochy district in Warsaw were conducted in Autumn 2012. Sixty-one samples were collected in sites earlier indicated, with particular regard to post-industrial areas and productive plants as sources of contamination. The content of arsenic, barium, chromium, cadmium, cobalt, copper, molybdenum, nickel, lead, tin, zinc and mercury was determined after digestion of samples in aqua regia. Additionally, the acidity and grain-size analyses of soil samples were carried out. The results of chemical and grain-size analyses are presented in a series of maps. An estimation of the degree of soil contamination by metals was carried out based on permis-

sible limit values specified in *Rozporządzenie...*, 2002. Over most of the district area the soils are included into groups A and B (80.3% of the samples) and they are mostly used according to the recommendation of *Rozporządzenie...*, 2002, as the residential or agricultural areas. The soils classified into group C (including the industrial and communication areas) occur in post-industrial areas, where productive and service plants are currently located, and along the communication routes. In the contaminated areas, migration of the metals is limited by soil alkalinity.

Keywords: urban soils, metals, contamination

Rozpoznawanie stanu i procesów przekształcania gleb miejskich na skutek antropopresji jest niezwykle ważnym kierunkiem badań ze względu na postępujący proces urbanizacji kraju i zdrowie mieszkańców miast. Pod koniec XX w. opublikowano kilka opracowań dotyczących zawartości i rozmieszczenia pierwiastków w wybranych obszarach Warszawy (Czarnowska, 1980; Czarnowska i in., 1983; Czarnowska & Gworek, 1988, 1991) oraz w całej aglomeracji (Lis, 1992), które udowodniły lokalne występowanie gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, szczególnie w sąsiedztwie zakładów hutniczych i metalurgicznych, innych terenów poprzemysłowych oraz składowisk odpadów, wskazując na znaczny wpływ antropopresji.

Wykrycie anomalii metali ciężkich sprawiło, że w szczególnie dzielnicach miasta coraz większą uwagę poświęca się badaniom szczegółowym gleb, które są podstawą do monitoringu i podejmowania działań na rzecz ich ochrony.

Prezentowane badania geochemiczne w powierzchniowych glebach dzielnicy Włochy wykonano na zlecenie jej władz. Ich celem było szczegółowe rozpoznanie rozkładu przestrzennego metali w powierzchniowej warstwie gleb (0,0–0,3 m), a w szczególności identyfikacja obszarów, na których nastąpiło przekroczenie standardów jakości gleby, określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska dnia 9 września 2002 r., które uwzględniają aktualne i planowane funkcje użytkowania gruntów. Próbkę gleb zostały pobrane w punktach rozmieszczonych na terenie całej dzielnicy, ze szczególnym uwzględnieniem terenów poprzemysłowych i zakładów stanowiących źródła zanieczyszczeń.

CHARAKTERYSTYKA GLEB DZIELNICY

W dzielnicy Włochy miejscami występują gleby naturalne – gleby brunatne właściwe i wylugowane oraz gleby pyłowe, powstałe z utworów pyłowych wodnolodowcowych na piaskach lub glinach zwałowych (Czerwiński & Prac, 1990).

W rejonach uprzemysłowionych występują gleby antropogeniczne przekształcone w wyniku działalności gospodarczej. Główne kierunki tej działalności to: prace budowlane i ziemne, powodujące mechaniczne wymieszanie warstw powierzchniowych bądź usunięcie górnych poziomów genetycznych; intensywne uprawy ogrodnicze i szklarniowa (szczególnie w ogródkach działkowych), prowadząca do akumulacji materii organicznej i pogłębiania poziomu próchniczego w glebach oraz ich zanieczyszczenia pestycydami; gromadzenie na powierzchni gleb (często w zagłębieniach terenu) odpadów bytowych.

ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZENIA GLEB METALAMI

Za główne przyczyny zanieczyszczenia gleb w miastach uznaje się rozwój przemysłu, komunikacji i gęstość zaludnienia, a ich degradację powoduje wiele czynników działających w różnym czasie i natężeniu. Odporność na degradację zależy od składu oraz właściwości fizycznych i chemicznych gleby, takich jak odczyn, skład mechaniczny, zdolności sorpcyjne i oksydoredukcyjne. Gleby zwarte, ciężkie i zasobne w próchnicę są bardziej odporne niż gleby

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; hanna.tomassi-morawiec@pgi.gov.pl, anna.pasieczna@pgi.gov.pl, wojciech.markowski@pgi.gov.pl.

lekkie, ubogie zarówno w składniki mineralne, jak i organiczne (Dobrzański & Zawadzki, 1993).

W dzielnicy Włochy zanieczyszczenie gleb metalami spowodowały zakłady (głównie przemysłu lotniczego, elektrotechnicznego i maszynowo-metalowego) działające na jej terenie w okresie międzywojennym oraz w czasach Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej. Rejony potencjalnie najbardziej zanieczyszczone w wyniku działalności dawnych zakładów to obszar po obu stronach ul. Łopuszańskiej – w granicach pomiędzy ul. Grójecką, torami linii Warszawa–Radom, torami Warszawskiej Kolei Dojazdowej (WKD) i ul. Krakowiaków; rejon Palucha, obecny teren Państwowych Zakładów Lotniczych EADS Warszawa-Okęcie (PZL EADS) przy Al. Krakowskiej 110/114 oraz obszar Starych i Nowych Włoch.

W okresie PRL do największych zakładów Zespołu Przemysłowego Okęcie, którego osią była ulica Łopuszańska, należały (Misztal, 1972):

- Zakłady Elektrotechniki Motoryzacyjnej Zelmot przy ul. Łopuszańskiej 22;
- Zakłady Wytwórcze Przyrządów Pomiarowych Era przy ul. Łopuszańskiej 117/123;
- Warszawskie Zakłady Maszyn Elektrycznych nr 9 Wamel przy ul. Krakowiaków 16 (działające do dziś);
- Zakład Doświadczalny Pras Automatycznych Hydro-mat przy ul. Łopuszańskiej 53;
- Zakład Doświadczalny Ponar przy ul. Łopuszańskiej 49;
- Zakład Żurawi Wieżowych Przedsiębiorstwa Gospodarki Maszynami przy ul. Bakalarskiej 11.

Obecnie na terenie Włoch największy zakład to PZL EADS. Z przeglądu pozostałych współczesnych firm działających w dzielnicy Włochy można wnioskować o ewentualnym wystąpieniu zanieczyszczeń metalami na terenie zakładów usługowych zajmujących się wyrobem elementów metalowych, obróbką metali bądź skupujących złom. Z kolei na terenie ogródków działkowych może występować skażenie gleb metalami (cynkiem, miedzią, rtęcią) w wyniku stosowania pestycydów. Źródłem zanieczyszczeń gruntów metalami są też (i były w przeszłości) trasy komunikacyjne (drogowe i kolejowe) oraz emisje zakładów przemysłowych z sąsiednich dzielnic (Woli i Ursusa).

METODYKA BADAŃ

Prace terenowe. Próbkę gleb pobrano w sezonie letnim 2012 r. w 61 wcześniej wyznaczonych miejscach: na terenach przemysłowych i poprzemysłowych, w sąsiedztwie zakładów metalowych i galwanizerni oraz serwisów samochodowych, na terenach przyulicznych i lotniska Okęcie, przy torowiskach tramwajowych i kolejowych, w ogródkach działkowych i na polach uprawnych. Każda z próbek reprezentujących dane miejsce opróbowania była próbką zbiorczą pobraną według schematów:

a) w przypadku obiektów obszarowych (terenów zakładów przemysłowych, magazynów, baz transportowych, lotniska, ogródków działkowych) w miejscach opróbowania wyznaczano kwadrat o bokach 5×5 m. Z czterech naroży oraz środka kwadratu pobierano sondą geologiczną próbki (o masie ok. 0,5 kg każda) z głębokości 0,0–0,3 m. Próbkę uśredniano przez mieszanie, otrzymując próbkę zbiorczą (2,5 kg), z której pobierano do badań ok. 0,5 kg materiału;

b) w przypadku obiektów liniowych (terenów przyulicznych, sąsiedztwa torowisk kolejowych lub tramwajowych) w miejscu opróbowania wyznaczano linię, wzdłuż której pobierano sondą geologiczną 5 próbek (o masie ok. 0,5 kg każda) z głębokości 0,0–0,3 m, w punktach odległych od siebie o 5 m. Pobrane próbki uśredniano przez mieszanie, otrzymując próbkę zbiorczą, z której pobierano do badań ok. 0,5 kg materiału.

