

**Zeszyty Naukowe***Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk*

rok 2017, nr 98, s. 115–124

Piotr BURMISTRZ*, Tadeusz DZIOK*, Krzysztof BYTNAR*

Zawartość rtęci w odpadach z procesu wzbogacania węgla kamiennych oraz ubocznych produktach spalania węgla w aspekcie ich utylizacji

Streszczenie: Podczas wydobycia i przeróbki mechanicznej węgla kamiennego oraz w procesach jego spalania powstają różne odpady. Zaliczyć do nich można m.in. odpady z procesu wzbogacania węgla oraz uboczne produkty spalania (popioły lotne i żużle). Aktualne przepisy prawne i branżowe zalecają określanie w nich m.in. zawartości rtęci oraz definiują graniczne jej wartości. Celem pracy było określenie poziomu rtęci w odpadach z procesu wzbogacania węgla kamiennych oraz stałych ubocznych produktach spalania węgla w energetyce w aspekcie ich wykorzystania i/lub utylizacji.

Określono zawartość rtęci w reprezentatywnych próbkach odpadów z procesu wzbogacania na mokro i suchej separacji węgla kamiennego oraz w ubocznych produktach spalania z ośmiu kotłów opalanych węglem kamiennym: próbkach żużla i popiołu lotnego. Zawartość rtęci w badanych odpadach ze wzbogacania na mokro węgla kamiennych zmieniała się w granicach od 54 do 245 µg/kg (średnia 98 µg/kg), a z procesu suchej separacji od 76 do 310 µg/kg (średnia 148 µg/kg), w przeliczeniu na stan roboczy. Zawartość rtęci w popiołach lotnych wynosiła od 70 do 1420 µg/kg (średnia 567 µg/kg), a w żużlach od 8 do 58 µg/kg (średnia 21 µg/kg).

Obecnie – w świetle obowiązujących przepisów prawnych z punktu widzenia zawartości rtęci w odpadach – nie ma istotnych barier w ich wykorzystaniu. Niemniej jednak mogą pojawić się w przyszłości przepisy limitujące maksymalną zawartość rtęci oraz dopuszczalną ilość wymywanej rtęci. Może to utrudnić ich wykorzystanie i/lub utylizację według dotychczasowych sposobów. Zasadne jest więc przygotowanie się na taką sytuację, poprzez opracowanie innych alternatywnych sposobów wykorzystania tych odpadów.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, rtęć, wzbogacanie, odpady, uboczne produkty spalania

* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Technologii Paliw, Kraków; e-mail: burmistrz@agh.edu.pl; tadeusz.dziok@agh.edu.pl; bytnar@agh.edu.pl

Mercury content in the rejects from the hard coal cleaning process and coal combustion by-products in respect of their utilization

Abstract: In the processes of coal mining, preparation and combustion, the rejects and by-products are generated.

These are, among others, the rejects from the coal washing and dry deshaling processes as well as the coal combustion by-products (fly ash and slag). Current legal and industry regulations recommend determining the content of mercury in them. The regulations also define the acceptable content of mercury. The aim of the paper was to determine the mercury content in the rejects derived from the coal cleaning processes as well as in the combustion by-products in respect of their utilization.

The mercury content in the representative samples of the rejects derived from the coal washing and dry deshaling processes as well as in the coal combustion by-products derived from 8 coal-fired boilers was determined. The mercury content in the rejects from the coal washing process varied from 54 to 245 µg/kg, (the average of 98 µg/kg) and in the rejects from the dry deshaling process it varied from 76 to 310 µg/kg (the average of 148 µg/kg). The mercury content in the fly ash varied from 70 to 1420 µg/kg, (the average of 567 µg/kg) and in the slag it varied from 8 to 58 µg/kg (the average of 21 µg/kg).

At the moment, in light of the regulations from the point of view of mercury content in the rejects from the coal preparation processes and in the coal combustion by-products, there are no significant barriers determining the way of their utilization. Nevertheless, in the future, regulations limiting the maximum content of mercury as well as the acceptable amount of leachable mercury may be introduced. Therefore, preparing for this situation by developing other alternative methods of using the rejects and by-products is recommended.

