

Rtęć w glebach obszarów zurbanizowanych Polski

Anna Pasieczna¹



Mercury in topsoil of urban areas of Poland. *Prz. Geol.*, 60: 46–58.

Abstract. The enrichment of urban soils in mercury in relation to regional geochemical background was evaluated in towns throughout the whole territory of Poland. Soil samples were collected from a depth of 0.0–0.2 m within administrative boundaries of 334 towns of various sizes. Sampling density ranged from 1 sample/5–6 km² to 1 sample/0.06 km² and the weight of each sample was about 1000 g. Mercury content was measured using a cold vapour atomic absorption spectrometry (CV-AAS) method.

Mercury enrichment in topsoil in selected towns of Poland is presented in the form of geochemical dot map, differentiating the mercury enrichment value by the dot size. The geochemical background and extent and intensity of anomalies in non built-up areas are presented in the form of contour map.

Detailed maps of mercury distribution in topsoils were additionally compiled for some towns. The study shows that the mercury content vary within wide limits, depending on both chemistry of parent rocks and intensity of urbanization and industrial and transportation activity. Generally, the mercury content in urban soils is two to four times higher than in open space around the towns. The highest mercury concentration (712 mg/kg) was found in soils in Poznań. Anomalies were also recorded in soils in Jaworzno (36.15 mg/kg), Wrocław (6.60 mg/kg), Łódź (5.82 mg/kg), Gdańsk (5.50 mg/kg) and Legnica (5.13 mg/kg). Significant mercury concentrations are observed in soils of the Upper Silesian agglomeration, in Bytom, Chorzów, Katowice, Siemianowice, Świętochłowice, Ruda Śląska and Zabrze.

Keywords: topsoil, mercury, urban areas, Poland

Rtęć należy do pierwiastków rozproszonych w litosferze, gdzie jej zawartość rzadko przekracza setne części mg/kg (Kabata-Pendias & Pendias 1999; Paulo & Strzelska-Smakowska, 2000; Steinnes, 1995; Alloway & Ayres, 1999). Większe zawartości rtęci występują w niektórych utworach organicznych i ilastych, w których pierwiastek ten jest wiązany przez krzemiany warstwowe, siarczki, związki organiczne oraz tlenki i wodorotlenki żelaza.

Zawartość rtęci w glebach jest uwarunkowana jej obecnością w skałach macierzystych oraz emisjami ze źródeł naturalnych – erupcji wulkanów, głębokich uskoków, niektórych złóż gazu ziemnego (Lubaś, 1986; Wilhelm & Kirchgessner, 2001) i antropogenicznych do atmosfery. Te ostatnie stanowią około 70–80% emisji atmosferycznych (Mason i in., 1994; Pacyna & Pacyna, 2001). W Polsce największy udział w emisji rtęci do atmosfery ma spalanie węgla (ponad 60%). Emisje z produkcji cementu stanowią 16,6%, a pozostałe źródła to zużyte lampy rtęciowe, produkcja chloru, hutnictwo żelaza i spaliny silników samochodowych (Szykowska, 2010). Rtęć z atmosfery gromadzi się w powierzchniowej warstwie gleb poprzez wiązanie z humusem, siarką i minerałami ilastymi (De Vos & Tarvainen, 2006). Najbogatsze w ten pierwiastek (do 0,41 mg/kg) są gleby organiczne (Kabata-Pendias & Pendias, 1999), podczas gdy przeciętna zawartość w glebach na świecie szacowana jest przez różnych autorów w zakresie 0,02–0,15 mg/kg (Freedman, 1989; Reimann i in., 1998; Mihaljevič, 1999). W powierzchniowej warstwie gleb obszarów niezabudowanych w Europie zawartość rtęci wynosi 0,037 mg/kg (Salminen, 2005; De Vos & Tarvainen, 2006).

Rtęć jest uważana za jeden z najbardziej toksycznych pierwiastków w środowisku przyrodniczym nawet przy bardzo niskich stężeniach, ze względu na swoją aktywność

chemiczną, biologiczną i zmienność form występowania (O'Neil, 1997; Kabata-Pendias & Pendias, 1999). Szczególną rolę w środowisku glebowym odgrywają procesy metylacji rtęci (tworzenie kompleksów z grupą metylową CH₃) zachodzące w obecności substancji humusowych i z udziałem mikroorganizmów. Powstające związki są łatwo pobierane przez rośliny i bardzo toksyczne. Procesy redukcji rtęci do postaci metalicznej, odprowadzanej do atmosfery, są również ułatwiane przez bakterie. Koncentrację rtęci w glebach umożliwia jej powinowactwo z siarką, niska temperatura parowania oraz tworzenie związków z materią organiczną. Część zaadsorbowanej rtęci ulega parowaniu po zredukowaniu do formy elementarnej, dlatego bardzo trudne do ustalenia jest tło geochemiczne tego pierwiastka w glebach. W środowiskach kwaśnych rtęć charakteryzuje się wysoką mobilnością, zaś bardzo niską w środowiskach neutralnych, alkalicznych i w warunkach redukcyjnych. Rtęć w naturalnych warunkach tworzy szereg połączeń organicznych, które mogą migrować do warstw wodonośnych powodując skażenie (Dojlido, 1995), pomimo niewielkiej rozpuszczalności większości soli rtęci w wodzie.

Najważniejszym antropogenicznym źródłem rtęci są procesy wydobywania i wyprężania jej rud. W górnictwie złota i srebra od wieków stosuje się techniki amalgamacji do ekstrakcji tych metali z rud, powodując zatrucie środowiska rtęcią (Nriagu i in., 1992; Callahan i in. 1994; Bojakowska & Sokołowska, 2001). W rejonie górnictwa rtęci w Idrii (Słowenia) gleby zawierają do 107,6 mg/kg (Biester i in., 1996), a osady wodne rzeki Idrijcy do 1347 mg/kg rtęci (Gosar i in., 1996). Rtęć dostaje się do środowisk powierzchniowych również w wyniku procesów hutnictwa metali nieżelaznych, gdyż koncentraty sfalerytowe i tetraedytowe często zawierają domieszki izomorficzne rtęci (Paulo & Strzelska-Smakowska, 2000). W łupkach miedzionośnych

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

z kopalni „Lubin” zawartość rtęci na kontakcie z mineralizacją amalgamatami wynosi średnio 61 mg/kg, a w strefach bogatych w amalgamaty z kopalni „Rudna” do 3000 mg/kg (Kucha & Mayer, 1996). W trakcie wytopu miedzi część rtęci uwalnia się do atmosfery i jest zatrzymywana w glebach, tworząc wokół hut Głogów i Legnica anomalie o koncentracjach 0,20–0,80 mg/kg rtęci (Lis i in., 1999).

Do znaczących źródeł zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego rtęcią należy produkcja chloru i sody, włókien sztucznych, stosowanie i złomowanie lamp rtęciowych, przyrządów pomiarowych, baterii i detonatorów (Paulo & Krzak, 1997). Związki rtęci stosowane były przez wiele lat w rolnictwie do zapraw nasiennych i preparatów ochrony roślin. Dostawały się też do gleb poprzez nawożenie ściekami komunalnymi oraz opadanie pyłów ze spalania paliw kopalnych, przede wszystkim węgla. W węglu brunatnym Polski średnią zawartość rtęci oszacowano na 0,32 mg/kg (Bojakowska & Sokołowska, 2001), zaś węgiel kamienny zawiera średnio 0,10–0,15 mg/kg rtęci (Lorenz & Grudziński, 2007). Spalanie węgla uważane jest za główną przyczynę emisji rtęci i innych metali do atmosfery (Lorenz & Grudziński, 2007; Pacyna & Pacyna, 2001; Kłojzy-Karczmarczyk & Mazurek, 2007). W otoczeniu ruchliwych ulic źródłem rtęci jest spalanie paliw wytwarzanych z ropy naftowej, która może zawierać rtęć (Kłojzy-Karczmarczyk & Mazurek, 2008; Wilhelm & Kirchgessner, 2001).

Cel i metodyka

Przeprowadzone badania miały na celu ocenę stopnia zanieczyszczenia rtęcią powierzchniowej warstwy gleb w rejonach miejskich i przemysłowych w Polsce w porównaniu z tłem geochemicznym określonym w obszarach nieurbanizowanych.

Pobieranie próbek

Ocenę wzbogacenia gleb obszarów zurbanizowanych Polski w rtęć wykonano na podstawie wyników analiz próbek pobranych w miastach na terenie całej Polski w trakcie opracowywania „Atlasu geochemicznego Polski” (Lis & Pasieczna, 1995a), regionalnych atlasów geochemicznych (Lenartowicz, 2001; Lis, 1992; Lis & Pasieczna, 1995b,c, 1998a,b, 1999a, 2005; Tomassi-Morawiec i in., 1998; Pasieczna i in., 1996) oraz „Szczegółowej mapy geochemicznej Górnego Śląska (SMGGŚ) w skali 1 : 25 000” (Lis & Pasieczna, 1999b; Pasieczna, 2008a,b).

Gęstość opróbowania wynosiła: 1 próbka/5–6 km² w mniejszych miastach, 1 próbka/1 km² (Częstochowa, Gdańsk, Gdynia, Łódź, Kraków, Poznań, Szczecin, Wrocław i Warszawa), 1 próbka/0,25 km² w Wałbrzychu i 1 próbka/0,06 km² przy opracowaniu SMGGŚ.

Opróbowanie gleb we wszystkich miastach przeprowadzono stosując jednakowy sprzęt i system pobierania próbek. Masa każdej z próbek wynosiła około 1000 g; pobierano je z parków, skwerów miejskich, trawników przyulicznych i osiedlowych, ogródków przydomowych i działkowych, nieużytków oraz terenów zakładów przemysłowych.

Analizy chemiczne

Analizy chemiczne wykonano w laboratorium Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie.

Próbki gleb były suszone w temperaturze pokojowej i przesiewane przez sита nylonowe o oczkach 2 mm. Oznaczenia rtęci w większości gleb miejskich i w glebach z obszarów niezabudowanych Polski wykonano po mineralizacji w kwasie solnym (HCl 1:4) metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej techniką zimnych par (CV-AAS) z użyciem spektrometru Perkin-Elmer 4100 ZL z systemem przepływowym FIAS-100. Gleby rozkładano w temperaturze 90°, w ciągu 1 godziny. Tą samą metodą (ale po roztworzeniu w wodzie królewskiej) analizowano zawartość rtęci w badaniach szczegółowych gleb aglomeracji gdańskiej, górnośląskiej, Legnicy i Głogowa. Metodę roztwarzania w wodzie królewskiej wprowadzono w celu możliwości porównywania wyników badań krajowych z analizami próbek gleb Europy (Salminen, 2005). Oceniając zawartość rtęci w badanych glebach należy zaznaczyć, że efektywność mineralizacji w kwasie solnym w porównaniu z rozkładem w wodzie królewskiej i/lub oznaczeniami za pomocą analizatora rtęci AMA 254 wynosi 35–77% (w zależności od składu chemicznego matrycy) (Górecka i in., 1996, 2003; Jaklewicz i in., 1995).

Poprawność wykonywanych oznaczeń sprawdzano poprzez analizę próbek podwójnych (około 3% ogólnej liczby próbek), analizę materiałów odniesienia z atestowaną zawartością rtęci (2,5% ogólnej liczby próbek) oraz analizę wewnętrznych próbek kontrolnych potwierdzających prawidłowe wykonywanie pomiarów instrumentalnych (10% ogólnej liczby próbek). Niepewność rozszerzona metody nie przekracza 25%.

