

12

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZARZĄDZANIA ŁADUNKIEM RTĘCI W WĘGLU KAMIENNYM – ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

12.1 WPROWADZENIE

Węgiel kamienny jest skałą osadową pochodzenia organicznego stanowiącą mieszaninę substancji organicznej oraz składników mineralnych i wody. Zawartość składników mineralnych w węglu kamiennym pogarsza jego właściwości opałowe oraz sprawia znaczące trudności z jego dostosowaniem do potrzeb odbiorców [1, 3]. Jedną z najbardziej szkodliwych grup pierwiastków i związków chemicznych występujących w węglu kamiennym są metale ciężkie, a w szczególności rtęć. Zawartość Hg w 95% próbek węgla surowego kopalń górnośląskich wynosi około 0,08-0,11 ppm, co nie jest znaczącą wartością, jednak szerokie zastosowanie go jako paliwa dla potrzeb energetyki, ciepłownictwa oraz gospodarstw domowych powoduje emisję znacznych ilości rtęci do środowiska [5, 8]. Zauważono również, że deponowane odpady pochodzące z przeróbki mechanicznej węgla wpływają na zanieczyszczenie środowiska gruntowo-wodnego związkami rtęci [6]. Zawartość rtęci w węglu generuje dla Polski liczne problemy z których najistotniejsze to:

- z jednej strony wysoki poziom karbonizacji naszej gospodarki, co powoduje znaczną emisję rtęci do atmosfery,
- możliwość wstrzymania eksportu polskiego węgla, jeżeli nie będzie jakościowo dostosowany do nowego prawodawstwa w zakresie ograniczenia emisji atmosferycznych [5].

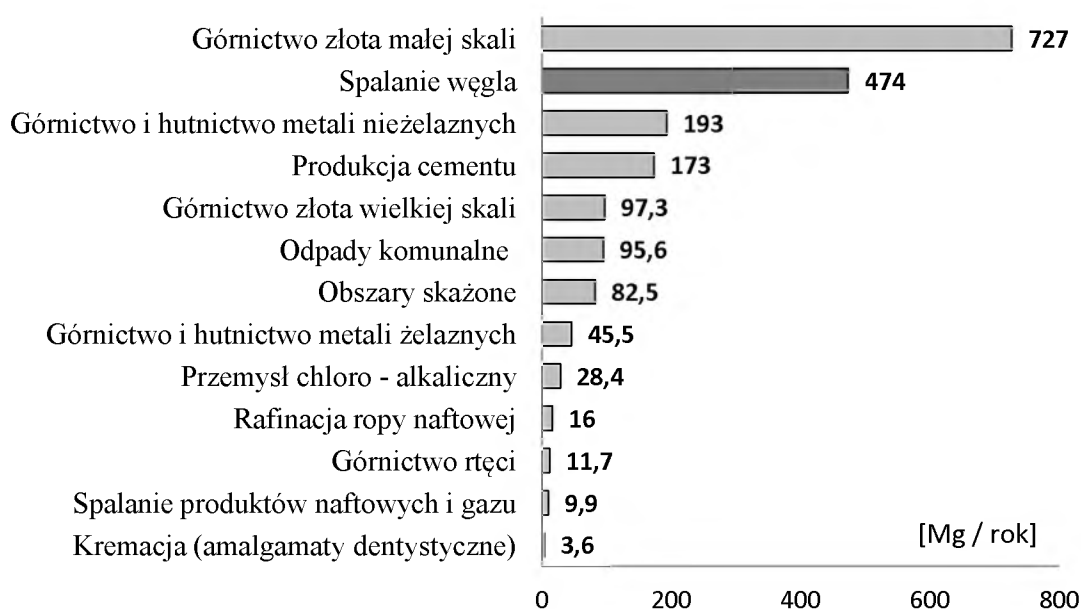
Obecnie w ramach Organizacji Narodów Zjednoczonych trwają prace na rzecz stworzenia globalnego systemu umożliwiającego redukcję antropogenicznej emisji rtęci. Jedną z pierwszych prac wykonanych w ramach Programu Środowiskowego Narodów Zjednoczonych była ocena źródeł zanieczyszczenia atmosfery związkami rtęci. Oszacowano, że spalanie węgla odpowiada za około 25 % zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego.

