

Beata KŁOJZY-KARCZMARCZYK\*, Janusz MAZUREK\*\*

## Rtęć w gruntach w otoczeniu wybranych składowisk odpadów górnictwa węglowego

**STRESZCZENIE.** Działalność kopalni i zakładów przerobczych węgla kamiennego prowadzi do powstawania składowisk, najczęściej nadpoziomowych, na których są deponowane odpady poeksploatacyjne i poprodukcyjne. Najczęściej są to odpady w postaci skały płonnej oraz odpady ze wzbogacania i flotacji węgla. Niektóre składowiska odpadów zawierają znaczne ilości mułu węglowego, który może być obecnie powtórnie wykorzystany. Odpady pogórniczne składowane bezpośrednio na powierzchni terenu podlegają procesom erozji fizycznej oraz chemicznej, stając się źródłem zanieczyszczenia dla otaczającego je środowiska gruntowego i wodnego. W odpadach węglowych występują domieszki różnych minerałów i metali ciężkich. Jednym z pierwiastków obecnych w węglach jest rtęć. Rtęć zawarta w odpadach na skutek przemian chemicznych (zakwaszenie środowiska) może zostać wyługowana i rozprzestrzenić się drogą wodną lub przemieszczać się poprzez transport pyłów w powietrzu. Rtęć związana w środowisku glebowym pochodzi w znacznym stopniu z przemysłowych ognisk zanieczyszczeń, wśród których mogą znajdować się zakłady wydobywczo-przerobcze węgla kamiennego. W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań zanieczyszczenia gleb rtęcią w otoczeniu nieczynnej obecnie kopalni „Siersza” w Trzebini. Produkcja węgla kamiennego pozostawiła na tym terenie szereg obiektów w postaci różnych strukturalnie i wiekowo składowisk (hałd) odpadów pogórnicznych oraz innych obiektów infrastruktury technicznej (magistrale transportowe, szyby wydobywcze, instalacje przerobcze). Odpady te gromadzone były w tym rejonie od kilkudziesięciu lat. Niektóre z nich zdążyły się już wkomponować w krajobraz na drodze naturalnej rekultywacji. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono znaczne zróżnicowanie zawartości rtęci w badanych gruntach. Średni poziom ogólnego zanieczyszczenia rtęcią badanych gruntów był wyraźnie podwyższony w stosunku do lokalnego tła

---

\* Dr inż., \*\* Mgr inż. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Pracownia Badań Środowiskowych i Gospodarki Odpadami, Kraków; e-mail: jan@min-pan.krakow.pl

geochemicznego rtęci obserwowanego dla okolic Trzebini. Wykonane badania dowiodły, że zanieczyszczenie rtęcią w rejonie kopalni węglowej jest widoczne, nie obserwuje się jednak przekroczenia wartości dopuszczalnych rtęci w glebach. Rtęć obecna w gruntach w rejonie badań pochodzi również z innych źródeł (bliższych i dalszych), jak np. elektrociepłownie i konwencjonalne elektrownie na paliwo węglowe.

SŁOWA KLUCZOWE: kopalnie węgla kamiennego, hałdy górnicze, odpady, emisja zanieczyszczeń, opad pyłu, środowisko gruntowo-wodne, zanieczyszczenie rtęcią

## 1. Składowiska odpadów górniczych a zagrożenie dla środowiska

Składowiska odpadów górnictwa węglowego, na których zdeponowane są odpady w postaci skały płonnej lub odpady ze wzbogacania i flotacji węgla, mogą być źródłem zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego. Niektóre składowiska odpadów zawierają tak znaczne ilości mułu węglowego, że rozważa się obecnie jego powtórne wykorzystanie (Góralczyk, Baic 2009). Odpady pogórnice składowane bezpośrednio na powierzchni terenu podlegają procesom erozji fizycznej oraz chemicznej, stając się źródłem zanieczyszczenia dla otaczającego je środowiska gruntowego i wodnego. Szczególnie agresywne są odpady zawierające znaczne ilości skał z domieszką siarczków. W odpadach węglowych występują również domieszki innych minerałów i metali ciężkich. W wyniku utleniania siarczków następuje zakwaszenie odpadów i ługowanie zanieczyszczeń z bryły składowiska (m.in. Kłojzy-Karczmarczyk 2003). Jednym z pierwiastków obecnych w węglach jest rtęć (m.in. Bojakowska, Szcześniak 1993; Kabata-Pendias, Pendias 1993; O'Neil 1997; Szpadt 1994). Rtęć zawarta w odpadach górnictwa węglowego na skutek przemian chemicznych (zakwaszenie środowiska) może zostać wyługowana i rozprzestrzenić się drogą wodną lub przemieszczać się poprzez transport przesuszonych pyłów w powietrzu.

