

Ireneusz Pyka, Krzysztof Wierzchowski**

PROBLEMY Z RTĘCIĄ ZAWARTĄ W WĘGLU KAMIENNYM

1. Wprowadzenie

Węgiel kamienny, tworząc wraz z węglem brunatnym bazę paliwową elektroenergetyki i ciepłownictwa w Polsce, stanowi o bezpieczeństwie energetycznym kraju [1, 2]. Istniejące prognozy, np. w Polityce Energetycznej Polski do 2030 r. [1], w niewielkim tylko stopniu umniejszają rolę tego surowca energetycznego w najbliższych dekadach. Jednocześnie zarówno wspomniana Polityka Energetyczna, jak i Polityka Ekologiczna Polski [3] formułują zadania dotyczące przeciwdziałania szkodliwym wpływom wykorzystania węgla na środowisko. Istnieją też wykonawcze dokumenty unijne [4, 5] oraz krajowe [6], regulujące dopuszczalne poziomy emisji niektórych zanieczyszczeń do atmosfery podczas procesów spalania węgla, oraz formułujące zasady postępowania, mające na celu zmniejszenie obciążenia środowiska z tytułu wykorzystania węgla [7]. Identyfikuje się, w związku z wykorzystaniem węgla, a właściwie już na etapie jego wydobycia, wiele obciążeń środowiskowych, [8–10]. Wszystko to powoduje, że „klimat” dla węgla, zwłaszcza w Unii Europejskiej (UE), nie jest najlepszy, zwłaszcza w kontekście tzw. zmian klimatycznych [11, 12]. Niemniej, jednak w krajach UE, ten pierwotny nośnik energii nie jest skreślany i stanowi ważny element bezpieczeństwa energetycznego UE [13–15]. Jego wykorzystanie w gospodarce musi jednak uwzględniać zasady zrównoważonego rozwoju.

Jednym z identyfikowanych negatywnych wpływów wykorzystania węgla na środowisko jest zawartość w nim rtęci. Według jednego z europejskich dokumentów referencyjnych [7] zagrożeń związanych z rtęcią nie adresuje się bezpośrednio do samego węgla, np.: jego składowania, itp. Identyfikowane zagrożenia adresowane są głównie do części rtęci zawartej w węglu, która jest emitowana do atmosfery po jego spalaniu. Podkreśla się, że rtęć wyemitowana do atmosfery stanowi zanieczyszczenie transgraniczne, o skali ogólnoświatowej [16–21]. Rtęć, przechodząc następnie do wody, czy gleby, może ulegać różnym prze-

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

mianom, a między innymi przekształcać się w metylortęć — najbardziej toksyczną formę występowania rtęci [16, 23]. Ta jest toksyną, neurotoksyną, wpływającą niekorzystnie na układ krążenia i stanowi czynnik mutagenny [16, 21–23].

W Polsce i Unii Europejskiej nie ma jeszcze regulacji prawnych dotyczących najważniejszych składowych strumienia rtęci przechodzących z węgla do środowiska (energochemicznie wykorzystanie węgla, w mniejszym stopniu procesy przemysłowe). Natomiast istniejące dokumenty [16, 24] świadczą o planach wprowadzenia takich regulacji, zarówno w UE, jak i w skali świata. Regulacje dotyczące emisji rtęci do atmosfery, podczas procesów wykorzystania węgla, wprowadzono już w dwóch krajach: USA i Kanadzie [18, 25]. Ewentualne regulacje dotyczące rtęci mogą mieć dwojaki charakter: ogólnych ograniczeń dotyczących antropogenicznych strumieni rtęci do środowiska — głównie do atmosfery oraz norm dla procesów przemysłowych podawanych na jednostkę objętości spalin, produkcji, itp. Właśnie rozpoczynają się działania mające na celu wprowadzenie ogólnoświatowych regulacji dotyczących rtęci, z zakładanym terminem ich wejścia w życie w 2017 roku [26]. Zakresu tych regulacji nie w sposób na dzień dzisiejszy przewidzieć, chociaż można zaryzykować twierdzenie, że będzie trudno osiągnąć takie porozumienie zwłaszcza w odniesieniu do norm emisji rtęci do atmosfery.

