

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY



***ATLAS GEOCHEMICZNY
LEGNICKO-GŁOGOWSKIEGO
OKRĘGU MIEDZIOWEGO***

***GEOCHEMICAL ATLAS
OF LEGNICA-GŁOGÓW
COPPER DISTRICT***

1 : 250 000



Warszawa 1999

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY



***ATLAS GEOCHEMICZNY
LEGNICKO-GŁOGOWSKIEGO
OKRĘGU MIEDZIOWEGO***

***GEOCHEMICAL ATLAS
OF LEGNICA-GŁOGÓW
COPPER DISTRICT***

1 : 250 000

Warszawa 1999

Autorzy: Józef LIS, Anna PASIECZNA,
Izabela BOJAKOWSKA, Tomasz GLIWICZ, Zbigniew FRANKOWSKI,
Piotr PASŁAWSKI, Ewa POPIOŁEK, Gertruda SOKOŁOWSKA,
Ryszard STRZELECKI, Stanisław WOŁKOWICZ

Redaktor mgr Barbara SŁOWAŃSKA

Akceptował do druku 07.07.1999 r.
Dyrektor Naczelny Państwowego Instytutu Geologicznego
Prof. dr hab. Stanisław SPECZIK

© Copyright by Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1999

Recenzent prof. dr hab. inż. Andrzej PAULO

Tłumaczenie mgr Zdzisław SIWEK

WYDAWNICTWO KARTOGRAFICZNE
POLSKIEJ AGENCJI EKOLOGICZNEJ S.A.
Zlec. 5/99

PRZEDMOWA

Prezentowany „Atlas geochemiczny Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego” jest kolejnym opracowaniem Państwowego Instytutu Geologicznego obrazującym stan chemizmu powierzchniowych środowisk Ziemi w Polsce.

Badania zawartości wielu pierwiastków chemicznych oraz węglowodorów aromatycznych w glebach dawnego województwa legnickiego przeprowadzone zostały na zlecenie jego wojewody. Badania te uzupełniono pomiarami radiometrycznymi promieniotwórczych nuklidów potasu, uranu i toru oraz całkowitej dawki promieniowania gamma. Zakres i metodykę prac uzgodniono z Wydziałem Ochrony Środowiska Urzędu Wojewódzkiego.

Wyniki badań pozwoliły na ocenę tła geochemicznego gleb omawianego obszaru wynikającą z budowy geologicznej podłoża oraz na wydzielenie i okonturowanie anomalii geochemicznych zarówno naturalnych, jak i pochodzenia antropogenicznego. Głównym źródłem tych ostatnich jest hutnictwo, a w mniejszym stopniu procesy przeróbki rud miedzi. Obszary występowania gleb zanieczyszczonych głównie miedzią i ołowiem ograniczone są do otoczenia hut „Głogów” i „Legnica” oraz sąsiedztwa zakładów przerobczych zlokalizowanych koło Polkowic i Lubina. Są to grunty użytkowane przemysłowo lub nieużytki, w mniejszym zaś stopniu gleby uprawne. Dla tych rejonów konieczne jest wykonanie szczegółowych opracowań kartograficznych, które będą podstawą dla władz lokalnych przy planowaniu zagospodarowania przestrzennego. Z punktu widzenia klasyfikacji zalecanej w rolnictwie, uwzględniającej obecność metali ciężkich, badane gleby z reguły wykazują niewielki stopień zanieczyszczenia. Gleby silniej skażone występują w pobliżu zakładów hutniczych.

Dane geochemiczne i radiometryczne, zgromadzone w komputerowych bazach oraz przedstawione na mapach geochemicznych w skali 1:100 000 i częściowo 1:50 000, pozwalają na porównania z zaleceniami i normami zarówno polskimi, jak i europejskimi dotyczącymi ochrony środowiska.

Oddając ten Atlas w ręce wszystkich zainteresowanych, zarówno instytucji jak i osób prywatnych, wyrażam głęboką nadzieję, że będzie on pomocny przy podejmowaniu dalszych działań proekologicznych w otoczeniu zakładów górniczych, hutniczych i przeróbki rud miedzi oraz pozwoli na złamanie stereotypu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego jako obszaru klęski ekologicznej.

Mam też nadzieję, że zainicjowane przez Wojewodę Legnickiego regionalne rozpoznanie środowiska własnego terenu stanie się w najbliższej przyszłości normą dla nowo powstałych województw, które z uwagi na znaczne rozszerzenie ich granic objęły obszary dalece zróżnicowane pod względem geologicznym, geochemicznym i antropogenicznym.

Dyrektor Naczelny
Państwowego Instytutu Geologicznego

Prof. dr hab. Stanisław SPECZIK

SPIS TREŚCI

	Str.
Wstęp (<i>Ryszard Strzelecki</i>)	7
Prace terenowe (<i>Józef Lis, Anna Pasieczna, Izabela Bojakowska, Gertruda Sokółowska</i>)	7
Pomiary radiometryczne (<i>Ryszard Strzelecki, Stanisław Wolkowicz</i>)	8
Prace laboratoryjne	8
Analizy chemiczne (<i>Piotr Paślawski, Ewa Popiołek</i>)	8
Granulometria gleb (<i>Zbigniew Frankowski</i>)	8
Zarys geologii (<i>Anna Pasieczna</i>)	9
Geochemia pierwiastków chemicznych (<i>Józef Lis, Anna Pasieczna</i>)	9
Źródła zanieczyszczenia środowiska	9
Dotychczasowe badania geochemiczne gleb	9
Bazy danych i konstrukcja map geochemicznych	10
Wyniki badań	11
Przestrzenne rozmieszczenie gleb o różnej granulacji	11
Kwasowość gleb	11
Charakterystyka geochemiczna badanego obszaru	11
Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo w ujęciu gminnym	14
Wnioski	21
Geochemia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (<i>Izabela Bojakowska, Tomasz Gliwicz, Gertruda Sokółowska</i>)	21
Źródła wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w środowisku	21
Wyniki badań	22
Wnioski	24
Radiometria (<i>Ryszard Strzelecki, Stanisław Wolkowicz</i>)	24
Metodyka	24
Regulacje prawne	24
Wystąpienia uranu w formacjach litostratygraficznych badanego obszaru	24
Wyniki badań	24
Wnioski	26
Summary	26
Literatura – References	30
Tablice 1–46	32

**SPIS TABLIC
LIST OF PLATES**

1. Mapa geologiczna
Geological map
2. Zabudowa
Land development
3. Użytkowanie terenu
Land use
4. Kwasowość gleb
Acidity of soils

**GRANULOMETRIA
GRANULOMETRY**

5. Udział frakcji <0,02 mm w glebach
Content of fraction <0.02 mm in soils
6. Udział frakcji 0,02–0,10 mm w glebach
Content of fraction 0.02–0.10 mm in soils
7. Udział frakcji 0,1–0,6 mm w glebach
Content of fraction 0.1–0.6 mm in soils
8. Udział frakcji 0,6–2,0 mm w glebach
Content of fraction 0.6–2.0 mm in soils

**PIERWIASTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS**

9. Zawartość srebra w glebach
Silver content in soils
10. Zawartość glinu w glebach
Aluminium content in soils
11. Zawartość arsenu w glebach
Arsenic content in soils
12. Zawartość baru w glebach
Barium content in soils
13. Zawartość wapnia w glebach
Calcium content in soils
14. Zawartość kadmu w glebach
Cadmium content in soils
15. Zawartość kobaltu w glebach
Cobalt content in soils
16. Zawartość chromu w glebach
Chromium content in soils
17. Zawartość miedzi w glebach
Copper content in soils
18. Zawartość żelaza w glebach
Iron content in soils
19. Zawartość rtęci w glebach
Mercury content in soils
20. Zawartość magnezu w glebach
Manganese content in soils
21. Zawartość manganu w glebach
Manganese content in soils
22. Zawartość niklu w glebach
Nickel content in soils
23. Zawartość fosforu w glebach
Phosphorous content in soils

24. Zawartość ołowiu w glebach
Lead content in soils
25. Zawartość siarki w glebach
Sulphur content in soils
26. Zawartość skandiu w glebach
Scandium content in soils
27. Zawartość strontu w glebach
Strontium content in soils
28. Zawartość tytanu w glebach
Titanium content in soils
29. Zawartość wanadu w glebach
Vanadium content in soils
30. Zawartość itru w glebach
Yttrium content in soils
31. Zawartość cynku w glebach
Zinc content in soils

**WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE
POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS**

32. Suma 3-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach
Total content of 3-cyclic aromatic hydrocarbons in soils
33. Suma 4-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach
Total content of 4-cyclic aromatic hydrocarbons in soils
34. Zawartość benzo(b)fluorantenu w glebach
Benzo(b)fluoranthene content in soils
35. Zawartość benzo(k)fluorantenu w glebach
Benzo(k)fluoranthene content in soils
36. Zawartość benzo(a)pirenu w glebach
Benzo(a)pyrene content in soils
37. Zawartość indeno(1,2,3-cd)pirenu w glebach
Indeno(1,2,3-cd)pyrene content in soils
38. Zawartość dibenzo(a,h)antracenu w glebach
Dibenz(a,h)anthracene content in soils
39. Zawartość benzo(ghi)perylenu w glebach
Benzo(ghi)perylene content in soils
40. Suma 5- i 6-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach
Total content of 5- and 6-cyclic aromatic hydrocarbons in soils
41. Suma wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach
Total content of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils

**RADIOMETRIA
RADIOMETRY**

42. Punkty pomiarów radiometrycznych
Radiometric measurement points
43. Radiometryczny pomiar dawki promieniowania gamma
Radiometric measurement of gamma ray dose rate
44. Radiometryczny pomiar zawartości potasu
Radiometric measurement of potassium content
45. Radiometryczny pomiar zawartości uranu
Radiometric measurement of uranium content
46. Radiometryczny pomiar zawartości toru
Radiometric measurement of thorium content

WSTĘP

W wydanym przez Państwowy Instytut Geologiczny w 1995 roku „Atlasie geochemicznym Polski” w skali 1:2 500 000 obraz kartograficzny chemizmu środowiska glebowego, osadów wodnych i wód powierzchniowych w rejonie eksploatacji rud i hutnictwa miedzi Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) na Dolnym Śląsku wskazywał na znacznie podwyższone, w porównaniu z innymi obszarami Polski, koncentracje niektórych pierwiastków w tych środowiskach. Obecność anomalnych zawartości miedzi, cynku i ołowiu w środowisku glebowym tego obszaru była również przedstawiana wielokrotnie w licznych publikacjach. Biorąc pod uwagę społeczne zainteresowanie problemami zanieczyszczenia środowiska naturalnego przez przemysł miedziowy i sprzeczność panujących w tej mierze opinii, ówczesny Urząd Wojewódzki w Legnicy po szczegółowych dyskusjach z Instytutem oraz KGHM Polska Miedź S.A. zdecydował się na wykonanie badań geochemicznych środowiska glebowego na obszarze województwa legnickiego, w skali regionalnej. Mapy geochemiczne opracowano roboczo w skali 1:100 000, a dla obszarów szczególnie zagrożonych w skali 1:25 000. Opublikowany atlas przedstawiono w jednolitej przeglądowej skali 1:250 000.

Wyniki badań pozwalają na generalną ocenę stanu środowiska zbadanego regionu. Opracowanie będzie służyć również w dalszych pracach, mających na celu bardziej szczegółowe rozpoznanie zanieczyszczeń antropogenicznych już na znacznie ograniczonych obszarach.

Autorzy pragną gorąco podziękować za dyskusje nad kształtem opracowania dyrektorowi Wydziału Ochrony Środowiska byłego Urzędu Wojewódzkiego w Legnicy dr inż. T. Sałackiemu, Geologowi Wojewódzkiemu mgr M. Tylce oraz mgr inż. H. Byrdziak, mgr J. Garbaczewskiemu i mgr inż. J. Piątkowskiemu z KGHM Polska Miedź S.A.

PRACE TERENOWE

Opróbowanie gleb wykonane przez pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego prowadzono od lipca do października 1996 r. Zaangażowane były 4 dwuosobowe ekipy pracowników wyposażonych w odpowiedni sprzęt do pobierania próbek, mapy topograficzne, instrukcję opróbowania, karty opróbowania, pojemniki na próbki itp. Opróbowania dokonywano ściśle według procedury zawartej we wcześniej opracowanej instrukcji. Próbkę pobierano z gęstością podstawową 1×1 km oraz dla obszarów hut miedzi i górnictwa miedzi z zagęszczeniami do siatki 500×500 m (tablice 2 i 3).

Zdjęcie podstawowe. Arkusz mapy topograficznej w skali 1:25 000 w układzie państwowym 1965 podzielony został na 160 kwadratów o boku 1 km, zgodnie z siatką kilometrową. Miejsce poboru próbki lokalizowano w miarę możliwości najbliższej środka kwadratu. Dopuszczalne były niewielkie przesunięcia z powodu małej dostępności terenu, lub w przypadku gdy sposób użytkowania gleby w środku kwadratu odbiegał od typowego. Miejsce poboru próbki glebowej lokalizowano w obszarze o typowym dla danego kwadratu użytkowaniu gleby. Przykładowo, w terenach leśnych – w lesie, w przypadku gruntów ornych – w terenach pól uprawnych, w przypadku użytków zielonych – na łąkach. Unikano pobierania próbek glebowych w pobliżu dróg o nawierzchni asfaltowej oraz w pobliżu linii kolejowych (co najmniej 100 m od tych szlaków komunikacyjnych); nie dotyczyło to terenów z zabudową miejską i przemysłową. Próbkę pobierano z głębokości 0–20 cm.

Sposób opróbowania. W miejscu opróbowania wyznaczano pole o średnicy 10–20 m, w którym lokalizowano punkty poboru podpróbek w sposób zaznaczony na poniższym schemacie (fig. 1).

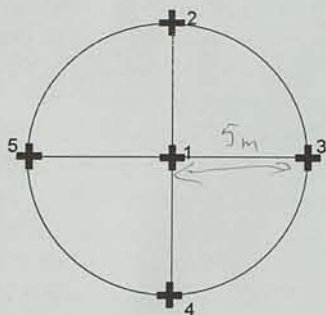


Fig. 1. Schemat poboru podpróbek w miejscu opróbowania
Scheme of collecting subsamples of sampling site

Poszczególne podpróbki (1–5) pobierane były za pomocą ręcznej sondy. Podpróbki łączono w próbkę zbiorczą o masie około 2 kg i umieszczano w woreczku płóciennym opisanym odpowiednim numerem. Miejsce pobrania centralnej podpróbki zaznaczano na mapie krzyżykiem i opisywano numerem kolejnego kwadratu mapy. Woreczek płócienny z próbką zbiorczą gleby umieszczano w woreczku foliowym. Woreczek foliowy pozwalał na uniknięcie bezpośredniego kontaktu między próbkami w czasie transportu

i ewentualnego wzajemnego zanieczyszczenia. Przy pobieraniu podpróbek zwracano szczególną uwagę, aby nie łączyć ze sobą gleb o wyraźnie różnej granulacji.

Numer próbki umieszczano na woreczku płóciennym. Numer ten składa się z godła (numeru arkusza) mapy oraz numeru kolejnego kwadratu na arkuszu mapy. Obserwacje dotyczące zabudowy (tablica 2), sposobu użytkowania terenu (tablica 3), a także charakteru petrograficznego próbki notowano w odpowiednich kartach opróbowania (fig. 2).

W trakcie opróbowania próbki zamknięte w woreczkach foliowych transportowane były w workach jutowych lub pojemnikach plastikowych. Po przyjeździe do bazy umieszczano je w podręcznym przewiewnym magazynie. Przed rozłożeniem próbek na odpowiednim podłożu (deski, palety drewniane) otwierano woreczki foliowe, aby próbki mogły schnąć.

Na obszarach stref ochronnych zakładów przemysłowych oraz w obszarach miejskich sporządzano **zdjęcie zagęszczone** – próbki pobierane były z gęstością 4/km², tzn. z kwadratów o boku 500 m. Na obszarach miast i w terenach przemysłowych z gęstą zabudową próbki pobierano z trawników, parków, zieleńców, ogródków działkowych itp. W przypadku trawników przyulicznych próbka zbiorcza złożona była z podpróbek zbieranych wzdłuż trawnika co 5 m. Pozostałe zasady opróbowania były identyczne jak w przypadku zdjęcia podstawowego.

Dla oznaczenia zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach pobrano 202 próbki w siatce 1/25 km². W strefie oddziaływania hut „Legnica” i „Głogów” próbki pobierano z gęstością 1/1 km². Wokół huty „Legnica” pobrano 92 próbki, zaś wokół huty „Głogów” 129 próbek. W sąsiedztwie zbiornika „Żelazny Most”, którego plaże są stabilizowane emulsją bitumiczną, pobrano 37 próbek. Łącznie uzyskano do badań 460 próbek.

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
Zdjęcia geochemiczne województwa legnickiego

Karta opróbowania gleb

Data: wrzesień 1996

Nr próbki: 442430910

Opróbowat: M. Szanku

Gmina: Rudna Miejscowość:

Zabudowa	Podpróbki					Gatunek gleby
	1	2	3	4	5	
1 <input checked="" type="checkbox"/> brak	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	piaszczysta, piasek
2 <input type="checkbox"/> willeka						piaszczysto-gliniasta
3 <input type="checkbox"/> mielezka niska						gliniasto-piaszczysta
4 <input type="checkbox"/> mielezka wysoka						gliniasta
5 <input type="checkbox"/> przemysłowa						gлина
Użytkowanie						
1 <input checked="" type="checkbox"/> pole uprawne						mulek
2 <input type="checkbox"/> lasy						torfiasta, torf
3 <input type="checkbox"/> łąki						
4 <input type="checkbox"/> nieużytki, ugory						
5 <input type="checkbox"/> trawniki						
6 <input type="checkbox"/> parki						
7 <input type="checkbox"/> ogródki działkowe						

Uwagi:

Fig. 2. Przykład karty opróbowania gleby
An example of sampling data form

Kontrola opróbowania. Dla oceny sumarycznego błędu powtarzalności, uwzględniającego opróbowanie, przygotowanie próbek do analiz oraz pomiar analityczny, na każdym opróbowanym arkuszu mapy pobrano po jednej próbce podwójnej (podstawowa + kontrolna). Błąd sumaryczny z podwójnych analiz określano według wzoru:

$$V (\%) = 2s \bar{X} \cdot 100$$

gdzie:

s – odchylenie standardowe,
 \bar{X} – średnia arytmetyczna.

Błąd powtarzalności wyników przy podwójnym opróbowaniu był zróżnicowany i mieścił się w następujących granicach:

<10,00% dla Ca, Fe, Mg, P, S, V i pH;
10,01–15,00% dla Al, Ba, Co, Cr, Mn i Zn;
15,01–20,00% dla Cu, Sr i Y;
20,01–23,00% dla Ni, Pb i Ti.

Dla pierwiastków takich jak Ag, As, Cd, Hg, Sc, dla których większość wyników oznaczeń była poniżej granicy wykrywalności w stosowanej metodzie analitycznej, nie obliczano wielkości błędu.

POMIARY RADIOMETRYCZNE

Pomiary wykonywane były przenośnym gamma spektrometrem scyntylicyjnym, model GS-256, produkcji „Geofizyka” Brno. Jest to nowoczesny spektrometr przeznaczony do pomiarów promieniotwórczości dla potrzeb geologii. Posiada on w pełni automatyczną stabilizację widma i wewnętrzną pamięć, umożliwiającą zarejestrowanie 380 pomiarów.

Detektorem jest kryształ jodku sodu aktywowany talem, o wymiarach 3”/3”. Standardowy wzorzec (¹³³Ba kod SZBa-4), o aktywności 47,0 kBq radionuklidu podstawowego, umieszczono na obudowie sondy pomiarowej, a odległość od kryształu dobrano tak, by przy dostatecznie silnym sygnale, umożliwiającym stabilizację widma pomiarowego, nie obserwowano wpływu wzorca na kanał TC. Zastosowano dwuminutowy czas pomiaru. Detektor był umieszczony na wysokości 1,5 m nad powierzchnią terenu w celu wyeliminowania wpływu drobnych nierówności hipsometrycznych na geometrię pomiaru.

Prace pomiarowe wykonane zostały w okresie od lipca do listopada 1996 r. Łącznie wykonano pomiary na 4778 punktach w regularnej siatce 1×1 km dla całego obszaru i 500×500 m w wyznaczonych rejonach (tablica 42). Lokalizacja punktów pomiarowych prowadzona była na mapach topograficznych w skali 1:25 000 w układzie 1965. Do każdego punktu sporządzano szkic lokalizacyjny, a do arkusza opisowego wprowadzono dane o sposobie użytkowania terenu, granulacji i barwie gleby.

PRACE LABORATORYJNE

ANALIZY CHEMICZNE

Analizy chemiczne wykonano w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego. Przy oznaczaniu stosowano metody: spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-AES), absorbcyjnej spektrometrii atomowej (AAS) i chromatografii gazowej z detektorem spektrometrii masowej (GC-MSD). Zestawienie granic oznaczalności i precyzji oznaczeń przedstawiono w tabelach I i II.

Tabela I
Table

Metody analityczne, granice oznaczalności i precyzja oznaczeń pierwiastków chemicznych i kwasowości
Analytical methods, detection limits and precision of chemical elements and acidity determinations

Pierwiastek Element	Metoda analityczna Analytical method	Jednostka Unit	Granica oznaczalności Detection limit	Precyzja Precision (RSD, %)	
Ag	ICP-AES	ppm	0,5	1	
Al		%	0,05	0,65	
As		ppm	5	1,9	
Ba		ppm	1	1,3	
Ca		%	0,01	0,85	
Cd		ppm	0,5	0,95	
Co		ppm	1	1,1	
Cr		ppm	1	0,91	
Cu		ppm	1	0,85	
Fe		%	0,01	0,71	
Hg		CV-AAS	ppm	0,05	4,9
Mg		ICP-AES	%	0,01	0,81
Mn			ppm	1	0,75
Ni			ppm	1	1,5
P	%		0,005	2,5	
Pb	ppm		5	2,5	
S	%		0,005	0,75	
Sc	ppm		0,3	1,0	
Sr	ppm		1	0,84	
Ti	ppm		1	0,92	
V	ppm		1	1,1	
Y	ppm		0,5	1,5	
Zn	ppm		1	0,88	
pH	Potencjometria Potentiometry		—	0,05	2,8

Tabela II
Table

Granice oznaczalności wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) (w ppb)
Detection limits of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (in ppb)

Związek chemiczny Chemical compound	Granica oznaczalności Detection limit
Acenaften	1
Antracen	1
Acenaftylen	1
Benzo(a)antracen	1,5
Benzo(a)piren	3
Benzo(ghi)perylene	5
Benzo(b)fluoranten	2,5
Benzo(k)fluoranten	3
Chryzen	1,5
Dibenzo(a,h)antracen	5
Fenantren	1
Fluoranten	1
Fluoren	1
Indeno(1,2,3-cd)piren	5
Piren	1

Do analiz ICP-AES i AAS próbki gleb o uziarnieniu <2 mm ucierano w agatowych młynach kulowych do rozmiaru ziarna <0,063 mm i po skwartowaniu pobierano próbkę analityczną o masie około 100 g.

Do oznaczeń Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sc, Sr, Ti, V, Y i Zn, roztwarzano 1 g próbki w wodzie królewskiej przez 1 godz. w temp. 95°C w termostatomowanym bloku aluminiowym, a następnie sączono przez twardy sączek ilościowy do kolby miarowej o pojemności 50 ml i uzupełniano do kreski. Z otrzymanego roztworu odlewano do butelki polietylenowej około 15 ml na oznaczenie rtęci techniką zimnych par. Pozostałość przelewano do drugiej butelki polietylenowej na oznaczenie zawartości metali oraz siarki i fosforu metodą ICP-AES. W analogiczny sposób przygotowywano próbki kontrolne.

Analizy wykonano za pomocą sekwencyjno-równoczesnych spektrometrów ICP-AES: PV 8060 firmy Philips i BJV 70 Geoplasma firmy Jobin-Yvon.

Do oznaczeń Hg stosowano metodę spektrometrii absorpcji atomowej techniką zimnych par (CV-AAS) przy użyciu spektrometru Perkin-Elmer 4100 ZL z systemem przepływowym FIAS-100.

Kwasowość gleb w środowisku wodnym oznaczono według normy przyjętej w gleboznawstwie (NORMA..., 1975).

Do analiz WWA powietrznie suche próbki gleb (20–30 g) ekstrahowano chlorkiem metylenu w temperaturze 110°C, w automatycznym aparacie ekstrakcyjnym typu Soxtec, model HT2 firmy Tecator. Ekstrakty glebowe analizowano przy użyciu chromatografu gazowego model 5890 II, z detektorem masowym model 5971 firmy Hewlett-Packard. Rozdziały wykonano na niepolarniej kolumnie HP-5. Analizę ilościową przeprowadzono metodą wzorca zewnętrznego na bazie certyfikowanego standardu PM-612 firmy ULTRA Scientific.

Kontrola jakości analiz. W ramach kontroli jakości stosowano analizę próbek podwójnych (10% ogólnej ilości próbek) oraz analizowano próbki referencyjne z atestowaną zawartością badanych pierwiastków: LOAM 7004, SRM 2709 (NIST), SRM 2711(NIST). Dodatkowo Centralne Laboratorium Chemiczne PIG brało w tym czasie udział w międzynarodowym porównaniu międzylaboratoryjnym organizowanym przez Uniwersytet Rolniczy w Wageningen (Holandia) dla analizy gleb ISE (zawartość metali oraz oznaczenie pH) i SETOC dla oznaczania metali oraz WWA w osadach. Brano również udział w porównaniu międzylaboratoryjnym GeoPT2 dla analizy tufu wulkanicznego (zawartość metali) organizowanym przez Uniwersytet w Canberry (Australia).

GRANULOMETRIA GLEB

Jednym z czynników wpływającym na zawartość pierwiastków chemicznych w glebach jest ich granulometria. Gleby z dużym udziałem frakcji ilastej, zwanej również frakcją splawialną (<0,02 mm), i pylastej (<0,1 – >0,02 mm) charakteryzują się zwykle wyższymi zawartościami szeregu pierwiastków i ich mniejszą mobilnością w warunkach hipergenicnych. W konsekwencji, w normach i zaleceniach określających dopuszczalne stężenia metali w glebach uprawnych zwykle uwzględnia się tę ich właściwość, dopuszczając wyższe stężenia graniczne dla gleb z dużym udziałem frakcji ilastej i stężenia niższe dla gleb z dużym udziałem frakcji piaszczystych (A. Kabata-Pendias i in., 1995).

Oznaczenia granulometryczne wykonano za pomocą analizy sitowej i metodą laserowego pomiaru wielkości cząstek.

Z uwagi na fakt, iż analizy granulometryczne sporządzane były metodami odbiegającymi od klasycznych (stosowanych według odpowiednich norm w gleboznawstwie), wyniki tych pomiarów nie mogą służyć do podziału gleb według kryteriów gleboznawczych. Są one natomiast bardzo pomocne przy interpretacji wyników badań geochemicznych.

Analiza sitowa. Analizę sitową próbek gleb wykonano w Oddziale Dolnośląskim Państwowego Instytutu Geologicznego we Wrocławiu, według schematu opisanego poniżej.

Powietrznie suche próbki przesiewano przez sito o wielkości oczek 2 mm, a następnie ważono obie frakcje. Frakcję <2 mm kwartowano w celu uzyskania próbki analitycznej o masie około 100 g. Pozostałość powtórnie ważono i przesiewano przez sito o wielkości oczek 0,6 mm. Uzyskane frakcje ważono, a następnie z frakcji <0,6 mm przez kwartowanie uzyskiwano próbkę o masie około 100 g przeznaczoną do analizy wielkości ziarn metodą laserową. Udziały uzyskanych w ten sposób trzech frakcji (>2 mm, <2–>0,6 mm i <0,6 mm) przeliczano na udziały procentowe w stosunku do całości próbki. W przypadku gdy materiał glebowy był pozelepiany, próbkę przed kwartowaniem i przesiewaniem rozdrabniano w młynku porcelanowym.

Analiza laserowa wielkości ziarn. Pomiary wielkości ziarn dla frakcji <0,6 mm przeprowadzono w Zakładzie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie, przy użyciu laserowego miernika wielkości cząstek Analysette-22 firmy Fritsch.

Za pomocą tego urządzenia wykorzystuje się w pomiarze zjawisko odchylenia promienia świetlnego na krawędzi cząstki. Kąt odchylenia jest funkcją wielkości cząstki. Im mniejsza cząstka, tym większy kąt odchylenia. Fotodetektor ma 31 klas światłoczułych elementów pomiarowych, stąd minimalna liczba klas badanej próbki wynosi 31. Maksymalna ich liczba wynosi 310, ponieważ programowo można wykonać 10-krotny pomiar w danym zakresie. Długość odcinka przesuwu pomiarowego wynosi od 9 do 747 μm, co umożliwia pomiar cząstek o wielkości od 0,1 μm do 1250 μm. Aparat jest w pełni zautomatyzowany. Miernik laserowy Analysette-22 składa się z:

– jednostki dyspersyjnej, którą stanowi wanienka metalowa o pojemności 400 ml z wbudowanym mieszadłem i generatorem ultradźwięków o mocy 300 miliwolt; natężenie ultradźwięków oraz prędkość obrotowa mieszadła (max 250 obr./min) są sterowane ręcznie przez operatora;

– jednostki pomiarowej, którą stanowi lawa optyczna składająca się ze źródła światła (laser helowo-neonowy), specjalnej soczewki wytwarzającej stożkowy promień światła, koncentrycznego detektora fotoelektrycznego oraz przesuwanej celi pomiarowej;

– zespołu karty analogowo-cyfrowej z programem komputerowym do obliczania uzyskanych wyników.

Zgodnie z instrukcją obsługi średnica badanych cząstek obliczana jest ze wzoru:

$$\frac{1.84 \times f \times L}{R_0}$$

gdzie:

- f – ogniskowa soczewki,
- L – długość fali,
- R₀ – promień krążka koncentrycznego detektora.

Program umożliwia przeliczanie wyników uzyskanych przy użyciu lasera, a także innymi metodami, wg funkcji:

$$F = \frac{X_L}{X_{Si}}$$
$$X_L = F \times X_{Si}$$

gdzie:

- F – współczynnik korelacyjny,
- X_L – średnica cząstki zmierzona laserem,
- X_{Si} – średnica cząstki oznaczonej inną metodą (np. areometryczną).

ZARYS GEOLOGII

Większość badanego obszaru pokrywają osady kenozoiczne. W ich podłożu znajdują się utwory należące do bloku przedsudeckiego – jednostki strukturalnej wychodzącej na powierzchnię w południowej części mapy tylko w nielicznych miejscach. W części południowo-zachodniej wschodnie utworów podkenozoicznych są znacznie większe. Odsłaniają się tu skały należące do kilku jednostek strukturalnych Sudetów i bloku przedsudeckiego (tablica 1).

Blok przedsudecki. W rejonie Wądroża Wielkiego odsłania się wypiętrzenie proteozoicznych gnejsów (przeciętych licznymi żyłami kwarcowymi) wśród łupków starszego paleozoiku zaliczanych do wschodniego przedłużenia metamorfiku kaczawskiego (J.E. Mojski, L. Sawicki, red., 1996).

Gnejsy zbudowane są z kwarcu, mikroklinu, albitu, biotyty i muskowitu. Akcesorycznie występuje w nich granat, cyrkon i tlenki żelaza. Ogólnie skały te są silnie skaolinizowane.

Na południe od rejonu występowania gnejsów wychodzi na powierzchnię seria łupków starszego paleozoiku (fyllity, szarogłazy, kwarcyty, łupki zieleńcowe). W składzie mineralnym szarogłazów stwierdzono kwarc, albit, lyszczyki, chloryt, tlenki żelaza. Zieleńce zbudowane są z chlorytu, epidotu, albitu i tlenków żelaza.

Struktura kaczawska. W obrębie omawianego obszaru (na południe od linii Męcinka-Paszowice) znajduje się północno-wschodnia część struktury. Obejmuje ona zmetamorfizowane w facji zieleńcowej skały kambru, ordowiku i syluru. Największy udział w jej budowie mają zlepieńce i brekcje wulkaniczne oraz zieleńce kambro-ordowiku. Zieleńce powstały ze zmetamorfizowanych law o chemizmie bazaltowym (Z. Baranowski i in., 1987). Ponad nimi zalega seria łupków kwarcowo-sercytowo-chlorytowych i grafitowych, miejscami kwarcowo-albitowo-chlorytowych, kwarcytów i epidiazabazów, których wiek określany jest na ordowik-karbon dolny. Podrzedne znaczenie mają łupki graptolitowe syluru. Formacje łupkowe często zawierają przejawy okruszczenia pirytem, chalkopirytem, galeną, sfalerytem i innymi mineralami kruszcowymi (A. Paulo, 1973).

Depresja północnosudecka. W południowej i południowo-zachodniej części obszaru podłoże geologiczne tworzą skały depresji północnosudeckiej. Jest to jednostka zbudowana głównie z utworów permu. Wśród nich szczególne znaczenie ma seria marglistych łupków miedzianych dolnego cechsztynu, eksploatowana w kopalniach miedzi między Bolesławcem a Złotoryją. Na powierzchnię wychodzą piaskowce i zlepieńce czerwonego spągowca i cechsztynu oraz kwaśne wulkanity czerwonego spągowca. Znaczący obszar zajmują wschodnie utworów (przeważnie piaskowców) triasu i kredy górnej.

Utwory kenozoiczne. Osady trzeciorzędowe występują na powierzchni w niewielkich płatach, głównie w południowej części badanego obszaru. Miocen to przeważnie osady ilaste zawierające soczewy węgla brunatnych. Pliocen reprezentują piaski i żwiry. Z rejonu Legnicy-Złotoryi znane są wystąpienia bazaltów i ich tufów. Są to bazalty plagioklazowe, oliwinowe oraz nefelinowe zawierające również pirokseny, chloryt, magnetyt i kalcyt (J.E. Mojski, L. Sawicki, red., 1995).

Utwory czwartorzędowe zalegają zwartą pokrywą prawie cały omawiany teren i wchodzi w skład struktur Sudetów wzdłuż dolin rzecznych. Zbudowane są z lodowcowych i wodnolodowcowych osadów zlodowacenia środkowopolskiego i północnopolskiego (gliny, żwiry i piaski) oraz osadów rzecznych (piaski, namuły) holocenu.

Największe powierzchnie zajmują osady stadiału maksymalnego (starszego stadiału zlodowacenia środkowopolskiego). Są to piaski i żwiry wodnolodowcowe oraz gliny zwałowe. Piaski są różnoziarniste, słabo wysortowane i słabo obtoczone. W ich składzie petrograficznym na północy obszaru dominuje kwarc (do 87%), nad skalami skandynawskimi (do 10%), skaleniemi (około 5%) oraz piaskowcami i biotytem (J.E. Mojski, red., 1977). Na przedgórzu Sudetów skład petrograficzny piasków ulega zmianie i wyraźnie wskazuje na udział materiału skalnego pochodzącego z erozji Sudetów. Przewagę uzyskują tu lokalnie lidyty i łupki krzemionkowe lub kwarc (sąsiedztwo metamorfiku kaczawskiego), zaś w innych rejonach najważniejszymi składnikami piasków są okruszki granitów, gnejsów i łupków metamorficznych. Gliny zwałowe są piaszczysto-ilaste i piaszczyste, z nielicznymi fragmentami skał skandynawskich. We frakcji żwirowej glin udział materiału skandynawskiego dochodzi do 80–90% (J.E. Mojski, red., 1975). W południowej części mapy w glinach występują lawice i soczewy piasków, mulków, żwirów oraz bloki skalne zarówno skandynawskie, jak i sudeckie.

Pozostałością stadiału mazowiecko-podlaskiego (młodszy stadiał zlodowacenia środkowopolskiego) są piaski, żwiry i glazy lodowcowe oraz gliny zwałowe występujące w rejonie Jerzmanowej-Żukowic. Piaski są zaglinione, zawierają liczne bloki skał północnych. Gliny zwałowe tego stadiału są piaszczysto-ilaste lub pylasto-piaszczyste. Gliny zwałowe, wraz z osadami piasków i żwirów leżących w ich stropie, stanowią główny materiał budujący Wzgórza Dalkowskie.

Na północ od doliny Odry (rejon miejscowości Kotla) występują niewielkie płyty piasków i żwirów wodnolodowcowych najmlodszy zlodowacenia (północnopolskiego). Tego wieku są również lessy i gliny lessopodobne pojawiające się w postaci nieregularnych wystąpień w południowej części mapy.

Doliny Odry i jej dopływów wypełniają osady tarasów akumulacyjnych. Należą do nich głównie holoceni mady, mulki, namuły, piaski i żwiry rzeczne. Z tymi dolinami związane są również wystąpienia piasków eolicznych tworzących miejscami wydmy. Poniżej wypływu sudeckich rzek na przedpołu Sudetów zalegają osady stożków napływowych, zbudowanych z piasków i żwirów, w których sudecki materiał okruszony stanowi około 70–90% (J.E. Mojski, L. Sawicki, red., 1996).

W dolinie Szprotawy, między Przemkowem, Radwanicami i Gaworzycami, położony jest największy obszar występowania torfów. Zaliczono je do dolinowych torfów turzycowo-mszystych (A. Kowalkowski i in., 1994; J.E. Mojski, red., 1977).

O cechach współczesnej pokrywy glebowej decyduje zróżnicowanie litologiczne skał podłoża. Gleby utworzone na opisanych powyżej skałach macierzystych należą do kilku typów. Przeważającym typem w regionie są gleby brunatne – brunatne właściwe, brunatne kwaśne i płowe. Mniejsze znaczenie mają gleby bielicoziemne – rdzawe i bielcowe (L. Szerszeń i in., 1995). Na obszarach podmokłych wytworzyły się gleby bagienne (torfy). Wymienione typy gleb różnią się budową i składem granulometrycznym mającym istotne znaczenie zarówno dla ich przydatności rolniczej, jak i możliwości akumulowania substancji toksycznych.

GEOCHEMIA PIERWIĄSTKÓW CHEMICZNYCH

ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA

Podstawowym źródłem zanieczyszczenia regionu jest górnictwo i przemysł miedziany. Zachodzące tu przemiany mają charakter antropogeniczny. W 1957 r. w obszarze lubińsko-głogowskim zostały bowiem odkryte jedne z najbogatszych w świecie złoża miedzi. Zagospodarowanie zagłębia rozpoczęto w latach sześćdziesiątych budową kopalni.

Tereny górnicze kopalni rud miedzi „Lubin”, „Polkowice”, „Rudna” i „Sieroszowice” zajmują około 10% powierzchni badanego obszaru (J. Krajewski, M. Nierzewska, 1995). Zanieczyszczenia gleb terenów górniczych metalami ciężkimi pochodzą z emisji pyłów skoncentrowanych w 17 rejonach szybowych, z przeladowni rud oraz z elektrociepłowni.

Do najbardziej uciążliwych źródeł zagrożenia środowiska należy kompleks przemysłowy Legnicko-Głogowski Okręgu Miedziowego. W 1996 r. Huta Miedzi „Głogów”, Huta Miedzi „Legnica” oraz Zakład Hydrotechniczny „Żelazny Most” znajdowały się na liście zakładów szczególnie uciążliwych (w skali kraju) ogłoszonej w 1990 r. przez Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (W. Niedźwiecka, J. Piotrowski, red., 1997).

Znaczący rozmiar produkcji i szybkie tempo budowy kolejnych zakładów wydobywania i przeróbki wywołały degradację terenów w zasięgu ich oddziaływania. Największa i najbardziej uciążliwa emisja pyłów (ze znaczną ilością metali – a głównie Pb) pochodziła z początkowych lat rozwoju zagłębia. Dzięki nowej technologii mokrego odpylania i zastosowaniu elektrofiltrów emisję tę znacznie ograniczono. W 1994 r. łączna emisja pyłów z zakładów Kombinatu Górniczo-Hutniczego Miedzi (KGHM) wyniosła 2,5 tys. t. Dla porównania można przytoczyć dane dla ówczesnych województw: warszawskiego – 18 tys. t, szczecińskiego – 23,4 tys. t, czy katowickiego – 114,9 tys. t (J. Dobrzański, H. Byrdziak, 1995). Zanieczyszczenia gazowe to tlenek węgla, dwutlenek siarki (w znacznym stopniu przetwarzany na kwas siarkowy) i związki organiczne.

Zwałowiska kopalni LGOM-u w formie hald zajmują nieznaczną powierzchnię, natomiast z przeróbką rudy wiąże się powstawanie dużych ilości odpadów, składowanych w zbiornikach poflotacyjnych.

Nieczyste składowiska odpadów w Starym Zagłębiu (składowisko „Lena 1” i „Lena 2” w Wilkowie, „Wartowice” i „Iwiny” w Iwinach) oraz składowisko „Gilów” zostały w większości zrehabilitowane i nie powinny mieć wpływu na stan środowiska (J. Lewiński i in., 1996). Natomiast składowisko „Żelazny Most” w opinii wymienionych autorów należy do dynamicznych źródeł zagrożenia. Ilość odpadów gromadzonych tu rocznie wynosi 20 mln t (J. Dobrzański, H. Byrdziak, 1995). Częściowo są one wykorzystywane do budowy zapór zbiornika.

Wypiętrzenie składowiska „Żelazny Most” oraz cechy fizyczne odpadów sprzyjają ich pyleniu. Szczególnie narażone na zapylenie jest osiedle Rudna oraz wsie Grodowiec, Grodziszczce i Krzydłowice. Badania zawartości metali w glebach rejonu składowiska przeprowadzone w 1994 r. wykazały ich niewielkie podwyższenia (J. Lewiński i in., 1996). Stwierdzono, że średnie stężenie ołowiu wynosi tu 18 ppm, miedzi – 18 ppm, kadmu – 0,10 ppm i arsenu – 3,5 ppm.

Inny problem stanowi odprowadzanie ścieków do zbiorników powodujące zanieczyszczenie wód powierzchniowych i osadów wodnych. Zakłady KGHM Polska Miedz S.A. odprowadzają do wód powierzchniowych 56–61 mln m³/r. ścieków sanitarnych, przemysłowych i zmineralizowanych wód kopalnianych (S. Czaban i in., 1996). Wszystkie ścieki hutnicze są zanieczyszczone zawiesiną, metalami ciężkimi, a niekiedy są również kwaśne (J. Dobrzański, H. Byrdziak, 1995). Ścieki po oczyszczeniu odprowadzane są do Odry. Zasolone wody pochodzące z odwodnienia kopalni są zrzucane do Odry w ilości 60–70 tys. m³ na dobę. Ilość soli wynosi w nich kilkanaście g/l. Zrzut prowadzony jest grawitacyjnie w rejonie Głogowa.

DOTYCHCZASOWE BADANIA GEOCHEMICZNE GLEB

Opublikowane wyniki badań geochemicznych gleb omawianego obszaru dotyczyły na ogół tylko wybranych rejonów. Nie objęły też one szerokiego wachlarza oznaczanych pierwiastków. Większość tych prac koncentrowała się na terenach bezpośredniego otoczenia hut.

Do roku 1970 nie prowadzono systematycznych badań dotyczących zanieczyszczenia gleb w rejonach oddziaływania hut miedzi. W latach następnych podejmowano głównie badania w strefach ochrony sanitarnej hut.

W pierwszym roku emisji z huty „Głogów” wykonane zostały badania gleb na obszarze około 500 ha, bezpośrednio przylegającym do huty (E. Roszyk, S. Roszyk, 1975). Zbadano 136 próbek gleb. Stwierdzono zawartości Cu od 25 do 200 ppm, Pb od 10 do 80 ppm i siarki od 90 do 840 ppm. W drugim roku emisji przeprowadzono oznaczenia tych samych pierwiastków w całej strefie ochrony sanitarnej, stwierdzając ten sam rząd stężeń (E. Roszyk, S. Roszyk, 1976).

Analizie wpływu emisji huty „Głogów” na skład chemiczny gleb (zawartości Cu, Pb, Zn, Cd) poświęcona była również praca A. Kabaty-Pendias i in. (1981). Przeprowadzone w latach 1974–1978 badania wykonano w zasięgu do 27 km od źródła emisji. Stwierdzono, że w warstwie powierzchniowej gleb (5–20 cm) następuje znaczna akumulacja oznaczanych pierwiastków. Koncentracje miedzi dochodziły do 830 ppm, a ołowiu do 325 ppm.

W profilach glebowych łąk w rejonie huty „Głogów” (J. Borkowski i in., 1991) stężenia badanych metali są wielokrotnie wyższe na głębokości 0–5 cm (do 7975 ppm Cu i 1050 ppm Pb) niż na głębokości 25–30 cm (do 25 ppm Cu i 65 ppm Pb). Rodzaj filtra kumulującego metale stanowi tu poziom darniowy.

Na bardzo wyraźną kumulację miedzi w próbkach powierzchniowych (5–15 cm) w stosunku do warstwy głębszej (30–40 cm) wskazują też badania A. Karczewskiej (1996). W górnym poziomie całkowite zawartości miedzi wahają się od 240 do 1710 ppm, zaś w dolnym – od 7 do 65 ppm. W przypadku ołowiu wartości te wynoszą odpowiednio 99–333 oraz 10–23 ppm (A. Karczewska, 1997).

Ze względu na toksyczne działanie na rośliny łatwo dostępnych form pierwiastków podejmowano badania dotyczące ich udziału w ogólnej zawartości. Analizy tego rodzaju wykonano dla trzech próbek gleb z rejonu oddziaływania huty „Głogów” (M. Jakubus, J. Czekala, 1995). Wykazały one, że frakcja miedzi łatwo dostępnej stanowiła od około 8 do 18% ogólnej zawartości metalu. Podobne badania A. Karczewskiej (1995) dotyczyły form występowania Fe, Mn, Zn, Cu i Pb w glebach narażonych na emisję z hut „Legnica” i „Głogów”. Pozwalają one na stwierdzenie, że metale litogeniczne (Fe i Mn) wykazują podobny rozkład frakcyjny w różnych glebach, a ich całkowite zawartości nie zmieniają się wraz z głębokością. Metale pochodzące z emisji hutniczych (Cu, Pb, Zn) charakteryzuje znaczny udział form ruchliwych, a ich zawartości w poziomach powierzchniowych gleb (5–15 cm) są znacznie wyższe niż w poziomach głębszych (30–40 cm).

W pierwszej połowie lat osiemdziesiątych opublikowano badania nad zawartością miedzi, cynku i siarki w glebach w promieniu 1500 m od huty „Legnica” (J. Drozd i in., 1984). W warstwie powierzchniowej gleby ilość miedzi wahała się od 60 do 16 400 ppm, w zależności od kierunku i odległości od centrum emisji. W rejonie tym stwierdzono zawartość cynku w granicach 7–910 ppm, zaś siarki 180–2100 ppm. Charakterystycznym zjawiskiem jest kumulacja wszystkich badanych pierwiastków na wschód od huty. Badania te wykazały ponadto znaczne przemieszczanie się miedzi w głąb profili glebowych. Mniej podatne na przemieszczanie okazały się cynk i siarka.

W obszarze graniczącym z hutą „Legnica” (odległości 600–2500 m) przeprowadzone były również badania we wsiach Białka i Pawłowice. Stwierdzono, że gleby położone najbliżej źródła emisji zawierają więcej ołowiu (do 654 ppm), miedzi (do 1244 ppm) i arsenu (do 24 ppm), zaś w glebach oddalonych od emitora zaobserwowano więcej niklu (do 25 ppm). Gleby te wykazywały bardzo niskie pH (3,6) spowodowane prawdopodobnie opadami związków siarki (E. Andruszczak i in., 1986; R. Czuba i in., 1995).

Jak wynika z badań L. Szerszenia i in. (1986) gleby strefy ochrony sanitarnej hut miedzi zawierają kilkakrotnie więcej metali ciężkich, zwłaszcza miedzi i ołowiu, w porównaniu do gleb nie poddanych działaniu pyłów hutniczych. Spostrzeżenie to dotyczy zarówno całkowitej zawartości metali, jak i ich form rozpuszczalnych. Największe kumulacje badanych pierwiastków (do 1930 ppm Cu, do 530 ppm Pb i do 186 ppm Zn) notowano w glebach z dużą zawartością części spawalnych. Badania mineralogiczne wykazały obecność gipsu we frakcji ziarnowej 0,02–0,002 mm na obszarach o największym zapyleniu.

W pyłach metalurgicznych emitowanych przez hutnictwo miedzi największy udział ma oczywiście Cu. Z punktu widzenia potencjalnego skażenia roślin istotna jest jednak nie całkowita zawartość tego pierwiastka w glebach, ale zawartość form przyswajalnych przez rośliny. W glebach rejonu huty „Głogów” udział form Cu rozpuszczalnych w kwasie solnym wynosi 85% ogólnej zawartości pierwiastka, zaś ekstrakcja kwasem azotowym powodowała uwolnienie 72% zawartości Cu. Pomimo, iż forma miedzi rozpuszczalna w kwasie azotowym określana jest jako dostępna dla roślin (S. Strączyński, E. Andruszczak, 1996), to w rejonach występowania gleb zanieczyszczonych miedzią nie stwierdzono jej nadmiernych ilości w ziarnie i słomie zbóż.

Ołów kumulowany jest w roślinach na skutek bieżącej emisji pyłów i pobierania go przez liście. Ze względu na alkaliczność pyłów biodostępność ołowiu jest ograniczona (L. Pilc i in., 1997), jednak w przypadku równoczesnej emisji tlenków siarki i azotu następuje wzrost zakwaszenia i możliwość pobierania ołowiu przez rośliny.

W 1988 roku opublikowane zostały badania gleb w strefach ochrony sanitarnej hut miedzi w Legnicy (278 próbek) i Głogowie (529 próbek) (E. Roszyk, L. Szerszeń, 1988a, b). W rejonie Legnicy stwierdzono zawartości: do 9800 ppm Cu, do 2200 ppm Pb i do 2370 ppm Zn, zaś w rejonie Głogowa – do 3280 ppm Cu, do 18 400 ppm Pb i do 4000 ppm Zn. Według cytowanych autorów głównym źródłem zanieczyszczeń gleb były pyły zawierające metale. Dowodem na to są analizy pyłów z elektrofiltrów, w których stwierdzono do: 189 000 ppm Cu, 100 000 ppm Pb, 29 000 ppm Zn, 1200 ppm Mn, 1100 ppm Co, 530 ppm Ni, 110 ppm Cd i 80 ppm Ag. W przebadanych glebach największej koncentracji ulegają więc miedź i ołów, w mniejszym zaś stopniu – cynk, kadm i nikiel. Na terenie stref sanitarnych wykazano też istnienie rejonów o podwyższonych zawartościach arsenu, rtęci, kobaltu i manganu. Intensywniejsza kumulacja metali ciężkich zaznacza się przy hucie „Głogów”.

W profilach glebowych na terenie strefy ochrony sanitarnej hut „Legnica” oraz „Głogów I i II” zaobserwowano kumulację metali ciężkich w efekcie zatrzymywania pyłów przemysłowych w powierzchniowej warstwie gleby – do 30 cm (L. Szerszeń i in., 1991). Zaznacza się również tendencja większej koncentracji metali w glebach użytków zielonych w stosunku do gleb orných.

Późniejsze badania zawartości Cu, Mn, Pb i Zn w profilach glebowych w pobliżu hut „Legnica” i „Głogów” (S. Shamsam, 1993) wskazują, że wraz z głębokością maleje stężenie miedzi i ołowiu, czego nie stwierdzono w przypadku cynku i manganu. Natomiast w warstwie powierzchniowej badanych gleb największe koncentracje wszystkich badanych pierwiastków obserwowano w odległości 12 km od hut.

Szczególny problem stanowi zanieczyszczenie gleb w ogródkach działkowych, dostarczających warzyw miejscowej ludności. Analizy gleb z ogródków w Polkowicach (A. Mocek i in., 1995) wykazały dość silne ich zanieczyszczenie miedzią (do 390 ppm) oraz w mniejszym stopniu ołowiem (do 150 ppm) i cynkiem (do 653 ppm). Analizowane gleby zaliczono do piasków słabo gliniastych, lekkich. W większości wykazywały one odczyn zbliżony do obojętnego.

Ze względu na znaczne zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi produkcja rolnicza prowadzona w rejonach oddziaływania hut miedzi powinna być ograniczana lub przestawiona na rośliny niekonsumpcyjne. Autorzy badający gleby w rejonie oddziaływania huty „Głogów” (S. Strączyński, E. Andruszczak, 1995) wykazali ich zanieczyszczenie miedzią i ołowiem, malejące w miarę oddalania się od emitora (od 1750 do 6800 m). Pod względem składu granulometrycznego badane utwory zaliczono do pyłów ilastych i glin średnich. Poza miedzią (do 180 ppm) i ołowiem (do 85 ppm) zawartość całkowita innych pierwiastków nie odbiega od zawartości stwierdzanych powszechnie w glebach niezanieczyszczonych.

W wyniku badań geochemicznych gleb Polski (J. Lis, A. Pasieczna, 1995a) stwierdzono w rejonie LGOM-u silne anomalie regionalne. Oprócz wysokich zawartości miedzi w pobliżu huty „Legnica” (do 3490 ppm) i w pobliżu huty „Głogów” (do 6401 ppm) obserwowano tu również podwyższone koncentracje ołowiu, cynku i arsenu.

Najnowsze badania gleb uprawnych przeprowadzone przez WIOŚ w Legnicy (W. Niedźwiecka, J. Piotrowski, red., 1997) dotyczą próbek pobranych w rejonie oddziaływania huty „Legnica”, w okolicy zbiornika odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” oraz na obszarze Parku Krajobrazowego „Chelmy” (Nowa Wieś Wielka, Chelmiec, Leszczyna). Wartość pH badanych próbek wahała się od 3,9 do 8,3. W strefie oddziaływania huty „Legnica” stężenie Cu osiągało 582 ppm, Pb – 339 ppm a Zn – 184 ppm. W rejonie huty „Głogów” stężenia te wynosiły do: 65 ppm Cu, 50 ppm Pb i 71 ppm Zn. W pozostałych punktach nie stwierdzono znaczących zanieczyszczeń badanymi metalami.

Na terenach górniczych (TG) rozpoczęto w 1981 r. badania zawartości metali ciężkich w glebach rejonu wyłączanego z eksploatacji (w 1980 r.) zbiornika „Gilów”. Od roku 1985 założono stałe punkty badawcze (30 punktów) również w rejonie zbiornika „Żelazny Most”. W latach 1988–1990 podjęto badania gleb w zasięgu wszystkich terenów górniczych (173 punkty). Próbkę do badań pobierane są co roku z warstwy gleby 0–20 cm. Pod względem składu granulometrycznego badane gleby zaliczono do lekkich i bardzo lekkich (J. Krajewski, M. Nierzewska, 1995). Zawartości badanych pierwiastków w poszczególnych terenach górniczych są następujące: TG Rudna – do 744 ppm Cu, do 76 ppm Pb i do 10 ppm As; TG Polkowice – do 670 ppm Cu, do 85 ppm Pb i do 60 ppm As; TG Lubin – do 302 ppm Cu, do 103 ppm Pb i do 25 ppm As. Na terenach górniczych gleby najbardziej zanieczyszczone miedzią i ołowiem występują w najbliższym otoczeniu obiektów kopalnianych.

BAZY DANYCH I KONSTRUKCJA MAP GEOCHEMICZNYCH

Bazy danych. Za pomocą pakietu dBase III-plus utworzono trzy oddzielne komputerowe bazy: wyników pomiarów współrzędnych punktów opróbowania, obserwacji polowych i danych laboratoryjnych.

Pomiary współrzędnych punktów wykonano na mapach opróbowania w skali 1:25 000 na stole pomiarowym (dygimetrze). Uzyskane współrzędne w układzie państwowym 1965 przetransformowano na układ państwowy 1942. Utworzona w ten sposób baza zawiera współrzędne źródłowe (1965) oraz przetransformowane (1942). Baza ta stanowiła podstawę generacji wszystkich map geochemicznych.

Dane polowe zanotowane na kartach opróbowania zostały wprowadzone do bazy, w której poszczególnym elementom przypisano kody liczbowe zawarte w kartach opróbowania. Służy ona do wydzielenia podzbiorów dla obliczeń statystycznych według różnych kryteriów środowiska (np. stężenia pierwiastków w glebach uprawnych, glebach leśnych, glebach miejskich itp.).

Wyniki analiz chemicznych przekazywane przez laboratorium były umieszczane w bazie analiz chemicznych. Baza ta zawiera 139 175 oznaczeń pierwiastków i kwasowości w 5677 próbkach.