Keywords: hard coal, mercury, coal cleaning, rejects, coal combustion by-products

Wprowadzenie

Podczas wydobywania węgla kamiennego odpady wydobywcze stanowią około 30–40% urobku. Około 94% odpadów wydobywczych stanowią odpady przerobcze, które są materiałem skalnym wydobywanym razem z urobkiem surowym (Baic i in. 2011). Odpady te charakteryzują się w miarę jednorodnym składem mineralogicznym i znacznym podobieństwem składu chemicznego. Powstające w wyniku wzbogacania węgla kamiennego odpady cechują się różnym uziarnieniem oraz znacznymi różnicami w zawartości substancji węglowej, siarki i wilgoci. Właściwości te decydują o kierunku wykorzystania odpadów (Baic i in. 2011).

Odpady wydobywcze z procesu wzbogacania znajdują zastosowanie w budownictwie hydrotechnicznym, ziemnym, w rekultywacji terenów, robotach likwidacyjnych w kopalniach węgla kamiennego, do podszadania wyrobisk eksploatacyjnych, jako kruszywa i ceramika budowlana oraz do odzysku substancji węglowej (Baic i in. 2011). Możliwe jest zagospodarowanie zarówno kopalin towarzyszących jak i zgromadzonych na zwałowiskach odpadów wydobywczych (Kabziński 2011). Odpady z procesu wzbogacania węgla mogą również stanowić potencjalne źródło odzysku pierwiastków krytycznych (Strugała i in. 2014).

Zgodnie z obowiązującym prawem, gospodarcze wykorzystanie odpadów lub ich składowanie wymaga określenia potencjalnie negatywnego ich wpływu na środowisko (Chrobak 2014). Ustawa o odpadach (Ustawa o odpadach 2013) wymienia składniki, które mogą powodować, że odpady są odpadami niebezpiecznymi – załącznik nr 4 do Ustawy. Wśród składników tych wymieniana jest również rtęć i jej związki.

Zawartość rtęci w odpadach powstających w procesach wydobywania i przetwórstwa węgla kamiennego prezentuje się na zbliżonym poziomie do zawartości rtęci w samym węglu i waha się od 6 do 401 µg/kg ze średnią wynoszącą 99 µg/kg (Białecka i in. 2016).

Dla porównania zawartość rtęci w polskich węglach subbitumicznych wynosi od 18 do 518 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ze średnią wynoszącą 104 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Burmistrz i in. 2016). Ważnym aspektem możliwości zagospodarowania odpadów jest również wymywalność rtęci w środowisku wodnym. Jednak – jak pokazują publikowane wyniki badań – parametr ten nie będzie limitującym w zagospodarowaniu odpadów (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016). Dlatego też procesy wzbogacania metodami mokrymi bądź suchymi mogą być wykorzystane do usuwania rtęci z węgla kamiennego (Aleksa i in. 2017; Baic i Blaschke 2017a, 2017b).

Odpady związane z użytkowaniem węgla kamiennego powstają również w procesie jego spalania i oczyszczania gazów spalinowych, tzw. uboczne produkty spalania (UPS). Zaliczane są do nich żużle i popioły lotne wydzielane w elektrofiltrach lub filtrach tkaninowych. Popioły lotne znajdują zastosowanie jako źródło mas ziemnych, kruszyw i spoiw. Do rozwijanych kierunków zagospodarowania UPS-ów należy zaliczyć m.in. produkcję popiołów aktywowanych, hydrofobizowanych popiołów lotnych, odzysk koncentratów metali, wytwarzanie aktywnych składników spoiw i betonów oraz wypełniaczy do tworzyw sztucznych (Hycnar i in. 2014). UPS mogą znaleźć również zastosowanie w kopalniach węgla kamiennego do unieszkodliwiania odpadów poprzez składowanie, odzysku odpadów w technologiach górniczych oraz jako mineralne spoiwa górnicze (Drobek i in. 2016; Plewa i in. 2013).

Według Hycnar i in. (2014) aktualnym problemem dla zagospodarowania popiołów lotnych jest rozwiązanie problemu zawartości w nich rtęci. Zawartość rtęci w popiołach lotnych z kotłów fluidalnych opalanych węglem kamiennym wynosić może od 349 do 976 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Wichliński i in. 2013). Zawartość ta jest znacznie większa niż dla odpadów wydobywczych.

Celem pracy było określenie poziomu rtęci w odpadach z procesu wzbogacania węgla kamiennych oraz w stałych ubocznych produktach spalania węgla w energetyce w aspekcie ich wykorzystania i/lub utylizacji zgodnie z obowiązującymi i przewidywanymi uregulowaniami formalno-prawnymi.