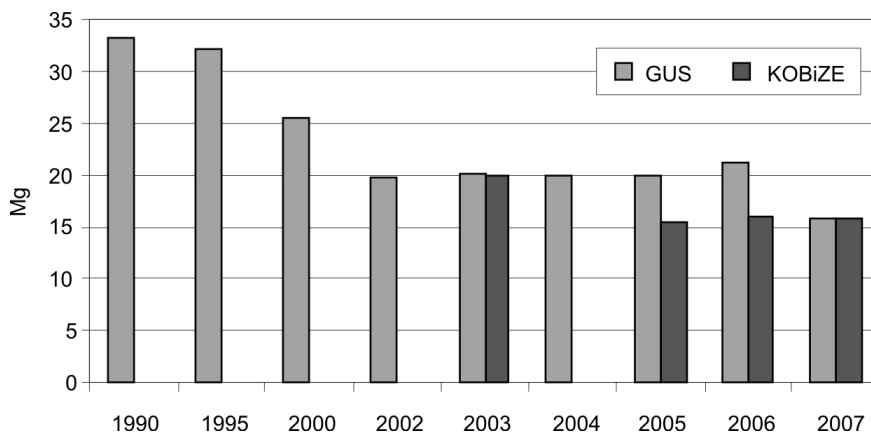
2. Definicja „problemów” z rtęcią w węglu

Dlaczego problemy, a nie jeden problem? Problemy, gdyż w Polsce zarówno ładunek rtęci, jaki niesie ze sobą węgiel, jak i potencjalny rozkład tego ładunku na strugi pochodzące z procesów produkcji i wykorzystania węgla nie są dokładnie rozpoznane. Nie wykorzystuje się też całkowicie potencjału redukcji ilości rtęci zawartej w węglu, tkwiącego w procesach wzbogacania węgla. Węgiel do celów energetycznych to w wciąż w dużym stopniu węgiel surowy.

Jedną z podstaw analizy danych dotyczących zawartości rtęci w polskich węglach kamiennych oraz jej emisji i napisania niniejszego tekstu było porównanie dwóch par liczb. USA — kraj, w którym, co prawda, wprowadzono regulacje dotyczące ograniczenia emisji rtęci do atmosfery z procesów spalania węgla, zużywając ponad 1 mld ton węgla emituje w procesach energetycznych tylko 49 ton rtęci do atmosfery rocznie [27]. W Polsce przy łącznym zużyciu węgla kamiennego i brunatnego, wynoszącym około 130 mln ton, emisja taka jest szacowana na około 13–14 ton rocznie (tylko emisja z użytkowania węgla) [28, 29]. Wydaje się, że różnice zawartości rtęci w węglach w USA i w Polsce nie są drastycznie duże [30], aby uzasadnić dysproporcję ww. przedstawionych liczb. Pomimo tego, że w USA (i w Kanadzie) w wyniku wprowadzenia regulacji dotyczących emisji rtęci z energetyki, wdraża się już technologie specjalnie zaprojektowane do zmniejszania emisji rtęci do atmosfery oraz rozważa się i wdraża pomysły dotyczące tzw. *fuel switching* w obrębie samego węgla, czyli sprzyjające wykorzystywaniu (a więc i selektywnemu wydobywaniu) paliwa węglowego o małej zawartości rtęci [18, 23, 31, 32].