Punkty „środkowe” poboru próbek (w centrum kwadratu lub w trzecim punkcie poboru wzdłuż wytyczonej linii) lokalizowano urządzeniem GPS.

Prace laboratoryjne. Analizy chemiczne wykonano w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB). Po wysuszeniu próbek w temperaturze pokojowej, przesiano je przez nylonowe sита o oczkach 2 mm i pomniejszono przez kwartowanie. Każdą próbkę dzielono następnie na dwie podróbki – jedną przeznaczoną do analizy chemicznej i drugą – do analizy granulometrycznej.

Oznaczenie składu granulometrycznego próbek zostało wykonane metodą sitowo-laserową w Laboratorium Analiz Geologiczno-Inżynierskich PIG-PIB. Wydzielono grupy granulometryczne: 2,0–1,0 mm (frakcja piaskowa gruba), 1,0–0,1 mm (frakcja piaskowa drobna), 0,1–0,02 mm (frakcja pylasta) i <0,02 mm (frakcja ilasta – spławialna).

Roztworzenie próbek gleb do analiz chemicznych przeprowadzono wodą królewską przez 1 godz. w temp. 95° w termostатовanym bloku aluminiowym. Analizy zawartości As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sn i Zn zostały wykonane metodą ICP-OES. Oznaczenia zawartości rtęci przeprowadzono metodą CV-AAS, a odczyn został oznaczony metodą potencjometryczną w zawieszynie wodnej.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki analiz chemicznych i granulometrycznych zostały opracowane statystycznie (tab. 1) i przedstawione w formie kartograficznej (fig. 1–3).

Do oceny stopnia zanieczyszczenia badanych gleb zastosowano wartości dopuszczalne stężeń metali określone w Załączniku do Rozporządzenia..., 2002. W tym celu na obszarowe mapy geochemiczne naniesiono kartodiagramy kołowe ilustrujące kolorem zaklasyfikowanie gleby z danego miejsca opróbowania do odpowiedniej grupy użytkowania, w zależności od zawartości danego pierwiastka. Standardy jakości gleby określone w ww. Rozporządzeniu uwzględniają aktualne i planowane funkcje użytkowania gruntów w podziale na grupy A, B i C.

Grupa A obejmuje obszary gleb najmniej zanieczyszczonych, o naturalnych zawartościach składników. Gleby tej grupy mogą spełniać wszystkie funkcje użytkowania, łącznie z ich użytkowaniem jako terenów poddanych ochronie (do obszarów tych zalicza się strefy ujęć wody i zbiorników wody pitnej, obszary parków narodowych, rezerваты przyrody i użytki ekologiczne). Gleby spełniające standardy grupy A mogą być zarówno tereny chronione, jak i użytkami rolnymi czy gruntami leśnymi, terenami mieszkaniowymi i rekreacyjnymi (place zabaw dla dzieci, ogródki przydomowe i działkowe, parki).

Grupa B obejmuje grunty, które mogą służyć jako użytki rolne, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nie-

Tab. 1. Parametry statystyczne frakcji granulometrycznych, odczynu oraz zawartości metali w powierzchniowej warstwie gleb (0,0–0,3 m)

Table 1. Statistical parameters of grain-size fraction, acidity and metals content in soils (0.0–0.3 m)

Pierwiastek/Parametr Element/Parameter	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Mediana Median
Frakcje granulometryczne Grain size fractions [%]	2,0–1,0 mm	0,10	1,60
	1,0–0,1 mm	10,40	74,00
	0,1–0,02 mm	12,30	56,80
	<0,02 mm	7,40	48,70
pH odczyn <i>acidity</i>	5,5	8,8	7,7
As arsen <i>arsenic</i>	<3	7	<3
Ba bar <i>barium</i>	23	438	57
Cd kadm <i>cadmium</i>	<0,5	1,4	<0,5
Co kobalt <i>cobalt</i>	1	9	3
Cr chrom <i>chromium</i>	4	44	10
Cu miedź <i>copper</i>	5	241	22
Hg rtęć <i>mercury</i>	<0,02	4,12	0,08
Mo molibden molybdenum	<0,5	2,8	<0,5
Ni nikiel <i>nickel</i>	3	36	8
Pb ołów <i>lead</i>	8	969	29
Sn cyna <i>tin</i>	<2	26	<2
Zn cynk <i>zinc</i>	21	683	90

użytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych. Na obszarach zurbanizowanych zanieczyszczenia gleb występują najczęściej na terenach ogródków działkowych i przydomowych oraz w sąsiedztwie obiektów przemysłowych i składowisk odpadów. Istotne znaczenie ma tutaj analiza danych historycznych o lokalizacji i funkcjonowaniu zlikwidowanych obiektów przemysłowych i dawnych składowisk.

Grupa C obejmuje rejon, które powinny być użytkowane jedynie jako tereny przemysłowe, użytki kopalne i tereny komunikacyjne. Kryteria jakości gleb ustalone dla tej grupy zapewniają ochronę zdrowia ludzi oraz jakości wód podziemnych i powierzchniowych. W przypadku ewentualnej zmiany sposobu użytkowania terenu na inny (np. na urbanizacyjny) należy zapewnić kryteria ustalone dla grupy B.

Na każdej mapie, oprócz barwnej skali prezentującej zawartości metali w badanych glebach, naniesiono dopuszczalne granice stężeń przewidziane dla poszczególnych grup użytkowania gleb.

Skład granulometryczny gleby w znacznym stopniu determinuje jej odporność na degradację oraz ma istotny wpływ na zawartość pierwiastków chemicznych. Gleby z dużym udziałem frakcji ilastej, zwanej w gleboznawstwie frakcją spławialną (<0,02 mm), i pylastej (0,1–0,02 mm) charakteryzują się zwykle większą zawartością pierwiastków i ich mniejszą mobilnością w warunkach hipergenicznych. W normach i zaleceniach, określających dopuszczalne stężenia metali w glebach, zwykle uwzględnia się tę ich właściwość, dopuszczając większe stężenia graniczne dla gleb z dużym udziałem frakcji ilastej i mniejsze stężenia dla gleb z dużym udziałem frakcji piaszczystych (Kabata-Pendias i in., 1995).

Udział frakcji piaszczystej grubej (2,0–1,0 mm) w badanych glebach jest niewielki – nie przekracza 10,0% (tab. 1), a w zdecydowanej większości zbadanych próbek jest mniejszy od 5,0%. Najliczniej jest reprezentowana frakcja piaszczysta drobna (1,0–0,1 mm), jej udział wynosi od 10,4 do 74,0%, a w połowie zbadanego zbioru próbek – ponad 50% (wartość mediany: 49,8%). Gleby zasobne we frakcje piaszczystą występują głównie w południowej części dzielnicy, a lokalnie także w części północno-zachodniej (Nowe Włochy) i w centrum (rejon pomiędzy ul. Krakowiaków, Al. Krakowską i liniami kolejowymi: Warszawa–Radom i WKD) (ryc. 1).

Udziały frakcji pylastej (0,1–0,02 mm) i ilastej (<0,02 mm) zazwyczaj mieszczą się w przedziale 20,0–40,0%. Najmniejszą zawartością frakcji spławialnej (<20,0%) charakteryzują się gleby południowej części dzielnicy oraz lokalnie części północno-zachodniej i centralnej, czyli rejonów, gdzie stwierdzono najwyższy udział frakcji piaszczystej drobnej.

