

Tadeusz DZIOK\*, Andrzej STRUGAŁA\*\*, Andrzej ROZWADOWSKI\*\*\*, Jerzy GÓRECKI\*\*\*,  
Stanisław ZIOMBER\*\*\*\*

## Zmiany zawartości rtęci w węglu kamiennym w procesie jego wzbogacania

**STRESZCZENIE.** Rtęć i jej związki zalicza się do bardzo niebezpiecznych substancji. Do głównych źródeł emisji rtęci spowodowanych działalnością człowieka zalicza się procesy spalania paliw kopalnych, głównie węgla. Istnieje szereg metod pozwalających ograniczyć emisję rtęci z tych procesów. Metody te można podzielić na dwie główne grupy. Do pierwszej zaliczane są metody polegające na usuwaniu rtęci ze spalin, a do drugiej należą metody polegające na obniżeniu zawartości rtęci w węglu przed jego wykorzystaniem. Do tej grupy zalicza się proces wzbogacania węgla. Celem prezentowanego artykułu było określenie zmiany zawartości rtęci w wybranych polskich węglach kamiennych w procesie ich wzbogacania. Dla potrzeb realizacji pracy przeanalizowano wytypowane przemysłowe urządzenia do wzbogacania węgla. Dla każdego urządzenia zbadano nadawę i koncentrat. W świetle uzyskanych wyników można stwierdzić, że proces wzbogacania nie zawsze pozwala na obniżenie zawartości rtęci w węglu. Niemniej jednak, uwzględniając polepszenie jakości węgla wskutek obniżenia w nim zawartości substancji mineralnej, uzyskuje się zadowalające rezultaty. Obniżenie zawartości substancji mineralnej, powoduje znaczny wzrost jego kaloryczności, a tym samym zmniejszenie jego jednostkowego zużycia, co z kolei pozwoli na zmniejszenie ilości emitowanej do środowiska rtęci. Uzyskane skuteczności w obniżeniu zawartości rtęci przy uwzględnieniu wzrostu kaloryczności węgla wynosiły od 10 do 89%. Najwyższe jej wartości uzyskano dla wzbogacania w płuczce zawieszinowej cieczy ciężkiej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** węgiel kamienny, wzbogacanie węgla, rtęć

---

\* Mgr inż. e-mail: tadeusz.dziok@agh.edu.pl, \*\* Dr hab. inż. prof. AGH, \*\*\* Dr inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków.

\*\*\*\* Mgr inż. – Jastrzębska Spółka Węglowa SA, Jastrzębie-Zdrój.

## Wprowadzenie

Rtęć i jej związki są silnie toksyczne i stanowią realne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego (Eisler 2006). Rtęć emitowana jest do środowiska zarówno ze źródeł naturalnych, jak również w wyniku działalności człowieka. Do głównych źródeł emisji rtęci spowodowanej działalnością człowieka zalicza się procesy spalania paliw kopalnych, głównie węgla (Pacyna i in. 2006). Tematyka ta jest szczególnie istotna dla Polski, której sektor wytwarzania energii i ciepła oparty jest na węglu kamiennym i brunatnym.

Istnieje szereg metod, które pozwalają ograniczyć emisję rtęci z procesów energochemicznego wykorzystania węgla (Bujny i in. 2012; Wichliński i in. 2012). Metody te można podzielić na dwie główne grupy. Do pierwszej grupy zaliczane są metody polegające na usuwaniu rtęci ze spalin lub gazów odlotowych, a do drugiej należą metody polegające na obniżeniu zawartości rtęci w węglu przed jego wykorzystaniem. Zaliczyć do nich można: proces wzbogacania, wstępną preparację termiczną, selektywne eksploatowanie pokładów węglowych, ekstrakcję wodną w warunkach subkrytycznych, ekstrakcję kwasową, roztworzenie pirytu z wykorzystaniem  $\text{SO}_2$ , metody biologiczne, czy też metodę HyperCoal (Burmistrz i in. 2014). Niemniej jednak do najbardziej perspektywicznych metod należy zaliczyć proces wzbogacania (Mastalerz i Drobnik 2005; Toole-O'Neil i in. 1999) oraz wstępną preparację termiczną (Chmielniak i in. 2013, Wichliński i in. 2011). Należy zaznaczyć, że rtęć może być powiązana w różny sposób i w różnych proporcjach w węglu. Powiązana jest ona zarówno z jego substancją organiczną, jak również mineralną (Zheng i in. 2008). Dlatego też uzyskiwane skuteczności prezentowanych metod są różne dla poszczególnych węgli.