2.1. Problem danych statystycznych

Pierwszy problem, być może już przeszły, to statystyki. Na rysunku 1 zobrazowano dane o ilościach rtęci emitowanej do atmosfery w Polsce w ostatnich kilku latach. Dane te pochodzą z dwóch źródeł. W pierwszym wypadku jest to Główny Urząd Statystyczny — GUS [28], w drugim Instytut Ochrony Środowiska [29], a ściślej Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami — KOBiZE. Jak widać dane te różnią się między sobą w kilku kolejnych latach (2005–2006). Jeżeli w międzynarodowym temacie rtęci mamy osiągnąć „sukcesy” to takie różnice w danych statystycznych nie powinny się pojawiać.



Rys. 1. Całkowite wielkości emisji rtęci do atmosfery według danych GUS i KOBiZE

2.2. Problem oceny zawartości rtęci w węglu

Drugi problem to źródła danych wejściowych i ich „jakość”. Dane dotyczące zawartości rtęci w węglu można uzyskać z kilku źródeł i są bardzo nieuporządkowane. W tabeli 1 zamieszczono zinventaryzowane przez autorów dane dotyczące zawartości rtęci w węglu kamiennym wydobywanym w Polsce. W tabeli tej zamieszczono następujące dane (w nawiasie opis kolumny w tabeli 1):

- średnia zawartość rtęci według danego źródła (średnia)
- zakres wartości dostępnych danych lub inne statystyki (zakres danych, zmienność)
- charakterystyka danych, liczba analizowanych próbek (charakterystyka)
- inne informacje, w tym źródło cytowania, rok pochodzenia (inne).

Niektóre z zamieszczonych w tabeli 2 danych były już przedmiotem analiz [37–39]. Między innymi na podstawie informacji o średniej zawartości rtęci w węglu kamiennym formułowano wnioski o ładunku rtęci, niesionym przez węgiel kamienny [37, 39]. Przyjęto wartość średnią zawartości rtęci w węglu kamiennym równą 100 ppb [37] oraz 100 i 150 ppb [39].

TABELA 1

Wyniki inwentaryzacji danych o zawartości rtęci w polskich węglach kamiennych

I.p.	Średnia, [ppb]	Zakres danych, [zmiennosc]	Charakterystyka	Inne
1.	350	wariancja 154%	liczba próbek — 10	[7] na podstawie danych Euelectric, rok publikacji 2001, brak informacji czy średnie są średnimi ważonymi
2.	399 105 60	81–997 ppb 1–750 ppb	zagłębnie dolnośląskie — 7 próbek węgla; zagłębnie lubelskie — 29 próbek węgla; zagłębnie górnośląskie — 114 próbek węgla (w tym 12 z kopalni nieistniejącej)	[33], rok publikacji 2001, brak informacji czy średnie są średnimi ważonymi
3.	141	62–302 ppb zakres średnich dla kopalń	około 620 oznaczeń, brak rozróżnienia źródła pochodzenia próbek węgla — węgiel surowy/wzbogacony?	[34], rok zakończenia zbierania danych: 2005, brak informacji czy średnie są średnimi ważonymi
4.	brak obliczeń średniej	12–159 ppb	przedstawiono 62 wyniki dla różnych węgli	[35] badano energetyczne węgle handlowe — spalane w energetyce
5.	brak obliczeń średniej	130–340 ppb	wyniki zawartości rtęci w klasach ziarnowych i frakcjach gęstościowych wydzielonych z węgla surowego pochodzącego z 5. kopalń	[36] badano tylko węgle surowe
6.	100	50–150 ppb	wyniki dla ponad 800 próbek, brak rozróżnienia źródła pochodzenia próbek węgla, węgiel surowy/wzbogacony?	[37] rok publikacji 2006, próbki pobrane z węgla spalane w energetyce; brak informacji czy średnie są średnimi ważonymi
7.	76 66	–	liczba próbek — 2	[38] 2004 rok, pojedyncze oznaczenia tylko dla dwóch próbek węgla pobranych z paliwa kierowanego do spalania w elektrowni Jaworzno III

