

Elżbieta Hycnar, Tadeusz Ratajczak, Marian Wagner  
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## Hg, Pb, Cd W WĘGLU BRUNATNYM ZE ZŁOŻA „BEŁCHATÓW” (OBSZAR GÓRNICZY „SZCZERCÓW”). BADANIA WSTĘPNE

**Streszczenie.** Spalanie kopalnych paliw stałych, związane z ich energetycznym wykorzystaniem poza emisją do atmosfery CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, powoduje uruchomienie innych obecnych w węglu związków toksycznych. Za szczególnie niebezpieczne uważane są metale ciężkie, takie jak: Hg, Pb i Cd. Zawartość tych metali w stałych i lotnych odpadach energetycznych zależy bezpośrednio od ich koncentracji w spalonym węglu. W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań dotyczące zawartości wymienionych metali ciężkich w węglu brunatnym ze złoża „Bełchatów”. Obszar badań, miejsca pobrania próbek był zlokalizowany w obrębie pola górniczego „Szczerców”.

## Hg, Pb, Cd IN THE LIGNITE FROM “BEŁCHATÓW” DEPOSIT (“SZCZERCÓW” MINING AREA). PRELIMINARY RESEARCH

**Summary.** The combustion of solid fossil fuels causes not only the emission of carbon dioxide, sulphur dioxide and nitric oxide into the atmosphere, but also activates other toxic compounds occurring in the coal. Heavy metals such as Hg, Pb and Cd are considered to be especially dangerous toxic elements. The contents of these heavy metals in solid and fly energy wastes depends on their concentrations in the combusted coal. This study presents the preliminary results of the investigations on the heavy metals concentrations in lignite from “Bełchatów” deposit. The research area and sampling sites are located within the “Szczerców” mining area.

### 1. Wprowadzenie

Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w naszym kraju bazuje niemal wyłącznie na kopalnych paliwach stałych – węglu kamiennym i brunatnym. Sytuacja ta wynika z faktu zasobności Polski w te paliwa, a także z braku innych alternatywnych źródeł liczących się w

bilansie energetycznym Państwa. Ważną rolę w produkcji energii elektrycznej kraju odgrywa węgiel brunatny ze złoża „Bełchatów”. Kopalnia „Bełchatów” jest największą kopalnią odkrywkową w Polsce i jedną z największych w Europie. Średnie roczne wydobywanie stanowi ponad 50 proc. wydobywania węgla brunatnego w kraju. Wykorzystująca bełchatowski węgiel Elektrownia „Bełchatów” jest największą w Polsce i Europie elektrownią opalaną węglem brunatnym. Moc pracujących tu bloków energetycznych wynosi 4440 MW i stanowi około 15% mocy zainstalowanej w polskiej energetyce zawodowej. Roczna produkcja energii wynosząca przeciętnie 27-28 TWh stanowi około 20% produkcji krajowej.

Ze spalaniem węgla wiąże się wiele problemów. Najważniejsze z nich to konieczność ograniczenia emisji oraz zagospodarowanie dużych ilości stałych odpadów energetycznych. Polska jako członek Unii Europejskiej jest zobowiązana dostosować standardy ekologiczne w sektorze wytwarzania energii do coraz ostrzejszych regulacji obowiązujących w UE. Tymczasem ze spalaniem węgla związana jest nie tylko emisja CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> czy NO<sub>x</sub> ale również uruchomienie innych uciążliwych dla środowiska związków toksycznych. Za szczególnie niebezpieczne uważane są metale ciężkie, takie jak: Hg, Pb, Cd. Wykazują one silne działanie trujące.