1. Metodyka badań

1.1. Charakterystyka badanych próbek

Badaniom poddano próbki odpadów z procesu wzbogacania węgla kamiennych metodami mokrymi i suchymi. Badane próbki odpadów z procesu wzbogacania metodami mokrymi pochodziły z krajowych zakładów przerobczych. Przeanalizowano próbki odpadów ze wzbogacania węgla w płuczce zawieszinowej cieczy ciężkich, ze wzbogacania osadzarkowego i flotacyjnego. W przypadku suchej separacji badane próbki pochodziły z instalacji pilotowej – powietrznego wibracyjnego separatora.

Ponadto dla ośmiu kotłów spalających węgle kamienne wykonane zostały badania, obejmujące m.in. pobranie trzech reprezentatywnych próbek: spalanego w kotle węgla, żużla, popiołu lotnego wydzielanego w elektrofiltrze lub filtrze workowym oraz produkowanego gipsu w instalacjach wyposażonych w mokre odsiarczanie spalin.

Charakterystykę badanych opadów przedstawiono w tabeli 1, zaś w tabeli 2 zestawione zostały zawartości rtęci w pobranych próbkach: węgla kamiennego, żużla, popiołu lotnego i gipsu. Zawartość rtęci określono za pomocą analizatora MA-2000 (Nippon Instruments Corporation) wykorzystującego technikę zimnych par CVAAS.

TABELA 1. Charakterystyka badanych próbek odpadów z procesu wzbogacania węgla kamiennego i suchej separacji węgla kamiennych

TABLE 1. Characteristics of examined samples of the rejects derived from coal washing and dry deshaling of hard coal

Lp.	Rodzaj odpadów	W ^a [%]	W _t ^r [%]	Hg _t ^d [μg/kg]	Hg _t ^r [μg/kg]
1.	Kamień popłuczkowy ze wzbogacania w płuczce zawiesinowej cieczy ciężkiej	0,9	1,4	62	61
2.		0,9	0,9	62	61
3.		1,8	1,8	249	245
4.		0,9	1,6	116	114
5.	Kamień popłuczkowy ze wzbogacania w osadarkach	0,8	2,9	88	85
6.		1,2	1,2	79	78
7.		0,9	2,3	55	54
8.		1,0	3,4	71	68
9.		1,7	5,3	190	180
10.		0,8	3,3	114	110
11.	Muły wysokopopiołowe ze wzbogacania flotacyjnego	1,0	20,6	148	118
12.		1,4	47,9	136	71
13.		1,2	13,5	69	60
14.		1,5	20,9	115	91
15.		1,9	20,6	127	101
16.		1,0	19,0	93	75
17.	Mineralne produkty uboczne z procesu suchej separacji przy wykorzystaniu powietrznego wibracyjnego separatora	1,8	2,7	319	310
18.		2,3	3,8	121	116
19.		8,3	14,1	162	139
20.		2,5	3,3	93	90
21.		0,9	3,0	78	76
22.		0,9	1,8	160	157

TABELA 2. Zawartość rtęci w badanych produktach spalania węgla i oczyszczania spalin

TABLE 2. Mercury content in the analyzed samples of coal combustion by-products

Kocioł + układ oczyszczania spalin	Zawartość rtęci w stanie roboczym próbki [$\mu\text{g}/\text{kg}$]			
	węgiel	żużel	popiół lotny	gips
220 MW ESP	90	20	470	–
	95	20	460	–
	100	18	440	–
530 MW ESP + IMOS	102	10	490	200
	100	8	510	210
	71	10	390	240
900 MW ESP + IMOS	60	20	230	81
	52	20	280	90
	70	9	250	74
220 MW ESP	140	58	434	–
	130	52	420	–
	132	47	426	–
140 MW ESP	70	10	232	–
	70	10	229	–
	55	10	217	–
50 MW FF	70	12	1 358	–
	50	18	1 219	–
	55	15	1 406	–
70 MW FF	60	20	70	–
	80	29	110	–
	50	28	93	–
30 MW MC	90	30	1 400	–
	80	20	1 420	–
	80	10	1 050	–

ESP – elektrofiltr, FF – filtr tkaninowy (workowy), MC – multicyklon, IMOS – instalacja mokrego odsiarczania spalin.