Przy średniej zawartości rtęci w węglu, wynoszącej 100 ppb, ładunek rtęci dla węgla kamiennego został oszacowany na od 12,0 Mg w 1990 roku do 7,9 Mg w 2005 roku. Natomiast przy średniej zawartości rtęci w węglu, wynoszącej 150 ppb ładunek rtęci oszacowano na od 18,0 Mg w 1990 roku do 11,8 Mg w 2005 roku [39]. Zamieszczone w tabeli 1 dane świadczą, że szacunki te mogą być odległe od ładunków rzeczywistych, gdyż dostępne są i inne dane, wskazujące na mniejszą niż 100 ppb średnią zawartość rtęci w polskim węglu kamiennym. Powyższe rozbieżności szacunków ładunku rtęci w węglu kamiennym wynikają z faktu, że nie mamy pełnej, usystematyzowanej wiedzy o zawartości rtęci we wszystkich węglach. Tym samym nie znamy rzeczywistej średniej zawartości rtęci w węglach kamiennych, a wreszcie posługujemy się najczęściej prostą średnią arytmetyczną bez uwzględnienia wag, które powinny być przypisane poszczególnym wartościom jednostkowym (ilość produkcji lub zużycia węgla o danej zawartości rtęci).

W wypadku tematu rtęci często występują porównania z USA. Warto więc zaznaczyć, że bazy danych (dla węgla) liczą tam dziesiątki tysięcy rekordów [40, 41] i są wykorzystywane również do realizacji różnych działań, jak wspomniane *fuel switching*, chociaż w Polsce takie akurat podejście wydaje się trudne do zrealizowania, gdyż wydobywamy węgiel kamienny wyłącznie metodami podziemnymi.

Ładunek rtęci dla węgla kamiennego ocenia się na ponad dwukrotnie mniejszy niż ładunek rtęci w węglu brunatnym produkowanym i wykorzystywanym w Polsce [35, 37], chociaż obciążenie z tytułu emisji rtęci do atmosfery ma być większe w wypadku spalania węgla kamiennych [34], co znajduje również odzwierciedlenie w dokumentach statystycznych [28, 29].

Dane zamieszczone w tabeli 1 mają podstawową wadę, gdyż często nie wiadomo, jakiego węgla dotyczą: surowego? Handlowego — kierowanego do wykorzystania? Czy też innych próbek węgla, np. pokładowych? Wiadomo, że na etapie przeróbki węgla (wzbogacanie) można wyraźnie zmniejszyć ładunek rtęci w węglu. W procesach jego wykorzystania można znacznie ograniczyć emisję rtęci w stosunku do potencjalnego uniosu rtęci z samego procesu spalania, wynikającego z zachowania się rtęci w tym procesie. Ograniczenie to może sięgać nawet ponad 80% masy rtęci przechodzącej w stan gazowy, na zasadzie efektu towarzyszącego ograniczaniu emisji innych zanieczyszczeń do atmosfery [16, 20]. Wiele zależy tu od uwarunkowań lokalnych, dotyczących przygotowania paliwa do wykorzystania, samego procesu wykorzystania węgla, innych charakterystyk węgla, oraz warunków jego wykorzystania (instalacje ochronne), itd. Istnieją jeszcze metody redukcji emisji rtęci adresowane bezpośrednio do usuwania rtęci ze spalin, gdzie proces ten nie zachodzi jako efekt towarzyszący odpyłaniu, odazotowaniu, czy odsiarczaniu spalin. Tematu tego, jak również obliczeń, szacowań, czy też bezpośrednich pomiarów emisji rtęci w procesach jego użytkowania oraz bilansowania rtęci w tych procesach w niniejszym tekście bliżej nie analizowano.

2.3. Problem wizerunku węgla i Polski — kraju „węglowego”

W świetle powyższych danych problemem staje się też wizerunek Polski, jako kraju dalekiego od ekologicznych standardów, oraz wizerunek węgla kamiennego, jako nośnika energii. Dotyczy to w szczególności ochrony zdrowia ludzi, ochrony zasobów środowiska

naturalnego i środowiska, jako takiego [16, 20, 42]. Rtęć może stać się kolejnym argumentem przeciwników wykorzystania węgla.