Odczyn gleb. Na badanym obszarze Warszawy dominują gleby o odczynie lekko alkalicznym (7,4–8,0) (ryc. 2), co jest zjawiskiem charakterystycznym dla gleb z obszarów miejskich (Pasiczna, 2003). Alkaliczność gleb jest spowodowana przez opad pyłów, głównie ze spalania węgla dla celów energetyki, ciepłownictwa i przemysłu. Badania zanieczyszczeń powietrza na terenach aglomeracji miejskich wskazują na wielokrotne przekroczenia dopuszczalnych stężeń pyłów (Dworak i in., 1990, Grzegorzczak i in., 2002) oraz ich alkaliczny odczyn (Manecki, 1993).

Gleby o odczynie obojętnym (6,3–7,4) i lekko kwaśnym (5,5–6,3) występują przede wszystkim w południowo-zachodniej części dzielnicy, pozbawionej zarówno współcześnie, jak i w przeszłości większych zakładów przemysłowych. Przeważa tu niska zabudowa, a sporo terenów jest jeszcze niezabudowanych. Prawdopodobnie zachowały się tu częściowo gleby naturalne bądź takie, które uległy tylko niewielkim przekształceniom. Ponadto na znacznej części tego obszaru w glebach dominuje frakcja piaszczysta, co także ma wpływ na wartości odczynu.

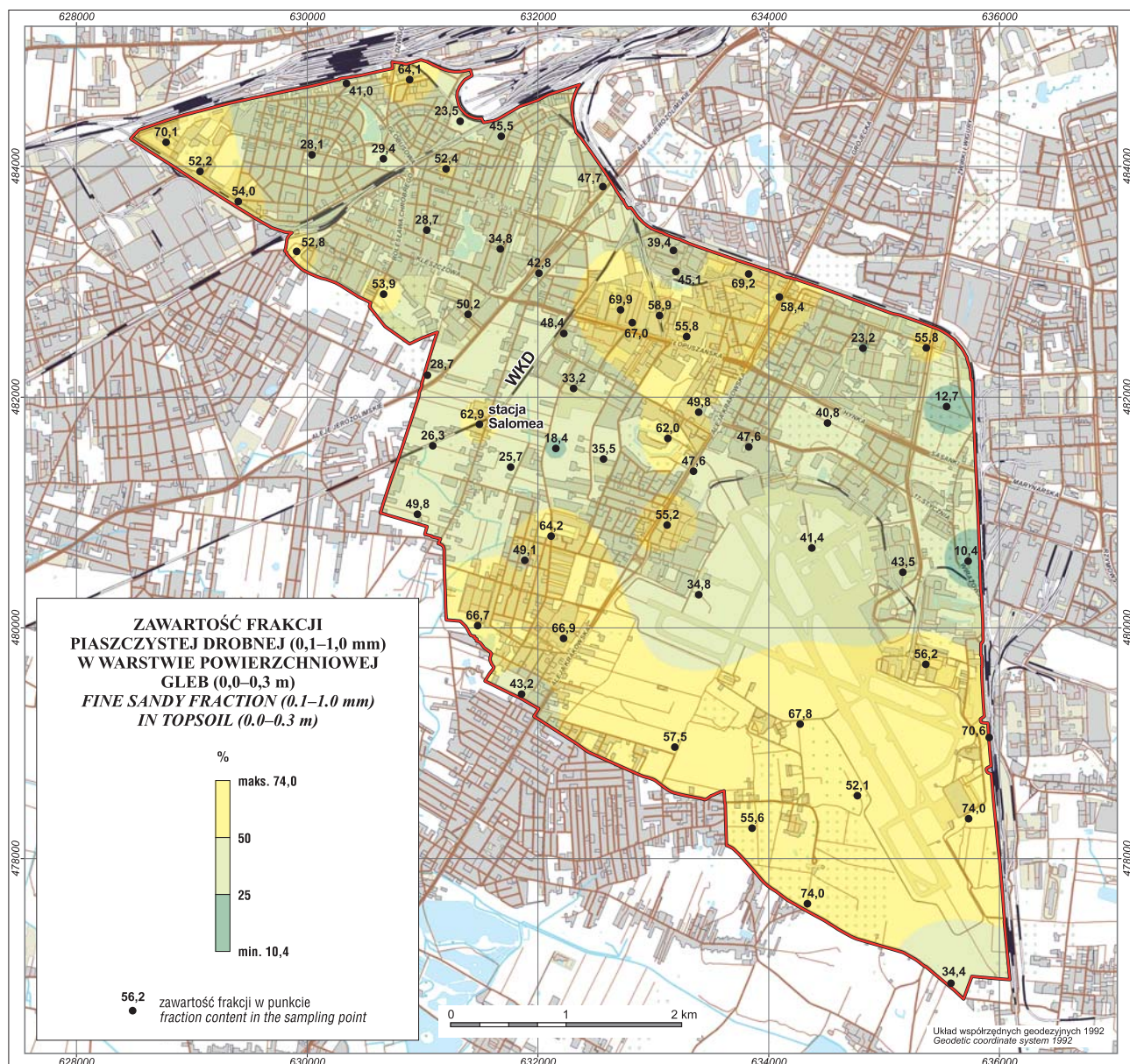
Metale. Zawartość większości analizowanych metali (chromu, cyny, kadmu, kobaltu, molibdenu, niklu, rtęci) oraz arsenu w badanych glebach jest mała i prawie we wszystkich próbkach spełnia standardy użytkowania wyznaczone dla grupy A (tab. 2). W przypadku pojedynczych próbek zawartość kadmu oraz niklu pozwala zaliczyć je do grupy B, a zawartość cyny i rtęci do grupy C.

Większe zawartości i ich zróżnicowanie obserwuje się w przypadku baru, cynku, miedzi i ołowiu, przypuszczalnie głównie w wyniku działalności gospodarczej.

Zawartość **arsenu** w większości gleb nie przekracza 3 mg/kg (tab. 1), co pozostaje w zgodzie z wynikami wcześniejszych badań jego zawartości określających tło geochemiczne gleb Warszawy na mniejsze od 5 mg/kg (Pasiczna, 2003).

W przeszłości związki arsenu były używane do produkcji środków owadobójczych i trutek przeciw gryzoniom. Współcześnie są stosowane nadal w preparatach owadobójczych, w środkach grzybobójczych, w produkcji garbarskiej i jako składniki farb. Czynnikiem zanieczyszczającym są też transport i spalanie węgla.

Zawartość **baru** w badanych glebach wynosi od 23 do 438 mg/kg (tab. 1). W sześciu próbkach stwierdzono zawar-



Ryc. 1. Zawartość frakcji piaszczystej drobnej (0,1–1,0 mm) w warstwie powierzchniowej gleb (0,0–0,3 m)
Fig. 1. Sand fraction (0.1–1.0 mm) in topsoil (0.0–0.3 m)