W prezentowanej pracy autorzy przeanalizowali proces wzbogacania. Jest on powszechnie stosowany do obniżenia zawartości substancji mineralnej w węglu kamiennym. W literaturze można znaleźć liczne prace poświęcone zmianie zawartości rtęci w węglu w tym procesie. Według (Kłojzy–Karczmarczyk i Mazurek 2013) usuwanie skały płonnej może przyczynić się do obniżenia zawartości rtęci w węglu. Zaprezentowane w pracy (Wichliński i in. 2013) wyniki badań wybranych węgla surowych i ich koncentratów pochodzących z polskich kopalń wykazały obniżenie zawartości rtęci w koncentraty, które wyniosło od 28 do 75%. Z kolei w pracy (Zajusz-Zubek i Koniecznyński 2014) przebadano pięć węgla stosowanych w polskich elektrowniach. Węgle te poddane zostały laboratoryjnemu wzbogacaniu w cieczy ciężkiej. Stopień usunięcia rtęci oszacowano na poziomie od 18 do 79%. W pracy (Aleksa i in. 2007) zaobserwowano, że poddanie węgla grawitacyjnemu wzbogacaniu powoduje redukcję zawartości rtęci w koncentracie węglowym i zwiększenie jej zawartości w odpadach. Z kolei ilość rtęci przechodzącej do odpadów została oszacowana w pracy (Pyka i Wierzchowski 2010) i wynosiła od 27 do 75%. Wyniki własnych badań również potwierdzają tendencję do występowania zwiększonej zawartości rtęci w odpadach (Dziok i in. 2013).

## 1. Cel i zakres badań

Celem artykułu było określenie zmiany zawartości rtęci w węglu kamiennym w procesie jego wzbogacania. Dla potrzeb realizacji pracy przeanalizowano 16 przemysłowych urządzeń do wzbogacania tj. płuczki zawieszinowe cieczy ciężkiej, płuczki osadzkowe i flotowniki. Dla każdego urządzenia przeanalizowano nadawę do procesu wzbogacania oraz produkt końcowy (koncentrat).

## 2. Metodyka i badane węgle

Przeanalizowano 16 urządzeń do wzbogacania pracujących przy sześciu kopalniach węgla kamiennego. Dla wytypowanych urządzeń pobrano próby węgla (nadawy i koncentratu) i przygotowano próbki analityczne zgodnie z obowiązującymi normami. Łącznie pobrano i przeanalizowano 32 próby węgla.

Przy pomocy analizatora rtęci MA-2 japońskiej firmy Nippon Instruments Corporation w badanych próbkach oznaczono zawartość rtęci. Działanie tego aparatu oparte jest na metodzie Atomowej Spektrometrii Absorpcyjnej z techniką zimnych par (CVAAS). W wyniku ogrzewania do temperatury 800°C próbka ulega termicznemu rozkładowi, a uwolniona rtęć zostaje zredukowana w piecu katalitycznym do formy  $Hg^0$  i pochłaniana jest przez złoty amalgamator. Następnie złoty amalgamator ogrzewany jest do temperatury 625°C, a uwolniona rtęć przepuszczana jest przez komorę pomiarową, w której absorbuje ona promieniowanie o długości fali 253,7 nm. Ilość pochłoniętego promieniowania jest proporcjonalna do ilości rtęci uwolnionej z amalgamatora. Ponadto w badanych próbkach oznaczono również zawartość wilgoci, popiołu i wartość opałową. Charakterystykę badanych próbek przedstawiono w tabeli 1.

Dokonano także oceny korelacji zależności pomiędzy zawartością rtęci a zawartością popiołu w analizowanych węglach. Dla badanych zależności wyznaczono współczynniki determinacji funkcji liniowej  $R^2$ , a następnie zweryfikowano ich istotność przy pomocy testu F-Snedecora na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

W celu wyeliminowania wpływu wilgoci przy interpretacji wyników wartości parametrów wykorzystanych do analiz i obliczeń przeliczone zostały na stan suchy.