Występowanie rtęci w środowisku, a w szczególności w przypowierzchniowych warstwach gleby, związane jest zarówno z naturalną obecnością tego pierwiastka w litosferze i atmosferze, jak i z działalnością gospodarczą człowieka. Rozwój przemysłu i związane z tym emisje zanieczyszczeń do atmosfery są przyczyną poważnych zmian w naturalnym rozplywie strumienia rtęci w środowisku przyrodniczym (m.in. Kabata-Pendias, Pendias 1993; Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2006, 2007; O'Neil 1997). Efektem zwiększonego zanieczyszczenia gleby rtęcią są lokalnie podwyższone zawartości tego pierwiastka w glebach na terenach uprzemysłowionych i w ich sąsiedztwie, szczególnie tam, gdzie znajdują się liczne źródła emisji rtęci, takie jak: zakłady wydobywczo-przeróbcze węgla i rud metali, instalacje spalania węgla (w tym elektrownie o dużej mocy), zakłady przeróbcze ropy naftowej oraz inne sektory przemysłu. Zawartość rtęci w tych rejonach często przewyższa poziom lokalnego tła geochemicznego i charakteryzuje się dużą nierównomiernością jej przestrzennego rozmieszczenia. Związane jest to z lokalizacją źródeł oraz ze zmiennymi

warunkami rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze. Rtęć zasorbowana w środowisku glebowym może w sprzyjających warunkach przejść wraz z wodami opadowymi wsiąkającymi w glebę do wód powierzchniowych i podziemnych, a tym samym stanowić wtórne ognisko zanieczyszczenia (Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2005; Witczak, Adamczyk 1995). Zagrożenie to zależy w dużej mierze od parametrów fizykochemicznych roztworów wodnych krążących w środowisku gruntowym. W sprzyjających warunkach może zachodzić uwalnianie metali z kompleksów glebowych i migracja do wód podziemnych. Szczególnie sprzyjające warunki mogą zachodzić na składowiskach odpadów pogórnicych (np. hałdy i osadniki mułu węglowego).

Przedmiotem badań jest wstępne rozpoznanie stopnia zanieczyszczenia rtęcią przypowierzchniowej warstwy gleby (gruntu) w rejonie nieczynnej kopalni węglowej „Siersza” w Trzebini. Na tym terenie znajdują się niezlikwidowane składowiska odpadów pogórnicych (hałdy). Z dotychczasowych badań (m.in. Bojakowska, Szczęśniak 1993; Kabata-Pendias, Pendias 1993; Szpadt 1994; O’Neil 1997) wynika, że praktycznie wszystkie gatunki węgla kamiennego zawierają rtęć w ilościach większych niż jej średnia zawartość w skorupie ziemskiej. Zawartość rtęci w węglach wynosi najczęściej od 0,01 do 0,15 mg/kg, ale nierzadkie są przypadki, że przekracza nawet 1,6 mg/kg. Rtęć jest metalem o wyjątkowo dużej lotności co sprawia, że może być łatwo uwalniana (Bojakowska, Szczęśniak 1993). Rtęć może również rozprzestrzeniać się z pyłami w atmosferze i być transportowana na znaczne odległości, a następnie z deszczem opadać na powierzchnię terenu. Pomimo względnie niewielkiej zawartości rtęci w węglu, zanieczyszczenie środowiska gruntowego w pobliżu składowisk może znacznie przekraczać poziom lokalnego tła geochemicznego. Wynika to z właściwości rtęci, która może podlegać zjawisku kumulacji w przypowierzchniowych warstwach gruntu. Naturalna średnia zawartość rtęci w glebach niezanieczyszczonych kształtuje się w granicach od 0,01 do 0,03 mg/kg (m.in. Kabata-Pendias, Pendias 1993; Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2006, 2007). Właściwości kumulacyjne rtęci powodują, że jej nagromadzenie w glebach wzrasta z czasem, ponieważ procesy ługowania rtęci z kompleksów glebowych uwalniają do roztworów nie więcej niż od 10 do 20% zasorbowanej rtęci (Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2006, 2007; Witczak, Adamczyk 1995).