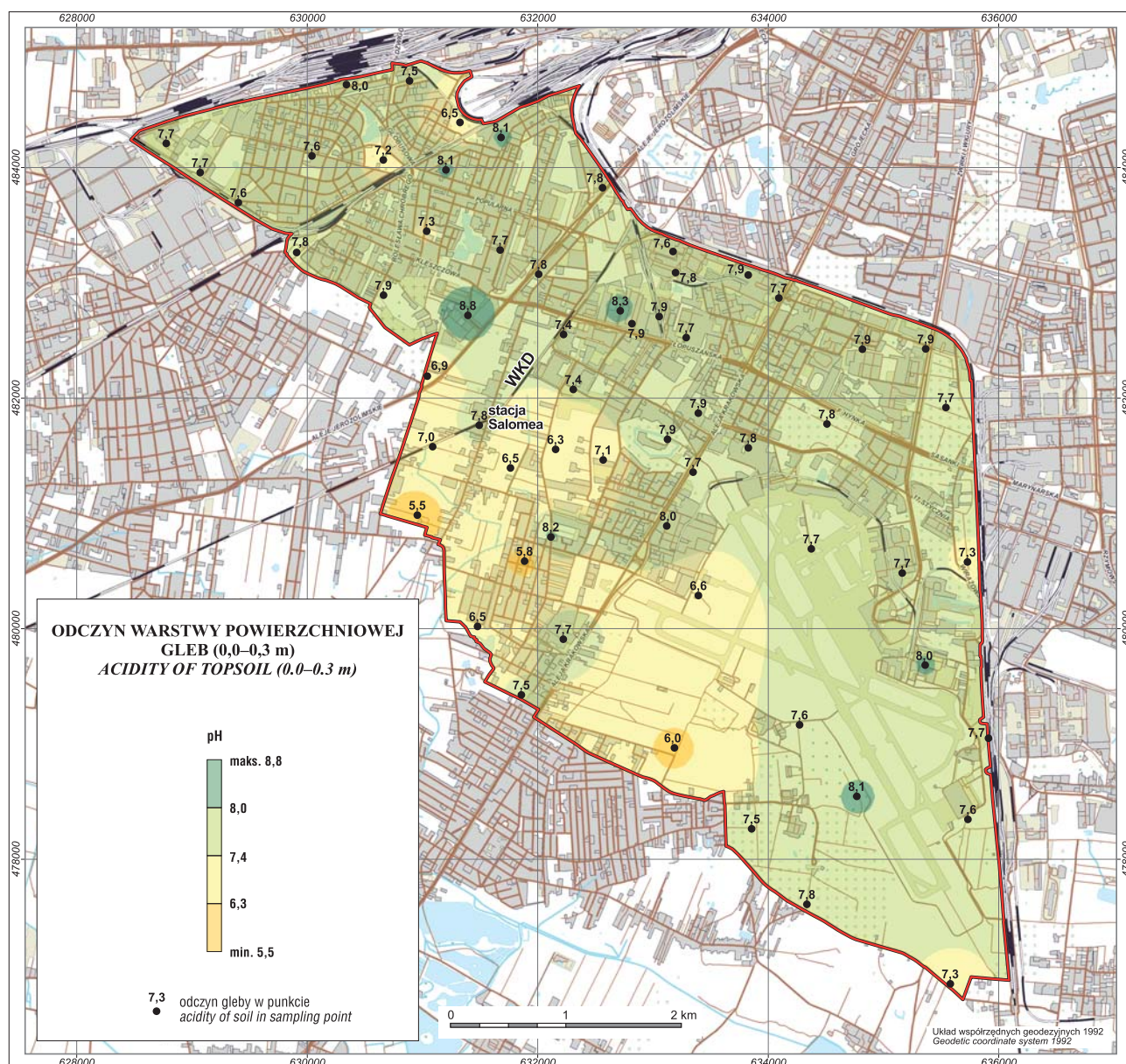
tość mieszcząca się w granicach stężeń przewidzianych dla grupy użytkowania C, czyli obszarów przemysłowych (tab. 2).

Gleby o zwiększonej zawartości baru występują głównie w północno-wschodniej części dzielnicy (osiedla Raków i Okęcie), na północ od lotniska Okęcie. Największe stężenie baru (438 mg/kg) zarejestrowano w próbce pobranej z trawnika położonego wzdłuż wewnętrznej drogi na terenie ogródków działkowych zlokalizowanych pomiędzy ulicami Hynka i 17 Stycznia. Próbkę pochodzi z gruntu nasypowego, a więc najprawdopodobniej została przywieziona na teren ogródków z innego miejsca. Obfita w bar (354 mg/kg) jest też gleba w północno-zachodnim skraju dzielnicy w rejonie ul. Świerszcza, na terenie dawnej jednostki wojskowej, w sąsiedztwie magazynu paliw oraz magazynu materiałów wybuchowych. Podwyższoną zawartość baru w tym punkcie należy wiązać z dawną działalnością jednostki – bar używany jest m.in. przy produkcji materiałów wybuchowych. Znaczną zawartość baru (326 mg/kg) zanotowano też na terenie poprzemysłowym,

w bliskim sąsiedztwie obecnie działającego zakładu recyklingowego STENA Recykling.

Źródła wzbogacenia badanych gleb w bar są zróżnicowane. Niewielkie jego ilości pochodzą prawdopodobnie z emisji związanych z produkcją i użytkowaniem związków baru w różnych procesach technologicznych oraz ze spalaniem węgla i paliw płynnych. Baryt jest używany jako dodatek przy produkcji wyrobów elektronicznych, cementu, gumy, pianki uretanowej, a także w procesach oczyszczania ścieków. Związki baru znajdują też zastosowanie w odlewnictwie, produkcji hamulców samochodowych, farb i szkła.

Zawartość **cynny** w ponad połowie zbioru pobranych próbek gleb jest mniejsza od granicy oznaczalności metody analitycznej (tab. 1). Zdecydowana większość zbadanych gleb (98%) spełnia standardy grupy A użytkowania gleb – zawartość cynny nie przekracza w nich 20 mg/kg (tab. 2). Tylko w jednej próbce, pobranej w sąsiedztwie peronu stacji Salomea kolejki WKD, zawartość cynny (26 mg/kg) pozwala zakwalifikować glebę do grupy C. W tym samym



Ryc. 2. Odczyn warstwy powierzchniowej gleb (0,0–0,3 m)
Fig. 2. Acidity of topsoil (0.0–0.3 m)

miejszu stwierdzono też maksymalną zawartość miedzi (241 mg/kg).

Do głównych źródeł zanieczyszczenia gleb cyną należą: spalanie węgla i odpadów, zrzuty ścieków przemysłowych, produkcja blach cynowanych i stopów lutowanych (Sn-Pb), produkcja tworzyw sztucznych, barwników, pestycydów i preparatów ochrony drewna (Paulo & Strzelska-Smakowska, 1997).

Zanieczyszczenie metalami na stacji Salomea jest zapewne związane z bliskością torów kolejowych lub z działalnością pobliskich zakładów produkcyjnych, np. firmy Medcom (ul. Jutrzenki 78a) zajmującej się produkcją, instalacją oraz serwisem urządzeń energoelektronicznych. Podwyższona zawartość cyny (19 mg/kg) w glebie nieużytku przy drodze łączącej ul. Badyłarską z ul. Jutrzenki w Opaczy Wielkiej może być skutkiem stosowania w przeszłości środków ochrony roślin zawierających cynę.

Zawartość **kadm** jest mniejsza od 0,5 mg/kg w 85% badanych gleb. Podobny udział Cd w glebach Warszawy niezanieczyszczonych kadmem wykazały badania Czar-

nowskiej i Gworek (1988). Większość zbadanych próbek spełnia standardy grupy A użytkowania gleb. Tylko w dwóch punktach stężenie kadmu jest nieco większe, ale mieści się w granicach dopuszczalnych dla grupy B użytkowania gleb (tab. 2). Największą zawartość kadmu (1,3–1,4 mg/kg) zanotowano na terenie dawnej jednostki wojskowej, w bliskim sąsiedztwie dawnych zakładów Przemysłu Ciągnikowego „Ursus” oraz na terenie zakładów PZL EADS. Wzbogacenia te wiążą się prawdopodobnie z ich działalnością.

Źródłem kadmu w środowisku są przede wszystkim zakłady przeróbki metali nieżelaznych, galwanizernie i farbiarnie, a także rozpraszanie spalin z silników samochodowych i ścieranie opon.

Zawartość **miedzi** w większości próbek nie przekracza granic dopuszczalnych stężeń dla grup użytkowania A i B (tab. 2) tylko jedna próbka została zaklasyfikowana do grupy C.