## 3. Wyniki

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 1 można zauważyć, że zawartość rtęci w badanych węglach wahała się w szerokim zakresie. Zarówno wśród koncentratów, jak i nadaw znajdowały się węgle o niskiej i wysokiej jej zawartości. Zawartość rtęci w koncentratkach wahała się od 34 do 228  $\mu g/kg$ , a w nadawach na urządzenia do wzbogacania od 45 do 242  $\mu g/kg$

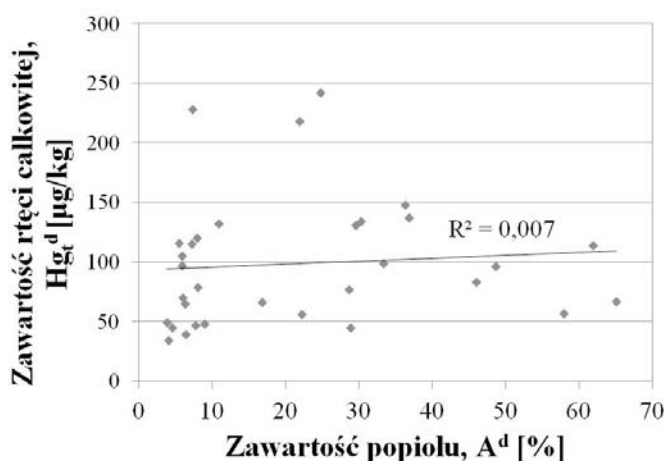
TABELA 1. Ogólna charakterystyka badanych próbek węglowych z procesu wzbogacania węgla

TABLE 1. Basic characteristics of examined coal samples from coal processing plants

Urządzenie do wzbogacania	Nr porządkowy	Kopalnia	Rodzaj próbki	W <sup>a</sup> [%]	A <sup>a</sup> [%]	Q <sub>i</sub> <sup>a</sup> [kJ/kg]	Hg <sub>t</sub> <sup>a</sup> [μg/kg]
Płuczka zawieszinowa ciecży ciężkiej	1	A	nadawa	0,7	57,6	17 244	57
			koncentrat	0,7	7,6	31 662	47
	2	B	nadawa	0,9	48,3	16 423	95
			koncentrat	0,9	4,6	33 333	45
	3	C	nadawa	1,5	61,0	10 041	112
			koncentrat	1,4	6,3	32 160	38
	4	D	nadawa	0,6	64,7	9 490	67
			koncentrat	0,7	3,8	33 748	49
Płuczka osadzarkowa	5	A	nadawa	0,8	33	22 296	98
			koncentrat	0,7	7,8	31 940	119
	6	B	nadawa	1,0	28,6	24 228	45
			koncentrat	0,9	4,0	33 888	34
	7	C	nadawa	1,7	29,1	22 988	129
			koncentrat	1,5	5,8	32 911	103
	8	D	nadawa	0,7	30,1	23 354	133
			koncentrat	0,8	6,0	32 851	69
	9	E	nadawa	1,4	35,8	20 313	146
			koncentrat	1,5	5,4	31 937	114
10	F	nadawa	1,4	45,4	16 219	82	
		koncentrat	2,0	7,1	30 031	113	
Flotownik	11	A	nadawa	5,1	15,9	28 095	63
			koncentrat	0,8	6,2	32 417	64
	12	B	nadawa	1,1	22,0	26 506	55
			koncentrat	0,9	8,8	31 903	48
	13	C	nadawa	1,6	24,4	25 200	238
			koncentrat	1,6	5,8	32 536	95
	14	D	nadawa	0,3	28,6	23 900	77
			koncentrat	0,8	7,9	31 842	78
	15	E	nadawa	1,4	21,6	25 771	215
			koncentrat	1,3	7,2	31 327	225
16	F	nadawa	1,2	36,4	18 990	135	
		koncentrat	2,0	10,7	28 787	129	

w przeliczeniu na stan suchy. Najniższą zawartością rtęci odznaczały się koncentraty z płuczek zawiesinowych cieczy ciężkiej (od 39 do 49  $\mu\text{g}/\text{kg}$  w przeliczeniu na stan suchy).

Na rysunku 1 dla wszystkich analizowanych próbek przedstawiono zależność pomiędzy występowaniem rtęci w węglu, a zawartością popiołu. Dla badanej zależności uzyskano bardzo niski współczynnik determinacji, a korelacja okazała się nieistotna. Co więcej – najwyższe zawartości rtęci stwierdzono w próbkach o zawartości popiołu poniżej 30%, a nie jak można by oczekiwać w próbkach o najwyższej jego zawartości. Przeanalizowano także subpopulacje węgla składające się z nadaw i koncentratów pochodzących z płuczki zawiesinowej cieczy ciężkiej, płuczki osadzkowej i flotowników. W przypadku płuczek zawiesinowych uzyskano istotną korelację pomiędzy zawartością rtęci a zawartością popiołu, a współczynnik determinacji wyniósł 0,533 (rys. 2). Takich prawidłowości nie stwierdzono natomiast w przypadku wzbogacania w płuczkach osadzkowych i flotownikach, w przypadku których koncentraty często dorównywały zawartością rtęci nadawom na te urządzenia. Należy się zatem spodziewać, że w przypadku wzbogacania w płuczkach zawiesinowych cieczy ciężkiej będzie możliwe uzyskanie najwyższej skuteczności obniżenia zawartości w węglu.