2. Wyniki badań i dyskusja

Zawartość rtęci w odpadach ze wzbogacania na mokro i suchej separacji węgla kamiennych dla badanych próbek odpadów zmieniała się w granicach od 54 do 310 $\mu\text{g}/\text{kg}$, średnia wyniosła 112 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (w stanie roboczym). Są to wartości typowe dla odpadów górniczych (Białecka i in. 2016; Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurek, 2014; Michalska i Białecka 2012). Porównanie zawartości rtęci w badanych grupach odpadów przedstawiono na rysunku 1. Wartości średnie zawartości rtęci prezentowały się na następującym poziomie: kamień popłuczkowy ze wzbogacania w osadzarkach – 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$, muły wysokopopiołowe ze wzbogacania flotacyjnego – 115 $\mu\text{g}/\text{kg}$, kamień popłuczkowy ze wzbogacania w płucze zawiesinowej cieczy ciężkiej – 122 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mineralne produkty uboczne z procesu suchej separacji – 156 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (stan suchy). Należy zaznaczyć, że różnice w zawartości rtęci w poszczególnych grupach odpadów należy utożsamiać nie tyle z zastosowaną technologią, a raczej formami występowania rtęci w substancji mineralnej węgla kamiennych. Formy te są zróżnicowane i zależą od właściwości samego węgla (jego genezy). Występowanie rtęci w węglu związane jest z występowaniem siarki (Aleska i in. 2007; Dziok i in. 2015a), a w szczególności pirytu (Dziok i in. 2015b). O zróżnicowaniu tym świadczyć może relatywnie wysoki rozrzut uzyskanych wyników zawartości rtęci w badanych odpadach (na rys. 1 w postaci wąsów przedstawiono odchylenie standardowe).

Należy stwierdzić, że w świetle obowiązujących przepisów prawnych zawartość rtęci w odpadach górniczych z procesu wzbogacania na mokro i suchej separacji nie limituje ich wykorzystania. Dla przykładu podana w rozporządzeniu Ministra Środowiska (Rozporzą-



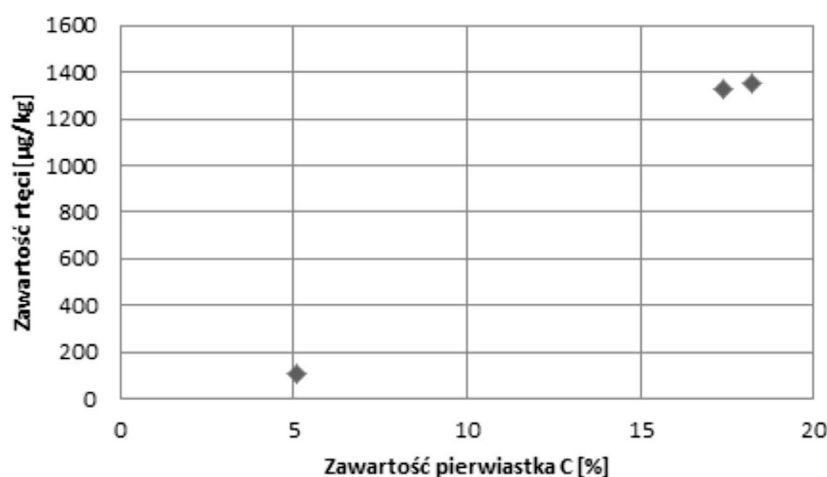
Rys. 1. Średnia zawartość rtęci w mineralnych produktach ubocznych z procesu wzbogacania węgla kamiennego (odchylenie standardowe przedstawione w postaci wąsów)

Fig. 1. Average content of mercury in rejects from the hard coal cleaning process (standard deviation is presented in the form of whiskers)

dzenie MŚ 2002a) wartość dopuszczalna dla stężenia rtęci w glebach grupy B w zależności od głębokości wynosi od 2000 do 30 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Wyniki badań prezentowanych w literaturze przedmiotowej (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016) wskazują, że wymywalność rtęci z odpadów górniczych prezentuje się na niższym poziomie niż wymagania stawiane dla środowiska wodnego, w tym dla wód powierzchniowych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Rozporządzeni MŚ 2002b).