Obliczenia statystyczne. Obliczenia parametrów statystycznych zarówno dla całych zbiorów, jak i podzbiorów reprezentujących różne środowiska gleb, wykonano za pomocą pakietu STATGRAPHICS. Obliczono średnią arytmetyczną, średnią geometryczną, medianę oraz wartość minimalną i maksymalną. Dane te zestawiono w tabelach III–XXXVI. Obliczenia wskaźniki posłużyły jako podstawa dla wyznaczenia odpowiednich parametrów przy generacji map geochemicznych. Posługiwano się głównie średnią geometryczną, gdyż parametr ten, jako mniej obciążony wpływem wartości ekstremalnych, lepiej charakteryzuje badaną populację. Inne parametry, takie jak wariancja czy odchylenie standardowe, nie były przydatne w naszej analizie, gdyż mamy tu do czynienia z bliżej nieokreślonymi rozkładami przyrodniczymi.

Opracowanie map geochemicznych. Podstawą konstrukcji map geochemicznych były zbiory punktów opróbowania o znanych współrzędnych z przypisanymi atrybutami zawartości badanych składników. Mapy geochemiczne utworzono z użyciem programu SURFER for Windows, metodą triangulacji (jest w niej stosowana optymalna triangulacja Delaney’a) zbliżoną do metody triangulacji używanej przy ocenie zasobów złóż surowców mineralnych. Metoda triangulacji daje najlepsze wyniki w przypadku, gdy punkty pomiarowe rozłożone są równomiernie na powierzchni. Zastosowany w niniejszych badaniach równomierny sposób opróbowania uzasadniał w pełni przyjęcie tej metody interpolacji. Ponieważ do wyliczenia wartości średniej w punkcie węzła biorą udział tylko trzy najbliższe punkty, unika się nadmiernego wpływu punktów o wysokich wartościach na punkty sąsiednie. Dla prezentacji map zastosowano metodę pikseli o boku 500 m. Dobierano poziomy zawartości pierwiastków zgodnie z podziałem na percentyle: 15, 25, 50, 75, 90, 95, 97, 99 i 100%. W przypadku mapy kwasowości gleb przyjęto wartości poziomów zgodnie z podziałem stosowanym w gleboznawstwie (na gleby bardzo kwaśne, kwaśne, lekko kwaśne, obo-

jętne i zasadowe). Treść map geochemicznych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, ze względu na niewielką liczbę punktów opróbowania w stosunku do skali mapy, przedstawiono w formie kartodiagramów kołowych. Dla wszystkich map atlasu zastosowano jednolity uproszczony podkład topograficzny w układzie państwowym 1942. Zawiera on elementy sytuacji, takie jak: główne drogi, linie kolejowe, główne rzeki, granice gmin, zarysy miast i wsi będących siedzibami gmin miejskich i wiejskich, lokalizację szybów górniczych i zakładów przemysłowych.

Przy ocenie stopnia zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo posługiwano się wskaźnikami zalecanymi przez IUNG w Puławach (A. Kabata-Pendias i in., 1995), które zamieszczono w tabelach XXXVII–XXXVIII wraz z normami granicznych zawartości substancji szkodliwych rekomendowanymi przez Instytut Higieny w Ruhr (T. Eikmann, A. Kloke, 1991) – tabela XXXIX.

WYNIKI BADAŃ

Przestrzenne rozmieszczenie gleb o różnej granulacji

Zróżnicowanie składu granulometrycznego badanych gleb jest bardzo charakterystyczne. W obrazie kartograficznym wyraźnie można wyróżnić obszary o podwyższonych zawartościach frakcji ilastej – splanialnej i frakcji pylastej (tablice 5 i 6) oraz obszary silnie piaszczyste (tablice 7 i 8).

Gleby z większym udziałem frakcji najdrobniejszych występują w części północnej omawianych map obejmując Wzgórze Dalkowskie zbudowane głównie z glin zwałowych stadiału mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego oraz w dolinie Odry, gdzie są one utworzone z mulków, namulów i piasków holocenijskich. Na południu gleby o podobnym składzie granulometrycznym występują na S od linii przebiegającej między miejscowościami Warta Bolesławiecka–Chojnów–Milkowice–Legnica–Prochowice. Powstały one tam z utworów zróżnicowanych tak pod względem litologicznym, jak i wiekowym. Wspólną cechą tych gleb jest podwyższona (>0,5%) zawartość glinu (tablica 10).

Silnie piaszczyste gleby obejmują przede wszystkim środkową część obszaru, gdzie w podłożu dominującymi utworami są piaski i żwiry wodnolodowcowe stadiału maksymalnego zlodowacenia środkowopolskiego. Podobne gleby występują w najdalej ku północy wysuniętym fragmencie mapy, w gminie Kotla, gdzie utworzone są na piaskach i żwirach wodnolodowcowych zlodowacenia środkowopolskiego i zlodowacenia północnopolskiego. Gleby te charakteryzują się niskimi zawartościami glinu (przeciętnie <0,5%).

W trakcie opróbowania wyróżniono także grupę gleb organicznych (gleb torfiastych i torfów). Występują one głównie w zlewisku górnej Czarnej Wody w okolicy Gromadki oraz w zlewni Szprotawy w okolicy stawów koło Przemkowa. Gleby organiczne zanotowano również w dolinie Odry.

Kwasowość gleb

Odczyn gleb (tablica 4) jest podobnie zróżnicowany jak ich granulometria. W sposób zdecydowany wyróżniają się bardzo kwaśne gleby leśne. Największy obszar gleb bardzo kwaśnych występuje w zachodniej części mapy, między Przemkowem i Gromadką, a następnie – zwiężając się klinem – dochodzi do Prochowic. Obszar ten porośnięty jest zwartym kompleksem lasów (tablica 3). Gleby bardzo kwaśne występują również w okolicach Polkowic, Lubina i Rudnej. Większe, zwarte obszary gleb leśnych obserwuje się także w gminie Kotla na północy i między Złotoryją a Paszowicami na południu arkusza.

Na terenach, w których dominuje rolnicze użytkowanie gruntu (tablica 3), zaznacza się mozaikowy rozkład odczynu gleb. Obok gleb kwaśnych i lekko kwaśnych występują gleby obojętne, zaś na północy i południu pojawiają się również gleby zasadowe. Podobnie mozaikowy jest rozkład zawartości wapnia, jednego z głównych czynników determinujących odczyn gleb (tablica 13). Na terenach rolniczych wyróżnia się zwarty obszar gleb zasadowych o wysokich zawartościach Ca (>1%) w okolicy Grębocic. Ten sposób rozmieszczenia gleb, o różnym odczynie obok siebie, wiązać należy prawdopodobnie z ich wapnowaniem.

Glebamii obojętnymi, ale często również zasadowymi, wyróżniają się zdecydowanie większe miasta, takie jak: Legnica, Głogów, Lubin, Jawor i częściowo Złotoryja. Podwyższone wartości pH gleb miejskich i przemysłowych wiążą się z opadami alkalicznych pyłów przemysłowych. Zjawisko to obserwowane było wielokrotnie na obszarze całej Polski (J. Lis, 1992; J. Lis, A. Pasieczna, 1995a, b, c, 1998; A. Pasieczna i in., 1996; H. Tomassi-Morawiec i in., 1998).

Charakterystyka geochemiczna badanego obszaru

Zawarte w glebach pierwiastki chemiczne (tabela III) w znacznej mierze zostały odziedziczone po skałach macierzystych, z których powstały w wyniku procesów glebotwórczych. W zależności od warunków fizykochemicznych środowiska procesy glebotwórcze prowadzą do mniejszych lub większych zmian chemizmu gleb w stosunku do chemizmu skał macierzystych. Najczęściej jednak podstawowe cechy geochemiczne skał pierwotnych są czytelne. Przestrzenne rozmieszczenie pierwiastków odziedziczonych po skałach macierzystej pozwala prześledzić zróżnicowanie tła geochemicznego i ewentualnie wydzielić lokalne anomalie pierwiastków.

W przypadku gleb omawianego obszaru pierwiastkami charakteryzującymi skały podłoża geologicznego są: glin (tablica 10), kobalt (tablica 15), chrom (tablica 16), magnez (tablica 20), nikiel (tablica 22), skand (tablica 26), tytan (tablica 28) i wanad (tablica 29).

W rejonie leżącym na obszarze Sudetów i ich przedpola, w południowo-wschodniej części arkusza, w budowie podłoża geologicznego biorą udział skały metamorficzne należące do staropaleozoicznej struktury kaczawskiej; w zachodniej zaś – terygeniczne osady permu, triasu i kredy górnej depresji północnosudeckiej. W utworach lodowcowych przedpola, obok materiału pochodzenia skandynawskiego, znaczny udział ma materiał pochodzący z Sudetów. Między Złotoryją a Legnicą odsłaniają się również trzeciorzędowe bazalty. Tło geochemiczne tego zróżnicowanego zespołu skał podłoża wyraźnie zaznacza się w rozmieszczeniu wymienionych pierwiastków. Granica podwyższonych, zdecydowanie anomalnych w stosunku do przeciętnych dla całego badanego obszaru,

W dobie obecnej na naturalne zjawiska migracji i koncentracji pierwiastków w glebach nakładają się procesy wywołane działalnością gospodarczą człowieka. Do gleb dostają się pierwiastki i związki chemiczne emitowane przez zakłady przemysłowe – wprowadzane do środowiska w postaci ścieków komunalnych i przemysłowych, a także zanieczyszczenia powstałe w wyniku zabiegów agrotechnicznych. Zanieczyszczenia antropogeniczne mogą pochodzić zarówno ze źródeł lokalnych, jak i ze źródeł daleko położonych i trudnych do identyfikacji. Na badanym terenie mamy do czynienia z obydwoma typami zanieczyszczenia gleb.

Do grupy lokalnych źródeł zanieczyszczeń należy zaliczyć przede wszystkim górnictwo, przeróbkę i hutnictwo miedzi. Kolejnym lokalnym źródłem zanieczyszczenia gleb są miasta z ich przemysłem, transportem, a także emisjami związanymi ze spalaniem węgla w gospodarstwach domowych i lokalnych ciepłowniach.

Działalność przemysłu miedziowego najwyraźniej zaznaczyła się zanieczyszczeniami gleb miedzią (tablica 17) i ołowiem (tablica 24) wokół hut „Głogów” i „Legnica” oraz w mniejszym stopniu w pobliżu niektórych zakładów przerobczych między Polkowicami a Lubinem. W starym zagłębiu miedziowym wyraźne anomalie miedzi występują wokół osadnika „Lena 2” nieczynnej kopalni „Lena” w Wilkowie oraz wokół osadnika „Iwiny” nieczynnej kopalni „Konrad” w Iwinach. Katastrofa w dniu 13 grudnia 1967 r., kiedy to doszło do przerwania wałów ochronnych w zbiorniku „Iwiny”, spowodowała zalanie doliny Bobrzycy mieszaniną wody z osadami aż do Tomaszowa Bolesławieckiego. Fakt ten jest przyczyną zanieczyszczenia gleb doliny miedzią i srebrem (tablica 9), a w mniejszym stopniu ołowiem, co jest wyraźnie widoczne na mapach geochemicznych.

Anomalia miedzi (>50 ppm) wokół huty miedzi „Legnica” ma kształt wydłużonej równoleżnikowo elipsy o dłuższej osi około 15 km i osi krótszej około 7,5 km (tablica 17). Maksymalne zawartości Cu, osiągające 26 101 ppm, stwierdzono w glebie na terenie huty. Na obszarach z zabudową przemysłową zawartości Cu w glebach tylko w kilku przypadkach przekraczają normy dopuszczalne dla terenów przemysłowych (T. Eikmann, A. Kloke, 1991 – tabela XXXIX), tzw. liczby Kloke’go (300 ppm Cu – wartość tolerowana, 1000 ppm wartość toksyczna). Znacznie mniejszy zasięg ma anomalia ołowiu (tablica 24) o podobnym kształcie (>85 ppm). Na obszarach z zabudową przemysłową zawartości Pb mieszczą się w granicach od 23 do 5185 ppm, ze średnią geometryczną równą 136 ppm i tylko w trzech przypadkach stwierdzono stężenia przekraczające wartości tolerowane liczb Kloke’go (>1000 ppm Pb), w tym w dwu próbkach – stężenia zaliczane do toksycznych (>2000 ppm Pb). W przypadku innych pierwiastków (Ag, As, Cd, Co, Hg, Mn, Zn) wyraźne anomalne stężenia w glebach zlokalizowane są na terenie huty. Spośród pierwiastków objętych liczbami Kloke’go (tabela XXXIX) jedynie dla arsenu stwierdzono w 5 próbkach gleb zawartości przekraczające wartości tolerowane (>50 ppm As), w tym w 1 próbce zawartość toksyczną (>200 ppm As). Dla cynku zanotowano dwie próbki o zawartościach przekraczających wartości tolerowane (>1000 ppm), w tym jedną o zawartości toksycznej (>3000 ppm).

Gleby miejskie Legnicy leżące częściowo w zasięgu oddziaływania huty wykazują wyraźne zanieczyszczenia miedzią (od 14 do 577 ppm). Średnia geometryczna (100 ppm Cu) dwukrotnie przekracza wartość tolerowaną dla gleb ogródków przydomowych i placów zabaw dla dzieci (50 ppm), nie przekracza jednak wartości tolerowanych dla parków miejskich i trawników (200 ppm). W przypadku innych pierwiastków zawartości przebiega od Warty Bolesławieckiej na zachodzie, a następnie – równoleżnikowo do Legnicy i dalej w kierunku południowo-wschodnim, następnie do sudeckiego uskoku brzeźnego. Podwyższone zawartości glinu, kobaltu, chromu, magnezu, niklu, skandiu, tytanu i wanadu obserwowane są również w glebach doliny Kaczawy poniżej Legnicy oraz w mniej lub bardziej ciągłym pasie gleb utworzonych na osadach holocenijskich doliny Odry. Skały macierzyste tych gleb pochodzą w znacznym stopniu z Sudetów (znoszone rzekami z południa).

Na tak zarysowanym tle geochemicznym wyróżniają się gleby utworzone na zieleńcach, brekcjach wulkanicznych, łupkach kwarcowo-serycytowo-chlorytowych i epidibazach struktury kaczawskiej odsłaniających się między Męcinką a Paszowicami. Gleby te są szczególnie bogate w glin, chrom, magnez, nikiel, skand i tytan.

Trzeciorzędowe bazalty manifestują swą obecność w postaci izolowanych, bardzo intensywnych anomalii tytanu (>1000 ppm).

W północnej części terenu podwyższone zawartości glinu, chromu, magnezu, niklu, skandiu, tytanu i wanadu obserwuje się w glebach utworzonych na osadach lodowcowych stadiału mazowiecko-podlaskiego (gliny zwałowe, piaski i żwiry) budujących Wzgórze Dalkowskie. Obraz rozmieszczenia tych pierwiastków jest jednak mało zróżnicowany, bez wyraźnych maksimów. Prawdopodobnie materiał utworów lodowcowych, w przeciwieństwie do skał podłoża na południu i materiału aluwialnego w dolinie Odry, jest w większym stopniu homogeniczny.

Północna i środkowa część badanego obszaru charakteryzuje się niskimi i bardzo niskimi zawartościami wymienionych wyżej pierwiastków w glebach utworzonych głównie na piaszczystych i piaszczysto-żwirowych osadach wodnolodowcowych. Warto podkreślić, że osady rzeczne holocenu, dobrze rozwinięte w dolinie Czarnej Wody, pod względem wieku i wykształcenia podobne do tych z doliny Odry, są znacznie uboższe w omawiane pierwiastki, gdyż ich materiał pochodzi głównie z erozji piaszczystych osadów wodnolodowcowych.

Pierwiastki chemiczne, uruchomione w wyniku procesów hipergenicnych (w tym również glebotwórczych) ze skał, mogą być przemieszczane i następnie koncentrowane w środowisku glebowym o odpowiednich właściwościach. Dotyczy to gleb o wysokiej pojemności sorpcyjnej, zawierających znaczne ilości substancji organicznej, minerałów ilastych lub koloidów żelaza i manganu. W badanym terenie proces ten obserwujemy bardzo wyraźnie w przypadku gleb organicznych lub gleb bogatych w substancję organiczną i inne sorbenty. Dotyczy to niekiedy znacznych koncentracji arsenu (tablica 11), żelaza (tablica 18), fosforu (tablica 23), ołowiu (tablica 24), siarki (tablica 25), wanadu (tablica 29) oraz itru (tablica 30). Najwyraźniej zjawisko to obserwować można w torfach i glebach torfiastych w okolicach Gromadki i wzdłuż doliny Czarnej Wody oraz mniej wyraźnie – w okolicach Przemkowa. Nagromadzenia arsenu w tych glebach znacznie przewyższają, zarówno rozległością jak i stężeniami, zanieczyszczenia gleb wywołane działalnością hutnictwa miedzi w rejonie Głogowa i Legnicy.

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb
Statistical parameters of chemical elements and acidity in soils

Gleby Soils	Para- metry Para- meters	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	Hg ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Ni ppm	P %	Pb ppm	S %	Sc ppm	Sr ppm	Ti ppm	V ppm	Y ppm	Zn ppm	pH
Gleby ogółem All soils n = 5567	a	<0.5	0.04	<5	8	<0.01	<0.5	<1	<1	1	0.02	<0.05	<0.01	2	<2	<1	<0.005	<5	<0.005	<0.3	1	11	<1	<0.5	4	3.0
	b	168.1	3.26	6000	1948	20.77	97.3	181	308	86 470	24.66	5.13	6.23	3519	290	189	0.876	56 000	6.300	9.3	408	5202	343	87.5	16 300	9.1
	c	<0.5	0.56	8	73	0.30	<0.5	4	11	74	0.91	0.09	0.11	365	<2	8	0.050	50	0.025	1.1	13	113	15	4.3	51	5.7
	d	<0.5	0.48	5	56	0.13	<0.5	3	8	19	0.70	0.06	0.07	246	<2	6	0.041	24	0.018	0.8	9	85	12	3.3	31	5.6
	e	<0.5	0.49	<5	58	0.16	<0.5	3	8	16	0.74	0.06	0.07	323	<2	6	0.046	21	0.018	0.9	10	81	13	3.6	31	5.8
Gleby pól uprawnych Cultivated soils n = 2857	a	<0.5	0.06	<5	13	0.01	<0.5	<1	2	3	0.04	<0.05	<0.01	5	<2	<1	<0.005	<5	<0.005	<0.3	2	13	<1	<0.5	7	3.5
	b	6.2	2.68	126	1948	16.05	7.8	27	308	1 398	8.20	2.74	3.80	2941	3	74	0.347	1 231	0.174	9.3	279	3225	114	21.4	1 303	9.1
	c	<0.5	0.64	6	75	0.31	<0.5	4	11	31	0.98	0.07	0.11	425	<2	8	0.058	27	0.020	1.3	14	119	17	5.1	39	6.2
	d	<0.5	0.58	5	66	0.20	<0.5	4	10	20	0.84	0.05	0.09	363	<2	7	0.054	23	0.018	1.0	12	95	15	4.4	34	6.2
	e	<0.5	0.62	5	68	0.19	<0.5	4	10	18	0.87	0.06	0.10	392	<2	7	0.053	22	0.018	1.2	12	100	16	5.0	35	6.3
Gleby lasów Forest soils n = 1282	a	<0.5	0.04	<5	8	<0.01	<0.5	<1	<1	1	0.02	<0.05	<0.01	2	<2	<1	<0.005	<5	<0.005	<0.3	1	13	<1	<0.5	4	3.0
	b	8.0	3.26	68	736	9.49	3.5	29	170	2 224	13.11	1.97	3.86	3491	5	96	0.404	780	0.310	8.2	168	3473	343	61.9	661	8.0
	c	<0.5	0.40	<5	38	0.09	<0.5	2	7	25	0.58	0.06	0.06	223	<2	5	0.024	25	0.018	0.6	5	96	9	2.1	25	4.3
	d	<0.5	0.32	<5	31	0.03	<0.5	1	5	11	0.40	<0.05	0.03	92	<2	3	0.019	18	0.013	0.4	4	67	6	1.5	17	4.2
	e	<0.5	0.32	<5	28	0.02	<0.5	1	4	10	0.42	<0.05	0.03	119	<2	3	0.019	16	0.012	0.4	3	64	6	1.4	16	4.1
Gleby łąk Meadow soils n = 445	a	<0.5	0.08	<5	14	0.01	<0.5	<1	2	2	0.07	<0.05	<0.01	6	<2	<1	<0.005	<5	<0.005	<0.3	2	17	<1	0.6	4	3.6
	b	2.6	2.44	240	1108	20.77	6.0	28	182	764	24.66	2.83	1.77	3519	9	100	0.876	312	0.293	7.6	133	2263	271	87.5	1 087	8.1
	c	<0.5	0.59	9	97	0.38	<0.5	4	14	28	1.32	0.12	0.11	403	<2	9	0.069	30	0.037	1.2	15	101	19	5.3	62	5.8
	d	<0.5	0.50	5	70	0.20	<0.5	3	10	18	0.88	0.07	0.06	277	<2	6	0.053	24	0.028	0.8	12	72	15	4.0	37	5.7
	e	<0.5	0.47	5	66	0.22	<0.5	3	9	15	0.88	0.07	0.06	320	<2	5	0.048	22	0.027	0.9	12	66	14	4.0	34	5.7
Gleby ugorów i nieużytków Fallow and barren land soils n = 694	a	<0.5	0.07	<5	12	<0.01	<0.5	<1	2	2	0.04	<0.05	<0.01	3	<2	<1	0.005	<5	<0.005	<0.3	1	11	<1	<0.5	5	3.4
	b	168.1	2.35	6000	1074	19.74	97.3	181	131	86 470	13.12	2.85	6.23	2340	290	127	0.419	56 000	6.300	6.7	408	5202	213	30.9	16 300	8.3
	c	1.3	0.51	22	96	0.48	0.7	5	12	361	0.90	0.16	0.14	346	2	8	0.050	198	0.047	1.0	18	105	14	4.1	119	6.0
	d	<0.5	0.45	5	63	0.17	<0.5	3	8	35	0.69	0.07	0.07	252	<2	6	0.041	32	0.020	0.7	11	78	12	3.4	40	5.9
	e	<0.5	0.42	<5	55	0.17	<0.5	3	7	20	0.64	0.05	0.06	292	<2	5	0.043	21	0.017	0.7	10	74	12	3.3	31	6.0
Gleby ogródków działko- wych Allotment soils n = 63	a	<0.5	0.18	<5	31	0.06	<0.5	1	4	8	0.31	<0.05	0.02	106	<2	3	0.013	9	0.005	<0.3	5	40	5	1.4	16	4.8
	b	7.7	1.16	41	316	10.88	1.6	23	29	454	3.27	5.13	0.32	1947	8	35	0.237	534	0.188	3.4	101	367	37	13.7	666	7.9
	c	<0.5	0.57	9	106	0.63	<0.5	5	12	75	1.07	0.27	0.13	425	<2	10	0.077	70	0.029	1.2	24	132	16	5.0	110	6.7
	d	<0.5	0.54	6	88	0.35	<0.5	4	10	46	0.95	0.12	0.11	366	<2	8	0.068	48	0.024	1.0	19	119	14	4.4	79	6.7
	e	<0.5	0.58	6	87	0.33	<0.5	4	10	36	0.91	0.10	0.12	375	<2	8	0.069	47	0.022	1.1	20	126	14	4.5	84	6.8
Gleby trawników i parków miejskich Lawn and city park soils n = 226	a	<0.5	0.14	<5	20	0.02	<0.5	<1	3	6	0.13	<0.05	<0.01	11	<2	1	0.013	7	0.006	<0.3	3	30	2	0.8	11	3.7
	b	10.3	1.50	83	1569	1.77	2.5	14	33	3 700	3.76	1.48	0.62	1499	7	189	0.300	1 020	0.139	4.3	111	1438	39	12.3	946	8.0
	c	<0.5	0.59	8	117	0.47	<0.5	5	12	105	1.06	0.16	0.14	370	<2	12	0.061	75	0.027	1.3	24	169	16	5.3	104	6.8
	d	<0.5	0.55	6	93	0.37	<0.5	4	11	50	0.96	0.11	0.11	323	<2	9	0.054	51	0.024	1.1	20	139	14	4.7	78	6.8
	e	<0.5	0.55	6	91	0.41	<0.5	5	11	46	0.98	0.10	0.12	319	<2	10	0.055	51	0.024	1.2	20	138	15	5.1	78	7.1
Gleby terenów o zabu- dowie miejskiej Urban area soils n = 182	a	<0.5	0.18	<5	23	0.03	<0.5	<1	4	7	0.27	<0.05	0.02	96	<2	2	0.018	7	0.006	<0.3	4	41	4	1.1	11	4.3
	b	5.0	1.35	31	1520	20.77	2.5	23	50	577	3.09	0.72	0.45	1185	3	189	0.336	1 139	0.111	4.3	131	1052	44	12.1	512	8.0
	c	<0.5	0.58	7	109	0.57	<0.5	5	12	70	1.04	0.16	0.13	375	<2	12	0.067	71	0.026	1.3	25	168	15	5.2	102	6.8
	d	<0.5	0.54	6	91	0.37	<0.5	4	11	44	0.95	0.12	0.11	338	<2	9	0.059	50	0.023	1.1	20	141	14	4.7	77	6.8
	e	<0.5	0.55	6	89	0.39	<0.5	4	11	40	0.95	0.12	0.11	343	<2	9	0.060	50	0.022	1.2	21	134	14	5.0	79	7.0
Gleby terenów o zabu- dowie przemysłowej Industrial area soils n = 134	a	<0.5	0.18	<5	18	0.02	<0.5	<1	3	4	0.26	<0.05	0.02	43	<2	1	0.011	9	<0.005	<0.3	2	30	4	0.8	14	3.5
	b	168.1	1.33	6000	468	7.69	97.3	181	90	86 470	13.12	5.13	1.26	1200	290	114	0.419	56 000	6.300	3.8	171	1443	213	10.6	16 300	8.0
	c	3.7	0.61	71	94	0.70	1.4	9	15	1 337	1.24	0.25	0.15	388	6	13	0.055	741	0.110	1.3	26	156	19	5.2	345	6.7
	d	0.6	0.56	10	78	0.34	<0.5	5	12	106	0.98	0.11	0.12	319	<2	10	0.046	76	0.027	1.1	18	127	16	4.5	82	6.6
	e	<0.5	0.61	8	81	0.36	<0.5	5	11	71	1.01	0.10	0.13	322	<2	10	0.049	57	0.023	1.3	16	124	16	5.3	68	6.8

Gleby piaszczyste Sandy soils n = 2612	a	<0.5	0.04	<5	8	<0.01	<0.5	<1	<1	1	0.02	<0.05	<0.01	2	<2	<1	<0.005	<5	<0.005	<0.3	1	11	<1	<0.5	4	3.0
	b	29.5	2.41	350	1569	20.77	6.0	53	124	7 750	13.12	1.62	2.70	3491	27	189	0.419	5 380	0.336	5.7	290	5202	90	13.6	1 610	9.1
	c	<0.5	0.36	<5	50	0.19	<0.5	2	6	44	0.55	0.06	0.06	243	<2	4	0.038	31	0.017	0.6	9	78	9	2.4	34	5.3
	d	<0.5	0.33	<5	38	0.07	<0.5	2	5	13	0.44	<0.05	0.04	150	<2	3	0.030	18	0.014	0.4	6	66	7	1.9	22	5.1
	e	<0.5	0.34	<5	36	0.06	<0.5	2	5	11	0.46	<0.05	0.04	204	<2	3	0.034	16	0.013	0.4	5	65	8	2.0	20	5.1
Gleby piaszczysto-gliniaste Sandy-loam soils n = 1416	a	<0.5	0.14	<5	16	0.01	<0.5	<1	2	4	0.14	<0.05	<0.01	8	<2	<1	0.008	7	<0.005	<0.3	2	13	3	0.6	8	3.4
	b	105.0	3.21	887	1948	16.05	7.9	165	202	26 101	9.25	5.13	6.23	3349	61	114	0.613	5 185	0.969	9.3	408	3225	114	19.4	11 200	8.5
	c	<0.5	0.67	9	91	0.39	<0.5	5	13	82	1.13	0.11	0.14	444	<2	10	0.059	49	0.026	1.4	17	127	18	5.3	64	6.2
	d	<0.5	0.62	6	77	0.23	<0.5	4	11	28	0.98	0.07	0.10	365	<2	8	0.053	30	0.022	1.2	13	94	16	4.7	43	6.1
	e	<0.5	0.62	6	73	0.22	<0.5	4	10	21	0.93	0.07	0.10	374	<2	8	0.053	24	0.021	1.2	13	94	16	5.0	37	6.3
Gleby gliniaste i gliny Loamy soils n = 1096	a	<0.5	0.14	<5	23	0.02	<0.5	<1	4	5	0.43	<0.05	0.02	13	<2	2	0.008	6	0.006	0.3	4	13	6	2.0	16	3.6
	b	32.0	3.26	250	1098	19.74	6.6	29	182	2 224	24.66	2.85	1.77	3519	9	100	0.806	1 846	0.192	8.2	279	3473	271	87.5	1 272	8.3
	c	<0.5	0.86	9	99	0.43	<0.5	6	17	48	1.37	0.11	0.17	551	<2	12	0.063	38	0.025	1.8	18	172	23	6.8	59	6.2
	d	<0.5	0.82	7	85	0.26	<0.5	6	15	25	1.21	0.07	0.15	479	<2	10	0.057	29	0.023	1.7	15	129	21	6.3	45	6.1
	e	<0.5	0.80	7	76	0.24	<0.5	5	13	21	1.09	0.07	0.14	486	<2	10	0.057	26	0.021	1.6	14	145	20	6.6	40	6.3
Gleby mułkowe Silty soils n = 315	a	<0.5	0.27	<5	26	0.03	<0.5	2	5	6	0.36	<0.05	0.03	58	<2	3	0.017	10	0.006	0.3	4	23	7	1.7	12	3.6
	b	1.8	2.44	28	261	7.58	0.9	13	308	589	3.03	0.59	1.08	1220	<2	34	0.148	175	0.180	6.8	71	1233	51	30.4	144	8.6
	c	<0.5	0.67	6	75	0.34	<0.5	5	12	47	0.97	0.09	0.12	432	<2	9	0.057	35	0.022	1.4	14	137	17	6.1	40	6.3
	d	<0.5	0.64	6	71	0.24	<0.5	4	11	35	0.92	0.08	0.11	403	<2	8	0.054	32	0.020	1.3	13	126	17	5.8	38	6.2
	e	<0.5	0.64	6	67	0.23	<0.5	4	10	34	0.91	0.08	0.11	403	<2	8	0.053	31	0.019	1.3	12	127	16	6.1	37	6.4
Gleby torfiaste Peaty soils n = 104	a	<0.5	0.06	<5	15	0.01	<0.5	<1	2	2	0.03	<0.05	<0.01	3	<2	<1	0.005	9	0.008	<0.3	2	17	<1	<0.5	7	3.1
	b	8.8	1.59	125	1108	2.01	5.8	25	166	3 710	22.29	2.76	0.33	1042	8	43	0.876	1 220	0.310	7.4	61	349	343	61.9	1 043	6.8
	c	<0.5	0.42	15	129	0.34	0.7	3	18	95	1.62	0.29	0.05	191	<2	7	0.087	70	0.093	1.1	19	70	25	7.5	88	4.6
	d	<0.5	0.34	8	73	0.20	<0.5	1	10	22	0.72	0.15	0.03	68	<2	5	0.055	42	0.074	0.6	14	61	13	4.1	36	4.5
	e	<0.5	0.32	6	62	0.24	<0.5	1	8	17	0.69	0.13	0.03	66	<2	4	0.048	39	0.082	0.6	16	64	12	4.0	29	4.6
Gleby rejonu Głogowa Głogów area soils n = 516	a	<0.5	0.10	<5	14	0.02	<0.5	<1	1	9	0.17	<0.05	0.01	21	<2	1	0.008	7	<0.005	<0.3	2	13	2	0.7	8	3.4
	b	168.1	2.31	6000	1569	7.69	97.3	181	131	86 470	9.10	2.85	1.26	2941	290	74	0.343	56 000	6.300	5.8	195	736	213	19.2	16 300	8.6
	c	1.0	0.66	27	112	0.45	0.8	5	14	375	1.16	0.21	0.13	416	2	10	0.059	242	0.045	1.5	17	95	17	6.2	125	6.5
	d	<0.5	0.59	8	81	0.30	<0.5	4	10	85	0.98	0.11	0.11	351	<2	8	0.053	53	0.022	1.2	14	79	15	5.5	53	6.4
	e	<0.5	0.59	7	71	0.30	<0.5	4	10	69	0.92	0.08	0.11	359	<2	8	0.053	41	0.020	1.3	13	90	15	6.1	41	6.6
Gleby rejonu Legnicy Legnica area soils n = 482	a	<0.5	0.27	<5	30	0.02	<0.5	<1	4	7	0.29	<0.05	0.02	20	<2	2	0.009	14	0.006	0.3	4	29	6	1.5	10	3.8
	b	105.0	1.59	472	685	6.00	7.9	165	97	26 101	13.12	5.13	0.76	1947	61	114	0.256	5 185	0.932	6.5	94	1057	83	17.1	11 200	8.2
	c	0.8	0.75	12	103	0.36	<0.5	7	15	200	1.25	0.14	0.15	522	<2	12	0.064	96	0.027	1.7	19	159	20	6.6	105	6.4
	d	<0.5	0.72	9	95	0.27	<0.5	6	14	77	1.14	0.09	0.14	467	<2	11	0.059	58	0.023	1.6	17	146	19	6.4	63	6.3
	e	<0.5	0.73	8	87	0.25	<0.5	6	13	65	1.05	0.09	0.13	466	<2	10	0.059	49	0.022	1.6	16	148	19	6.4	54	6.4
Gleby Polski ¹⁾ Soils of Poland n = 10 840	a	<1		<5	<1	<0.01	<0.5	<1	<1	<1	<0.01	<0.05	<0.01	<1		<1	<0.005	<3	<0.005		<1	<1	<1		<1	2.1
	b	41		3444	1777	25.45	253.3	46	1873	6 401	9.57	7.55	4.90	24270		146	1.613	16 972	3.263		1298	1542	266		91 110	9.7
	c	<1		<5	48	0.47	0.8	3	6	10	0.67	0.06	0.10	267		6	0.042	35	0.017		17	34	8		88	6.0
	d	<1		<5	32	0.17	<0.5	2	4	5	0.50	<0.05	0.06	173		4	0.033	16	0.012		8	26	6		40	5.9
	e	<1		<5	32	0.18	<0.5	2	4	5	0.51	<0.05	0.06	217		4	0.034	13	0.012		8	26	7		35	6.1
Gleby uprawne Polski ¹⁾ Cultivated soils of Poland n = 4899	a	<1		<5	<1	<0.01	<0.5	<1	<1	<1	0.03	<0.05	<0.01	<1		<1	<0.005	<3	<0.005		<1	<1	<1		<1	2.8
	b	12		168	1404	14.96	16.7	29	1873	2 190	5.99	4.75	1.75	24270		146	0.476	2 113	1.860		1179	968	58		2 140	9.3
	c	<1		<5	41	0.43	<0.5	3	6	8	0.64	0.05	0.10	286		6	0.043	20	0.013		15	34	8		53	6.3
	d	<1		<5	32	0.20	<0.5	2	5	5	0.52	<0.05	0.07	225		4	0.038	13	0.011		9	27	7		37	6.3
	e	<1		<5	32	0.19	<0.5	2	5	5	0.53	<0.05	0.07	246		4	0.038	12	0.011		9	29	7		34	6.4
Gleby terenów miejskich i przemysłowych Górnego Śląska ²⁾ Soils in urban and industrial areas of Upper Silesia n = 228	a	<1		<5	5	0.03	<0.5	<1	<1	<1	0.09	<0.05	<0.01	6		<1	0.005	5	<0.005		1	8	1		15	3.3
	b	13		238	1777	12.40	159.5	17	95	805	3021	4.01	3.81	2229		89	0.254	16 972	0.516		708	318	60		11 899	8.6
	c	<1		12	144	0.96	6.9	4	9	30	0.98	0.20	0.21	440		10	0.044	320	0.026		43	63	12		719	7.3
	d	<1		7	105	0.54	2.7	3	7	17	0.83	0.13	0.13	314		7	0.035	110	0.019		26	49	10		306	7.2
	e	<1		7	116	0.59	2.8	3	7	16	0.87	0.14	0.13	338		8	0.035	102	0.019		27	49	11		317	7.6

a – minimum; b – maksimum; c – średnia arytmetyczna; d – średnia geometryczna; e – mediana; n – liczba próbek;
minimum

tylko dla ołowiu i cynku zanotowano pojedyncze próbki ze stężeniami przekraczającymi wartości tolerowane.

Anomalia miedzi (>50 ppm) wokół huty „Głogów” ma, podobnie jak w przypadku huty „Legnica”, kształt elipsy wydłużonej zgodnie z lokalnym kierunkiem Odry (ESE-WNW) o dłuższej osi około 20 km i krótszej – około 10 km. Na obszarach z zabudową przemysłową w rejonie Głogowa zawartości Cu w glebach mieszczą się w granicach od 40 do 86 470 ppm, ze średnią geometryczną równą 566 ppm. Zawartości te często przekraczają normy dopuszczalne dla terenów przemysłowych – liczby Kloke’go. Stężenia >300 ppm (zawartości tolerowane) stwierdzono w 49 punktach, a zawartości >1000 ppm (zawartości toksyczne) – w 15 punktach. Znacznie mniejszy zasięg ma anomalia ołowiu (>85 ppm) o podobnym kształcie. Na obszarach z zabudową przemysłową zawartości Pb mieszczą się w granicach od 33 do 56 000 ppm, ze średnią geometryczną równą 348 ppm. W trzynastu przypadkach stwierdzono stężenia przekraczające wartości tolerowane liczb Kloke’go (>1000 ppm Pb), w tym pięć przypadków stężeń zaliczanych do toksycznych (>2000 ppm Pb). Dla innych pierwiastków (Ag, As, Cd, Co, Hg, Mn, Zn) wyraźnie anomalne stężenia w glebach są zlokalizowane na terenie huty. Spośród pierwiastków objętych liczbami Kloke’go, dla arsenu (tablica 11) stwierdzono 17 próbek gleb o zawartości As przekraczających wartości tolerowane (>50 ppm As), w tym 6 o zawartości toksycznej (>200 ppm As). Dla cynku (tablica 31) zanotowano trzy próbki o zawartościach przekraczających wartości tolerowane (>1000 ppm), w tym dwie o zawartościach toksycznych (>3000 ppm). W przypadku kadmu (tablica 14) trzy próbki wykazały zawartości zaliczane do tolerowanych (>10 ppm), w tym jedna o stężeniach zaliczanych do toksycznych (>20 ppm).

Gleby miejskie Głogowa, leżące częściowo w zasięgu oddziaływania huty, wykazują wyraźne zanieczyszczenia miedzią (od 35 do 237 ppm). Średnia geometryczna (78 ppm Cu) przekracza około 1,5 razy wartość tolerowaną dla gleb ogródków przydomowych i placów zabaw dla dzieci (50 ppm), nie przekracza jednak wartości tolerowanych dla parków miejskich i trawników (200 ppm). Dla ołowiu i cynku zanotowano pojedyncze próbki ze stężeniami przekraczającymi wartości tolerowane.

Do anomalii geochemicznych, których źródła nie mają charakteru lokalnego i są trudne do zidentyfikowania, należą anomalie szeregu pierwiastków (Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, P, Pb, S, Zn) zlokalizowane głównie na tarasach zalewowych między wałami ochronnymi Odry lub w przypadku ich braku – w pobliżu rzeki. Anomalie te widoczne są najwyraźniej poniżej miejsc, gdzie Odra zmienia kierunek z północnego na północno-zachodni. Od tego miejsca w górę rzeki jej koryto obramowane jest wysokimi brzegami chroniącymi od wylewów powodziowych i tworzenia się utworów popowodziowych. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że nagromadzenie metali w tych aluwiach jest pochodzenia antropogenicznego, z wyjątkiem chromu, którego obecność może się wiązać z erozją skał sudeckich. Wiek tworzenia się anomalii przypada na epokę industrialną (od końca XIX w.) i czasy współczesne (podobne gleby utworzone na nieco starszych, również holocenijskich osadach rzecznych, szeroko rozwiniętych w okolicach Głogowa, nie wykazują znaczniejszych koncentracji tych pierwiastków).

Zjawisko zanieczyszczenia gleb aluwialnych metalami, niekiedy na bardzo znaczne odległości od obszaru alimentacji, notowano w dolinie Wisły i Odry (J. Lis, A. Pasięczna, 1995a). Źródłami zanieczyszczeń takich gleb w badanym terenie mogą być zrzuty wód kopalnianych z Górnego Śląska. Świadczą o tym wysokie zawartości baru obserwowane w aluwiach oraz w glebach aluwialnych Odry, poniżej ujścia głównych rzek drenujących Górny Śląsk. Innymi źródłami tych anomalii są niewątpliwie zrzuty ścieków komunalnych i przemysłowych do Odry w górze rzeki.

Zbadanie stopnia zanieczyszczenia gleb aluwialnych doliny Odry powinno być wykonane w najbliższym czasie. Zagadnienie to ma jednak charakter ponadregionalny i wykracza poza ramy niniejszego opracowania.

Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo w ujęciu gminnym

Próbę takiej oceny przeprowadzono w oparciu o przedstawione wyżej wyniki badań geochemicznych. Przy korzystaniu z tych wyników należy pamiętać, że dane opracowane zostały na podstawie analiz chemicznych próbek gleb pobranych z przeciętną gęstością 1 próbki na 100 ha, a dla wybranych obszarów (rejon hut i kopalń miedzi) z gęstością 1 próbki na 25 ha. Wobec stosunkowo rzadkiej siatki opróbowania wyniki te nie mogą być podstawą dla oceny stopnia zanieczyszczenia małych powierzchni gruntu bez dodatkowych badań weryfikacyjnych.

Miasto i gmina Chocianów (tabela IV). Znaczne powierzchnie zajmują tu lasy, mniejsze natomiast – pola uprawne oraz łąki i pastwiska. Gleby należą do silnie kwaśnych i kwaśnych, z niewielkim udziałem gleb lekko kwaśnych i obojętnych. Są one piaszczyste, o niewielkiej zawartości frakcji ilastej. Można je zaliczyć do gleb bardzo lekkich. Gleby użytków rolnych charakteryzują się niskimi zawartościami metali, co pozwala zaliczyć je do gleb o zerowym stopniu zanieczyszczenia. Nieco wyższe stężenia metali zanotowano w glebach użytków zielonych, chociaż i w tym przypadku rzadko przekraczają one wartości dla I stopnia zanieczyszczeń (patrz tabela XXXVIII). Maksymalne zawartości ołowiu (173 ppm) i cynku (480 ppm) zanotowano na obszarze miejskim Chocianowa.

Miasto i gmina Chojnów (tabela V). Znaczny obszar zajmują tu pola uprawne, w mniejszym stopniu występują użytki zielone. Większy kompleks leśny położony jest w północnej części gminy. Przeważają gleby kwaśne z niewielkim udziałem gleb lekko kwaśnych i obojętnych. W północnej i środkowej części gminy występują gleby o niewielkiej zawartości frakcji ilastej. Ku południowi udział frakcji ilastej w glebach wyraźnie wzrasta w kierunku gleb lekkich. Przeciętne zawartości metali w glebach użytkowanych rolniczo kwalifikują je ogólnie do gleb o zerowym stopniu zanieczyszczenia. Nieliczne wyższe stężenia metali tylko sporadycznie przekraczają wartości dla I stopnia zanieczyszczenia. Wysoką zawartość miedzi (448 ppm) zanotowano w glebach uprawnych w pobliżu skrzyżowania linii kolejowej z autostradą na wschód od Wojciechowa. Podwyższonymi zawartościami ołowiu (do 128 ppm) i cynku (do 603 ppm) charakteryzują się miejskie gleby Chojnowa.

Gmina Gaworzyce (tabela VI). W gminie tej znaczny udział mają gleby o odczynie słabo kwaśnym i obojętnym. W zachodniej i południowej części przeważają gleby

bardzo lekkie, na pozostałym obszarze zaś gleby lekkie i średnio ciężkie. Pomimo bliskości huty miedzi „Głogów” przeciętne zawartości metali w glebach użytkowanych rolniczo kwalifikują je do gleb o zerowym stopniu zanieczyszczenia.

Tabela IV
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Chocianów
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Chocianów commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 237	a	3.0	<5	<0.5	<1	<1
	b	7.5	29	2.1	16	17
	c	4.7	<5	<0.5	1	5
	d	4.6	<5	<0.5	<1	4
	e	4.3	<5	<0.5	1	5
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 94	a	3.6	<5	<0.5	<1	2
	b	7.5	29	2.1	5	17
	c	5.6	<5	<0.5	1	6
	d	5.5	<5	<0.5	1	5
	e	5.6	<5	<0.5	1	5
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 237	a	2	<0.05	<1	<5	5
	b	58	0.80	14	173	480
	c	10	0.06	3	20	24
	d	9	<0.05	2	16	18
	e	9	<0.05	3	16	18
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 94	a	5	<0.05	<1	8	6
	b	58	0.32	14	53	101
	c	11	0.05	3	18	25
	d	10	<0.05	3	17	23
	e	10	<0.05	3	16	23

a – minimum; minimum
b – maksimum; maximum
c – średnia arytmetyczna; arithmetic mean
d – średnia geometryczna; geometric mean
e – mediana; median
n – liczba próbek; number of samples

(objaśnienia do tabel IV–XXXVI)
(explanations to tables IV–XXXVI)

Tabela V
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Chojnów
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Chojnów commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 248	a	3.2	<5	<0.5	<1	1
	b	7.4	44	0.9	11	308
	c	5.6	5	<0.5	3	10
	d	5.5	<5	<0.5	2	8
	e	5.7	<5	<0.5	3	8
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 188	a	3.7	<5	<0.5	<1	2
	b	7.4	44	0.9	11	308
	c	5.9	5	<0.5	3	10
	d	5.9	<5	<0.5	3	8
	e	6.0	<5	<0.5	3	8
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 248	a	3	<0.05	<1	8	5
	b	448	0.31	49	128	603
	c	20	0.07	6	25	39
	d	16	0.06	4	23	30
	e	17	0.06	5	22	30
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 188	a	4	<0.05	<1	10	7
	b	448	0.19	49	128	147
	c	20	0.06	6	23	34
	d	16	0.05	5	21	30
	e	17	0.06	5	21	30

Tabela VI
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Gaworzyce
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Gaworzyce commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 85	a	3.5	<5	<0.5	<1	3
	b	8.3	17	1.3	6	16
	c	5.9	5	<0.5	2	7
	d	5.8	<5	<0.5	2	7
	e	6.2	<5	<0.5	2	7
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 56	a	4.4	<5	<0.5	<1	3
	b	7.6	17	0.5	6	14
	c	6.3	5	<0.5	3	8
	d	6.3	<5	<0.5	3	7
	e	6.5	<5	<0.5	3	8
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 85	a	10	<0.05	<1	12	12
	b	65	0.17	14	71	282
	c	23	0.06	5	23	32
	d	21	0.05	4	22	28
	e	22	0.05	5	21	27
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 56	a	11	<0.05	2	13	15
	b	65	0.17	12	40	61
	c	24	0.06	6	23	31
	d	22	0.05	5	23	30
	e	24	0.06	6	22	33

Miasto i gmina Głogów (tabela VII). Odczyn gleb na terenie miasta i gminy Głogów jest silnie zróżnicowany. Zdecydowanie wyróżniają się gleby miejskie Głogowa o odczynie obojętnym i zasadowym. Jest to zjawisko typowe dla gleb miejskich (J. Lis, 1992; J. Lis, A. Pasieczna, 1995a, b, c, 1998; A. Pasieczna i in., 1996; H. Tomassi-Morawiec i in., 1998). Gleby użytkowane rolniczo mają odczyn od silnie kwaśnego do zasadowego. Przeciętnie są to gleby lekko kwaśne. Podobnie jak kwasowość gleb, ich uziarnienie jest również zróżnicowane. W południowo-zachodniej części obszaru udział frakcji sypkawy jest wyższy, na pozostałym obszarze gleby są silnie piaszczyste. Pomimo bliskości huty miedzi „Głogów” przeciętne zawartości większości metali w glebach użytkowanych rolniczo pozwalają je zaliczyć do gleb o zerowym stopniu zanieczyszczenia. Przeciętne zawartości miedzi i ołowiu w glebach uprawnych kwalifikują je jednak do gleb o I lub II stopniu zanieczyszczenia. Do silnie zanieczyszczonych, głównie miedzią, ołowiem, cynkiem i kadmem, należą gleby w rejonie huty „Głogów”, a w mniejszym stopniu gleby miejskie Głogowa.

Gmina Grębocice (tabela VIII). Kwasowość gleb tej gminy jest zróżnicowana. Obok gleb kwaśnych daje się wyróżnić w okolicy Grębocic znaczny obszar o charakterze zasadowym gleb. Zawarte w tabeli dane kwalifikują gleby użytkowane rolniczo do grupy o zerowym stopniu zanieczyszczenia.

Gmina Gromadka (tabela IX). Gmina charakteryzuje się dużą lesistością. Udział terenów użytkowanych rolniczo jest stosunkowo niewielki. Gleby tej gminy są piaszczyste, w przeważającym stopniu silnie kwaśne. W dolinie górnej Czarnej Wody występują tereny bagniste z torfami i glebami torfiastymi. Gleby użytkowane rolniczo mają zerowy stopień zanieczyszczenia metalami. Jedynie w przypadku arsenu obserwuje się podwyższenie zawartości (maksymalnie do 240 ppm). Pochodzenie arsenu jest naturalne, związane z nagromadzeniami tego pierwiastka w żelazistych utworach typu rud darniowych.

Miasto i gmina Jawor (tabela X). Gleby uprawne miasta i gminy mają odczyn obojętny i znaczny udział frakcji sypkawy (gleby średnio ciężkie). Gleby użytkowane rolniczo wykazują zerowy stopień zanieczyszczenia metalami. Maksymalną zawartość baru (1520 ppm) zanotowano w glebie w pobliżu stacji kolejowej w Jaworze.

Tabela VII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Głogów
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Głogów commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 214	a	3.5	<5	<0.5	<1	2
	b	8.6	6000	97.3	181	131
	c	6.6	50	1.1	6	14
	d	6.5	8	<0.5	4	10
	e	6.8	7	<0.5	4	10
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 97	a	3.9	<5	<0.5	<1	2
	b	8.6	20	0.7	14	24
	c	6.6	6	<0.5	4	11
	d	6.6	5	<0.5	3	10
	e	6.8	6	<0.5	4	11
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 214	a	9	<0.05	1	10	9
	b	86 470	2.85	74	56 000	16 300
	c	721	0.26	11	469	196
	d	94	0.12	8	63	62
	e	71	0.11	9	47	47
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 97	a	18	<0.05	2	13	9
	b	211	0.40	39	119	169
	c	58	0.10	9	37	43
	d	49	0.08	8	33	38
	e	44	0.08	9	34	38

Tabela VIII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Grębocice
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Grębocice commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 165	a	3.7	<5	<0.5	<1	3
	b	8.3	16	<0.5	12	28
	c	6.3	<5	<0.5	3	8
	d	6.2	<5	<0.5	2	7
	e	6.5	<5	<0.5	3	7
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 118	a	4.7	<5	<0.5	<1	4
	b	8.3	16	<0.5	12	28
	c	6.6	<5	<0.5	3	9
	d	6.5	<5	<0.5	3	8
	e	6.7	<5	<0.5	3	8
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 165	a	4	<0.05	1	8	10
	b	77	0.35	22	63	130
	c	17	<0.05	6	18	31
	d	15	<0.05	5	17	27
	e	15	<0.05	5	17	27
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 118	a	6	<0.05	2	8	11
	b	77	0.22	22	39	124
	c	18	<0.05	7	19	32
	d	17	<0.05	6	18	30
	e	16	<0.05	6	18	29

Gmina Jerzmanowa (tabela XI). Gleby uprawne tej gminy mają na ogół odczyn słabo kwaśny. W północnej części przeważają gleby z większym udziałem frakcji łąkowej, zaś w części południowej – gleby piaszczyste. Gleby użytkowane rolniczo wykazują zerowy stopień zanieczyszczenia metalami. Nieliczne wyższe stężenia metali rzadko przekraczają wartości dla I stopnia zanieczyszczenia. Jedynie w jednej próbce zanotowano wyższą zawartość miedzi (do 84 ppm).

Tabela IX
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Gromadka
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Gromadka commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 271	a	3.2	<5	<0.5	<1	<1
	b	8.1	240	1.3	11	90
	c	4.4	7	<0.5	<1	6
	d	4.3	<5	<0.5	<1	4
	e	4.0	<5	<0.5	<1	4
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 56	a	4.5	<5	<0.5	<1	3
	b	8.1	240	1.3	11	90
	c	5.9	20	<0.5	2	12
	d	5.8	8	<0.5	1	8
	e	5.8	5	<0.5	1	7
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 271	a	1	<0.05	<1	<5	4
	b	100	0.27	17	107	160
	c	8	0.06	3	20	17
	d	6	<0.05	2	15	13
	e	5	<0.05	2	16	13
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 56	a	4	<0.05	<1	8	10
	b	21	0.17	17	50	160
	c	9	0.07	4	22	30
	d	9	0.06	3	20	27
	e	9	0.06	3	20	26

Tabela X
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Jawor
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Jawor commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 29	a	5.2	<5	<0.5	2	6
	b	8.2	11	0.9	9	33
	c	7.0	7	<0.5	6	18
	d	7.0	6	<0.5	6	18
	e	7.2	7	<0.5	7	17
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 14	a	5.2	<5	<0.5	2	6
	b	8.2	11	0.9	9	33
	c	7.0	7	<0.5	6	17
	d	7.0	6	<0.5	6	16
	e	7.1	7	<0.5	6	16
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 29	a	16	<0.05	3	19	39
	b	52	0.53	29	110	167
	c	26	0.16	15	45	75
	d	25	0.12	14	41	68
	e	22	0.10	14	41	64
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 14	a	16	0.06	3	19	39
	b	38	0.47	29	61	167
	c	24	0.16	14	39	59
	d	23	0.13	12	37	55
	e	22	0.12	13	39	48

Tabela XI
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Jerzmanowa
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Jerzmanowa commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 123	a	3.6	<5	<0.5	<1	3
	b	8.1	9	0.6	8	14
	c	5.7	<5	<0.5	3	8
	d	5.5	<5	<0.5	3	7
	e	5.8	<5	<0.5	3	7
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 71	a	4.3	<5	<0.5	<1	5
	b	7.9	8	0.6	7	13
	c	6.4	<5	<0.5	3	8
	d	6.3	<5	<0.5	3	8
	e	6.4	<5	<0.5	4	8
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 123	a	2	<0.05	2	6	8
	b	84	0.48	13	54	72
	c	17	0.06	5	20	27
	d	14	<0.05	5	19	24
	e	15	<0.05	5	19	25
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 71	a	5	<0.05	2	8	8
	b	84	0.48	13	54	58
	c	22	0.07	6	23	32
	d	19	<0.05	6	21	30
	e	18	0.05	6	21	31

Gmina Kotla (tabela XII). Silnie kwaśny odczyn wykazują piaszczyste gleby leśne w zachodniej i wschodniej części gminy. W jej części centralnej występują gleby słabo kwaśne. Bliskość huty „Głogów” spowodowała znaczne zanieczyszczenia gleb uprawnych, głównie miedzią, ale również często ołowiem i cynkiem oraz sporadycznie kadmem, arsenem i rtęcią. Gleby tej gminy (zwłaszcza gleby pól uprawnych) winny być przebadane dodatkowo w bardziej szczegółowej skali.

Gmina Krotoszyce (tabela XIII). Gleby charakteryzują się tu przeważnie kwaśnym odczynem i znaczną zawartością frakcji spławialnych (gleby lekkie i średnio ciężkie). Bliskość huty miedzi „Legnica” spowodowała znaczne zanieczyszczenia gleb uprawnych, głównie miedzią, ale też ołowiem i cynkiem. Gleby pól uprawnych należy zbadać dodatkowo dla szczegółowej oceny zanieczyszczeń.

Gmina Kunice (tabela XIV). Odczyn gleb jest zróżnicowany – od gleb silnie kwaśnych (głównie terenów leśnych) poprzez kwaśne do obojętnych. Ich granulacja wskazuje na obecność gleb bardzo lekkich i lekkich. Stopień zanieczyszczenia gleb uprawnych jest nieznaczny. Sporadycznie obserwuje się niewielkie zanieczyszczenie miedzią, ołowiem i cynkiem.