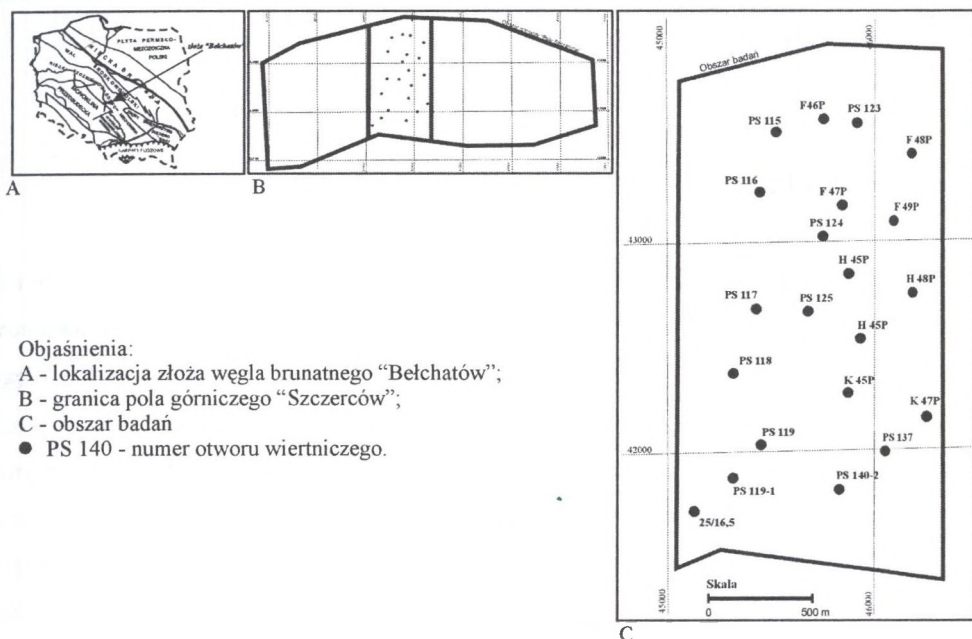
Zawartość Hg, Pb i Cd w stałych i lotnych odpadach energetycznych zależy bezpośrednio od ich koncentracji w spalonym węglu. W węglu brunatnym ze złoża „Bełchatów” pierwiastki te występują zarówno w połączeniu z substancją organiczną węgla, jak i w składnikach substancji mineralnej. Pierwiastki te mogą tworzyć własne minerały takie jak galena (PbS), cerusyt (PbCO<sub>3</sub>) czy cynober (HgS). Mogą także być obecne w innych minerałach, jak np. w pirycie w formie domieszek diadochowych (Stachura, Ratajczak, 2006).

Podczas spalania węgla wymienione metale ciężkie wykazują zróżnicowaną tendencję do kumulowania się w stałych i lotnych odpadach energetycznych. Rtęć i kadm z uwagi na wysokie „współczynniki lotności” (83 dla Hg i 70 dla Cd) są emitowane do atmosfery (Matl, Wagner 1995). Rtęć przechodzi głównie w związki lotne typu HgCl<sub>2</sub>, HgO oraz Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O i staje się źródłem zanieczyszczenia atmosfery. W niższych temperaturach spalania węgla oraz przy braku chloru w węglu może przyjąć formę HgSO<sub>4</sub> i stać się składnikiem stałych odpadów energetycznych. Pewna ilość tego pierwiastka ulega również adsorpcji na cząstkach popiołu lotnego i jest wychwytywana na elektrofiltrach. Kadm koncentruje się głównie w produktach spalania powstających podczas przemieszczania się

gazów z paleniska do komina. Ołów z uwagi na niski współczynnik lotności (rzędu 14) ulega koncentracji w stałych produktach spalania (Matl, Wagner 1995). Do atmosfery jest emitowany za pośrednictwem najdrobniejszych cząstek popiołu lotnego, które nie są wychwytywane przez urządzenia odpylające.

## 2. Materiał do badań i metodyka badań

Materiał do badań stanowił węgiel brunatny ze złoża „Bełchatów” pochodzący z pola eksploatacyjnego „Szczerców”. Badaniami objęto środkowy fragment tego obszaru górniczego o powierzchni około 3,5 km<sup>2</sup> (fig. 1). Sprofilowano 22 otwory wiertnicze i przebadano 466 próbek węgla.