Prezentacja wyników

Do oceny stopnia zanieczyszczenia gleb (czy innych elementów środowiska) konieczna jest znajomość naturalnych zawartości pierwiastków – tła geochemicznego (nazywanego też poziomem odniesienia, poziomem referencyjnym, zawartością naturalną, zawartością z czasów preindustrialnych). Tło geochemiczne określa zakres zawartości pierwiastka, charakterystyczny dla danej struktury geologicznej, regionu, prowincji, kraju. Cechuje się zmiennością regionalną (wynikającą ze zróżnicowanej litologii podłoża, klimatu) i czasową, spowodowanymi migracją składników w obrębie danego medium, jak również między poszczególnymi elementami środowiska. Poza dolną i górną granicą wartości tła mieszczą się anomalie (ujemne i dodatnie). Zazwyczaj tło geochemiczne jest wyrażane jako pojedyncza wartość (najczęściej mediana, rzadziej średnia geometryczna), do ustalenia której metodami statystycznymi konieczne jest dysponowanie reprezentatywnymi zbiorami danych oraz znajomość charakteru rozkładu wyników oznaczeń (Lis & Pasieczna, 2001; Matschullat i in., 2000; Salminen & Gregorauskiene, 2000).

Ocenę wzbogacenia gleb miejskich w rtęć przeprowadzono w próbkach gleb miejskich i próbkach z obszarów niezabudowanych kraju po ich mineralizacji w kwasie sol-

nym (HCl 1:4). Tło geochemiczne rtęci w glebach Polski wyznaczono na podstawie analiz 6522 próbek z obszarów niezabudowanych w całym kraju (Pasieczna, 2003). Zbiór danych podzielono na podzbiory uwzględniające odmienne prowincje geochemiczne kraju (Lis & Pasieczna, 1998c) i dla każdego z nich wyliczono tło geochemiczne (tab. 1). Jako miarę wartości tła w poszczególnych regionach – prowincjach geochemicznych, zgodnie z propozycjami klasyfikacji stosowanymi dla mapy geochemicznej świata (Darnley i in., 1995), przyjęto wartość median. Uwzględniono dwie prowincje południowe – Karpaty, Sudety i ich przedgórze, oraz oddzielnie Górny Śląsk (ze względu na jego specyfikę litologiczno-złożową), zaś pozostałą część Polski zaliczono do prowincji północnej Nizy Polskiego. Dla każdej z prowincji obliczono wartości średnich geometrycznych i median (tab. 1).

Badane próbki gleb miejskich przypisano do wydzielonych prowincji geochemicznych kraju, a wskaźniki ich wzbogacenia w rtęć obliczono dla poszczególnych miast według wzoru:

$$W = m/mr$$

gdzie:

W – wskaźnik wzbogacenia;

m – wartość mediany dla danego miasta;

mr – wartość tła geochemicznego regionu (prowincji), wyrażona jako mediana.

Zmienność wskaźników wzbogacenia przedstawiono na schematycznym podkładzie topograficznym w postaci punktowej mapy geochemicznej dla 139 miast kraju (ryc. 1) połączonej z izoliniową mapą tła geochemicznego. Dla wybranych aglomeracji opracowano izoliniowe (ryc. 2 i 3) mapy geochemiczne na uproszczonych podkładach topograficznych.

Zmienność zawartości rtęci w powierzchniowej warstwie gleb w badanych miastach zamieszczono w tabeli 2.

Wyniki i dyskusja

Na przeważającym obszarze Polski zawartość rtęci w powierzchniowej warstwie gleb z obszarów niezabudowanych nie przekracza 0,05 mg/kg (ryc. 1). Regionalne zwiększenia tła geochemicznego (0,06–0,10 mg/kg) występują między dolinami Wisły i Sanu, na Żuławach i w rejonach mineralizacji rtęciowej w skałach podłoża w Sudetach. Zawartości o charakterze lokalnych anomalii geochemicznych na Niziu Polskim (w rejonie Szczecina, Gorzowa Wielkopolskiego, Włocławka, Siedlec, Częstochowy, Mielca) związane są z działalnością różnych gałęzi przemysłu i spalaniem paliw kopalnych. Poważnym źródłem zanieczyszczeń jest przemysł włókienniczy (stosujący rtęć jako katalizator w produkcji włókien sztucznych), chemiczny, maszynowy i elektrotechniczny.

Wartości median rtęci w różnych regionach Polski zmieniają się od <0,05 mg/kg na Niziu Polskim do 0,07 mg/kg w glebach Górnego Śląska (tab. 1). Dokładniejsze wyznaczenia tła geochemicznego rtęci w glebach Polski było niemożliwe ze względu na granicę oznaczalności w stosowanej metodzie analitycznej. Wartość mediany obliczona na podstawie analiz gleb Polski wykonanych w kilkudziesięciu próbkach analizatorem Altec AMA 254 (Salminen, 2005) wynosi 0,017 mg/kg (tab. 1).

Wskaźniki wzbogacenia gleb w rtęć dla 74,2% miast (ryc. 1) są mniejsze od 2, wskazując na zawartości w nich rtęci zbliżone do tła geochemicznego. Największe współczynniki wzbogacenia gleb w rtęć (powyżej 4) dotyczą tylko 5% miast.

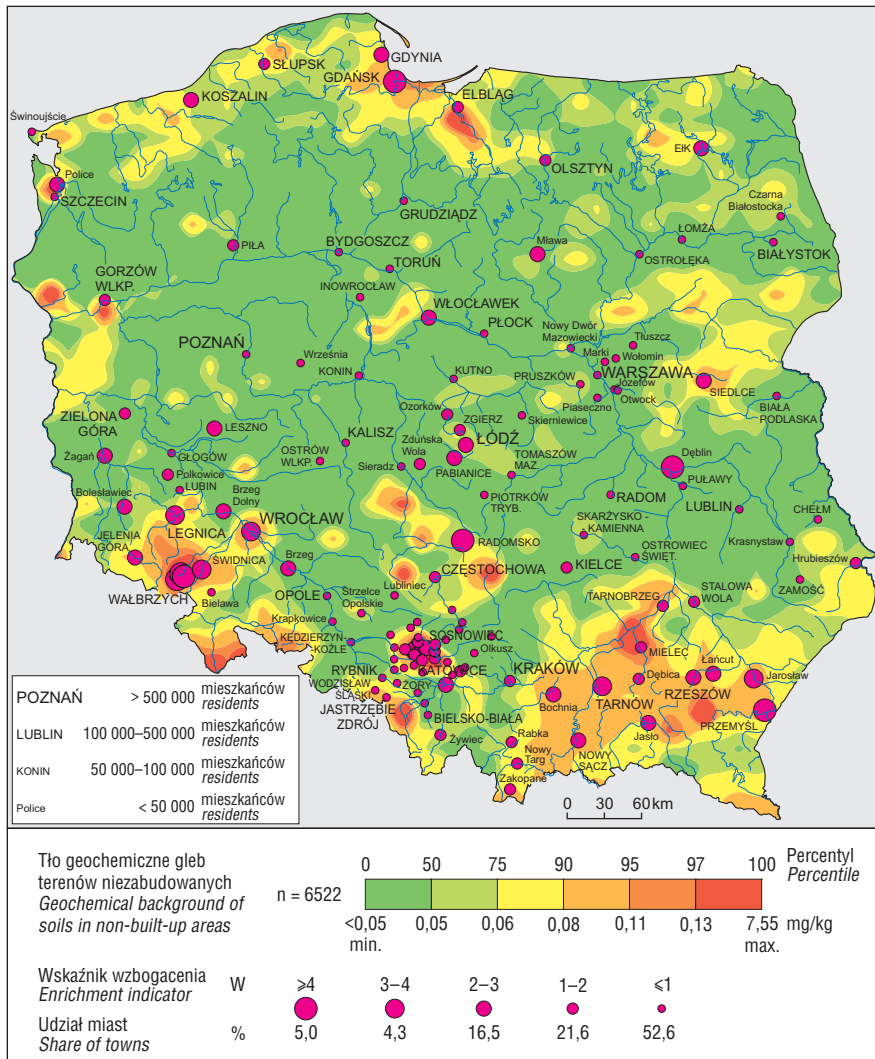
Na Niziu Polskim do miast o największych współczynnikach wzbogacenia gleb w rtęć należą między innymi: Dęblin, Radomsko, Leszno, Police, Koszalin, Trójmiasto i miasta aglomeracji łódzkiej – Ozorków, Zgierz, Pabianice, Łódź (Fig. 1). Stwierdzone anomalie w niektórych miastach kontynuują się do głębokości 0,4–0,6 m, a zanieczyszczenia mają charakter antropogeniczny (Pasieczna, 2003).

Tab. 1. Tło geochemiczne rtęci w powierzchniowej warstwie gleb Polski i Europy

Table 1. Geochemical background of topsoils in Poland and Europe

| Gleby Soils | Liczba próbek Number of samples | Parametry Parameters | Hg [mg/kg] |
|--|---------------------------------------|-------------------------|----------------|
| Gleby z obszarów niezabudowanych 0,0–0,2 m (rozkład w HCl 1:4)* <i>Soils (0.0–0.2 m) in non-built-up areas (digestion with HCl 1:4)</i> | | | |
| Gleby ogółem <i>All soils</i> | 6522 | a b | 0,05 0,05 |
| Gleby Nizy Polskiego <i>Polish Lowland soils</i> | 4945 | a b | <0,05 <0,05 |
| Gleby Karpat, Sudetów i ich przedgórze <i>Carpathians, Sudetes and their foredeeps soils</i> | 764 | a b | 0,05 0,05 |
| Gleby Górnego Śląska <i>Upper Silesia soils</i> | 813 | a b | 0,08 0,07 |
| Gleby z obszarów niezabudowanych 0,00–0,25 m** <i>Soils (0.00–0.25 m) in non-built-up areas</i> | | | |
| Gleby Polski <i>Soils of Poland</i> | 58 | b | 0,017 |
| Gleby Europy <i>Soils of Europe</i> | 833 | b | 0,037 |

* Pasieczna, 2003; ** Salminen, 2005; De Vos & Tarvainen, 2006; a – średnia geometryczna, a – *geometric mean*; b – mediana; b – *median*



Ryc. 1. Wzbogacenie w rtęć gleb miejskich w stosunku do tła geochemicznego
Fig. 1. Enrichment of urban soils with mercury in relation to geochemical background

Wzbogacenie gleb Dębina w rtęć można wiązać z działalnością dużego węzła kolejowego, wojskowego portu lotniczego i lotniczych zakładów remontowych. Dodatkowym źródłem zanieczyszczeń jest wieloletnie wykorzystywanie pozostałości fortyfikacji twierdzy Dęblin jako nielegalnych wysypisk odpadów. Położenie miasta na namulach organicznych i madach tarasów zalewowych Wisły stwarza dogodne warunki kumulacji metali.

Źródłem zanieczyszczenia rtęcią gleb w Radomsku mogą być zakłady przemysłu metalowego i maszynowego, a w Lesznie – produkcja środków chemicznych i maszyn.

W Policach anomalia rtęci występuje w glebach utworzonych na torfach i namulach, a jej źródłem są przypuszczalnie wody i osady Odry niosące zanieczyszczenia z południa kraju.

W Koszalinie przeważa przemysł elektromaszynowy i drzewny. Źródłem lokalnych zanieczyszczeń gleb rtęcią może być stosowanie preparatów rtęciowych do impregnacji drewna.

Na terenie Trójmiasta zanieczyszczenie metalami (w tym rtęcią) spowodowane jest emisjami z zakładów energetyki,

zespołu portów, Rafinerii Gdańskiej i Gdańskich Zakładów Nawozów Fosforowych.

Anomalie rtęci w miastach aglomeracji łódzkiej wiążą się ze zrzutami ścieków z zakładów przemysłu farmaceutycznego (Polfa) oraz produkcją włókien sztucznych i barwników.