Nowe prawodawstwo międzynarodowe, a zwłaszcza Konwencja Rzęciowa UNEP (decyzja 24/3 Rady Zarządzającej Programu Narodów Zjednoczonych ds. Ochrony Środowiska) poprzez podatki i opłaty wymusi podjęcie aktywności na rzecz zmniejszenia ładunku rtęci w węglu handlowym. Dotychczas w praktyce przemysłowej nie podejmowano świadomych, ukierunkowanych działań mających na celu ograniczenie ładunku rtęci poprzez aktywność na etapie precombustion (przed rozpoczęciem spalania lub procesów koksowniczych) [7, 10, 14].

Nie ulega wątpliwości, że problem rtęci spowoduje poważne wyzwanie dla polskiej gospodarki opartej na węglu. Analiza procesów technologicznych w cyklu życia węgla i ocena możliwości obniżenia zawartości rtęci w węglu oraz ostatecznie wykonanie narzędzia – systemu informatycznego wspomagającego proces produkcji węgla może przyczynić się do uniknięcia drastycznych obciążeń podatkowych.

12.2 SKALA PROBLEMU

W raporcie Programu Środowiskowego Narodów Zjednoczonych „Global mercury assessment 2013” światową emisję rtęci oszacowano na około 1960 Mg, z tego 475 Mg pochodzi ze spalania węgla kamiennego i brunatnego. Dokument podkreśla jednak bardzo dużą niepewność w ocenie emisji spowodowaną zróżnicowaną zawartością pierwiastka w węglach. Rys. 12.1 zawiera szczegółowe informacje dotyczące źródeł emisji Hg.



Rys. 12.1 Roczna antropogeniczna emisja rtęci do atmosfery [10]

Zdecydowanie najwięcej, bo aż około 37% emisji Hg związana jest z górnictwem złota małej skali. Rtęć jest w nim stosowana do uzyskiwania złota z urobku, po czym jest odparowywana. Problem stwarza wykorzystanie prymitywnych technologii wzbogacania stosowanych głównie w państwach Afryki Środkowej oraz Ameryki Południowej [10].

W Polsce około 90% emisji rtęci pochodzi ze spalania węgla kamiennego i brunatnego, pozostałą część stanowi zanieczyszczenie powstające w związku z działalnością hutnictwa oraz produkcją cementu. W 2000 roku polska emisja Hg była szacowana na 25,9 Mg/rok. W 2009 roku Główny Urząd Statystyczny podał, że emisja roczna wyniosła około 14,6 Mg. Należy w tym miejscu podkreślić, że w latach 2000-2009 nie nastąpiła znacząca zmiana w zakresie zużycia węgla przez gospodarkę oraz nie podejmowano działań zmierzających do obniżenia emisji. Duży rozrzut między wartościami spowodowany jest brakiem dostatecznych badań w zakresie emisji rtęci. Powszechnie uznaje się Polskę za największego emitenta rtęci w Unii Europejskiej, co jest nie do końca zrozumiałe biorąc pod uwagę zadeklarowaną emisję

roczną Niemiec sięgającą „jedynie” 9 Mg rocznie. Warto zaznaczyć, że aż 44% produkowanej energii w tym państwie pochodzi ze spalania węgla brunatnego, w którym zawartość rtęci w pokładzie sięga często 0,5 ppm [13].

Tabela 12.1 zawiera dane dotyczące krajowego zużycia węgla kamiennego z podziałem na jego użytkowników.