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia otworów wiertniczych stanowiących przedmiot zainteresowań badawczych

Fig. 1. The sketch of prospects bore-holes which's were researches subject

Próbki węgla brunatnego pobierano z rdzeni wiertniczych w sposób ciągły z interwałów o długości 0,7 – 3 m. Podczas opróbowania pomijano przewarstwienia mineralne o miąższości powyżej 0,25 m, takie jak: ły, piaski, kreda jeziorna. Próbki węgla rozdrobiano w młynie udarowym Fritscha do maksymalnej średnicy 0,2 mm, a następnie zgodnie z

normami PN-G-04506 oraz ISO 5069-1,2:1983 otrzymywano z nich próbki analityczne. Metodyka badań objęła m.in. oznaczenie zawartości:

- wilgoci trwałej metodą suszenia zgodnie z PN-80/G-04511 oraz ISO 5069:1983;
- popiołu metodą powolnego spopielenia w temperaturze 815°C według PN-ISO 1171:2002;
- rtęci. Dokonano tego metodą zimnych par wodorków za pomocą przystawki wodorkowej do spektrometru PU 9360 X.;
- ołowiu i kadmu. W tym przypadku próbki węgla zmineralizowano w temperaturze 500°C w atmosferze tlenu. Pozostałość roztworzono w stężonym kwasie fluorowodorowym (HF) i nadchlorowym (HClO<sub>4</sub>), oraz solnym (HCl). Zawartość metali oznaczano metodą spektrofotometrii absorpcyjnej (ASA) za pomocą spektrofotometru PHILIPS PU 9100X.

Wyniki oznaczeń chemicznych zostały przeliczone na stan suchy (d) wg PN-ISO 1170.

### 3. Rezultaty badań

Zgodnie z „Międzynarodową Klasyfikacją Węgla w Pokładzie” objętą od 2003 roku normą ISO, badany węgiel brunatny ze złoża „Bełchatów” należy określić jako humusowy rzędu „ortho-lignite”. W Polsce nazywany jest on miękkim węglem brunatnym. Węgiel bitumiczny, wyróżniający się żółtawą barwą, jest składnikiem akcesorycznym. Badany węgiel oznaczał się zmiennym ciepłem spalania (9,74–12,79 MJ/kg) w stanie wilgotnym i bezpopiołowym. Spowodowane to było zmienną wilgotnością całkowitą (46,4–54,5% wag). Poza tym jest węglem średnio- i wysokozapopielenym (19,0 – 28,2% wag.). W składzie petrograficznym dominują macerały grupy huminitu (78 – 85% obj.). Składniki grupy liptynitu występują w średniej ilości, natomiast inertynitu są mało liczny komponentem węgla.

Koncentracje metali ciężkich Hg, Pb i Cd w badanym węglu brunatnym zamieszczono w tabeli 1 oraz na figurze 2. Jego graficzną lateralną koncentrację w obrębie badanego rejonu ilustruje figura 3.

Zawartość rtęci na badanym obszarze wynosi średnio 0,6 ppm i zawiera się w przedziale od 0,1 do 1,9 ppm. Średnia obecność ołowiu kształtuje się na poziomie 11,2 ppm, zamykając

się w przedziale od 1,3 do 59,5 ppm. Ilość kadmu wynosi średnio 0,9 ppm i mieści się w interwale od 0,1 do 7,0 ppm.