2.4. Problem wykorzystania potencjału redukcji ilości rtęci w węglu na etapie jego przeróbki

Dane dostępne w literaturze pozwalają szukać pewnych analogii między występowaniem w węglu rtęci i siarki. Podobnie jak siarka, rtęć występuje w postaci związków nieorganicznych — głównie siarczki i siarczany rtęci oraz organicznych [18, 20, 40, 43, 44]. Uważa się, że często towarzyszy pirytom. Stąd już prosty wydawałoby się wniosek przeróbczy, że „odrtęciwienie” towarzyszy odpirytowaniu — odsiarczaniu węgla. W praktyce przeróbczej wygląda to różnie [18, 20, 45].

W tabeli 2 zamieszczono dane opisujące potencjalne zmniejszenie ilości rtęci w węglu wzbogaconym — handlowym, w porównaniu do ilości rtęci w węglu surowym w wybranych klasach ziarnowych urobku surowego. Dane zamieszczone w tabeli 2 dotyczą ilości rtęci usuwanej z odpadami w wypadku wzbogacania danej klasy ziarnowej. Pochodzą one z badań technologicznych wykonanych dla trzech surowych węgla energetycznych w pełnym zakresie uziarnienia — przykłady A, B i C oraz dla dwóch surowych miałów węgla energetycznych — przykłady D i E [36].

TABELA 2

Ilość rtęci (wyrażona w % masy rtęci zawartej w danej klasie ziarnowej) przechodząca do odpadów w wypadku wzbogacania poszczególnych klas ziarnowych urobku (miała) surowego z pięciu kopalń polskich węgla kamiennego [36]

Kopalnia A	Kopalnia B	Kopalnia C	Kopalnia D	Kopalnia E
klasa ziarnowa +20 mm				
50,9	75,1	41,7	–	–
klasa ziarnowa 20 (30)÷0,5 mm				
26,8	25,3	42,1	39,3	45,2
klasa ziarnowa 0,5÷0,045 mm				
27,9	–	–	72,2	46,1

W wypadku klas ziarnowych o wielkości ziarn powyżej 20 mm 0,5 mm przyjęto teoretyczną gęstość rozdziału równą $1,8 \text{ g/cm}^3$, w wypadku ziarn o wielkości $20 \div 0,5 \text{ mm}$ oraz $0,5 \div 0,045 \text{ mm}$ przyjęto teoretyczną gęstość rozdziału równą 2 g/cm^3 [36]. Z danych tych wynika, że potencjał redukcji ilości rtęci niesionej przez węgiel kierowany do użytkowania

może być procesach przeróbczych znaczny. W wypadku badanych węgla: o ponad 40% dla ziarn o wielkości powyżej 20 mm, o 25–45% dla klas ziarnowych 20 (30)+0,5 mm i o 27–72% dla klas ziarnowych 0,5+0,045 mm. Potencjał ten, podobnie jak w wypadku innych zanieczyszczeń, zależy od charakterystyki technologicznej urobku, i jest różny dla węgla pochodzących z różnych kopalń. Należy dodatkowo podkreślić, że potencjału redukcji ilości ładunku rtęci w węglu w procesach wzbogacania nie należy utożsamiać z bezwzględnymi wynikami oznaczeń zawartości rtęci w węglu. Z literatury znane są przykłady, że koncentrat ze wzbogacania węgla charakteryzuje się większą zawartością rtęci niż odpady, ale ładunek rtęci niesiony przez węgiel wzbogacony jest mniejszy, niż ładunek rtęci w węglu surowym [43]. Idąc dalej, w takim wypadku stosunek rtęci do jednostki kaloryczności paliwa będzie mniejszy dla koncentratu, niż dla węgla surowego pomimo pozornego „wzbogacenia” koncentratu w rtęć.