Wzbogacenie gleb miejskich w rtęć zaznacza się najwyraźniej na Dolnym Śląsku. Największe stężenie rtęci w glebach występuje w Szczawnie Zdroju (0,10–0,56 mg/kg; W=10), Boguszowie Gorcach (0,09–0,50 mg/kg; W=7,2) i Wałbrzychu (<0,05–3,22 mg/kg; W=6) i związane jest prawdopodobnie z przejawami mineralizacji rtęciowej w skałach macierzystych w tym regionie. Wystąpienia cynobru, rtęci rodzimej oraz rtęcionośnego tetraedrytu znane są zarówno z pokładów węgla, jak i stref mineralizacji barytowo-kruszcowej w rejonie Wałbrzycha i Boguszowa (Kwiecińska, 1968; Lis & Sylwestrak, 1986), a w glebach okolic Wałbrzycha występuje anomalia 0,10–3,12 mg/kg rtęci (Pasieczna i in., 1996), związana z rozpraszaniem pyłów podczas spalania dużych ilości węgla z przerostami minerałów rtęci oraz odciekami z wielu hałd skał płonnych.

Gleby Legnicy (<0,05–5,13 mg/kg) wykazują kilkakrotne wzbogacenie w rtęć, której źródłem jest hutnictwo miedzi. Prawie 10-krotne wzbogacenie gleb w rtęć, w porównaniu do tła geochemicznego w bezpośrednim sąsiedztwie Huty Miedzi „Legnica”, potwierdzają badania Medyńskiej i in. (2010). W wykorzystywanych rudach miedzi zawartość rtęci waha się od 0,018 do 61,3 mg/kg (Bojakowska & Sokołowska, 2001). Uwalnianie rtęci następuje podczas wielu etapów produkcji hutniczej, a szczególnie podczas wytwarzania kwasu siarkowego. Część rtęci przechodzi w niemobilny selenek.

Od trzech do sześciu razy przekroczona jest wartość tła geochemicznego rtęci w glebach niektórych miast regionu śląsko-krakowskiego: Chorzowa, Chrzanowa, Jaworzna, Olkusza, Trzebini, Świętochłowic i Siemianowic Śląskich (ryc. 1). W miastach tego regionu źródła wzbogacenia gleb w rtęć dopatrywać się można przede wszystkim w eksploatacji i przeróbce rud cynkowo-olowiowych, hutnictwie metali, spalaniu na szeroką skalę węgla kamiennego w licznych elektrociepłowniach i elektrowniach (Bojakowska & Szczeniak, 1993) oraz jej wyfukowaniu z hałd, jak również w działalności przemysłu chemicznego, tekstylnego i innych. Zawartość rtęci w węglu z niektórych kopalń górnośląskich dochodzi do 0,76 mg/kg, a w towarzyszących im skałach płonnych – do 0,82 mg/kg (Bojakowska &

Sokołowska, 2001), zaś spalanie paliw kopalnych uwalnia aż 69% rtęci antropogenicznej (Pacyna & Pacyna, 2001; Szpadt, 1994).

Wyraźne wzbogacenie gleb w rtęć zanotowano w miastach położonych w Karpatach i na ich przedpolu (Rabka, Nowy Targ, Zakopane, Tarnów, Rzeszów, Łańcut, Jarosław, Przemyśl), gdzie na naturalnie zwiększone tło geochemiczne nakładają się emisje ze źródeł antropogenicznych. Głównym źródłem zanieczyszczenia rtęcią są prawdopodobnie emisje związane z procesami spalania paliw kopalnych, w których jej zawartość jest często podwyższona (Bojakowska & Szczęśniak, 1993; Bojakowska & Sokołowska, 2001; Kłojzy-Karczmarczyk & Mazurek, 2008). Położenie Rabki, Nowego Targu i Zakopanego w słabo przewietrzanych kotlinach skutkuje przekroczeniem norm pyłu zawieszzonego i spalin zawierających metale.

W Rzeszowie, Jarosławiu i Przemyślu zanieczyszczenie gleb rtęcią pochodzi głównie ze spalania paliw. W Rzeszowie rtęć stwierdzono w granicach <0,05–0,10 mg/kg. Od kilku lat stwierdzane są tu przekroczone normy zanieczyszczenia powietrza pochodzące zarówno z przemysłowej części miasta (głównie z firmy EKO-TOP, która zajmuje się utylizacją elektrośmieci), jak i ze spalania folii, plastików, styropianu i innych odpadów w piecach centralnego ogrzewania (Rzeszów..., 2010)

Znaczną zawartością rtęci charakteryzują się gleby Tarnowa (do 3,76 mg/kg), gdzie zanieczyszczenie związane

jest prawdopodobnie z wieloletnią działalnością przemysłu chemicznego oraz zakładów produkcji plastików.

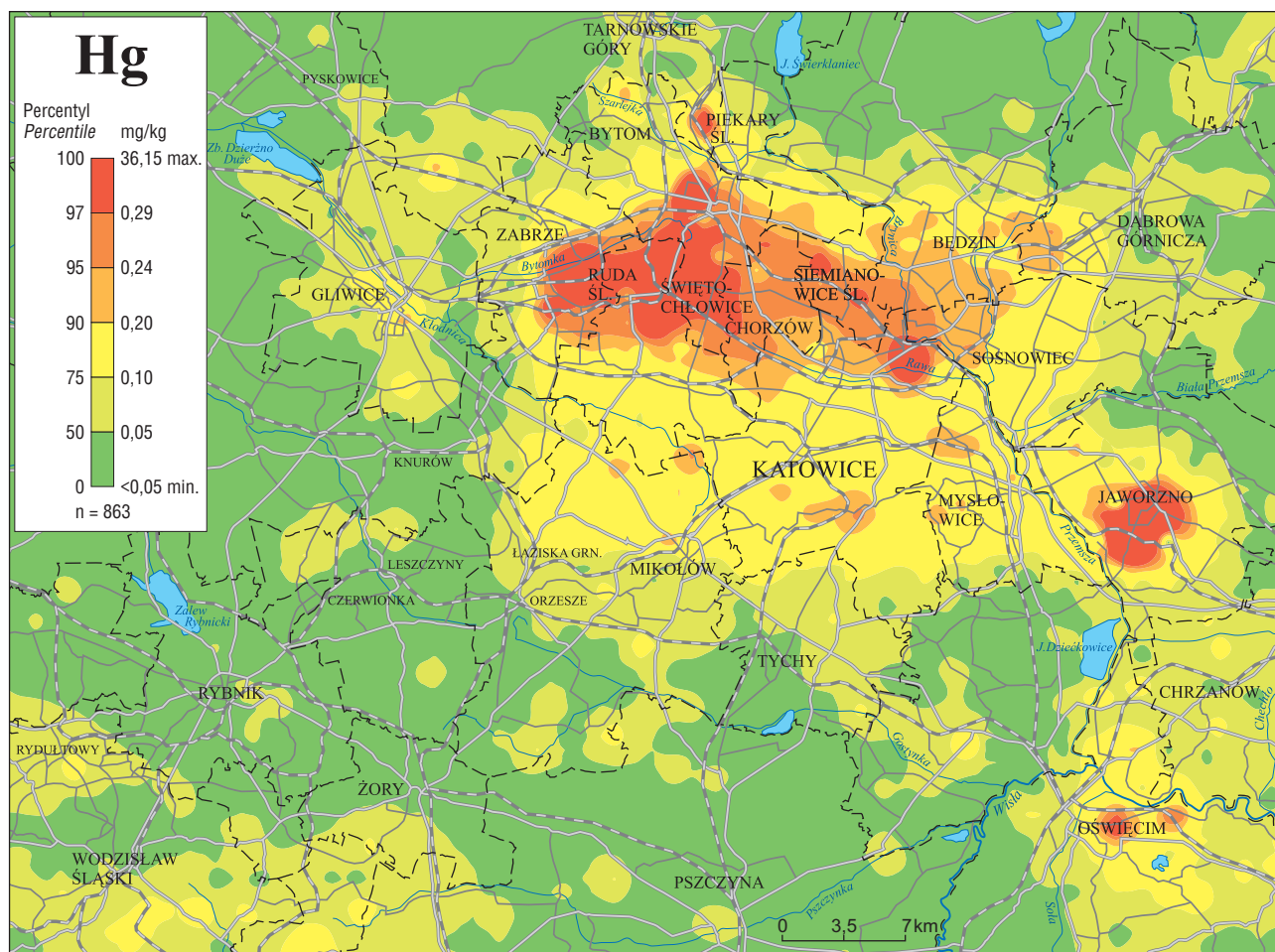
Antropogenicznie zanieczyszczone rtęcią (jak również chromem) są gleby aluwialne Warty w Zawierciu; w okolicy huty „Zawiercie” zawartość rtęci dochodzi do 2,46 mg/kg.

Kolejnym miastem, gdzie występuje punktowa anomalia rtęci, jest Kutno (0,95 mg/kg), a zanieczyszczenie można wiązać z działalnością zakładów przemysłu farmaceutycznego.

W glebach w Białymstoku stwierdzono zawartość rtęci w granicach <0,05–0,92 mg/kg. Punktowa anomalia (przypuszczalnie wywołana zrzutem ścieków komunalnych i przemysłowych) występuje w glebach tarasu zalewowego rzeki Białej, której dolinę wypełniają piaski, namuły i torfy (Kmieciak, 2000), stwarzające dogodne środowisko akumulacji metali.

W glebach Gorzowa Wielkopolskiego rtęć stwierdzono w granicach <0,05–0,08 mg/kg. Gleby wzbogacone w ten pierwiastek (do 0,15 mg/kg) występują jedynie w rejonie ujścia Kłodawki do Warty. Zawierają one również znaczne ilości miedzi, cynku i ołowiu. Potencjalnymi źródłami zanieczyszczenia są zakłady włókiennicze i elektrociepłownia, których ścieki w całości są odprowadzane do wód Warty (Damezyk i in., 2000).

W Kielcach do najbardziej wzbogaconych w rtęć (0,12–0,18 mg/kg) należą gleby dzielnicy Białogon w rejonie osadników nieczynnej obecnie huty miedzi i ołowiu, działającej do początku XX w. W innych częściach miasta



Ryc. 2. Rtęć w glebach aglomeracji górnośląskiej
Fig. 2. Mercury in soils of Upper Silesian Agglomeration

Tab. 2. Zawartość rtęci w powierzchniowej warstwie gleb w wybranych miastach Polski
Table 2. Mercury in urban topsoils in selected towns of Poland