Tabela 1

Zawartość Hg, Pb i Cd w stanie suchym (d) w węglu brunatnym z obszaru górniczego „Szczerców” w złożu „Bełchatów” [ppm]

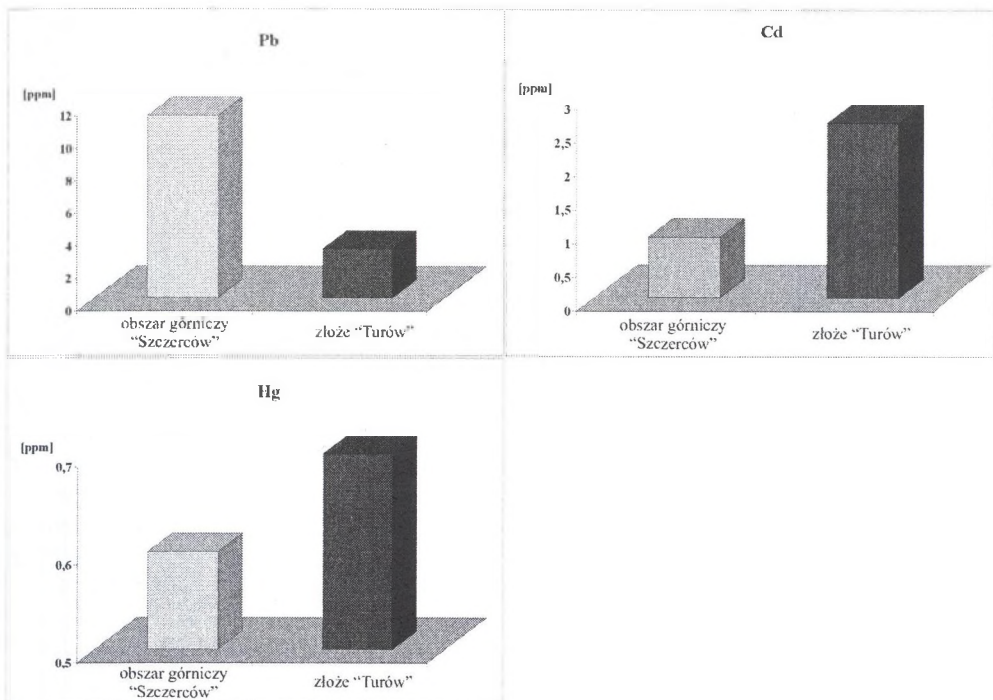
Numer otworu	Pb <sup>d</sup>			Cd <sup>d</sup>			Hg <sup>d</sup>		
	min	max	średnia	min	max	średnia	min	max	średnia
F 47P	1,3	11,3	4,7	0,3	0,6	0,5	0,2	0,7	0,4
F 48P	6,8	17,8	10,9	0,3	1,8	0,8	0,1	0,5	0,3
F 49P	3,4	20,1	7,6	0,1	0,9	0,4	0,1	0,5	0,3
H 45P	9,0	20,5	14,9	0,5	1,4	0,8	0,2	0,7	0,4
H46P	2,4	59,5	5,0	0,2	7,0	0,5	0,2	1,9	0,4
H 48P	3,5	22,9	13,4	0,1	1,1	0,4	0,1	0,9	0,5
PS 115	2,1	6,5	4,8	0,1	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5
PS 116	4,4	25,7	11,4	0,1	0,4	0,3	0,2	0,9	0,4
PS 117	4,4	19,7	11,7	0,1	0,9	0,3	0,4	0,8	0,6
PS 118	4,5	15,4	9,8	0,1	0,5	0,3	0,4	0,8	0,6
PS 119	4,3	21,6	10,3	0,1	0,8	0,4	0,5	1,0	0,7
PS 119_1	2,4	14,0	8,4	0,2	1,0	0,6	0,2	1,0	0,7
PS 123	4,4	11,0	6,4	0,8	1,6	1,1	0,1	0,3	0,2
PS124	2,2	12,9	5,2	0,1	0,7	0,1	0,2	0,8	0,2
PS125	4,5	19,0	10,3	0,2	0,7	0,5	0,6	0,9	0,7
PS 137	4,4	15,2	8,6	0,6	5,8	2,2	0,5	1,1	0,8
PS 140_2	6,7	18,9	12,0	0,2	0,6	0,4	0,3	1,0	0,7
PS 142	4,5	13,4	8,9	1,7	7,0	3,1	0,2	1,3	0,7
PS 161	6,43	17,0	10,4	1,3	2,7	2,0	0,3	1,7	1,0
K 45P	3,6	15,9	9,1	0,2	0,5	0,3	0,3	0,9	0,6
K 47P	11,83	59,5	28,1	0,4	2,2	1,0	0,2	1,6	0,8
25/16,5	10,0	27,5	17,3	2,0	3,8	2,8	0,1	1,9	1,1
<b>Dla całego obszaru badań</b>	<b>1,3</b>	<b>59,5</b>	<b>11,2</b>	<b>0,1</b>	<b>7,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,1</b>	<b>1,9</b>	<b>0,6</b>