Podwyższone stężenia miedzi zaobserwowano w kilku miejscach położonych blisko torów kolejowych, a maksy-

Tab. 2. Klasyfikacja gleb dzielnicy Włochy pod względem grup użytkowania
Table 2. Classification of Włochy district soils into the groups of soil use

Metale Metals	Wartości dopuszczalne stężeń w glebie lub ziemi (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r.) Permissible limit values in soil (Regulation of the Polish Ministry of the Environment of 9 th September 2002)			
	Grupa A A Group	Grupa B B Group		Grupa C C Group
		głębokość [m p.p.t.] depth [m b.g.l.]		
		0,0–0,3		0–2
As arsen <i>arsenic</i>	20	20		60
Ba bar <i>barium</i>	200	200		1000
Cr chrom <i>chromium</i>	50	150		500
Sn cyna <i>tin</i>	20	20		350
Zn cynk <i>zinc</i>	100	300		1000
Cd kadm <i>cadmium</i>	1	4		15
Co kobalt <i>cobalt</i>	20	20		200
Cu miedź <i>copper</i>	30	150		600
Mo molibden <i>molybdenum</i>	10	10		250
Ni nikiel <i>nickel</i>	35	100		300
Pb ołów <i>lead</i>	50	100		600
Hg rtęć <i>mercury</i>	0,5	2		30
	Ilość badanych próbek gleb w poszczególnych grupach użytkowania Number of analyzed samples in the soil use groups			Gleby o przekroczonych dopuszczalnych wartościach stężeń dla grupy C Soils with metal concentration exceeding permissible limits for C group
	Grupa A A Group	Grupa B B Group	Grupa C C Group	
As arsen <i>arsenic</i>	61	0	0	0
Ba bar <i>barium</i>	55	0	6	0
Cr chrom <i>chromium</i>	61	0	0	0
Sn cyna <i>tin</i>	60	0	1	0
Zn cynk <i>zinc</i>	35	22	4	0
Cd kadm <i>cadmium</i>	59	2	0	0
Co kobalt <i>cobalt</i>	61	0	0	0
Cu miedź <i>copper</i>	44	16	1	0
Mo molibden <i>molybdenum</i>	61	0	0	0
Ni nikiel <i>nickel</i>	60	1	0	0
Pb ołów <i>lead</i>	50	7	3	1
Hg rtęć <i>mercury</i>	60	0	1	0
	Sumaryczna klasyfikacja badanych gleb do poszczególnych grup użytkowania (ilość próbek) Total classification of examined soils into the soil use groups (number of samples)			
	34	15	11	1

malną zawartość (241 mg/kg) – w glebie z trawnika w sąsiedztwie peronu kolejki WKD na stacji Salomea. Zanieczyszczenie jest zapewne związane z bliskością kolejowego szlaku komunikacyjnego, który funkcjonuje tu od 1927 r. Źródłem miedzi może być proces ścierania się przewodów trakcji elektrycznej. Zanieczyszczenie miedzią może też mieć związek z działalnością kilku niewielkich zakładów znajdujących się w pobliżu stacji Salomea, głównie przy ulicach: Jutrzenki i Serwituty. Najbardziej prawdopodobnym źródłem zanieczyszczenia gleb miedzią, a także innymi metalami są zakłady: Medcom (patrz powyżej) oraz Valvoline Polska Ashland Poland – hurtownia olei samochodowych i motocyklowych, płynów i smarów dla przemysłu, kosmetyków samochodowych oraz środków antykorozyjnych.

Miedź jest szeroko stosowana w elektrotechnice, wyrobach ozdobnych zarówno w czystej postaci, jak

i w stopach (brąz i mosiądz). Jej związki znajdują też zastosowanie przy wytwarzaniu plastików, środków ochrony roślin, nawozów, farb, farmaceutyków i w innych gałęziach przemysłu.

Zanieczyszczenie miedzią (136 mg/kg), zarejestrowano także na północno-zachodnim skraju dzielnicy, w pobliżu dawnych Zakładów „Ursus”, w bliskim sąsiedztwie zakładu poligraficznego oraz terenu, na którym składowane są m.in. stare kable energetyczne.

Pod względem zawartości **molibdenu** gleby dzielnicy spełniają standardy grupy A użytkowania gleb (tab. 2). Maksymalne zawartości tego pierwiastka (2,8 mg/kg i 2,3 mg/kg) stwierdzono w punktach, gdzie zanotowano też podwyższone stężenia innych metali, a mianowicie – na terenie dawnej jednostki wojskowej w rejonie ul. Świerszcza oraz na terenie PZL EADS.

Molibden dostaje się do środowiska głównie w wyniku wydobywania i przetwarzania rud metali nieżelaznych oraz spalania węgla i ropy naftowej. Antropogeniczne zanieczyszczenie gleb molibdenem wiąże się też z jego wykorzystaniem w przemyśle metalurgicznym, lotniczym, elektronicznym i zbrojeniowym, do produkcji wyrobów ceramicznych i nawozów fosforowych oraz ze zrzutami ścieków przemysłowych. Związki molibdenu stosuje się jako: dodatki do smarów, katalizatory w rafinacji ropy naftowej, w barwnikach do produkcji farb, tuszów, tworzyw sztucznych i produktów gumowych (Reimann & de Caritat, 1998).

Na prawie całym terenie dzielnicy zawartość **rtęci** nie przekracza stężeń 0,5 mg/kg, dopuszczalnego dla grupy A użytkowania gleb. Tylko na terenie zakładów PZL EADS stwierdzono zawartość 4,12 mg/kg co pozwala zaliczyć te gleby do grupy C, czyli obszarów przemysłowych.

Do znaczących źródeł antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego rtęcią należy stosowanie i złomowanie lamp rtęciowych, przyrządów pomiarowych, baterii i detonatorów (Paulo & Krzak, 1997). Związki rtęci były stosowane przez wiele lat w rolnictwie do zapraw nasiennych i preparatów ochrony roślin. Dostawały się też do gleb poprzez nawożenie ściekami komunalnymi oraz z opadami atmosferycznymi ze spalania paliw kopalnych. W węglu brunatnym średnią zawartość rtęci oszacowano na 0,32 mg/kg, zaś węgiel kamienny zawiera średnio 0,06–0,39 mg/kg Hg (Bojakowska & Sokołowska, 2001). W sąsiedztwie ruchliwych ulic źródłem rtęci jest spalanie paliw wytwarzanych z ropy naftowej, która może zawierać rtęć (Wilhelm & Kirchgessner, 2001; Kłojzy-Karczmarzyk & Mazurek, 2008). Na przewagę tego źródła rtęci w zanieczyszczeniu gleb wskazują badania Lisa (1992), które wykazały jej podwyższone stężenia w glebach terenów wzdłuż Alei Jerolimskich na odcinku od centrum miasta do Ursusa oraz przy ulicach prowadzących z Czerniakowa na Marymont.

Do zanieczyszczenia rtęcią gleb terenu zakładów PZL EADS może przyczyniać się trwająca od ponad 80 lat produkcja silników samolotowych, samolotów oraz ich remonty, a dodatkowym źródłem metalu może być ich lokalizacja przy bardzo ruchliwej Alei Krakowskiej. Na terenie zakładów, oprócz znacznej zawartości rtęci, obserwuje się także wyraźnie większe stężenia kadmu, miedzi, molibdenu, ołowiu i cynku w porównaniu z innymi rejonami dzielnicy. Bardzo zbliżone stężenia tych pierwiastków rejestrowano w glebach powierzchniowych terenu PZL EADS również w opracowaniu Lisa (1992).

Zwiększone zawartości rtęci, odnotowane w części centralnej i południowo-zachodniej dzielnicy na terenach niezabudowanych (Załuski, Salomea), należy przynajmniej częściowo wiązać z długoletnim stosowaniem rtęci w rolnictwie do zapraw nasiennych i w preparatach ochrony roślin. Podwyższoną zawartość rtęci obserwuje się też lokalnie w innych rejonach, np. w Starych Włochach, na terenie nieużytkowanym w rejonie ulic Płomyka i Husarskiej, gdzie przeważa niska zabudowa mieszkaniowa oraz na terenie ogródków działkowych (rejon ulic Żwirki i Wigury oraz Hżeckiej). W obydwu tych lokalizacjach nieco zwiększona zawartość rtęci w glebach powierzchniowych jest prawdopodobnie skutkiem obecnej lub dawnej działalności ogrodniczej.