| Miasto Town | Liczba próbek Number of samples | Hg [mg/kg] Zakres/Range | Miasto Town | Liczba próbek Number of samples | Hg [mg/kg] Zakres/Range |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Aleksandrów Łódzki | n = 64 | <0,05–0,10 | Piaseczno | n = 4 | <0,05–0,07 |
| Będzin | n = 130 | <0,05–0,85 | Piekary Śląskie | n = 9 | <0,05–0,24 |
| Biała Podlaska | n = 4 | 0,05–0,06 | Piła | n = 5 | <0,05–0,24 |
| Białystok | n = 10 | <0,05–0,92 | Piotrków Trybunalski | n = 3 | <0,05–0,07 |
| Bielawa | n = 4 | <0,05–0,10 | Płock | n = 5 | <0,05 |
| Bielsko-Biała | n = 10 | <0,05–0,54 | Police | n = 35 | 0,06–0,38 |
| Bochnia | n = 10 | 0,08–0,10 | Polkowice | n = 58 | <0,05–0,70 |
| Boguszów Gorce | n = 80 | 0,09–0,50 | Poznań | n = 450 | <0,05–712 |
| Bukowno | n = 54 | <0,05–1,52 | Pruszków | n = 5 | <0,05–0,08 |
| Bydgoszcz | n = 20 | <0,05–0,58 | Przemysław | n = 3 | 0,13–0,22 |
| Bytom | n = 17 | <0,05–0,84 | Pszczyna | n = 5 | <0,05–0,11 |
| Chorzów | n = 8 | 0,18–0,31 | Puławy | n = 3 | <0,05–0,05 |
| Chrzanów | n = 272 | 0,07–0,43 | Pyskowice | n = 3 | <0,05–0,07 |
| Częstochowa | n = 156 | <0,05–1,91 | Rabka | n = 3 | 0,05–0,08 |
| Dąbrowa Górnicza | n = 261 | <0,05–7,20 | Radom | n = 7 | <0,05–0,14 |
| Dęblin | n = 3 | 0,07–0,52 | Radomsko | n = 3 | 0,06–0,21 |
| Elbląg | n = 40 | 0,05–0,30 | Ruda Śląska | n = 13 | 0,08–1,15 |
| Gdańsk | n = 284 | <0,05–5,50 | Rybnik | n = 20 | <0,05–0,15 |
| Gdynia | n = 208 | 0,06–0,30 | Rzeszów | n = 5 | 0,06–0,10 |
| Gliwice | n = 25 | <0,05–0,28 | Siechnice | n = 9 | 0,12–0,30 |
| Głogów | n = 60 | <0,05–2,85 | Siedlce | n = 4 | 0,06–0,09 |
| Gorzów Wielkopolski | n = 6 | <0,05–0,15 | Siemianowice Śląskie | n = 5 | 0,12–0,32 |
| Grudziądz | n = 4 | <0,05–0,07 | Sieradz | n = 4 | <0,05–0,07 |
| Hrubieszów | n = 3 | 0,05–0,44 | Skarżysko-Kamienna | n = 3 | <0,05 |
| Inowrocław | n = 5 | <0,05–0,11 | Skawina | n = 16 | <0,05–0,10 |
| Jaworzno | n = 504 | <0,05–36,15 | Skierzwice | n = 3 | <0,05–0,08 |
| Katowice | n = 1020 | 0,08–7,55 | Słupsk | n = 4 | 0,05–0,08 |
| Kędzierzyn-Koźle | n = 15 | <0,05–0,27 | Sosnowiec | n = 889 | <0,05–12,85 |
| Kielce | n = 9 | <0,05–0,12 | Stalowa Wola | n = 3 | 0,05–0,08 |
| Knurów | n = 6 | <0,05–0,07 | Strzelce Opolskie | n = 4 | <0,05 |
| Konin | n = 3 | <0,05–0,14 | Swarzędz | n = 25 | <0,05–0,14 |
| Koszalin | n = 5 | 0,05–0,12 | Szczawno Zdrój | n = 3 | 0,10–0,56 |
| Kraków | n = 494 | <0,05–1,38 | Szczecin | n = 230 | <0,05–1,31 |
| Krosno | n = 4 | <0,05–0,40 | Świdnica | n = 4 | 0,05–0,21 |
| Kutno | n = 4 | <0,05–0,95 | Świebodzice | n = 42 | 0,09–0,50 |
| Legnica | n = 70 | <0,05–5,13 | Świętochłowice | n = 4 | 0,21–0,52 |
| Libiąż | n = 272 | <0,05–0,13 | Świnoujście | n = 12 | <0,05–0,13 |
| Lubin | n = 106 | <0,05–0,33 | Tarnobrzeg | n = 3 | 0,06–0,08 |
| Lublin | n = 9 | <0,05–0,11 | Tarnowskie Góry | n = 11 | <0,05–0,30 |
| Lubliniec | n = 6 | <0,05–0,09 | Tarnów | n = 8 | 0,07–3,76 |
| Łańcut | n = 3 | 0,08–0,16 | Tczew | n = 40 | <0,05–0,16 |
| Łazy | n = 5 | <0,05–0,12 | Toruń | n = 11 | 0,03–0,22 |
| Łódź | n = 464 | <0,05–5,82 | Trzebinia | n = 230 | <0,05–66,50 |
| Malbork | n = 48 | 0,08–0,33 | Tychy | n = 18 | <0,05–0,12 |
| Miasteczko Śląskie | n = 5 | <0,05–0,06 | Wałbrzych | n = 410 | <0,05–3,22 |
| Mielec | n = 4 | 0,05–0,09 | Warszawa | n = 437 | <0,05–10,78 |
| Mysłowice | n = 600 | 0,14–3,30 | Wieliczka | n = 7 | <0,05–0,06 |
| Niepołomice | n = 9 | 0,05–0,50 | Włocławek | n = 4 | 0,06–0,14 |
| Nowy Sącz | n = 4 | 0,07–0,15 | Wodzisław Śląski | n = 10 | <0,05–0,09 |
| Nowy Targ | n = 3 | 0,06–0,16 | Wrocław | n = 330 | <0,05–6,60 |
| Olkusz | n = 285 | <0,05–3,80 | Zabrze | n = 17 | <0,05–0,63 |
| Olsztyn | n = 6 | 0,05–0,09 | Zakopane | n = 4 | 0,06–0,18 |
| Opole | n = 8 | <0,05–0,07 | Zawiercie | n = 9 | <0,05–2,46 |
| Ostrołęka | n = 7 | <0,05 | Zduńska Wola | n = 4 | 0,05–0,09 |
| Ostrowiec Świętokrzyski | n = 6 | <0,05–0,06 | Zgierz | n = 143 | <0,05–0,56 |
| Ostrów Wielkopolski | n = 6 | <0,05–0,05 | Zielona Góra | n = 4 | <0,05–0,07 |
| Oświęcim | n = 4 | 0,08–0,42 | Złotoryja | n = 25 | 0,05–0,73 |
| Otwock | n = 4 | <0,05 | Żagań | n = 4 | <0,05–0,20 |
| Pabianice | n = 160 | 0,06–0,20 | Żywiec | n = 8 | <0,05–0,13 |

oznaczono jej zawartość w granicach tła geochemicznego (<0,05 mg/kg). W glebach w Białogonie występują również anomalie ołowiu – do 3800 mg/kg (Lenartowicz, 1994).

W większości badanych gleb w Lublinie stwierdzono <0,05 mg/kg rtęci. Nieco wzbogacone (do 0,14 mg/kg) są tylko gleby aluwialne w dolinie Bystrzycy w sąsiedztwie kompleksu przemysłowego.

W glebach Olsztyna i Opolu rtęć występuje w ilości zbliżonej do tła geochemicznego. W niektórych rejonach w Opolu zaobserwowano wzbogacenie w rtęć (do 0,50 mg/kg) gleb aluwialnych, co wiąże się przypuszczalnie z zanieczyszczeniem wód i aluwii Odry i jej dopływów przez ścieki zrzucane do rzeki nawet dość daleko od miasta.

W niektórych miastach możliwa była bardziej szczegółowa ocena zawartości rtęci w glebach z uwagi na badania przeprowadzone w skali regionalnej 1 : 200 000 (z gęstością opróbowania 1 próbka/4 km² dla regionu śląsko-krakowskiego), w skali 1 : 100 000 (z gęstością opróbowania 1 próbka/1 km² dla Warszawy, Łodzi, Szczecina, Gdańska, Krakowa, Wrocławia i Poznania), skali półszczegółowej 1 : 50 000 (z gęstością opróbowania 1 próbka/0,25 km² dla Wałbrzycha) lub skali szczegółowej 1 : 25 000 (z gęstością opróbowania 1 próbka/0,06 km² dla wybranych miast aglomeracji śląskiej).

Region śląsko-krakowski

Aglomeracja górnośląska to najgęściej zaludniony i najbardziej uprzemysłowiony okręg w Polsce. Skalami macierzystymi gleb są zarówno utwory karbonu i triasu, jak i młodszych formacji (Kotlicka & Kotlicki, 1979; Kaziuk & Lewandowski, 1980), a czynniki oddziałujące na kumulację w nich pierwiastków należą do geologicznych (wychodne formacji skalnych, bariery geochemiczne) i antropogenicznych (zrzuty wód kopalnianych i ścieków, hałdy odpadów pogórnich i przeróbczych, spalanie węgla, hutnictwo żelaza i metali nieżelaznych).

Wydobywanie kruszców z licznych płytkich kopalń oraz prymitywna technologia wytopu metali z rud, prowadzona szczególnie intensywnie od XVI do XIX w. (Molenda, 1960; Pazdur & Pietraszek, 1961; Grzechnik, 1978), spowodowały rozproszenie odpadów poprodukcyjnych wokół wyrobisk i składowisk odpadów oraz ciągłą migrację metali do gleb i wód, trwającą do chwili obecnej (Lis & Przeniosło, 1999).

Istniejące do dziś zanieczyszczenie środowiska metalami (w tym rtęcią) w znacznym stopniu spowodowane jest działalnością przemysłu hutniczego w XIX i XX w. W tym okresie w Sosnowcu działały 2 huty cynku oraz fabryka bieli cynkowej. Huty cynku czynne były też na terenie Dąbrowy Górniczej, w Będzinie i w Mysłowicach (Degenhardt, 1870; Falecki, 2010; Szafraniec, 1996). Hutnictwo żelaza prowadzone było w kilku zakładach (Huta Bankowa w Dąbrowie Górniczej, huta Katarzyna, Puszkina i Huta Cedler w Sosnowcu (Historia..., 2008; Przemysł..., 2008).

Współcześnie na terenie aglomeracji górnośląskiej działają zarówno zakłady produkujące surowce cynku i ołowiu (Smakowski & Lewicka, 1999), jak i kilkanaście obiektów przemysłu żelaza i stali, które odprowadzają odpady na wysypiska i wylewiska (Królikowski i in., 1992;

Jarzębski, 1997). Największe huty żelaza zlokalizowane są w Dąbrowie Górniczej (ArcelorMittal), w Łaziskach Górnych (Łaziska), w Rudzie Śląskiej (Pokój), w Katowicach (Ferrum), w Chorzowie (Huta Królewska), w Gliwicach (Łabędy), w Dąbrowie Górniczej (Bankowa i Cedler) oraz w Sosnowcu (Buczek). Do niedawna ogromne skażenia środowiska powodowały huty cynku w Miasteczku Śląskim, Szopienicach i Świętochłowicach oraz walcownia cynku Będzin.

Wydobywaniu węgla kamiennego w kilkudziesięciu kopalniach towarzyszy powstawanie składowisk skał płonnych, na których utlenianie pirytu prowadzi do zakwaszenia i uruchamiania metali. Uciążliwe dla otoczenia są też koksownie, elektrownie i elektrociepłownie (ponad 30 zakładów) – źródła emisji pyłowych i gazowych. Do lat 80. XX w. liczne zakłady produkujące sodę, chlor i PCV z solanek wykorzystywały ciekłe katody rtęciowe, stając się źródłem skażenia środowiska. Szeroko stosowano rtęciowe barwniki, środki ochrony roślin, farmaceutyki i urządzenia elektroniczne. Powszechne jest nadal użycie świetlówek, manometrów i innych instrumentów pomiarowo-kontrolnych, których złom nie jest odpowiednio zabezpieczony (Paulo & Strzelska-Smakowska, 2000).

Głównym czynnikiem powodującym zanieczyszczenie powierzchniowej warstwy gleb przez rtęć (i inne metale) na obszarze aglomeracji są opady pyłów pochodzące z emisji przemysłowych (szczególnie z zakładów produkcji metali nieżelaznych) oraz obszary historycznego górnictwa rud cynku, ołowiu i żelaza.

Anomalię o zawartości rtęci przekraczającej (>0,40 mg/kg; maksymalnie 36,15 mg/kg) stwierdzono w dolinie potoku Wąwolnica w Jaworznie (ryc. 2), gdzie silnie zanieczyszczone gleby występują na obszarze terenów fabrycznych i Centralnego Składowiska Odpadów Zakładów Chemicznych Organika-Azot, które od ponad 60 lat są producentem chemicznych środków ochrony roślin. Po drugiej wojnie światowej w procesach produkcyjnych tych zakładów stosowano metodę elektrolizy rtęciowej (Proksa, 2008) i produkowano środki ochrony roślin, zawierające między innymi rtęć, arsen i związki chloroorganiczne.

W Oświęcimiu zawartości rtęci dochodzą do 0,42 mg/kg (tab. 2), co wiązać można z produkcją chloru w Zakładach Chemicznych Dwory i zlikwidowanym już przenikaniem ścieków do wód i gleb (Kasina & Czerwieniec, 1995).