Mapa rozkładu koncentracji oznaczanych metali ciężkich na badanym obszarze jest zróżnicowana. Generalnie można zauważyć, że stężenie Hg wykazuje tendencję do wzrostu w kierunku południowo-wschodnim. Także w przypadku ołowiu stwierdzono wyraźną anomalię maksymalnych koncentracji zlokalizowaną w południowo-wschodniej części terenu badań. Kadmu jest najmniej w części północno-zachodniej. Podobnie jak w przypadku Hg poziom jego zawartości wzrasta w kierunku południowo-wschodnim.

Stężenie rtęci w badanym węglu z pola górniczego „Szczerców” jest zbliżone do zawartości wykazanych i innych złóż węgla brunatnego, np. w złożu „Turów” w pokładzie II wynosi ona - 0,7 ppm, „Legnica”- 1,2 ppm, „Czaple Nowe”- 2 ppm. Wyższą koncentracją tego pierwiastka charakteryzuje się węgiel ze złoża „Zebrzydowa” - 4,1 ppm (Wagner, Matl 1996). Przedstawione koncentracje rtęci są wyraźnie wyższe od uznanych za średnie dla innych światowych złóż węgla zarówno brunatnego, gdzie wynoszą średnio 0,02 ppm, jak i kamiennego - około 0,08 ppm (Bouska 1981). Potwierdza to hipotezę, że węgiel brunatny z obszaru Polski podobnie jak pochodzący z zachodniej Ukrainy i wschodnich Niemiec jest bogaty w rtęć. Zjawisko to nie znalazło jak dotąd pełnego wyjaśnienia. Nośnikiem tego pierwiastka w węglu mogą być miocenijskie piryty (Bojakowska, Sokołowska 2001, Stachura, Ratajczak 2006).

Koncentracje Pb w badanym węglu są porównywalne z podawanymi przez niektórych autorów w przypadku innych złóż węgla brunatnego (J. Szwed-Lorenc 1980; K. Matl, M. Wagner 1995). Dotyczy to m.in. złóż: Czaple Nowe (17,9 ppm), Jarosów (17,8 ppm), Łęknica (16,6 ppm), Mosty (14,1 ppm). Przewyższają natomiast obecność tego pierwiastka w przypadku Lubstowa (5 ppm) czy Legnicy (2,1-5,1 ppm), a także odkrywek Józwin (4 ppm), Turów II i Turów I (3 ppm).

Oznaczone w badanym węglu zawartości Cd są niższe w porównaniu z koncentracjami wykazanymi przez K. Matla i M. Wagnera (1995) w przypadku innych złóż węgla brunatnego, m.in. Sieniawa (1,8-2,2 ppm), Lubstów i Kazimierz (3,3-3,8 ppm), Turów (2,6-4,0 ppm), Adamów (3,1-3,3 ppm) czy też przytaczanymi przez J.R. Kasińskiego (1998) w przypadku odkrywek Józwin, Turów I i II (maksymalnie kilka ppm). Są jednakże i takie złoża węgla brunatnego w których koncentracje średnie Cd są wyraźnie wyższe: Legnica - 10 ppm, Mosty - 15 ppm, Torzym, Rzepin - do 12 ppm (Matl, Wagner 1995).