Gleby na terenie dzielnicy charakteryzują się zawartością **cynku** od 21 do 683 mg/kg (tab. 1). W większości próbek jego zawartość nie przekracza 100 mg/kg, dopuszczalnego stężenia dla grupy użytkowania A (tab. 2). W dwudziestu dwóch miejscach opróbowania gleby spełniają standardy grupy B, a w czterech – grupy C.

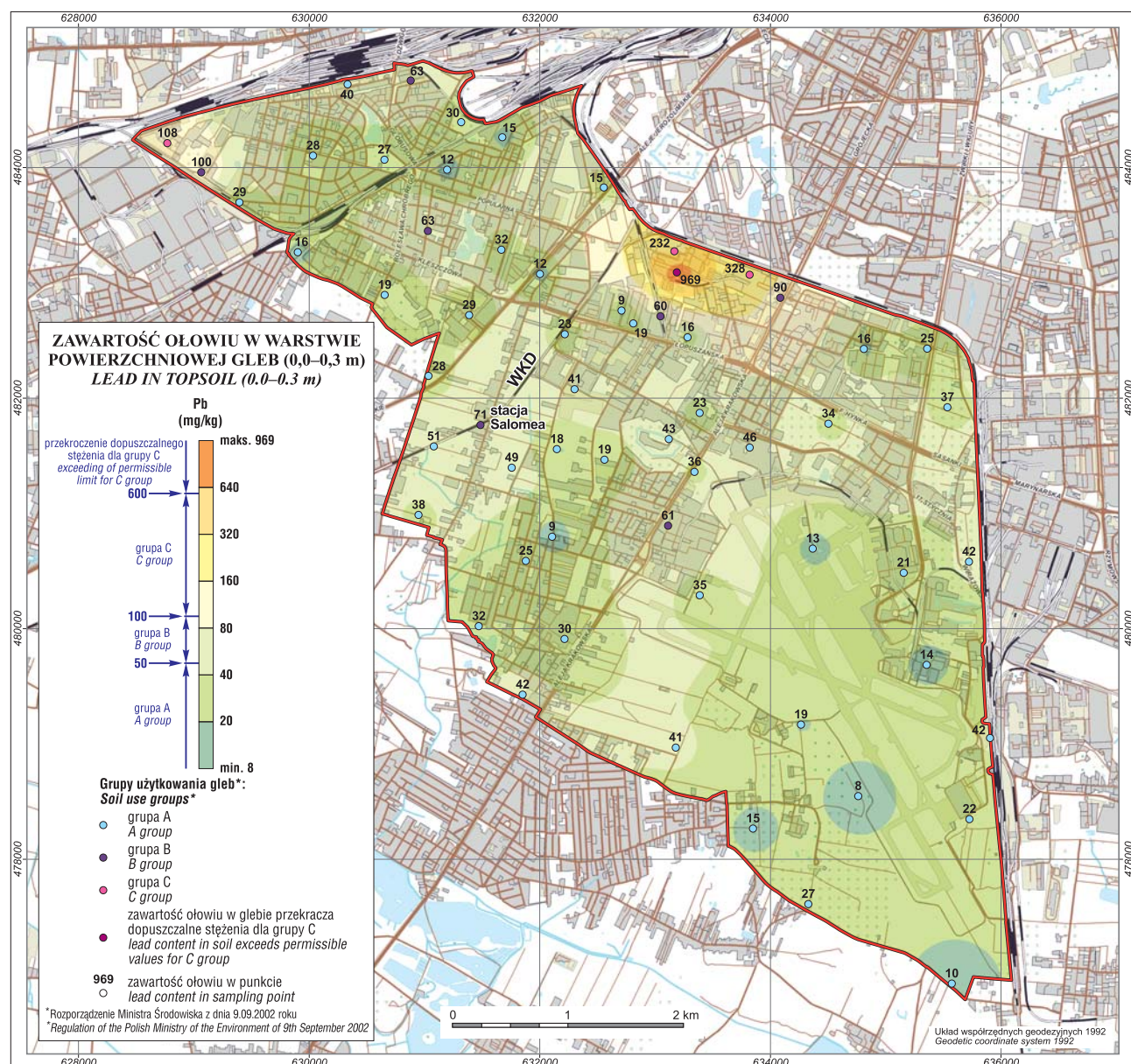
Zawartość **ołowiu** w glebach jest bardzo zróżnicowana, mieści się w przedziale 8–969 mg/kg. Najmniejsze stężenia ołowiu (<40 mg/kg) występują na obszarach słabo zabudowanych (teren lotniska Okęcie wraz z przyległościami) lub o zabudowie niskiej, głównie mieszkaniowej – osiedle Opacz Wielka, a także częściowo Stare i Nowe Włochy. Zdecydowana większość próbek spełnia standardy grup użytkowania A lub B pod względem zawartości ołowiu (ryc. 3). W trzech miejscach stężenia tego pierwiastka zawierają się w przedziale przewidzianym dla terenów użytkowania grupy C, a w jednym stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego stężenia dla obszarów przemysłowych.

Podwyższona zawartość cynku i ołowiu w glebach widoczna jest przede wszystkim w północno-wschodniej i północno-zachodniej części dzielnicy – na obszarach najsilniej uprzemysłowionych w przeszłości i sąsiadujących z głównymi szlakami komunikacji kolejowej i samochodowej. Zanieczyszczenie cynkiem gleb wzdłuż torów kolejowych można wiązać ze spalaniem węgla w lokomotywach starego typu, a w sąsiedztwie ulic ze ścieraniem opon samochodowych (Reimann & de Caritat, 1998).

Cynk jest jednym z najintensywniej użytkowanych metali nieżelaznych. Głównie (w ponad 90%) jest stosowany w postaci metalicznej do powlekania blach stalowych i odlewów żeliwnych w celu zabezpieczania przed korozją (np. w samochodach, w budownictwie). Do produkcji części maszyn i armatury często używa się stopów (brąz, mosiądz). Rozpraszanie cynku w postaci metalicznej jest niewielkie, natomiast łatwiej migrują jego związki, które są używane do produkcji gumy, preparatów ochrony roślin, nawozów, farmaceutyków i kosmetyków. Istotnym źródłem zanieczyszczenia gleb cynkiem jest też produkcja farb, spalanie węgla, ścieranie opon samochodowych, zrzuty ścieków, a także odcieki ze składowisk odpadów.

Z kolei rozproszenie ołowiu w środowisku wiąże się z jego powszechnym stosowaniem w produkcji akumulatorów oraz benzyn z dodatkiem związków przeciwstukowych. Podczas wieloletniego stosowania tych benzyn 75% zawartych w nich związków ołowiu podlegało emisji i rozpraszano się jako aerozol w atmosferze wraz z gazami odłotowymi. Dowodzą tego badania pyłów z poboczy dróg w obszarach miejskich. Zawierają one średnio 1000–3000 mg/kg ołowiu, pomimo stosowania od kilku lat benzyn bezołowiowych (O'Neill, 1998; Podstawowe..., 2013). Część ołowiu zgromadzonego w glebie pochodzi z emisji przy spalaniu węgla i odpadów. W pobliżu zakładów używających związków ołowiu do produkcji farb, pestycydów, stabilizatorów mas plastycznych oraz metalicznego ołowiu w akumulatorach, stopach, rurach, amunicji zanieczyszczeniu ulegają gleby i osady przyjmujące ścieki poprodukcyjne.

Największe stężenia ołowiu (232, 328 i 969 mg/kg) oraz cynku (317, 410 i 683 mg/kg) zarejestrowano w północnej części dzielnicy, na obszarze ograniczonym od północy linią kolejową Warszawa–Radom, od zachodu torami



Ryc. 3. Zawartość ołowiu w warstwie powierzchniowej gleb (0,0–0,3 m)
Fig. 3. Lead in topsoils (0.0–0.3 m)

mi linii WKD, od wschodu ul. Grójecką, a od południa częściowo ul. Bakalarską. Tak duże zawartości ołowiu i cynku są zapewne rezultatem działalności przemysłowej rozwijającej się na tym terenie zarówno w przeszłości, jak i obecnie. Teraz na tym terenie funkcjonują zakłady usługowe, głównie związane z branżą motoryzacyjną (salony sprzedaży i komisje, serwisy samochodowe, myjnie, stacje paliw), a w mniejszym stopniu z budowlaną, poligraficzną, elektrotechniczną, maszynową i metalową.