Najsilniejsza anomalia rtęci (>0,24 mg/kg) zaznacza się od Zabrze, poprzez Rudę Śląską, Świętochłowice, Chorzów, Siemianowice Śląskie po Sosnowiec (ryc. 2). Tu stwierdzono znacznie podwyższone zawartości rtęci. Na przykład w glebach Zabrze (<0,05–0,63 mg/kg), Rudy Śląskiej (0,08–1,15 mg/kg), Świętochłowic (0,21–0,52 mg/kg), Chorzowa (0,18–0,31 mg/kg), Siemianowic Śląskich (0,12–0,32 mg/kg) i Sosnowca (<0,05–12,85 mg/kg). W Zabrze największą zawartość rtęci odnotowano w rejonie byłej huty Zabrze – 0,63 mg/kg w glebach aluwialnych na tarasach Bytomki.

W Rudzie Śląskiej, w sąsiedztwie dworca kolejowego Ruda Chebzie, koncentracja rtęci osiąga 1,15 mg/kg. Do zanieczyszczonych w rtęć należą też gleby w Bytomiu w pobliżu hut Bobrek i Zygmunt oraz elektrociepłowni Szombierki (0,70–0,80 mg/kg). W Katowicach zawartości

rtęci do 0,60 mg/kg występują w rejonie Huty Metali Nieżelaznych Szopienice, a w rejonie szybu Pułaski KWK Wieczorek i w dzielnicy Boże Dary przy KWK Murcki występują anomalie o zawartości >1,60 mg/kg (maksymalnie 7,60 mg/kg).

W Chrzanowie gleby aluwialne rozwinięte na tarasach rzeki Chechło zawierają do 0,19 mg/kg rtęci. Anomalie te mają charakter lokalny i wymagają bardziej szczegółowego zbadania.

Na południu Trzebini, na terenie Zakładów Metalurgicznych (w upadłości) i hałdy ich odpadów, występuje anomalia (>0,40 mg/kg rtęci; maksymalnie 66,50 mg/kg). Jej źródła można upatrywać w działalności tych zakładów, w których w okresie powojennym prowadzono próbną produkcję wielu metali, a degradacja gleb na tym terenie trwa od kilkuset lat. W 1890 r. została tu uruchomiona huta cynku Jadwiga na miejscu starszej huty ołowiu (Cygorjini, 1970).

Kraków

Skałami macierzystymi gleb miasta są głównie osady czwartorzędu o różnej genezie: utwory glacialne, piaski i żwiry peryglacialne, lessy i gliny lessopodobne oraz mułki, gliny i mady pokrywające tarasy akumulacyjne Wisły i jej dopływów (Ryłko, 1995). Znaczny udział mają bardzo dobre gleby wytworzone z lessów oraz żyzne mady gliniaste dna doliny Wisły i jej dopływów (Trafas, 1999).

Głównymi źródłami emisji zanieczyszczeń są Huta im. T. Sendzimira (HTS), elektrownie Skawina w Skawinie i Siersza w Trzebini, elektrociepłownia w Łęgu oraz zakłady przemysłu chemicznego, farmaceutycznego, maszynowego, elektrotechnicznego i poligraficznego, transport, głównie lokalne i paleniska indywidualne. Na terenie miasta zlokalizowane są cztery wysypiska odpadów przemysłowych, powodujące zanieczyszczenie wód gruntowych poprzez odcieki.

Zawartość rtęci w glebach dzielnic peryferyjnych nie przekracza 0,05 mg/kg, a w dolinie Wisły wzrasta do 0,06–0,11 mg/kg. W centrum miasta oraz w glebach rozwiniętych na osadach aluwialnych Wisły jej zawartość utrzymuje się powyżej 0,11 mg/kg (ryc. 2). Lokalizacja miejsc o największych stężeniach rtęci wskazuje na jej pochodzenie antropogeniczne: ścieki, pyły z obiektów przemysłowych, preparaty rtęciowe stosowane w ochronie roślin, spalanie węgla w paleniskach domowych i paliw silników samochodowych. Maksymalną zawartość rtęci (1,38 mg/kg) stwierdzono w pobliżu byłych zakładów sodowych oraz w dolinie Wisły poniżej kanałów odprowadzających ścieki z HTS. W centrum miasta do najbardziej zanieczyszczonych należą gleby w rejonie obiektów przemysłowych przy ul. Grzegórzeckiej (0,82 mg/kg), w okolicy Cmentarza Rakowickiego (0,77 mg/kg) oraz w dzielnicy Stradom (0,79 mg/kg). Zwiększone stężenia rtęci zanotowano też w kompleksie ogródków działkowych przy ulicy Do Przystani (0,50 mg/kg) i w okolicy Stawu Płaszowskiego (0,40 mg/kg).

Aglomeracja łódzka

Łódź wraz ze Zgierzem, Aleksandrowem Łódzkim, Konstantynowem Łódzkim i Pabianicami tworzy Łódzki

Okręg Przemysłowy, w którego gospodarce znaczące miejsce zajmuje przemysł włókienniczy, poligrafia, elektronika, przemysł elektromaszynowy, spożywczy, chemiczny i techniki medycznej. Emisje pyłów pochodzą z zakładów przemysłowych, energetyczno-ciepłowniczych, palenisk domowych i środków transportu. Ścieki miejskie i przemysłowe, charakterystyczne dla przemysłu chemicznego i tekstylnego (zawierające fenole, siarczki, siarczany, chlorki, fosforany i metale ciężkie), przyjmuje głównie Ner, a w mniejszym stopniu Bzura.

Większość gleb Łodzi i Zgierza charakteryzuje zawartość rtęci <0,10 mg/kg. W centrum i na południu Łodzi występuje anomalia (>0,10 mg/kg), w której południowym krańcu zawartość rtęci osiąga 5,82 mg/kg. Punktowa anomalia (z maksimum 0,66 mg/kg) została zanotowana w zachodniej części miasta. Do silnie zanieczyszczonych rterci należą gleby w pobliżu zakładów Stomil i dawnej firmy włókienniczej Poltex w Łodzi, zawierające odpowiednio 1,10 mg/kg i 1,66 i rtęci, oraz gleby aluwialne doliny Bzury w Zgierzu (do 0,56 mg/kg). W centrum Łodzi i Zgierza wyraźnie zaznaczają się też anomalie miedzi (>18 mg/kg), ołowiu (>30 mg/kg) i cynku (>100 mg/kg) o podobnym zasięgu jak anomalie rtęci. Najsilniejsza kumulacja metali w glebach dzielnic centralnych wiąże się głównie z emisjami spalin silników samochodowych.

Gdańsk

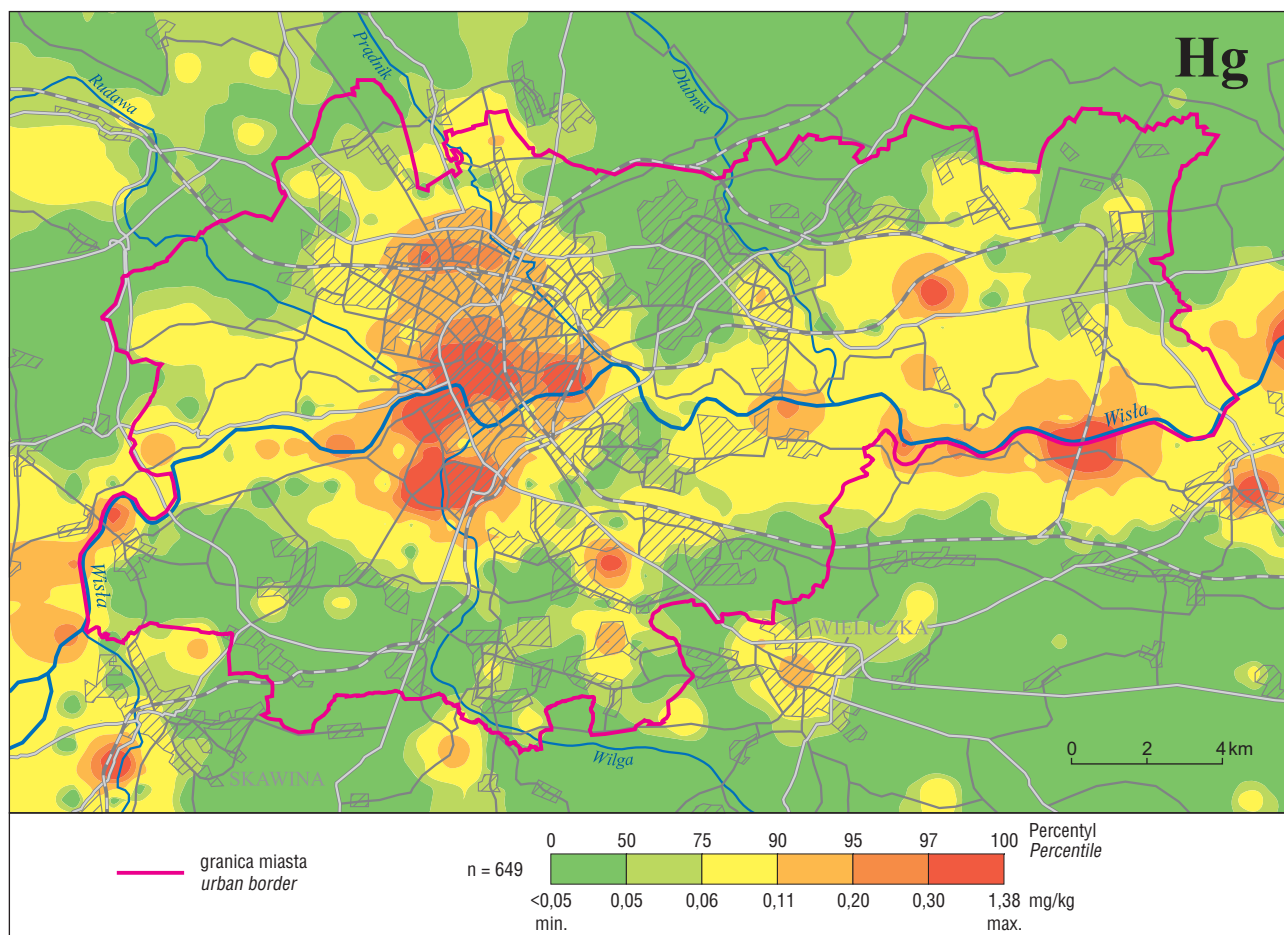
W zachodniej części miasta gleby rozwinęły się na plejstocenijskich utworach zlodowacenia północnopolskiego. Obszar delty Wisły pokrywają holocenijskie piaski, mułki i namuły rzeczne bogate w materię organiczną, a rejon Mierzei Wiślanej budują ropy, piaski i żwiry pochodzenia morskiego.

Większość zakładów przemysłowych na terenie miasta posiada oczyszczalnie, które odprowadzają ścieki do Martwej Wisły i basenów portowych.

Na zachodnich i wschodnich krańcach Gdańska zawartość rtęci nie przekracza 0,05 mg/kg (ryc. 4). W centrum częste są zawartości >0,07 mg/kg, a w rejonie wyspy Ostrów, Śródmieścia i części Wrzeszcza oraz na pograniczu Zaspy i Przymorza stwierdzono anomalie o zawartości rtęci >0,12 mg/kg. Maksymalna zawartość rtęci na obszarze anomalii wynosi 5,50 mg/kg. Na obrzeżach terenu Gdańskich Zakładów Nawozów Fosforowych zawartość rtęci osiąga 3,61 mg/kg. Gleby te są również znacznie zanieczyszczone kadmem. W zanieczyszczeniu powietrza emisjami gazów i pyłów (w tym pyłów metalonośnych) największy udział mają elektrociepłownie oraz rafineria. Przepuszczalnie rterć pochodzi w większości z tych emisji.