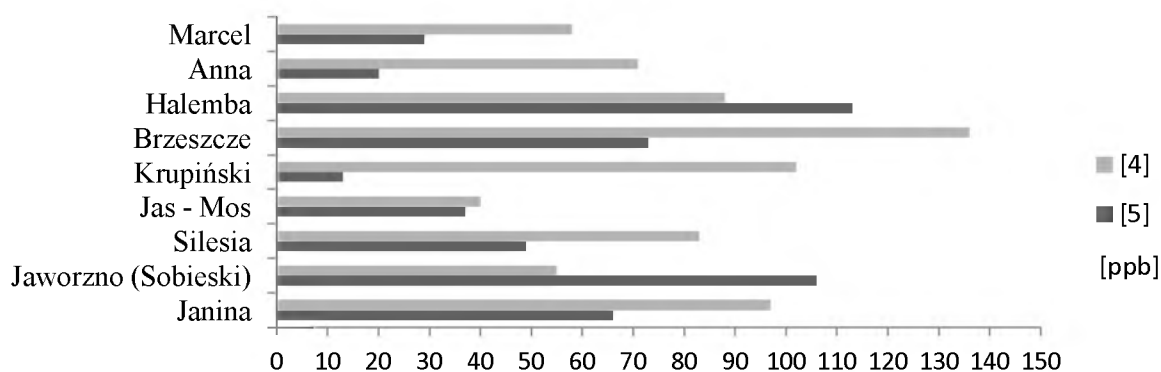
Tabela 12.1 Zużycie węgla kamiennego według użytkowników w Polsce w 2011 roku [9]

Grupa	Zużycie węgla [tys. Mg]
Elektrownie i elektrociepłownie	43816
Kotły ciepłownicze energetyki zawodowej i ciepłownie zawodowe	4928
Ciepłownie niezawodowe	290
Przemysł i budownictwo	18533
Transport	41
Sektor drobnych odbiorców, w tym gospodarstwa domowe, rolnictwo oraz pozostali odbiorcy	11500
Zużycie ogółem	79108

Około 62%, czyli 49034 tys. Mg węgla z 79108 tys. Mg, jest spalane przez energetykę zawodową oraz ciepłownie. Oznacza to, że znacząca część węgla spalana jest w warunkach dających możliwość zastosowania technik zmniejszających emisję rtęci na etapie postcombustion (po spalaniu).

Nie są znane natomiast dane dotyczące zużycia poszczególnych sortymentów przez poszczególne grupy odbiorców, co uniemożliwia dokładne oszacowanie potencjału oczyszczania spalin. Trudno powiedzieć, gdzie spalany jest węgiel z grupy „Przemysł i budownictwo”, gdyż znajdują się w niej także pośrednicy w handlu węglem”. W 2011 roku wydobyte węgla brunatnego w Polsce wynosiło 62780 tys. Mg, który zawiera znacznie większe ilości rtęci [9].

Na rys. 12.2 zestawiono dane dotyczące średniej zawartości rtęci w wybranych, czynnych kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyniki pochodzą z dwóch niezależnych źródeł. Na podstawie powyższego porównania można stwierdzić, że średnia zawartość rtęci w węglu surowym wynosi kilkadziesiąt ppb (55 ppb oraz 81 ppb). Rozrzut pomiędzy wynikami sięga nawet 90 ppb – może to być wynikiem dużej zmienności zawartości rtęci w złożu węgla lub prowadzonych aktualnie robót górniczych wpływających na jakość nadawy.



Rys. 12.2 Zawartość rtęci w węglu surowym wybranych kopalń GZW (na podstawie [4, 5])

Przytoczone dane pozwalają oszacować teoretyczną emisję rtęci od 4,35 Mg do 6,4 Mg pochodzącą ze spalania surowego węgla kamiennego (szacunki własne).

Rzeczywisty ładunek rtęci może być w dużej mierze zredukowany na etapie przeróbki mechanicznej węgla oraz w procesie oczyszczania spalin. Nieznany jest jednak wpływ zanieczyszczeń nadawy pochodzących z prowadzonych robót udostępniających oraz przygotowawczych w podziemiach zakładu górniczego. Badania składu odpadów pogórnich wskazują, że zawierają one znaczące ilości rtęci (średnio 86 ppb) oraz w przypadku drobnego uziarnienia mogą być kłopotliwe do usunięcia podczas przeróbki kopaliny.