Potencjał redukcji ilości rtęci w urobku węgla energetycznego o wielkości ziarn powyżej 20 (30) mm oraz urobku węgla koksującego jest wykorzystany w Polsce w 100%, gdyż węgle te są wzbogacane w całości. Natomiast możliwości odrtęciowienia miał węgla energetycznych są wykorzystane tylko w niewielkim stopniu, gdyż w energetyce zawodowej wciąż w dużym stopniu wykorzystywane są miały w stanie surowym — niewzbogacone.

Wyniki badań technologicznych węgla surowego z uwzględnieniem analizy rozkładu zawartości rtęci, zamieszczone w tabeli 2, są unikalne i potwierdzają, że trudno jest poszukiwać daleko idących uogólnień dotyczących zachowania się rtęci w polskich węglach kamiennych w procesach wzbogacania. Na pewno jednak, na przykładzie badanych pięciu węgla energetycznych, stwierdzić można, że w procesach wzbogacania następuje istotna redukcja ilości rtęci koncentratów węglowych w stosunku do ilości rtęci zawartej w węglu surowym.

Czy te dane mogą wpłynąć na stosowanie przez polską energetykę w większym stopniu węgla wzbogaconych? Bezpośrednio raczej nie, ale wobec wyzwań polskiej energetyki związanych z odtworzeniem mocy, może to być kolejny argument za przejściem z paliw węglowych relatywnie złej jakości — surowych, na paliwa wzbogacone. Utylizacja węgla surowego ma bardziej szkodliwy wpływ na środowisko niż utylizacja węgla wzbogaconego i/lub wymaga poniesienia większych kosztów działań prośrodowiskowych. Potwierdza to również przykład rtęci.

2.5. Zamiast podsumowania

Można przyjąć, że po podjęciu dobrze zorganizowanych prac inwentaryzujących zawartość rtęci w węglu i porządkujących metodyki szacowania ostatecznej emisji do atmosfery lub polegających na powszechnym wprowadzeniu metod pomiarowych (koszty?), temat rtęci zostanie opanowany, chociaż na pewno nie rozwiązany. I w takim tonie można odbierać prawie wszystkie głosy odnoszące się do środowiskowych wpływów rtęci zawartej w wykorzystywanym (czyli wydobytym) węglu. Jeżeli nawet doprowadzi się całą statystykę emisji rtęci do atmosfery do idealnego porządku, będzie użytkowało się wyłącznie węgle wzbogacone, usprawni się technologie ochrony powietrza w energetyce i w efekcie w sposób obiektywny dojdzie się do niezbyt dużych, czy nawet „pomijalnych” emisji rtęci do atmosfery, to jeszcze nie znaczy, że problemy z rtęcią przestały zostały rozwiązane.

Zgodnie z bazowym, dla wielu działań przedsięwziętych w skali międzynarodowej, dokumentem dotyczącym rtęci [16] istnieje duża potrzeba poprawy oceny ładunku rtęci kierowanego do środowiska, elementów składowych tego ładunku i jego rozkładu między poszczególne miejsca docelowe. Mamy w kraju niewielką wiedzę na temat zawartości rtęci w użytkowanym węglu kamiennym, a jak widać znaczne ilości rtęci muszą być zawarte w odpadach przerobczych. Jaką mamy wiedzę na ten temat?

Metody odpylania, odazotowania i odsiarczania spalin są skuteczne w ograniczaniu emisji rtęci, a jakie są jej koncentracje w półproduktach, odpadach, ściekach z tych procesów. Jakie są wreszcie wpływy tych wszystkich odpadów, półproduktów, czy ścieków na środowisko? Czy wszystkie są bezpieczne z punktu widzenia problemów związanych z rtęcią?