Miasto i gmina Legnica (tabela XV). Wyróżniają się tu gleby miejskie Legnicy o odczynie obojętnym i zasadowym. Jest to zjawisko typowe dla gleb terenów miejskich i przemysłowych. Nieliczne gleby użytkowane rolniczo przeważnie mają odczyn słabo kwaśny. Stosunkowo wysoka zawartość frakcji spławialnych wskazuje na gleby lekkie i średnio ciężkie. Bliskość huty „Legnica” oraz dość dużego ośrodka przemysłowego jakim jest miasto Legnica spowodowała znaczne zanieczyszczenia gleb pól uprawnych, głównie miedzią, ale także często ołowiem i cynkiem oraz sporadycznie kadmem, arsenem i rtęcią. Gleby tej gminy (zwłaszcza gleby pól uprawnych) winny być przebadane dodatkowo w bardziej szczegółowej skali.

Gmina Legnickie Pole (tabela XVI). Stosunkowo wysoka zawartość frakcji spławialnych wskazuje, że gleby tej gminy można zaliczyć do lekkich i średnio ciężkich, o zmiennym odczynie – od nielicznych silnie kwaśnych do obojętnych. Gleby użytkowane rolniczo kwalifikują się do gleb o zerowym stopniu zanieczyszczenia. Jedyne przeciętna zawartość miedzi wskazuje na I stopień zanieczyszczenia. Nieliczne punkty o wyższych zawartościach metali zlokalizowane są w pobliżu miejsko-przemysłowego obszaru Legnicy.

Tabela XII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Kotla
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Kotla commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 204	a	3.3	<5	<0.5	<1	1
	b	7.9	126	7.8	14	109
	c	5.8	8	<0.5	3	12
	d	5.6	5	<0.5	2	8
	e	6.2	5	<0.5	3	8
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 123	a	4.1	<5	<0.5	<1	3
	b	7.9	126	7.8	14	109
	c	6.6	9	<0.5	4	13
	d	6.5	6	<0.5	3	11
	e	6.6	7	<0.5	3	11
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 204	a	3	<0.05	<1	<5	5
	b	1091	2.74	51	854	1131
	c	94	0.11	8	48	55
	d	45	0.06	6	31	34
	e	48	0.06	6	28	35
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 123	a	9	<0.05	2	12	12
	b	808	2.74	51	854	1131
	c	79	0.09	9	43	55
	d	55	0.06	7	33	42
	e	59	0.07	8	31	41

Tabela XIII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Krotoszyce
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Krotoszyce commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 160	a	4.3	<5	<0.5	3	7
	b	8.2	39	1.2	18	97
	c	6.3	9	<0.5	6	15
	d	6.2	8	<0.5	6	14
	e	6.3	8	<0.5	6	13
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 137	a	4.3	<5	<0.5	3	7
	b	8.2	39	1.2	18	97
	c	6.3	9	<0.5	6	15
	d	6.2	8	<0.5	6	14
	e	6.3	8	<0.5	6	13
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 160	a	13	<0.05	5	16	22
	b	640	0.81	51	282	380
	c	105	0.09	12	62	60
	d	63	0.07	11	49	53
	e	54	0.07	10	43	48
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 137	a	13	<0.05	5	16	22
	b	621	0.26	51	282	380
	c	87	0.08	12	54	58
	d	55	0.07	11	44	52
	e	49	0.07	10	38	47

Tabela XIV
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Kunice
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Kunice commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 106	a	3.9	<5	<0.5	<1	3
	b	8.2	44	0.7	13	38
	c	6.0	7	<0.5	4	11
	d	5.9	5	<0.5	3	10
	e	6.0	6	<0.5	4	9
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 81	a	4.3	<5	<0.5	3	7
	b	8.2	39	1.2	18	97
	c	6.3	9	<0.5	6	15
	d	6.2	8	<0.5	6	14
	e	6.3	8	<0.5	6	13
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 106	a	7	<0.05	2	13	10
	b	139	0.32	28	117	401
	c	26	0.07	8	29	44
	d	22	0.06	6	27	35
	e	20	0.06	6	25	33
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 81	a	8	<0.05	2	14	11
	b	82	0.32	28	69	401
	c	25	0.07	8	28	44
	d	22	0.06	7	26	36
	e	20	0.06	6	26	33

Tabela XV
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Legnica
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Legnica commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 137	a	4.7	<5	<0.5	1	6
	b	8.0	472	7.9	165	76
	c	6.8	21	<0.5	10	19
	d	6.8	14	<0.5	8	17
	e	7.0	14	<0.5	8	17
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 20	a	4.8	<5	<0.5	3	8
	b	7.9	25	1.4	14	31
	c	6.2	14	<0.5	9	20
	d	6.2	12	<0.5	8	19
	e	6.2	14	<0.5	8	21
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 137	a	14	<0.05	3	17	24
	b	26 101	5.13	114	5185	11 200
	c	488	0.26	17	197	224
	d	142	0.17	15	101	117
	e	113	0.17	14	89	108
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 20	a	27	0.06	5	33	42
	b	559	0.52	29	233	121
	c	121	0.17	17	74	80
	d	92	0.14	16	65	76
	e	85	0.14	19	58	85

Tabela XVI
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Legnickie Pole
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Legnickie Pole commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 112	a	4.0	<5	<0.5	3	7
	b	8.4	33	0.8	18	33
	c	6.2	9	<0.5	6	15
	d	6.2	8	<0.5	6	14
	e	6.1	7	<0.5	6	14
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 103	a	4.4	<5	<0.5	4	8
	b	8.4	29	0.6	18	33
	c	6.2	8	<0.5	6	15
	d	6.1	7	<0.5	6	14
	e	6.1	7	<0.5	6	14
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 112	a	16	<0.05	5	17	23
	b	353	0.40	30	213	116
	c	51	0.08	11	43	46
	d	40	0.08	11	38	44
	e	34	0.07	10	34	41
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 103	a	16	<0.05	5	21	23
	b	305	0.27	22	144	116
	c	47	0.09	11	40	44
	d	38	0.08	11	37	43
	e	33	0.07	10	33	41

Miasto i gmina Lubin (tabela XVII). Na tym obszarze dominują gleby o niskich zawartościach frakcji spławialnych i o kwaśnym, rzadziej obojętnym odczynie. Gleby silnie zakwaszone występują na terenach lasów na południu i północy gminy. Gleby miejskie Lubina są przeważnie obojętne lub zasadowe. Pomimo obecności na terenie gminy kopalni miedzi oraz nieczynnego zbiornika odpadów poflotacyjnych „Gilów” gleby użytkowane rolniczo uległy tylko w nieznacznym stopniu zanieczyszczeniu (nie-

liczne próbki z podwyższoną zawartością As do 45 ppm, Cd do 0,8 ppm, Cu do 54 ppm). Maksymalne koncentracje miedzi (do 6991 ppm), ołowiu (do 1481 ppm) i cynku (do 666 ppm) wykazują próbki pobrane z odpadów poftlotacyjnych wypełniających nieczynny zbiornik „Gilów”, lub z gleb obok hałd i zakładów przerobczych położonych na południowym brzegu zbiornika. W glebach miejskich Lubina zanotowano do: 309 ppm Cu i 166 ppm Pb.

Tabela XVII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Lubin
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Lubin commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 509	a	3.3	<5	<0.5	<1	1
	b	8.1	117	1.6	49	24
	c	5.6	<5	<0.5	2	6
	d	5.5	<5	<0.5	2	5
	e	5.7	<5	<0.5	2	6
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 214	a	3.5	<5	<0.5	<1	2
	b	7.9	45	0.8	15	18
	c	6.0	<5	<0.5	2	7
	d	6.0	<5	<0.5	2	6
	e	6.1	<5	<0.5	2	6
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 509	a	2	<0.05	<1	<5	6
	b	6991	2.68	24	1481	666
	c	65	0.05	4	26	31
	d	14	<0.05	4	17	25
	e	12	<0.05	4	15	23
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 214	a	5	<0.05	<1	<5	9
	b	54	0.33	15	48	189
	c	13	<0.05	4	16	30
	d	12	<0.05	4	15	28
	e	11	<0.05	4	15	27

Tabela XVIII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Męcinka
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Męcinka commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 139	a	3.6	<5	<0.5	<1	7
	b	7.8	119	<0.5	29	202
	c	5.7	10	<0.5	10	30
	d	5.6	9	<0.5	9	23
	e	5.7	8	<0.5	9	19
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 88	a	4.4	<5	<0.5	4	11
	b	7.8	119	1.2	25	202
	c	6.2	10	<0.5	9	28
	d	6.1	8	<0.5	9	22
	e	6.3	7	<0.5	8	19
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 139	a	6	<0.05	2	14	10
	b	88	1.37	96	165	345
	c	23	0.11	20	37	67
	d	21	0.09	17	33	59
	e	21	0.08	16	29	57
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 88	a	12	<0.05	8	18	31
	b	70	1.37	79	128	221
	c	23	0.10	19	30	62
	d	21	0.08	17	28	57
	e	21	0.08	14	26	56

Tabela XIX
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Miłkowie
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Miłkowie commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 138	a	3.8	<5	<0.5	<1	2
	b	8.5	23	0.9	14	25
	c	5.9	6	<0.5	4	11
	d	5.8	6	<0.5	4	10
	e	5.9	6	<0.5	4	11
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 108	a	4.3	<5	<0.5	<1	3
	b	8.5	23	0.9	11	25
	c	6.1	7	<0.5	4	11
	d	6.0	6	<0.5	4	10
	e	6.0	6	<0.5	4	11
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 138	a	2	<0.05	<1	<5	7
	b	225	0.40	20	214	642
	c	48	0.08	8	38	50
	d	36	0.07	7	32	40
	e	33	0.07	7	32	38
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 108	a	10	<0.05	1	6	13
	b	147	0.35	19	109	228
	c	44	0.08	8	36	44
	d	36	0.07	7	33	40
	e	32	0.07	8	33	38

Gmina Męcinka (tabela XVIII). Wyróżniają się tu silnie kwaśne gleby leśne, natomiast gleby użytkowane rolniczo mają odczyn bardzo zróżnicowany – od kwaśnego do obojętnego. Zawartość części spławialnych wskazuje na dominację gleb lekkich i średnio ciężkich. Przeciętne stężenia metali pozwalają zaliczyć gleby użytkowane rolniczo do grupy o zerowym stopniu zanieczyszczenia. Obecność próbek z podwyższonymi stężeniami metali (As do 119 ppm, Cd do 1,2 ppm, Cr do 202 ppm, Cu do 70 ppm, Hg do 1,37 ppm, Pb do 128 ppm i Zn do 221 ppm) związana jest prawdopodobnie z obecnością licznych przejawów mineralizacji kruszcowej.

Gmina Miłkowie (tabela XIX). Na terenie gminy dominują gleby kwaśne i lekko kwaśne. Wyższy udział frakcji spławialnych (gleby lekkie) obserwuje się w jej części południowej, natomiast gleby silnie piaszczyste dominują w części północnej. Bliskość huty „Legnica” wyraźnie wpływa na podwyższenie zawartości miedzi i ołowiu w glebach, szczególnie na południu. Podobnie jak w przypadku innych gmin celowym było wykonanie bardziej szczegółowych badań w pobliżu hut miedzi.

Gmina Mściwojów (tabela XX). Gleby mają tu odczyn kwaśny i lekko kwaśny, z niewielkim udziałem gleb obojętnych i zasadowych. Zawartości metali kwalifikują użytkowane rolniczo gleby tej gminy do zerowej klasy czystości.

Gmina Paszowice (tabela XXI). Gleby leśne gminy wykazują odczyn silnie kwaśny. Kwasowość pozostałych gleb jest zróżnicowana – od kwaśnych do obojętnych. Zawartości metali kwalifikują użytkowane rolniczo gleby tej gminy do zerowej klasy czystości. Podwyższone zawartości niektórych pierwiastków (Ba, Co, Cr, Ni) związane są z charakterem podłoża geologicznego.

Tabela XX
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Mściwojów
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Mściwojów commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 74	a	4.6	<5	<0.5	4	8
	b	7.9	15	0.8	12	32
	c	6.4	6	<0.5	6	14
	d	6.4	6	<0.5	6	14
	e	6.4	6	<0.5	6	14
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 71	a	4.6	<5	<0.5	4	8
	b	7.9	15	0.8	12	32
	c	6.4	6	<0.5	6	15
	d	6.4	6	<0.5	6	14
	e	6.3	6	<0.5	6	14
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 74	a	7	<0.05	5	6	19
	b	82	0.25	27	121	135
	c	17	0.06	11	24	42
	d	15	0.05	11	23	40
	e	16	0.06	11	23	38
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 71	a	8	<0.05	5	12	28
	b	29	0.25	27	50	135
	c	16	0.06	11	23	41
	d	15	0.06	11	23	40
	e	15	0.06	11	23	38

Tabela XXI
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Paszowice
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Paszowice commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 97	a	3.6	<5	<0.5	3	12
	b	8.0	37	3.0	28	175
	c	5.7	9	<0.5	10	36
	d	5.6	8	<0.5	9	29
	e	5.8	8	<0.5	8	25
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 65	a	4.0	<5	<0.5	5	13
	b	8.0	37	3.0	28	175
	c	6.0	9	<0.5	10	31
	d	6.0	8	<0.5	9	26
	e	6.0	8	<0.5	7	24
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 97	a	8	<0.05	6	16	26
	b	53	0.35	100	95	371
	c	22	0.09	25	32	68
	d	20	0.08	21	29	59
	e	19	0.08	18	28	55
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 65	a	11	<0.05	10	16	35
	b	49	0.35	100	62	371
	c	21	0.09	23	26	65
	d	19	0.08	20	25	58
	e	18	0.07	17	23	54

Gmina Pęcław (tabela XXII). Gleby tej gminy mają odczyn kwaśny i lekko kwaśny. Gleby silnie kwaśne obserwuje się lokalnie w dolinie Odry. Gleby o wyższej zawartości frakcji spławialnych występują głównie w dolinie tej rzeki. W zasadzie, gleby użytkowane rolniczo nie są zanieczyszczone metalami prócz gleb aluwialnych doliny Odry, gdzie dochodzi do znacznego nagromadzenia As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb i Zn. Zanieczyszczenia te prawdopodobnie zostały doprowadzone wodami spoza badanego obszaru (z terenów przemysłowych i górniczych leżących w górze rzeki). Gleby aluwialne doliny Odry na obszarze gminy Pęcław powinny być przedmiotem dalszych, szczegółowych badań.

Tabela XXII
Table
Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Pełclaw
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Pełclaw commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 63	a	4.4	<5	<0.5	<1	4
	b	7.7	42	4.6	16	110
	c	6.1	12	0.6	6	23
	d	6.1	10	<0.5	5	17
	e	6.3	9	<0.5	5	17
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 55	a	4.4	<5	<0.5	<1	4
	b	7.7	42	4.6	16	110
	c	6.2	11	<0.5	6	19
	d	6.1	9	<0.5	5	15
	e	6.4	9	<0.5	5	15
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 63	a	12	<0.05	2	11	16
	b	198	1.97	37	164	927
	c	37	0.21	13	35	110
	d	29	0.07	11	28	57
	e	26	0.05	12	24	46
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 55	a	12	<0.05	2	11	16
	b	139	1.90	37	164	927
	c	29	0.12	12	28	74
	d	25	0.05	10	24	46
	e	24	0.05	11	23	42

Tabela XXIII
Table
Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Pielgrzymka
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Pielgrzymka commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 104	a	3.7	<5	<0.5	1	4
	b	8.2	12	0.6	12	34
	c	6.0	7	<0.5	5	13
	d	5.9	6	<0.5	5	12
	e	6.2	7	<0.5	5	13
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 85	a	4.7	<5	<0.5	4	8
	b	8.2	11	0.6	12	34
	c	6.3	7	<0.5	6	14
	d	6.3	6	<0.5	5	13
	e	6.4	7	<0.5	5	13
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 104	a	4	<0.05	2	9	17
	b	25	0.33	25	131	68
	c	11	0.08	9	25	39
	d	11	0.07	8	23	38
	e	11	0.07	8	22	38
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 85	a	7	<0.05	6	9	29
	b	25	0.33	25	131	68
	c	12	0.08	10	24	41
	d	11	0.07	9	23	41
	e	11	0.07	9	21	39

Tabela XXIV
Table
Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Polkowice
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Polkowice commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 561	a	3.3	<5	<0.5	<1	2
	b	8.0	31	2.8	13	19
	c	5.2	<5	<0.5	2	6
	d	5.1	<5	<0.5	2	5
	e	4.9	<5	<0.5	2	5
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 170	a	4.0	<5	<0.5	<1	3
	b	7.8	31	1.5	8	15
	c	5.7	<5	<0.5	2	7
	d	5.7	<5	<0.5	2	6
	e	5.9	<5	<0.5	2	6
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 561	a	2	<0.05	<1	<5	6
	b	2161	0.70	36	1231	1303
	c	38	0.05	4	21	27
	d	16	<0.05	4	16	21
	e	14	<0.05	4	15	19
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 170	a	3	<0.05	1	<5	10
	b	138	<0.05	12	1231	1303
	c	19	<0.05	4	24	33
	d	16	<0.05	4	16	24
	e	14	<0.05	4	17	23

Gmina Pielgrzymka (tabela XXIII). Gleby leśne gminy wykazują odczyn silnie kwaśny. Gleby o innym użytkowaniu wykazują kwasowość zróżnicowaną; są to gleby od kwaśnych do obojętnych. Zawartość części splawialnych wskazuje na dominację gleb lekkich i średnio ciężkich. Zawartości metali kwalifikują użytkowane rolniczo gleby tej gminy do zerowej klasy czystości.

Miasto i gmina Polkowice (tabela XXIV). Na obszarze miasta i gminy Polkowice dominują gleby o niskiej zawartości części splawialnych. Silnie kwaśny odczyn gleb na znacznych obszarach gminy wiąże się z lesistością. Pomimo obecności licznych kopalń miedzi i osadnika odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” oraz części nieczynnego osadnika „Gilów” przebadane gleby użytkowane rolniczo w zasadzie nie wykazują zanieczyszczeń metalami. Pojedyncze punkty, w których stwierdzono zawartości Cu do 138 ppm, ołowiu do 1231 ppm oraz Zn do 1303 ppm, zlokalizowane są w pobliżu zakładów górniczych „Polkowice”. W glebach na terenie zakładów górniczych „Rudna” doszło do znacznej koncentracji miedzi (do 2161 ppm) i ołowiu (do 179 ppm). Wysokie zawartości miedzi (od 718 do 2219 ppm) i ołowiu (od 60 do 313 ppm) stwierdzono także w próbkach pobranych z odpadów poflotacyjnych wypełniających nieczynny zbiornik „Gilów” i z gleb w najbliższym otoczeniu zbiornika.

Miasto i gmina Prochowice (tabela XXV). Silnie kwaśny odczyn gleb na tym obszarze jest charakterystyczny dla gleb leśnych. Pozostałe gleby są przeważnie kwaśne. Na terenie miasta i w jego okolicy (zachodnia część gminy) występują gleby o odczynie obojętnym. Zawartości metali kwalifikują gleby użytkowane rolniczo do zerowej klasy czystości. Podwyższone w pojedynczych próbkach zawartości arsenu do 52 ppm, miedzi do 68 ppm, ołowiu do 64 ppm, kadmu do 0,8 ppm i chromu do 124 ppm nieznacznie przekraczają granice I stopnia zanieczyszczeń.

Miasto i gmina Przemków (tabela XXVI). Znaczne powierzchnie miasta i gminy pokryte są lasami o glebach silnie kwaśnych. Pozostały obszar charakteryzuje się glebami kwaśnymi. Gleby użytkowane rolniczo nie wykazują znaczących zanieczyszczeń metalami.

Tabela XXV
Table
Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Prochowice
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Prochowice commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 109	a	3.6	<5	<0.5	<1	2
	b	7.8	52	1.6	17	124
	c	5.7	6	<0.5	3	11
	d	5.6	4	<0.5	2	8
	e	5.8	<5	<0.5	2	8
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 70	a	4.7	<5	<0.5	<1	4
	b	7.8	52	0.8	17	124
	c	6.2	6	<0.5	3	13
	d	6.2	<5	<0.5	3	10
	e	6.3	<5	<0.5	3	9
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 109	a	4	<0.05	2	9	8
	b	68	0.51	39	196	363
	c	14	0.06	6	25	38
	d	12	<0.05	4	22	27
	e	11	0.05	4	20	24
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 70	a	6	<0.05	2	9	11
	b	68	0.28	39	64	143
	c	14	0.06	6	22	37
	d	13	<0.05	5	21	31
	e	12	0.05	4	20	28

Tabela XXVI
Table
Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Przemków
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Przemków commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 138	a	3.4	<5	<0.5	<1	2
	b	7.4	68	3.0	8	20
	c	5.0	6	<0.5	2	6
	d	4.9	<5	<0.5	1	5
	e	4.8	<5	<0.5	1	5
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 51	a	4.0	<5	<0.5	<1	2
	b	7.1	15	<0.5	8	14
	c	5.3	<5	<0.5	2	6
	d	5.2	<5	<0.5	1	5
	e	5.2	<5	<0.5	1	6
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 138	a	2	<0.05	<1	<5	4
	b	74	0.46	189	288	376
	c	13	0.07	5	25	31
	d	10	0.05	3	20	22
	e	9	0.05	3	20	22
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 51	a	2	<0.05	<1	<5	4
	b	18	0.26	8	53	54
	c	10	0.07	3	21	26
	d	9	0.06	3	19	23
	e	9	0.06	3	20	25

Gmina Radwanice (tabela XXVII). Odczyn gleb tej gminy jest zróżnicowany (z przewagą gleb kwaśnych), chociaż notuje się gleby o odczynie obojętnym. Gleby użytkowane rolniczo nie wykazują zanieczyszczeń metalami. Nieliczne wyższe stężenia metali rzadko przekraczają wartości dla I stopnia zanieczyszczeń.

Gmina Rudna (tabela XXVIII). Gleby gminy Rudna mają zróżnicowany, kwaśny odczyn i niską zawartość frakcji splawialnych. Cięższe gleby występują jedynie w dolinie Odry. W zasadzie gleby użytkowane rolniczo nie są zanieczyszczone metalami prócz gleb aluwialnych doliny Odry, gdzie dochodzi do znacznych nagromadzeń As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb i Zn. Zanieczyszczenia te prawdopodobnie zostały doprowa-

dzone wodami spoza omawianego obszaru, z terenów przemysłowych i górniczych leżących w górze rzeki. Gleby aluwialne doliny Odry na obszarze tej gminy (podobnie jak gminy Pęcław) powinny być przedmiotem dalszych, szczegółowych badań. Obecność na tym terenie zbiornika odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” nie wpłynęła na zanieczyszczenie gleb.

Gmina Ruja (tabela XXIX). Lekkie i średnio ciężkie gleby tej gminy, o zróżnicowanej kwasowości, nie wykazują zanieczyszczeń metalami.

Tabela XXVII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Radwanice
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Radwanice commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 98	a	3.6	<5	<0.5	<1	3
	b	8.0	25	2.2	7	15
	c	5.6	<5	<0.5	2	6
	d	5.5	<5	<0.5	1	6
	e	5.6	<5	<0.5	1	6
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 55	a	3.9	<5	<0.5	<1	3
	b	8.0	14	1.6	7	13
	c	5.9	<5	<0.5	2	6
	d	5.8	<5	<0.5	1	6
	e	5.9	<5	<0.5	1	6
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 98	a	3	<0.05	1	<5	6
	b	44	0.35	11	110	529
	c	12	<0.05	4	19	31
	d	10	<0.05	3	17	21
	e	10	<0.05	3	16	22
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 55	a	3	<0.05	1	10	7
	b	44	0.35	11	110	281
	c	13	<0.05	4	19	28
	d	12	<0.05	3	17	22
	e	12	<0.05	3	16	23

Miasto i gmina Ścinawa (tabela XXX). Występują tu gleby o niskich zawartościach frakcji ilastej i zróżnicowanej kwasowości (przeciętne pH = 6,0). Gleby charakteryzują się niskimi zawartościami metali. W pojedynczych punktach (gleby pól uprawnych i łąk) stwierdzono zawartości wyższe: 116 ppm Cu, 1 ppm Cd i 237 ppm Zn.

Gmina Udanin (tabela XXXI). Gleby rolniczej gminy Udanin, najczęściej lekko kwaśne i obojętne, o znacznym udziale frakcji ilastej, nie są zanieczyszczone metalami.

Tabela XXX
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Ścinawa
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Ścinawa commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 171	a	3.8	<5	<0.5	<1	2
	b	8.1	27	1.4	10	37
	c	5.9	<5	<0.5	3	8
	d	5.8	<5	<0.5	2	7
	e	5.9	<5	<0.5	2	7
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 115	a	4.4	<5	<0.5	<1	3
	b	8.0	27	1.0	10	29
	c	6.1	<5	<0.5	3	8
	d	6.0	<5	<0.5	2	8
	e	6.0	<5	<0.5	2	7
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 171	a	2	<0.05	1	7	7
	b	116	0.78	23	93	336
	c	13	0.06	6	20	39
	d	11	<0.05	5	17	29
	e	11	<0.05	5	15	26
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 115	a	5	<0.05	2	8	10
	b	116	0.46	23	70	237
	c	12	<0.05	6	17	30
	d	11	<0.05	5	16	27
	e	10	<0.05	5	15	26

Tabela XXVIII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Rudna
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Rudna commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 291	a	3.6	<5	<0.5	<1	2
	b	8.1	44	6.0	17	182
	c	5.5	<5	<0.5	3	10
	d	5.4	<5	<0.5	2	7
	e	5.5	<5	<0.5	2	6
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 160	a	3.8	<5	<0.5	<1	2
	b	7.8	44	6.0	17	182
	c	5.9	<5	<0.5	4	12
	d	5.8	<5	<0.5	3	8
	e	5.9	<5	<0.5	3	7
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 291	a	3	<0.05	1	<5	8
	b	179	2.83	43	145	1087
	c	17	0.09	6	21	50
	d	12	<0.05	5	17	26
	e	11	<0.05	4	16	23
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 160	a	5	<0.05	1	7	12
	b	179	2.83	43	140	1087
	c	18	0.12	7	22	61
	d	13	<0.05	6	18	32
	e	12	<0.05	5	16	28

Tabela XXXI
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Udanin
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Udanin commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 111	a	4.2	<5	<0.5	2	5
	b	8.0	14	<0.5	20	26
	c	6.6	7	<0.5	6	13
	d	6.6	6	<0.5	6	13
	e	6.7	7	<0.5	6	13
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 105	a	4.5	<5	<0.5	2	5
	b	8.0	14	<0.5	20	21
	c	6.6	7	<0.5	6	13
	d	6.6	6	<0.5	6	13
	e	6.7	7	<0.5	6	13
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 111	a	10	<0.05	4	16	28
	b	60	0.15	34	96	128
	c	17	0.07	11	24	42
	d	16	0.07	10	23	40
	e	16	0.07	11	22	38
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 105	a	10	<0.05	4	16	28
	b	31	0.15	32	96	85
	c	16	0.07	11	24	39
	d	16	0.07	10	23	39
	e	16	0.07	10	22	37

Tabela XXIX
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Ruja
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Ruja commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 74	a	4.5	<5	<0.5	2	5
	b	8.1	8	<0.5	6	15
	c	6.3	<5	<0.5	4	10
	d	6.3	<5	<0.5	4	9
	e	6.3	5	<0.5	4	10
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 73	a	4.5	<5	<0.5	2	5
	b	8.1	8	<0.5	6	15
	c	6.3	<5	<0.5	4	10
	d	6.2	<5	<0.5	4	9
	e	6.3	5	<0.5	4	10
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 74	a	10	<0.05	3	13	14
	b	43	0.30	11	43	89
	c	20	0.07	6	23	30
	d	19	0.07	6	23	29
	e	19	0.07	6	23	28
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 73	a	10	<0.05	3	13	14
	b	43	0.30	11	42	80
	c	20	0.07	6	23	30
	d	19	0.07	6	23	28
	e	18	0.07	6	23	28

Tabela XXXII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Warta Bolesławiecka
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Warta Bolesławiecka commune

Gleby Soils	Parametry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 198	a	3.2	<5	<0.5	<1	3
	b	8.0	14	0.7	24	38
	c	6.0	<5	<0.5	3	9
	d	5.9	<5	<0.5	3	9
	e	6.1	<5	<0.5	3	9
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 150	a	4.2	<5	<0.5	2	5
	b	8.0	14	<0.5	24	38
	c	6.3	<5	<0.5	4	10
	d	6.3	<5	<0.5	3	9
	e	6.4	<5	<0.5	4	9
Gleby Soils	Parametry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 198	a	5	<0.05	<1	8	14
	b	1398	0.78	33	127	127
	c	39	0.07	6	24	36
	d	18	0.07	5	22	34
	e	15	0.06	5	21	33
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 150	a	5	<0.05	2	8	16
	b	1398	0.78	33	56	127
	c	40	0.07	6	21	37
	d	17	0.06	6	20	35
	e	14	0.06	6	19	34

Gmina Warta Bolesławiecka (tabela XXXII). Poza terenami lasów w gminie dominują gleby kwaśne i lekko kwaśne ze znacznym udziałem gleb obojętnych. Gleby leśne wykazują natomiast odczyn silnie kwaśny. Wyższy udział frakcji sypialnych (gleby lekkie i średnio ciężkie) obserwuje się w części południowej, a gleby piaszczyste dominują w części północnej gminy. Przeciętne zawartości metali w glebach użytkowanych rolniczo mieszczą się w granicach zerowego stopnia zanieczyszczenia. Wy różnia się jednak zdecydowanie wąski pas gleb zanieczyszczonych, głównie miedzią (do 1398 ppm Cu) i srebrem wzdłuż doliny Bobrzycy, między nieczynnym osadnikiem poflotacyjnym „Iwiny” a Tomaszowem Bolesławieckim. Anomalia ta występuje również wokół zbiornika „Iwiny”. Powstanie anomalii związane jest prawdopodobnie z katastrofą z dnia 13 grudnia 1967 r., podczas której, po przerwaniu wałów ochronnych zbiornika, nastąpiło zalanie doliny wodą z osadami. Wpływ osadnika „Wartowice” na stopień zanieczyszczenia gleb jest nieznaczny. Niewielką anomalię miedzi i srebra obserwuje się jedynie po południowej stronie zbiornika.

Gmina Wądroże Wielkie (tabela XXXIII). Gleby tej rolniczej gminy w znacznym stopniu należą do obojętnych, niekiedy nawet alkalicznych oraz rzadziej – lekko kwaśnych. Są to gleby ze znacznym udziałem frakcji sypialnych (lekkie i średnio ciężkie). Stopień ich zanieczyszczenia metalami jest nieznaczny. W pojedynczych punktach stwierdzono zawartości wyższe: 1,2 ppm Cd, 158 ppm Pb i 1154 ppm Zn.

Gmina Zagrodno (tabela XXXIV). Występują tu gleby o znacznych zawartościach frakcji ilastej (gleby lekkie i średnio ciężkie) i zróżnicowanej kwasowości (przeciętne pH = 6,0). Charakteryzują się one niskimi zawartościami metali. W pojedynczych punktach stwierdzono zawartości wyższe: 1,1 ppm Cd, 74 ppm Ni, 109 ppm Pb i 280 ppm Zn.

Miasto i gmina Złotoryja (tabela XXXV). Występują tu gleby o znaczącym udziale frakcji ilastej (gleby lekkie i średnio ciężkie) i zróżnicowanej kwasowości (przeciętne pH = 5,9). Zawartości metali w glebach użytkowanych rolniczo nie przekraczają granic I stopnia zanieczyszczeń. Punktowa anomalia miedzi (maksimum 1898 ppm) występuje w pobliżu węzła kolejowego i drogowego w Jerzmanowicach Zdroju na południowy zachód od Złotoryi. Również punktowa anomalia cynku (z maksimum 723 ppm) występuje na zachodnim obrzeżu miasta.

Tabela XXXIII
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Wądroże Wielkie
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Wądroże Wielkie commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 91	a	4.7	<5	<0.5	3	6
	b	8.4	95	1.2	10	33
	c	6.4	7	<0.5	6	13
	d	6.3	6	<0.5	5	13
	e	6.3	6	<0.5	6	13
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 86	a	4.8	<5	<0.5	3	6
	b	8.4	97	1.2	10	33
	c	6.4	7	<0.5	6	13
	d	6.3	6	<0.5	6	13
	e	6.3	6	<0.5	6	13
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 91	a	13	<0.05	4	18	20
	b	55	0.16	20	158	1154
	c	23	0.07	10	27	52
	d	22	0.06	10	25	39
	e	21	0.07	10	24	36
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 86	a	13	<0.05	4	18	20
	b	55	0.11	19	158	1154
	c	22	0.07	10	26	51
	d	21	0.06	10	25	38
	e	21	0.07	10	24	36

Tabela XXXIV
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Zagrodno
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Zagrodno commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 121	a	3.6	<5	<0.5	2	6
	b	9.1	14	1.1	17	65
	c	6.0	5	<0.5	5	12
	d	5.9	<5	<0.5	4	11
	e	6.1	6	<0.5	4	11
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 114	a	3.7	<5	<0.5	2	6
	b	9.1	14	1.1	17	59
	c	6.1	5	<0.5	6	12
	d	6.0	<5	<0.5	4	11
	e	6.2	5	<0.5	4	11
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 121	a	6	<0.05	3	7	17
	b	55	0.31	74	109	280
	c	18	0.07	9	26	44
	d	17	0.06	8	24	40
	e	16	0.07	8	23	37
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 114	a	9	<0.05	3	7	17
	b	53	0.31	74	109	280
	c	18	0.07	9	25	43
	d	17	0.06	8	23	39
	e	16	0.07	8	22	37

Tabela XXXVII
Table

Podział na grupy gleb mineralnych (wg FS i pH w 1n KCl) i organicznych (wg OS)
(wg A. Kabaty-Pendias i in., 1995)
Groups of mineral soils (according to FS and pH in 1n KCl) and of organic soils (according to OS)
(after A. Kabata-Pendias et al., 1995)

		pH			
		<4.5	4.6–5.5	5.6–6.5	>6.5
FS (%)	<10	AG	AG	AG	AG
	10–20	AG	AG	AG	BG
	20–35	BG	BG	CG	CG
	35–55	BG	BG	CG	CG
OS* (%)	6–10	BG	BG	BG	BG
	>10	CG	CG	CG	CG

* w glebach organicznych nie uwzględnia się wpływu pH; pH no regarded in organic soils

FS – granulometryczna frakcja sypialna
granulometric fine fraction
OS – substancja organiczna
organic matter.

Gmina Żukowice (tabela XXXVI). Kwasowość gleb na terenie tej gminy jest zróżnicowana. Gleby użytkowane rolniczo mają odczyn od silnie kwaśnego do zasadowego. Przeciętnie są to gleby lekko kwaśne. Podobnie jak kwasowość, zróżnicowane jest również uziarnienie gleb. Najczęściej są to gleby o wyższych zawartościach frakcji sypialnych. Pomimo bliskości huty „Głogów” przeciętne zawartości większości metali w glebach użytkowanych rolniczo pozwalają je zaliczyć do gleb o zerowym stopniu zanieczyszczenia. Jedynie przeciętna zawartość miedzi kwalifikuje je do gleb o I stopniu zanieczyszczenia. Znaczniejsze zanieczyszczenia metalami obserwuje się jedynie w glebach nie użytkowanych rolniczo w sąsiedztwie huty „Głogów”.

Tabela XXXV
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb miasta i gminy Złotoryja
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Złotoryja commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 206	a	3.6	<5	<0.5	2	6
	b	7.9	31	1.3	31	74
	c	5.9	8	<0.5	6	15
	d	5.8	7	<0.5	6	14
	e	5.9	7	<0.5	5	13
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 155	a	4.1	<5	<0.5	3	6
	b	7.9	19	0.7	23	63
	c	6.0	7	<0.5	6	14
	d	5.9	6	<0.5	6	13
	e	6.0	6	<0.5	5	12
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby miasta i gminy, ogółem All soils n = 206	a	6	<0.05	5	14	22
	b	1898	0.73	127	449	723
	c	45	0.09	13	36	54
	d	26	0.07	11	31	46
	e	24	0.07	10	28	40
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 155	a	6	<0.05	5	14	22
	b	137	0.52	59	111	723
	c	31	0.07	11	31	47
	d	25	0.06	10	28	41
	e	23	0.06	9	27	38

Tabela XXXVI
Table

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości gleb gminy Żukowice
Statistical parameters of chemical elements and acidity of soils in Żukowice commune

Gleby Soils	Para-metry Parameters	pH	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 169	a	4.0	<5	<0.5	<1	3
	b	8.0	342	5.1	14	113
	c	6.5	13	0.5	4	12
	d	6.5	7	<0.5	3	10
	e	6.6	6	<0.5	4	9
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 131	a	4.7	<5	<0.5	<1	3
	b	7.8	34	2.6	12	46
	c	6.6	7	<0.5	4	10
	d	6.6	5	<0.5	4	9
	e	6.7	6	<0.5	4	9
Gleby Soils	Para-metry Parameters	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Gleby gminy, ogółem All soils n = 169	a	18	<0.05	2	16	14
	b	1403	2.53	55	2387	795
	c	127	0.17	9	93	73
	d	80	0.09	8	48	45
	e	67	0.07	8	38	37
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 131	a	18	<0.05	2	16	17
	b	225	1.19	28	157	516
	c	71	0.12	8	42	53
	d	61	0.08	8	37	39
	e	59	0.07	8	34	35

Ocena zawartości metali ciężkich (mg/kg) w powierzchniowej warstwie gleb uprawnych
(wg A. Kabaty-Pendias i in., 1995)
Assesment of heavy metals content (mg/kg) in surficial layer of cultivated soils
(after A. Kabata-Pendias et al., 1995)

Metal	Grupa gleby Soil group	Stopień zanieczyszczenia gleb Soil pollution degree					
		0*	I	II	III	IV	V
Cd	AG**	0.3	1.0	2	3	5	>5
	BG	0.5	1.5	3	5	10	>10
	CG	1.0	3.0	5	10	20	>20
Cu	AG	10	30	50	80	300	>300
	BG	20	50	80	100	500	>500
	CG	25	70	100	150	750	>750
Cr	AG	20	40	80	150	300	>300
	BG	30	60	150	300	500	>500
	CG	50	80	200	500	1000	>1000
Ni	AG	10	30	50	100	400	>400
	BG	25	50	75	150	600	>600
	CG	50	75	100	300	1000	>1000
Pb	AG	20	70	100	500	2500	>2500
	BG	40	100	250	1000	5000	>5000
	CG	60	150	300	2000	7000	>7000
Zn	AG	50	100	200	700	1500	>1500
	BG	70	150	300	1000	3000	>3000
	CG	100	250	500	2000	5000	>5000

- * 0 – gleby nie zanieczyszczone o naturalnych zawartościach metali ciężkich (MC). Gleby nadają się pod wszystkie uprawy ogrodnicze i rolnicze, a zwłaszcza pod uprawy roślin przeznaczonych dla dzieci i niemowląt; obszary z takimi glebami należy objąć szczególną ochroną przed wprowadzaniem antropogenicznych MC;
I – gleby o podwyższonej zawartości MC mogą być przeznaczone do pełnego wykorzystania rolniczego, z wyłączeniem upraw roślin do produkcji żywności o szczególnie małej zawartości pierwiastków i substancji szkodliwych;
II – gleby słabo zanieczyszczone; rośliny uprawiane na takich glebach mogą zawierać nadmierne ilości MC z punktu widzenia toksykologicznego; szczególnie wykluczyć należy uprawę warzyw, jak np. salata, szpinak, kalafior, marchew; dozwolona jest uprawa roślin zbożowych, okopowych i pastwiskowych oraz użytkowanie pastwiskowe;
III – gleby średnio zanieczyszczone; wszystkie uprawy na takich glebach mogą ulec skażeniu MC; dopuszczalna jest uprawa roślin zbożowych, okopowych i pastwiskowych, pod warunkiem okresowej kontroli poziomu metali w konsumpcyjnych częściach roślin; zalecane są uprawy roślin przemysłowych i traw nasiennych; wody gruntowe mogą być narażone na zanieczyszczenie MC, w tym szczególnie – kadmem, cynkiem i nikiem; w przypadku pastwisk należy także kontrolować pobieranie MC przez zwierzęta;
IV – gleby silnie zanieczyszczone; gleby takie, a zwłaszcza gleby lekkie, powinny być wyłączone z produkcji rolnej oraz zadarnione lub zadrzewione; na glebach lepszych należy uprawiać rośliny przemysłowe (np. len, konopie, wiklina), w zależności od ich wymagań siedliskowych; dopuszcza się także produkcję materiału siewnego zbóż i traw oraz ziemniaków dla przemysłu spirytusowego (spirytus energetyczny) i rzepaku na olej techniczny; wykorzystanie na pastwiska należy ograniczyć; zaleca się zabiegi rekultywacyjne, a przede wszystkim wapnowanie i wprowadzanie substancji organicznej;
V – gleby bardzo silnie zanieczyszczone; powinny być wyłączone z produkcji rolnej i użytkowania pastwiskowego; należy liczyć się z potrzebą zabiegów rekultywacyjnych; konieczne jest zadarnienie i zadrzewienie takich gleb, między innymi ze względu na zagrożenie przenoszenia zanieczyszczeń wraz z pyłami glebowymi; na odpowiednich glebach można uprawiać rośliny przemysłowe, podobnie jak na glebach o IV stopniu zanieczyszczenia.

** AG – lekkie (light); BG – średnie (medium); CG – ciężkie (heavy)

Tabela XXXIX
TableOrientacyjne wartości graniczne zawartości substancji szkodliwych w glebach
w odniesieniu do sposobu ich użytkowania (ppm)
(wg T. Eikmann, A. Kloke, 1991)

Approximate values of permissible concentrations of harmful substances in soils, with respect to land use (ppm)
(after T. Eikmann, A. Kloke, 1991)

Sposób użytkowania Soils use	Klasa Class	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Możliwości wielofunkcyjnego użycia Multifunctional use possibilities	gw1*	20	1	50	50	0,5	40	100	150
Place i miejsca zabaw dzieci Children's playgrounds	gw2	20	2	50	50	0,5	40	200	300
	gw3	50	10	250	250	10	200	1000	2000
Ogródki przydomowe i działkowe Domestic gardens and allotments	gw2	40	2	100	50	2	80	300	300
	gw3	80	5	350	200	20	200	1000	600
Boiska sportowe i pola gier Sports and playing fields	gw2	35	2	150	100	0,5	100	200	300
	gw3	90	5	350	300	10	250	1000	2000
Parki i tereny rekreacyjne Parks and recreational areas	gw2	40	4	150	200	5	100	500	1000
	gw3	80	15	600	600	15	250	2000	3000
Tereny przemysłu ciężkiego i lekkiego – nie pokryte roślin- nością Industrial areas (heavy and light) – non-sealed	gw2	50	10	200	300	10	200	1000	1000
	gw3	150	20	800	1000	20	500	2000	3000
Tereny przemysłu ciężkiego i lekkiego – zrekultywowane i porośnięte roślinnością Industrial areas (heavy and light) – covered and overgrown	gw2	50	10	200	500	10	200	1000	1000
	gw3	200	20	800	2000	50	500	2000	3000
Tereny rolnicze i wielkoto- warowego ogrodnictwa Agriculturally used areas, orchard market gardens	gw2	40	2	200	50	10	100	500	300
	gw3	50	5	500	200	50	200	1000	600
Tereny ekosystemów nierolniczych Non-agricultural eco-systems	gw2	40	5	200	50	10	100	1000	300
	gw3	60	10	500	200	50	200	2000	600

* gw1 – zawartości podstawowe; gw2 – zawartości tolerowane; gw3 – zawartości toksyczne
basis value; tolerance value; toxicity value

1. Przeprowadzone badania geochemiczne gleb omawianego obszaru wskazują, że podwyższona zawartość takich pierwiastków jak glin, kobalt, chrom, magnez, nikiel, skand, stront, tytan i wanad związana jest przede wszystkim z budową geologiczną podłoża.

2. Grupa pierwiastków: arsen, żelazo, fosfor, ołów, siarka, wanad oraz itr, w wyniku procesów migracji w środowisku, ulega koncentracji w glebach organicznych – torfiastych i torfach, dając miejscami wyraźne, niekiedy bardzo intensywne anomalie geochemiczne. Są to anomalie naturalne, lecz przyczyną ich powstania nie musi być obecność w podłożu mineralizacji kruszcowych lub skał bogatych w te pierwiastki. Takie anomalie w geochemii poszukiwawczej nazywane są „anomaliami fałszywymi”. Najbardziej wyrazistą anomalią tego typu jest anomalia arsenu w zlewni górnej Czarnej Wody, intensywnością i rozległością przewyższająca anomalie tego pierwiastka na terenach hutnictwa miedzi. Anomalie fałszywe mają zazwyczaj, jak już wspomniano, charakter naturalny, chociaż w niektórych przypadkach mogą tworzyć się w wyniku oddziaływania czynników antropopresji.

3. Anomalie geochemiczne związane z przemysłem miedziowym wyrażone są głównie rozległymi obszarami podwyższonych zawartości miedzi i ołowiu wokół hut miedzi „Głogów” i „Legnica”. Podwyższone ilości innych pierwiastków, takich jak: srebro, arsen, cynk, kobalt i nikiel występują w obrębie anomalii miedziowo-olowiowych na ograniczonym terenie samych zakładów hutniczych. Niewielkie anomalie o podobnej paragenzie pierwiastków występują również w pobliżu zakładów przeróbki rud w rejonie Lubina i Polkowic oraz koło osadników odpadów w starym zagłębiu miedziowym w Wilkowie i Iwinach. Nie zanotowano zanieczyszczeń gleb metalami wokół zbiorników odpadów poflotacyjnych „Gilów” i „Żelazny Most”. Problematyka wpływu tych osadników na wody podziemne wykracza poza ramy niniejszego opracowania. Próbkę pobrane z powierzchniowej (0–20 cm) warstwy gruntu z nieczynnego osadnika „Gilów” wykazały obecność pokaźnych ilości metali.

4. Odrębnym problemem, raczej nie związanym z działalnością przemysłu miedziowego, jest zanieczyszczenie gleb aluwialnych doliny Odry takimi pierwiastkami jak: srebro, arsen, bar, kadm, chrom, miedź, rtęć, ołów, cynk, fosfor i siarka. Jednym ze źródeł tych zanieczyszczeń mogą być zrzuty wód kopalnianych z Górnego Śląska; świadczą o tym wysokie zawartości baru obserwowane poniżej ujścia głównych rzek drenujących Górny Śląsk. Dodatkowym źródłem tych anomalii są niewątpliwie zrzuty ścieków komunalnych i przemysłowych w górnej części Odry. Ze względu na wysokie zawartości wysokotoksycznych pierwiastków, takich jak rtęć i kadm, konieczne jest przeprowadzenie badań gleb aluwialnych tej rzeki w skali większej niż 1:100 000.

5. Gleby użytkowane rolniczo generalnie nie wykazują zanieczyszczeń metalami. Konieczne jest jednak szczegółowe przebadanie gleb w gminach leżących w pobliżu zakładów hutniczych.

GEOCHEMIA WIELOPIERŚCIENIOWYCH WĘGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH

Zagrożenie biosfery, spowodowane zanieczyszczeniem środowiska przyrodniczego na skutek działalności gospodarczej człowieka, związane jest nie tylko ze wzrostem w nim stężenia niektórych pierwiastków śladowych, ale również z obecnością nadmiernych ilości związków organicznych szkodliwych dla organizmów zwierzęcych. W powietrzu, wodach, glebach oraz osadach wodnych, w sąsiedztwie wielu zakładów przemysłowych, składowisk odpadów i spalarni, wykrywana jest obecność toksycznych związków organicznych, takich jak np. pestycydy chloroorganiczne, polichlorowane bifenyle i dioksyny oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (R. Addink, K. Olie, 1995; J. Johnson, 1995; M. Sokolowski, 1994). Wiele z tych związków charakteryzuje się dużą trwałością w środowisku i podlega gromadzeniu w glebach i osadach wodnych oraz bioakumulacji.

ŹRÓDŁA WIELOPIERŚCIENIOWYCH WĘGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH W ŚRODOWISKU

Intensywny rozwój przemysłu i motoryzacji spowodował znaczny wzrost emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) do środowiska naturalnego (M. Miron, 1997; J. Brandys, 1990). Znajdujące się w środowisku WWA mogą przenikać do organizmu człowieka w wyniku oddychania zanieczyszczonym powietrzem (wraz z frakcją respirabilną pyłu); a także spożywania zanieczyszczonej wody i pokarmu (oleje jadalne, wszelkie produkty wędzone). Najbardziej narażeni na ekspozycję WWA są mieszkańcy terenów zurbanizowanych i przemysłowych.

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są stosunkowo dobrze poznaną grupą związków organicznych ze względu na rakotwórcze i mutagenne oddziaływanie niektórych spośród nich na organizmy zwierzęce (T. Dutkiewicz i in., 1988). W środowisku występują one jako mieszanina różnych WWA zawierających w cząsteczce od dwóch do trzynastu pierścieni aromatycznych. Najsilniejsze działanie rakotwórcze i mutagenne wykazują węglowodory, które w swojej strukturze chemicznej zawierają układ pierścieniowy benzo(a)antracenu. Należą do nich: benzo(a)piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antracen i benzo(ghi)perylene.

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są powszechne w środowisku i pochodzą zarówno ze źródeł naturalnych, jak i antropogenicznych (D. Ollivon i in., 1995; S.E. McGroddy, J.W. Farrington, 1995; M. Miron, 1997). WWA występują w środowisku przyrodniczym jako naturalne składniki gleb, osadów wodnych i skał osadowych. Są one produktem przemian metabolicznych żywych organizmów, np. wytwarzane są przez mikroorganizmy glebowe rozkładające detrytus roślinny i szczątki organizmów zwierzęcych. Zazwyczaj gleby bogate w substancję próchniczą charakteryzują się wyższymi zawartościami WWA niż gleby ubogie w substancję organiczną (B. Maliszewska-Kordybach, 1993). Obecność WWA w tkankach roślin wyższych tłumaczy się ich przedostawaniem z gleby poprzez system korzeniowy oraz z powietrza za pośrednictwem liści; absorpcję WWA z powietrza ułatwiają woski pokrywające powierzchnię liści (M. Miron, 1997). Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

tworzą się i są wprowadzane do środowiska również w następstwie naturalnych pożarów lasów i torfowisk oraz erupcji wulkanów. Związki te mogą powstawać także podczas petrogenyzy, zwłaszcza przebiegającej w wysokich temperaturach. Procesom przemian materii organicznej, prowadzących do powstania ropy naftowej, towarzyszy powstawanie całej gamy węglowodorów aromatycznych, w tym także wielopierścieniowych (K.M. Evans i in., 1990).

Stwierdzono, że emisja WWA do środowiska ze źródeł antropogenicznych wielokrotnie przewyższa emisję naturalną. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne powstają przede wszystkim podczas wysokotemperaturowych procesów technologicznych (spalanie i przeróbka paliw kopalnych), np. w elektrowniach, elektrociepłowniach, zakładach przemysłu koksowniczego i rafineriach ropy naftowej (T. Behymer, R. Hites, 1988). Istotnym źródłem emisji WWA do środowiska jest także spalanie węgla, torfu i drewna w gospodarstwach domowych, w warunkach sprzyjających powstawaniu zwiększonej ilości tych związków (stosunkowo niska temperatura, niedostatek tlenu, niska jakość paliwa). Znaczne ilości WWA uruchamiane są również przez transport, w efekcie spalania paliw płynnych w silnikach samochodowych i samolotowych. Emisja do atmosfery wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych następuje także przy przetwarzaniu w wysokich temperaturach surowców zawierających substancję organiczną, np. łupków bitumicznych, oraz spalaniu odpadów komunalnych i przemysłowych. Źródłem lokalnego zanieczyszczenia środowiska wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi są również awarie i katastrofy związane z niekontrolowanymi przeciekami ropy naftowej i paliw płynnych.

Prekursorami powstawania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych podczas spalania paliw są rodniki o różnej masie cząsteczkowej, składające się z 1, 2 lub większej liczby atomów węgla. W wysokich temperaturach (500–800°C) rodniki te łączą się ze sobą w łańcuchy, które następnie tworzą połączenia w związki WWA (M. Miroń, 1997). Ilość i rodzaj wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, powstających podczas procesów pirolitycznych jest bardzo zmienna i zależy od typu spalanej paliwa. Na przykład, spalaniu węgla towarzyszy powstawanie mieszaniny węglowodorów charakteryzujących się większym udziałem benzo(a)pirenu, niż w przypadku mieszaniny węglowodorów ze spalania paliw płynnych, które zawierają więcej pirenu i fluorantenu (S.O. Beak i in., 1991). Stwierdzono również, że im więcej wysokowrzących związków aromatycznych zawiera paliwo, tym większa ilość WWA powstaje w procesie spalania. Na ilość i jakość powstających WWA mają także wpływ warunki spalania, np. stężenie benzo(a)pirenu wzrasta przy niższych temperaturach spalania; wielkość i rodzaj emisji tych węglowodorów z silników samochodowych zależy nie tylko od rodzaju spalanej paliwa (etylina, benzyna bezołowiowa, olej napędowy), ale także od stopnia wypracowania silnika, zużycia oleju i wielu parametrów technicznych silnika. Analiza udziału poszczególnych związków w mieszaninie WWA może dostarczyć informacji o źródle zanieczyszczenia (S.O. Beak i in., 1991).

Uruchomione do atmosfery podczas procesów wysokotemperaturowych WWA, w 60–70% zaadsorbowane są na cząsteczkach o średnicy mniejszej niż 1 mm i mogą przebywać w powietrzu do kilkudziesięciu dni oraz przemieszczać się na znaczne odległości (J. Brandys, 1990). Obecne w atmosferze wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne ulegają rozkładowi pod wpływem podwyższonej temperatury oraz promieniowania świetlnego, przede wszystkim w zakresie ultrafioletu, ale także w zakresie widzialnym. Fotoutlenianie jest jednym z najbardziej znaczących procesów w usuwaniu WWA z atmosfery (T. Behymer, R. Hites, 1988; T. Dutkiewicz i in., 1988). Jednak przeważająca ilość WWA wyemitowanych do atmosfery gromadzi się w glebach (B. Maliszewska-Kordybach, 1993).

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, dostające się do wód powierzchniowych ze splotem powierzchniowym oraz ze ściekami komunalnymi i przemysłowymi, podlegają akumulacji w osadach wodnych. W niezanieczyszczonych rzekach ich koncentracja w osadach nie przekracza na ogół 500 ppb (I. Bojakowska, G. Sokółowska, 1996).

W glebie, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne zatrzymywane są przede wszystkim w warstwie próchnicznej w wyniku sorpcji przez składniki glebowe i, ze względu na ich bardzo małą rozpuszczalność oraz podatność na wymywanie, tylko w niewielkim stopniu przemieszczają się one w głąb profilu glebowego. Zawartość i skład WWA w glebach jest wypadkową przebiegających w środowisku procesów: powstawania nowych związków w wyniku degradacji szczątków organicznych i depozycji WWA ze źródeł antropogenicznych z jednej strony, a z drugiej strony – mikrobiologicznej degradacji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, uzależnionej od czynników środowiskowych (temperatura, pH, dostęp tlenu, wilgotność), czynników mikrobiologicznych (występowanie populacji promieniowców, grzybów, bakterii i proporcje między nimi) oraz właściwości fizykochemicznych danego związku (J.B. Sutherland i in., 1995; D. Ollivon i in., 1995). Szybszemu rozkładowi mikrobiologicznemu ulegają przede wszystkim związki o mniejszej ilości pierścieni w cząsteczce, co w rezultacie prowadzi do niepożądanego gromadzenia się w glebie bardziej szkodliwych WWA, o większej liczbie pierścieni (B. Maliszewska-Kordybach, 1993). Niewielkie znaczenie ma proces usuwania WWA z gleb na drodze ulatniania się (ograniczony jest do związków o niskiej masie cząsteczkowej) oraz fotodegradacja zachodząca jedynie w górnej kilkumilimetrowej warstwie gleb (M. Miroń, 1997). Zawartość WWA w glebach na obszarach niezanieczyszczonych na ogół nie przekracza 200 ppb (A. Kabata-Pendias i in., 1995).