12.3 WYMAGANIA PRAWNE I UZGODNIENIA MIĘDZYNARODOWE

Uzgodnienia zawarte w Konwencji Rtęciowej dotyczą w skali globalnej:

- wprowadzenia aparatu kontroli emisji atmosferycznych z określonych źródeł oraz określenia ich limitów (wyrażonych w ustalonych jednostkach),
- przyjęcia wytycznych dotyczących obowiązku stosowania BAT/BEP (Best Available Technology/ Best Enviromental Technology),
- określenia celów ilościowych zmniejszenia emisji rtęci wyrażonych w liczbach bezwzględnych lub względnych [5].

Do tej pory regulacje w zakresie emisji rtęci zostały wprowadzone jedynie w Stanach Zjednoczonych oraz w Kanadzie. Prace w USA zostały rozpoczęte od stworzenia krajowej bazy jakości węgla surowych. Po zbadaniu ponad 7000 próbek stwierdzono, że średnia zawartość rtęci wynosi około 200 ppb, choć odnotowano przypadki, gdy w węglu znajdował się nawet ponad 1 ppm rtęci. Przeciętną zdolność przeróbki węgla w zakresie obniżenia zawartości rtęci określono na około 37%. Wprowadzona w 2011 roku ustawa Mercury and Air Toxics Standards (MATS) określiła limity emisyjne dla instalacji o mocy powyżej 25 MW. Za punkt odniesienia uznano 12% instalacji o najmniejszej względnej emisji, zaś czas dostosowania pozostałych instalacji do tego poziomu określono na 3 do 5 lat w zależności od decyzji władz stanowych. Emisję oblicza się w przeliczeniu na wytworzoną energię elektryczną [11, 12]. *Zakup węgla o jak najniższej zawartości rtęci jest więc w interesie producenta energii. Paliwo zawierające znaczące ilości Hg straci na wartości, jeśli nie zostanie odpowiednio wzbogacone.*

W ramach Unii Europejskiej obniżenie emisji Hg ma zostać osiągnięte poprzez opodatkowanie rtęci w węglu handlowym oraz ustanowienie limitów emisyjnych. W pierwszym i drugim przypadku uzasadnione wydaje się ograniczenie zawartości rtęci już na poziomie zakładu górniczego. Brak podjęcia działań zmierzających do określenia skali problemu oraz opracowania systemu obniżenia zawartości rtęci na etapie przed spalaniem, doprowadzi do utraty konkurencyjności polskiego węgla spowodowanego wysokim opodatkowaniem. Beneficjentami analizy zawartości rtęci w cyklu życia węgla handlowego będą spółki górnicze, energetyka oraz organy administracji państwowej.

12.4 CO WPLYWA NA ZAWARTOŚĆ RTECI W WĘGLU ?



Węgiel handlowy nim trafi do odbiorcy jest poddawany procesom przeróbczym mającym na celu podniesienie jego użyteczności.

W tabeli 12.2 przedstawiono hipotetyczne czynniki w zasadniczy sposób wpływające na zawartość rtęci w produkcie handlowym.

Tabela 12.2 Mapa interwencji w zakresie minimalizacji zawartości rtęci w węglu handlowym

Grupa czynników	Geologiczne	Technologiczne dolowe	Technologiczne powierzchniowe	Uwagi
naturalna zawartość związków rtęci w pokładzie węgla kamiennego	=			Zawartość rtęci uwarunkowana naturalnie
zawartość przybieranych skał spągowych i stropowych		↗		Pogorszenie zdolności przeróbki kopalini; wtórne zanieczyszczenie rtęcią. Zawartość rtęci w odpadach wydobywczych (średnio 86 ppb) [5]
zawartość kamienia z robót przygotowawczych i udostępniających		↗		
odpady trafiające do odstawy (np. materiał z zapór pyłowych, zużyte opakowania, woda z rozlewisk)		↗		
wzbogacanie w cieczy ciężkiej			↘	Dobra zdolność redukcji zawartości rtęci, jednak ziarno +20 mm zawiera jej niewiele [5]
wzbogacanie w osadzarkach			↘	Dobra zdolność redukcji zawartości rtęci, jednak ziarno -20 mm + 0,5 mm zawiera jej stosunkowo niewiele [5]
flotacja			↘	Brak powszechnego wzbogacania tą metodą. Trudna do oszacowania skuteczność procesu. Znacząca zawartość rtęci we frakcji poniżej 0,5 mm (zwłaszcza < 0,1 mm) [2]