Legnica

Podstawowym źródłem zanieczyszczenia gleb jest Huta Miedzi Legnica, wchodząca w skład kompleksu górniczo-hutniczego Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Huta Legnica jest najstarszym w powojennej Polsce zakładem metalurgicznym, przerabiającym rodzimą rudę miedzi od 1953 r. W jej otoczeniu nastąpiła degradacja gleb poprzez wieloletnie emisje pyłów zawierających metale oraz odprowadzanie ścieków. Gleby w większości charakteryzują się odczynem obojętnym. Tylko w nielicznych



Ryc. 3. Rtęć w glebach Krakowa
Fig. 3. Mercury in soils of Cracow

punktach stwierdzono odczyn zasadowy, a na krańcach północnych i południowych przeważają gleby kwaśne. Zawartość rtęci zmienia się od $<0,05$ do $5,13$ mg/kg; na przeważającym obszarze miasta jest generalnie większa od $0,10$ mg/kg. Oprócz terenu Huty Miedzi Legnica rtęć w zwiększonych ilościach występuje w glebach ogródków działkowych nad Młynówką, między dolinami Kaczawy i Czarnej Wody oraz w okolicy dworców kolejowych.

Poznań

Utwory polodowcowe pokrywające teren miasta stały się podłożem do wytworzenia różnych typów i rodzajów gleb. W większości należą one do gleb lekkich i bardzo lekkich o odczynie kwaśnym (Czekała i in., 1998), podobnie jak gleby użytków leśnych i zadrzewień. Gleby przeobrażone przez procesy antropogeniczne występują na osiedlach mieszkaniowych i terenach komunikacyjnych.

Tło geochemiczne rtęci w glebach w otoczeniu Poznania mieści się w granicach $<0,05$ – $0,06$ mg/kg. Zwiększone zawartości tego pierwiastka ($>0,06$ mg/kg) mają charakter wyraźnych anomalii antropogenicznych i dotyczą terenów w centrum miasta. Maksymalne stężenie rtęci (712 mg/kg) stwierdzono w rejonie ulic Zawady i Nowe Zawady (w obszarze dawnego wysypiska śmieci), gdzie gleby zawierają również ekstremalne ilości baru, kadmu, srebra, manganu, miedzi, niklu, ołowiu i cynku. Warto również odnotować

obecność $1,25$ mg/kg rtęci w glebie w pobliżu Fortu IV (Karolin) przy ulicy Syreniej. Potencjalnym źródłem zanieczyszczenia tego miejsca może być Centrum Akumulatorów i miejsce ich dystrybucji przy ulicy Gdyńskiej. Do terenów najbardziej zanieczyszczonych rtęcią w centrum Poznania należą gleby parków ($<0,05$ – $0,54$ mg/kg; mediana $0,13$).

Szczecin

Na stan środowiska mają wpływ zarówno lokalne źródła zanieczyszczeń, do których należą gospodarka morską, przemysł, komunikacja, jak i transport wodami Odry zanieczyszczeń pochodzących z obiektów położonych w jej górnym i środkowym biegu. Nad Odrą położone są składowiska Huty Szczecin, na których gromadzone są żużle i szlasy wielkopiecowe. Szczególnie uciążliwe dla środowiska są ścieki wprowadzane do Odry na obszarze portu. Część powierzchni miasta pokrywają nasypy, których szczególnym rodzajem są refulatory – osady dennie wydobywane podczas pogłębiania toru wodnego Szczecin-Świnoujście i składowane na nabrzeżach.

Wzbogacenie gleb w rtęć wiąże się z opadem pyłów ze spalania paliw i odprowadzaniem ścieków. Świadczą o tym małe zawartości rtęci ($<0,05$ mg/kg) w otoczeniu miasta. W centrum występuje wzbogacenie ($>0,12$ mg/kg), a lokalnie stwierdzono anomalie punktowe ($>0,23$ mg/kg). W niektórych

rejonach gleby są zanieczyszczone rtęcią (do 0,25 mg/kg na terenie ogródków działkowych, gdzie przypuszczalnym źródłem rtęci są środki ochrony roślin). W rejonie Międzyodrza (Kanał Żeglarski, Brynecki Ostrów), wysp przy zachodnim brzegu jeziora Dąbie oraz na Polickich Łąkach występują anomalie rtęci (z maksimum 1,17 mg/kg). W pobliżu Huty Szczecin i na Nabrzeżu Fosforowym gleby zawierają około 0,90 mg/kg rtęci.

Wałbrzych

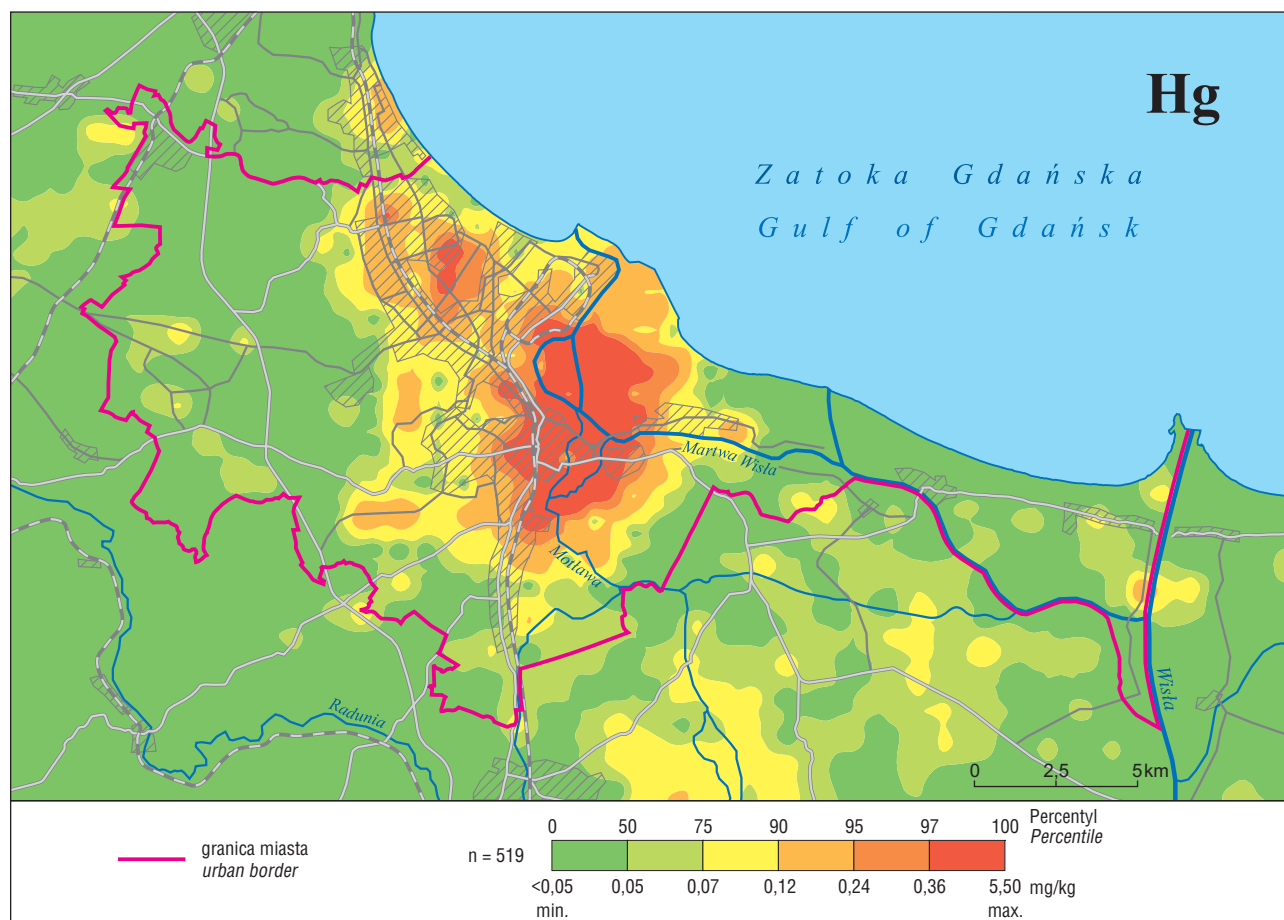
Wałbrzych leżący w kotlinie śródgórskiej Sudetów jest jednym z najbardziej uprzemysłowionych miast w Polsce. Znaczne obszary miasta zajmują utwory antropogeniczne - hałdy odpadów z kopalń węgla i barytu oraz popiołów z elektrowni (Wójcik, 1993).

Na obecny stan zanieczyszczenia środowiska w znacznej części Wałbrzycha ma wpływ działalność związana z wydobywaniem kopalni i ich przetwarzaniem. Już w XIV w. eksploatowano kruszce ołowiu i srebra z żył barytu w rejonie Boguszowa (Dziekoński, 1972), okresowo miedź w okolicy Jedlinki, a od połowy XVIII w. rozpoczęto eksploatację węgla na skalę przemysłową (Piątek, Piątek, 1979), po której pozostały dziesiątki hałd wpływających na środowisko poprzez zmiany hydrogeologiczne, pylenie i erozję. Poważny problem w rejonie wałbrzyskim stanowi gospodarka odpadami przemysłowymi, takimi jak odpady koksownicze, kondensaty z odwadniania gazu, surowe osady

ściekowe z oczyszczalni ścieków, przeterminowane środki ochrony roślin i inne odpady chemiczne.

Większość gleb charakteryzuje odczyn kwaśny, co jest uwarunkowane przede wszystkim litologią skał macierzystych (krzemionkowe skały karbonu i permu – zlepieńce, piaskowce, mułowce oraz kwaśne skały wulkaniczne). Gleby o odczynie obojętnym zanotowano w kilku punktach w centrum i w dzielnicy Podzamcze.

Tło geochemiczne rtęci w glebach z otoczenia Wałbrzycha waha się w zakresie <0,05–0,13 mg/kg i jest większe niż w innych częściach kraju. Na terenie miasta, a szczególnie dzielnic południowo-zachodnich i sąsiedniego Boguszowa-Gorców, zaznacza się zwiększenie zawartości rtęci (0,13–0,28 mg/kg). Anomalne stężenia rtęci (>0,30 mg/kg) występują przy zachodniej granicy miasta, gdzie przebiega strefa uskoku z przejawami mineralizacji barytowo-kruszcowej. Źródłem rtęci są przypuszczalnie wystąpienia cynobru i rtęci rodzimej w pokładach węgla i na kontaktach z porfirami (Kwiecińska, 1968). W centrum miasta w glebach niektórych trawników zawartość rtęci przekracza 1,00 mg/kg, a koncentracje maksymalne (do 3,22 mg/kg) stwierdzono w pobliżu hałd zamkniętej kopalni węgla kamiennego Bolesław Chrobry, elektrociepłowni i stacji kolejowych. Rtęć rozpraszana jest ze spalania dużych ilości węgla oraz rozwiewania materiału z hałd. Dowiedziono, że podczas spalania prawie cała ilość rtęci z węgla emitowana jest do atmosfery w gazowej formie metalicznej (Bojakowska & Szcześniak, 1993) i przy



Ryc. 4. Rtęć w glebach Gdańska
Fig. 4. Mercury in soils of Gdańsk

masowym, wieloletnim spalaniu dochodzi do skażenia środowiska tym metalem.

Gleby Wałbrzycha oprócz rtęci są zanieczyszczone przez arsen, bar, miedź, cynk i ołów.

Warszawa

Miasto położone jest na pograniczu morenowej wysoczyzny lodowcowej (część lewobrzeżna) oraz doliny Wisły (część prawobrzeżna), w obrębie Nizin Środkowomazowieckich (Domosławska-Baraniecka i in., 1965; Morawski, 1979; Sarnacka, 1992).