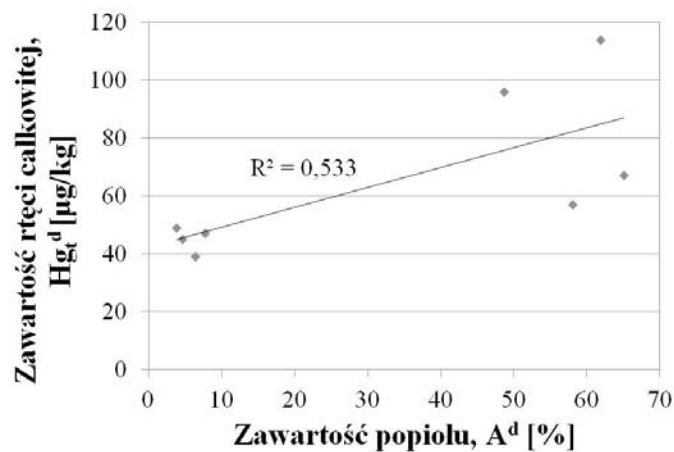


Rys. 1. Zależność pomiędzy zawartością rtęci a zawartością popiołu dla wszystkich badanych próbek węglowych

Fig. 1. Relationship between mercury content and ash content in all examined coal samples

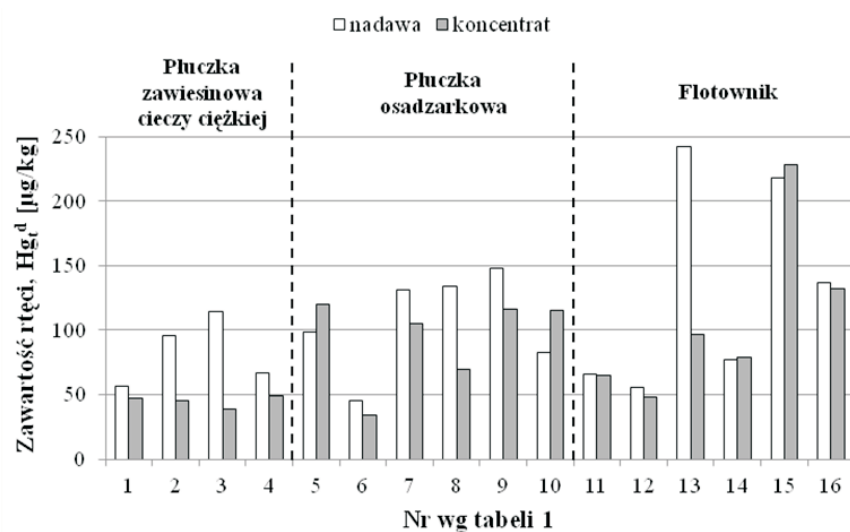
Na rysunku 3 przedstawiono porównanie zawartości rtęci w nadawach na urządzenia do wzbogacania i w produkowanych koncentraty. Można zaobserwować, że dla większości przypadków (12 na 16) w procesie wzbogacania zostaje obniżona zawartość rtęci. Należy to wiązać z występowaniem rtęci w substancji mineralnej zewnętrznej. Niemniej jednak w pozostałych czterech przypadkach zawartość rtęci wzrosła, co może świadczyć że w tych węglach rtęć w znaczących ilościach występuje w substancji organicznej lub substancji mineralnej wewnętrznej.

Kolejnym etapem realizowanej pracy było określenie skuteczności obniżenia zawartości rtęci w węglu w procesie jego wzbogacania. Może to być dokonane na kilka sposobów, np. poprzez porównanie bezwzględnej zawartości rtęci w węglu przed i po procesie (Wichliński i in. 2013) zgodnie ze wzorem (1).



Rys. 2. Zależność pomiędzy zawartością rtęci a zawartością popiołu dla próbek węglowych pobranych z płuczek zawieszinowych cieczy ciężkiej

Fig. 2. Relationship between mercury content and ash content in examined coal samples obtained from dense media bath