Legenda:

- wzrost zawartości, 
- zmniejszenie zawartości, 
- czynnik nie należy do grupy – szary

Źródło: opracowanie własne

Pierwszym i najważniejszym czynnikiem wpływającym na jakość produktu są procesy geologiczne, które wpłynęły na powstanie węgla cechującego się danymi parametrami. W

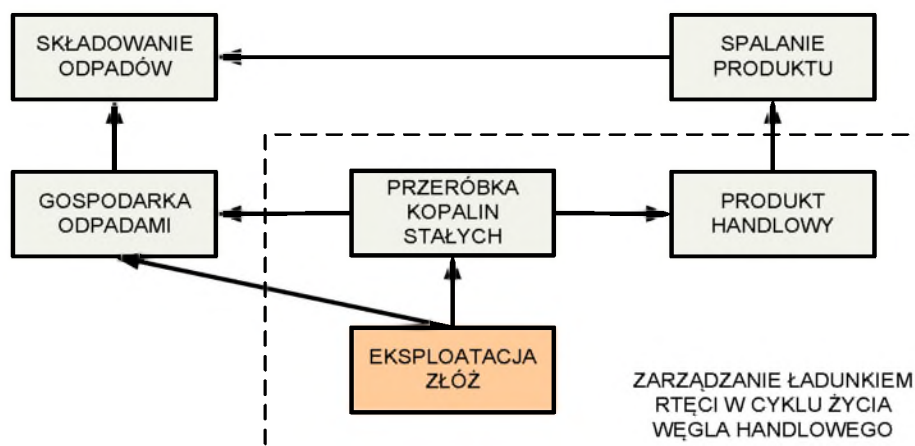
tym przypadku przedsiębiorstwo górnicze może jedynie podejmować decyzję o eksploatacji, bądź jej zaniechaniu w złożu węgla o danej zawartości rtęci.

W literaturze sporadycznie zwraca się uwagę na wpływ czynników technologicznych dołowych na jakość produktu. Praktycy przeróbki kopalin stałych dostrzegają jednak konieczność kontroli strumieni węgla z różnych ścian dla utrzymania odpowiedniej jakości produktu [15]. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że w polskich kopalniach węgla właściwie cała odstawa prowadzona jest przenośnikami taśmowymi bez podziału na odpady z robót chodnikowych oraz strumień urobku. Znacząca ilość składników mineralnych w nadawie może negatywnie wpływać na zdolności procesów przerobczych zwłaszcza flotacji, a przez to doprowadzać do wtórnego zanieczyszczenia węgla rtęcią.

Pełny cykl wzbogacania węgla pozwala na obniżenie zawartości popiołu we wszystkich frakcjach nadawy. W 2008 roku w Polsce jedynie 14 zakładów górniczych z 41 stosowało flotację do wzbogacania najdrobniejszych ziaren węgla (w tym 6 produkujących węgiel koksujący) [16, 17]. Oznacza to, że znacząca część miałów węglowych nie jest wzbogacana oraz zawiera pełny ładunek rtęci w zakresie ziarna poniżej 0,5 mm [2]. Zawartość rtęci w produkcie poniżej 0,1 mm sięga nawet 2 ppm. Wydaje się, że wzbogacanie w płuczkach cieczy ciężkiej oraz w osadzarkach w optymalnym zakresie usuwa rtęć z poddawanego procesowi produktu [17]. W tabeli 12.2 zawarto zestawienie czynników wpływających na zawartość rtęci w węglu handlowym z podziałem na czynniki, które mogą być podmiotem dalszych badań w zakresie poprawy jakości produktu.