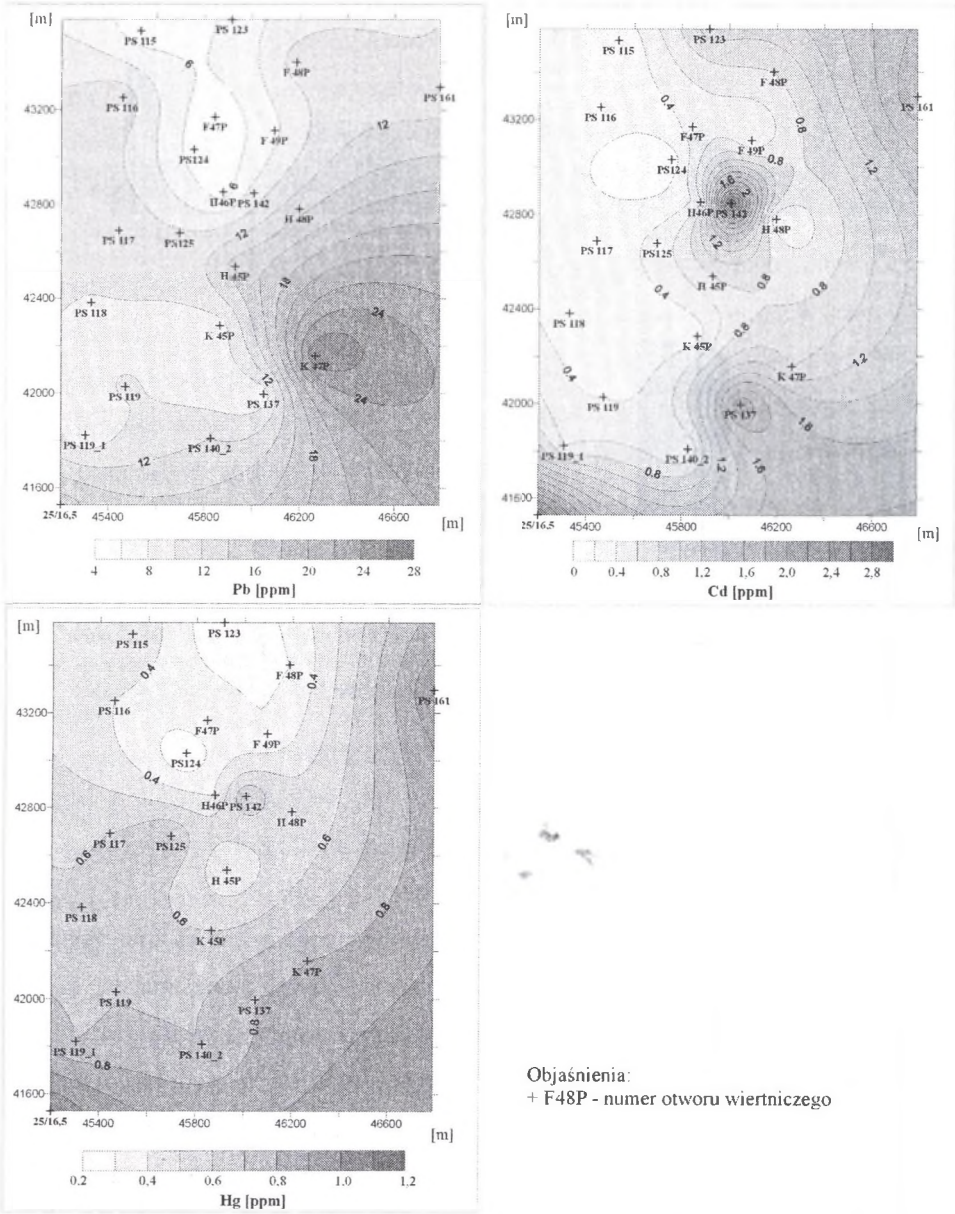
Rys. 2. Porównanie średnich zawartości Pb, Cd i Hg w węglu brunatnym ze złóż „Bełchatów (pole górnicze „Szczerców”) i „Turów”