Reasumując, w celu faktycznego rozwiązania problemów rtęci w węglu oprócz usystematyzowania działań polegających na ocenie rozkładu rtęci w samych polskich węglach kamiennych i ładunku rtęci w węglu kamiennym, należy też sprawdzić, jakie zagrożenia niesie rtęć zawarta w odpadach, półproduktach, ściekach z procesów wydobywania i utylizacji węgla oraz sprawić by i te zagrożenia zostały zminimalizowane.

LITERATURA

- [1] Polityka energetyczna Polski do roku 2030, przyjęta przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r. <http://www.mg.gov.pl/Gospodarka/Energetyka/Polityka+energetyczna/default.htm>
- [2] Eurostat Newsrelease, 98/2008 — 10 July 2008
- [3] polityka ekologiczna państwa w latach 2009–2012 z perspektywą do roku 2016, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2008
- [4] Dyrektywa 2001/80/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2001 r. w sprawie ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza z dużych obiektów energetycznego spalania (tzw. Dyrektywa LCP)
- [5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Clean Air for Europe — CAFE)
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz. U. z dnia 29 grudnia 2005 r.)
- [7] EUROPEAN COMMISSION: Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006
- [8] *Kucowski J., Laudyn D., Przekwas M.*: Energetyka a ochrona środowiska. WNT Warszawa, 1997
- [9] *Czaplicka K., Sablik J.*: Zagrożenia ekologiczne w cyklu życia węgla energetycznego. Przegląd Górniczy, nr 2; 2006
- [10] *Czaplicka K., Chaber M.*: Problemy ekologiczne i instrumenty ekonomiczne w ochronie środowiska w polskim górnictwie węgla kamiennego w aspekcie przepisów Unii Europejskiej, Wiadomości Górnicze, nr 12, 2001
- [11] Komunikat Komisji: Zrównoważona produkcja energii z paliw kopalnych: cel — niemal zerowa emisja ze spalania węgla po 2020 r., KOM (2006) 843 wersja ostateczna, 10 01 2007
- [12] Pakiet Klimatyczno Energetyczny: <http://ec.europa.eu/climateaction/>
- [13] Zielona księga. Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii. KOM (2006) 105 wersja ostateczna, 8 marca 2006
- [14] Komunikat Komisji do rady Europejskiej i Parlamentu Europejskiego. Europejska Polityka Energetyczna, KOM(2007) 1 wersja ostateczna, Bruksela, dnia 10.1.2007
- [15] Second Strategic Energy Review, An Eu Energy Security And Solidarity Action Plan, Europe's current and future energy position. Demand — resources — investments, Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, Brussels, 13.11.2008, Sec(2008) 2871, Volume I
- [16] United Nations Environment Programme (ENAP), 2008. The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport. Geneva, Switzerland, <http://www.chem.unep.ch>