12.5 BUDOWA SYSTEMU ZARZĄDZANIA ŁADUNKIEM RTĘCI

Zarządzanie ładunkiem rtęci oznacza możliwość podejmowania decyzji wpływających na zawartość Hg w węglu handlowym oraz w odpadach. Działanie to umożliwi dostosowanie produktu do wymagań odbiorców oraz regulacji, które zostaną wdrożone zgodnie z Konwencją Rzęciową. Autorzy niniejszego artykułu proponują stworzenie systemu zarządzania ładunkiem rtęci zgodnym ze schematem przedstawionym na rys. 12.3.



Rys. 12.3 Zarządzanie ładunkiem rtęci w cyklu życia węgla handlowego

Źródło: opracowanie własne

Narzędzie służące do zarządzania ładunkiem rtęci w cyklu życia węgla handlowego realizowane jest w ramach pracy doktorskiej Krzysztofa Kurusa.

Działania skupiają się przede wszystkim na etapie precombustion – przed spalaniem produktu dla zmniejszenia opodatkowania węgla oraz ograniczenia obciążenia instalacji filtracyjnych. Podjęcie skutecznych działań na tym etapie nie będzie skutkowało znaczącym podniesieniem cen węgla, gdyż obecnie jego przeróbka stanowi jedynie kilka procent kosztu produkcji [14].

Skuteczny system zarządzania ładunkiem rtęci w cyklu życia węgla handlowego musi być oparty na bazie danych dotyczących rozkładu Hg w produkcie oraz w odpadach we wszystkich procesach produkcyjnych. Nieodłącznym elementem będzie narzędzie do planowania odpowiednich parametrów procesu produkcyjnego oraz szacowania jego kosztów.

DYSKUSJA

Analiza dostępnej literatury odnoszącej się do problemu rtęci w węglu kamiennym uprawnia do sformułowania następujących stwierdzeń:

- obecna wiedza na temat zawartości rtęci w węglu kamiennym jest zbyt mała, aby podjąć skuteczne działania zmierzające do kompleksowego zarządzania jej ładunkiem w węglu handlowym. Stworzenie bazy danych o zawartości rtęci w cyklu życia węgla handlowego pozwoliłoby na opracowanie szeregu działań umożliwiających redukcję jej zawartości, co jest szczególnie istotne dla kopalń produkujących węgiel o znacznym zanieczyszczeniu rtęcią, a przez to zagrożonych przez akty wykonawcze Konwencji Rtęciowej,
- na chwilę obecną trudno jest ocenić jak będzie skonstruowany system opodatkowania rtęci w węglu. Należy jednak podkreślić, że wprowadzenie pełnego wzbogacania węgla energetycznego w znaczący sposób mogłoby przyczynić się do obniżenia ładunku rtęci trafiającego do atmosfery. Znaczące wyniki mogłyby zostać uzyskane poprzez zatrzymanie sprzedaży węgla o uziarnieniu poniżej 0,5 mm lub nawet poniżej 0,1 mm odbiorcom indywidualnym. Z punktu widzenia przeróbki kopalni nie są to działania szczególnie skomplikowane, jednak zmusiłyby spółki węglowe do inwestycji dla dostosowania zakładów przerobczych,
- należy podkreślić, że w Polsce nie można podjąć decyzji o zaniechaniu eksploatacji pokładów o wysokiej zawartości rtęci – jak w przypadku Stanów Zjednoczonych. Konieczne jest zbadanie potencjału ograniczenia zawartości rtęci w całym procesie produkcyjnym, także z uwzględnieniem technologii dołowych. Zapewnienie reżimu czystości nadawy jest potencjalnie możliwe, gdyż wiele kopalni nie wykorzystuje w pełni swojej infrastruktury (75% zdolności przeróbki) [14]. Szczególną wartością byłoby doprowadzenie do stanu, aby do węgla handlowego nie dostawały się najmniejsze ziarna mineralne (poniżej 0,1 mm), w których zawartość rtęci jest bardzo wysoka.