Gleby charakteryzujące się dużymi stężeniami cynku i ołowiu to tereny już nieistniejących dużych zakładów przemysłowych (Przedsiębiorstwa Robót Inżynierskich Budownictwa, zajmującego się usługami budowlanymi, a także produkcją i sprzedażą materiałów budowlanych oraz firmy sprzedającej materiały budowlane, wyposażenie sanitarne i wyroby metalowe). Obecnie mieści się tu Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania, które planuje zbudowanie w tym miejscu nowoczesnej sortowni odpadów.

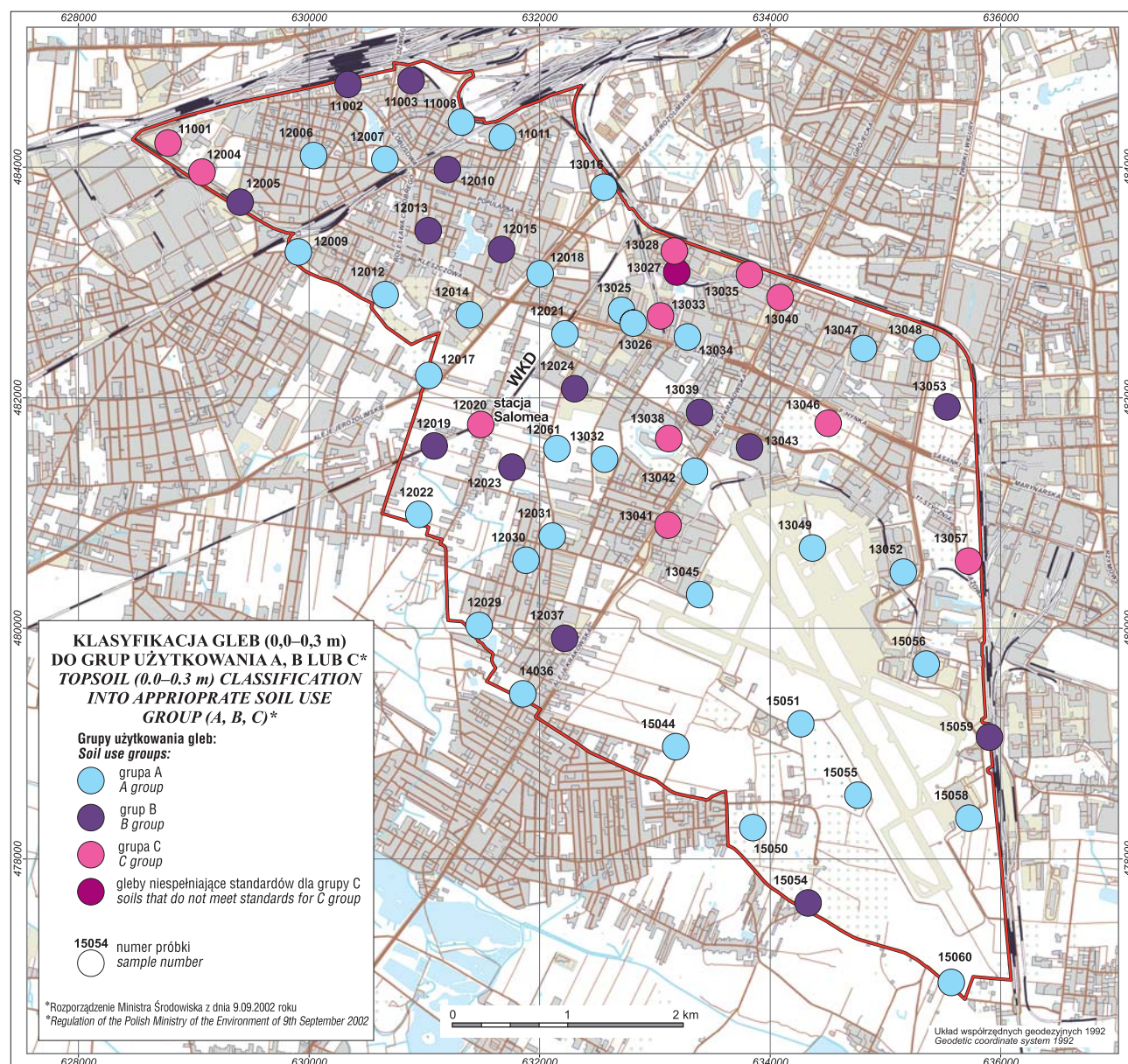
Maksymalną zawartość ołowiu (969 mg/kg), a także znaczną zawartość baru (326 mg/kg) i cynku (284 mg/kg) zanotowano na terenie należącym do firmy STENA Recycling, gdzie odbywa się skup i recykling makulatury i tworzyw sztucznych oraz zużytego sprzętu elektronicznego i elektrycznego. Zawartość 683 mg/kg cynku oraz 232 mg/kg ołowiu stwierdzono zaś w sąsiedztwie siedziby firmy Janex, zajmującej się dystrybucją wyrobów mięsnych i wędliniarskich. Z kolei obok warsztatu samochodowego w tym rejonie stwierdzono 410 mg/kg cynku oraz 328 mg/kg ołowiu. Wydaje się, że za tak duże stężenia metali jest odpowiedzialny głównie dawny przemysł zlokalizowany po obu stronach ul. Łopuszańskiej. Zakłady działające w przeszłości stwarzały znacznie większe zagrożenie dla środowiska ze względu na przestarzałe technologie, brak filtrów w kominach, niezabezpieczone składowiska odpadów itp. Nie można jednak wykluczyć, że działalność istniejącej obecnie w tym miejscu firmy STENA również przyczynia się do zanieczyszczenia gleb metalami.

Bardzo dużą zawartością cynku (523 i 235 mg/kg) oraz znacznymi zawartościami ołowiu (108 i 100 mg/kg) i miedzi (136 mg/kg) charakteryzują się gleby północno-zachodniego skraju zarysowanego obszaru. Na tle pozostałych terenów dzielnicy, rejon ten wyróżnia się także podwyższonymi zawartościami baru (354 mg/kg) oraz maksymalnymi stężeniami kadmu (1,4 mg/kg), chromu (44 mg/kg), molibdenu (2,8 mg/kg) i niklu (36 mg/kg). Na zanieczyszczenie gleb tego rejonu metalami miała na pewno wpływ długoletnia działalność zakładów „Ursus”, dawnej jednostki wojskowej, a także sąsiedztwo linii kolejowej.

Duże stężenie cynku (317 mg/kg) zanotowano też w pobliżu warsztatu samochodowego, w bezpośrednim sąsiedztwie Al. Krakowskiej, a jego zawartość 292 mg/kg stwierdzono na północnym skraju dzielnicy – blisko głównego szlaku kolejowego i w bezpośrednim sąsiedztwie warsztatów samochodowych. Podobna wartość stężenia cynku (288 mg/kg), zarejestrowana w glebie na terenie Fortu Okęcie, może być związana z dawną działalnością wojskową na tym terenie.

KLASYFIKACJA GLEB DO GRUP UŻYTKOWANIA

Zbiorcza klasyfikacja badanych gleb do poszczególnych grup użytkowania jest oparta na zawartości wszystkich badanych pierwiastków (ryc. 4). Stosuje się w niej zasadę zaliczania gleby do danej grupy, gdy zawartość co najmniej jednego pierwiastka przekracza maksymalną wartość dopuszczalną dla grupy niższej. Przynależność do danej grupy użytkowania oznaczono odpowiednim kolorem kartodiagramu kołowego, naniesionego na mapie w miejscu opróbowania. Ze względu na zawartość metali 55,7% badanych gleb należy do grupy A. Są to gleby najlepszej jakości i mogą być użytkowane w dowolny sposób. Ich skład chemiczny został zmieniony w niewielkim stopniu pod wpływem działalności człowieka. Do grupy B zaklasyfikowano 24,6% analizowanych próbek. Z uwagi na zawartość metali, gleby grupy B mogą służyć jako użytki rolne, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane.