Z około pięciuset wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych występujących w środowisku najczęściej oznaczanych jest szesnaście, wytypowanych przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (US EPA). Są to: naftalen (Nf), acenaftylen (Ace), acenaften (Acf), fluoren (Fl), fenantren (Fen), antracen (Ant), fluoranten (Flu), piren (Pir), benzo(a)antracen (BaA), chryzen (Ch), benzo(b)fluoranten (BbF), benzo(k)fluoranten (BkF), benzo(a)piren (BaP), indeno(1,2,3-cd)piren (IndP), dibenzo(a,h)antracen (DahA) oraz benzo(ghi)perylene (BPer). Związki te zawierają od 3 do 6 pierścieni aromatycznych.

Z wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych najwięcej uwagi poświęca się benzo(a)pirenowi (BaP), ze względu na jego największą szkodliwość w oddziaływaniu na organizmy żywe. Może on powstawać na drodze pirolitycznej i biochemicznej. Związek ten wykrywany jest w niemal wszystkich rodzajach roślin oraz w różnych

poziomach glebowych. Występuje także w skalach, np. ropy naftowe zawierają do kilkuset ppb benzo(a)pirenu. Źródłem zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego przez BaP jest przede wszystkim przemysł petrochemiczny, koksowniczy i motoryzacyjny. Zawartość BaP w glebach piaszczystych z obszarów wiejskich, położonych z dala od ośrodków przemysłowych, wynosi około 10 ppb, a w glebach ogrodowych bogatych w próchnicę może nawet przekraczać 100 ppb. Najwyższe stężenia benzo(a)pirenu w glebach (650 000–1 000 000 ppb) stwierdzono w pobliżu zakładu produkującego sadzę (B. Jasiński, B. Mikołajczyk, 1990).

WYNIKI BADAŃ

Baza danych. Bazę danych utworzono w pakiecie Excel; zawiera ona współrzędne punktów opróbowania, dane o użytkowaniu terenu oraz wyniki oznaczeń wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach badanego obszaru.

Obliczenia statystyczne. Obliczenia parametrów statystycznych (średnia arytmetyczna, średnia geometryczna i mediana) zarówno dla całego zbioru danych, jak i dla podzbiorów (gleby strefy oddziaływania huty miedzi „Legnica”, gleby strefy oddziaływania huty miedzi „Głogów”, gleby wokół zbiornika odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most”, gleby miast i osiedli, gleby pól uprawnych i łąk, gleby ugorów i nieużytków, gleby lasów) wykonano za pomocą pakietu STATGRAPHICS. Dane te zestawiono w tabelach XL i XLI.

Opracowanie map geochemicznych. Mapy geochemiczne wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych opracowano w skali 1:250 000. Przy konstrukcji map, ze względu na niewielką liczbę punktów opróbowania w stosunku do skali mapy, zastosowano metodę kartodiagramów kołowych. Generację map podobnie jak pozostałych map atlasu wykonano przy wykorzystaniu programu SURFER for Windows.

*
* *

Na obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego i terenów przyległych wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne przenikają do środowiska przede wszystkim w wyniku ich emisji do atmosfery ze spalania paliw przez transport samochodowy oraz z procesów wysokotemperaturowych, w których przerabiane są surowce zawierające substancję organiczną, a głównie ze spalania węgla w elektrowniach, ciepłowniach i gospodarstwach domowych oraz z procesów hutniczych jakim poddawane są surowce miedzi. Podczas wytopu miedzi z koncentratów miedziowych, spalania zawartej w nich substancji organicznej oraz koksu dodawanego do wsadu jako paliwo uzupełniające, powstają gazy zawierające różnorodne, kondensujące w szerokim zakresie temperatur związki organiczne, z których część przenika do środowiska. Cechsytynskie łupki miedzionośne charakteryzują się wysoką zawartością substancji organicznej, której ilości wahają się od 1 do 30%, średnio – około 6%, w tym bituminy stanowią od 1 do 11% zawartego w nich węgla organicznego. Podstawowymi składnikami bituminów są n-alkany i izoprenoidy, a także alkinaftaleny, dibenzotiofeny i wielopierścieniowe związki aromatyczne (Z. Sawłowicz, S. Speczik, 1996).

Z grupy **trójpierścieniowych węglowodorów aromatycznych** oznaczono w glebach zawartości **acenaftyleny, acenaftenu, fluorenu, fenantreny i antracenu** (tabela XL). Acenaftylen, acenaften i fluoren, stosunkowo mało trwale i względnie łatwo migrujące w środowisku, nie występują w znaczących ilościach, nawet w glebach zanieczyszczonych. Średnie ich zawartości nie przekraczają 1 ppb, a ich udział w ogólnej sumie oznaczonych WWA obecnych w glebach wynosi średnio poniżej 0,5%. W nieco większych ilościach występują antracen i fenantren i stanowią średnio 4,0% (fenantren) i 0,9% (antracen) sumy oznaczonych WWA. Wyraźnie podwyższone zawartości fenantrenu obserwowano w rejonie Legnicy oraz na terenie miast i osiedli.

Zawartość sumy zbadanych trójpierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach dochodziła do 780 ppb; średni ich udział stanowił 8,9% ogólnej sumy oznaczonych WWA. Wysokie zawartości ich sumy stwierdzono w glebie pobranej w pobliżu osadnika „Lena 2” (ponad 550 ppb) oraz w glebach pól uprawnych w okolicy Soborzynka na południowy zachód od Kotli (780 ppb) i na zachód od Głogowa w okolicy wsi Kamiona (264 ppb i 489 ppb). Podwyższone zawartości trójpierścieniowych węglowodorów aromatycznych występują również w glebie koło wsi Szymanowice (178 ppb), na terenie ogródków działkowych w Legnicy (215 ppb), w pobliżu stawów w Przybkowie, na południe od Legnicy (304 ppb), a także w pobliżu osadnika „Wartowice” oraz w okolicy Grębocic, Złotoryi i Stanisławowa. Najwyższe średnie geometryczne zawartości trójpierścieniowych WWA odnotowano w glebach w strefie oddziaływania huty miedzi „Legnica” oraz na terenie miast i osiedli (tabela XLI). Występowanie trójpierścieniowych węglowodorów aromatycznych (suma WWA1) w glebach omawianego obszaru przedstawiono na **tablicy 32**.

Spośród **czteropierścieniowych węglowodorów aromatycznych** w badanych glebach oznaczono zawartość **fluorantenu, pirenu, benzo(a)antracenu i chryzenu**. Większość tych związków oddziałuje w ujemny sposób na organizmy zwierzęce. W zbadanych próbkach fluoranten występował w największych ilościach; jego średnia geometryczna zawartość w glebach wynosiła 13 ppb, a udział w sumie badanych węglowodorów był najwyższy – 12%. Duży udział fenantrenu w mieszaninie WWA jest charakterystyczny dla wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych powstających ze spalania paliw płynnych. Średnia zawartość pirenu w grupie badanych czteropierścieniowych węglowodorów aromatycznych wynosiła 9,7%, benzo(a)antracenu – 4,6%, a chryzenu 7,2% (tabela XL).

Sumaryczną zawartość tych węglowodorów w glebach obserwowano w zakresie od kilku do 4074 ppb; a ich średni udział w całkowitej zawartości oznaczonych węglowodorów wynosił 34%. Najwyższą zawartość czteropierścieniowych węglowodorów stwierdzono w pobliżu osadnika „Lena 2” (4074 ppb) oraz w próbce gleby pól uprawnych na północny wschód od wsi Soborzynka w gminie Kotla (2654 ppb). Wysokie zawartości tych węglowodorów stwierdzono również w glebach uprawnych na zachód od Głogowa koło wsi Kamiona (1822 i 1783 ppb), na południe od Pielgrzymki w okolicy Twardocic (1532 ppb), na południowy zachód od Legnicy koło Przybkowa (1064 ppb) i Gniewomirowic (1072 ppb), oraz w glebie leśnej na północny zachód od Legnicy w pobliżu Goślinowa (1639 ppb) i w okolicy Złotoryi (1375 ppb). Najwyższe średnie zawartości czteropierścieniowych węglowodorów występowały w glebach znaj-

Parametry statystyczne oznaczonych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebach (ppb)
Statistical parameters of determined polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils (ppb)

Gleby Soils	Parametry Parameters	3-pierścieniowe WWA (1)					4-pierścieniowe WWA (2)				5- i 6-pierścieniowe WWA (3)				
		acenaften Ace	acenaften Acf	fluoren Fl	fenantren Fen	antracen Ant	fluoranten Flu	piren Pir	benzo(a)- antracen BaA	chryzen Ch	benzo(b)- fluoranten BbF	benzo(k)- fluoranten BkF	benzo(a)- piren BaP	indeno(1,2,3-cd)- piren IndP	dibenzo(a,h)- antracen DahA
Gleby ogółem All soils n = 460	a	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5	<5
	b	41	18	45	588	125	1271	1192	751	860	1593	1086	1723	1090	166
	c	1	<1	1	16	3	46	39	21	30	44	38	43	43	8
	d	<1	<1	<1	5	1	13	10	5	8	12	11	11	12	<5
	e	<1	<1	<1	5	<1	14	11	5	9	13	11	10	12	<5
Gleby strefy oddziaływania huty miedzi „Legnica” Copper smelter “Legnica” area soils n = 92	a	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5	<5
	b	16	4	14	241	57	516	413	282	428	679	629	695	1018	148
	c	1	<1	1	25	4	69	57	34	50	78	69	75	87	14
	d	<1	<1	<1	10	2	29	23	13	20	30	26	26	29	6
	e	<1	<1	<1	12	2	29	24	12	19	27	22	25	26	4
Gleby strefy oddziaływania huty miedzi „Głogów” Copper smelter “Głogów” area soils n = 129	a	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5	<5
	b	41	18	45	588	88	938	794	415	507	608	466	771	626	92
	c	1	<1	1	18	3	42	34	18	25	32	28	32	32	7
	d	<1	<1	<1	4	1	10	8	4	6	8	8	7	9	<5
	e	<1	<1	<1	3	<1	9	7	3	5	8	7	6	7	<5
Gleby strefy oddziaływania zbiornika „Żelazny Most” Flotation failings pond “Żelazny Most” area soils n = 37	a	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5	<5
	b	8	1	3	47	4	154	125	34	66	79	72	68	93	67
	c	1	<1	<1	7	<1	17	13	5	10	14	11	11	16	5
	d	<1	<1	<1	3	<1	5	4	2	3	5	4	4	6	<5
	e	<1	<1	<1	2	<1	3	2	<1,5	2	4	<3	<3	<5	<5
Gleby miast i osiedli Urban area soils n = 45	a	<1	<1	<1	<1	<1	2	2	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5
	b	4	4	14	181	12	157	123	79	120	180	168	158	237	37
	c	1	<1	1	16	2	34	29	16	23	34	30	33	31	6
	d	<1	<1	<1	8	1	20	17	9	14	20	17	18	17	<5
	e	<1	<1	<1	8	2	21	18	10	15	22	19	21	16	<5
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 278	a	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5	<5
	b	41	18	45	588	88	938	794	415	507	608	466	771	626	92
	c	1	<1	<1	16	2	46	37	20	29	41	36	39	41	8
	d	<1	<1	<1	4	<1	14	11	6	9	13	11	11	13	<5
	e	<1	<1	<1	5	<1	15	13	6	9	14	11	10	12	<5
Gleby ugorów i nieużytków Fallow and barren land soils n = 66	a	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5	<5
	b	16	17	27	365	125	1271	1192	751	860	1593	1086	1723	1090	166
	c	2	<1	1	22	5	62	53	30	41	66	53	69	67	12
	d	<1	<1	<1	4	1	12	10	5	8	11	10	10	12	<5
	e	<1	<1	<1	4	<1	10	8	4	7	10	8	8	10	<5
Gleby lasów Forest soils n = 65	a	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,5	<1,5	<2,5	<3	<3	<5	<5	<5
	b	5	2	4	112	35	536	417	282	428	679	629	695	913	135
	c	1	<1	<1	13	2	43	35	19	27	39	34	40	39	7
	d	<1	<1	<1	4	<1	9	7	3	6	8	7	8	8	<5
	e	<1	<1	<1	3	<1	7	6	2	4	6	4	5	<5	<5

a – minimum; b – maksimum; c – średnia arytmetyczna; d – średnia geometryczna; e – mediana; n – liczba próbek;
minimum; maximum; arithmetic mean; geometric mean; median; number of samples

dujących się w strefie oddziaływania huty miedzi „Legnica” – 86 ppb oraz w glebach terenów miejskich i osiedlowych – 65 ppb (tabela XLI). Zwraca uwagę podwyższona zawartość tych węglowodorów w glebach pól uprawnych i łąk w porównaniu do gleb lasów. Prawdopodobnym ich źródłem jest emisja ze spalania paliw przez maszynę rolnicze, wycieki paliwa i smarów, wypalanie rzysk i łąk oraz stosowanie nawozów organicznych (kompost, osady ściekowe, gnojowica). Występowanie czteropierścieniowych węglowodorów aromatycznych (suma WWA2) w glebach omawianego obszaru przedstawiono na tablicy 33.

Z grupy pięcio- i sześciopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w badanych glebach określono zawartości benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(a)pirenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu, dibenzo(a,h)antracenu i benzo(ghi)perylenu (tabela XL). Średnie ich zawartości w glebach, oprócz dibenzo(a,h)antracenu, przekraczały 35 ppb. Zwraca uwagę wysoka średnia zawartość benzo(a)pirenu, wynosząca 43 ppb.

Zawartość węglowodorów tej grupy w badanych glebach wahała się od kilkunastu do 6607 ppb, a ich udział w całkowitej zawartości sumy oznaczanych WWA wyniósł średnio 57%. Średnia geometryczna zawartość tych związków była najwyższa w rejonie huty miedzi „Legnica” i wynosiła 148 ppb. Występowanie pięcio- i sześciopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, najbardziej szkodliwych dla organizmów żywych, przedstawiono na oddzielnych mapach geochemicznych (tablice 34–39), a sumarycznych zawartości – na tablicy 40. Średni udział benzo(b)fluorantenu w zawartości sumy oznaczanych WWA w glebach wyniósł 10,5%, benzo(k)fluorantenu – 9,3%, benzo(a)pirenu – 9,4%, indeno(1,2,3-cd)pirenu – 10,7%, benzo(ghi)perylenu – 9,9% i dibenzo(a,h)antracenu – 3,6% (tabela XL). Najwyższe zawartości tych węglowodorów stwierdzono w pobliżu osadnika „Lena 2” – 6607 ppb. Wysokie zawartości występowały także w glebach pól uprawnych na południowy zachód od Kotli we wsi Soborzynek (2666 ppb), na południe od Pięłgrzymki koło Twardocic (2546 ppb) i na południowy zachód od Legnicy koło Szymanowic (2515 ppb), w glebach nieużytków w sąsiedztwie Gniewomirowic (3932 ppb) i Przybkowa (1985 ppb) na południowy wschód od Legnicy, a w glebach leśnych – w okolicy Goślinowa (3842 ppb) i Stanisławowa (1669 ppb).

Zawartość sumy wszystkich oznaczonych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych występujących w glebach badanego obszaru mieściła się w zakresie od <33,5 ppb do 11 231 ppb, średnia arytmetyczna zawartość sumy tych związków wynosiła 372 ppb, a średnia geometryczna i mediana – odpowiednio 115 i 116 ppb (tabela XLI). Zawartości sumy oznaczanych WWA, <200 ppb, występowały w 296 badanych próbkach glebowych (64,3%). Są to gleby nie zanieczyszczone, o zawartościach naturalnych. W 383 próbkach (82,3%) zawartości sumy WWA były niższe niż 500 ppb (gleby nie zanieczyszczone, o zawartościach naturalnych i podwyższonych), a w 157 badanych próbkach (16,7%) wykryto zawartości sumy WWA wyższe niż 500 ppb, świadczące o zanieczyszczeniu gleb tymi związkami. Gleby silnie zanieczyszczone wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (>5000 ppb) stwierdzono koło osadnika „Lena 2”, na polach uprawnych koło Soborzynka i Gniewomirowic oraz na terenie lasów w pobliżu Goślinowa. Występowanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (suma WWA) w glebach omawianego obszaru przedstawiono na tablicy 41. Najwyższą średnią geometryczną całkowitej zawartości WWA – 257 ppb charakteryzowały się gleby w rejonie huty miedzi „Legnica” (tabela XLI). Wysoką średnią zawartość WWA wykazały także próbki gleb pobrane z terenów miast i osiedli – 170 ppb, a najniższą średnią charakteryzowały się gleby wokół zbiornika „Żelazny Most”.

Parametry statystyczne sumarycznych zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebach (ppb)
Statistical parameters of total content determined polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils (ppb)

Gleby Soils	Parametry Parameters	Σ WWA(1)*	Σ WWA(2)*	Σ WWA(3)*	Σ WWA*
Gleby ogółem All soils n = 460	a	<5	<5	<23,5	<33,5
	b	780	4074	6607	11 231
	c	22	136	215	372
	d	9	38	65	115
	e	7	41	59	116
Gleby strefy oddziaływania huty miedzi „Legnica” Copper smelter “Legnica” area soils n = 92	a	<5	<5	<23,5	<33,5
	b	304	1639	3932	5 614
	c	32	210	400	642
	d	16	86	148	257
	e	16	80	119	221
Gleby strefy oddziaływania huty miedzi „Głogów” Copper smelter “Głogów” area soils n = 129	a	<5	<5	<23,5	<33,5
	b	780	2654	2747	6 100
	c	24	119	160	303
	d	7	28	47	85
	e	5	24	38	67
Gleby strefy oddziaływania zbiornika „Żelazny Most” Flotation failings pond “Żelazny Most” area soils n = 37	a	<5	<5	<23,5	<33,5
	b	55	370	482	769
	c	10	46	76	133
	d	6	15	31	54
	e	<5	8	<23,5	<33,5
Gleby miast i osiedli Urban area soils n = 45	a	<5	5	<23,5	<33,5
	b	215	466	994	1 548
	c	21	102	161	285
	d	12	60	170	170
	e	12	61	181	181
Gleby pól uprawnych i łąk Cultivated and meadow soils n = 278	a	<5	<5	<23,5	<33,5
	b	780	2654	2747	6 100
	c	21	132	201	354
	d	8	40	68	119
	e	7	44	59	118
Gleby ugorów i nieużytków Fallow and barren land soils n = 66	a	<5	<5	<23,5	<33,5
	b	550	4074	6607	11 231
	c	31	186	327	544
	d	9	35	65	113
	e	6	28	45	81
Gleby lasów Forest soils n = 65	a	<5	<5	<23,5	<33,5
	b	135	1639	3842	5 614
	c	18	124	193	335
	d	8	26	46	83
	e	6	19	25	55

a – minimum; b – maksimum; c – średnia arytmetyczna; d – średnia geometryczna; e – mediana;
minimum; maximum; arithmetic mean; geometric mean; median;

n – liczba próbek;
number of samples

* Σ WWA (1) – sumaryczna zawartość 3-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych;
total content of 3-cyclic aromatic hydrocarbons
Σ WWA (2) – sumaryczna zawartość 4-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych;
total content of 4-cyclic aromatic hydrocarbons
Σ WWA (3) – sumaryczna zawartość 5- i 6-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych;
total content of 5- and 6-cyclic aromatic hydrocarbons
Σ WWA – Sumaryczna zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych;
total content of polycyclic aromatic hydrocarbons

WNIOSKI

1. Zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych wyższe niż 500 ppb, świadczące o zanieczyszczeniu gleb tymi związkami, stwierdzono w 16,7% analizowanych próbek gleb badanego obszaru. Najwyższe zawartości WWA (>5000 ppb) wykryto w glebach pobranych w pobliżu osadnika „Lena 2”, na polach uprawnych koło Soborzynka i Gniewomirowic oraz w próbce gleby leśnej w pobliżu Goślinowa. Naturalne zawartości WWA, <200 ppb, stwierdzono w 64,3% badanych próbek gleb. Średnia arytmetyczna sumy oznaczonych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach wynosiła 372 ppb, a średnia geometryczna i mediana – odpowiednio 115 i 116 ppb.

2. Występowanie podwyższonych zawartości WWA zaobserwowano w glebach w strefie oddziaływania huty miedzi „Legnica”, dla których średnia geometryczna całkowitej zawartości WWA wyniosła 257 ppb. Dużo niższe zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych występowały w glebach położonych w strefie oddziaływania huty miedzi „Głogów”, dla których średnia geometryczna całkowitej zawartości oznaczanych WWA wyniosła 85 ppb. Najniższa średnia zawartość badanych węglowodorów występuje w glebach w rejonie zbiornika odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” – 54 ppb.

3. Wysoką średnią geometryczną zawartością WWA wyróżniają się także próbki gleb pobrane z terenów miast i osiedli – 170 ppb. Źródłem tych związków jest ich emisja przez transport samochodowy oraz ciepłownictwo i energetykę. Zaobserwowano podwyższoną średnią geometryczną zawartość WWA w glebach pól uprawnych i łąk – 119 ppb, w stosunku do gleb lasów – 83 ppb, co może być związane ze stosowaniem nawożenia organicznego, wypalaniem rżysk i łąk oraz emisją zanieczyszczeń przez maszyny rolnicze.

4. Największy udział, wynoszący blisko 60% sumy oznaczonych WWA, miały węglowodory pięcio- i sześciopierścieniowe, najbardziej szkodliwe dla organizmów żywych. Spośród związków tej grupy w zbadanych glebach odnotowano największe ilości indeno(1,2,3-cd)pirenu i benzo(b)fluorantenu. Udział trójpierścieniowych węglowodorów aromatycznych, stosunkowo łatwo migrujących w środowisku, mało trwałych i nie wykazujących właściwości rakotwórczych, stanowił 8,9% ogólnej sumy oznaczanych WWA, zaś czteropierścieniowych – 34%.

5. Spośród wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych badanych gleb w najmniejszych ilościach występują węglowodory trójpierścieniowe: acenaftylen, acenaften i fluoren, których średnie zawartości nie przekraczały 1 ppb.

RADIOMETRIA

METODYKA

Badania koncentracji pierwiastków promieniotwórczych oraz całkowitej dawki promieniowania gamma oparto na wykorzystaniu połowych metod radiometrycznych.

Pomiary pola naturalnego promieniowania gamma są stosowane od kilku dziesięcioleci w badaniach poszukiwawczych złóż rud uranu. Od blisko 20 lat wykorzystywany jest spektrometryczny wariant pomiarowy tej metody pozwalający na selektywne określenie *in situ* stężeń naturalnych emiterów promieniowania gamma, t.j. potasu ^{40}K , bizmutu ^{214}Bi (ekwiwalent uranu – eU) oraz talu ^{208}Tl (ekwiwalent toru – eTh). Ich stężenia określane są pomiarami obejmującymi odpowiednio dla potasu, uranu i toru linie energetyczne: 1,46 MeV, 1,76 MeV i 2,62 MeV oraz powyżej 0,56 MeV dla kanału TC. Obecność izotopów cezu wprowadzonych do środowiska naturalnego w następstwie katastrofy czarnobylskiej nie wpływa na widmo energetyczne w tym obszarze energii. Współczynniki pomiarowe pozwalające na ustalenie stężeń naturalnych izotopów określane są eksperymentalnie na podstawie rutynowych procedur kalibracyjnych.

Aparatura stosowana w Polsce kalibrowana jest na wzorcach przestrzennych znajdujących się w Bratkowicach k/Przybramu w Czechach. Wzorce te poddawane są międzynarodowej interkalibracji.

Ponadto, na Zalewie Zegrzyńskim wykonano pomiary tła kosmicznego, w odległości ponad 100 m od najbliższego brzegu.

REGULACJE PRAWNE

Regulacje prawne w zakresie ochrony przed promieniowaniem jonizującym, określające dawki graniczne, wprowadzone zostały w Europie w 1925 roku. Organizacją koordynującą problematykę w skali globalnej jest Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (International Commission on Radiological Protection – ICRP). Większość narodowych organizacji zajmujących się ochroną radiologiczną dostosowuje normy do wymagań ICRP. W Polsce problematykę tę koordynuje Państwowa Agencja Atomistyki.

Wielkości limitów dawki granicznej są od wielu lat systematycznie obniżane. Podstawową zasadą obowiązującą w ochronie radiologicznej jest zasada ALARA – as low as reasonably achievable – co oznacza dążność do minimalizacji otrzymanyh dawek.

W Polsce wielkość limitu efektywnego równoważnika dawki obejmującego zagrożenia całego ciała dla osób zatrudnionych w warunkach narażenia zawodowego na promieniowanie jonizujące wynosi 50 mSv rocznie, a dla osób zamieszkałych lub przebywających w otoczeniu źródeł promieniowania, czyli narażonych wskutek skażeń promieniotwórczych środowiska – 1 mSv rocznie (ZARZĄDZENIE..., 1988). Limity dla osób niepełnoletnich wynoszą 0,1% podanych wyżej dawek. Wartości te nie obejmują dawek pochodzących od naturalnego tła promieniotwórczego i dawek medycznych.

Podobne dawki projektowane są w najnowszej dyrektywie Unii Europejskiej, która przewiduje limit roczny dla osób zawodowo narażonych na promieniowanie 50 mSv, ale maksymalnie 20 mSv rocznie dla średniej z pięciu kolejnych lat.

W wielu krajach obowiązują także normy dopuszczające określone koncentracje poszczególnych radioizotopów naturalnych i sztucznych w wodach pitnych, materiałach budowlanych i pomieszczeniach mieszkalnych. Najbardziej powszechne są normy dotyczące stężeń radonu w pomieszczeniach budynków. W większości krajów limit do-

puszczalnych stężeń radonu w atmosferze pomieszczeń wynosi 100–200 Bq/m³ powietrza. W Polsce stężenia te nie mogą przekraczać 400 Bq/m³ w budynkach istniejących przed dniem 1 stycznia 1998 r. i 200 Bq/m³ w budynkach oddanych do użytku po 1 stycznia 1998 r. (MONITOR..., 1995). Wobec szczególnego zagrożenia wynikającego z obecności radonu w środowisku geologicznym Szwecja, Czechy i Słowacja wprowadziły normy dotyczące jego dopuszczalnych stężeń w powietrzu glebowym. Uznano, że w zależności od właściwości fizycznych podłoża, określone stężenia – od 10 do 100 kBq/m³ – mogą prowadzić w pomieszczeniach budynków do stężeń przekraczających wymienione powyżej wartości dopuszczalne. Dlatego w Czechach i Słowacji, na terenach uznanych za zagrożone obecnością radonu w podłożu, przed rozpoczęciem inwestycji budowlanej należy wykonać pomiary stężeń tego pierwiastka w powietrzu glebowym.

W Finlandii, Szwecji, Czechach i Słowacji ustanowione są normy określające dopuszczalne stężenie radonu w wodach pitnych. Przykładowo, w normie szwedzkiej dla ujęć publicznych graniczna wartość stężenia Rn wynosi 100 Bq/l. Taka wielkość stężenia powoduje wzrost efektywnego równoważnika dawki w skali roku o 0,45 mSv. Łatwo zauważyć, że stężenie rzędu 1000 Bq/l powoduje wzrost dawki o 4,5 mSv rocznie, a więc wielokrotnie więcej niż limit dawki granicznej (1 mSv rocznie). W Polsce brak jest jak dotąd określenia odnoszącego się do dopuszczalnej koncentracji radonu w wodach pitnych.

WYSTĄPIENIA URANU W FORMACJACH LITOSTRATYGRAFICZNYCH BADANEGO OBSZARU

W południowej części omawianego obszaru występujące na powierzchni formacje paleozoiczne Gór Kaczawskich były w latach pięćdziesiątych obiektem intensywnych prac poszukiwawczych złóż uranu. Odkryto wówczas szereg punktów mineralizacji uranowej nie przedstawiających wartości przemysłowej. Także późniejsze prace poszukiwawcze prowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny potwierdziły obecność wysokiego tła geochemicznego uranu w kilku formacjach litostratygicznych i brak perspektyw na złożowe koncentracje tego pierwiastka (J.B. Miecznik, R. Strzelecki, 1979).

Najwyższe zawartości uranu stwierdzane są w słabo zmetamorfizowanych łupkach starszego paleozoiku (ordowik–sylur). Okruszcowanie uranem związane jest z fyllitami oraz łupkami grafitowymi, krzemionkowymi i serycytowo-ilastymi, przeważnie silnie zaangażowanymi tektonicznie. Okruszcowanie w postaci fosforanów uranowych i smulki uranowej występuje na powierzchniach uskoków i spękań. Najwyższe zawartości uranu, osiągające 0,2%, zostały stwierdzone w punkcie mineralizacyjnym „Rzeszówek”, gdzie w trakcie prac poszukiwawczych wydobyto 91 kg uranu. Nieco niższe koncentracje występowały w podobnych utworach w punkcie mineralizacyjnym „Muchów”. W kopalni „Wilcza”, w pobliżu Jawora, w obrębie staropaleozoicznych zmetamorfizowanych diabazów i ich tufów zlokalizowano niewielkie koncentracje tego pierwiastka, o zawartościach do 0,04%, związanych z rudami hematytowymi.

Okruszcowanie uranem występuje również w osadowych utworach cechsztynu niecki północnosudeckiej i monokliny przedsudeckiej. Na obszarze niecki północnosudeckiej znany jest punkt mineralizacji uranowej kopalni „Lena”. Okruszcowanie jest tam związane ze strefami spękań i uskokiemi tnącymi miedzionośne margle. Zawartości uranu wahają się od 0,009 do 0,16%. Na monoklinie przedsudeckiej podwyższone koncentracje uranu występują w formacji łupków miedzionośnych. Średnie zawartości uranu wynoszą około 60 ppm, osiągając miejscami kilkaset ppm. Uran występuje najczęściej w postaci thucholitu, uraninitu, smółki uranowej, coffinitu i brannerytu. Istotny jest zwłaszcza jego związek z substancją organiczną. Najsilniejsze wzbogacenie w uran wykazuje spągowa część łupków miedzionośnych, tzw. łupki smoliste. Inny typ mineralizacji uranowej reprezentują brekcje stref tektonicznych, w których koncentracje uranu są rzędu 0,08–0,10%. Jednak, jak wykazały badania Państwowego Instytutu Geologicznego, zasięg przestrzenny takich stref jest niewielki i nie ma wpływu na bilans uranu w złożu.

WYNIKI BADAŃ

Dawka promieniowania gamma (tablica 43). Mapa przedstawia sumaryczną moc dawki promieniowania gamma związaną z obecnością radioizotopów uranu, toru i potasu w przypowierzchniowej części litosfery. Jest to najważniejsza mapa radiometryczna pozwalająca na ocenę efektywnego równoważnika dawki wchłanianej, a zatem ocenę zagrożeń radiacyjnych w nawiązaniu do cytowanych wyżej przepisów. Przeliczając wartości dawki promieniowania gamma na wartość efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej, według zależności 100 nGy/h = 0,61 mSv/rok, otrzymujemy wartość efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej przez mieszkańców danego terenu.

Dla badanego obszaru średnia wartość 54,9 nGy/h (z odchyleniem standardowym 22,26 nGy/h) dawki promieniowania całkowitego gamma jest wyższa od średniej dla Polski wynoszącej 34,2 nGy/h (R. Strzelecki i in., 1993). Przeliczając wielkość promieniowania na wartość efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej otrzymujemy średnią wartość 0,33 mSv/rok, a w obszarach maksymalnej mocy dawki nawet 0,927 mSv/rok.

Wyższe wartości mocy dawki całkowitej, przekraczające 70 nGy/h, grupują się głównie w południowej części badanego obszaru. Wartości powyżej 100 nGy/h związane są tu z wychodniami utworów staropaleozoicznych Gór Kaczawskich oraz z morskimi osadami kredy górnej wzbogaconymi w glaukonit (SW i NE od Złotoryi). Podwyższone wartości w części południowej związane są jednak nie tylko z występowaniem utworów starszych: serii łupków metamorficznych paleozoiku, gnejsów Wądroża Wielkiego, klastycznych i magmowych skał permu, osadów drobnoklastycznych neogenu, ale również z występowaniem różnego typu osadów czwartorzędowych: glin zwałowych oraz piasków i żwirów stadiału maksymalnego zlodowacenia środkowopolskiego.

W części północnej obszaru, w rejonie Głogowa i Wzgórz Dalkowskich, podwyższone wartości mocy dawki promieniowania gamma związane są z glinami zwałowymi oraz piaskami, żwirami i glazami stadiału mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego.

Środkowa część badanego terenu oraz jego północny kraniec charakteryzują się niskimi wartościami mocy dawki promieniowania gamma; z reguły nie przekraczają one

Parametry statystyczne dawki całkowitej promieniowania gamma i radionuklidów naturalnych
Statistical parameters of total gamma ray dose rate and natural radioelements

Użytkowanie terenu Land use	Dawka promieniowania gamma Gamma ray dose rate (nGy/h)				K (%)				eU (ppm)				eTh (ppm)			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Lasy iglaste Coniferous forests n = 396	6,8	81,3	26,72	11,43	<0,10	1,7	0,59	0,27	<0,1	3,6	0,67	0,40	0,1	7,5	1,81	0,97
Lasy liściaste Leaved forests n = 189	2,0	166,2	47,25	23,90	<0,1	3,4	0,93	0,45	<0,1	4,4	1,28	0,75	0,1	14,9	3,70	2,11
Lasy mieszane Mixed forest n = 480	6,8	140,8	39,16	17,95	0,1	2,5	0,80	0,33	<0,1	5,2	1,10	0,67	0,1	11,7	2,72	1,58
Łąki Meadows n = 539	8,8	145,4	49,90	17,76	0,1	3,1	0,96	0,34	0,1	6,2	1,50	0,71	0,3	10,7	4,20	1,76
Nieuzitytki Barren lands n = 943	6,1	139,3	49,60	19,37	<0,1	2,7	1,01	0,37	<0,1	5,1	1,45	0,72	0,3	13,7	3,91	1,91
Pola uprawne Cultivated fields n = 2207	10,2	162,4	67,40	17,75	0,2	3,9	1,32	0,32	<0,1	8,0	1,87	0,79	0,8	13,2	5,33	1,66
Gleby piaszczyste Sandy soils n = 3394	2,0	116,4	47,32	19,67	<0,1	2,5	0,96	0,38	<0,1	8,0	1,36	0,79	0,1	13,2	3,80	1,98
Gleby gliniaste Clay soils n = 1375	12,4	166,2	73,62	16,28	0,3	3,9	1,39	0,32	0,4	5,1	2,01	0,68	0,1	14,9	5,54	1,64

a – minimum; b – maksimum; c – średnia arytmetyczna; d – średnia geometryczna; e – mediana; n – liczba próbek;
minimum maximum arithmetic mean geometric mean median number of samples

50 nGy/h. Występują tu prawie wyłącznie utwory wodnolodowcowe i gliny zwałowe. Najniższe wartości, nie przekraczające 25 nGy/h, związane są z osadami rzecznyymi (mady, mulki, piaski i żwiry) zlodowacenia północnopolskiego oraz z holocenijskimi utworami eolicznymi i deluwialnymi występującymi w środkowo-zachodniej części obszaru.

Średnia wartość mocy dawki dla gleb piaszczystych wynosi 47,3 nGy/h (tabela XLII) przy wysokiej wartości odchylenia standardowego (19,7 nGy/h), co świadczy o dużej zmienności w tej populacji. Gleby gliniaste charakteryzują się znacznie wyższą średnią wartością mocy dawki całkowitej promieniowania gamma – 73,6 nGy/h, przy niższej wartości odchylenia standardowego (16,3 nGy/h), co dowodzi większej jednorodności tej populacji. Promieniowanie gamma w rejonach oddziaływania hut miedzi „Legnica”, „Głogów” oraz zbiorników odpadów poflotacyjnych „Gilów” i „Żelazny Most” nie wykazuje wpływu tych obiektów na środowisko.

Potas (tablica 44). Średnia zawartość potasu na badanym terenie wynosi 1,087% i jest wyższa od średniej dla całej Polski (0,74% – R. Strzelecki i in., 1993). Mapa zawartości potasu w dużej mierze jest zbieżna z mapą dawki całkowitej promieniowania gamma. Zawartości potasu wahają się w przedziale od 0 do 2%. Zawartości przekraczające 1,5% występują na południe od doliny Czarnej Wody. Związane są one zarówno z wychodniami utworów paleozoicznych serii metamorficznych i dolnopermskich utworów osadowo-wulkanicznych Gór Kaczawskich, jak i z czwartorzędowymi piaskami i żwirami wodnolodowcowymi oraz glinami zwałowymi stadiału maksymalnego zlodowacenia środkowopolskiego. Charakterystyczne jest to, że podobne litologicznie i równowiekowe osady czwartorzędowe występujące po północnej stronie doliny Czarnej Wody mają znacznie niższe zawartości potasu – nie przekraczające 1,5%. Świadczy to o tym, że obszarem alimentacyjnym dla utworów wodnolodowcowych południowej części badanego terenu były Sudety, a na pozostałej części deponowany był materiał transportowany przez lodolód z północy.

Zawartościami potasu w przedziale od 1,0 do 1,5% charakteryzuje się obszar na południe od Głogowa, zbudowany z glin zwałowych oraz utworów lodowcowych (piaski, żwiry, glazy) stadiału mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego. W środkowej części badanego terenu, w okolicach Lubina, Polkowic, Rudnej i Chocianowa, występują nieregularne pola cechujące się podobnymi zawartościami potasu i są one związane z glinami zwałowymi stadiału maksymalnego zlodowacenia środkowopolskiego. Najniższe zawartości potasu, rzadko przekraczające 0,5%, związane są z rzecznyymi i eolicznymi osadami piaszczystymi występującymi na zachód od Gromadki i Chocianowa oraz z holocenijskimi osadami rzecznyymi doliny Odry.

W populacji gleb piaszczystych (tabela XLII) zawartości potasu wahają się w przedziale od 0 do 2,5%, a wartość średnia wynosi 0,96% (odchylenie standardowe – 0,38%). W glebach gliniastych zawartość tego pierwiastka jest wyższa; wynosi średnio 1,39% (odchylenie standardowe – 0,32%) i waha się w przedziale od 0,3 do 3,9%.

W zależności od sposobu użytkowania terenu najniższe średnie zawartości potasu (0,59%) związane są z obszarami lasów iglastych porastających najsłabsze gleby piaszczyste; najwyższe – rejestrowano w obrębie pól uprawnych, gdzie zawartość średnia wynosi 1,32% i jest bardzo zbliżona do zawartości w glebach gliniastych.

Uran (eU) (tablica 45). Mapa ta ma istotne znaczenie praktyczne z uwagi na fakt, że izotop ²³⁸U stanowi pierwiastek wyjściowy szeregu promieniotwórczego, którego jednym z elementów jest radioaktywny gaz – radon ²²²Rn, będący źródłem prawie 50% promieniowania jonizującego oddziaływującego na człowieka. Obszary, na których zawartości uranu przekraczają 3 ppm powinny być badane pod kątem występowania emanacji radonowych w powietrzu glebowym. Na omawianym terenie zawartości uranu wahają się w przedziale od 0 do 8 ppm. Średnia zawartość wynosi 1,55 ppm i jest nieco wyższa od wartości średniej dla Polski (1,4 ppm – R. Strzelecki i in., 1994)

Zawartości przekraczające 3 ppm występują na stosunkowo niewielkich powierzchniach w południowej części badanego obszaru. W rejonie pomiędzy Wądrożem Wielkim a Legnickim Polem związane są one z wychodniami prekambryjskich gnejsów, zaś w okolicach Mściwojowa i Męcinki – ze znanymi ze swej uranonośności staropaleozoicznymi łupkami krystalicznymi. Podwyższenia zawartości uranu w aluwialnych

osadach Kaczawy w rejonie Krotoszyń mogą być spowodowane sorpcją uranu ługowanego z formacji staropaleozoicznych przez drobnoklastyczne osady rzeczne. Natomiast strefa podwyższonych zawartości uranu występująca na północny zachód od Prochowic związana jest z płatem glin zwałowych zlodowacenia południowopolskiego.

Zawartości uranu w przedziale od 2 do 3 ppm, występujące w południowo-zachodniej części omawianego obszaru, związane są z utworami lodowcowymi (piaski, żwiry, glazy) i mającymi podrzędne znaczenie glinami zwałowymi stadiału maksymalnego zlodowacenia środkowopolskiego oraz z wychodniami utworów staropaleozoicznych i permskich. W rejonie Głogowa stwierdzono również obszary o zawartościach uranu powyżej 2 ppm, związane z występującymi tam glinami zwałowymi stadiału mazowiecko-podlaskiego. Cała środkowa część badanego rejonu to obszary o niskich zawartościach tego pierwiastka, z reguły nie przekraczających 2 ppm. Część środkowo-zachodnia, na powierzchni której występują piaszczyste osady rzeczne i eoliczne, charakteryzuje się bardzo niskimi zawartościami, często nie przekraczającymi 0,5 ppm.

Na uwagę zasługuje fakt, że zawartości uranu w rejonach osadników poflotacyjnych „Gilów” i „Żelazny Most” mieszczą się w granicach zawartości naturalnych.

Dzieliąc cały zbiór pomiarów spektrometrycznych na dwie populacje gleb: piaszczystych i gliniastych (tabela XLII), można stwierdzić, że średnia zawartość uranu w glebach piaszczystych wynosi 1,36 ppm, przy wartości odchylenia standardowego 0,79 ppm, natomiast średnia zawartość tego pierwiastka w glebach gliniastych – 2,01 ppm, przy wartości odchylenia standardowego 0,68 ppm.

W zależności od charakteru użytkowania terenu zdecydowanie najniższe zawartości uranu występują na obszarach lasów iglastych – 0,67 ppm (odchylenie standardowe 0,40 ppm). Na obszarach lasów liściastych zawartość ta jest prawie dwukrotnie wyższa i wynosi 1,28 ppm, przy dość wysokiej wartości odchylenia standardowego 0,75 ppm, co świadczy o dużej zmienności gleb stanowiących podłoże tych lasów. Najwyższe zawartości uranu, wynoszące średnio 1,87 ppm, związane są z terenami upraw rolnych, ponieważ rolnictwo wykorzystuje głównie gleby gliniaste.

Tor (eTh) (tablica 46). Zawartości toru w badanym rejonie wahają się w przedziale od 0,1 do 14,9 ppm. Wartość średnia wynosi 4,4 ppm i jest wyższa od średniej zawartości toru w Polsce (3,3 ppm – R. Strzelecki i in., 1994).

Najwyższe zawartości tego pierwiastka, przekraczające 8 ppm, występują na bardzo niewielkich obszarach na południowy zachód od Złotoryi i na południowy zachód od Męcinki. W pierwszym przypadku związane są one z piaskowcowymi utworami górnej kredy wzbogaconymi w glaukonit, w drugim – z klastycznymi utworami czerwonego spagowca. Relatywnie wysokie zawartości toru, obserwowane w całej południowej części mapy, związane są zarówno z wychodniami utworów podłoża (starszy paleozoik i perm), jak i osadami lodowcowymi zlodowacenia środkowopolskiego występującymi na południe od doliny Czarnej Wody. Analogiczne osady stwierdzone na północ od tej doliny charakteryzują się zdecydowanie niższymi zawartościami toru, z reguły nie przekraczającymi 4 ppm. Świadczy to o tym, że w osadach czwartorzędowych południowej części omawianego obszaru dominuje lokalny materiał sudecki.

Najniższe zawartości (do 2,0 ppm) toru związane są z piaskami wodnolodowcowymi i eolicznymi występującymi w środkowo-zachodniej części badanego rejonu, na zachód od Chocianowa.

W rejonie Głogowa, na obszarze występowania glin zwałowych i utworów lodowcowych (piaski, żwiry, glazy) stadiału mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego, zawartości toru wahają się w przedziale od 4,0 do 7,5 ppm. Gliny zwałowe w środkowej części badanego terenu rzadko wykazują zawartości przekraczające 5 ppm.

Przy podziale zbioru próbek w zależności od granulacji (tabela XLII), średnia zawartość toru w glebach piaszczystych wynosi 3,80 ppm (odchylenie standardowe 1,975 ppm), natomiast dla gleb gliniastych – 5,54 ppm (odchylenie standardowe 1,636 ppm).

Analiza zawartości omawianego pierwiastka w zależności od użytkowania terenu wykazuje duże analogie do danych dotyczących uranu. Najniższe zawartości toru występują na terenach lasów iglastych (średnia 1,81 ppm), a najwyższe – na obszarach pól uprawnych (średnia 5,33 ppm).

WNIOSKI

1. Stwierdzona na badanym obszarze moc dawki całkowitej promieniowania gamma związana z utworami powierzchniowymi waha się od 6 do 152 nGy/h, a wartość średnia wynosi 54,9 nGy/h. Wartość ta jest wyższa niż średnia dla Polski – 34,2 nGy/h, ale niższa niż np. średnia dla Czech (65,6 nGy/h). Stwierdzone dawki nie przekraczają wartości efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej rzędu 1mSv rocznie.

2. Zawartości naturalnych radioizotopów uranu, toru i potasu zależą wyłącznie od charakteru podłoża geologicznego. Nie stwierdzono podwyższonych koncentracji związanych z działalnością przemysłową, zwłaszcza kopalni i hut miedzi.

3. Podwyższone koncentracje uranu (>3 ppm) w południowej części badanego obszaru mogą stwarzać ryzyko emanacji radonu do pomieszczeń budynków. Dla dokładniejszej oceny tego ryzyka należałoby przeprowadzić specjalne badania stężeń radonu w powietrzu glebowym.

SUMMARY

INTRODUCTION

In the Geochemical Atlas of Poland on the scale of 1:2,500,000, published by the Polish Geological Institute in 1995, a cartographic image of environmental chemistry of soils, water sediments, and surface waters in the area of copper ore mining and smelting within the Legnica-Głogów Copper District (LGCD) indicated that some elements occur in these environments at considerably increased concentrations as compared with other regions in Poland. The presence of abnormal concentrations of copper, lead and zinc in the soil environment of this area was also repeatedly reported in abundant relevant literature. With respect to society's interest in the issues of environmental pollution by the copper industry and to contradictory opinions on this subject, a decision was taken to carry out a region-wide geochemical survey of the soil environment within the former Legnica province. The survey was intended to provide a general assessment of actual state of this environment. Expectation is that the Atlas will also serve farther works aimed at more detailed investigation of anthropogenic contamination, this time on considerably smaller areas.

FIELD WORK

A programme of soil sampling was completed in 1996. A general density of sampling was 1×1 km; in areas of copper smelters and copper mining this programme was replaced by a sampling pattern 500×500 m (Plates 2 and 3). In both cases a hand penetrometer was used to collect a sample from a depth of 0–20 cm. A circle 10–20 m in diameter was delineated in each sampling site, within which additional places for subsamples were pointed out in the way shown schematically in Figure 1. Weight of a collective sample was approx. 2 kg. When taking subsamples, attention was paid so as not to mix soils of visibly different grain size distribution. Suitable field observation sheets (Figure 2) were used to record information on type of land development (Plate 2), of land use (Plate 3), and petrographic character of a sample.

A sampling density 1/25km² was followed when sampling soils for polycyclic aromatic hydrocarbons; a more detailed pattern (sampling density 1/1km²) was practised in areas influenced by smelters (Plates 32–41).

RADIOMETRIC SURVEY

Radiometric measurements were made using a portable GS-256 gamma scintillation spectrometer constructed by "Geofizyka" Brno; its applicability was enhanced by fully automated stabilisation of spectrum and built-in memory enabling storing of 380 measurements.

Thallium-activated crystal of sodium iodide, 3"×3" in size, made a detector. A standard (133Ba code SZBa-4) of activity equal to 47.0 kBq of a basic radionuclide, was placed on the sonde box; its distance from the crystal was adjusted so that at sufficiently strong signal enabling stabilisation of measured spectrum no effect of the standard was observed on the canal TC. A two-minute measurement time was applied. The detector was placed at a level of 1.5 m above ground in order to eliminate the effect of fine hypsometric irregularities on geometry of measurement.

A field survey was conducted in 1996. A total of 4778 measurements were taken at nodal points of regular grid 1×1 km in the entire area and 500×500 m in selected regions. Plate 42 is the location map of radiometric measuring points.

LABORATORY WORK

Chemical analyses. The Central Chemical Laboratory of the Polish Geological Institute was involved in performing chemical analyses. The IPC-AES, AAS and GC-MSD methods were employed. A list of detectability and of precision of determinations is shown in Tables I–II. In order to control quality, double samples were analysed (10% of total amount of samples) in addition to the analysis of a reference materials with attested content of elements under examination.

Following the ICP-AES and AAS procedures, soil samples of grain size <2 mm were ground in an agate mortar to obtain grain size <0.063 mm; then, after quartering a 100-g analytical sample was collected.

For the purpose of determining of Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Sc, Sr, Ti, V, Y, and Zn, 1-g samples were extracted in aqua-regia for 1 hour at the temperature of 95°C, in a thermostatic aluminium block. Analyses were made using sequence-synchronous ICP spectrometers.

Determinations of Hg were made using a cold vapour atomic absorption spectrometry (CV-AAS).

Acidity measurements were performed in the aquatic environment according to a standard adapted in soil science (NORMA..., 1975).

In order to determine polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), air-dried soil samples (20–30 g each) were extracted with methylene chloride at the temperature of 110°C, in automated extraction apparatus of Soxtec type, model HT2 developed by

Tecator. Soil extracts were analysed using a model 5890 II gas chromatograph with a Hewlett-Packard model 5971 mass sensitive detector. Separation was completed with a HP-5 non-polar column. A method of outer standard based on a certified ULTRA Scientific PM-612 standard was used to perform quantitative analyses.

Granulometry of soils. Sieve analysis and laser method were employed to define grain-size composition of soils. Considering the fact that for the granulometric analyses another methods were employed than the classical ones (applied, according to certain standards, to soil science), their results cannot be used for division of soils after soil-science criteria. However, they occurred to be applicable to interpretation of results of geochemical determinations.

When making sieve analyses, air-dried samples were sieved through a 2 mm sieve, and then two resulting fractions were weighed. The <2 mm sample was quartered in order to get a 100 g analytical sample. The remaining part of sample was weighed, and sieved through 0.6 mm sieve. By quartering of <0.6 mm fraction a 100 g sample was collected for granulometric analyses with a laser method. Shares of the three fractions (>2, 2–0.6, and <0.6 mm) were converted into percent shares of the whole sample.

A laser-type Analysette-22 meter developed by Fritsch was used to measure grain-sizes of the fraction <0.6-mm.

OUTLINE OF GEOLOGY

The survey area is covered mostly with Cainozoic sediments. There is the Fore-Sudetic Block in the substratum – a structural unit, the formations of which expose on the surface only in scarce localities in the southern segment of the map.

There are much greater exposures of the Mesozoic formations in the south-western part of the survey area. This is a region where several structural units of the Sudetes and the Fore-Sudetic Block (Plate 1) are exposed.

The Fore-Sudetic Block. An elevation of Proterozoic gneisses (dissected with numerous quartz veins) is exposed in the region of Wądroże Wielkie; gneisses occur among schists of the older Palaeozoic and are considered to represent an eastern extension of the Góry Kaczawskie (Mts.) metamorphic massif (J.E. Mojski, L. Sawicki, Eds., 1996). Gneisses are composed of quartz, microcline, albite, biotite, and muscovite. Of accessory occurrence are: garnet, zircon, and iron oxides. In general, these rocks are subject to strong kaolinization. A schist series of the older Palaeozoic (with phyllites, greywackes, quartzites, and greenstone schists) exposes above ground southwards of the region with the occurrences of gneisses. Quartz, albite, micas, chlorite, and iron oxides are noted in mineral composition of greywackes. Greenstones are made up of chlorite, epidote, albite, and iron oxides.

The structure of the Góry Kaczawskie (Mts.). The area of this geochemical survey includes a north-eastern part of the Góry Kaczawskie (Mts.) structure. It consists of metamorphosed (in greenstone facies) Cambrian, Ordovician, and Silurian rocks. A greatest share in geological setting of this structure belongs to conglomerates and volcanic breccias as well as to Cambrian–Ordovician greenstones made up of metamorphosed lavas of basaltic chemistry (Z. Baranowski *et al.*, 1987). They are overlain by a series of quartz-sericite-chlorite schists, graphite schists, quartzites, and epidibases – the age of which is defined as Ordovician–Lower Carboniferous. Of secondary importance are graptolitic shales of Silurian age. The schistaceous formations are marked with frequent evidences of mineralization with pyrite, chalcopyrite, galenite, sphalerite, and other ore minerals (A. Paulo, 1973).

The North-Sudetic Depression. This is a unit, which is mostly built up of Permian rocks (in the southern and south-western parts of the area). Of particular importance is a series of marly copper-bearing shales of the Lower Zechstein, which is subjected to mining in copper mines between Bolesławiec and Złotoryja. Exposures on the surface include sandstones and conglomerates of the Rotliegendes and Zechstein and acid volcanites of the Rotliegendes. A considerable area is covered with outcrops of Triassic and Upper Cretaceous rocks with dominant sandstones.

Cainozoic strata. Tertiary sediments occur on the surface in patches not large in size, mostly in the southern part of the surveyed area. The Miocene is mostly composed of clayey sediments containing lenses of brown coal. The Pliocene is represented by sands and gravels. Exposures of basalts and their tuffs are known in the region of Legnica–Złotoryja. Basalts are of plagioclase, olivine, and nepheline type; they also contain pyroxenes, chlorites, magnetite, and calcite (J.E. Mojski, L. Sawicki, Eds., 1995).

Quaternary sediments form a uniform cover over almost entire area and penetrate deeply the Sudetic structures along river valleys. They are mostly of glacial and fluvio-glacial origin (tills, gravel and sands) as well as of fluvial sedimentation (sands, muds) during the Holocene.

The largest areas are covered with fluvio-glacial sands and gravels and glacial tills as well. Sands are variegated, poor sorted and poor rounded. When considering their petrographic composition in the northern part of region, quartz takes a dominant position (87%) over Scandinavian rocks (up to 10%), feldspars (approx. 5%) and sandstones and biotite (J.E. Mojski, Ed., 1977). Within the Sudetic foothills the petrographic composition of sands is different, with clear indication of participation of rock material produced by erosion of the Sudetes. Lydites and siliceous shales or quartz (the Góry Kaczawskie (Mts.) metamorphic block neighbourhood) takes locally a predominant position, while in other sites fragments of granites, gneisses and metamorphic schists are most important. As regards glacial tills, they are sandy-clayey and sandy, with scarce fragments of Scandinavian rocks.

Not large patches of fluvio-glacial sands and gravels occur northwards of the Odra river valley (region of Kotla). They are linked with the youngest glaciation. Of the same age are also loesses and loess-like clays that appear in the form of irregular occurrences within the southern sector of the map.

Valleys of the Odra river and its tributaries are filled with sediments of accumulation terraces. Connected with these valleys are also occurrences of eolian sands that sometimes form dunes. There are sediments of alluvial fans in the area downstream of river inflow onto the Sudetic foreland, that are built up of gravel composed in 70–90% of the Sudetic clastic material (J.E. Mojski, L. Sawicki, Eds., 1996).

A largest area of the occurrence of peat lies in the Szprotawa river valley. Peats are classified among lowmoor sedge-moss peats (A. Kowalkowski *et al.*, 1994; J.E. Mojski, Ed., 1977).

A character of present-day soil cover is governed by lithological differentiation of rocks in the substratum. Soils that developed on parent rocks described so far represent several types. Buff, brown, and rusty-brown soils are dominant in the region (L. Szerszeń *et al.*, 1995). Of secondary importance are rusty and podsollic soils. Peaty soils (peats) developed within waterlogged areas. The cited soil types differ from each other in respect of vertical profile and grain-size composition – which is an important factor for their applicability to cultivation and to the possibility of accumulation of toxic substances.

GEOCHEMISTRY OF CHEMICAL ELEMENTS

Sources of pollution. Copper mining and copper smelting are fundamental sources responsible for environmental pollution of the region. On-going processes are of anthropogenic character as copper ore deposit was discovered just here in 1957; the deposit occurred to be the richest in the world. The building of mines in the 1960s initiated the development of the region.

Mining areas of "Lubin", "Polkowice", "Rudna", and "Sieroszowice" copper mines occupy approx. 10% of the area covered by this survey (J. Krajewski, M. Nierzewska, 1995). Pollution of soils with heavy metals within the mining areas comes from emission of dust – which makes concentrations in the vicinity of 17 shafts, copper ore re-loading facilities, and heat and power generating plants.

The industrial complex of the Legnica-Głogów Copper District with copper smelters "Głogów" and "Legnica" and a dumping site for post-flotation tailings "Żelazny Most" constitutes the most hazardous source of environmental pollution (W. Niedźwiecka, J. Piotrowski, Eds., 1997).