LITERATURA

1. Cierpisz St.: *Pomiary jakości węgla – pomiary i sterowanie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2005

2. Aleksa H.: Dyduch F., Wierzchowski K.: *Chlor i rtęć w węglu i możliwości ich obniżenia metodami przeróbki mechanicznej*. Górnictwo i geoinżynieria, zeszyt 3/1, 2007
3. Kurus K., Białecka B.: *Dobre praktyki zarządzania zakładem górniczym*. Zeszyty naukowe Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej. 4/2012
4. Bojakowska I., Sokołowska G. *Rtęć w kopalinach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczeń środowiska*. Biuletyn PIG 394. Sosnowiec 2001
5. Michalska A., Białecka B.: *Zawartość rtęci w węglu i odpadach górniczych*. Prace naukowe GIG, Kwartalnik 3, 2012
6. Susan J., Tewalt S.J., Bragg L.J., Finkelman R.B.: *Mercury in U.S. Coal – Abundance, Distribution and Modes of Occurrence*. Report of U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. 2001
7. Pyka I. Wierzchowski K.: *Problemy z rtęcią zawartą w węglu kamiennym*. Geologia i Geoinżynieria, Tom 34, Zeszyt 4/1, 2010
8. Hławiczka S.: *Rtęć w środowisku atmosferycznym*. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk. Zabrze, 2008
9. *Zużycie paliw i nośników energii w 2011 r. Raport GUS*. Warszawa 2012
10. *Global Mercury Assessment 2013*. UNEP 2013
11. *Geologic studies of mercury by the U.S.* Geological Survey. U.S. Department of Interior. Reston Virginia 2003
12. Macedonia J. *Summary of EPA Power Sector Regulation: Air Toxics Standards*. Washington 2012
13. Olkusiński T.: *Porównanie zawartości rtęci w węglach polskich i amerykańskich*. Polityka Energetyczna, Tom 10, Zeszyt specjalny, 2007
14. Blaschke W.: *Technologie czystego węgla rozpoczynają się od wzbogacania*. Czysta energia – czyste środowisko. Małopolsko-podkarpacki klaster czystej energii. Kraków 2008
15. Fuchs H., Mielniczuk L., Włodarczyk K.: *Sterowanie jakością węgla kamiennego w kopalni podziemnej*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej. Kraków 2005
16. Lutyński A., *Mechaniczna przeróbka węgla kamiennego w perspektywie 2020 roku*. Gospodarka surowcami mineralnymi. Gospodarka Surowcami Mineralnymi Tom 24. Kraków 2008.
17. Nycz. R., Zieleźny A.: *Kompania Węglowa SA – technologia wzbogacania węgla i jakość produkcji*. Inżynieria Mineralna. Lipiec – Grudzień 2004.

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZARZĄDZANIA ŁADUNKIEM RTĘCI W WĘGLU KAMIENNYM – ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Streszczenie: *Artykuł zawiera analizę literaturową dotyczącą problemu emisji rtęci pochodzącej ze spalania węgla kamiennego. Na podstawie istniejących danych oszacowano aktualną emisję rtęci do atmosfery oraz wskazano problemy z jakimi będzie musiała się zmierzyć polska gospodarka oparta na węglu. W artykule dokonano wstępnej oceny czynników oraz technologii wpływających na zawartość Hg w produkcie handlowym.*

Słowa kluczowe: *rtęć, górnictwo, energetyka, ochrona środowiska, emisje*

ANALYSIS OF MERCURY MANAGEMENT POSSIBILITES IN HARD COAL – REVIEW ARTICLE

Abstract: *The article contains literature analysis concerning on mercury emissions coming from bituminous coal combustion. On the basis of existing data there has been estimated current air mercury emission. There have been mentioned problems Polish carbonised economy is going to face. The article presents also preliminary assesment of factors and technology effecting on Hg content in coal.*

Key words: *mercury, mining, power engineering, environment protection, emmissions*

mgr inż. Krzysztof KURUS, prof. dr hab. inż. Barbara BIAŁECKA
Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska
e-mail: krzysztof.kurus@polsl.pl