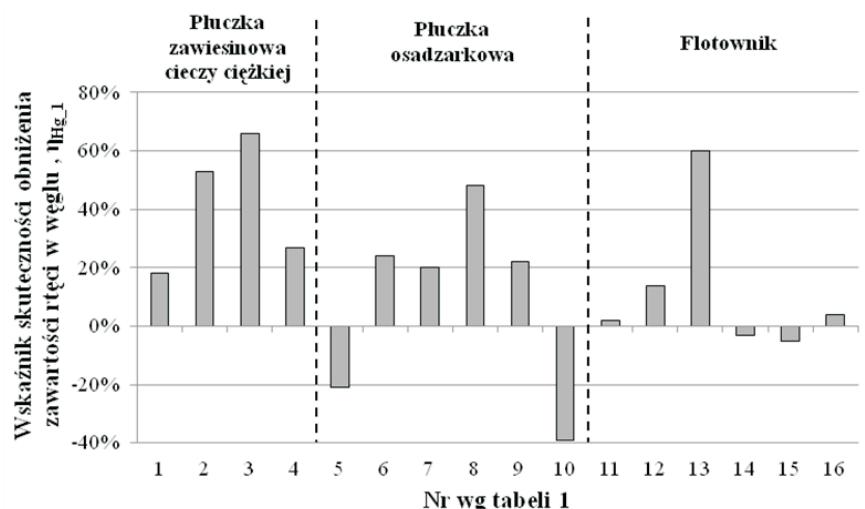
Rys. 3. Zestawienie zawartość rtęci w nadawach na urządzenia do wzbogacania i w koncentratkach

Fig. 3. Summary of mercury content in raw and clean coals

$$\eta_{Hg\_1} = \frac{Hg_{nadawa} - Hg_{koncentrat}}{Hg_{nadawa}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $\eta_{Hg\_1}$  – wskaźnik skuteczności obniżenia zawartości rtęci w węglu [%],  
 $Hg_{nadawa}$  – zawartość rtęci w nadawie do procesu wzbogacania [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ],  
 $Hg_{koncentrat}$  – zawartość rtęci w koncentracie z procesu wzbogacania [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ].

Wyniki obliczeń dla analizowanych przypadków przedstawiono na rysunku 4. Ujemne wartości wskaźnika świadczą o wzroście zawartości rtęci w koncentracie w stosunku do nadawy. Tylko w przypadku wzbogacania w płuczce zawiesinowej cieczy ciężkiej dla każdego analizowanego przypadku uzyskano dodatnią wartość stopnia usunięcia rtęci i jednocześnie uzyskano jego najwyższą wartość (przypadek 3). Najniższe stopnie usunięcia rtęci uzyskano dla flotowników, niemniej jednak dla przypadku 13 skuteczność okazała się bardzo wysoka.



Rys. 4. Zestawienie wartości wskaźników obniżenia zawartości rtęci w węglu wyznaczonych według wzoru 1

Fig. 4. Summary of values of mercury content reduction ratios in coal, determined according to equation 1

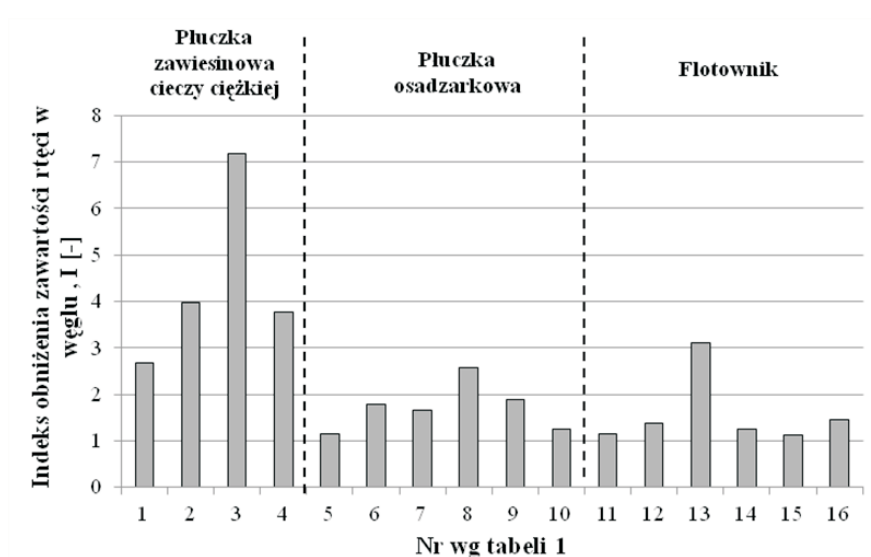
Prezentowany sposób, pomimo jego prostoty i łatwej interpretacji, według zdania autorów nie pozwala w pełni ocenić efektywności obniżenia zawartości rtęci w węglu w procesie jego wzbogacania. W nim bowiem zostaje obniżona zawartość popiołu, co wpływa na wzrost jego kaloryczności, a więc pozwala na wyprodukowanie surowca o znacznie wyższej jakości i w konsekwencji na obniżenie jego jednostkowego zużycia. Dlatego też w literaturze można znaleźć inne propozycje na wyrażenie tego efektu. W pracy (Lopez–Anton i in. 2006) zaproponowany został indeks  $I$  obniżenia zawartości rtęci w węglu uwzględniający oprócz zawartości rtęci także zawartość popiołu (wzór 2). Indeks większy od 1 oznacza, że metoda jest skuteczna, natomiast mniejszy od 1, że jest nieskuteczna. Uzyskane wyniki dla badanych w pracy przypadków przedstawiono na rysunku 5.