A large-scale production and a quick pace of development of consecutive copper ore mining and processing plants caused a degradation of terrain within the areas of their influence. The most severe and most arduous dust emission occurred in the early years of this district development. Owing to application of up-dated technologies in the area of gas scrubbing and electrofiltering, the dust emission was effectively decreased. Gaseous pollution includes carbon oxide, sulphur dioxide, and organic compounds (J. Dobrzański, H. Byrdziak, 1995).

Within the LGCD, waste tips connected with mining activity occupy not large areas while those related to ore treatment are connected with production of great amount of wastes that are dumped into the post-flotation ponds.

The majority of abandoned dumping sites have already been reclaimed and no effect of their influence on environmental conditions is observed (J. Lewiński *et al.*, 1996). Excessive filling in of the pond "Żelazny Most" along with physical features of dumped wastes is the reason that the area is affected by dusting.

Another serious problem arises from discharge of sewage into surface reservoirs, which is responsible for pollution of surface waters and water sediments as well. Plants subordinated to the Mining-Smelting Concern "Polska Miedz" S.A. discharge a total volume of approx. 56–61 mln m³/a of sanitary sewage, industrial effluents, and mineralised mine waters into surface waters (S. Czaban *et al.*, 1996). All effluents produced by smelters contain a heavy load of both suspended matter and heavy metals; sometimes they are also acid-contaminated (J. Dobrzański, H. Byrdziak, 1995). Brine waters from dewatering of mines are also discharged to the Odra river.

Earlier geochemical soil survey. Published results of geochemical soil survey within discussed area apply, in general, to selected localities only. They occur to be limited to not large range of elements under this study. The majority of these studies focus on immediate neighbourhood of smelters (E. Roszyk, S. Roszyk, 1975, 1976; A. Kabata-Pendias *et al.*, 1981; J. Drozd *et al.*, 1984; E. Andruszczak *et al.*, 1986; R. Czuba *et al.*, 1995; L. Szerszeń *et al.*, 1986, 1991; E. Roszyk, L. Szerszeń, 1988a, b; S. Strączyński, E. Andruszczak, 1995, 1996). According to pre-cited authors' opinions, dust being metal-rich is the main source of pollution. This is evidenced by analyses of dust from electrofilters; the analyses revealed as high element concentrations as 189,000 ppm Cu, 100,000 ppm Pb, 29,000 Zn, 1200 ppm Mn, 1100 ppm Co, 530 ppm Ni, 110 ppm Cd, and 80 ppm Ag. Copper and lead are those elements that are subject to increased concentrations in soils (up to several thousand ppm); the concentrations of zinc, cadmium, and nickel are smaller. The studies under discussion revealed that some regions exist in the vicinity of smelters, where arsenic, mercury, cobalt, and manganese occur in elevated concentrations. A more intensive accumulation of heavy metals has been distinguished near the smelter "Głogów".

Examination of soil profiles in the immediate vicinity of the smelter "Głogów" (J. Borkowski *et al.*, 1991) indicates that concentrations of metals under investigation at a depth of 0–5 cm (up to 7975 ppm Cu and 1050 ppm Pb) are many times higher than those at a depth of 25–30 cm (up to 25 ppm Cu and 65 ppm Pb). A turf horizon creates a sort of a filter, which cumulates metals. A distinct accumulation of metals in surficial samples as compared with a deeper layer is indicated in A. Karczewska's study (1996) focussing on copper and in A. Karczewska's (1997) and S. Shamsham (1993) studies dealing with lead. A total concentration of copper in the upper horizon ranges from 240 to 1710 ppm, while in the lower horizon – from 7 to 65 ppm. Respective values for lead are 93–333 and 10–23 ppm.

The fact that easily available forms of toxic elements affect plants by their toxic action gave an impulse to initiation of a study on their overall content in soils (M. Jakubus, J. Czekala, 1995; A. Karczewska, 1995; S. Strączyński, E. Andruszczak, 1996). A considerable share of mobile forms characterises metals (such as Cu, Pb, Zn) coming from emission from smelters, and their content in surficial soil layers (5–15 cm) is much higher than that in deeper horizon (30–40 cm).

As regards lead, it is also accumulated in plants due to the current emission of dust and due to inhibition of lead by leaves. Because dust is alkaline, the lead bioavailability is limited (L. Pilc *et al.*, 1997). However, a combined action of simultaneous emission of sulphur oxide and nitrogen oxide causes an increase in acidification, which in turn increases the possibility of inhibition of lead by plants.

Pollution of soils in allotment gardens creates a particular problem as these gardens supply vegetables to the population. Analyses of soils from allotment gardens at Polkowice (A. Mocek *et al.*, 1995) revealed heavy pollution of soils with copper (up to 390 ppm), which was accompanied by slightly less contamination with lead (up to 150 ppm) and zinc (up to 653 ppm).

As a result of geochemical survey of soils in Poland (J. Lis, A. Pasieczna, 1995a) strong regional anomalies have been identified within the LGCD. Apart from high copper content in the vicinity of the smelters "Legnica" (to as much as 3490 ppm) and "Głogów" (to as much as 6401 ppm), increased concentrations of lead, zinc, and arsenic were also noted here.

A study aimed at determining contents of heavy metals in soils was carried out within mining areas; initially, the study covered the area of inactive (in 1980) post-flotation pond "Gilów" and the region of the pond "Żelazny Most" under operation at that time. In 1988–1990 a soil survey was undertaken within the entire area of copper ore mining. Samples for laboratory testing are collected every year, from a 0–20 cm soil layer. Testing revealed that Cu content was as high as 670 ppm in these areas, Pb – up to 103 ppm and As – up to 60 ppm (J. Krajewski, M. Nierzewska, 1995).

Databases and construction of geochemical maps. Three independent computer databases were established; a sampling point co-ordinate database, a field database, and a laboratory database. Position finding for a sampling point (co-ordinates) was made on a sampling point location map to the scale of 1:25,000 using a digitizer. Field data was recorded in field observation sheets, then entered into the field data base. The base system followed a numerical code – the same as that applied when filling in the field observation sheets. The field database constitutes a basis for consecutive separation of sub-sets applicable to statistical calculations according to different environmental criteria (such as concentrations of elements in arable soils or forest soils or urban soils, etc.). Results of chemical analyses provided by the laboratory were entered into the chemical database. The base contains a total of 139,175 determinations of elements and pH made on 5677 samples.

Calculations of statistical parameters were made for both the entire data sets and sub-files representing different soil environments. The calculations were aimed at determining arithmetic and geometric mean, median, and minimum and maximum values. Data obtained were compiled in Tables III–XXXVI.

The generation of geochemical maps was based on set of sampling points of known co-ordinates, with concentrations of tested elements attributed to each one. A triangulation method was used along with a SURFER for Windows programme. An optimum Delaney's triangulation was applied in this method. It is similar to triangulation method applicable to assessment of deposits of mineral raw materials. Best results are obtained when measuring points are distributed regularly over the area. A regular pattern of sampling justified the use of this method of interpolation. As only three points are taken for calculation of mean value at the nodal point, an excessive influence of high-value points can be omitted. A method of pixels with their side equal to 500 m was employed to present the maps. Levels of element contents were chosen following the division into percentiles (15, 25, 50, 75, 90, 95, 97, 99, and 100%). Geochemical maps of polycyclic aromatic hydrocarbons, due to small amount of sampling points as compared with the map scale, were produced with the use of circular diagrams. As to the pH map, the acidity levels follow the threshold values in common use in soil science (strongly acidic, acidic, slightly acidic, neutral, and alkaline).

A simplified base map was used for the construction of geochemical maps; it shows elements of topographic situation such as main roads, railway lines, main rivers, boundaries of communes, outlines of towns and villages, and location of mine shafts and individual plants. Factors recommended by the Institute of Soil Science and Plant Cultivation at Pulawy (A. Kabata-Pendias *et al.*, 1995) were used in order to assess a degree of pollution of soils under cultivation; they are quoted in Tables XXXVII and XXXVIII along with harmful substances limits recommended by the Institute of Hygiene at Ruhr (T. Eikmann, A. Kloke, 1991) – Table XXXIX.

Spatial distribution of soils of different granulation. There is very characteristic differentiation of soils under this survey in respect of their grain-size composition. A cartographic image can be divided into areas of increased content of clayey (floatable) fraction, areas of silty fraction (Plates 5 and 6), and areas with abundance of sandy fraction (Plates 7 and 8).

Soils containing a higher participation of finest fraction occur in the northern part of the survey area (hills, mostly built up of glacial tills) and in the Odra river valley where they are composed of loam, mud, and Holocene sands. In the south, soils of similar grain-size distribution developed from differentiated (in respect of lithology and age) formations. An increased (>0.5%) content of aluminium is their common feature (Plate 10).

Soils enriched with sand dominate, above all, in the central part of the area, where fluvio-glacial sands and gravels are dominant formations in their substratum. Similar soils occur in the extreme north fragment of the map, where they developed also on fluvio-glacial sands and gravels. A poor content of aluminium (<5%, on an average) is characteristic for these soils.

When sampling, a group of organic soils (peaty soils and peats) were also distinguished (Plates 5–8).

Acidity of soils. Apart from differentiation of soils in respect of grain-size composition, their acidity is also differentiated (Plate 4). Markedly distinguishable are forest soils, very acidic. A largest area occupied by very acidic soils occur in the western part and within the southern sector of the map. A mosaic distribution of soil reaction is observed within those regions, where agriculture is a dominant type of land use (Plate 3). Neutral soils occur next to acidic and slightly acidic soils whereas alkaline soils appear also in both the north and south. Similarly mosaic character shows the calcium content, being one of main factors governing soil reaction (Plate 13). A uniform area of alkaline soils, with a high content of Ca (>1%) can be distinguished within the agricultural areas. It is likely that such type of soil distribution where soils of different reaction are in direct contact with one another results from liming. Larger towns distinguish themselves by neutral soils, and also by frequent occurrences of alkaline soils.

Elevated pH values in urban and industrial soils are connected with fallout of alkaline dust. This phenomenon was repeatedly observed over entire Poland's area (J. Lis, 1992; J. Lis, A. Pasieczna, 1995a, b, c, 1998; A. Pasieczna *et al.*, 1996; H. Tomassi-Morawiec *et al.*, 1998).

Main geochemical features of elements under study. Chemical elements contained in soils (Table III) have been inherited from parent rocks, from which they originated as a result of soil-forming processes. Spatial distribution of elements inherited from parent rocks permits to trace differentiation of geochemical background and to distinguish local anomalies.

Elements contained in soils within the survey area and characterising rocks of geological substratum include aluminium (Plate 10), cobalt (Plate 15), chromium (Plate 16), magnesium (Plate 20), nickel (Plate 22), scandium (Plate 26), titanium (Plate 28), and vanadium (Plate 29).

Metamorphic rocks belonging to the old-Palaeozoic structure of the Góry Kaczawskie (Mts.) take part in geological structure of a region within the Sudetes and their foreland in the south-western part of the map sheet area; the western part, within the North Sudetic Depression, is composed of terrigenous sediments of the Permian, Triassic, and Upper Cretaceous. Independently of material of Scandinavian origin, glacial formations within the Sudetic foreland contain a considerable amount of local Sudetic material. There is not large area where Tertiary basalts are exposed. Geochemical background of this diversified assemblage of rocks is markedly evidenced in the distribution of chemical elements mentioned above. The limit of extent of elevated, decidedly abnormal values as compared with the average for the entire area, runs parallel from Warta Bolesławiecka in the west to Legnica, then further south-eastwards parallel to the Sudetic Marginal Fault. Increased contents of aluminium, cobalt, chromium, magnesium, nickel, scandium, titanium, and vanadium are also noted in the Kaczawa river valley downstream from Legnica in more or less continuous belt of soils that developed on Holocene sediments of the Odra river. To considerable extent, parent rocks of these soils are of Sudetic origin (transported by rivers from the south).

Against such background, distinguishable are soils that developed on greenstones, volcanic breccias, quartz-sericite-chlorite schists, and epidiorites of the Góry Kaczawskie (Mts.) structure, exposed between Męcinka and Paszowice. It should be noted that these soils are enriched with aluminium, chromium, magnesium, nickel, scandium, and titanium.

Basalts of Tertiary age manifest their presence by isolated, very intensive anomalies of titanium (>1000 ppm).

In the northern part of the area, increased contents of aluminium, chromium, magnesium, nickel, scandium, titanium, and vanadium are noted in soils that formed on glacial sediments (till, sands, and gravel).

The northern and central parts of the study area are characterised by poor and very poor concentrations of afore-mentioned elements in soils that developed mainly on sandy and sandy-gravelly fluvio-glacial sediments.

Chemical elements released from rocks and made mobile as a result of hypergenetic processes (including soil-forming processes) can be subject to transport and then to concentration in the soil environment of suitable properties. This deals with soils of high sorptive capacity, containing a substantial amount of organic matter, clay minerals, or iron and manganese colloids. In the study area this process is very distinct in organic soils or in soils that are rich in organic matter and other sorbents. This deals with sometimes high concentrations of arsenic (Plate 11), iron (Plate 18), phosphorus (Plate 23), lead (Plate 24), sulphur (Plate 25), vanadium (Plate 29), and yttrium (Plate 30). The phenomenon is clearly observed in peats and peaty soils in the region of Gromadka and along the Czarna Woda river valley; it is less visible in the region of Przemków. Accumulations of arsenic in those soils are considerably higher in respect of their extensiveness and concentration than the pollution of soils caused by copper smelting in the region of Głogów and Legnica.

Nowadays, natural phenomena of migration and accumulation of elements in soils combine with processes caused by economic activity of humans. Soils become enriched with elements and chemical compounds emitted by industrial plants or introduced into environment in the form of municipal sewage and industrial effluents or pollutants (with the latter resulting from agrotechnical measures). Anthropogenic pollution may come either from local sources or distant sources that are difficult to identify. Both types of soil pollution are active in the survey area.

A group of local sources of pollution includes, above all copper mining, processing, and smelting. Other local sources are towns with industry, transport, and also emissions connected with burning of coal in family households and local heating plants.

The copper industry has most distinctly marked its activity by pollution of soils with copper (Plate 17) and lead (Plate 24) round the smelters "Głogów" and "Legnica" and to smaller degree in the neighbourhood of copper ore treatment works between Polkowice and Lubin. In the "old copper district" the distinct copper anomalies occur round an inactive pond "Lena 2" of abandoned mine "Lena" at Wilków and round the pond "Iwiny" belonging to abandoned mine "Konrad" at Iwiny.

A copper anomaly round the smelter "Legnica" took a shape of parallel-elongated ellipse (Plate 17). Maximum Cu content reaching 26,101 ppm was noted in soils within the smelter premises. In industrially developed areas in the region of Legnica only several samples were noted with Cu content exceeding tolerant (>300 ppm) and toxic - 1000 ppm values (T. Eikmann, A. Kloke, 1991 - Table XXXIX). Of lesser extent is a lead anomaly (Plate 24) (>85 ppm) of similar shape. In industrially developed areas the Pb contents are ranging between 23 and 5185 ppm. As concerns other elements (Ag, As, Cd, Co, Hg, Mn, Zn), their abnormal concentrations in soils are situated within the smelter premises. Among elements classified by the Kloke's number only arsenic content in excess of tolerant values (>50 ppm) was found in 5 soil samples; one of the samples occurred to be toxic (>200 ppm As). As refers zinc, two samples were noted with Zn content exceeding tolerant value (>1000 ppm); a toxic concentration (>3000 ppm) was traced on one of the two.

Those urban soils that are in part situated within the area of influence of smelters exhibit a distinct copper-related pollution (from 14 up to 577 ppm). Geometric mean

(100 ppm Cu) is twice the tolerant value for allotments and playgrounds (50 ppm) but does not exceed the tolerant values for urban parks and lawns (200 ppm). As regards other elements, only lead and zinc were noted in individual samples in concentrations higher than that tolerable.

As in case of smelter "Głogów", a copper anomaly (>50 ppm) round the smelter has a shape of ellipse elongated from ESE to WNW - which follows a general course of the Odra river. Soils within the industrially developed area in the region of Głogów contain Cu in the range from 40 to 86,470 ppm, and respective geometric mean is equal to 566 ppm. The cited figures are frequently in excess of permissible limits applicable to industrial areas - the Kloke's numbers. Concentrations >300 ppm (tolerable contents) were noted at 49 points, and those >1000 ppm (toxic concentrations) - at 15 points. Considerably smaller is a lead anomaly (>85 ppm) of similar shape. The Pb contents within industrial areas are contained in the range of 33 to as much as 56,000 ppm, for which a geometric mean is equal to 348 ppm.

There were 13 cases of actual Pb concentrations exceeding tolerant Kloke's numbers (>1000 ppm) including 5 cases with concentrations considered to be toxic (>2000 ppm Pb). As for other elements (As, Ag, Cd, Co, Hg, Mn, and Zn), their distinct abnormal concentrations in soils are noted within the smelter's premises. Among elements characterised by the Kloke's numbers, 17 samples were noted due to arsenic content (Plate 11) exceeding tolerant amount (>50 ppm As) including 6 samples with arsenic in toxic concentrations (>200 ppm As). Three samples with content in excess of tolerant value (>1 000 ppm) make the case of zinc (Plate 31); two samples out of the three contain toxic Zn concentrations (>3000 ppm). Three samples tested for cadmium (Plate 14) revealed cadmium contents considered tolerant (>10 ppm) and only one of the three revealed that Cd occurred in toxic concentration (>20 ppm).

Urban soils in Głogów, in part lying within the area of influence of the smelter, are markedly polluted with copper (from 35 to 237 ppm). Geometric mean (78 ppm Cu) exceeds 1.5 times the tolerant value for soils in allotments and playgrounds (50 ppm); however, it does not exceed tolerant values for urban parks and lawns (200 ppm). Lead and zinc were traced in single samples, in concentrations higher than the tolerant values.

Geochemical anomalies in soils, whose sources are not local and are difficult to identify, are situated predominantly on an inundation terrace between flood embankments or near the river itself in case the embankments are absent. These anomalies are very distinct downstream of the place where the Odra river changes its course from a northern one to north-western. Upstream of this place the river is confined to a narrow channel between high banks giving protection from overbank flow and from post-flood sedimentation. There is a high probability that accumulation of metals in these alluvia is of anthropogenic origin, maybe except for chromium - the presence of which may be connected with erosion of Sudetic rocks. It is supposed that the making of anomalies took place during an industrial epoch (since the end of the XIX century) and at modern times (similar soils that developed on somewhat older fluvial deposits - also Holocene in age and widely expanded over the Głogów area - do not provide evidence of more important concentrations of these elements).

The phenomenon of pollution of alluvial soils with metals, sometimes at very distant places from area of alimentation, has been noted in valleys of both the Vistula and Odra Rivers (J. Lis, A. Pasieczna, 1995a). The discharge of mine waters produced in Upper Silesia may be the source of pollution of these soils in the study area. This may be evidenced by a high content of barium in alluvium of the Odra river and in alluvial soils within its valley downstream of confluences of rivers draining the Upper Silesia area. No doubt, the discharge of municipal sewage and industrial effluents to the Odra river in its upper course is the other source of these anomalies.

The situation is such that the investigation of a degree of pollution of alluvial soils in the Odra valley should be carried out in the nearest future. The issue is of trans-regional character and remains beyond the scope of this work.

Based on the results of geochemical survey, soil pollution with some metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and Zn) within particular commune areas has been tentatively assessed (Tables IV-XXXVI).

Conclusions. The survey of soil geochemistry in the discussed area indicates that the elevated contents of some elements (such as aluminium, cobalt, chromium, magnesium, nickel, scandium, strontium, titanium, and vanadium) are connected, above all, with the structure of geological substratum.

As a result of migration process in the environment, a group of elements such as arsenic, iron, phosphorus, lead, sulphur, vanadium, and yttrium is subject to concentration in organic (peaty) soils and peats - sometimes giving distinct or sometimes very intensive geochemical anomalies. They are of natural origin; however, they are not caused by the presence in the substratum of ore mineralization or rocks enriched with the elements discussed. In exploration geochemistry such anomalies are called the "false anomalies". The arsenic anomaly in the catchment area of the Czarna Woda river can be given as a distinct example of the case; with its intensity and extensiveness it surpasses other anomalies within the copper smelting area. As mentioned before, the false anomalies are of natural character, though in some cases they may develop as a result of influence of anthropopressure factors.

Vast areas of elevated copper and lead contents round the smelters "Głogów" and "Legnica" express mainly those geochemical anomalies that are connected with the copper industry. Elevated contents of other elements, such as silver, arsenic, zinc, cobalt, and nickel occur within the copper-lead anomalies in limited premises of the smelters. Not large anomalies of elements of similar paragenesis can also be found near ore processing plants in the region of Lubin and Polkowice and near sedimentary ponds within the "old copper district" at Wilków and Iwiny. No pollution of soils with metals was traced in area of the post-flotation ponds "Gilów" and "Żelazny Most". A question of the impact exerted by these ponds on ground waters remains beyond the scope of this study. It should be noted here that samples collected from a surficial layer (0-20 cm) of ground in the inactive pond "Gilów" revealed quite substantial amount of metals.

A separate question, rather far from the activity of the copper industry, deals with the pollution of alluvial soils in the Odra river valley with elements such as: silver, ar-

senic, barium, cadmium, chromium, copper, mercury, lead, zinc, phosphorus, and sulphur. The discharge of mine waters from Upper Silesia may be the source. This is evidenced by a high barium content observed in alluvial soils in the Odra river valley downstream of confluence's of main rivers that drain the Upper Silesia area. The discharge of municipal sewage and industrial effluents to upper course of the Odra river is, no doubt, another source of those elements. As soils contain high concentrations of extremely toxic elements (such as mercury and cadmium), a detailed survey of alluvial soils seems necessary.

In general, soils under cultivation do not indicate they are polluted with metals. However, it seems necessary to conduct a detailed soil survey in those communities that are situated in the vicinity of smelters.

GEOCHEMISTRY OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS

The presence of toxic organic compounds including polycyclic aromatic hydrocarbons – that frequently originate as micropollutants during production processes – is detected in atmospheric air, waters, soils, and water sediments in the neighbourhood of many industrial plants, landfill sites, and incineration plants (R. Addink, K. Olie, 1995; J. Johnson, 1995; M. Sokolowski, 1994). The polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) make a relatively well known group of organic compounds as some of them are cancerogenic and mutagenous to animal organisms (T. Dutkiewicz *et al.*, 1988). The occurrence of PAHs is common in the environment; their sources are both natural and anthropogenic (D. Ollivon *et al.*, 1995; J. Brandys, 1990; S.E. McGroddy, J.W. Farrington, 1995; M. Miron, 1997). They occur in the natural environment as natural components of soils, water sediments, and sedimentary rocks (B. Maliszewska-Kordybach, 1993; K.M. Evans, 1990); however, emission of them from the anthropogenic sources to the environment is many times higher than natural emission. The polycyclic aromatic hydrocarbons come into existence, above all, during technological processes of combustion and high-temperature processing of fossil fuels as well as processing of raw materials containing organic matter (such as bituminous shales) and incineration of municipal and industrial wastes (T. Behymer, R. Hites, 1988). The quantity and quality of polycyclic aromatic hydrocarbons arising during pyrolytic processes are very changeable and depend on type of fuel burnt and on conditions of incineration (S.O. Beak *et al.*, 1991). The majority of PAHs' components emitted to the atmosphere accumulate in soils and water sediments (B. Maliszewska-Kordybach, 1993, A. Kabata-Pendias *et al.*, 1995; I. Bojakowska, G. Sokolowska, 1996). The content and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils is a resultant of processes taking place in the environment: on the one hand, the generation of new compounds as a result of degradation of organic remains and of deposition of PAHs from anthropogenic sources, and on the other – their microbiological degradation dependable on environmental and microbiological factors and on physico-chemical properties of a given compound (J.B. Sutherland *et al.*, 1995; D. Ollivon *et al.*, 1995).

Of about 500 polycyclic aromatic hydrocarbons occurring in the environment, 16 are most often determinable; they are: naphthalene (Nf), acenaphthylene (Ace), acenaphthene (Acf), fluorene (Fl), phenanthrene (Fen), anthracene (Ant), fluoranthene (Flu), pyrene (Pir), benz(a)anthracene (BaA), chrysene (Ch), benzo(b)fluoranthene (BbF), benzo(k)fluoranthene (BkF), benzo(a)pyrene (BaP), indeno(1,2,3-cd)pyrene (IndP), dibenz(a,h)anthracene (DahA), and benzo(ghi)perylene (BPer). Most attention is directed to benzo(a)pyrene (BaP) (B. Jasiński, B. Mikołajczyk, 1990).

Above all, the following processes are the sources of environmental pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons within the Legnica-Głogów Copper District: emission to the atmosphere from burning of coal in power stations, heat power plants, and family households; emission from combustion of fuels by road transport; and emission from smelting and metallurgical processes of copper-bearing shales that are mined and processed here and are characterised by the high content of organic matter – from 1 to 30%, 6% on an average (Z. Sawłowicz, S. Speczik, 1996).

Out of a group of 3-cyclic aromatic hydrocarbons, determinable in soils, in respect of their contents, are acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, and anthracene (Table XL). Their occurrence in soils of the study area is shown in Plate 32. A mean portion of 3-cyclic aromatic hydrocarbons, the migration of which in the environment is relatively easy, constitutes 8.9% of determinable PAHs. The highest contents of investigated 3-cyclic aromatic hydrocarbons were noted in soil samples collected from a field under cultivation south-westwards of Kotla (780 ppb) and westwards of Głogów (264 and 489 ppb), in soils near the sediment pond "Lena" (550 ppb), and in the allotment gardens in Legnica (215 ppb). The highest geometric mean values were detected in soils within the area of influence of the smelter "Legnica" and in soils within urban and housing estate areas (Table XLI).

From among 4-cyclic aromatic hydrocarbons, analysed for their concentrations in survey soils were fluoranthene, pyrene, benz(a)anthracene, and chrysene (Table XL). Their part in total content of hydrocarbons determined (total content of PAHs) was equal to 34% on an average. Owing to its highest content, fluoranthene occurred to be noted in analysed soil samples; its part in the total content of PAHs was the highest – 12%, while that of pyrene was 9.7% only, benz(a)anthracene – 4.6%, and chrysene – 7.2%. Maximum content of 4-cyclic aromatic hydrocarbons was recorded near the pond "Lena 2" (4074 ppb) and in arable soil samples collected southwards of Kotla (2654 ppb), westwards of Głogów (1822 and 1783 ppb), southwards of Pielgrzymka (1532 ppb), in soils of fallow and wasteland (1072 ppb), in forest soil sampled north-westwards of Legnica, and in soil from the forest near Złotoryja (1375 ppb). The highest mean contents of 4-cyclic aromatic hydrocarbons were traced in soils within the area of influence of the smelter "Legnica" and in soils within towns and settlements (Table XLI). Plate 33 was compiled to show the occurrence of 4-cyclic aromatic hydrocarbons in soils (total content) within the study area.

As concerns 5- and 6-cyclic aromatic hydrocarbons (total content – Plate 40), determined in soils were the contents of benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, dibenz(a,h)anthracene, and benzo(ghi)perylene (Table XL, Plates 34–39). The participation of 5- and 6-cyclic aromatic hydrocarbons in total amount of PAHs was found to be 57%. The highest value of mean

geometric content of these compounds was measured in the region of the smelter "Legnica" (Table XLI). The highest content of 5- and 6-cyclic aromatic hydrocarbons was found in soils in the vicinity of the pond "Lena" – 6607 ppb. High contents were also noted in cultivated soils south-westwards of Kotla (2666 ppb), southwards of Pielgrzymka (2546 ppb), and south-westwards of Legnica (2515 ppb), in samples of soils from wasteland situated north-westwards (3932 ppb) and south-westwards (1985 ppb) of Legnica, and in forest soils sampled north-westwards of Legnica (3842 ppb), and south-eastwards of Złotoryja (1669 ppb).

Total content of all determined polycyclic aromatic hydrocarbons that occur in soils of the survey area was in the range between <33.5 and 11,231 ppb (Table XLI). Natural PAHs contents, smaller than 200 ppb, were noted in 296 soil samples under examination (64.3%). In 383 samples (82.3%), total contents of PAHs were smaller than 500 ppb (unpolluted soils with natural and increased PAHs contents), and 157 examined samples were found to contain more than 500 ppb, which provides evidence on contamination of soils with these compounds. Heavy contamination of soils with polycyclic aromatic hydrocarbons (>5000 ppb) was traced close to the sediment pond "Lena 2", to the south-west from Kotla and to the north-west from Legnica (Plate 41). The highest mean geometric sum of PAHs (257 ppb) characterised soils within the area of influence of the smelter "Legnica" (Table XLI).

Considerably smaller contents of polycyclic aromatic hydrocarbons were recorded in soils situated within the zone of influence of the smelter "Głogów" (the geometric mean 85 ppb). A smaller mean content of hydrocarbons under consideration was detected in the region of the pond "Żelazny Most".

A high geometric mean PAHs contents (170 ppb) distinguishes those soil samples that were collected from town and settlement terrains. An elevated geometric mean of PAHs' content, as compared with forest soils (83 ppb), was recorded in soils of cultivated land and meadows (119 ppb).

RADIOMETRY

Methodics. A survey of radioactive element concentrations and of gamma ray total dose was made using field radiometric methods. Radiometric maps are shown on Plates 42–46. Table XLII is a compilation of gamma ray dose rates along with potassium, uranium, and thorium rates measured in areas of diversified land use (forests, cultivated soils, falloffs) and those covered with sandy and loamy soils.

Measurements of natural gamma radiation field have been applied to exploration for uranium ore for several decades. A spectrometric variant of this method has been employed for about 20 years; it is aimed at defining the *in situ* concentrations of natural emitters of gamma radiation including potassium ⁴⁰K, bismuth ²¹⁴Bi (equivalent to uranium – eU), and thallium ²⁰⁸Tl (equivalent to thorium – eTh). Their concentrations are defined by measurements of energy windows of: 1.46 MeV, 1.76 MeV, 2.62 MeV, and more than 0.56 MeV for potassium, uranium, thorium and total count window TC, respectively. The presence of caesium that entered the natural environment as a result of the Chernobyl disaster does not affect the spectrum in this energy area. Measuring factors permitting to define concentrations of natural isotopes are determined experimentally using routine calibration processes.

Calibration of instrumentation applicable in Poland follows the spatial standards that are kept at Bratkovice near Příbram in the Czech Republic. The standards are subject to international intercalibration. In addition, measurements of the cosmic background were made on Zegrzyńskie Lake, at a distance of over 100 m from the nearest waterbank.

Legal regulations in Poland. In Poland, a limit of effective dose equivalent exerting a threat to whole body of persons employed under professional hazard from ionising radiation is equal to 50 mSv per annum, for persons living or dwelling in the environs of radiation sources – it is equal to 1 mSv/a. Limits for persons under age are lowered to 0.1% of given values. Rates coming from natural radiation background and therapeutical doses are not included in the rates cited.

In many countries limits have been adapted that define permissible concentrations of natural and artificial radioisotopes in drinking waters, building materials, and domestic homes. Most common are limits for concentration of radon in housing compartments. In most countries the permissible limit of radon concentration in the atmosphere of compartments was defined at 100–200 Bq/m³. As regards Poland, the radon concentrations cannot exceed 400 Bq/m³ for buildings erected before January 1, 1998 and 200 Bq/m³ for buildings completed after January 1, 1998. As yet, no limit is available in Poland on permissible Rn concentrations in potable water.

Occurrences of uranium in lithostratigraphic formations in the survey area. Palaeozoic formations of the Góry Kaczawskie (Mts.) exposed on the surface in the southern part of the survey area were in the 1950s subjected to intensive exploration for uranium deposits. A number of occurrences of uranium mineralization were discovered in places, however, they occurred to be of uneconomic value (J.B. Miecznik, R. Strzelecki, 1979).

The highest uranium contents are noted in slightly mineralised shales of the Older Palaeozoic (Ordovician–Silurian). The uranium mineralization is connected with phyllites, graphite shales, and sericite-clayey shales – that predominantly are tectonically engaged. The highest uranium content, reaching 2%, was found at the mineralization site "Rzeszówek". Not large uranium occurrences, with concentrations at a level of 0.04% and connected with hematite ores have been localised in the mine "Wilcza" near Jawor.

The uranium mineralization occurs also in sedimentary Zechstein formation in the North Sudetic depression and the Fore-Sudetic Monocline. Its appearance is connected with fracture zones and faults dissecting the copper-bearing marls. The uranium contents are ranging from 0.009 to 0.16%. Within the Fore-Sudetic Monocline there are elevated concentrations of uranium in the formation of copper-bearing shales, where the mean uranium contents are as high as about 60 ppm and reach several hundred ppm in places. The so-called "tarry shale" in the lowest part of the copper-bearing formation is most uranium-rich. Other type of uranium mineralization is represented by breccias within tectonic zones, where contents of uranium reach 0.08–0.1%.

Survey results. A map of the gamma radiation dose (Plate 43) is the most important radiometric map as it allows the assessment of effective absorbed dose equivalent –

thus, the assessment of radiation hazard in respect of regulations mentioned above. A conversion of gamma radiation dose to the value of effective absorbed dose equivalent (according to the relation $100 \text{ nGy/h} = 0.61 \text{ mSv/a}$) produces the value of effective dose equivalent absorbed by residents of given area.

For the survey area the mean value of 54.91 nGy/h (with standard deviation of 22.26 nGy/h) of total gamma radiation dose is higher than the mean value for Poland equal to 34.2 nGy/h (R. Strzelecki *et al.*, 1993). Recounting the radiation value to the effective absorbed dose equivalent provides a mean value of 0.33 mSv/a , which in area of maximum dose strength can be even as high as 0.927 mSv/a .

The values above 100 nGy/h concentrate exclusively in the southern part of the survey area and are connected with exposures of the Góry Kaczawskie (Mts.) of the old Palaeozoic age and with marine sediments of the Upper Cretaceous, enriched with glauconite (in areas SW and SE from Złotoryja). The values of total dose rate in excess of 65 nGy/h are noted in the southern part of the discussed area and in the Dalkowskie Hills region. A central part of the survey area and its southern margin are characterised with poor values of gamma dose rates. In general, they are less than 55 nGy/h . Glaciofluvial sediments and glacial tills are almost exclusive formations here. The smallest values, less than 25 nGy/h , are connected with Quaternary fluvial deposits (muds, silts, sands, and gravel) and eolian and deluvial formations.

Gamma radiation in the area of influence of the smelters "Legnica" and "Głogów" as well as in the area of post-flotation ponds "Gilów" and "Żelazny Most" does not reflect any influence of these objects on the environment.

Mean potassium content (Plate 44) in the survey area is equal to 1.08% and is higher than that for entire Poland (0.74% – R. Strzelecki *et al.*, 1993). A map of potassium contents is to some extent consistent with a map of gamma radiation dose. Potassium content is confined between 0 and 2% . Contents exceeding 1.5% occur southwards of the Czarna Woda valley. Potassium content in the range of 1.0 – 1.5% is characteristic for the area to the south of Głogów, built up of glacial tills and other glacial formations (sands, gravel, boulders). Some irregular fields with similar potassium contents occur in the central part of the survey area in the surroundings of Lubin, Polkowice, Rudna, and Chocianów. They are connected with glacial tills. The smallest K contents, hardly exceeding 0.5% , are connected with fluvial and eolian sandy sediments occurring to the west of Gromadka and Chocianów, and with Holocene fluvial sediments in the Odra valley.

The uranium contents (Plate 45) are ranging from 0 to 8 ppm . A mean content is 1.55 ppm , slightly above the mean value for Poland – which is 1.4 ppm (R. Strzelecki *et al.*, 1994). Contents in excess of 3 ppm occur within relatively small areas in the southern parts of the area covered by this survey (outcrops of Pre-Cambrian gneisses and old-Palaeozoic crystalline schists, with the latter being well known due to their uranium-bearing potential).

Contents of uranium between 2 and 3 ppm as those noted in the south-western sector of the map, are connected with glacial sediments (sands, gravel, boulders, tills) and outcrops of old-Palaeozoic and Permian rocks. Areas with uranium content above 2 ppm were also recorded near Głogów. A middle part of the region is marked with small uranium contents, in general not exceeding 2 ppm . A mid-central part, with sandy fluvial sediments and eolian products, is characterised with small uranium content, frequently not higher than 0.5 ppm .

Attention should be drawn to the fact that the uranium contents within the region of post-flotation ponds "Gilów" and "Żelazny Most" are within the limits of natural uranium occurrences.

Thorium contents (Plate 46) within the survey area are ranging between 0.1 and 14.9 ppm . The mean value equals to 4.4 ppm and is higher than the mean thorium content in Poland, which is 3.3 ppm (R. Strzelecki *et al.*, 1994). The highest Th contents, over 10 ppm , occur within very small areas southwards of Złotoryja and south-westwards of Męcinka. In first case they are connected with sandstone formation of the Upper Cretaceous, being enriched with glauconite, in the latter – with classical Rotliegendes formation. Relatively high thorium concentrations, observed within the entire southern part, are connected with both outcrops of bedrock formations (older Palaeozoic and Permian) and glacial sediments occurring to the south of the Czarna Woda valley. Analogous sediments recognised northwards of this valley characterise with markedly smaller thorium contents, in general not higher than 5 ppm – which evidences that Quaternary sediments in the southern part of the province have been dominated by local Sudetic material.

The smallest thorium concentrations ($<2.5 \text{ ppm}$) are recorded in outwash and eolian sands that occur within the west-central part.

An area near Głogów, covered with glacial formations (tills, sands, gravel, boulders), contains Th at the level between 5 and 7.5 ppm . Glacial tills in the central part of the survey area seldom contain more than 5 ppm Th.

Conclusions. In the survey area a total gamma radiation dose connected with surficial formations is contained within a wide range of 6 to 152 nGy/h , and its mean value is 54.9 nGy/h . It is higher than that in the Czech Republic (65.6 nGy/h). The measured values do not exceed the effective absorbed dose equivalent, which is of the order of 1 mSv/a .

Contents of natural radioisotopes of uranium, thorium, and potassium are exclusively dependent on the character of geological bedrock. No elevated concentrations were found that could be relevant with industrial activity, in particular with copper mines and smelters.

As the elevated uranium concentrations ($>3 \text{ ppm}$) occur in the southern part of the survey area, they may create a threat of radon emanation to domestic homes. A special study of radon concentration in soil air is needed to assess this threat in a more detailed way.

LITERATURA REFERENCES

- ADDINK R., OLIE K., 1995 – Mechanisms of formation and destruction of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofurans in heterogeneous systems. *Environ. Sci. Technol.*, **22**, 6: 1425–1436.
- ANDRUSZCZAK E., STRĄCZYŃSKI S., CZERNIAWSKA W., RADWAN B., 1986 – Zawartość niektórych składników w glebach i roślinach uprawnych znajdujących się pod wpływem emisji huty miedzi. *Rocz. Glebozn.*, **37**, 4: 47–66.
- BARANOWSKI Z., HAYDUKIEWICZ A., KRYZA R., LORENC S., MUSZYŃSKI A., URBANEK Z., 1987 – Rozwój struktury wschodniej części Gór Kaczawskich na podstawie dotychczasowego rozpoznania stratygrafii, warunków sedymentacji i wulkanizmu. Przewodnik LVIII Zjazdu PTG, Wałbrzych.
- BEAK S.O., FIELD R.A., GOLDSTONE M.E., KIRK P.W., LESTER J.N., PERRY R., 1991 – A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behaviour. *Water, Air, Soil Pollut.*, **54**: 279–297.
- BEHYMER T., HITES R., 1988 – Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on fly ash. *Environ. Sci. Technol.*, **22**, 11: 1311–1319.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G., 1996 – Wyniki monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski w latach 1994–1995. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- BORKOWSKI J., MAZUR B., SZERSZEŃ L., 1991 – Kształtowanie się metali ciężkich w glebach łąkowych w rejonie huty miedzi Głogów. Mat. Konf. „Geologiczne aspekty ochrony środowiska”, 21–23.10.1991, Kraków.
- BRANDYS J., 1990 – Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Chemiczne substancje toksyczne w środowisku i ich wpływ na zdrowie człowieka. Kom. Nauk. Medyc. PAN Oddz. Kraków: 163–182.
- CZABAN S., LEWIŃSKI J., RUBANIUK A., TARASEK W., 1996 – Gospodarka wodna i hydrotransport osadów. W: Monografia KGHM Polska Miedz SA, Lubin: 855–877.
- CZUBA R., HRYNCEWICZ Z., ANDRUSZCZAK E., HUCZYŃSKI B., 1995 – Efekty rekultywacji gleb przyległych do huty miedzi „Legnica”. *Zesz. Problem. Postępów Nauk Roln.*, **418**: 691–696.
- DOBRAŃSKI J., BYRDZIAK H., 1995 – Wpływ polskiego przemysłu miedziowego na środowisko naturalne. *Zesz. Problem. Postępów Nauk Roln.*, **418**: 391–398.
- DROZD J., KOWALIŃSKI S., LICZNAK M., 1984 – Strefowe zanieczyszczenie gleb Cu, Zn i S oraz zmiany erozyjne pokrywy glebowej w rejonie oddziaływania huty miedzi. *Rocz. Glebozn.*, **35**, 1: 33–46.
- DUTKIEWICZ T., ŁEBEK G., MASŁOWSKI J., MIELŻYŃSKA D., RYBORZ S., 1988 – Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w środowisku przyrodniczym. Państw. Wyd. Nauk. Warszawa.
- EIKMANN T., KLOKE A., 1991 – Nutzungs- und schutzgutbezogene orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden. Mitt. VDLUFA **1**.
- EVANS K.M., GILL R.A., ROBOTHAM P.W., 1990 – The source, composition and flux of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the River Derwent, Derbyshire, U.K., *Water, Air, Soil Pollut.*, **51**: 1–12.
- GROCHOLSKI A., SAWICKI L., WRÓŃSKI J., 1981 – Mapa geologiczna Polski 1:200 000, ark. Wałbrzych (A). Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- JAKUBUS M., CZEKAŁA J., 1995 – Charakterystyka form miedzi i jej rozmieszczenie we frakcjach próchnicznych gleb znajdujących się w strefie oddziaływania huty miedzi „Głogów”. *Zesz. Problem. Postępów Nauk Roln.*, **418**: 473–480.
- JASIŃSKI B., MIKOŁAJCZYK B., 1990 – Zagrożenie środowiska wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA) oraz ich zawartość w wodzie rz. Olawy (ujęcie MPWiK – Wrocław) i rz. Odry. *Gaz. Woda i Technika Sanitarna* **7**: 122–123.
- JOHNSON J., 1995 – Dioxin risk: Are we sure yet? *Environ. Sci. Technol.*, **29**, 1: 24–25.
- KABATA-PENDIAS A., BOLIBRZUCH E., TARŁOWSKI P., 1981 – Oddziaływanie huty miedzi na przyrodnicze warunki rolnictwa. *Rocz. Glebozn.*, **32**, 3: 207–214.
- 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.
- KARCZEWSKA A., 1995 – Formy wybranych metali w poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych gleb zanieczyszczonych emisjami hut miedzi. *Zesz. Problem. Postępów Nauk Roln.*, **418**: 481–493.
- KARCZEWSKA A., 1996 – Formy miedzi w silnie zanieczyszczonych glebach LGOM-u oraz ich przemiany związane z warunkami zawodnienia. *Zesz. Nauk. PAN, Komitet „Człowiek i środowisko”*, **14**: 240–246.
- KARCZEWSKA A., 1997 – Formy ołowiu w glebach zanieczyszczonych w świetle ekstrakcji pojedynczej i sekwencyjnej. Mat. Symp. Kom. Nauk PAN „Człowiek i środowisko”, 6–7 listopad 1997, Warszawa: 72.
- KOWALKOWSKI A., TRUSZKOWSKA R., BORZYSZKOWSKI J., 1994 – Mapa regionów morfogenetyczno-glebowych Polski 1:500 000. *Prace Kom. Nauk. PTG* **119**, Warszawa.
- KRAJEWSKI J., NIERZEWSKA M., 1995 – Metale ciężkie w glebach na terenach górniczych kopalń rud miedzi. *Zesz. Problem. Postępów Nauk Roln.*, **418**: 407–414.
- KUCHAREWICZ J., 1975 – Mapa geologiczna Polski 1:200 000, ark. Leszno (A). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LEWIŃSKI J., MAŚLANKA W., MIZERA A., 1996 – Składowiska odpadów. W: Monografia KGHM Polska Miedz SA, Lubin: 787–896.
- LIS J., 1992 – Atlas geochemiczny Warszawy i okolic 1:100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

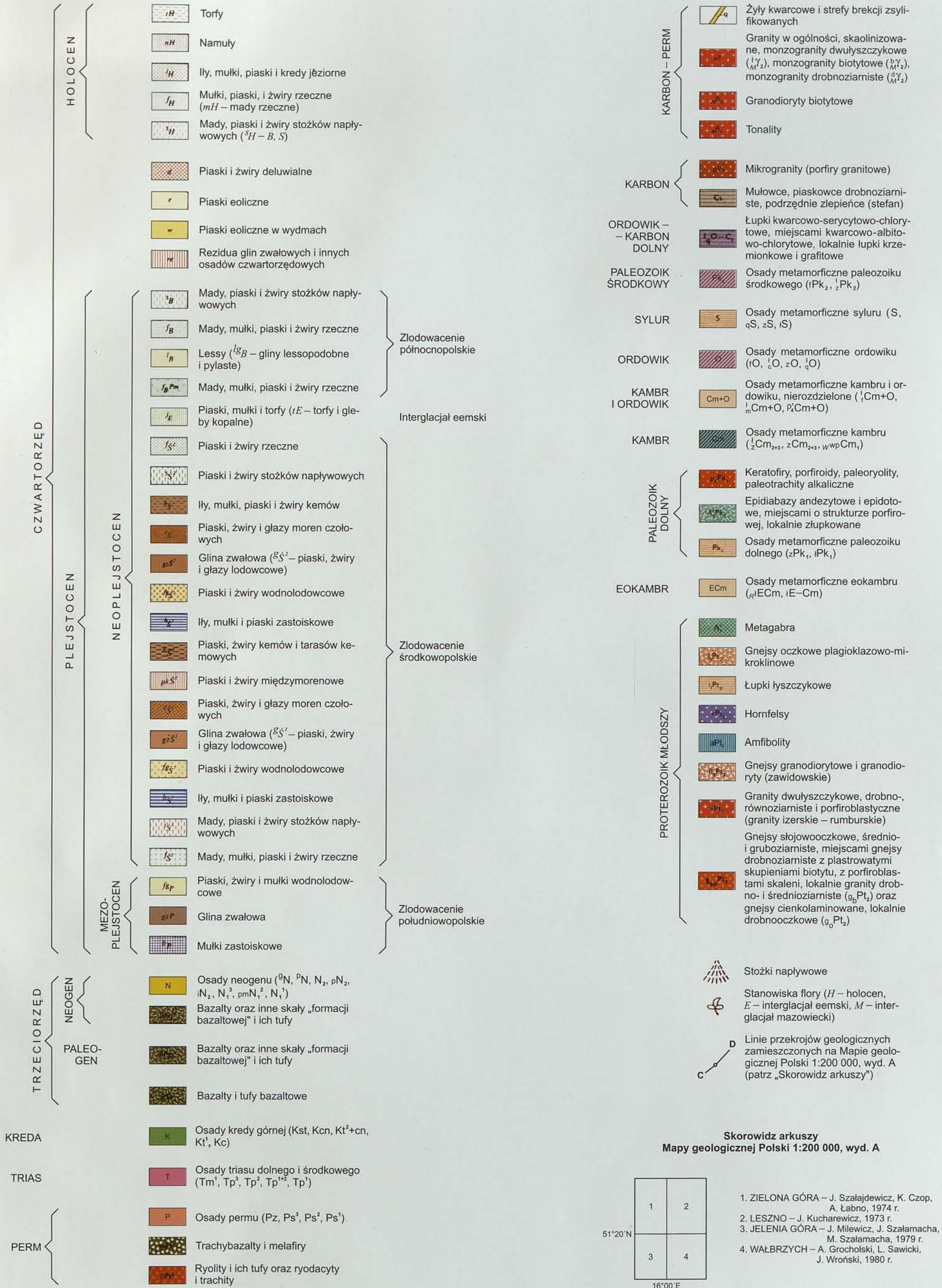
- LIS J., PASIECZNA A., 1995a – Atlas geochemiczny Polski 1:2 500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1995b – Atlas geochemiczny Górnego Śląska 1:200 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1995c – Atlas geochemiczny Krakowa i okolic 1:100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1998 – Atlas geochemiczny aglomeracji szczecińskiej 1:200 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MALISZEWSKA-KORDYBACH B., 1993 – Trwałość wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych w glebie. *Rozpr. habilit.*, 4, IUNG, Puławy.
- McGRODDY S.E., FARRINGTON J.W., 1995 – Sediment porewater partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in Three Cores from Boston Harbor, Massachusetts. *Environ. Sci. Technol.*, 29, 6: 1542–1550.
- MIECZNIK J.B., STRZELECKI R., 1979 – Możliwości występowania mineralizacji uranowej w niektórych skalach osadowych Sudetów. *Prz. Geol.*, 27, 6: 314–318.
- MILEWICZ J., SZAŁAMACHA J., SZAŁAMACHA M., 1989 – Mapa geologiczna Polski 1:200 000, ark. Jelenia Góra (A). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MIRON M. 1997 – Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w odpadach i innych elementach środowiska. IGO, Katowice.
- MOCEK A., OWCZARZAK W., TYKSIŃSKI W., KACZMAREK Z., 1995 – Metale ciężkie w glebach ogródków działkowych w Polkowicach. *Zesz. Probl. Postępów Nauk Roln.*, 418: 305–312.
- MOJSKI J.E. (red.), 1975 – Objasnienia do Mapy geologicznej Polski 1:200 000, ark. Leszno, Inst. Geol., Warszawa.
- MOJSKI J.E. (red.), 1977 – Objasnienia do Mapy geologicznej Polski 1:200 000, ark. Zielona Góra, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MOJSKI J.E., SAWICKI L. (red.), 1995 – Objasnienia do Mapy geologicznej Polski 1:200 000, ark. Jelenia Góra, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MOJSKI J.E., SAWICKI L. (red.), 1996 – Objasnienia do Mapy geologicznej Polski 1:200 000, ark. Wałbrzych, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MONITOR Polski., 1995 – Nr 35 z dnia 7 lipca 1995 r., poz. 419. Warszawa.
- NIEDŹWIECKA W., PIOTROWSKI J. (red.), 1997 – Raport o stanie środowiska województwa legnickiego w 1996 roku. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Legnica.
- NORMA branżowa BN-75/9180-03, 1975 – Agrotechnika. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczenie wartości pH. W: Dziennik norm i miar nr 7/1975 poz. 9, Warszawa.
- OLLIVON D., GARBON B., CHESTERIKOFF A., 1995 – Analysis of distribution of some polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and suspended matter in the river Seine (France). *Water, Air, Soil Pollut.*, 81: 135–152.
- PASIECZNA A., SIEMIĄTKOWSKI J., LIS J., 1996 – Atlas geochemiczny Wałbrzycha i okolic 1:50 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PAULO A., 1973 – Złoże barytu w Stanisławowie na tle metalogenii Gór Kaczawskich. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie*, 76. 3–72.
- PILC L., ROSADA J., SIEPAK J., 1997 – Nagromadzenie ołowiu na terenach objętych oddziaływaniem huty miedzi „Głogów”. *Mat. Symp. Kom. Nauk PAN „Człowiek i środowisko”*, 6–7 listopad 1997, Warszawa.
- ROSZYK E., ROSZYK S., 1975 – Wpływ hutnictwa miedzi na niektóre właściwości gleb i skład chemiczny roślin uprawnych. Część I. Pierwszy rok emisji. *Rocz. Glebozn.*, 26, 3: 277–291.
- ROSZYK E., ROSZYK S., 1976 – Wpływ hutnictwa miedzi na niektóre właściwości gleb i skład chemiczny roślin uprawnych. Część II. Drugi rok emisji. *Rocz. Glebozn.*, 27, 4: 57–68.
- ROSZYK E., SZERSZEŃ L., 1988a – Nagromadzenie metali ciężkich w warstwie ornej gleb stref ochrony sanitarnej przy hutach miedzi. Część I. „Legnica”. *Rocz. Glebozn.*, 39, 4: 135–146.
- ROSZYK E., SZERSZEŃ L., 1988b – Nagromadzenie metali ciężkich w warstwie ornej gleb stref ochrony sanitarnej przy hutach miedzi. Część II. „Głogów”. *Rocz. Glebozn.*, 39, 4: 147–158.
- SAWICKI L., 1995 – Mapa geologiczna regionu dolnośląskiego z przyległymi obszarami Czech i Niemiec (bez utworów czwartorzędowych) 1:100 000, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SAWŁOWICZ Z., SPECZIK S., 1996 – Substancja organiczna i jej rola w procesach złożeńotwórczych. W: Monografia KGHM Polska Miedz SA, Lubin: 252–258.
- SHAMSHAM S., 1993 – Rozmieszenie wybranych metali w profilach gleb uprawnych na terenie zanieczyszczonym przez przemysł miedziowy. Część II. Zawartość całkowita metali. *Rocz. Glebozn.*, 44, 1/2: 65–71.
- SOKOŁOWSKI M., 1994 – Dioksyny - ocena zagrożeń środowiska naturalnego oraz metody ich wykrywania. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- STRĄCZYŃSKI S., ANDRUSZCZAK E., 1995 – Ocena stanu zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi gleb i roślin w rejonie oddziaływania huty miedzi „Głogów”. *Zesz. Problem. Postępów Nauk Roln.*, 418: 399–405.
- STRĄCZYŃSKI S., ANDRUSZCZAK E., 1996 – Ocena stanu zanieczyszczenia miedzią gleb i roślin w rejonie oddziaływania huty miedzi „Głogów”. *Zesz. Nauk. PAN, Komitet „Człowiek i środowisko”*, 14: 235–239.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J., LEWANDOWSKI P., 1993 – Mapy radioekologiczne Polski. Część I. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J., LEWANDOWSKI P., 1994 – Mapy radioekologiczne Polski. Część II. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SUTHERLAND J.B., RAFII F., KHAN A.A., CERNIGLIA C.E., 1995 – Mechanisms of polycyclic aromatic hydrocarbon degradation. In: *Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals*. Wiley-Liss, Inc.: 269–306.
- SZAŁAJDEWICZ J., CZOP K., ŁABNO A., 1976 – Mapa geologiczna Polski 1:200 000, ark. Zielona Góra (A). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SZERSZEŃ L., BORKOWSKI J., BOGDA A., CHODAK T., KARCZEWSKA A., 1995 – Stan środowiska glebowego Dolnego Śląska. *Zesz. Problem. Postępów Nauk Roln.*, 418: 61–74.
- SZERSZEŃ L., CHODAK T., LASKOWSKI S., 1986 – Właściwości i skład mineralny gleb strefy ochrony sanitarnej hut miedzi. *Arch. Miner.*, 41, 1: 287–294.
- SZERSZEŃ L., KARCZEWSKA A., ROSZYK E., CHODAK T., 1991 – Rozmieszczenie Cu, Pb i Zn w profilach gleb przyległych do hut miedzi. *Rocz. Glebozn.*, 42, 3/4: 199–206.
- TOMASSI-MORAWIEC H., LIS J., PASIECZNA A., 1998 – Atlas geochemiczny Wrocławia i okolic 1:100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ZARZĄDZENIE Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym, 1988 – Monitor Polski Nr 14 z dnia 31 marca 1988 r., poz. 124. Warszawa.