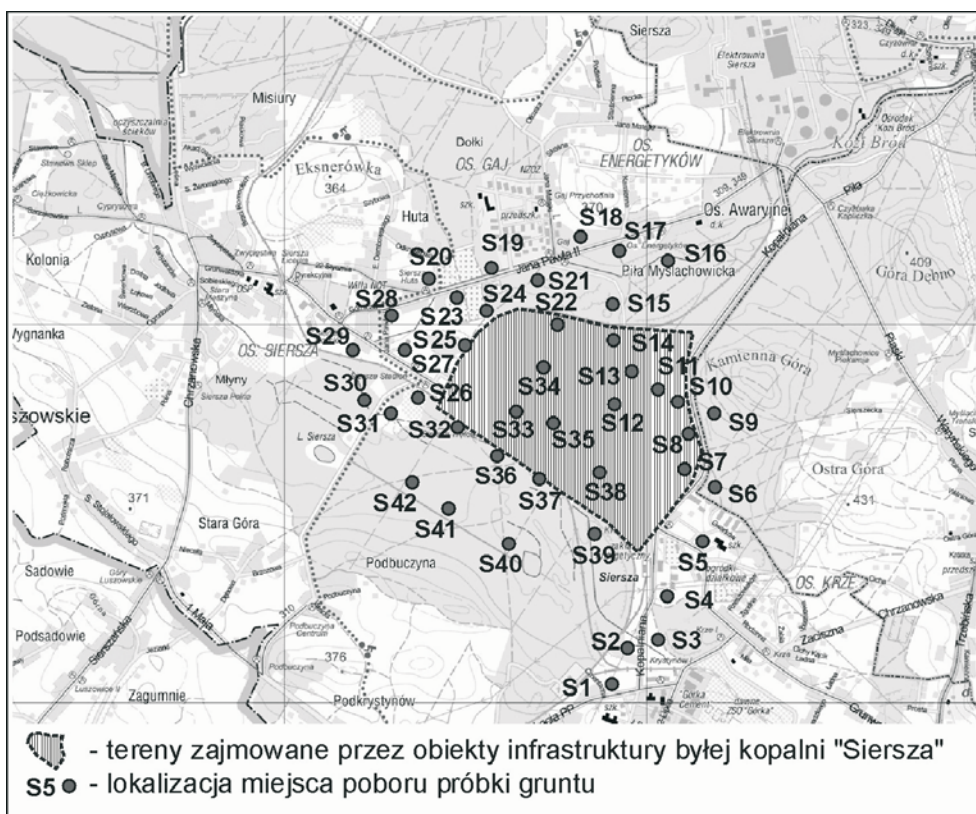
Celem pracy jest określenie stężenia rtęci w glebach na obszarze, gdzie znajdują się nagromadzenia węglowych odpadów pogórnicych. Należy również podkreślić, że w rejonie badań mamy także do czynienia z potencjalnym i realnym oddziaływaniem emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych z elektrowni spalającej od kilkudziesięciu lat różne gatunki krajowych węgla kamiennych (Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2007).

## 2. Charakterystyka obszaru oraz metodyka badań

Produkcja węgla kamiennego pozostawiła szereg obiektów w postaci różnych pod względem strukturalnym i wiekowym składowisk (hałd) odpadów pogórnicych. Pozostały również inne obiekty infrastruktury technicznej, jak szyby wydobywcze, magistrale

transportu węgla, instalacje przerobcze. Odpady gromadzone były na obszarach górniczych od kilkudziesięciu lat, a niektóre elementy poeksploatacyjne zdążyły się już wkomponować w krajobraz na drodze naturalnej rekultywacji.