Skałami macierzystymi gleb są głównie piaszczyste utwory czwartorzędowe o ubogim składzie chemicznym. Stwierdzone zwiększenia zawartości rtęci mają wyłącznie charakter antropogeniczny. Gleby aluwialne doliny Wisły są zanieczyszczone przez ścieki komunalne odprowadzane z kilku kolektorów. Do głównych źródeł zanieczyszczenia powietrza można zaliczyć m.in.: elektrociepłownię (Żerań, Siekierki, Kawęczyn, Wola), hutę ArcelorMittal Warszawa i Tarchomińskie Zakłady Farmaceutyczne Polfa (Grzegorzczak i in., 2002).

W centrum miasta o dużym nasileniu ruchu pojazdów znaczącym źródłem rtęci są emisje spalin silników samochodowych. Świadczą o tym zwiększone ilości rtęci (>1 mg/kg) w glebach przy najbardziej ruchliwych ulicach (szczególnie przy trasie od dzielnicy Ursus do centrum oraz przy ulicach prowadzących z Czerniakowa na Marymont). W dzielnicach peryferyjnych Warszawy zawartość rtęci zazwyczaj nie przekracza 0,30 mg/kg. W dzielnicach centralnych prawobrzeżnej części miasta oraz na Bródnie występuje kilka obszarów o zawartości rtęci >2 mg/kg. Zawartość maksymalna (10,78 mg/kg) została stwierdzona w pobliżu skrzyżowania ulic Towarowej i Grzybowskiej. Punktowe podwyższenia zawartości rtęci wiążą się z lokalizacją zakładów przemysłowych (Bumar-Waryński, Polfa, zakłady elektroniki RAWAR, zakłady produkcji lamp elektrycznych i rtęciowych UNITRA, fabryka samochodów, fabryka wyrobów platerowanych).

Wrocław

W lewobrzeżnej części miasta podłoże gleb budują plejstocenijskie gliny zwałowe oraz wodnolodowcowe i rzeczne piaski i żwiry. Obszar między dolinami Ślęzy i Widawy pokrywają holocenijskie piaski, żwiry i mady tarasów zalewowych, a w centrum miasta znaczną część zajmują nasypy i hałdy.

Aglomeracja wrocławska jest silnie uprzemysłowiona. Działają tu zakłady przemysłu chemicznego, metalurgicznego, samochodowego, spożywczego oraz elektrociepłownię. Ścieki przemysłowe odprowadzane są w większości do miejskich urządzeń kanalizacyjnych, a następnie do Odry.

Przeciętna zawartość rtęci w glebach Wrocławia (0,18 mg/kg) jest wyraźnie większa niż w innych miastach Polski. Szczególnym wzbogaceniem w rtęć ($>0,34$ mg/kg) wyróżniają się gleby wytworzone z osadów aluwialnych. Największe średnie stężenia rtęci obserwuje się w glebach z terenów o zabudowie zwartej i przemysłowej (odpowiednio 0,18 i 0,15 mg/kg) oraz w glebach parków (0,18 mg/kg),

trawników (0,12 mg/kg) i ogródków działkowych (0,17 mg/kg). Strefa anomalna zaznacza się w centrum, rozciągając się od Starego Miasta poprzez Śródmieście po przemysłowe osiedle Kowale, gdzie stwierdzono największe koncentracje rtęci w glebie, dochodzące do 6,60 mg/kg. Inne rejony anomalii rtęci ($>0,71$ ppm) to obszar pól irygacyjnych Osobowice i zakola Odry w pobliżu Siechnic.

Podsumowanie

Na wzbogacenie gleb obszarów zurbanizowanych Polski w rtęć mają wpływ zarówno czynniki naturalne (rodzaj i skład chemiczny skał macierzystych gleb, topografia terenu, warunki hydrogeologiczne), jak i działalność człowieka (emisje przemysłowe i transportowe oraz odprowadzanie ścieków). Oddzielenie roli czynników antropogenicznych i geologicznych prowadzących do zanieczyszczenia gleb rtęcią w miastach jest niezwykle trudne. Zawartość rtęci zmienia się w szerokich granicach, w zależności od jej ilości odziedziczonej po skałach macierzystych oraz skoncentrowania aktywności urbanizacyjno-przemysłowej i transportu.

Generalnie zawartość rtęci w glebach miejskich jest od dwóch do czterech razy większa niż na przyległych terenach niezabudowanych. Analiza zawartości i rozkładów rtęci na terenie całej Polski wskazuje na wyraźne i powszechne wzbogacenie w ten pierwiastek gleb miejskich. Źródłem rtęci są różnorodne ogniska przemysłowe, wśród których najważniejszą rolę odgrywa przemysł wydobywczy i hutnictwo metali nieżelaznych oraz spalanie paliw kopalnych.

W miastach regionu śląsko-krakowskiego i Dolnego Śląska, położonych na podłożu skał kruszczoonych, gleby gromadzą rtęć na skutek jej znacznej zawartości w skałach macierzystych. W innych miastach, gdzie występują grunty nasypowe o znacznej miąższości, najczęściej niemożliwe jest wskazanie źródeł anomalii geologicznych. Najpoważniejsze zanieczyszczenie gleb, spowodowane wietrzeniem wychodni skał zawierających kruszce cynku i ołowiu (którym towarzyszy rtęć), ich wydobyciem oraz działalnością zakładów metalurgicznych i energetycznych, występuje w miastach Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (Świętochłowice, Piekary Śląskie, Siemianowice Śląskie, Chorzów, Chrzanów, Jaworzno, Olkusz, Bytom, Ruda Śląska, Tarnowskie Góry, Mysłowice, Łazy). Również w miastach na Dolnym Śląsku (w Wałbrzychu, Boguszowie i Szczawnie Zdroju) kumulacja rtęci w glebach pochodzi przede wszystkim ze źródeł naturalnych (okruszczenia żył barytowych, kwarcytowych i skał formacji węglonośnej). Dodatkowo jest rozpraszana ze źródeł przemysłowych (górnictwa i energetyki).

Wzbogacenie gleb powierzchniowych w miastach na Niżu Polskim (aglomeracji łódzkiej, warszawskiej i innych) jest głównie pochodzenia antropogenicznego, a kumulacja rtęci ogranicza się do gleb dzielnic centralnych i otoczenia ruchliwych arterii komunikacyjnych.

Odrębny problem stanowią zanieczyszczenia rtęcią wokół zakładów przemysłowych, hałd i składowisk odpadów. Mają one zazwyczaj niewielki zasięg, jednak wymagają szczegółowych badań w celu okonturowania terenów o przekroczonych standardach jakości gleb. Dobrym

przykładem są tu miasta położone w granicach Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (Legnica, Głogów i Polkowice), gdzie zanieczyszczenie rtęcią środowiska przyrodniczego wokół hut i zakładów przerobczych ma charakter wyłącznie antropogeniczny. Zgodnie z aktualnie obowiązującymi regulacjami prawnymi, tereny te po odpowiednim przebadaniu powinny zostać wyłączone z użytkowania rolniczego (ogrodniczego) i w miarę możliwości poddane rekultywacji. Poprzez spływy powierzchniowe i odcieki gleby te mogą stanowić źródło skażenia wód i osadów wodnych zarówno w najbliższym sąsiedztwie, jak i w odleglejszych obszarach.

Gleby miejskie rozwinięte na osadach aluwialnych wykazują znacznie większe zanieczyszczenia rtęcią niż gleby z rejonów odległych od dolin rzecznych. Źródła anomalnych koncentracji należy upatrywać w wodach i osadach niosących metale zebrane z całych dorzeczy i kumulujących je głównie w czasie powodzi. Dogodne środowisko tych utworów o wysokiej pojemności sorpcyjnej (namuły organiczne oraz ropy i torfy zawierające fosforany) decyduje o koncentracji w nich rtęci i innych metali ciężkich.

Opad pyłów (głównie ze spalania paliw) decyduje w wielu wypadkach o wzbogaceniu gleb w rtęć, szczególnie przy ich powierzchni.

Badania zrealizowano w ramach projektów 6.20.9317.00.0 i 6.20.2300.00.0 finansowanych ze środków badawczych przeznaczonych na działalność statutową Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego.

Literatura

- ALLOWAY B.J. & AYRES D.C. 1999 – Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. PWN, Warszawa.
- BIESTER H., HESS A. & MÜLLER G. 1996 – Mercury phases in soils and sediments in the Idrija mining area. Proceedings of the meeting: Idrija as a natural and anthropogenic laboratory: 17–25. Idrija, Slovenia.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 2001 – Rtęć w kopalniach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska. Biul. Państw. Inst. Geol., 349: 5–54.
- BOJAKOWSKA I. & SZCZĘŚNIAK H. 1993 – Zagrożenie naturalnego środowiska w Polsce rtęcią w wyniku spalania węgla. Prz. Geol., 41 (4): 252–257.
- CALLAHAN J.E., MILLER J.W. & CRAIG J. 1994 – Mercury pollution as a result of gold extraction in North Carolina, USA. Appl. Geochem., 9 (2): 235–241.
- CYGORIJNI K. 1970 – Hutnictwo cynku w XIX wieku w okręgu krakowskim. Rudy Metale, 5: 280–283.
- CZEKAŁA J. & JAKUBUS M. 1997 – Kadm i nikiel w glebach województwa poznańskiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 448a: 61–67.
- DAMCZYK K., DEMIDOWICZ M. & LEWICKI Z. 2000 – Stan środowiska w województwie lubuskim w 1999 roku. Bibl. Monit. Środ. Zielona Góra–Gorzów Wlkp.
- DARNLEY A., BJORKLUND A., BOLVIKEN B., GUSTAVSSON N., KOVAL P.V., PLANT J.A., STEENFELT A., TAUCHID M. & XIE XUEJING 1995 – A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendations for International Geochemical Mapping. Final Report of IGCP Project 259. Earth Sciences 19, UNESCO Publishing, Ottawa. pp 122.
- DEGENHARDT O. 1870 – Der Oberschlesien-Polnische-Bergdistrict mit Hinweglassung des Diluviums. Karte von Oberschlesien 1 : 100 000. Verlag der Landkarten Handlung von J.H. Neumann, Berlin.
- DE VOS W. & TARVAINEN T. (eds) 2006 – Geochemical atlas of Europe. Part 2, Geological Survey of Finland, Espoo.
- DOJLIDO J.R. 1995 – Chemia wód powierzchniowych. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 242 s.
- DOMOSŁAWSKA-BARANIECKA M.D., GADOMSKA S., BER A., MAKSIK S., MOJSKI J.E. & SŁOWAŃSKI W. 1965 – Atlas geologiczny Warszawy. Część I. Mapy i przekroje geologiczne, skala 1 : 20 000. Inst. Geol. Warszawa.
- DZIEKOŃSKI T. 1972 – Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII do połowy XX wieku. Ossolineum. Wrocław.
- FALECKI D. 2010 – Przemysł hutniczy. <http://mojemyslowice.pl/>.
- FREEDMAN B. 1989 – Environmental ecology. Academic Press. Inc. San Diego, California.
- GOSAR M., PIRC S. & BIDOVEC M. 1996 – Mercury in the sediments of the river Idrija. Proceedings of the meeting: Idrija as a natural and anthropogenic laboratory: 22–29. Idrija, Slovenia.
- GÓRECKA E., KARMASZ D., JAKLEWICZ A. & PASŁAWSKI P. 1996 – Zastosowanie różnych technik pomiarowych do oznaczania Hg w próbkach środowiskowych. Część II. V Poznańskie Konwersatorium Analityczne, 25–26 kwiecień 1996 r., Poznań.
- GÓRECKA E., KARMASZ D. & LECH D. 2003 – Oznaczanie rtęci w próbkach gleb i osadów techniką zimnych par w układzie przepływowo-wstrzykiwowym. VIII Konferencja „Zastosowanie AAS, ICP-AES i ICP-MS w analizie środowiskowej” 17–18 listopada 2003 r., Warszawa.
- GRZECHNIK Z. 1978 – Historia dotychczasowych poszukiwań i eksploatacji. [W]: Poszukiwanie rud cynku i ołowiu na obszarze śląsko-krakowskim. Pr. Inst. Geol., 83: 23–42.
- GRZEGORCZYK M., SAŁATA M. & SKUZA T. 2002 – Powietrze. [W]: Raport o stanie środowiska województwa mazowieckiego w 2001 roku. <http://www.wios.warszawa.pl/raport2001/index.html>.
- Historia miasta Sosnowiec, 2008. <http://um.sosnowiec.pl>.
- JAKLEWICZ A., GÓRECKA E., KARMASZ D. & PASŁAWSKI P. 1995 – Zastosowanie różnych technik pomiarowych do oznaczania Hg w próbkach środowiskowych. Część I. IV Poznańskie Konwersatorium Analityczne, 27–28 kwiecień 1995 r., Poznań.
- JARZĘBSKI J. (red.) 1997 – Raport o stanie środowiska w województwie katowickim w latach 1995–1996. Bibl. Monit. Środ. Katowice.
- KABATA-PENDIAS A. & PENDIAS H. 1999 – Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KASINA S. & CZERWIENIEC M. 1995 – Udział rtęci z procesów technologicznych oraz spalania węgla w zanieczyszczeniu środowiska w układzie atmosfera–gleba. Mat. Konf. „Geochemiczne, hydrochemiczne i biochemiczne zmiany środowiska przyrodniczego na obszarach objętych antropopresją. Zapobieganie – usuwanie przyczyn i skutków skażeń”: 41. Kraków.
- KAZIUK H. & LEWANDOWSKI J. 1980 – Mapa geologiczna Polski 1 : 200 000 (A), ark. Kraków. Inst. Geol. Warszawa.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. & MAZUREK J. 2007 – Zanieczyszczenie gleby związkami rtęci w zasięgu oddziaływania konwencjonalnej elektrowni na paliwo węglowe. Polityka Energetyczna, 10 (2): 593–600.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. & MAZUREK J. 2008 – Badania rtęci w wybranych złożach ropy naftowej regionu karpackiego. Polityka Energetyczna, 11 (1): 213–217.
- KMIECIAK M. 2000 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Białystok. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- KOTLIĆKA G.N. & KOTLIĆKI S. 1979 – Mapa geologiczna Polski 1 : 200 000 (A), ark. Gliwice. Inst. Geol. Warszawa.
- KRÓLIKOWSKI C., KUCHARSKA S., KUCHARSKI R., LINOWSKI H., PACZYŃSKI B. & TWAROGOWSKI J. 1992 – Mapa lokalizacji większych zbiorników wodnych i ognisk zanieczyszczeń na tle pierwszego poziomu użytkowego wód podziemnych w Polsce. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- KUCHA H. & MAYER W. 1996 – Geochemia. [W]: Monografia KGHM Polska Miedź SA: 237–251. CBPM Cuprum. Lubin.
- KWIECIŃSKA B. 1968 – Przejawy mineralizacji na kontakcie intruzji magmowej z węglem w okolicy Wałbrzycha. Spr. Pos. Kom. Nauk PAN Oddz. Krak., 11 (1): 443–446.
- LENARTOWICZ L. 1994 – Atlas geochemiczny Kielc 1 : 50 000. Państw. Inst. Geol. Oddz. Świętokrzyski. Kielce.
- LENARTOWICZ L. 2001 – Atlas geochemiczny Częstochowy i okolic 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- 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., Agencja Wyd. A. Grzegorzczak. Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995b – Atlas geochemiczny Górnego Śląska 1 : 200 000. Państw. Inst. Geol., PAE SA. Warszawa.