Mapa geologiczna
Geological map



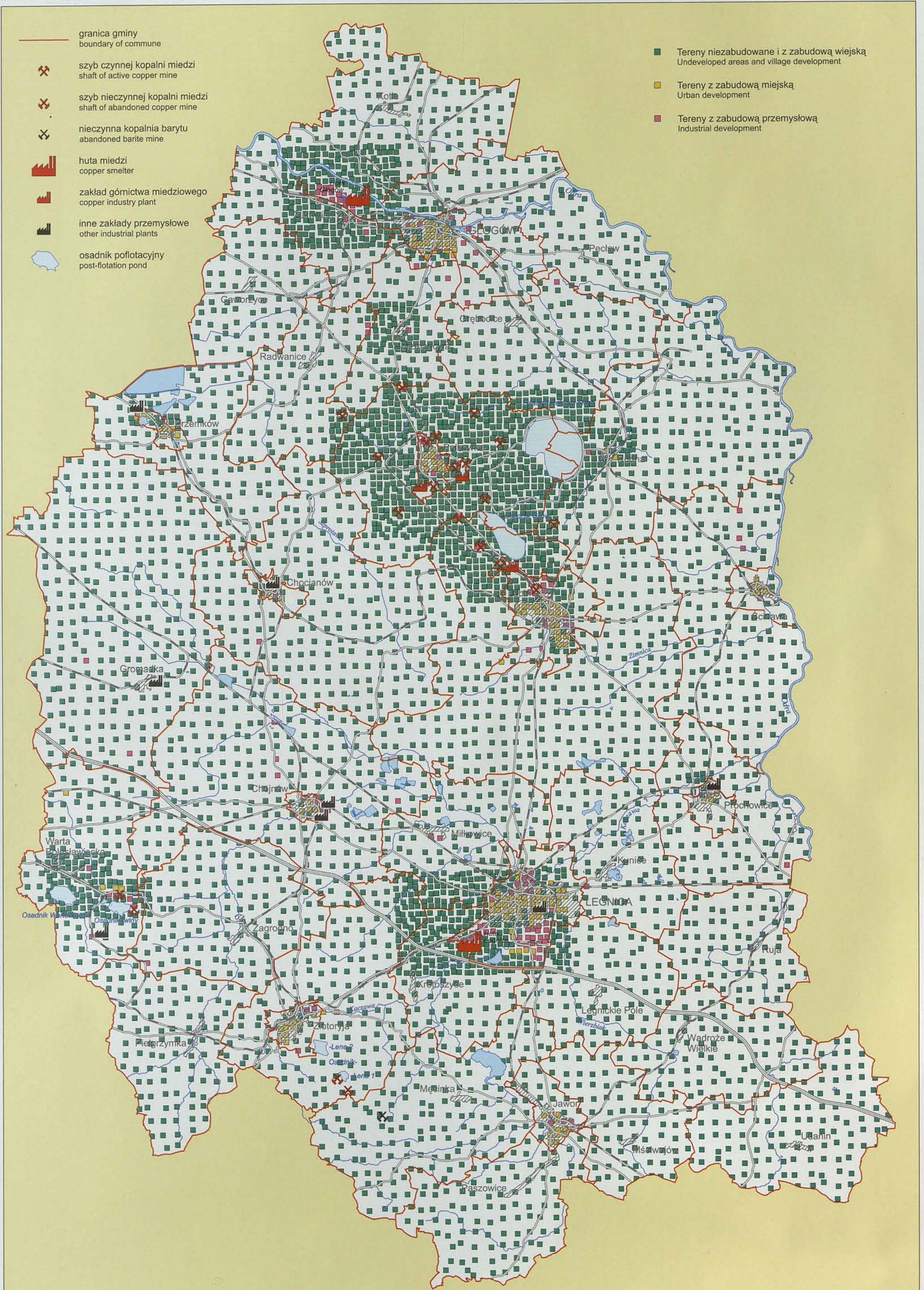
51°20'N

LEGENDA



Zabudowa Land development

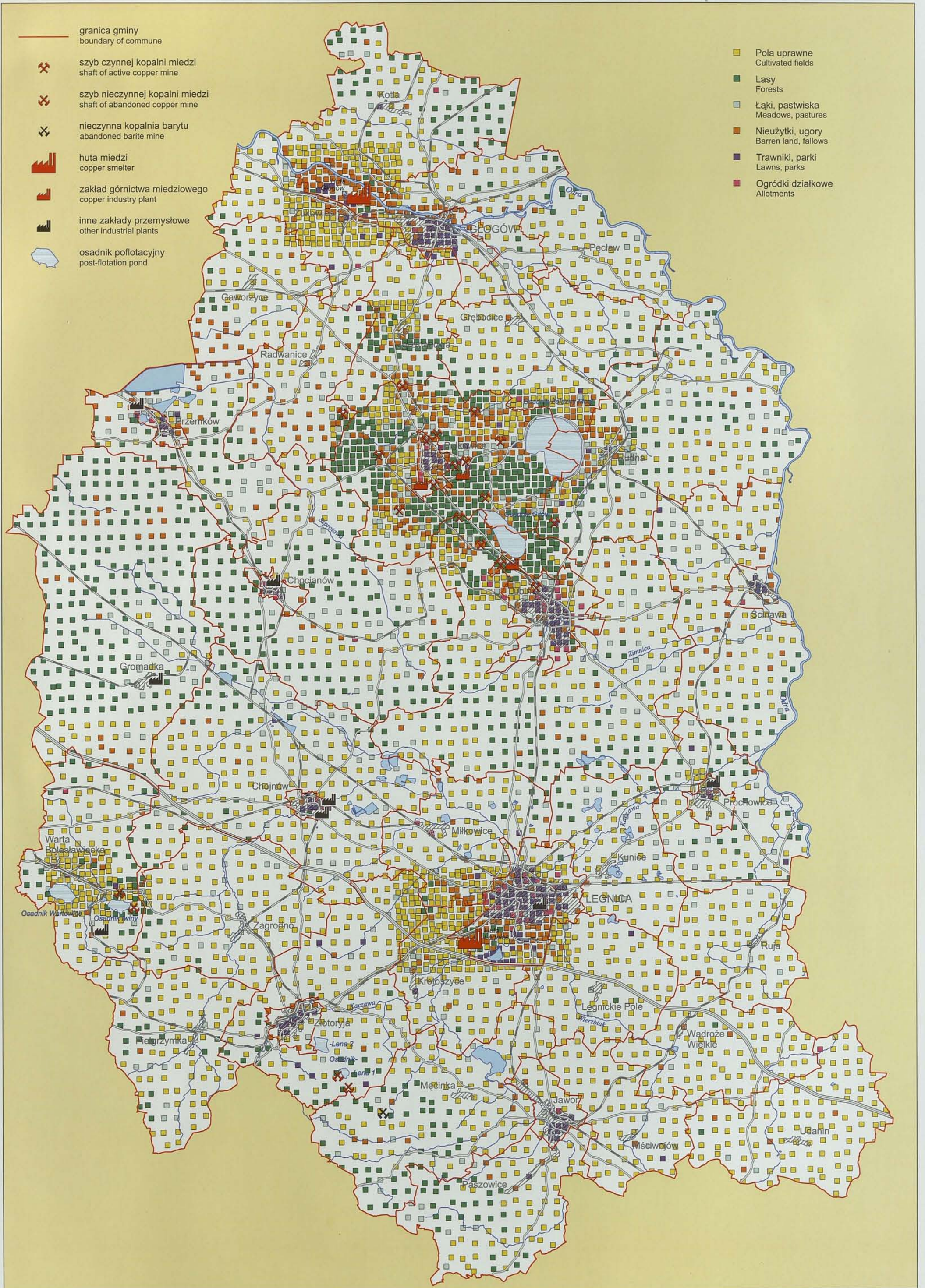
J. Lis, A. Pasieczna



Użytkowanie terenu Land use

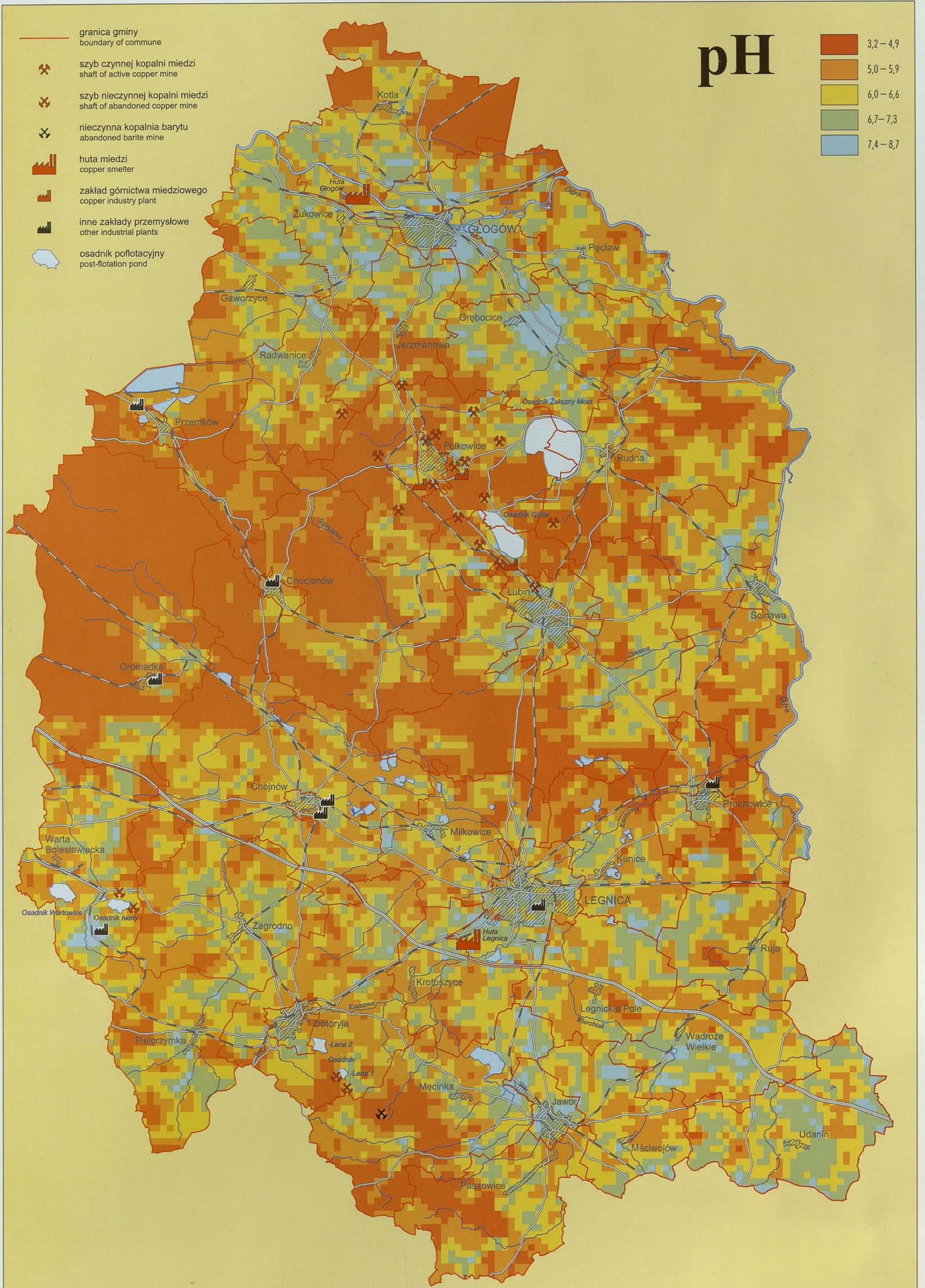
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica
Plate 3



Kwasowość gleb Acidity of soils

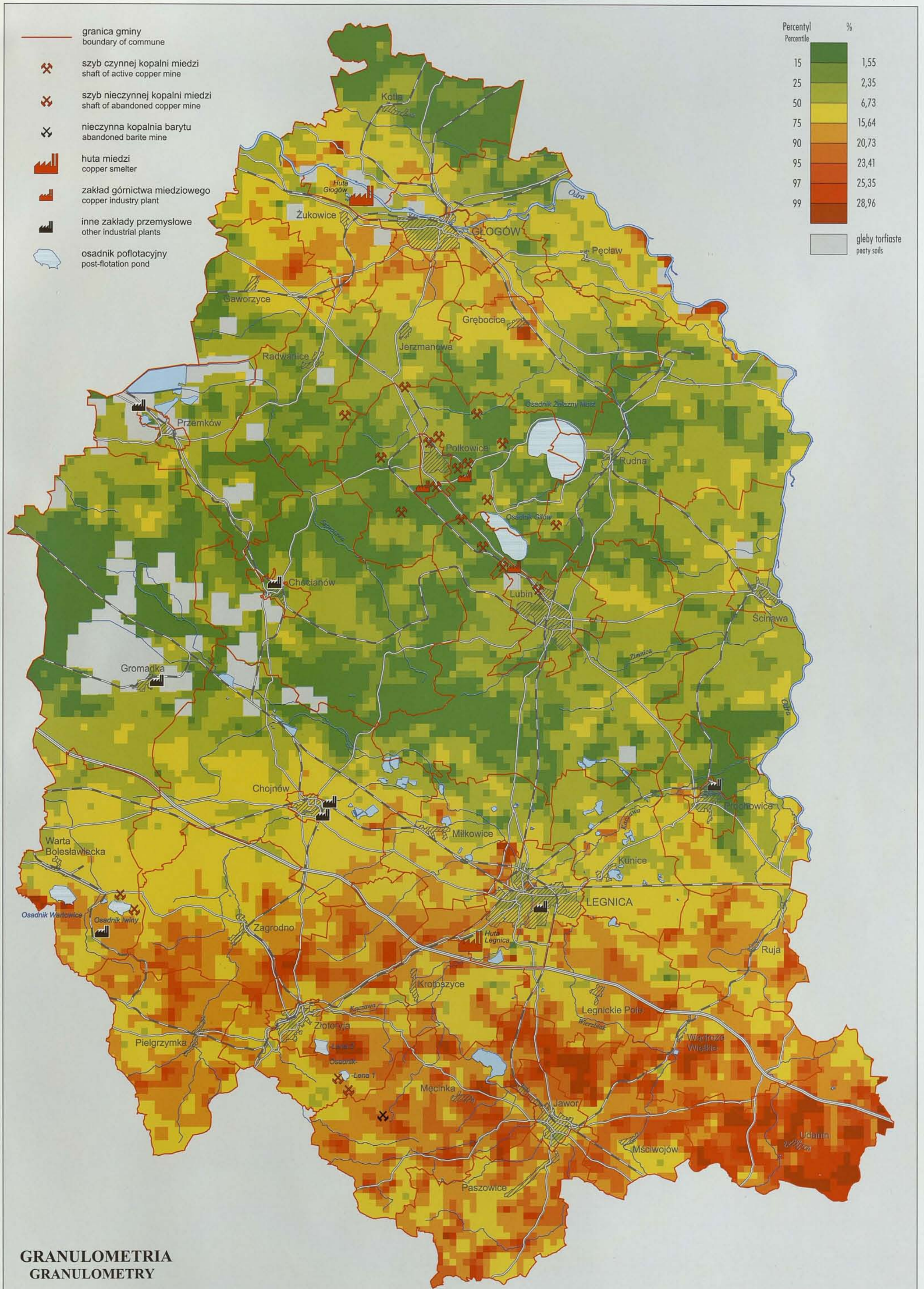
J. Lis, A. Pasieczna



Udział frakcji <0,02 mm w glebach
Content of fraction <0.02 mm in soils

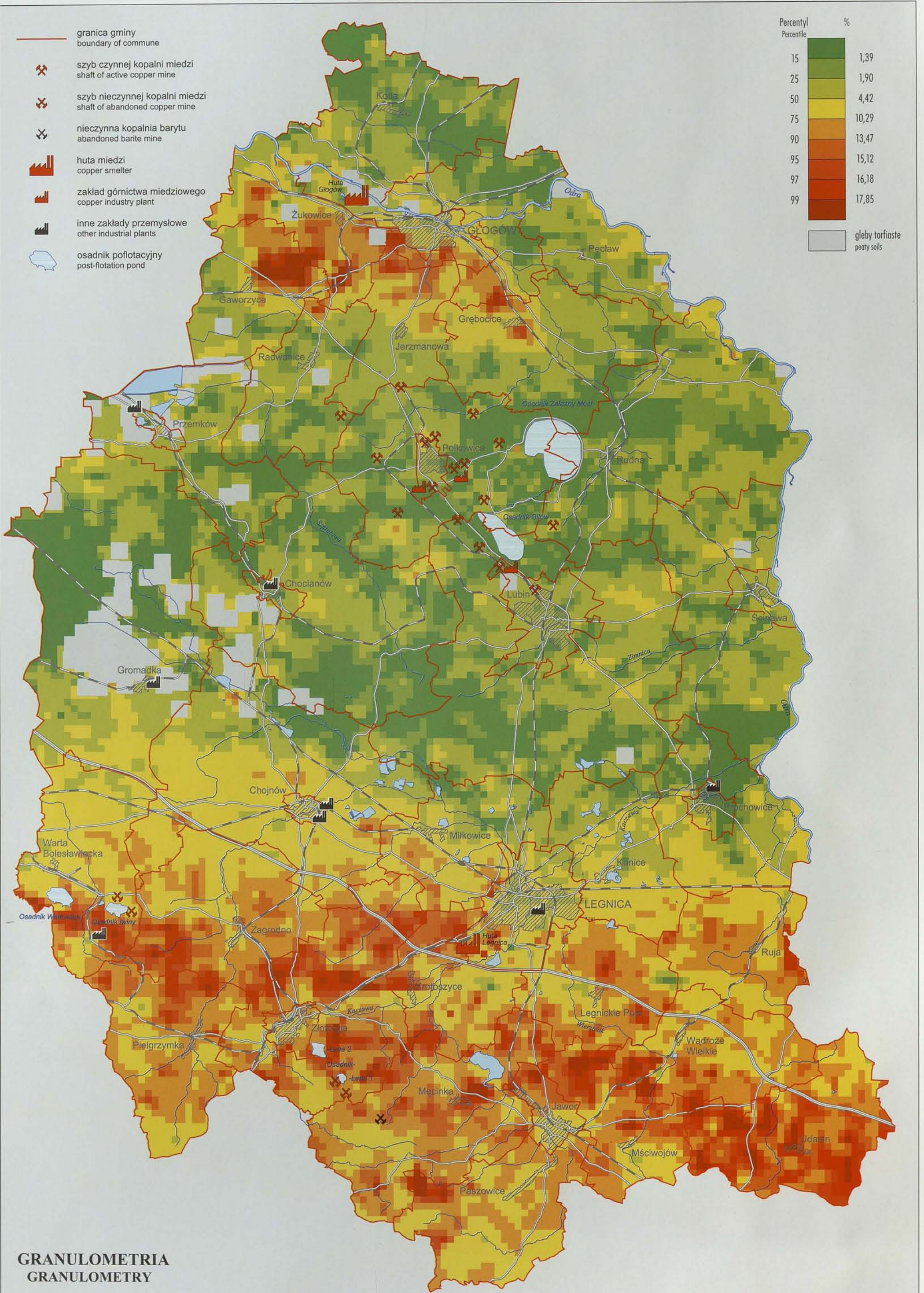
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica
Plate 5



Udział frakcji 0,02-0,10 mm w glebach
Content of fraction 0.02-0.10 mm in soils

J. Lis, A. Pasieczna

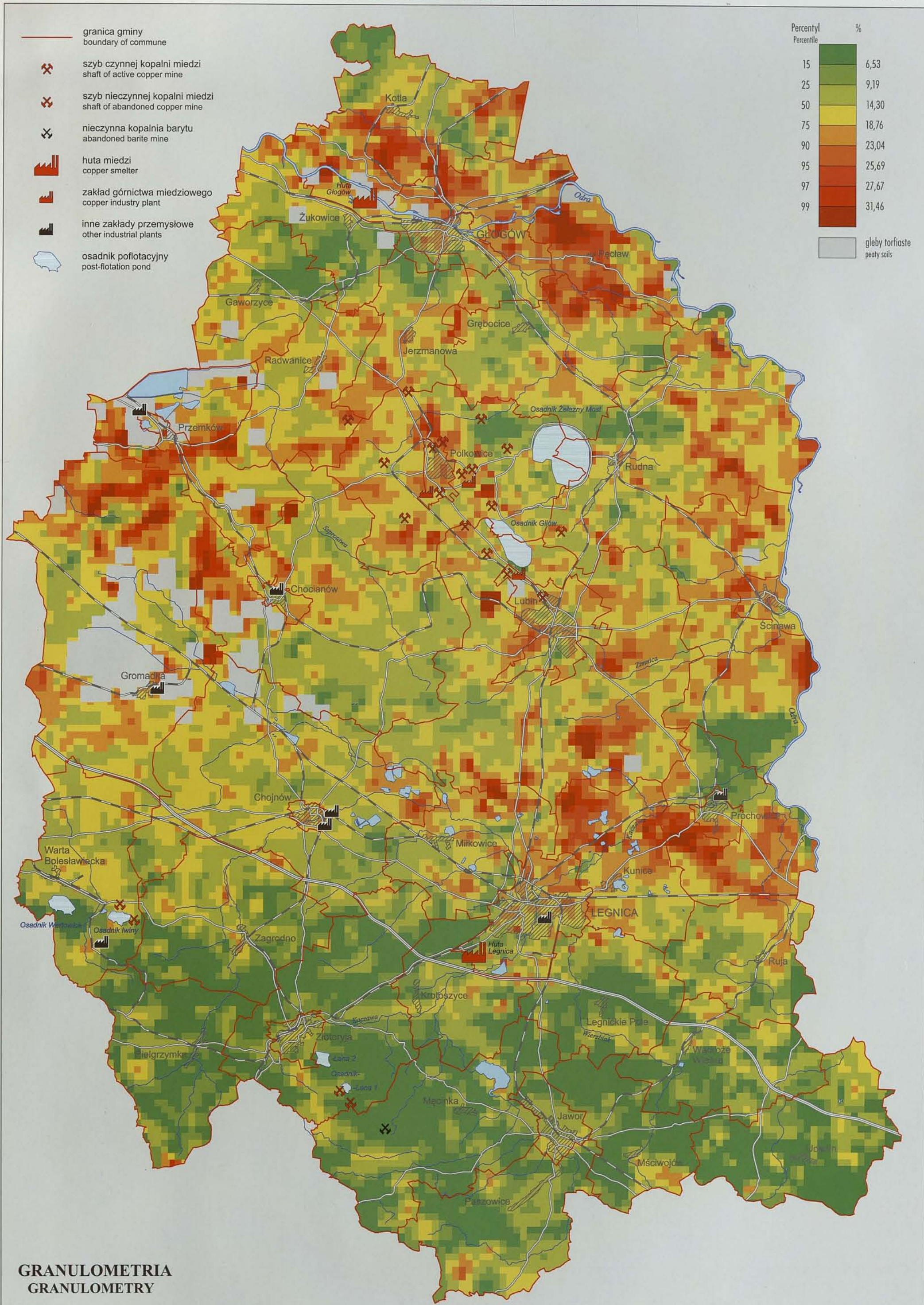


GRANULOMETRIA
GRANULOMETRY

Udział frakcji 0,1-0,6 mm w glebach Content of fraction 0.1-0.6 mm in soils

J. Lis, A. Pasieczna

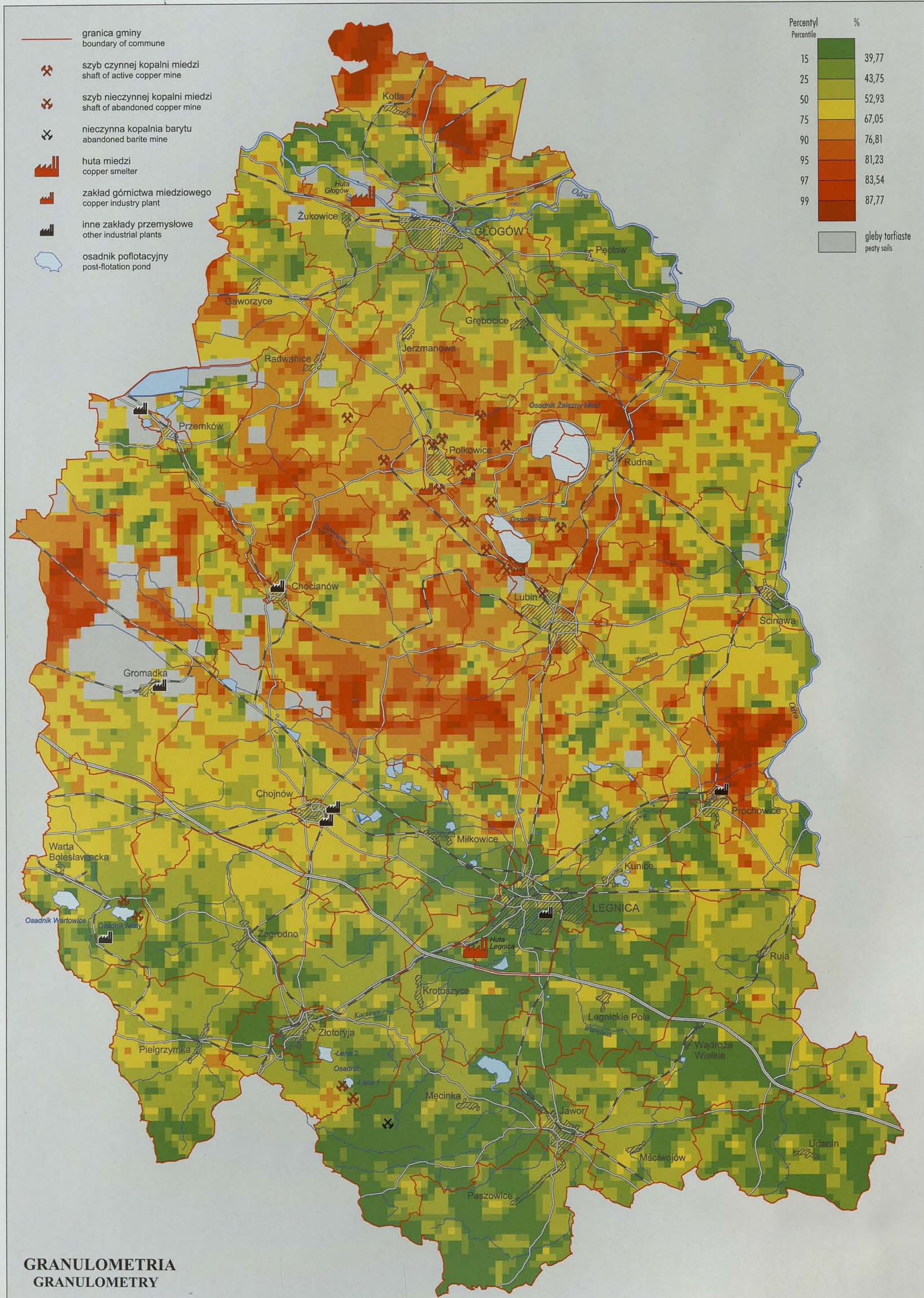
Tablica
Plate 7



GRANULOMETRIA GRANULOMETRY

Udział frakcji 0,6-2,0 mm w glebach Content of fraction 0.6-2.0 mm in soils

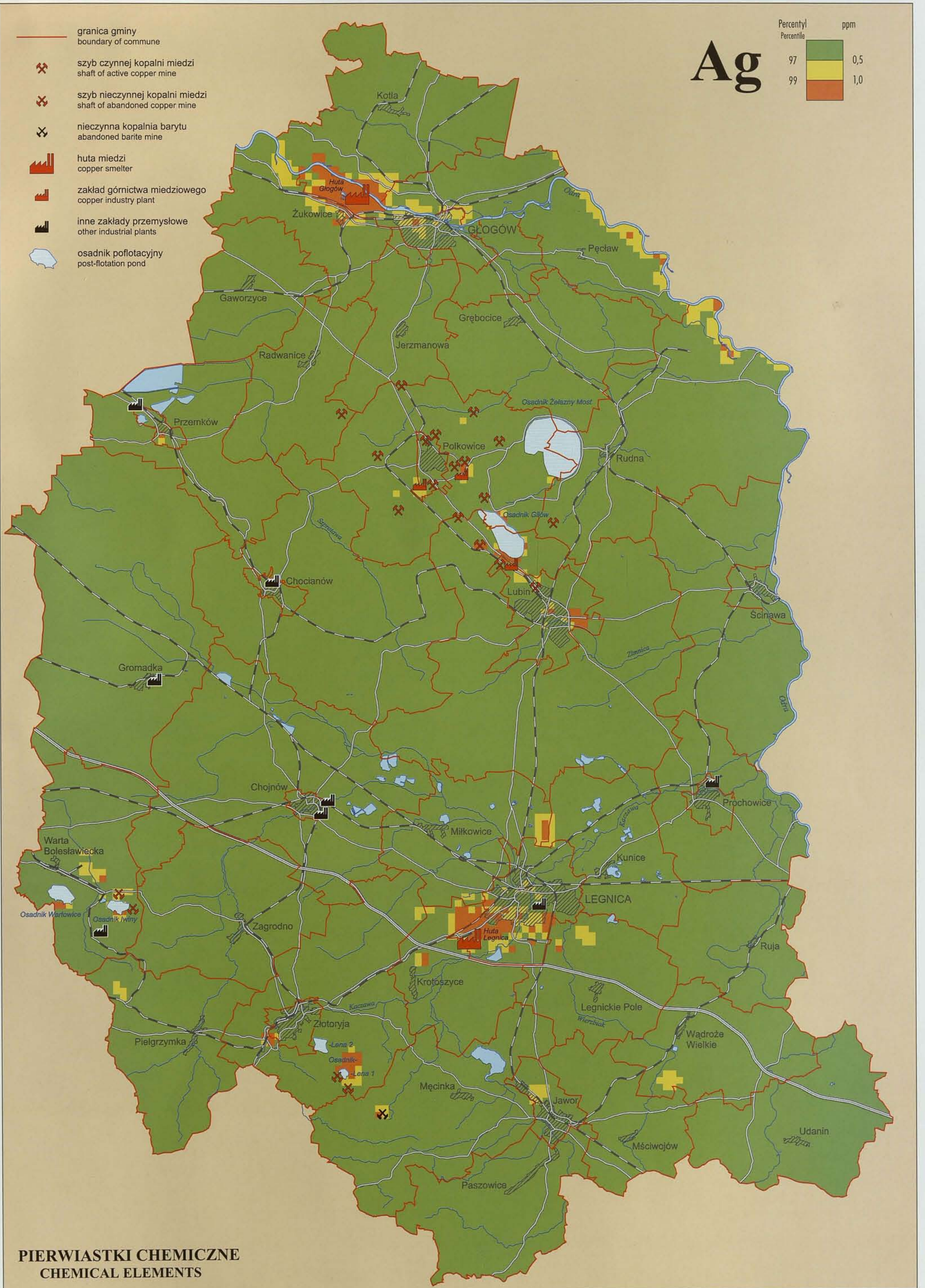
J. Lis, A. Pasiieczna



GRANULOMETRIA GRANULOMETRY

Zawartość srebra w glebach
Silver content in soils

J. Lis, A. Pasieczna

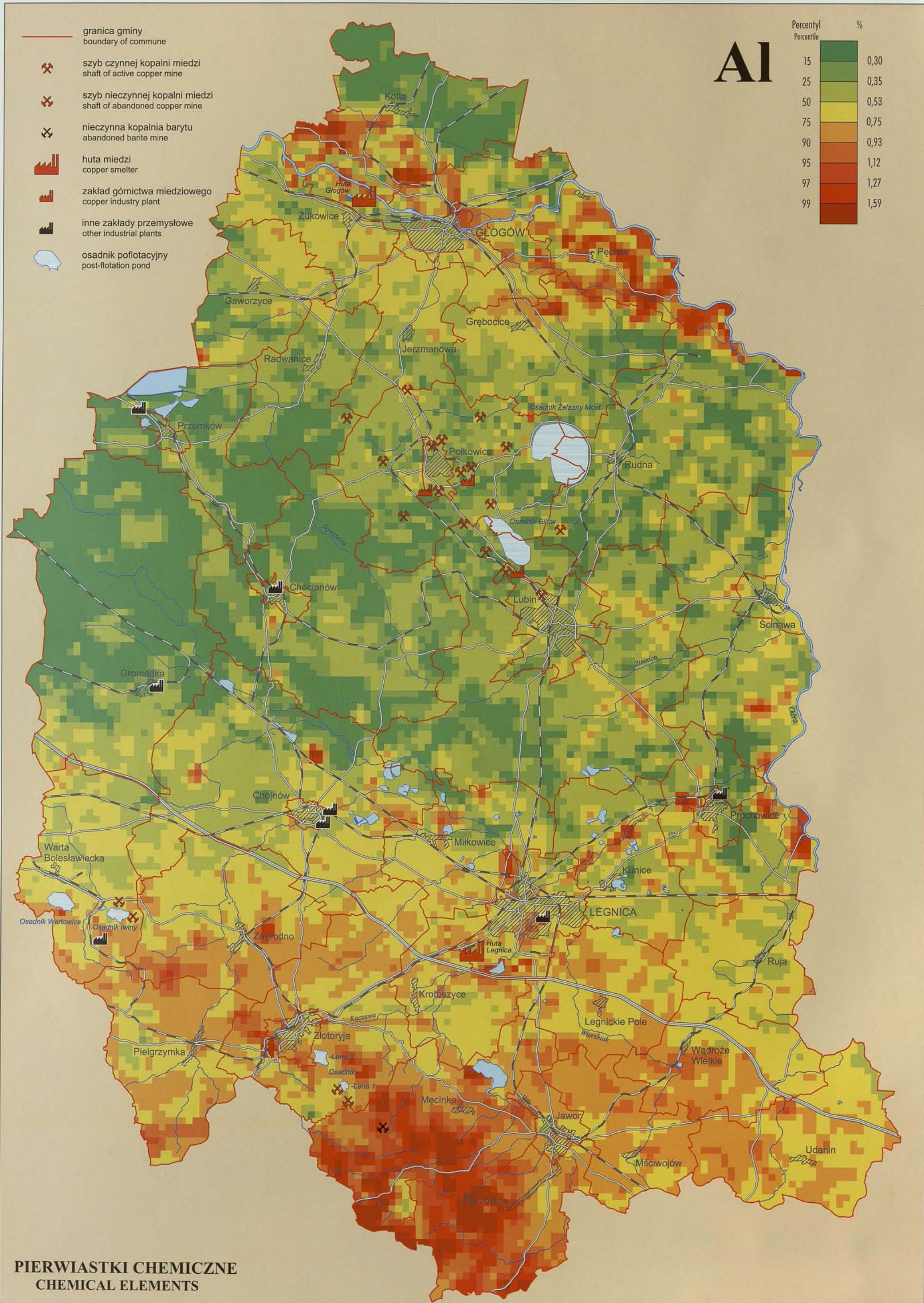


PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS

Zawartość glinu w glebach Aluminium content in soils

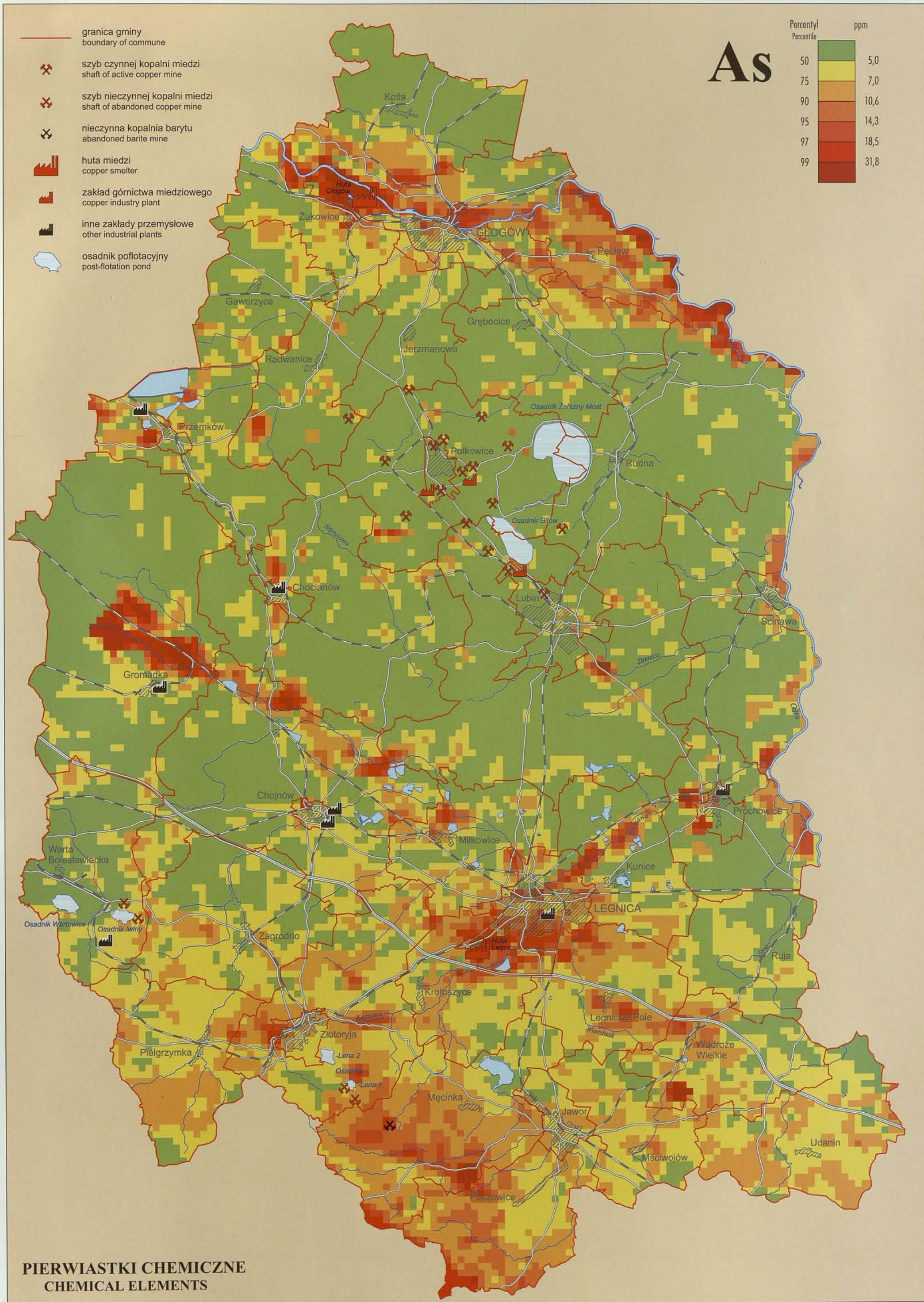
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica
Plate 10



Zawartość arsenu w glebach Arsenic content in soils

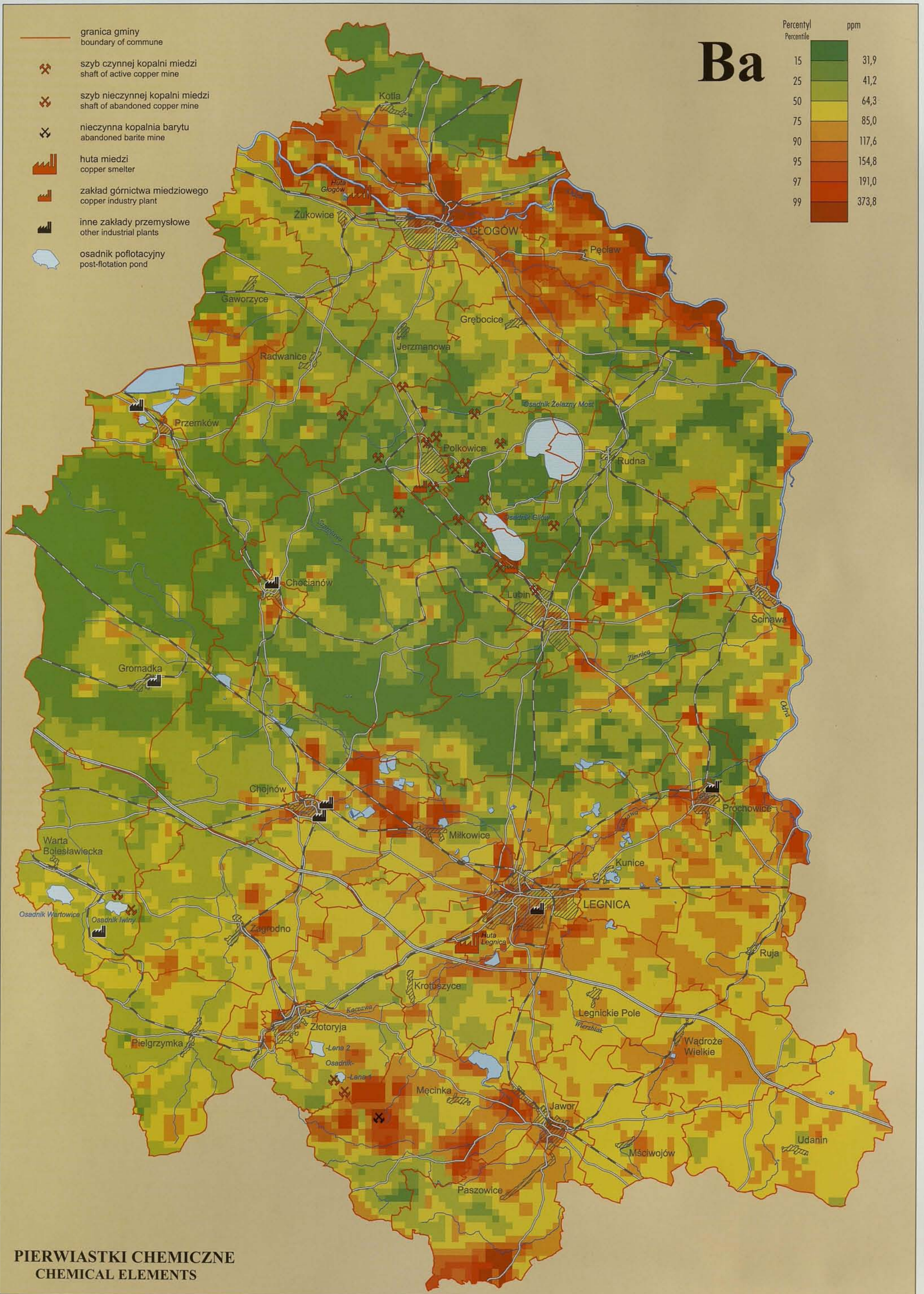
J. Lis, A. Pasieczna



Zawartość baru w glebach
Barium content in soils

J. Lis, A. Pasieczna

Tablica 12
Plate

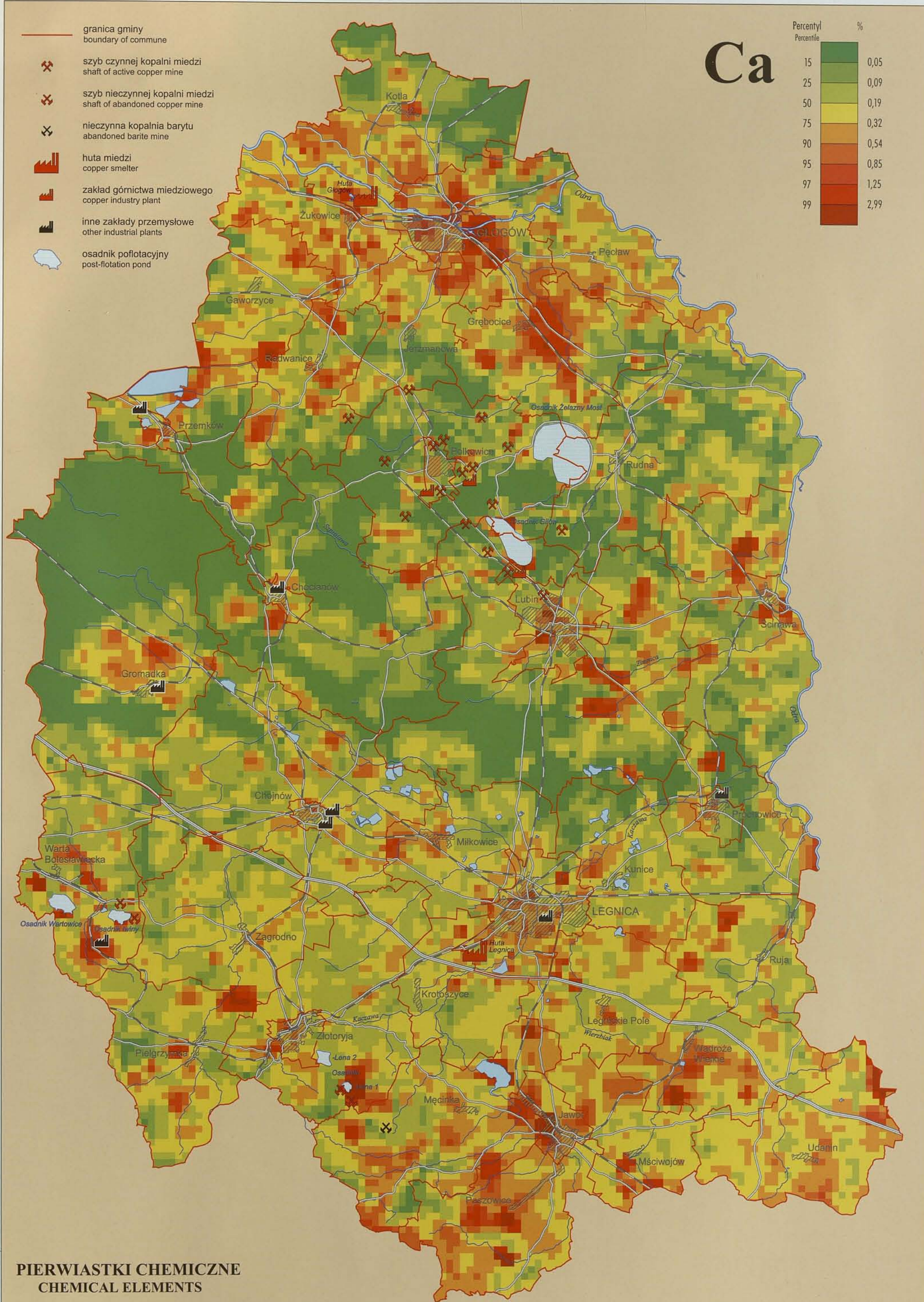


PIERWIASTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS

Zawartość wapnia w glebach Calcium content in soils

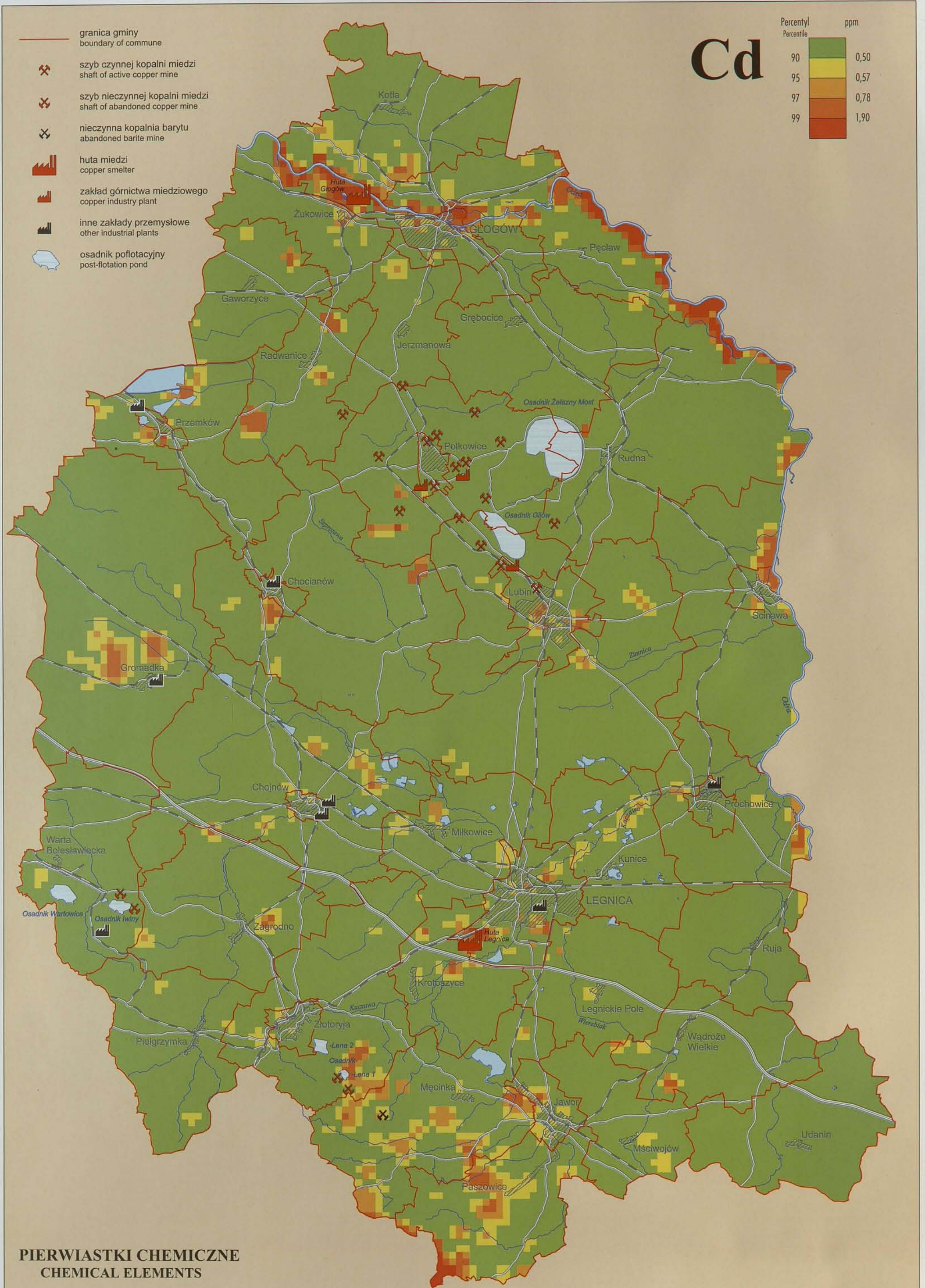
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica
Plate 13



Zawartość kadmu w glebach Cadmium content in soils

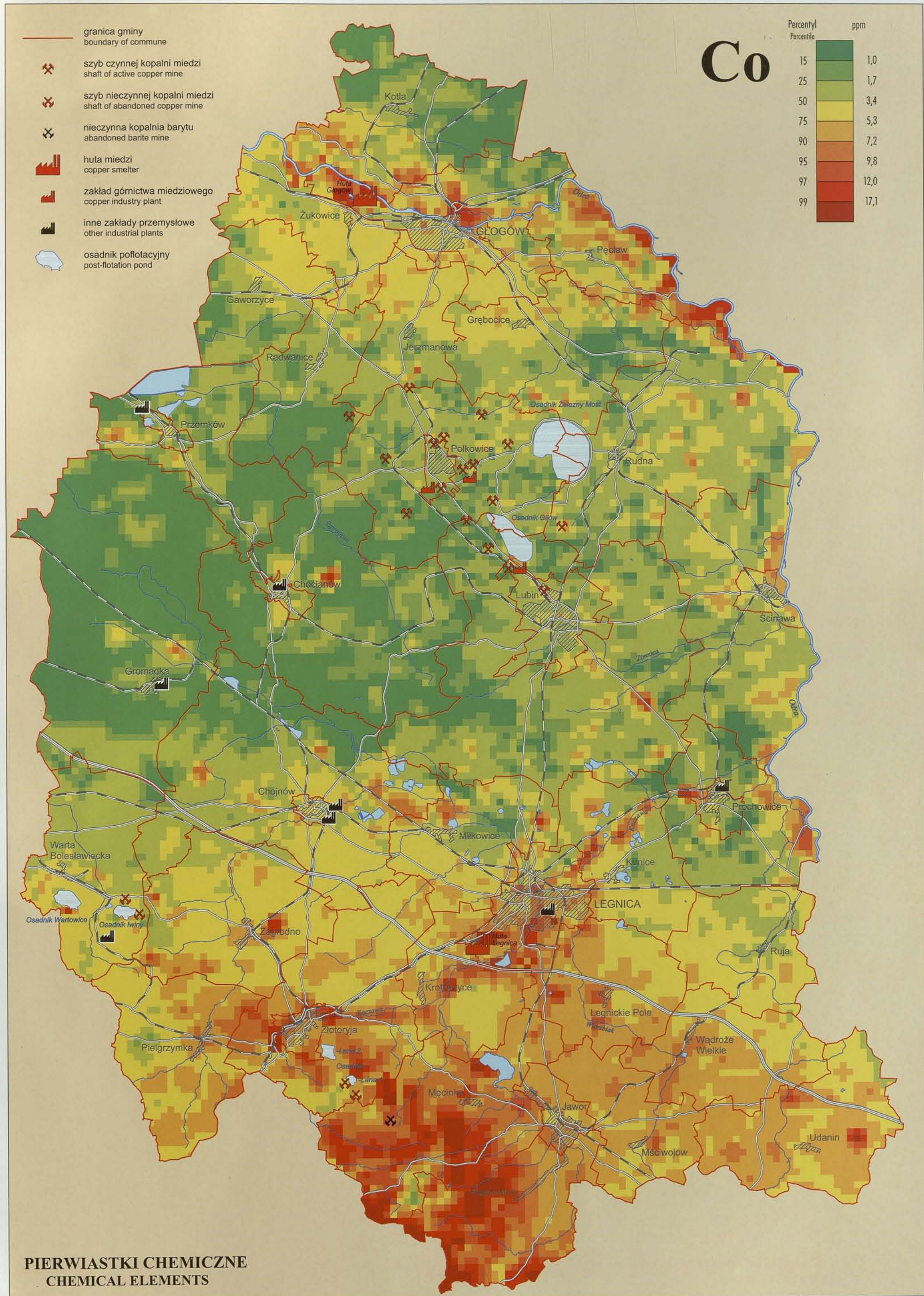
J. Lis, A. Pasieczna



PIERWIASTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS

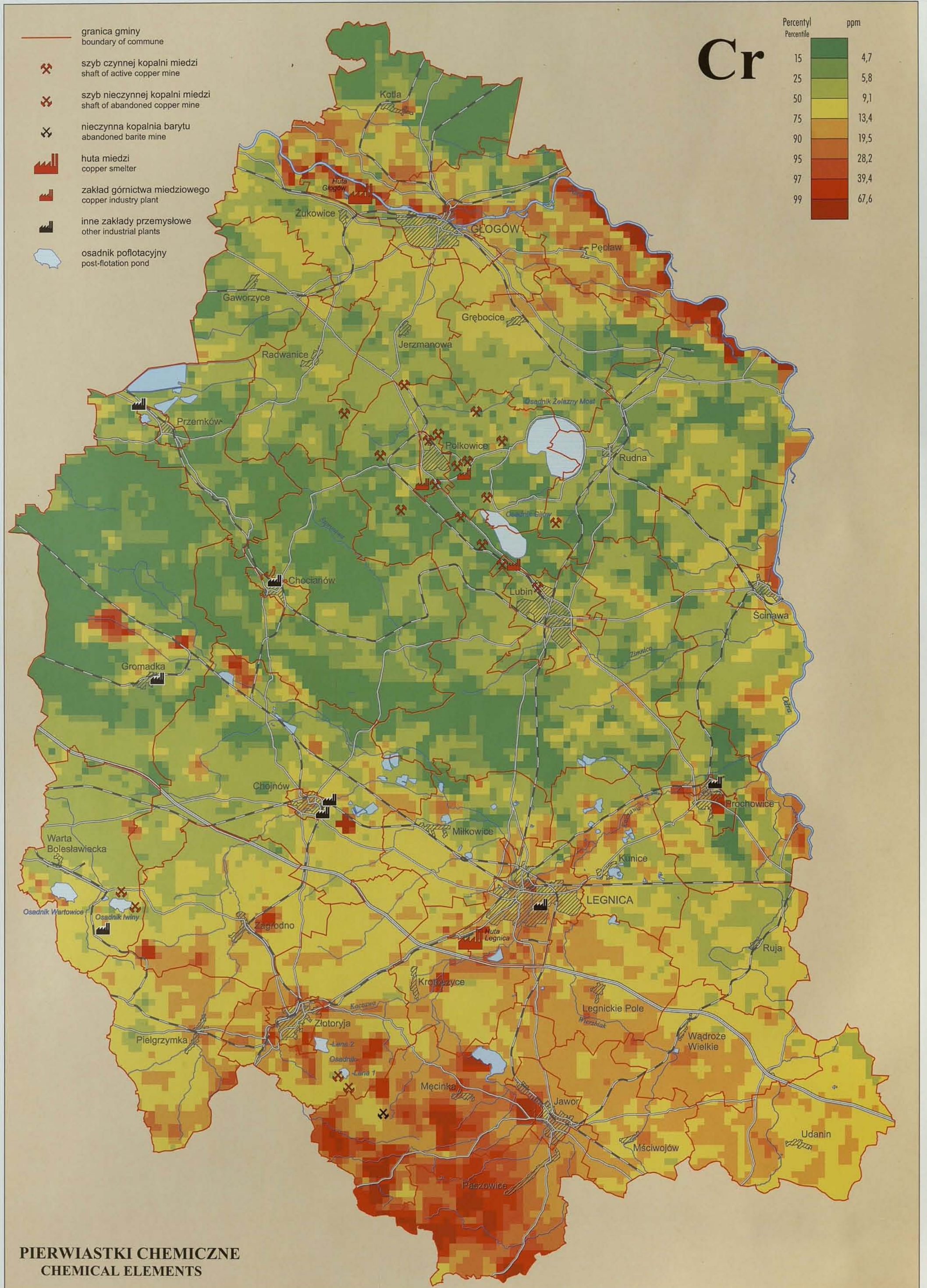
Zawartość kobaltu w glebach
Cobalt content in soils