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań zanieczyszczenia gleb rtęcią na obszarze i w otoczeniu nieczynnej obecnie kopalni „Siersza” w Trzebini. W celu wyeliminowania możliwego wpływu innych lokalnych źródeł rtęci na wyniki prowadzonych badań, takich jak np. szlaki komunikacyjne nie związane z działalnością kopalni (Klojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2006), próbki do badań pobierano w miejscach oddalonych o minimum 20 m od elementów infrastruktury technicznej nie związanej bezpośrednio z działalnością kopalni. Próbkę pobierano przeważnie na terenach otwartych (leśnych lub łąkowych) występujących dość licznie na omawianym obszarze. Dla określenia zawartości rtęci w badanym rejonie wytypowano szereg miejsc poboru próbek, znajdujących się w otoczeniu obiektów związanych z byłą kopalnią „Siersza” (głównie obiektów wydobywczych, magistral transportowych, zakładów przerobczych i starych hałd skały płonnej oraz mułów z procesu przeróbki węgla). Hałdy funkcjonowały na tym terenie od kilkudziesięciu lat i uległy częściowej naturalnej rekultywacji. Wrysowanie dokładnych konturów starych hałd jest zadaniem



Rys. 1. Lokalizacja miejsc poboru próbek gleby w rejonie kopalni węgla kamiennego „Siersza” w Trzebini

Fig. 1. Location of soil sample collection in the vicinity of “Siersza” coal mine in Trzebinia

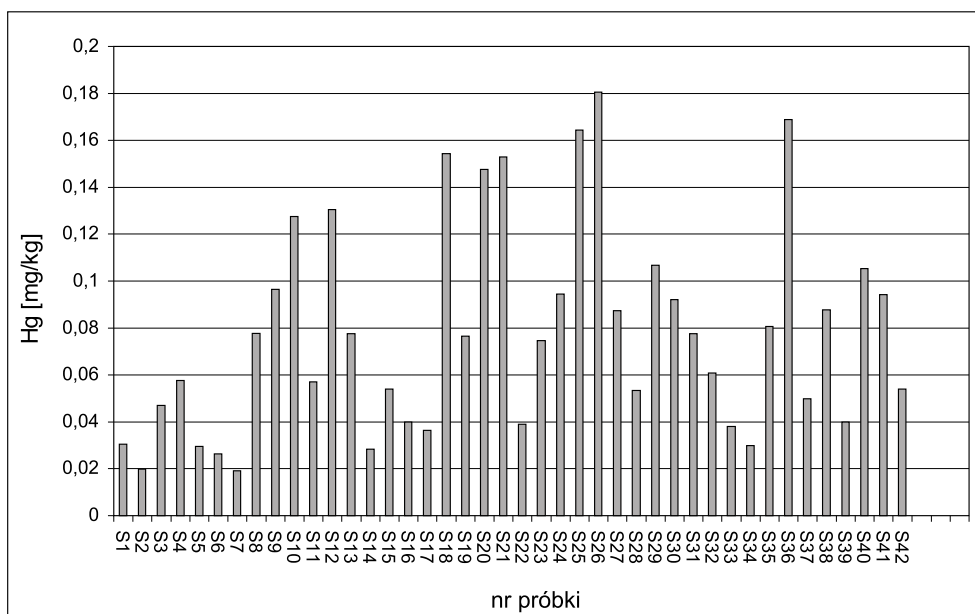
obecnie trudnym. Przedstawione badania mają charakter obszarowy (próbki gruntów pobierano w różnej odległości od granic starych hałd i innych obiektów). Lokalizacja opróbowania uzależniona była często od lokalnej dostępności terenu. W związku z powyższym zastosowano nieregularną siatkę opróbowania. Rozmieszczenie punktów opróbowania gruntów w rejonie badań przedstawiono na rysunku 1. Próbki gleb pobierano za pomocą przystosowanych do opróbowania piasków, próbników rdzeniowych firmy Eijkelkamp. Materiał do analiz pobierano z głębokości od 30 do 50 cm poniżej powierzchni terenu.