- LIS J. & PASIECZNA A. 1995c – Atlas geochemiczny Krakowa i okolic 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol., PAE SA. Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1998a – Atlas geochemiczny aglomeracji łódzkiej 1 : 100 000. Cz. I. Gleby, osady wodne, wody powierzchniowe. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1998b – Atlas geochemiczny aglomeracji szczecińskiej 1 : 200 000. Cz. I. Gleby, osady wodne, wody powierzchniowe. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1998c – Przeglądowa kartografia geochemiczna Polski. [W]: Ochrona litosfery (red. S. Kozłowski): 244–248. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1999a – Atlas geochemiczny Pobrzeża Gdańskiego 1 : 250 000. Cz. I. Gleby, osady wodne, wody powierzchniowe. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1999b – Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1 : 25 000. Promocyjny arkusz Sławków. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 2001 – Tło geochemiczne i anomalie w środowiskach powierzchniowych Ziemi w Polsce. Zesz. Nauk. PŚI. Górnictwo, 248: 123–128.
- LIS J. & PASIECZNA A. 2005 – Atlas geochemiczny Poznania i okolic 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., BOJAKOWSKA I., GLIWICZ T., FRANKOWSKI Z., PASŁAWSKI P., POPIOŁEK E., SOKOŁOWSKA G., STRZELECKI R. & WOŁKOWICZ S. 1999 – Atlas geochemiczny Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego 1 : 250 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- LIS J. & PRZENIOSŁO S. 1999 – Wpływ górnictwa i hutnictwa cynku i ołowiu w obszarze śląsko-krakowskim na środowisko. Mat. Konf. „Stan aktualny i perspektywy górnictwa rud Zn-Pb w Polsce”: 15–25. ZGH Bolesław.
- LIS J. & SYLWESTRZAK H. 1986 – Minerale Dolnego Śląska. Wyd. Geol. Warszawa.
- LORENZ U. & GRUDZIŃSKI Z. 2007 – Zawartość rtęci jako potencjalny czynnik ograniczający wartość użytkową węgla kamiennego i brunatnego. Górnictwo i Geoinżynieria, 31, z. 3/1: 335–349.
- LUBAŚ L. 1986 – Rteć w permokarbońskich gazach ziemnych Niżu Polskiego. Pr. Inst. Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, 56.
- MASON R.P., FITZGERALD W.F. & MOREL F.M.M. 1994 – The biogeochemical cycling of elemental mercury: anthropogenic influences. Geoch. Cosmoch. Acta, 58 (15): 3191–3198.
- MATSCHULLAT J., OTTENSTEIN R. & REIMANN C. 2000 – Geochemical background – can we calculate it? Environ. Geol., 39 (9): 990–1000.
- MEDYŃSKA A., KABAŁA C., WIECZOREK J. & MAZUREK R. 2010 – Zawartość rtęci w glebach leśnych w rejonie oddziaływania przemysłu miedziowego. [W]: Rteć w środowisku. Identyfikacja zagrożeń dla zdrowia człowieka. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk: 151–157.
- MIHALJEVIĆ M. 1999 – Mercury. [In]: Encyclopedia of geochemistry (eds. C.P. Marshall, R.W. Fairbridge): 387–389. Kluwer Academic Publishers.
- MOLEND A. 1960 – Górnictwo kruszców. [W]: Zarys dziejów górnictwa na ziemiach polskich (red. J. Pazdur). T. 1: 120–162. Wyd. Górnictwo-Hutnicze, Katowice.
- MORAWSKI W. 1979 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Warszawa Zachód. Inst. Geol. Warszawa.
- NRIAGU J.O., PFEIFFER W.C., MALM O., SOUZA M. & MIERLE G. 1992 – Mercury pollution in Brazil. Nature, 356, 6368: 369.
- O’NEILL P. 1998 – Chemia środowiska. PWN. Warszawa–Wrocław.
- PACYN A. & PACYN A.E.G. 2001 – An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. Environ. Rev. 9 (4): 269–298.
- PASIECZNA A. 2003 – Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PASIECZNA A. (red.), LIS J., DUSZA-DOBEK A., GÓRECKA E. & WITKOWSKA A. 2008a – Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1 : 25 000. Ark. Olkusz.
- PASIECZNA A. (red.), LIS J., DUSZA-DOBEK A., SZUWARZYŃSKI M. & WITKOWSKA A. 2008b – Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1 : 25 000. Ark. Chrzanów.
- PASIECZNA A., SIEMIĄTKOWSKI J. & LIS J. 1996 – Atlas geochemiczny Wałbrzycha i okolic 1 : 50 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PAULO A. & KRZAK M. 1997 – Rteć z końcem XX wieku. Prz. Geol., 45, 10: 875–882.
- PAULO A. & STRZELSKA-SMAKOWSKA 2000 – Rudy metali nieżelaznych i szlachetnych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 259 s.
- PAZDUR J. & PIETRASZEK E. 1961 – Górnictwo rud metali nieżelaznych. [W]: Zarys dziejów górnictwa na ziemiach polskich (red. J. Pazdur). T. 2: 91–106. Wyd. Górn.-Hutn. Katowice.
- PIĄTEK E. & PIĄTEK Z. 1979 – Dolnośląskie górnictwo węgla kamiennego w latach 1760–1850. Kronika Wałbrzyńska. Wrocław.
- PROKSA S. 2008 – Dzieje przemysłu. <http://www.jaworzno.pl>.
- Przemysł Dąbrowa Górnicza, 2008. <http://dabrowa.pl>.
- REIMANN C., ÅYRÄS S., CHEKUSIN V., BOGATYREV I., BOYD R., CARITAT P., DUTTER R., FINNE T.E., HALLERAKER J.H., JČGER Ř., KASHULINA G., LEHTO O., NISKAVAARA H., PAVLOV V., RÄISÄNEN M.L., STRAND T. & VOLDEN T. 1998 – Environmental geochemical atlas of the Central Barents Region. Geol. Survey of Norway. Trondheim.
- RYŁKO W. 1995 – Geologia. [W]: Atlas geochemiczny Krakowa i okolic 1 : 100 000 (Lis, Pasieczna, red.): 7–11. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Rzeszów4U.PL. Internetowe miasto, 2010. <http://www.rzeszow4u.pl>.
- SALMINEN R. & GREGORAUSKIENE V. 2000 – Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. Appl. Geochem., 15 (5): 647–653.
- SALMINEN R. (ed.) 2005 – Geochemical Atlas of Europe. Part 1. Geol. Survey of Finland, Espoo.
- SARNACKA Z. 1992 – Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawa i okolic. Pr. Państw. Inst. Geol., 138: 29s.
- SMAKOWSKI T. & LEWICKA E. 1999 – Podaż cynku i ołowiu w Polsce na tle Europy i świata. Mat. Konf. „Stan aktualny i perspektywy górnictwa rud Zn–Pb w Polsce”: 26–63. ZGH Bolesław.
- STEINNES E. 1995 – Mercury. [In]: Heavy metals in soils (ed. B.J. Alloway): 78–92. Blackie Academic Press & Professional. Glasgow.
- SZARFANIEC L. 1996 – Osady i osiedla Katowic. Oficyna Artur, Katowice.
- SZPADT R. (red.) 1994 – Zanieczyszczenie środowiska rtęcią i jej związkami. Bibl. Monit. Środ. PIOŚ, Warszawa.
- SZYŃKOWSKA M.I. 2010 – Kontrolowanie stężenia rtęci w środowisku. <http://www.gbepolska.pl>.
- TOMASSI-MORAWIEC H., LIS J. & PASIECZNA A. 1998 – Atlas geochemiczny Wrocławia i okolic 1 : 100 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- TRAFAS K. 1999 – Środowisko geograficzne miasta . [W]: Raport o stanie środowiska naturalnego miasta Krakowa w latach 1994–1998. Stan aktualny i tendencje. Bibl. Monit. Środ. Kraków. http://www.krakow.pl/ekologia/raport_98.
- WILHELM S.M. & KIRCHGESSNER D.A. 2001 – Mercury in petroleum and natural gas: estimation of emissions from production, Processing and combustion. EPA/600/R-01/066.
- WÓJCIK J. 1993 – Przeobrażenia ukształtowania powierzchni Ziemi pod wpływem górnictwa w rejonie Wałbrzycha. Acta Univ. Wratisl. 1557 Stud. Geogr. 59: 142 s.

Praca wpłynęła do redakcji 31.05.2010 r.
Po recenzji akceptowano do druku 19.01.2011 r.