J. Lis, A. Pasieczna



Zawartość chromu w glebach Chromium content in soils

J. Lis, A. Pasieczna

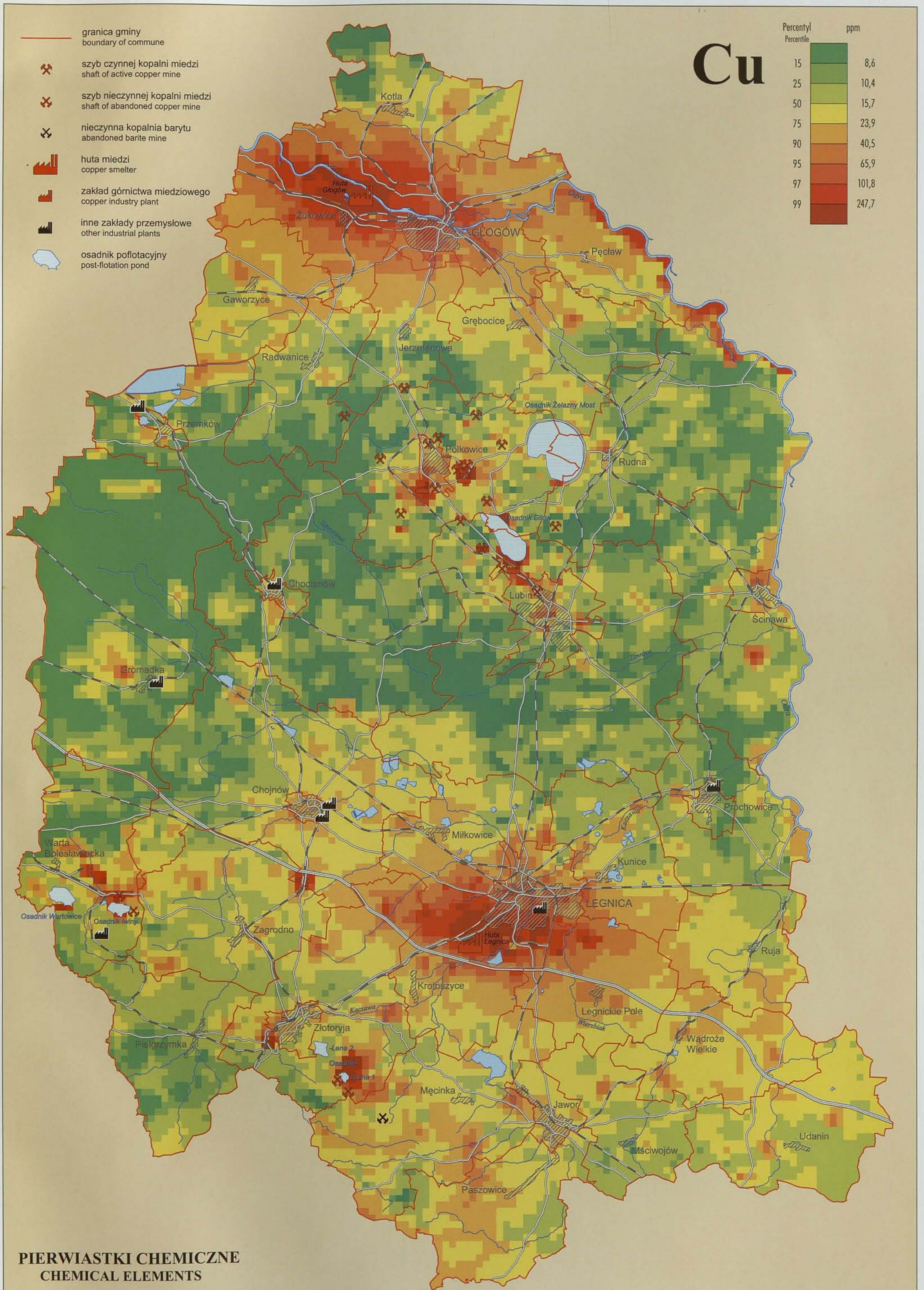


**PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS**

Zawartość miedzi w glebach Copper content in soils

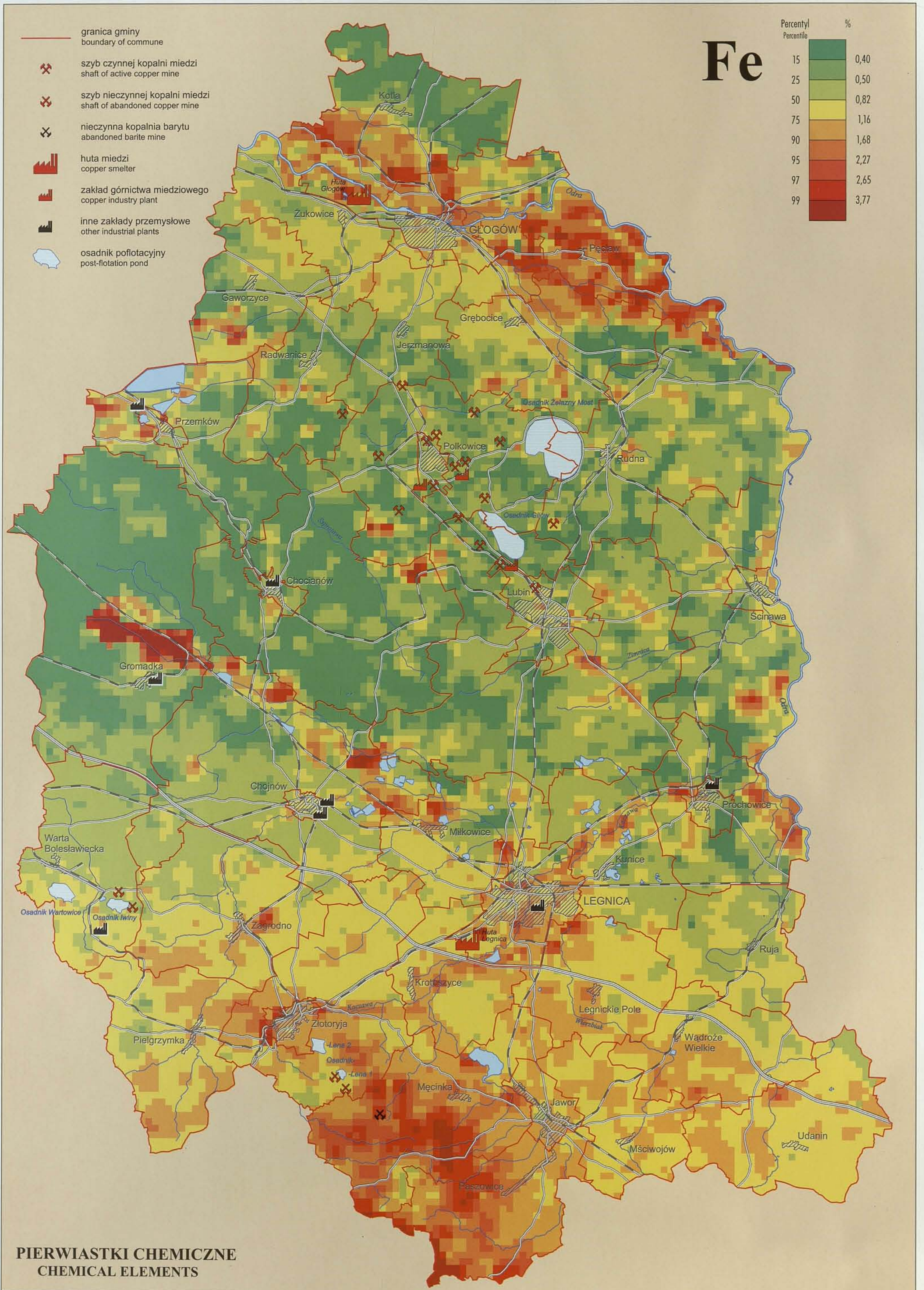
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica
Plate 17



Zawartość żelaza w glebach
Iron content in soils

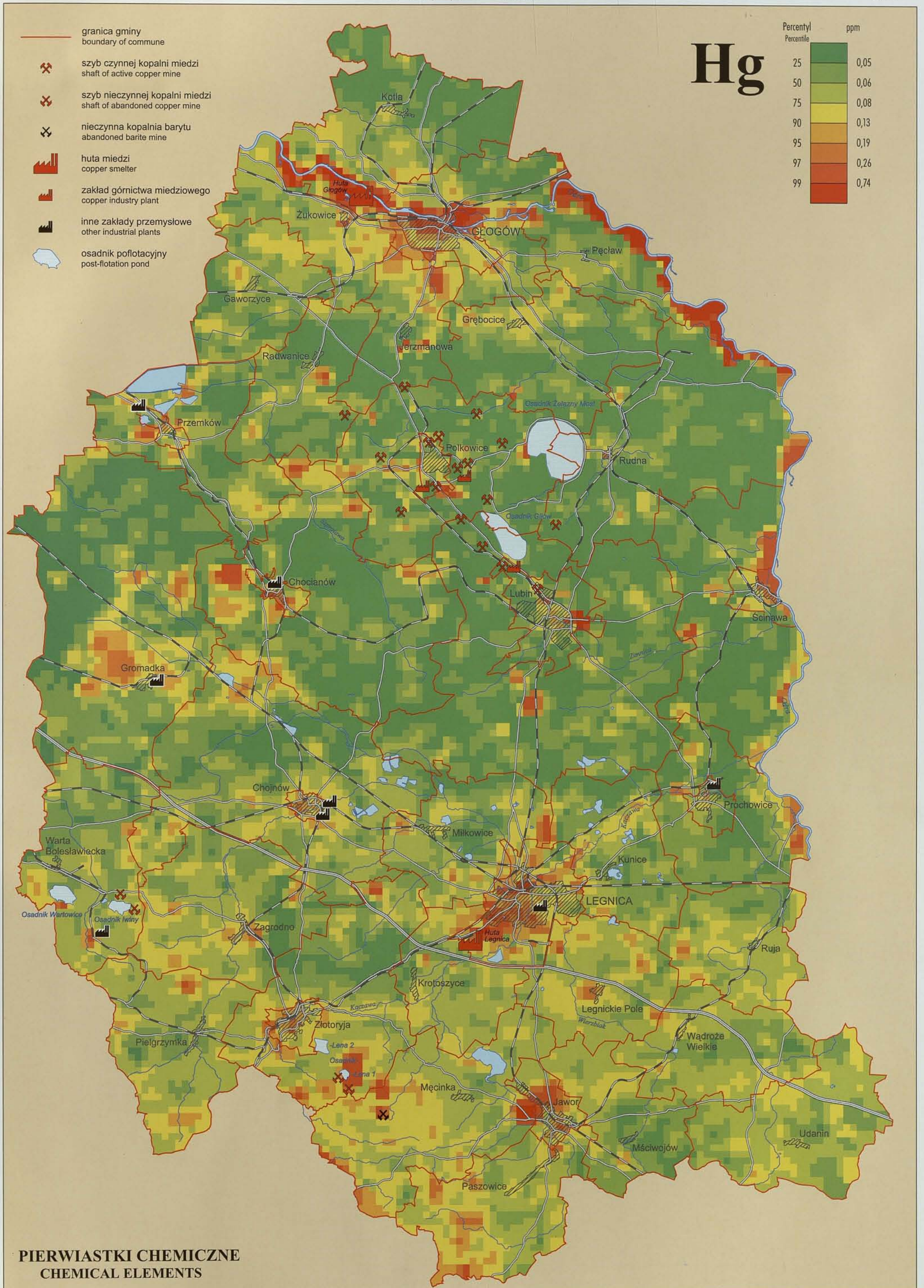
J. Lis, A. Pasieczna



Zawartość rtęci w glebach
Mercury content in soils

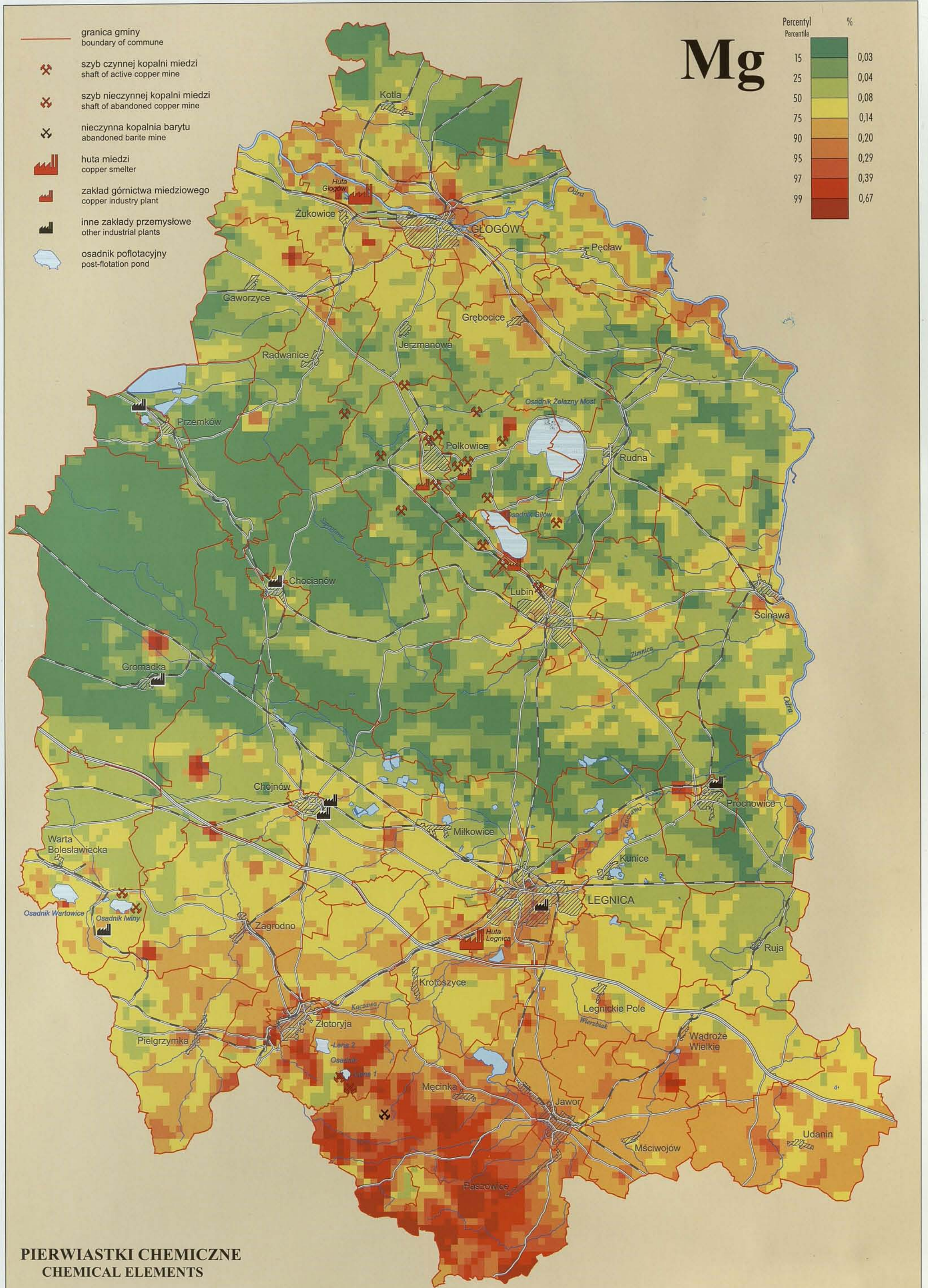
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica 19
Plate 19



Zawartość magnezu w glebach Magnesium content in soils

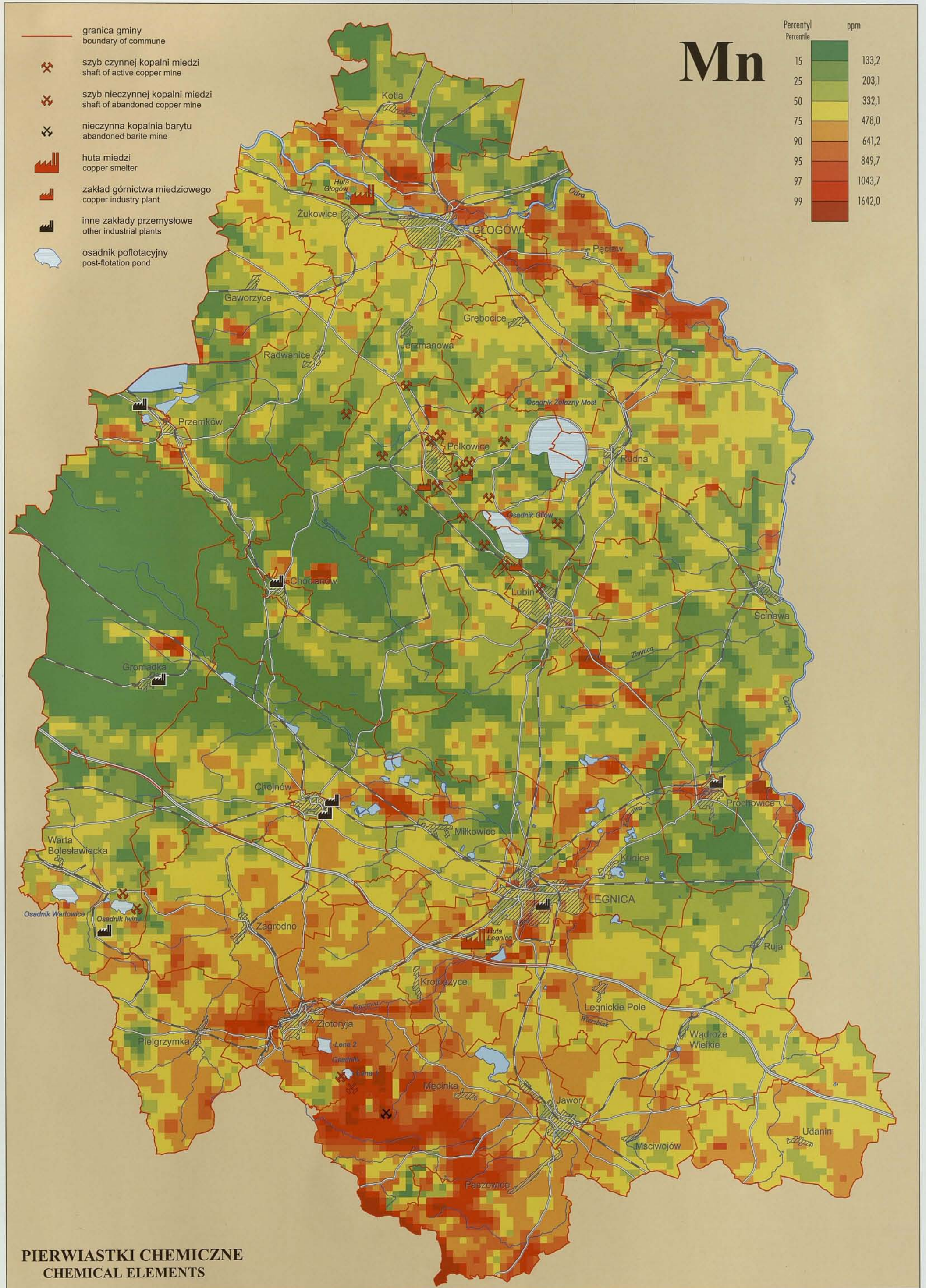
J. Lis, A. Pasieczna



Zawartość manganu w glebach
Manganese content in soils

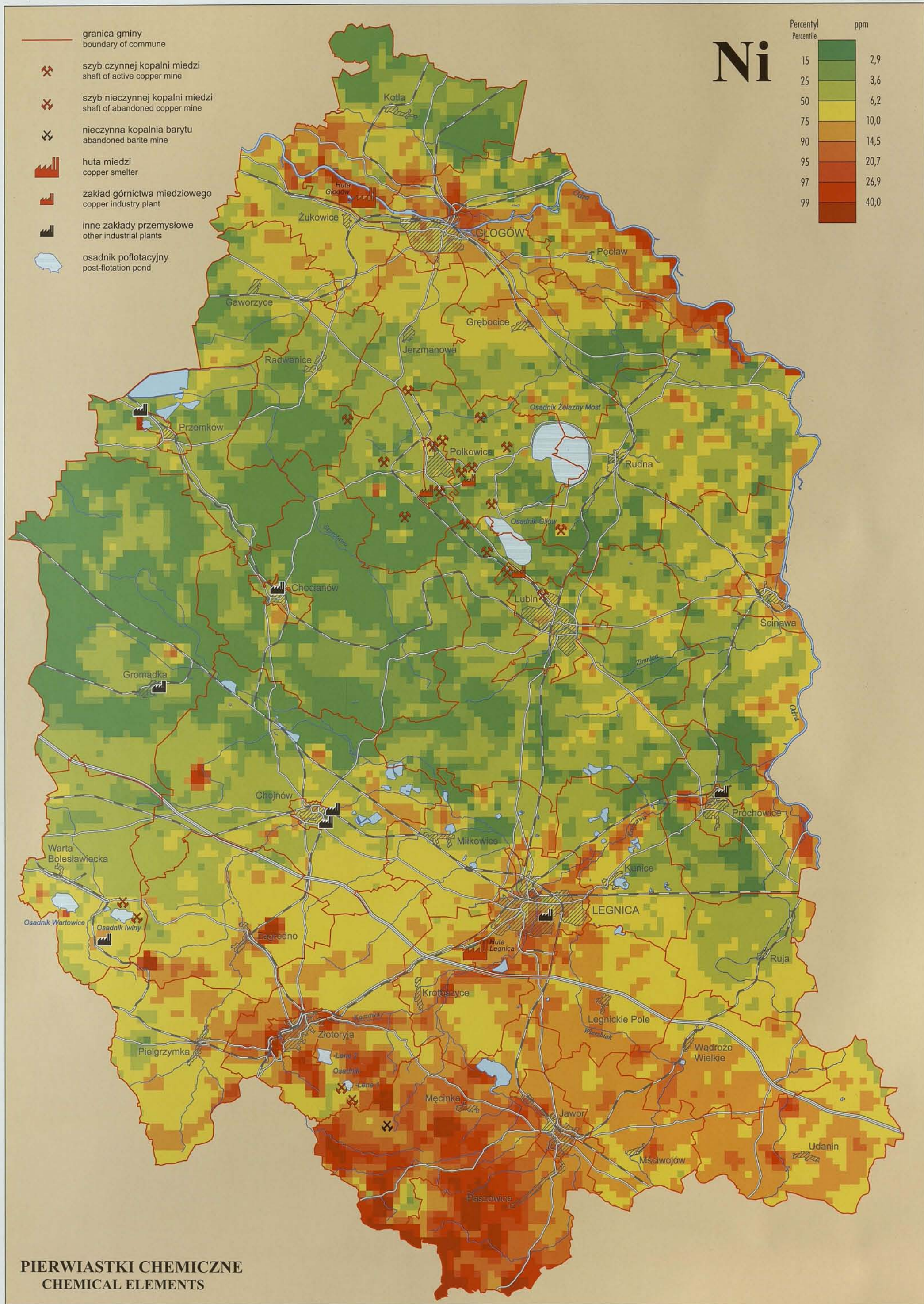
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica 21
Plate 21



Zawartość niklu w glebach Nickel content in soils

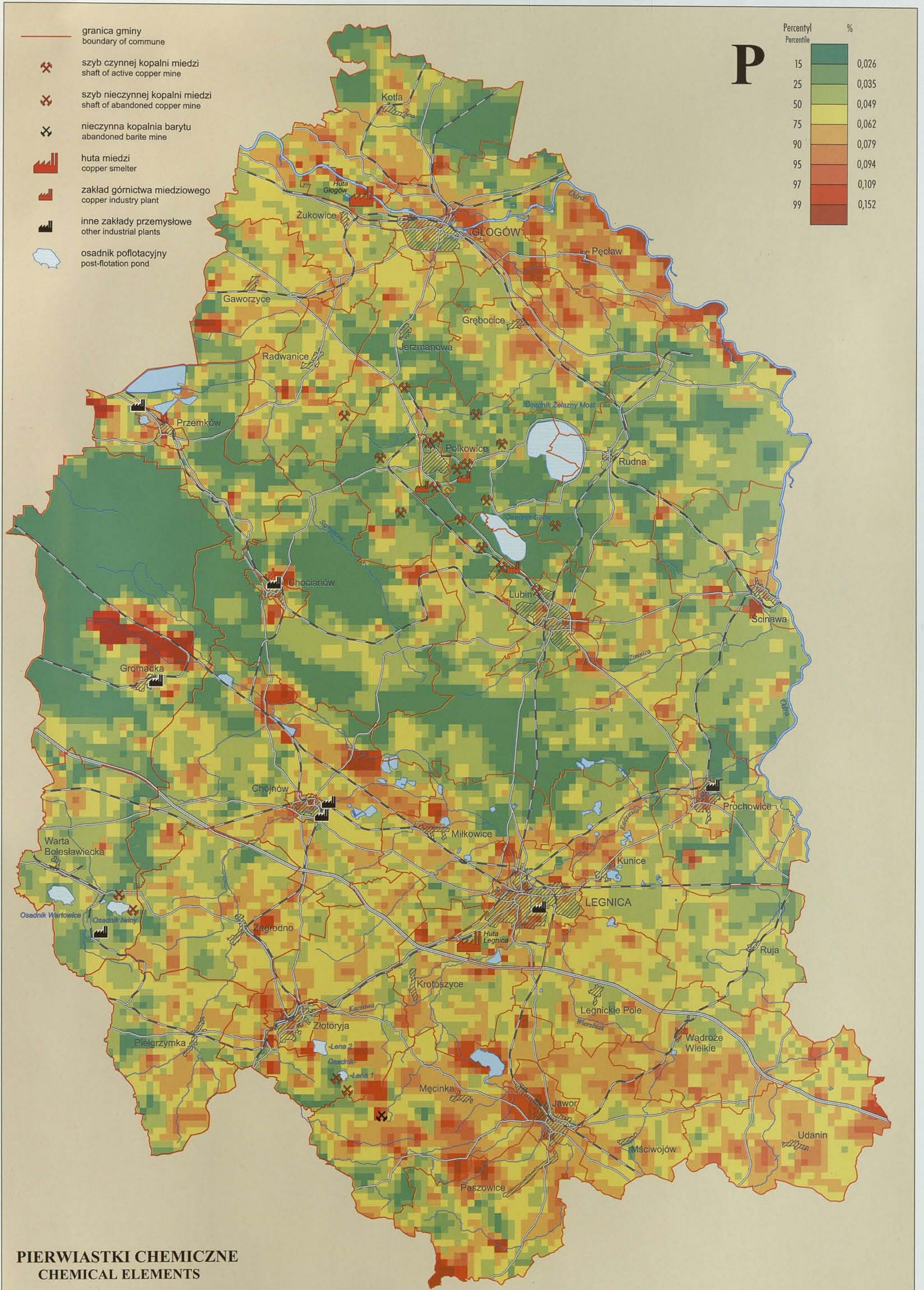
J. Lis, A. Pasieczna



Zawartość fosforu w glebach Phosphorous content in soils

J. Lis, A. Pasieczna

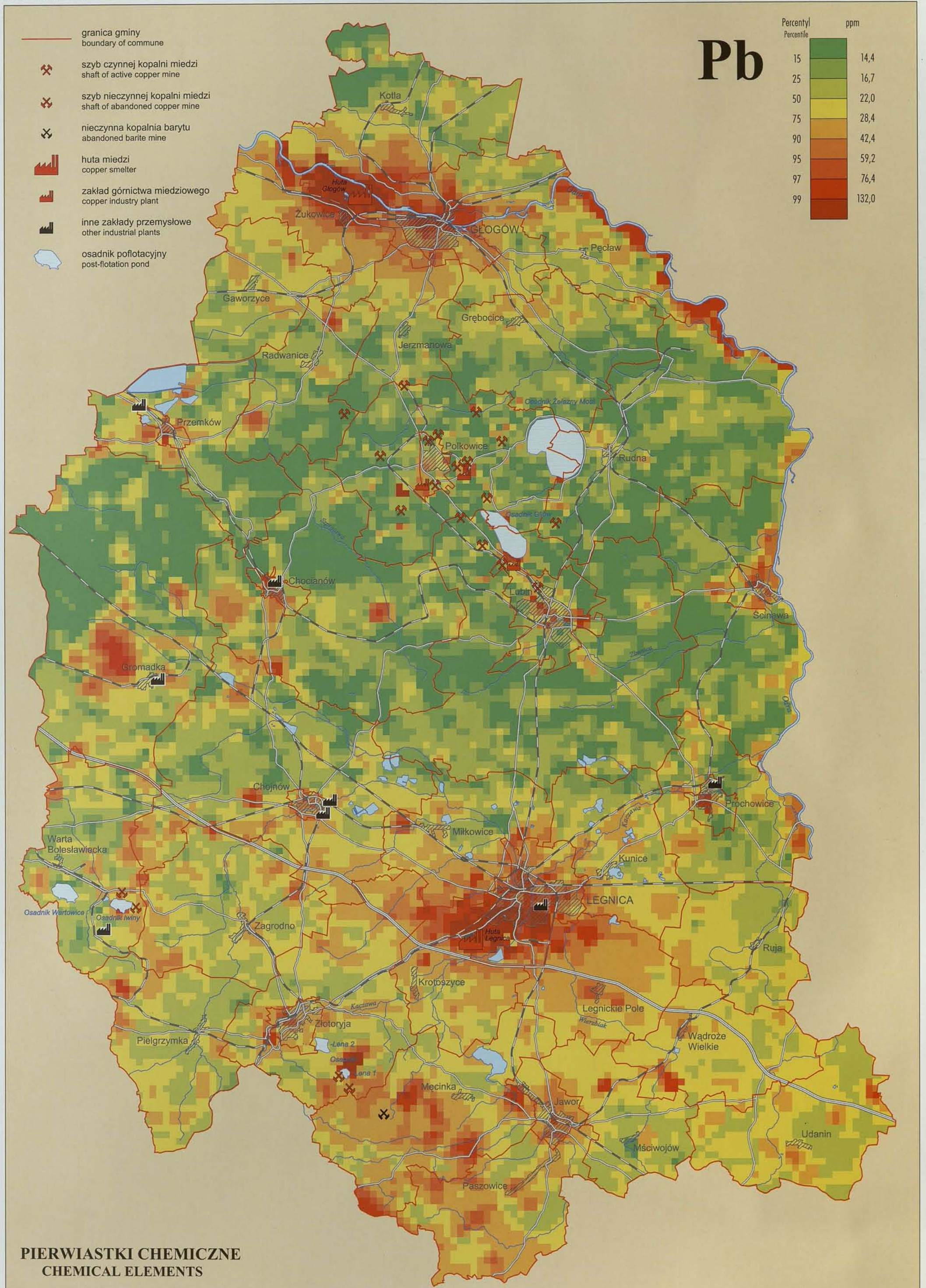
Tablica 23
Plate 23



**PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS**

Zawartość ołowiu w glebach
Lead content in soils

J. Lis, A. Pasieczna

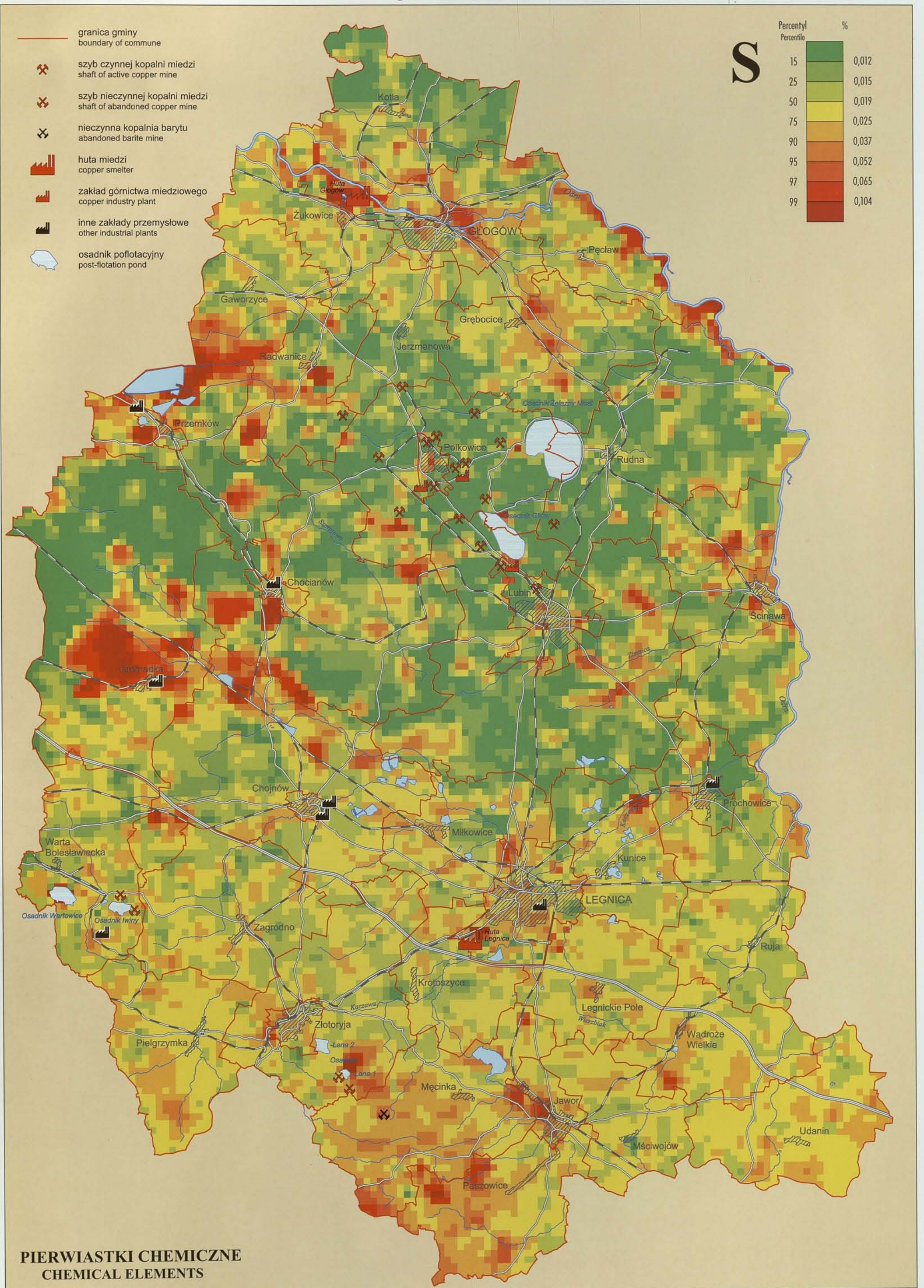


PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS

Zawartość siarki w glebach Sulphur content in soils

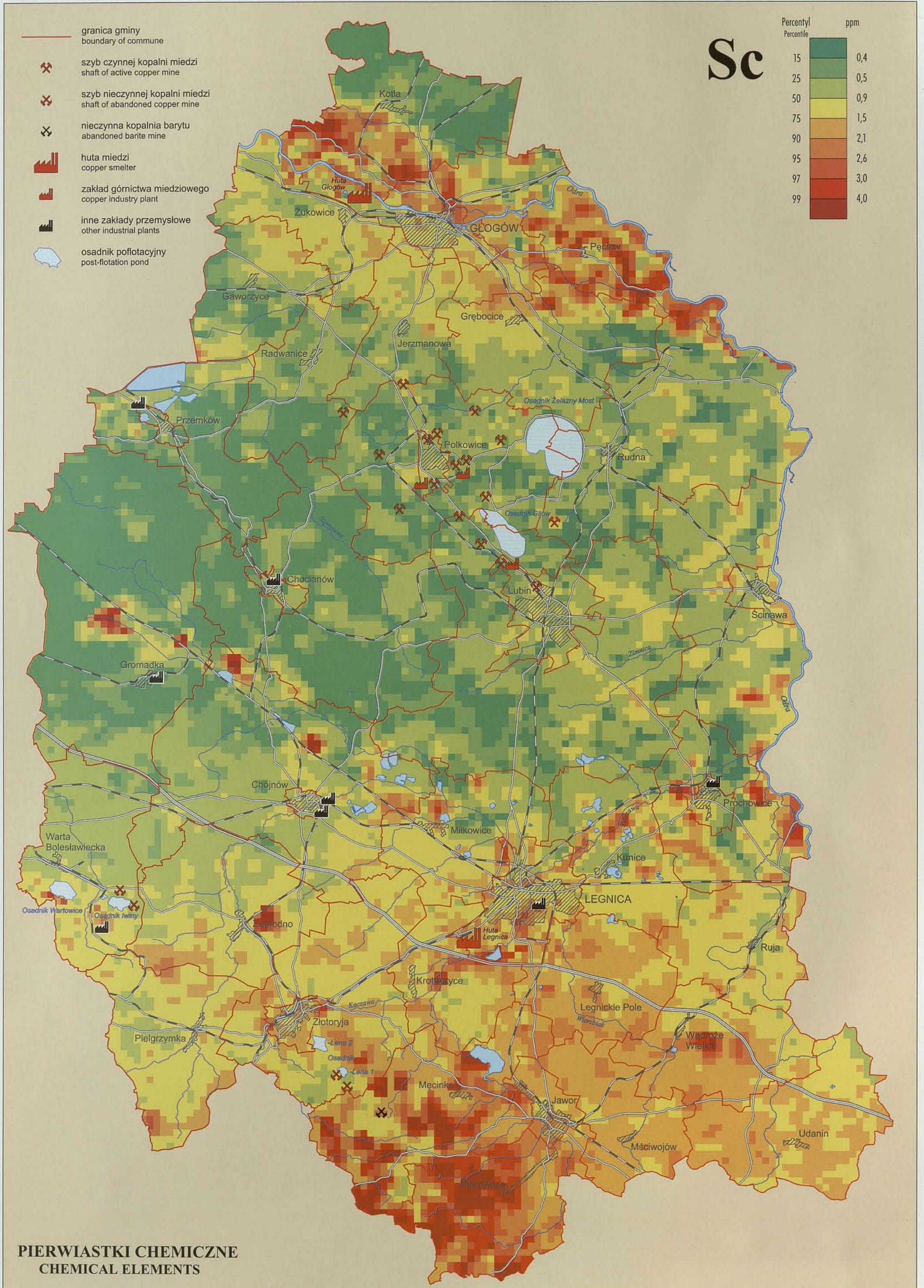
J. Lis, A. Pasieczna

Tablica
Plate 25



Zawartość skandiu w glebach Scandium content in soils

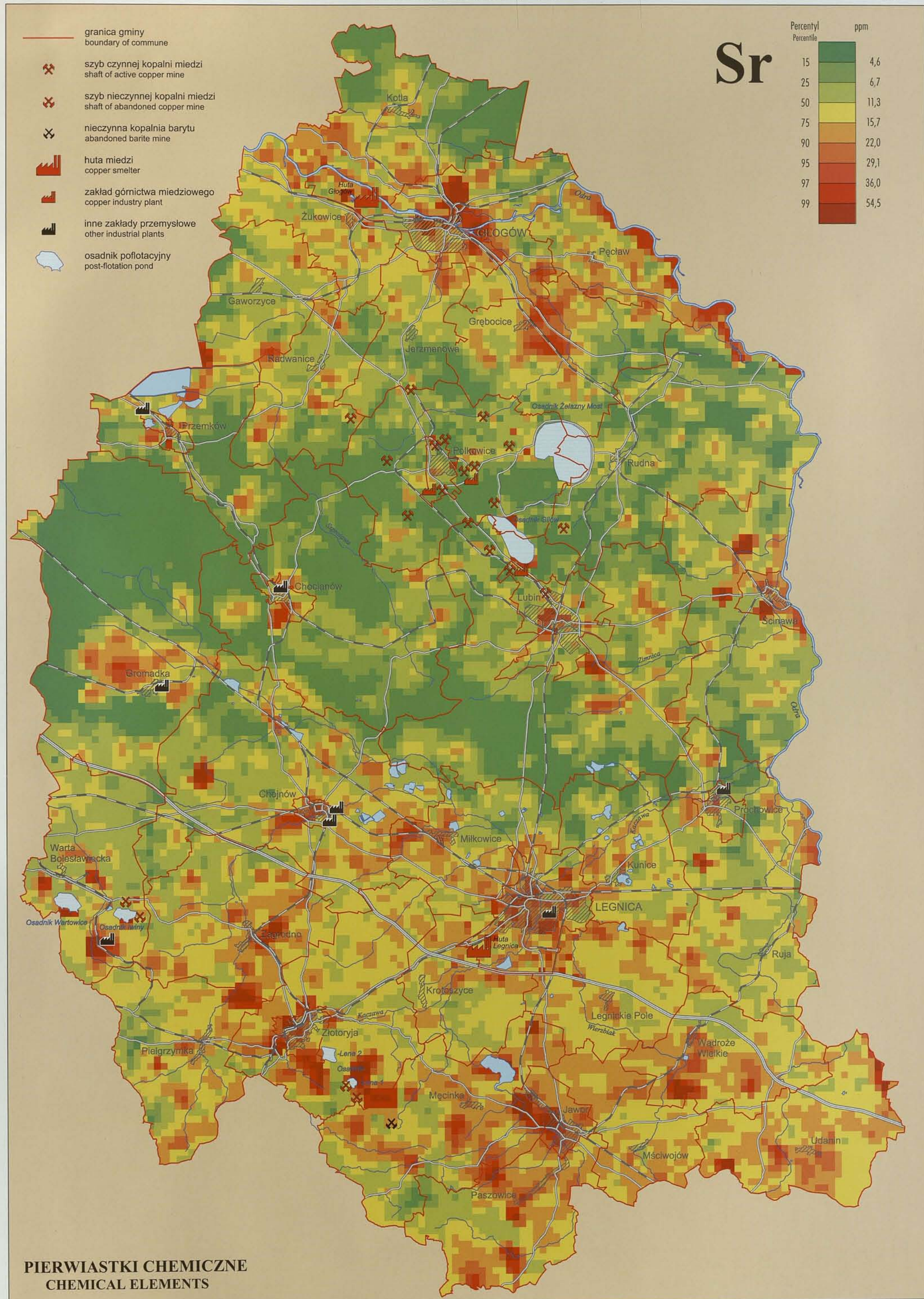
J. Lis, A. Pasieczna



**PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS**

Zawartość strontu w glebach
Strontium content in soils

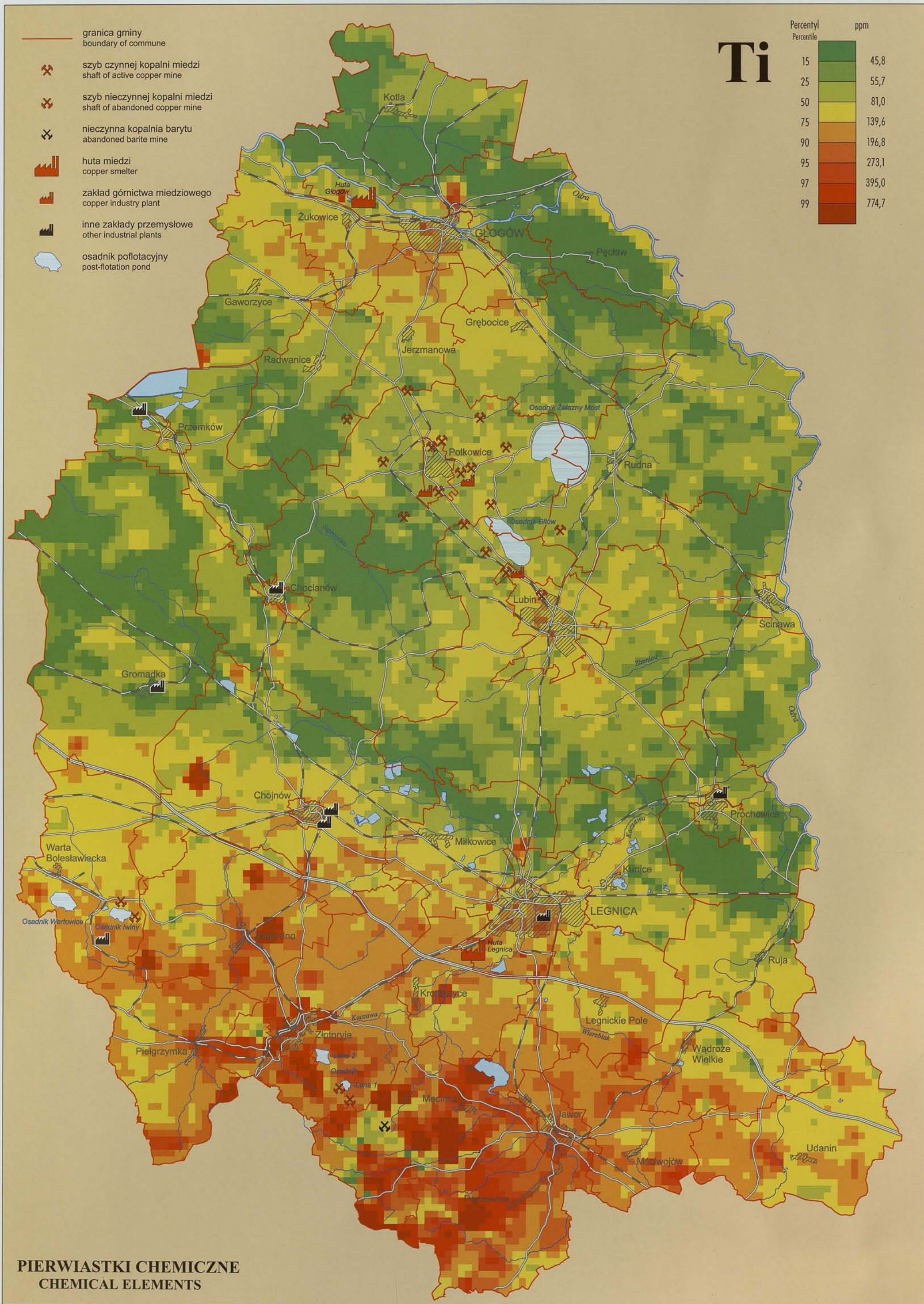
J. Lis, A. Pasieczna



PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS

Zawartość tytanu w glebach Titanium content in soils

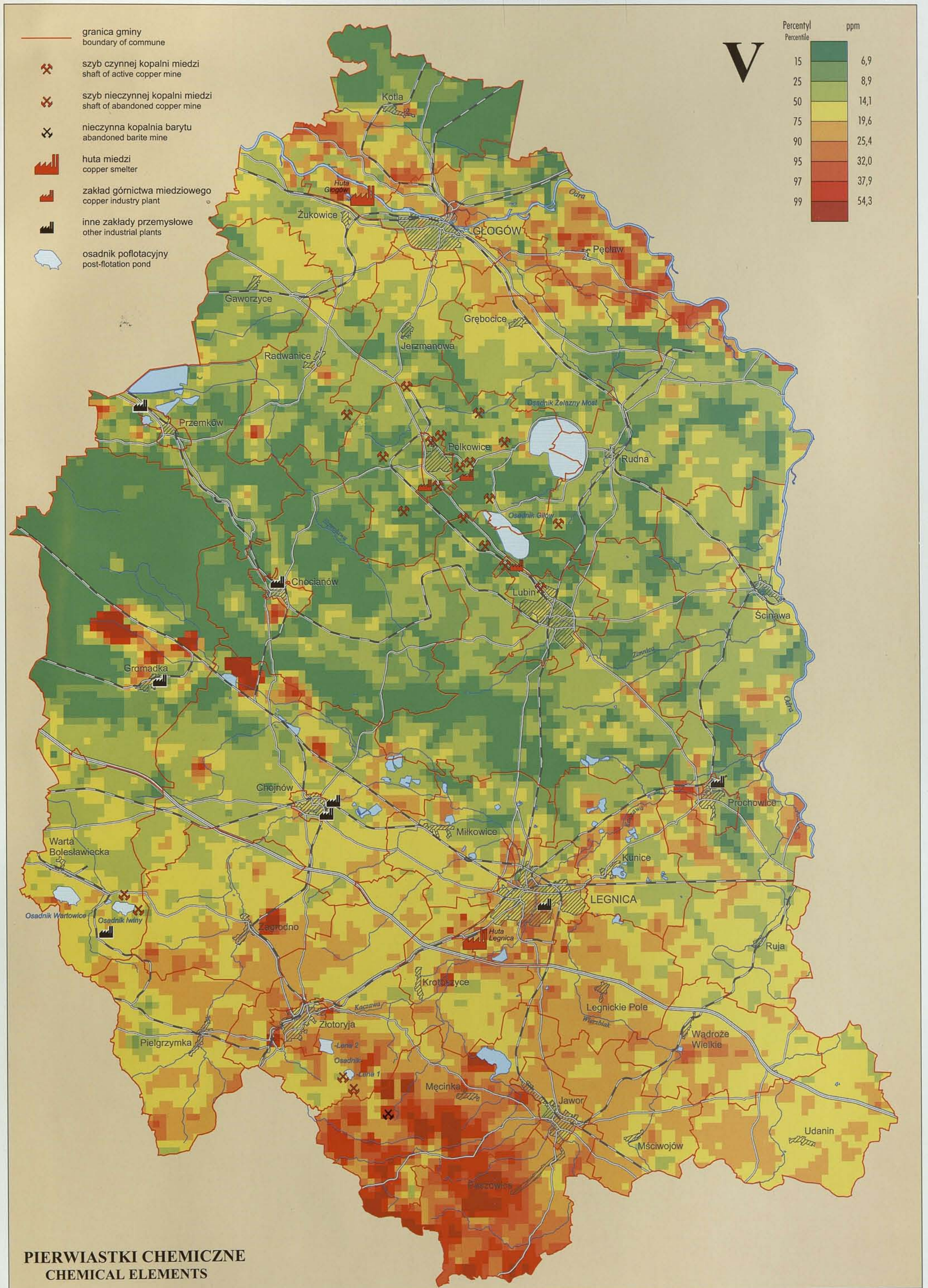
J. Lis, A. Pasieczna



**PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS**

Zawartość wanadu w glebach Vanadium content in soils

J. Lis, A. Pasieczna

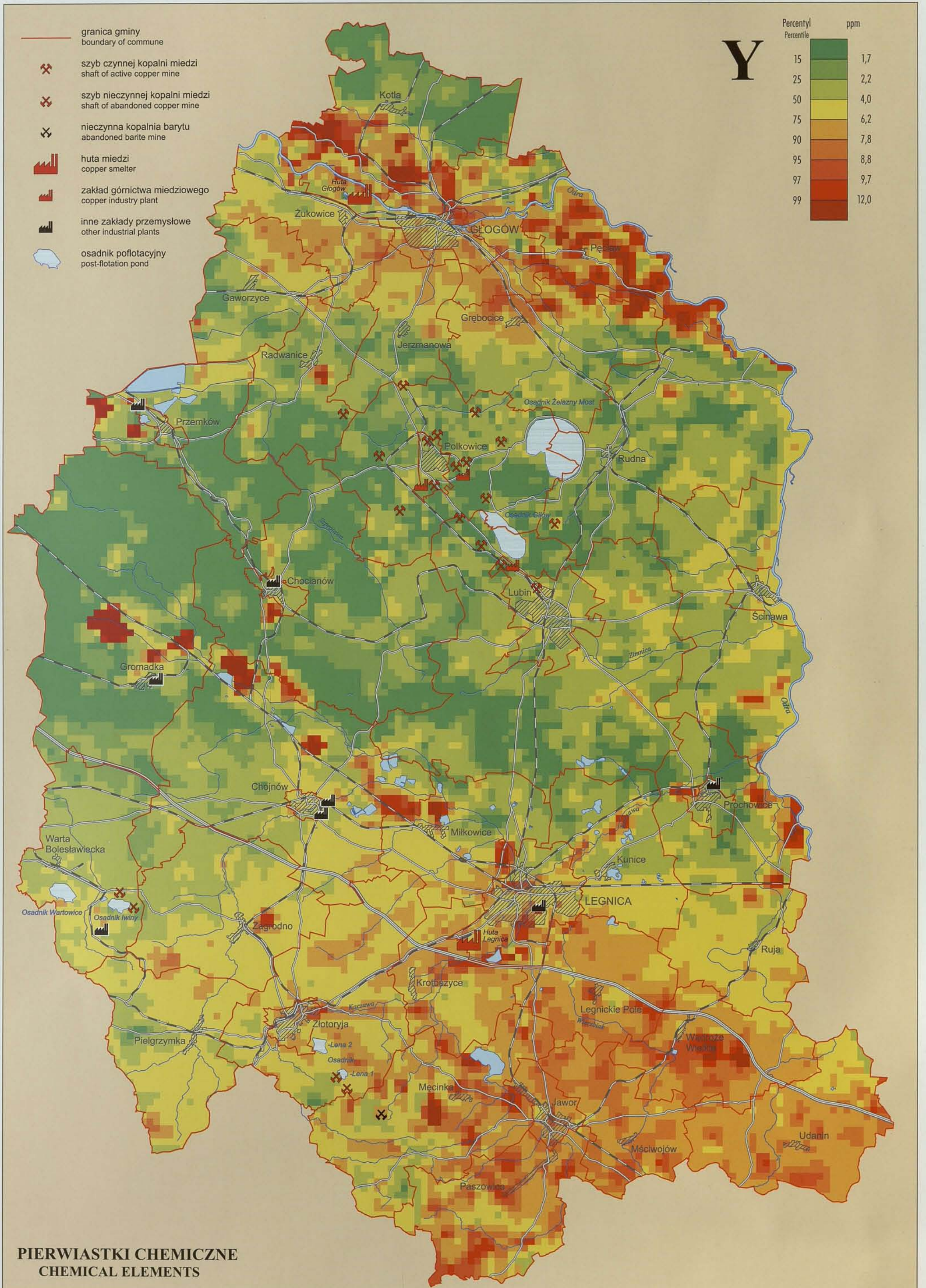


**PIERWIĄSTKI CHEMICZNE
CHEMICAL ELEMENTS**

Zawartość itru w glebach
Yttrium content in soils

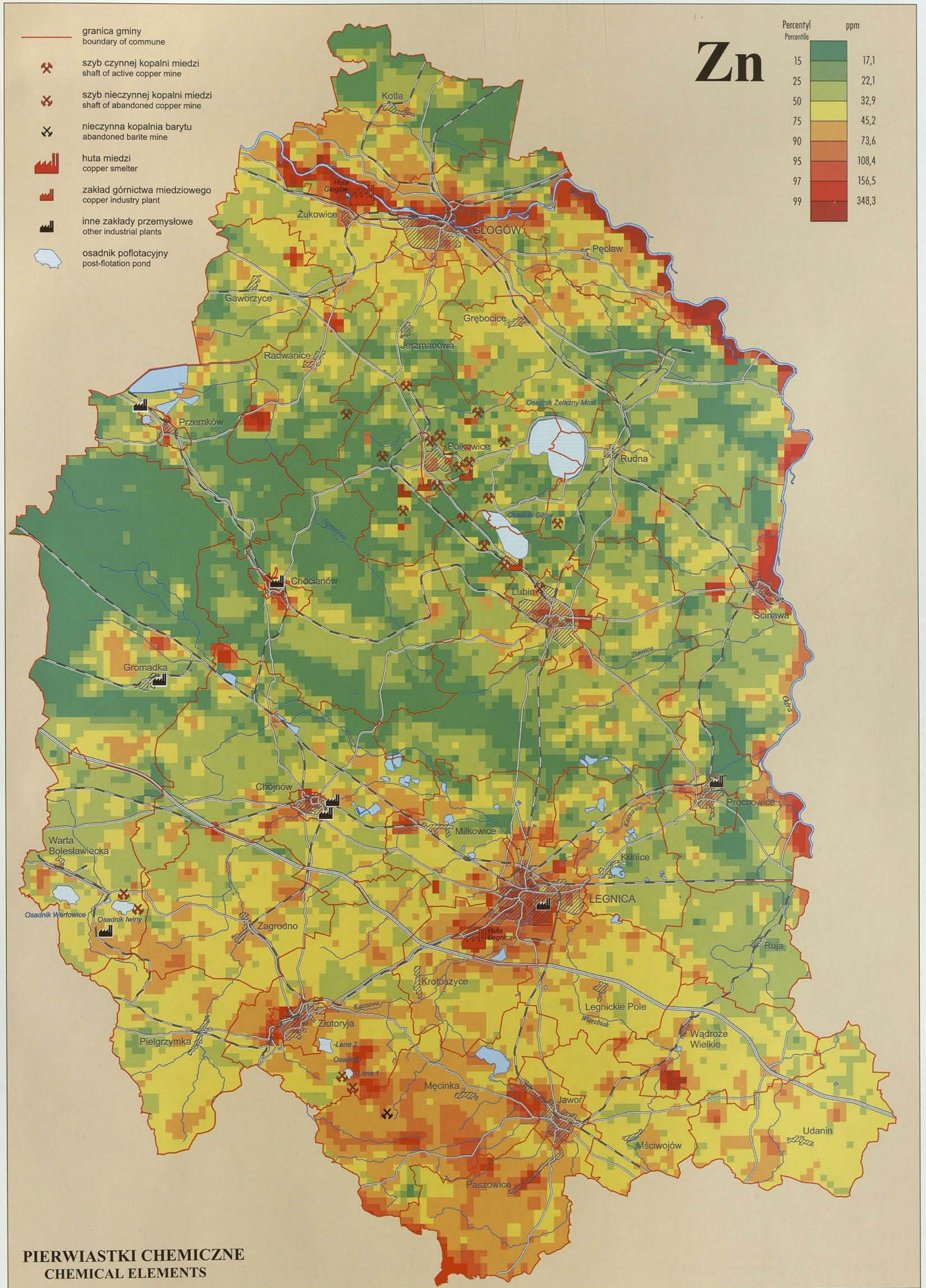
Tablica 30
Plate 30

J. Lis, A. Pasieczna



Zawartość cynku w glebach
Zinc content in soils

J. Lis, A. Pasieczna



Suma 3-pierścieniowych węglodorów aromatycznych w glebach
Total content of 3-cyclic aromatic hydrocarbons in soils