Dla wszystkich pobranych próbek oznaczono zawartość całkowitą rtęci. W pracy autorzy wykorzystali metodę będącą modyfikacją klasycznej metody AAS, umożliwiającą pomiar progowych (rzędu nanogramów) ilości rtęci w próbkach stałych i ciekłych różnego pochodzenia. Metoda polega na połączeniu aparatury do mineralizacji z wysokiej czułości spektrometrem, co gwarantuje minimalne straty rtęci w procesie analizy. Do przeprowadzenia badań wykorzystano dedykowany spektrometr absorpcji atomowej AMA 254 firmy Altec (Mazurek 2001).

### 3. Analiza zawartości rtęci w badanych próbkach gleby

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdza się, że w badanych glebach rtęć występuje w ilościach zmieniających się w dość szerokim zakresie. Poziom jej zawartości kształtuje się w granicach od około 0,02 mg/kg s.m. (suchej masy) do ponad 0,18 mg/kg. s.m. Obserwowane wartości zbliżone są do opisywanych w literaturze wyników z badań zawartości rtęci w glebach na terenie kraju. Średnia zawartość rtęci w badanych próbkach wyniosła około 0,078 mg/kg s.m. Średnia ta jest zbliżona do obserwowanych średnich stężeń rtęci w uprzemysłowionych obszarach aglomeracji trzebińsko-chrzanowskiej (Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2005). Na rysunku 2 przedstawiono zestawienie oznaczonych zawartości rtęci w pobranych próbkach gleb.

Największe zawartości rtęci wykryto w próbkach S18, S20, S21, S25, S26 (rys. 1). Są to grunty pobierane w rejonach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów przemysłowych byłej kopalni, głównie w otoczeniu obiektów byłej infrastruktury technicznej (magistrale transportowe, szyby kopalni) oraz w rejonie na północ od terenu zajmowanego przez byłą kopalnię. W mniejszym stopniu podwyższone zawartości rtęci obserwuje się w punktach S9, S10, S12, S24, S29, S40, S41 (rys. 1). Są to miejsca poboru zlokalizowane między innymi w zasięgu starego składowiska odpadów przy szybie głównym kopalni. Podwyższone zanieczyszczenie rtęcią wystąpiło również na wysuniętym najbardziej na północ obszarze badań, rozciągającym się na kierunkach zbliżonych do W oraz SE (punkty S19, S20, S21). Są to kierunki dominujących wiatrów w rejonie Trzebini, a tereny te położone są najbliżej emitorów elektrowni węglowej „Siersza”. Fakt ten pozwala przypuszczać, że badana rtęć pochodzi – prawdopodobnie – częściowo z emisji zanieczyszczeń powstających w procesach spalania węgla w elektrowni i innych lokalnych elektrociepłowniach (Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2007). Na całym terenie poddanym badaniom



Rys. 2. Zawartość rtęci w próbkach gruntu pobranych w rejonie nieczynnej kopalni węglowej „Siersza” w Trzebini

Fig. 2. Hg content in soil samples collected in the vicinity of the closed down “Siersza” coal mine

możliwy jest również opad zanieczyszczeń napływających z innych aglomeracji, np. śląskiej. Stwierdzone zawartości rtęci nie przekraczają dopuszczalnych zawartości rtęci dla gleby (0,5 mg/kg), określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. Nr 165, poz. 1359).

## Podsumowanie i wnioski

Zanieczyszczenie rtęcią gleb w otoczeniu obiektów byłej kopalni węgla kamiennego „Siersza” charakteryzuje się dość znaczną zmiennością. Największe stężenia rtęci (rzędu 0,18 mg/kg) stwierdzono w próbkach pobieranych w pobliżu obiektów przemysłowych byłej kopalni – w rejonie zlikwidowanych szybów górniczych, kolejowych magistrali transportowych. Składowiska odpadów górniczych także są przyczyną niewielkiego wzrostu zawartości rtęci w glebach w ich otoczeniu.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono znaczne zróżnicowanie zawartości rtęci w badanych gruntach. Średni poziom ogólnego zanieczyszczenia rtęcią badanych gruntów był wyraźnie podwyższony w stosunku do lokalnego tła geochemicznego rtęci obserwowanego dla okolic Trzebini. Wyniki badań skłaniają do wniosku, że zanieczysz-

czenie gleb związkami rtęci wywołane działalnością kopalni jest zauważalne, jednak nie przekracza wartości dopuszczalnych dla rtęci w środowisku glebowym.