$$I = \frac{\frac{Hg_{nadawa}}{100 - A_{nadawa}}}{\frac{Hg_{koncentrat}}{100 - A_{koncentrat}}} \quad (2)$$

gdzie:  $I$  – indeks obniżenia zawartości rtęci w węglu [–]  
 $Hg_{nadawa}$  – zawartość rtęci w nadawie do procesu wzbogacania [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ],

- $A_{nadawa}$  – zawartość popiołu w nadawie [%],  
 $Hg_{koncentrat}$  – zawartość rtęci w koncentracie [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ],  
 $A_{koncentrat}$  – zawartość popiołu w koncentracie [%]

Można zauważyć, że dla wszystkich analizowanych urządzeń indeks  $I$  przyjmuje wartości większe od 1, co oznacza, że proces wzbogacania korzystnie wpływa na obniżenie rtęci, choć nie zawsze ten wpływ jest tak samo znaczący. Podobnie jak poprzednio, dla płuczek zawiesinowych cieczy ciężkiej uzyskano najwyższe skuteczności. Nieco lepiej od flotowników prezentował się proces wzbogacania w płuczkach osadzkowych, niemniej jednak przypadek 13 pokazuje, że proces flotacji też może być bardzo skuteczny.



Rys. 5. Zestawienie wartości indeksu  $I$  obniżenia zawartości rtęci w węglu wyznaczonych według wzoru 2

Fig. 5. Summary of values of mercury content reduction index  $I$ , determined according to equation 2

Inny sposób do określenia skuteczności obniżenia zawartości rtęci w węglu zaproponowano w pracy (Toole O'Neil i in. 1999), w którym uwzględniono kaloryczność nadawy i koncentratu – wzór (3). W porównaniu do poprzednio zaprezentowanego sposobu wynik podawany jest w procentach, co ułatwia jego interpretację.

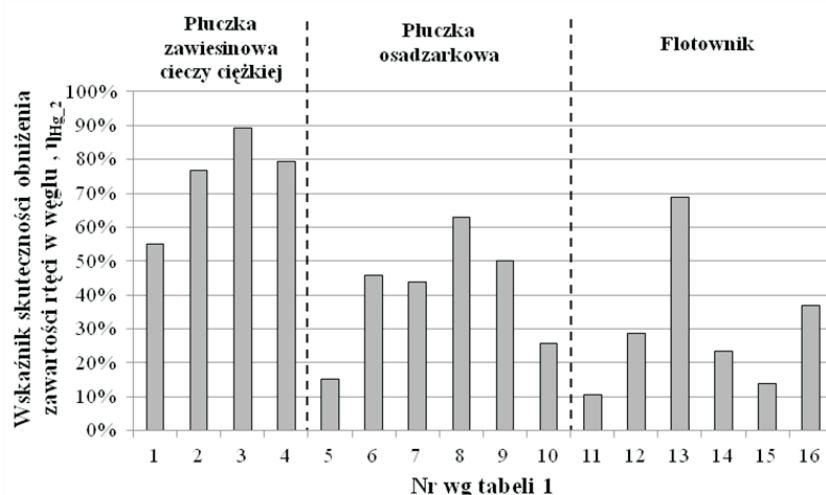
$$\eta_{Hg_2} = \frac{\frac{Hg_{nadawa}}{Q_{i\_nadawa}} - \frac{Hg_{koncentrat}}{Q_{i\_koncentrat}}}{\frac{Hg_{nadawa}}{Q_{i\_nadawa}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

- gdzie:  $\eta_{Hg_2}$  – wskaźnik skuteczności obniżenia zawartości rtęci w węglu [%],  
 $Hg_{nadawa}$  – zawartość rtęci w węglu surowym [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ],



- $Q_{i\_nadawa}$  – wartość opałowa nadawy [kJ/kg],  
 $Hg_{koncentrat}$  – zawartość rtęci w koncentracie [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ],  
 $Q_{i\_koncentrat}$  – wartość opałowa koncentratu [kJ/kg].

Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 6. Rezultaty są analogiczne do poprzednio prezentowanych. Dla wszystkich analizowanych urządzeń do wzbogacania wskaźnik skuteczności obniżenia zawartości rtęci był większy od 0, niemniej jednak był on zróżnicowany od 10 do 89%. Można także zauważyć, że dla tego sposobu prezentowania wyników uwidoczniła się różnica w skuteczności obniżenia zawartości rtęci w węglu pomiędzy płuczkami osadzarkowymi a flotownikami. Ponownie przypadek 13 pokazuje możliwą do uzyskania wysoką skuteczność usunięcia rtęci w procesie wzbogacania przy wykorzystaniu flotowników.



Rys. 6. Zestawienie wartości wskaźników obniżenia zawartości rtęci w węglu wyznaczonych według wzoru 3

Fig. 6. Summary of values of mercury content reduction ratios in coal, determined according to equation 3

## Podsumowanie

W artykule przeanalizowano wytypowane przemysłowe urządzenia do wzbogacania węgla. Dla każdego urządzenia przebadano nadawę do procesu wzbogacania i produkt końcowy (koncentrat). Oceniono także kilkoma sposobami skuteczność usuwania rtęci z węgla w procesie jego wzbogacania. Pierwszy z nich polegał na porównaniu bezwzględnej zawartości rtęci w nadawach i koncentratkach. W świetle uzyskanych wyników można stwierdzić, że proces wzbogacania nie zawsze pozwala na obniżenie tak wyrażanej zawartości rtęci. W 4 spośród 16 analizowanych przypadków zawartość rtęci w węglu była wyższa w koncentratkach niż w nadawach do poszczególnych węzłów wzbogacania. W kolejnych sposobach oceny skuteczności usuwania rtęci z węgla uwzględniono fakt obniżenia w nim zawartości substancji mineralnej. To

obniżenie powoduje znaczny wzrost kaloryczności, a tym samym zmniejszenie jednostkowego zużycia węgla, co z kolei pozwala na zmniejszenie ilości emitowanej do środowiska rtęci. Tak wyznaczone skuteczności obniżenia zawartości rtęci odniesione do ilości energii zawartej w węglu (kaloryczności) wyniosły od 10 do 89%. Najwyższe jej wartości uzyskano dla wzbogacania w płuczce zawieszinowej cieczy ciężkiej. Analiza wykazała, że również w przypadku wzbogacania w płuczkach osadzarkowych i flotownikach możliwe jest uzyskanie wysokich skuteczności usuwania rtęci. W podsumowaniu można stwierdzić, że proces wzbogacania węgla może być rozpatrywany jako wstępny a zarazem skuteczny etap ograniczenia emisji rtęci do środowiska. Proces ten jest komplementarny z metodami polegającymi na usuwaniu rtęci ze spalin i gazów poprocesowych. W przypadku węgla, dla których wzbogacanie węgla odznacza się wysoką skutecznością usuwania rtęci, zastosowanie jedynie tego procesu może być wystarczające do spełnienia wymogów emisyjnych.

#### Podziękowania

Prezentowane wyniki badań i analiz uzyskano w ramach grantu N N305 452140 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

## Literatura

- [1] ALEKSA i in. 2007 – ALEKSA, H., DYDUCH, F. i WIECHOWSKI, K. 2007. Chlor i rtęć w węglu i możliwości ich obniżenia metodami przeróbki mechanicznej. *Górnictwo i Geoinżynieria* t. 31, z. 3/1, s. 35–48.
- [2] BUJNY i in. 2012 – BUJNY, A., BURMISTRZ, P., GRUSZKA, S., JANICKI, W., KOGUT, K. i STRUGAŁA, A. 2012. Instalacja demonstracyjna do monitorowania i redukcji emisji rtęci ze spalania węgla kamiennego w kotłach pyłowych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15, z. 4, s. 161–173.
- [3] BURMISTRZ i in. 2014 – BURMISTRZ, P., DZIOK, T., KOGUT, K. i MAKOWSKA, D. 2014. Methods of Mercury Content Reduction in Coal. Rozdział monografii pt. *Mercury As a Coal Combustion Pollutant*. Oficyna Drukarska – Jacek Chmielewski, Warszawa. ISBN 978-83-63016-18-0.
- [4] CHMIELNIAK i in. 2013 – CHMIELNIAK, T., MISZTAŁ, E. i SŁOWIK, K. 2013. Opracowanie i weryfikacja w skali wielkolaboratoryjnej technologii usuwania rtęci z węgla na drodze pirolizy niskotemperaturowe. *Karbo* t. 59, s. 39–47.
- [5] DZIOK i in. 2013 – DZIOK, T., STRUGAŁA, A. i ROZWADOWSKI, A. 2013. Badania zawartości rtęci w węglu – uwagi dotyczące sposobu prezentacji wyników. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16 z. 3, s. 273–286.
- [6] EISLER, R. 2006 – *Mercury hazards to living organisms*. Taylor & Francis Group, ISBN: 0–8493–9212–8.
- [7] KŁOJZY–KARCZMARCZYK, B. i MAZUREK, J. 2013. Badania zawartości rtęci w węglach przeznaczonych dla odbiorców indywidualnych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 4, s.151–162.
- [8] LOPEZ-ANTON i in. 2002 – LOPEZ-ANTON, M.A., TASCÓN, J.M.D. i MARTINEZ-TARAZONA, M.R. 2002. Retention of mercury in activated carbons in coal combustion and gasification flue gases. *Fuel Processing Technology* t.77–78, s. 353–358.