Ryc. 4. Klasyfikacja gleb z głębokości 0,0–0,3 m wskazująca miejsca osiągające parametry właściwe dla obowiązujących grup A, B lub C
Fig. 4. Classification of soils (0.0–0.3 m), indicating the places that meet requirements of the A, B and C groups of soil use

Gleby grupy C (spełniające standardy użytkowania jako grunty terenów przemysłowych i komunikacyjnych) stanowią 18,0% badanej populacji. Tylko w jednej próbkę stwierdzono przekroczenie dopuszczalnej wartości stężenia metalu (ołowiu) przewidzianej dla grupy C

Pod względem zawartości metali zbadane gleby dzielnicy Włochy w większości spełniają lepsze poziomy standardów jakości niż wynika to z ich aktualnego użytkowania. Stężenia metali odpowiadających grupie C występują przede wszystkim na dawnych terenach przemysłowych, gdzie obecnie znajdują się głównie zakłady produkcyjne lub usługowe oraz wzdłuż tras komunikacyjnych. Na przeważającej części obszaru dzielnicy występują gleby zaklasyfikowane do grup A lub B (w sumie 80,3% zbadanych próbek) i są one w większości wykorzystywane zgodnie z przeznaczeniem określonym w Rozporządzeniu..., 2002 jako tereny mieszkaniowe i rekreacyjne (parki, skwery, place zabaw dla dzieci, ogródki przydomowe i działkowe), a także częściowo jako użytki rolne.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazały antropogeniczne zanieczyszczenie metalami (głównie ołowiem, cynkiem, miedzią i barem) powierzchniowej warstwy gleb w kilku rejonach dzielnicy Włochy.

2. Zdecydowana większość zbadanych gleb (80,3%) pod względem zawartości metali spełnia standardy dla grup użytkowania A lub B. Aktualne użytkowanie kwalifikuje te gleby do grup B lub C. Jednocześnie zbadanych próbek gleb spełnia standardy użytkowania grupy C ze względu na zawartość jednego lub kilku metali, a tylko w jednej z próbek stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego stężenia ołowiu przewidzianego dla grupy C.

3. Z sumarycznej klasyfikacji wynika, że gleby na terenie dzielnicy Włochy są w zdecydowanej większości użytkowane zgodnie z istniejącymi standardami.

4. Podwyższone stężenia metali występują na terenach poprzemysłowych i wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych. Generalnie większe zanieczyszczenie metalami stwierdzono w północnej części dzielnicy.

5. Zwiększonymi stężeniami metali wyróżniają się cztery niewielkie rejonu:

– północno-zachodni skraj dzielnicy (osiedle Nowe Włochy), gdzie gleby są zanieczyszczone barem, chromem, cynkiem, kadmem, miedzią, niklem i ołowiem;

– obszar poprzemysłowy przylegający do ul. Instalatorów, gdzie stwierdzono znaczne zawartości ołowiu, cynku, baru i miedzi;

– teren sąsiadujący z torami kolejki WKD, gdzie gleby są zanieczyszczone miedzią i cyną, a w mniejszym stopniu cynkiem i ołowiem;

– teren PZL EADS z glebami zanieczyszczonymi rtęcią, cynkiem, kadmem, miedzią i ołowiem.

6. Gleby rejonów zanieczyszczonych metalami charakteryzują się znaczną zawartością frakcji piaszczystej drobnej (>50%), co jest faktem niekorzystnym z uwagi na ich przepuszczalność i łatwość migracji metali w głąb profilu glebowego.

7. Alkaliczny odczyn gleb w rejonach zanieczyszczonych ogranicza migrację metali, ale stwarza niekorzystne warunki dla roślin, powodując zakłócenia w pobieraniu składników pokarmowych.

Autorzy dziękują władzom Dzielnicy Włochy m.st. Warszawy za zgodę na wykorzystanie wyników badań gleb w niniejszej publikacji oraz Recenzentem za wnikliwe uwagi do artykułu.

LITERATURA

- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 2001 – Rtęć w kopalniach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 349: 5–54.
- CZERWIŃSKI Z. & PRACZ J. 1990 – Gleby. [W:] *Środowisko przyrodnicze* Warszawy. PWN, Warszawa: 197–212.
- CZARNOWSKA K. 1980 – Akumulacja metali ciężkich w glebach, roślinach i niektórych zwierzętach na terenie Warszawy. *Rocz. Glebozn.*, 31 (1): 77–115.
- CZARNOWSKA K. & GWOREK B. 1988 – Zanieczyszczenie kadmem gleb Warszawy. *Rocz. Glebozn.*, 39 (4): 129–133.
- CZARNOWSKA K. & GWOREK B. 1991 – Stan zanieczyszczenia cynkiem, ołowiem i miedzią gleb Warszawy. *Rocz. Glebozn.*, 42 (1/2): 49–56.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., KOZANECKA T. & JANOWSKA E. 1983 – Spatial distribution of heavy metals in soils and soil pH in Warsaw area. *Pol. Ecol. Stud.*, 9 (1/2): 63–79.
- DOBRZAŃSKI B. & ZAWADZKI S (red) 1993 – *Gleboznawstwo*. Państw. Wyd. Roln. i Leśne. Warszawa.
- DWORAK T.Z., JONAK Z., NORWICZ K. & TYMIŃSKA-ZAWORA K. 1990 – Zmiany środowiska przyrodniczego miasta Krakowa. *Zesz. Nauk AGH 1248, Sozol. Sozotech.*, 27: 29–59.
- GRZEGORCZYK M., SAŁATA M. & SKUZA T. 2002 – Powietrze. [W:] *Raport o stanie środowiska województwa mazowieckiego w 2001 roku*. <http://www.wios.warszawa.pl/raport2001/index.html>.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., MOTOWICKA-TERELAK T., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., FILIPIAK K., KRAKOWIAK A. & PIETRUCH C. 1995 – Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Warszawa.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. & MAZUREK J. 2008 – Badania rtęci w wybranych złożach ropy naftowej regionu karpackiego. *Polityka energetyczna*, 11 (1): 213–217.
- LIS J. 1992 – *Atlas geochemiczny Warszawy i okolic 1 : 100 000*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MANECKI A. 1993 – Badania modelowe geochemicznych zmian środowiska na objętych antropopresją obszarach Puszczy Niepołomickiej, Krakowa i Skawiny. *Przew. III Konf. Sozol. „Sozologia na obszarze antropopresji – przykład Krakowa”*. Kraków: 27–30.
- MISZTAŁ M. 1972 – *Rozwój przemysłu na Ochocie*. [W:] *Dzieje Ochoty*. PWN, Warszawa.
- O'NEILL P. 1998 – *Chemia środowiska*. PWN, Warszawa–Wrocław.
- PASIECZNA A. 2003 – *Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PAULO A. & STRZELSKA-SMAKOWSKA B. 1997 – Cyna w ostatniej dekadzie XX wieku. *Prz. Geol.*, 45 (9): 844–855.
- PAULO A. & KRZAK M., 1997 – Rtęć z końcem XX wieku. *Prz. Geol.*, 45 (10): 875–882.
- PODSTAWOWE zanieczyszczenia powietrza, 2013 – www.ekoportal.gov.pl/.
- REIMANN C. & de CARITAT P. 1998 – *Chemical elements in the environment – Factsheets for the geochemist and environmental scientist*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi. *Dz.U.* nr 165, poz.1359 z dn. 4 października 2002 r.
- WILHELM S.M. & KIRCHGESSNER D.A. 2001 – Mercury in petroleum and natural gas: estimation of emissions from production. *Processing and combustion*. EPA/600/R-01/066.

Praca wpłynęła do redakcji 19.11.2014 r.
Akceptowano do druku 27.04.2015 r.