Fig. 2. The comparison of Pb, Cd, Hg averages contents in lignite from Turów and Bełchatów deposits

#### 4. Zakończenie

Zawartość metali ciężkich Pb, Cd i Hg w węglu należy rozpatrywać w kontekście ich akumulacji w stałych bądź lotnych produktach spalania. Wymienione metale ciężkie zachowują się odmiennie podczas procesu energetycznego przetwarzania węgla. Cd i Pb wg Swaine’a i Godarziego (1995) należą do tych, które koncentrują się w produktach spalania powstałych w trakcie przemieszczania się gazów z paleniska do komina. Z kolei Hg nawet w 90% jest emitowana do atmosfery. W przypadku rtęci i kadmu z uwagi na wysokie współczynniki „lotności” możliwe jest wzbogacenie w ten pierwiastek terenów będących w bezpośrednim zasięgu opadu pyłów czy oddziaływania emisji elektrowni pochodzących ze spalania badanego węgla. Tym nie mniej w węglu brunatnym z pola górniczego „Szczerców” nie stwierdzono niebezpiecznie podwyższonych koncentracji Pb, Cd i Hg.

Badania wykonane w Katedrze Mineralogii, Petrografii i Geochemii (nr 11.11.140.158).



Rys. 3. Rozkład zawartości Hg, Pb i Cd na wydzielonym obszarze badawczym w obrębie pola górniczego "Szczerców" w złożu węgla brunatnego "Bełchatów"

Fig. 3. The distribution of Hg, Cd, Pb contents at the separated research area within the boundary of "Szczerców" in the "Bełchatów" lignite deposit



## BIBLIOGRAFIA

1. Bojakowska I., Sokołowska G.: Rtęć w kopalinach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczeń środowiska. Biuletyn PIG, 394, str. 5–54.
2. Bouška V., 1981: Geochemistry of coal. Prague. 2001.
3. Kasiński J. R.: Analiza aktualistyczna środowisk sedymentacyjnych osadów fitogenicznych klimatu subtropikalnego-geneza złoża węgla brunatnego, cz. II. Węgiel brunatny. Archiwum PIG, Warszawa 1998.
4. Matl K., Wagner M.: Analiza występowania pierwiastków rzadkich i śladowych w ważniejszych krajowych złożach węgla brunatnego [w:] M. Stryzewski (red.), Eksploatacja selektywna węgla brunatnego i kopalni towarzyszących wraz z uwarunkowaniami techniczno-ekonomicznymi i korzyściami ekologicznymi. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków, str. 30-44. 1995.
5. Ratajczak T., Słomka T., Stachura E., Wagner M.: Pole Szczerców. Badania i ocena zmienności parametrów jakościowych węgla brunatnego z otworów rozpoznawczych i obserwacyjnych wg norm Unii Europejskiej. Opracowanie niepublikowane. 2008.
6. Stachura E., Ratajczak T.: Substancja mineralna w węglu brunatnym ze złoża „Bełchatów” (pole Bełchatów). Prace Geologiczne 153, str. 1-95. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2006.
7. Swaine D.J., Goodarzi F.: Environmental Aspects of Trace Elements in Coal. Kliver Academic Publisher. Netherlands 1995.
8. Szwed-Lorenc J.: O pewnych postaciach występowania siarki w polskich złożach węgla brunatnych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 35, 1980.

Recenzent: Dr hab. inż. Bronisława Hanak  
Profesor Politechniki Śl.