- [9] MASTALERZ, M. i DROBNIAK, A. 2005. Vertical variations of mercury in Pennsylvanian coal beds from Indiana. *International Journal of Coal Geology* t.62, s. 223–236.
- [10] PACYNA i in. 2006 – PACYNA, E.G., PACYNA, J.M., STEENHUISEN, F. i WILSON, S. 2006. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmospheric Environment* t. 40, s. 4048–4063.
- [11] PYKA, I. i WIERZCHOWSKI, K. 2010. Problemy z rtęcią zawartą w węglu kamiennym. *Górnictwo i Geoinżynieria* t. 34, z. 4/1. s. 241–248.
- [12] TOOLE-O’NEIL i in. 1999 – TOOLE-O’NEIL, B., TEWALT, S.J., FINKELMAN, R.B. i AKERS D.J. 1999. Mercury concentration in coal – unraveling the puzzle. *Fuel* t. 78, s. 47–54.
- [13] WICHLIŃSKI i in. 2011 – WICHLIŃSKI, M., KOBYLECKI, R. i BIS, Z. 2011. Emisja rtęci podczas termicznej obróbki paliw. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 11, z.2, s. 191–202.
- [14] WICHLIŃSKI i in. 2012 – WICHLIŃSKI, M., KOBYLECKI, R. i BIS, Z. 2012. Przegląd metod ograniczenia emisji rtęci w elektrowniach podczas spalania paliw stałych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15, z. 4. s. 151–159.
- [15] WICHLIŃSKI i in. 2013 – WICHLIŃSKI, M., KOBYLECKI, R. i BIS, Z. 2013. The investigation of mercury contents in polish coal samples. *Archives of Environmental Protection* t. 39, z. 2, s. 141–150.
- [16] ZAJUSZ-ZUBEK, E. i KONIECZYŃSKI, J. 2014. Coal cleaning versus the reduction of mercury and other trace elements’ emission from coal combustion processes. *Archives of Environmental Protection* t. 40, z. 1, s. 115–127.
- [17] ZHENG i in. 2008 – ZHENG, L., LIU, G., QI, C., ZHANG, Y. i WONG, M. 2008. The use of sequential extraction to determine the distribution and modes of occurrence of Mercury in Permian Huaibei coal, Anhui Province, China. *International Journal of Coal Geology* t. 73, s. 139–155.

Tadeusz DZIOK, Andrzej STRUGAŁA, Andrzej ROZWADOWSKI, Jerzy GÓRECKI,  
Stanisław ZIOMBER

## Changes in the concentration of mercury in hard coal in the coal washing process

### Abstract

Mercury and its compounds are classified as extremely hazardous substances. The main sources of mercury emissions caused by human activities are the combustion processes of fossil fuels – mainly coal. There are several methods which enable a reduction in mercury emissions from these processes. They can be classified under two main groups. The first group includes methods for removing mercury from exhaust gases (post-combustion methods). The second group includes methods of reducing the mercury content in coal before its utilization (pre-combustion methods). The coal washing process is classified under the second group of methods. The aim of this paper was to determine the changes in the mercury content in hard coal in the coal washing process. Coal samples obtained in hard coal processing plants were analyzed. For each case, raw and clean coals were examined. In view of the results, it can be concluded that the coal

washing process does not lead to a reduction of mercury content in all cases. However, taking into account the improvement in coal quality as a result of a reduction of the mineral matter content, the results obtained were promising. The reduction of mineral matter causes a significant increase in caloric value. A higher calorific value of coal will reduce its consumption and, thus, will reduce the amount of mercury emitted into the environment. The determined ratios of mercury content reduction ranged from 10 to 89%. The highest ratios were obtained for dense media baths.

KEY WORDS: hard coal, coal washing process, mercury