Na obecnym etapie badań nie jest możliwe dokładne określenie, w jakim stopniu składowane odpady lub inne obiekty pozostałe po kopalni przyczyniły się do wzrostu stężenia rtęci w gruntach badanego obszaru. Rtęć obecna w gruntach w rejonie badań pochodzi również z innych źródeł (bliższych i dalszych), jak np. elektrociepłownie i konwencjonalne elektrownie na paliwo węglowe. Nie jest obecnie możliwe określenie procentowego udziału poszczególnych źródeł w całkowitej ilości rtęci zasorbowanej w badanych gruntach.

## Literatura

- [1] BOJAKOWSKA I., SZCZĘŚNIAK H., 1993 – Zagrożenie naturalnego środowiska w Polsce w wyniku spalania węgla. Przegląd Geologiczny nr 4, s. 252–257, Warszawa.
- [2] GÓRALCZYK S., BAIC I., 2009 – Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. Polityka Energetyczna t. 12, z. 2/2. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [3] KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1993 – Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [4] KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., 2003 – Zastosowanie odpadów energetycznych w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów górniczych. Studia, Rozprawy, Monografie Nr 117, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [5] KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., MAZUREK J., 2005 – Rtęć w strefie aeracji otoczenia drogi krajowej 79 na odcinku Chrzanów–Kraków. XII Sympozjum „Współczesne Problemy Hydrogeologii”. Toruń, t. XII, s. 337–344.
- [6] KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., MAZUREK J., 2007 – Zanieczyszczenie gleby związkami rtęci w zasięgu oddziaływania konwencjonalnej elektrowni na paliwo węglowe. Polityka Energetyczna t. 10, z. spec. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [7] MAZUREK J., 2001 – Występowanie rtęci w środowisku przyrodniczym oraz sposoby jej oznaczania. Czasopismo Techniczne, Kraków.
- [8] O'NEIL P., 1997 – Chemia środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław.
- [9] SZPADT R., 1994 – Zanieczyszczenie środowiska rtęcią i jej związkami. Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ, Warszawa.

Beata KLOJZY-KARCZMARCZYK, Janusz MAZUREK

## Mercury in soils found in the vicinity of selected coal mine waste disposal sites

### Abstract

Operation of coal mines and coal processing plants leads to the formation of waste disposal sites, frequently above the ground, where post-mining waste and post-processing waste is deposited. This is largely barren rock waste and waste resulting from coal cleaning and flotation. Some of the waste disposal sites contain significant amounts of coal silt which may be now used again. Post-mining waste deposited directly on the ground is subject to physical and chemical erosion thus becoming a source of contamination for the surrounding soil and water environment. Coal waste contains various minerals and heavy metals. Mercury is one of the elements present in coal. Due to chemical changes (environmental acidification) mercury from the waste may be leached and dispersed via water or airborne with dust. Mercury bound in the soil largely comes from sources of industrial pollution such as coal mines and coal processing plants. The paper presents selected results from research on soil contamination with mercury in the vicinity of the closed down "Siersza" coal mine in Trzebinia. There are various remains of coal production in the area including mine spoil heaps of different structure and age. This waste was deposited there for tens of years. Some of the spoil heaps have already managed to blend in with the environment by way of natural reclaim. In the course of the conducted research it was found that there are significant differences in mercury content in the investigated soils. The average level of soil contamination with mercury was clearly higher than in the local mercury geochemical background in the vicinity of Trzebinia. The conducted research has proved that although mercury contamination in the vicinity of the mine is visible it does not exceed the standards allowed in soils. Mercury in soil in the investigated sites also comes from different sources (closer and further) such as for instance thermoelectric power stations and conventional coal burning power stations.

KEY WORDS: coal mines, mine spoil-heaps, waste, contaminant emission, dust deposition, soil and water environment, mercury contamination