I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokołowska

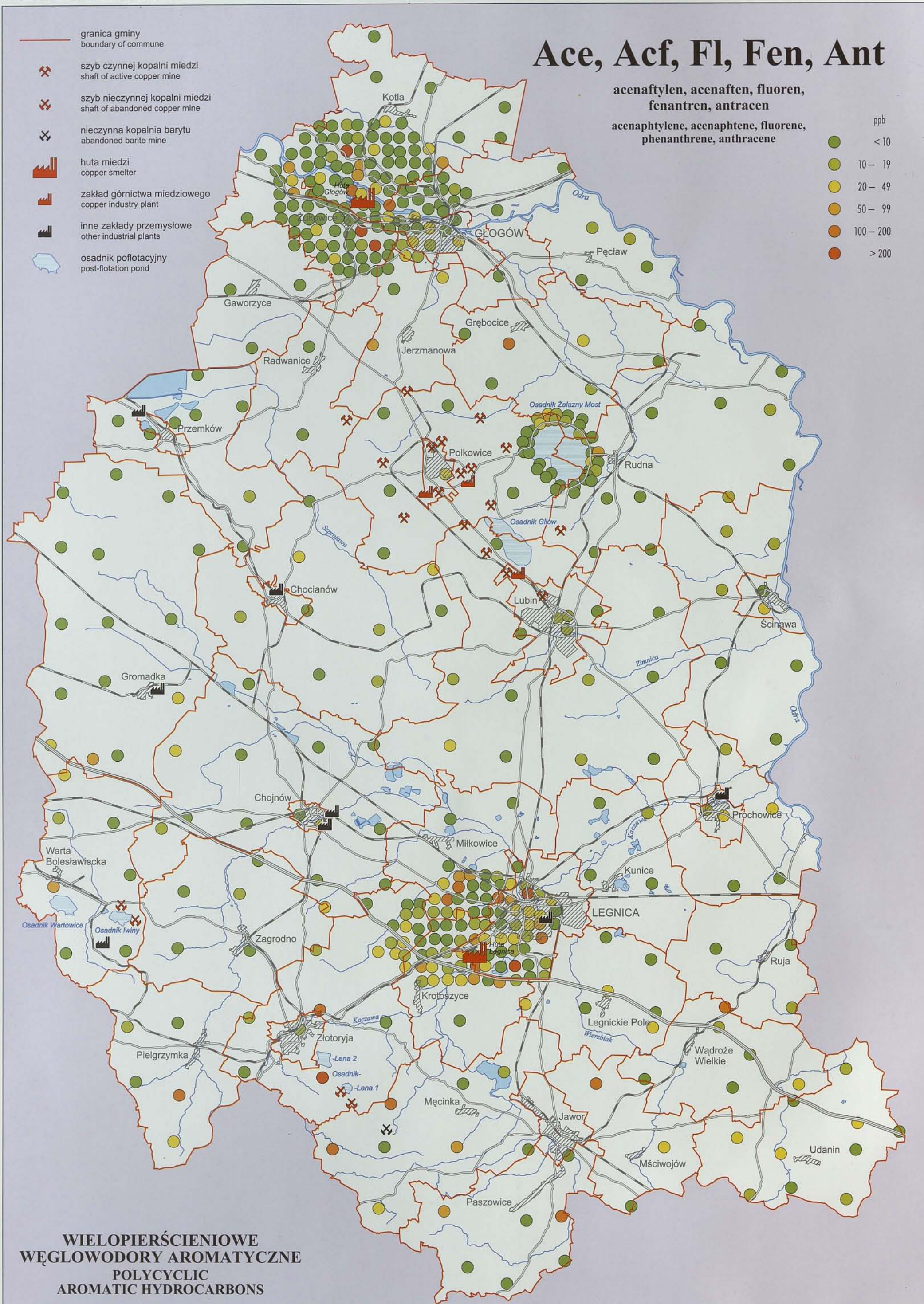
Ace, Acf, Fl, Fen, Ant

acenaftylen, acenaften, fluoren,
fenantren, antracen

acenaphtylene, acenaphtene, fluorene,
phenanthrene, anthracene

ppb

●	< 10
●	10 - 19
●	20 - 49
●	50 - 99
●	100 - 200
●	> 200

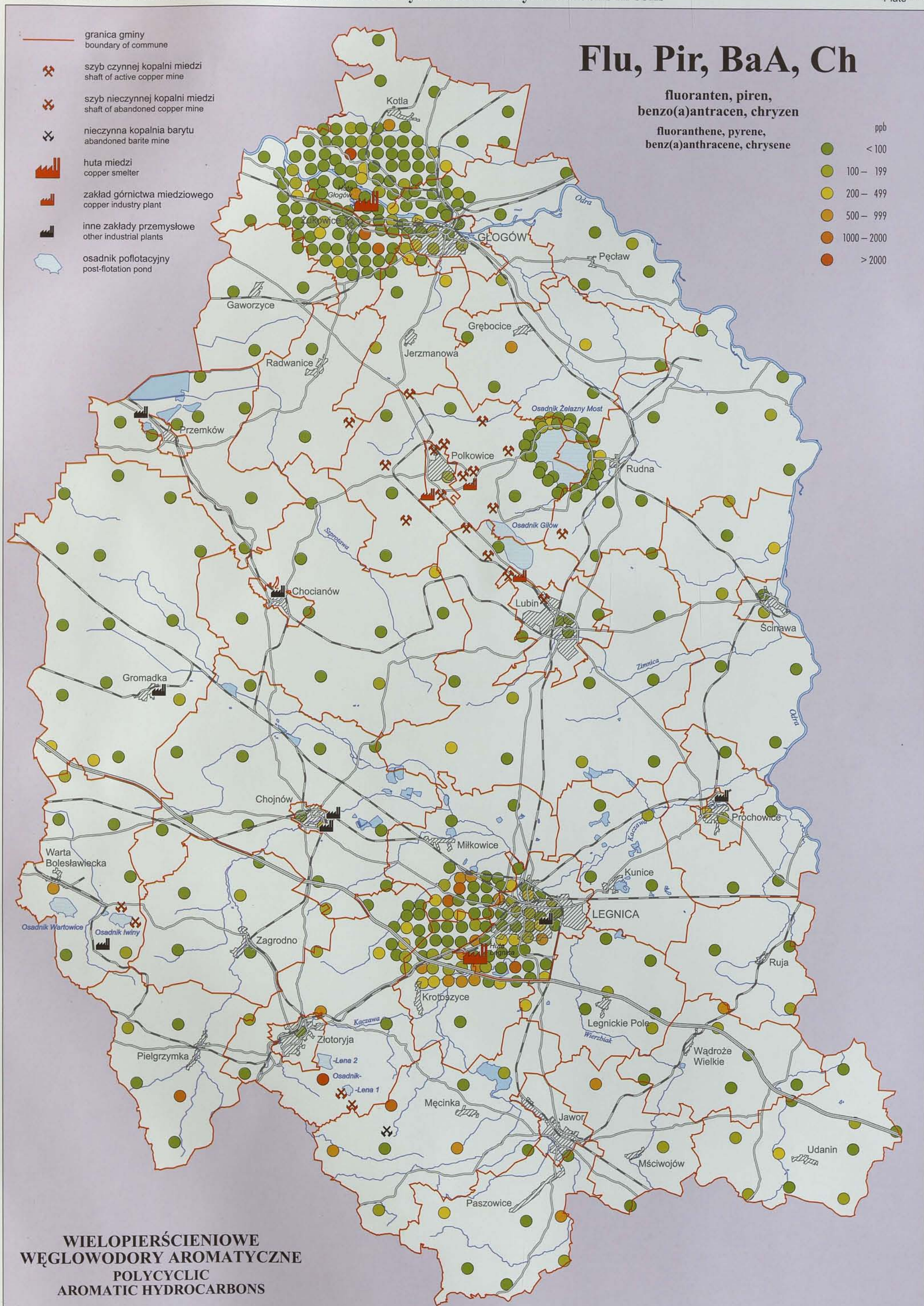


**WIELOPIERŚCIENIOWE
WĘGLOWODORY AROMATYCZNE
POLYCYCLIC
AROMATIC HYDROCARBONS**

Suma 4-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach
Total content of 4-cyclic aromatic hydrocarbons in soils

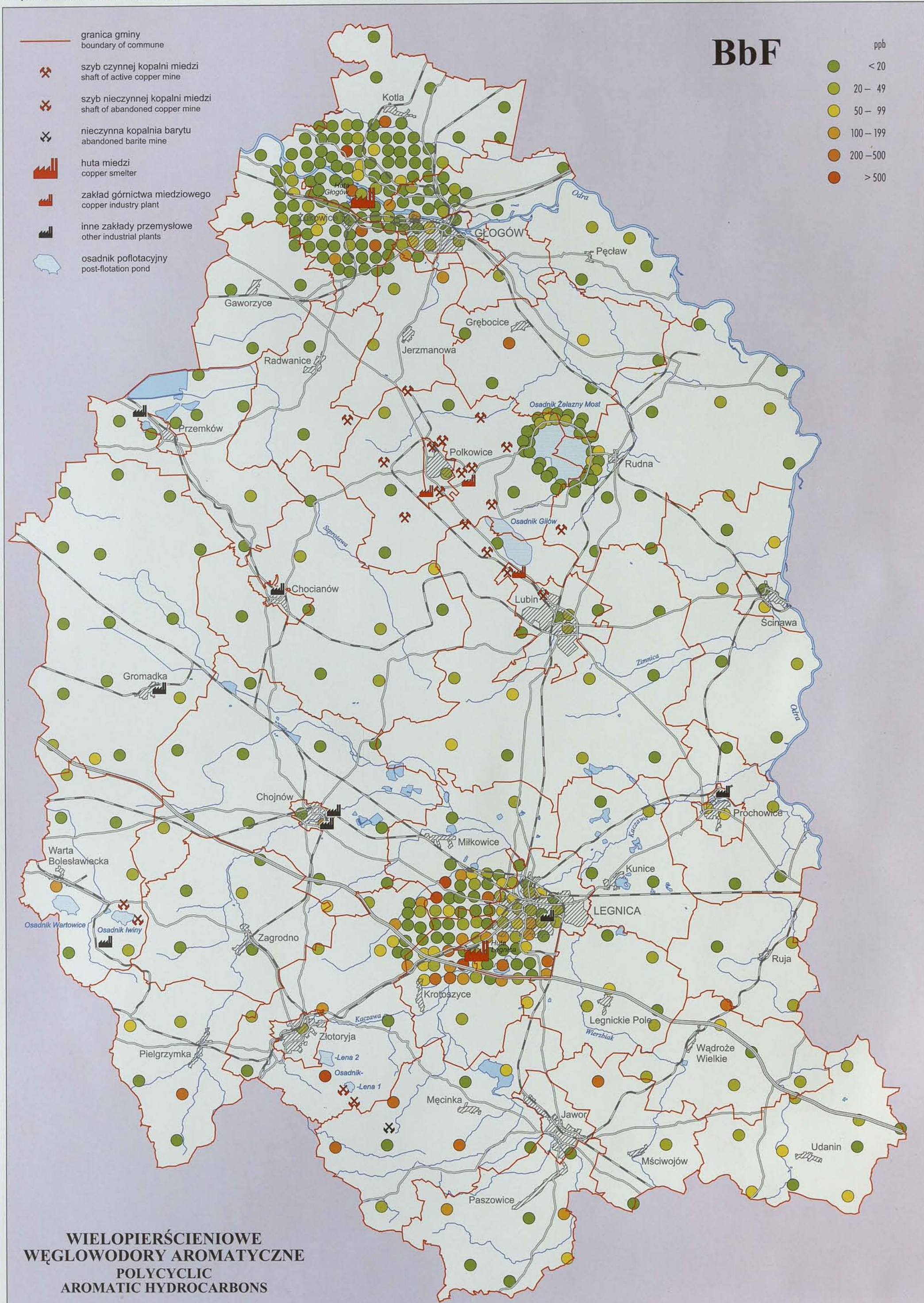
I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokołowska

Tablica 33
Plate



Zawartość benzo(b)fluorantenu w glebach
Benzo(b)fluoranthene content in soils

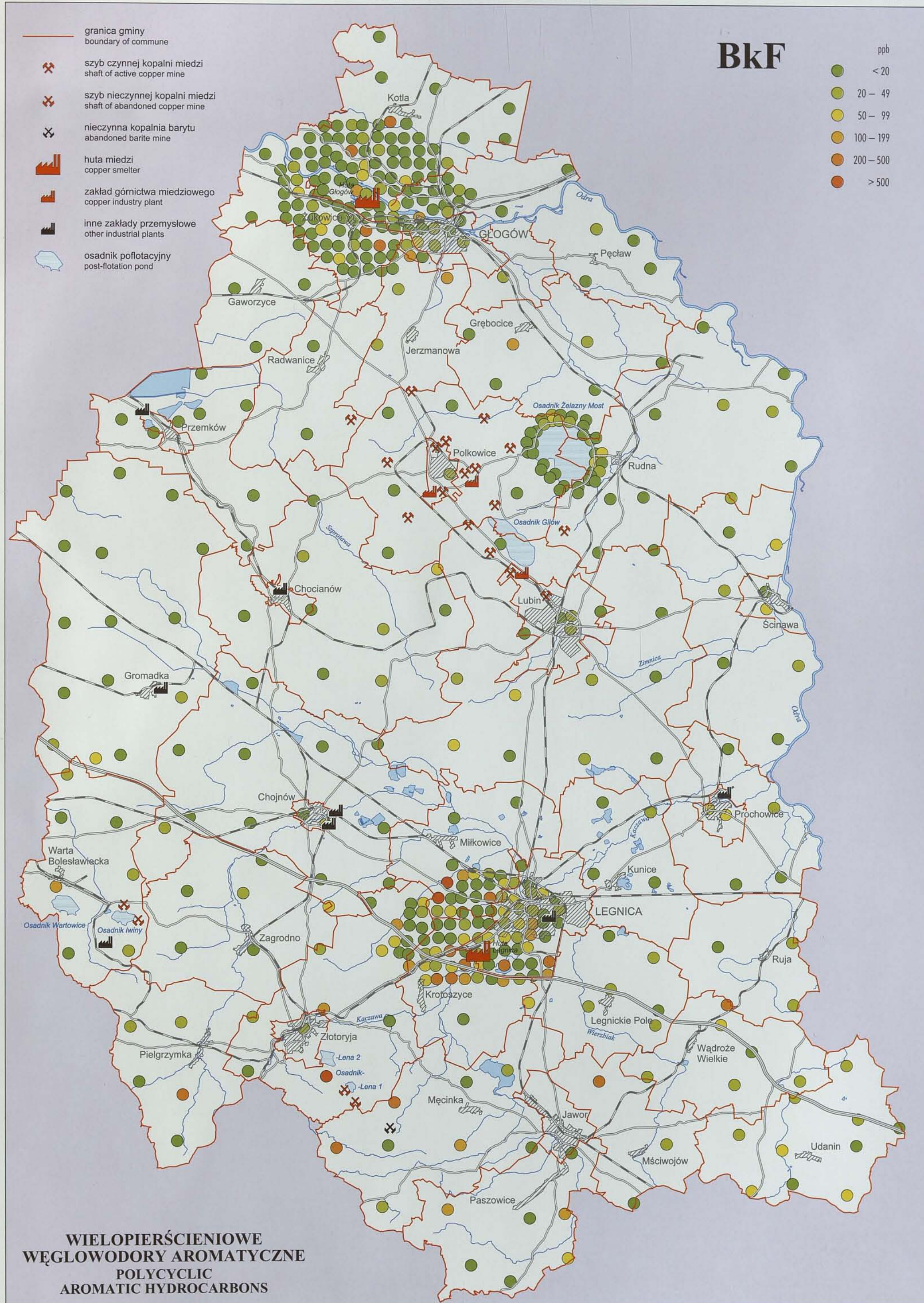
I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokółowska



Zawartość benzo(k)fluorantenu w glebach
Benzo(k)fluoranthene content in soils

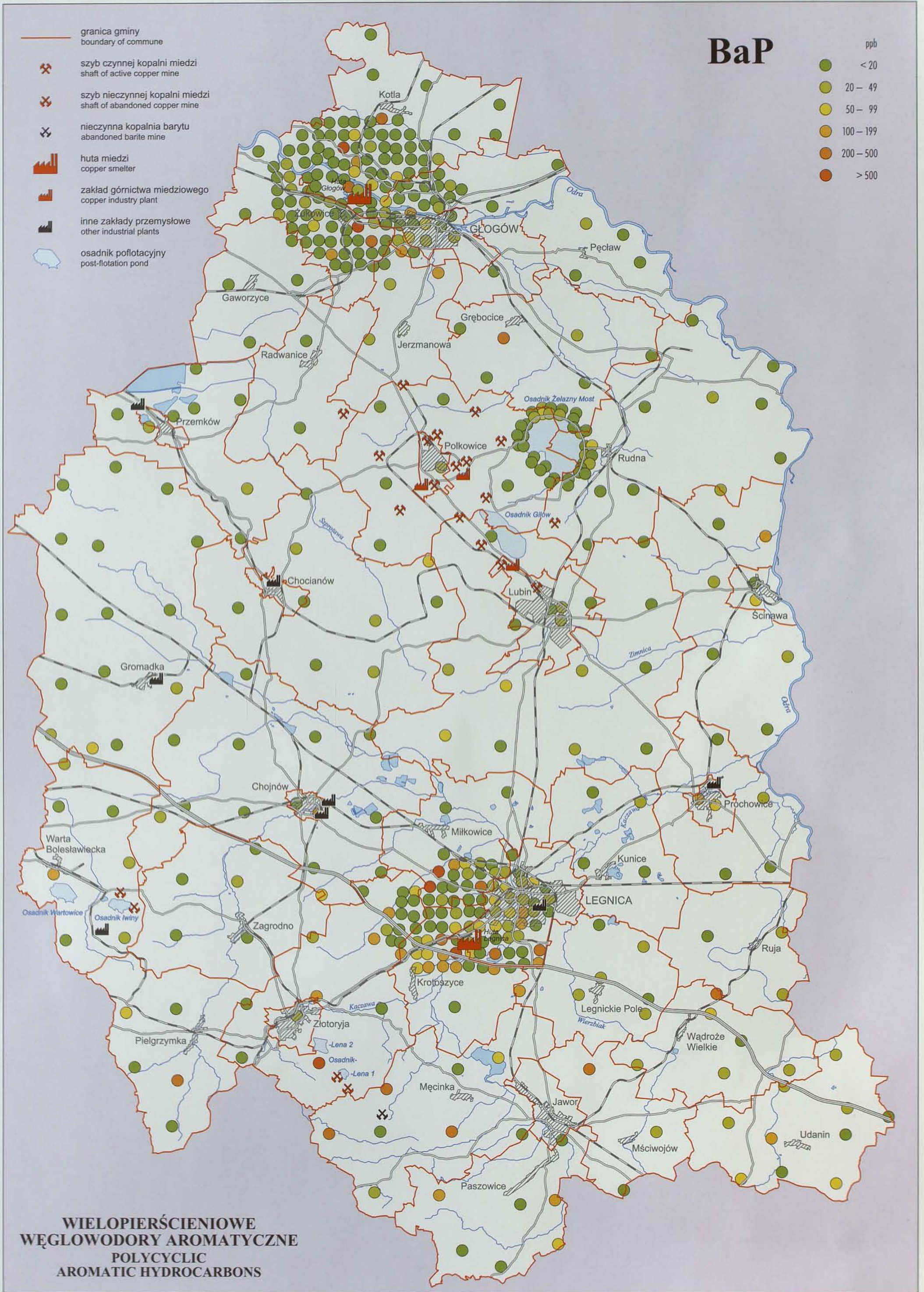
I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokolowska

Tablica 35
Plate 35

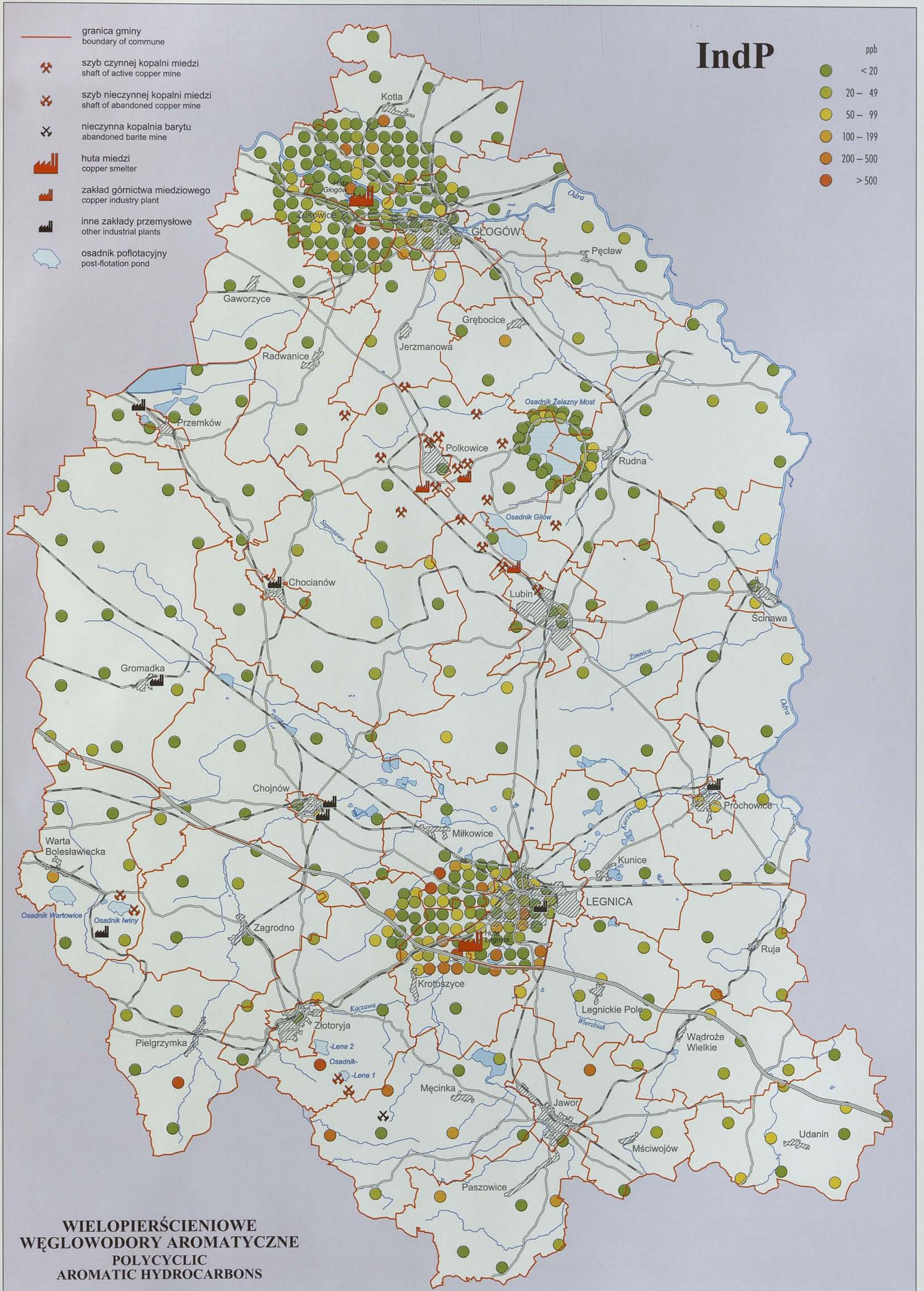


Zawartość benzo(a)pirenu w glebach
Benzo(a)pyrene content in soils

I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokołowska

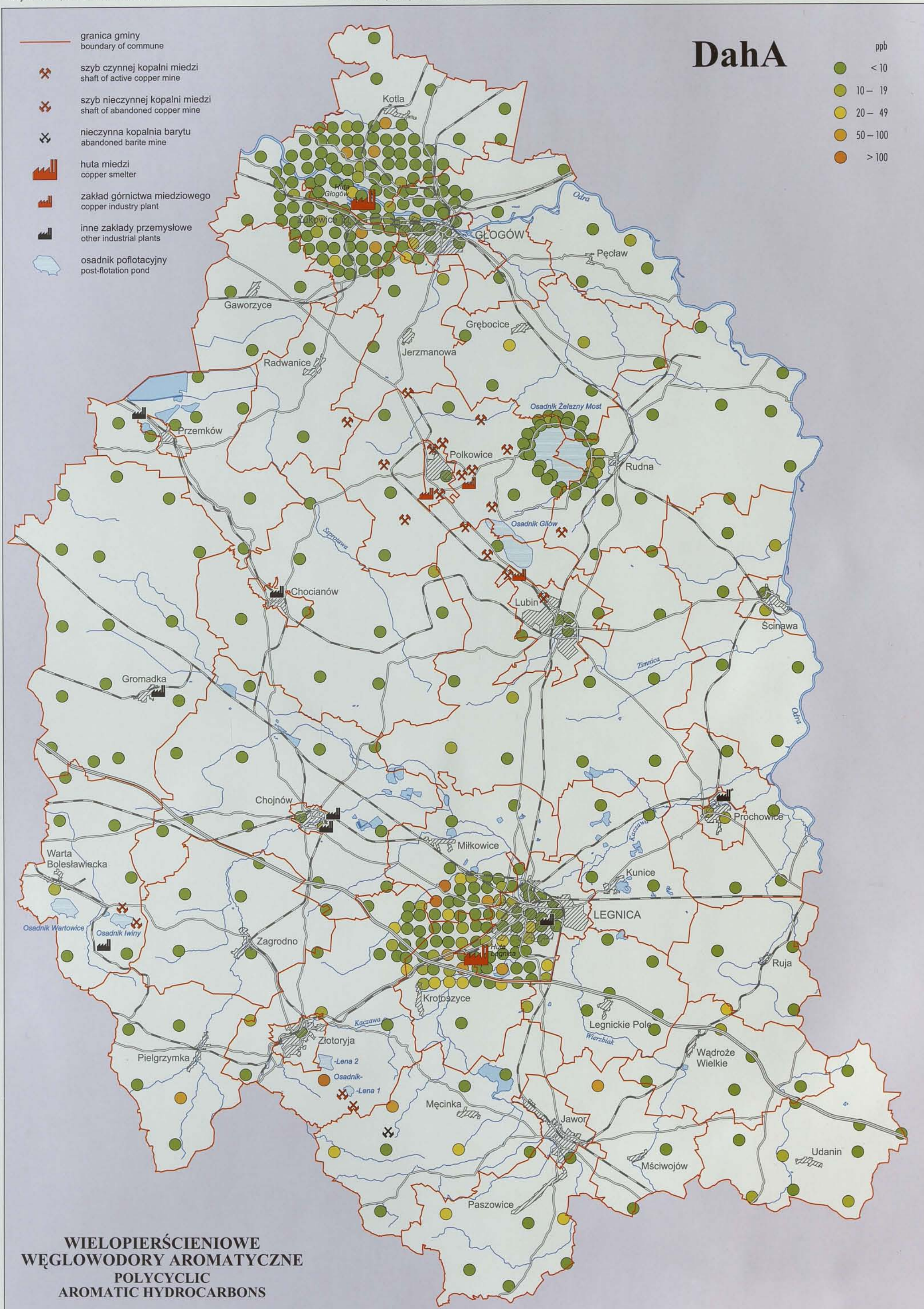


Zawartość indeno(1,2,3-cd)pirenu w glebach
 Indeno(1,2,3-cd)pyrene content in soils



Zawartość dibenzo(a,h)antracenu w glebach
Dibenz(a,h)anthracene content in soils

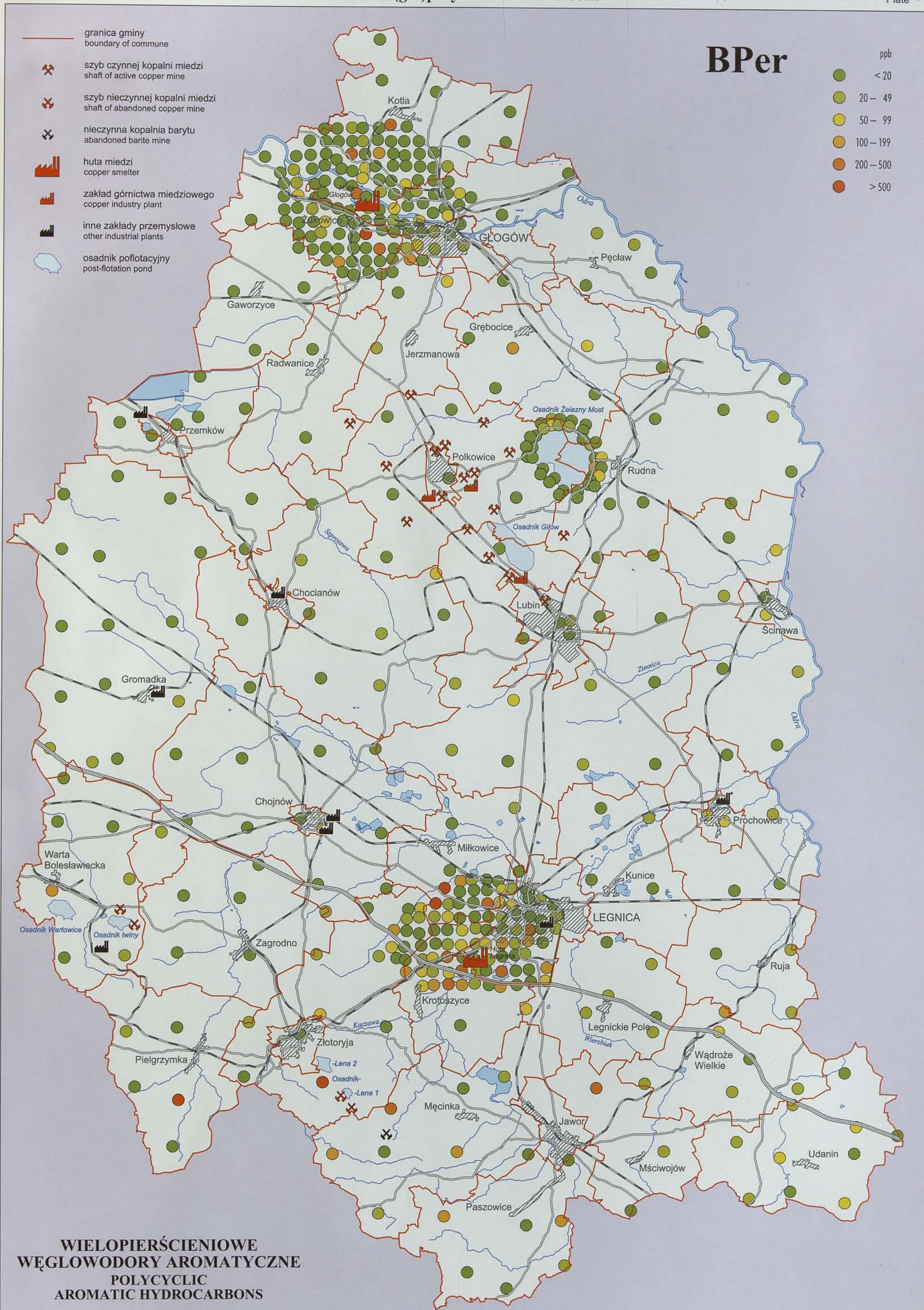
I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokółowska



Zawartość benzo(ghi)peryleny w glebach
Benzo(ghi)perylene content in soils

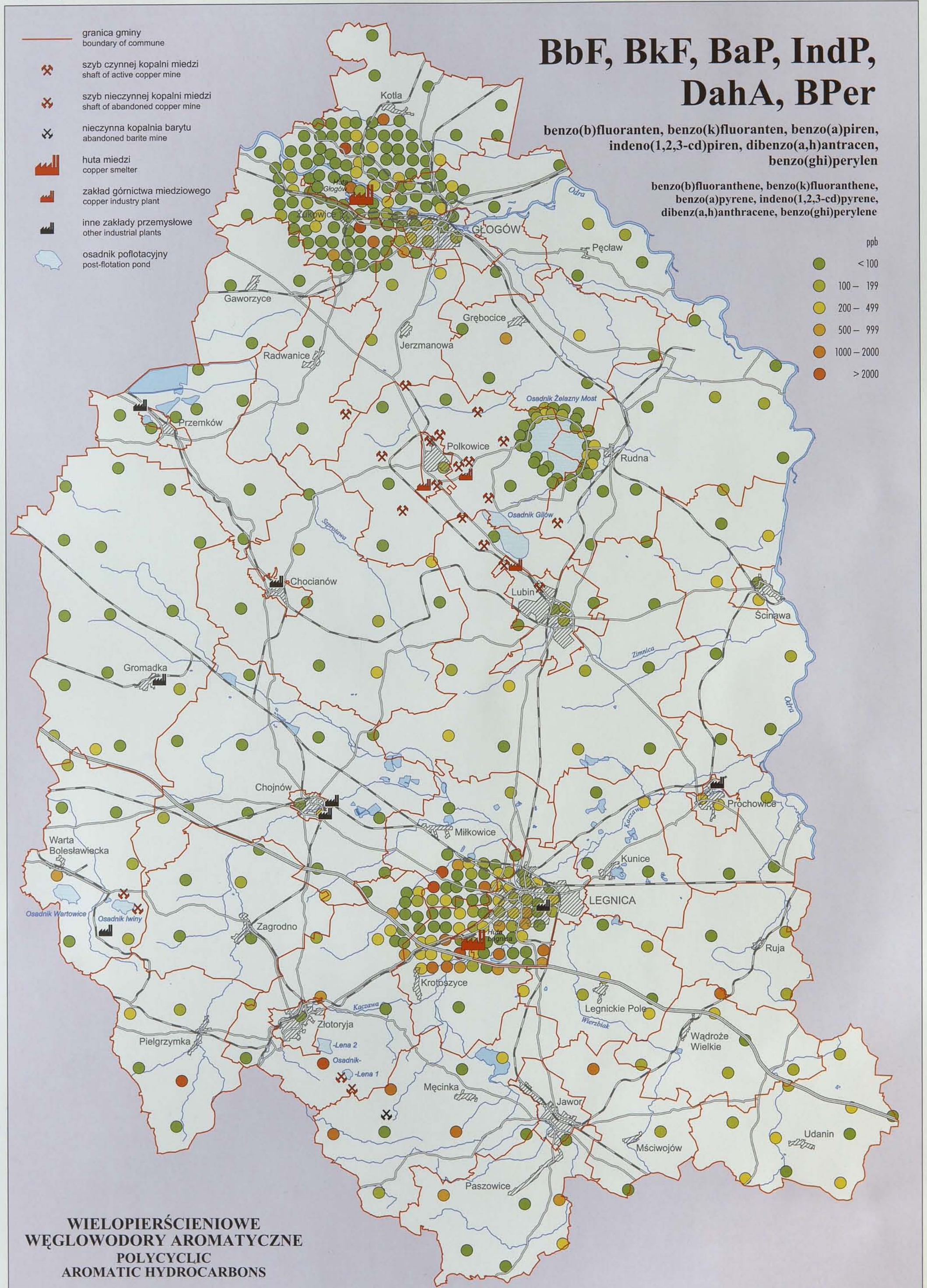
I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokółowska

Tablica 39
Plate 39



Suma 5- i 6-pierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach
 Total content of 5- and 6-cyclic aromatic hydrocarbons in soils

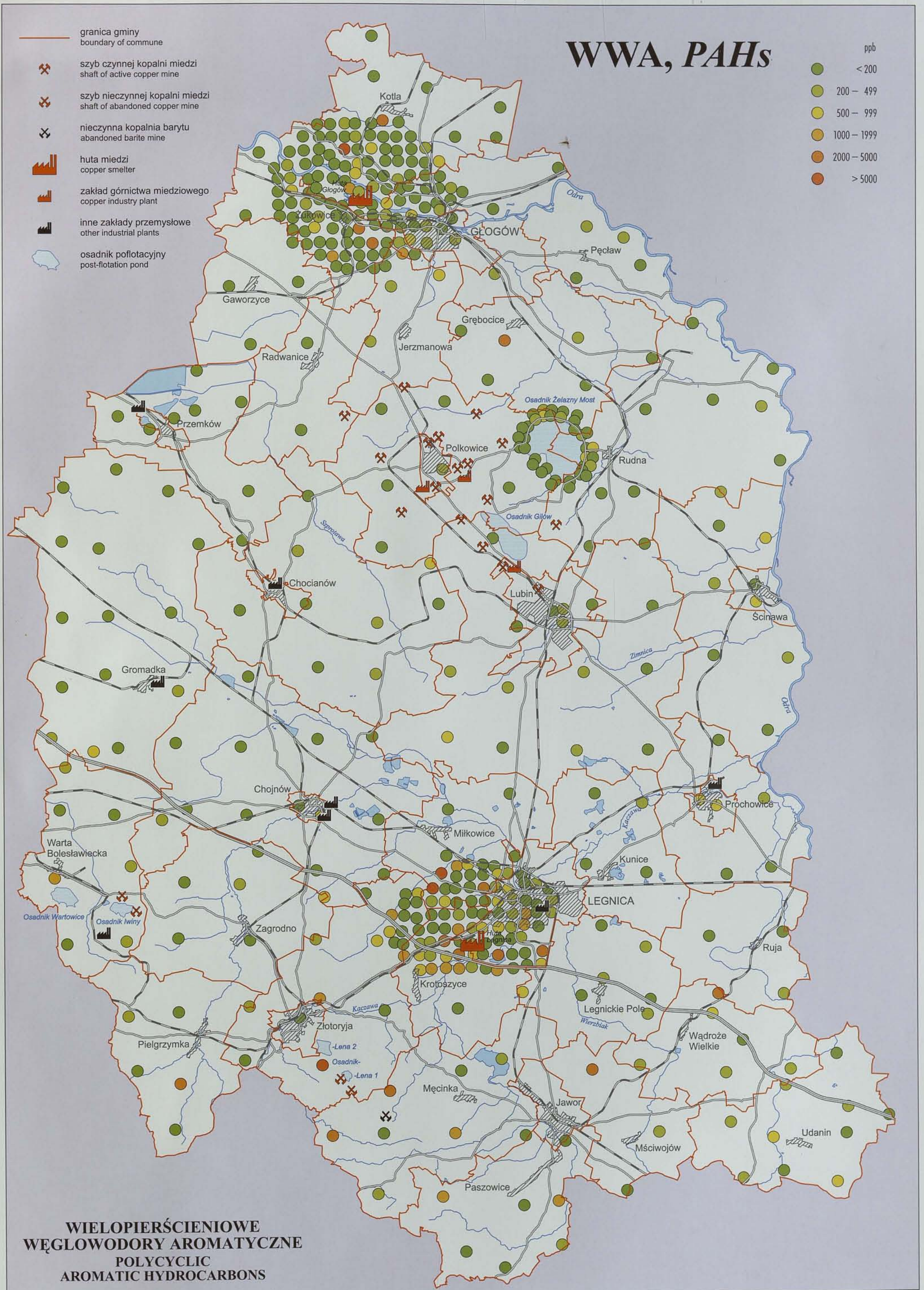
I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokółowska



Suma wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach
Total content of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils

I. Bojakowska, T. Gliwicz, G. Sokółowska

Tablica Plate 41



Punkty pomiarów radiometrycznych Radiometric measurement points

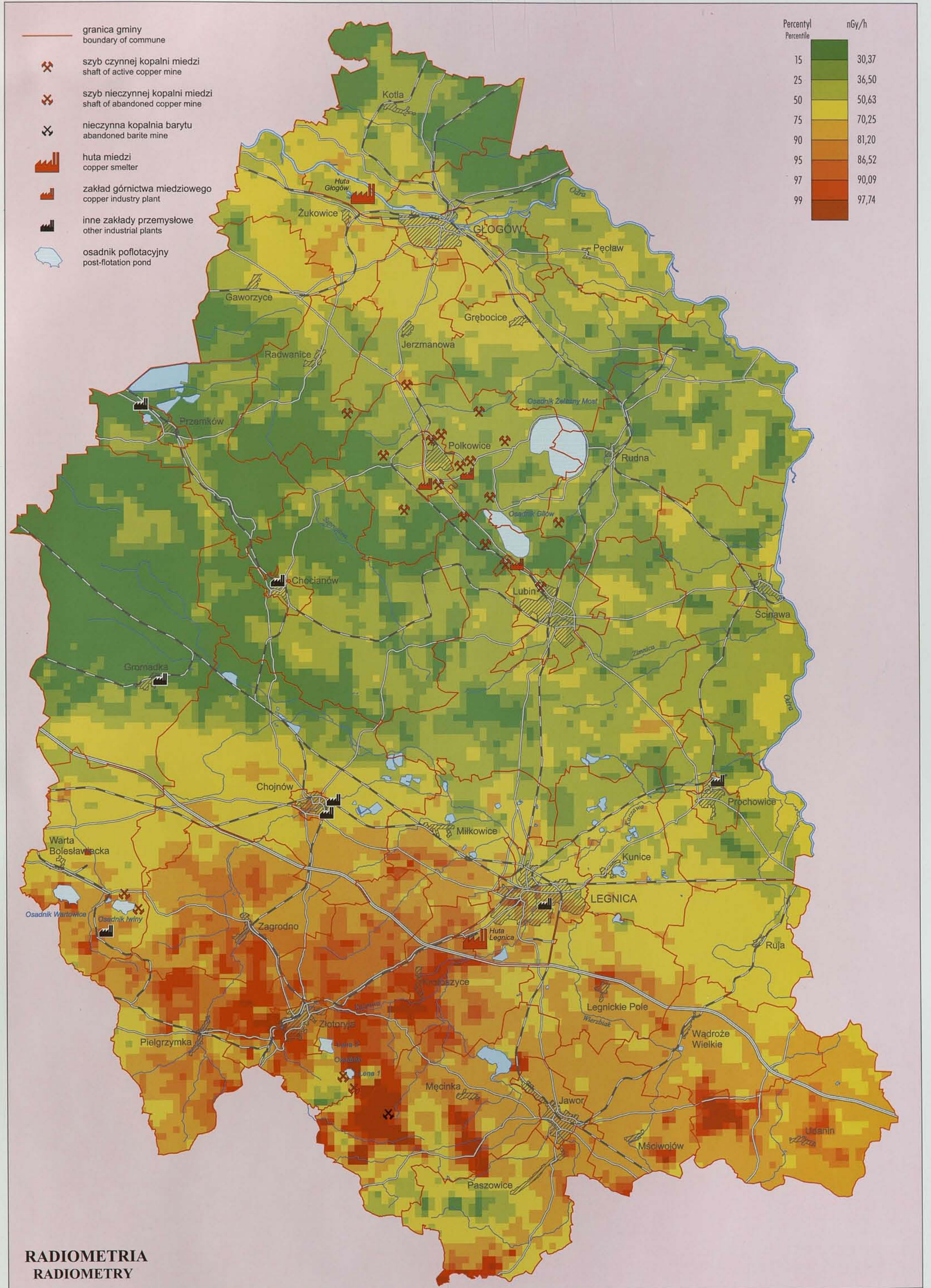
R. Strzelecki, S. Wołkowicz



Radiometryczny pomiar dawki promieniowania gamma Radiometric measurement of gamma ray dose rate

R. Strzelecki, S. Wołkiewicz

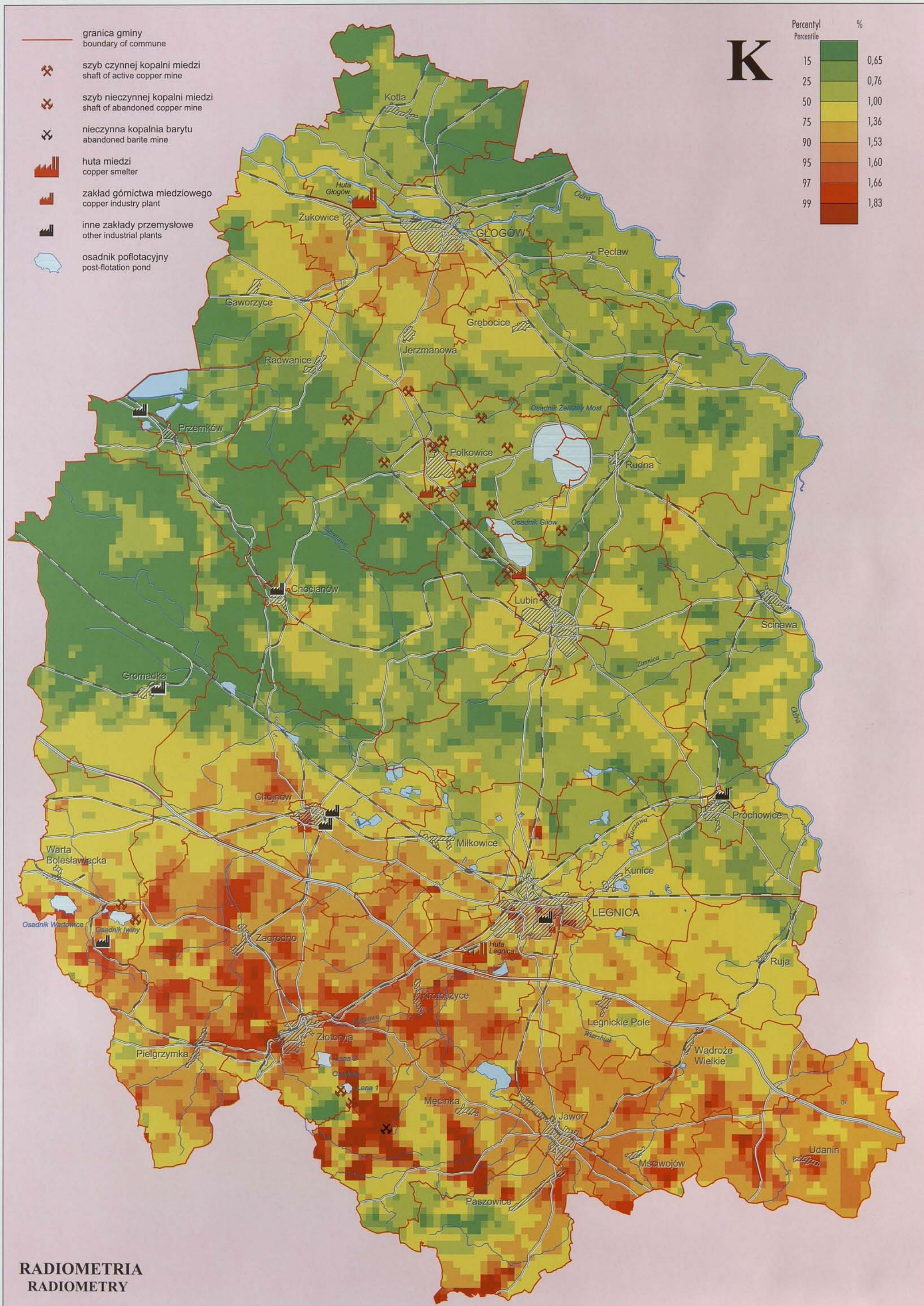
Tablica 43
Plate 43



**RADIOMETRIA
RADIOMETRY**

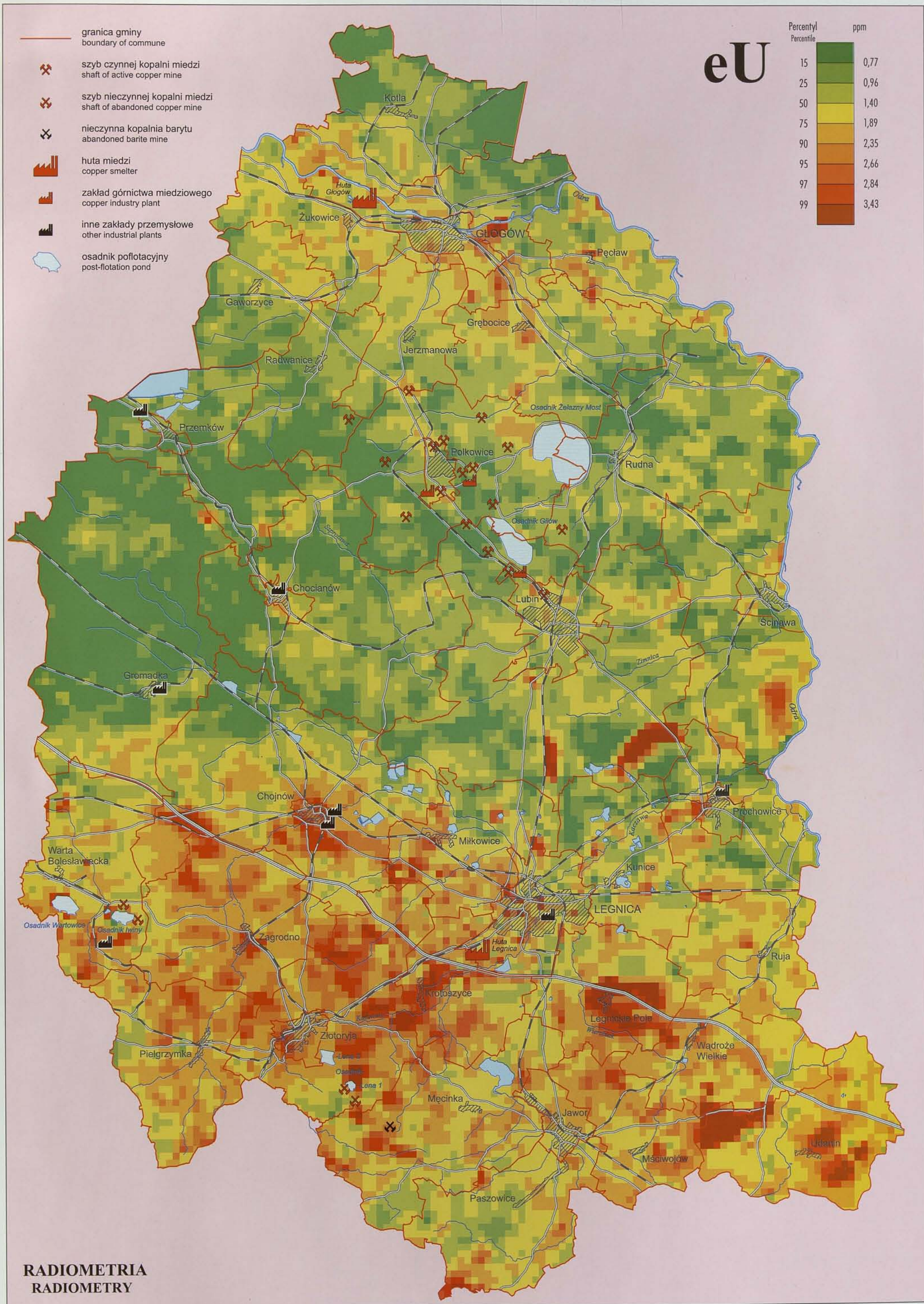
Radiometryczny pomiar zawartości potasu Radiometric measurement of potassium content

R. Strzelecki, S. Wołkowicz



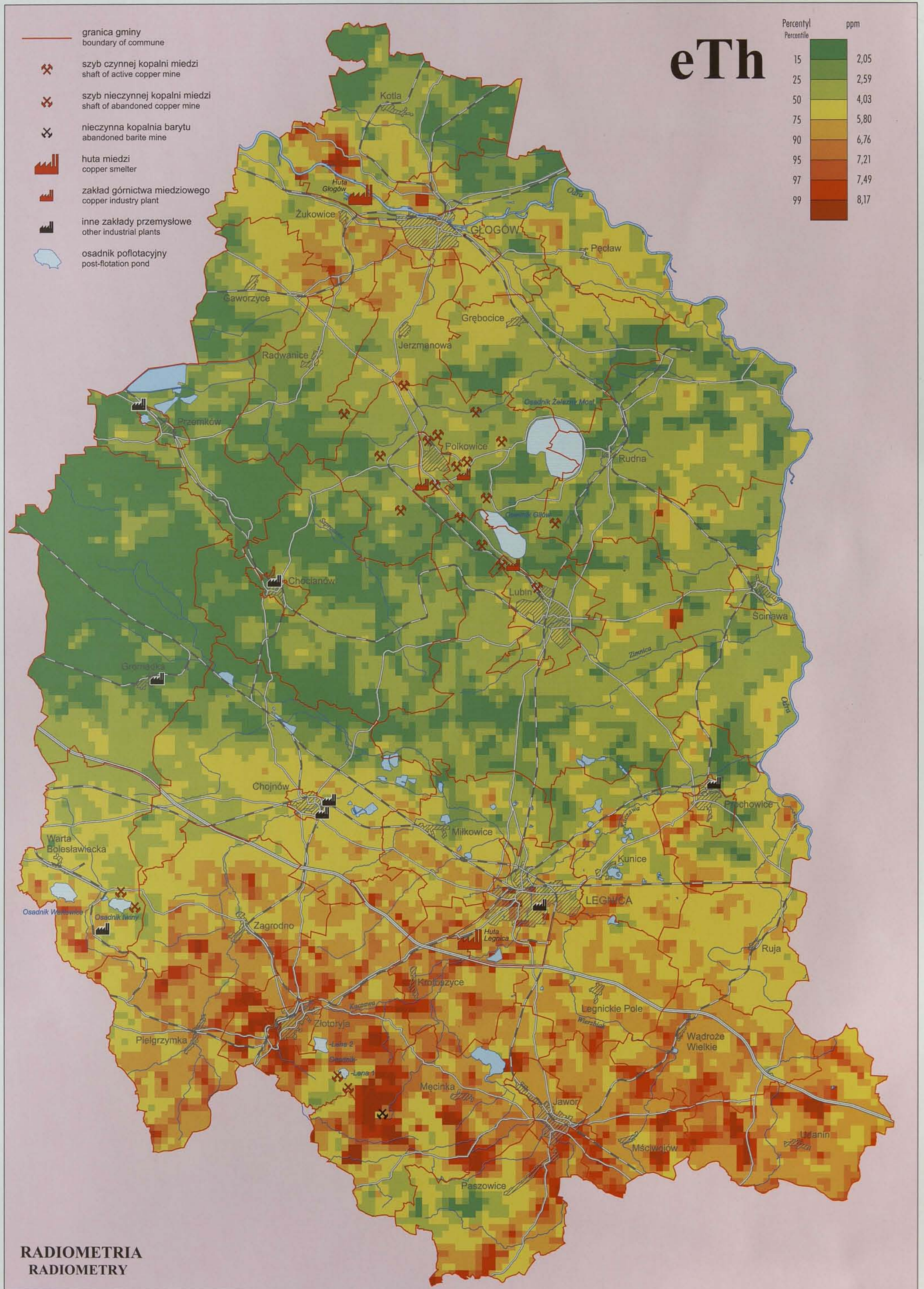
Radiometryczny pomiar zawartości uranu
Radiometric measurement of uranium content

R. Strzelecki, S. Wołkowicz



Radiometryczny pomiar zawartości toru
Radiometric measurement of thorium content

R. Strzelecki, S. Wołkowicz



RADIOMETRIA
RADIOMETRY



WYDAWNICTWO KARTOGRAFICZNE
POLSKIEJ AGENCJI EKOLOGICZNEJ S.A.