- [17] *Schierow L.J.*: Mercury in the Environment: Sources and Health Risks. CRS Report for Congress, 2004
- [18] *Sloss L.L.*: Economics of mercury control. IEA Clean Coal Centre, CCC/134, 2008
- [19] Changing Emissions and Global Mercury Cycling. GEOSChem User's Meeting, April 8th, 2009
- [20] *Hlawiczka S.*: Rtęć w środowisku atmosferycznym. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk. Zabrze, 2008
- [21] Metale ciężkie w środowisku. Praca zbiorowa pod redakcją Stanisława Hlawiczki. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2008
- [22] Mercury emissions from coal-fired power plants. The case for regulatory actions. NESCAUM-Nottheast States for Coordinated Air Use Management. NESCAUM 2003
- [23] *Yudovich Ya.E., Ketris M.P.*: Mercury in Coal. Part 2. Coal use and the environmental problems. International Journal of Coal Geology 62 (2005)
- [24] Komunikat Komisji do Rady Europejskiej i Parlamentu Europejskiego. Strategia Wspólnoty w zakresie rtęci. COM (2005) 20 końcowy, <http://eur-lex.europa.eu>
- [25] Canada-wide standards for mercury emissions from coal-fired electric power generation plants, 2006. Endorsed by CCME Council of Ministers, October 11, www.ccme.ca
- [26] Dokument EU and Members States preparatory work for INC1 on Mercury (Stockholm 7–11 June 2010)
- [27] Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2009
- [28] Główny Urząd Statystyczny. Informacje i Opracowania Statystyczne, Ochrona Środowiska 2009, Warszawa 2009 (oraz roczniki wcześniejsze)
- [29] <http://www.kashue.pl/>
- [30] *Johnson M.L., Hoi-Yi L., Wortman D.*: Preventing mercury emissions from coal-fired power plants using environmentally preferable coal purchasing practices. Journal of Cleaner Production. Vol. 16, 2008
- [31] *Olkuski T.*: Porównanie zawartości rtęci w węglach polskich i amerykańskich. Polityka Energetyczna, Tom 10, Zeszyt specjalny 2, 2007
- [32] *Goodarzi F., Goodarzi N.N.*: Mercury in Western Canadian subbituminous coal — a weighted average study to evaluate potential Mercury reduction by selective mining. International Journal of Coal Geology 58 (2004)
- [33] *Bojakowska I., Sokolowska G.*: Hg w kopalniach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczeń środowiska. Biuletyn PIG, 394, 2001
- [34] *Bojarska K.*: Concentration of mercury in Polish hard coals. MEC3 — Mercury Emissions from Coal, Third International Expert's Workshop. Katowice, Poland, June 5–7, 2006
- [35] *Kobylecki R., Wichliński M., Bis Z.*: Emisja rtęci z polskich węgla energetycznych, prace naukowe Politechniki Warszawskiej z. 25, ISSN 0860-858X, 2007
- [36] *Pyka I., Wierzchowski K.*: Technological conditions of mercury content reduction in hard coal based on the ROM coal from a few Polish collieries. Archiwum Górnictwa — w druku
- [37] *Wojnar K., Wisz J.*: Rtęć w polskiej energetyce. Energetyka, 4, 2006
- [38] *Głodek A., Pacyna J.M.*: Mercury emission from coal fired plants in Poland. Atmospheric Environment, 43 (2009), 5668–5673
- [39] *Lorenz U., Grudziński Z.*: Zawartość rtęci jako potencjalny czynnik ograniczający wartość użytkową węgla kamiennego i brunatnego. Górnictwo i Geoinżynieria. 2007, Rok 31, Zeszyt 3/1, 335–349
- [40] *Yudovich Ya. E., Ketris M.P.*: Mercury in Coal. Part 1. Coal use and the environmental problems. International Journal of Coal Geology 62 (2005)
- [41] Optimizing Technology to Reduce Mercury and Acid Gas Emissions from Electric Power Plants — Raporty Utah Geological Survey dla The United States Department of Energy
- [42] *Pacyna G.E., Pacyna J.M., Fudala J., Strzelecka-Jastrzab E., Pławiczka S., Panasiuk D.*: Mercury emissions to the atmosphere from antropogenic sources in Europe in 2030 and their scenarios until 2020. Science of the Total Environment, 370, 2006
- [43] *Toole-O'Neil B., Tewalt S.J., Finkelman R.B., Akers D.J.*: Mercury concentration in coal — unraveling the puzzle. Fuel, Vol. 78, 1999
- [44] *Staisz J., Pason-Konieczńska A., Konieczński J.*: Wstępna ocena emisji pierwiastków śladowych w wyniku spalania węgla kamiennego. Archiwum Ochrony Środowiska. Vol. 26, Nr 1, 2000
- [45] *Pavlish, J.H., Sondreal, E.A., Mann, M.D., Olson, E.S., Galbreath, K.C., Laudal D.L., Benson S.A.*: Status review of mercury control options for coal-fired power plants. Fuel Processing Technology 82, 2003