Zawartość rtęci w spalanych próbkach węgla, dla ośmiu badanych kotłów, zmieniała się w granicach od 50 do 140 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (w stanie roboczym) i generalnie pokrywała się z wielkościami raportowanymi w literaturze (Burmistrz i in. 2016; Wichliński i in. 2013). W procesie spalania w kotle praktycznie cała ilość rtęci przechodzi do spalin i w związku z tym zawartość rtęci w próbkach żużli poza przypadkiem jednego kotła nie przekraczała 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$. W tym jednym kotle, w którym spalany był węgiel o zawartości rtęci zmieniającej się od 130 do 140 $\mu\text{g}/\text{kg}$, w próbkach żużla zawartość rtęci osiągała stosunkowo wysokie wartości od 47 do 58 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

W próbkach popiołów lotnych wydzielonych w elektrofiltrach stwierdzono zawartość rtęci w przedziale od 217 do 510 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Stwierdzono występowanie silnej, wprost proporcjonalnej zależności pomiędzy zawartością w popiołach lotnych rtęci i zawartością chloru w spalonym węglu oraz zawartością pierwiastka C (niespalonego) w popiołach lotnych. Zależności te zostały opisane w jednej z wcześniejszych publikacji (Burmistrz i in. 2016). Gdy popioły lotne wydzielane były w filtrach tkaninowych, to badane ich próbki zawierały w jednym przypadku około 100 μg rtęci/kg, zaś próbki wydzielone w drugiej instalacji zawierały od 1219 do 1406 μg rtęci/kg. Próbki popiołów lotnych wydzielone w multicyklonach zawierały od 1050 do 1420 μg rtęci/kg. W przypadku tych trzech instalacji zawartość rtęci w popiołach lotnych była skorelowana z zawartością w nich niespalonego pierwiastka C (patrz rys. 2). Przy zawartości w popiołach lotnych pierwiastka C na poziomie 5%,



Rys. 2. Zawartość rtęci w popiołach lotnych w zależności od zawartości niespalonego pierwiastka C

Fig. 2. Mercury content in fly ashes in relation to unburnt carbon content

popioły lotne zawierały około 100 µg rtęci/kg. Gdy w popiołach lotnych zawartość pierwiastka C wynosiła w granicach 17–18%, to zawartość w nich rtęci zwiększała się do poziomu 1300–1400 µg/kg.

W gipsach, wytwarzanych w instalacjach mokrego odsiarczania spalin, zawartość rtęci wahała się od 74 do 240 µg rtęci/kg. Zawartość rtęci w gipsie zależy od zawartości rtęci w spalonym węglu oraz od formy występowania rtęci w spalinach. Rtęć gazowa w postaci utlenionej Hg^{2+} łatwo się rozpuszcza w roztworze pochłaniającym IMOS i przechodzi do gipsu, natomiast rtęć nieutleniona Hg^0 jest praktycznie nierozpuszczalna.

Podsumowanie

Określono zawartość rtęci w reprezentatywnych próbkach odpadów z procesu wzbogacania na mokro i suchej separacji węgla kamiennego oraz ubocznych produktach spalania z ośmiu kotłów opalanych węglem kamiennym: próbkach żużla i popiołu lotnego. Zawartość rtęci w kamieniu popłuczkowym ze wzbogacania w płucze zawieszinowej cieczy ciężkiej zmieniała się w granicach od 61 do 245 µg/kg (średnia 120 µg/kg), w kamieniu popłuczkowym ze wzbogacania w osadzarkach od 54 do 180 µg/kg (średnia 96 µg/kg), w mułach wysokopopiołowych ze wzbogacania flotacyjnego od 60 do 118 µg/kg (średnia 86 µg/kg), a w mineralnych produktach ubocznych z procesu suchej separacji od 76 do 370 µg/kg (średnia 148 µg/kg). Zawartość rtęci w ubocznych produktach spalania dla popiołów lotnych wynosiła od 70 do 1 420 µg/kg (średnia 567 µg/kg), w żużlach od 8 do 58 µg/kg (średnia 21 µg/kg), a w gipsach wytwarzanych w instalacjach mokrego odsiarczania spalin od 74 do 240 µg/kg (średnia 149 µg/kg).

Obecnie w świetle obowiązujących przepisów prawnych z punktu widzenia zawartości rtęci w odpadach, nie ma istotnych barier w ich wykorzystaniu. Niemniej jednak mogą pojawić się w przyszłości przepisy limitujące maksymalną zawartość rtęci oraz dopuszczalną ilość wmywanej rtęci. Może to utrudnić ich wykorzystanie i/lub utylizację według dotychczasowych sposobów. Zasadne jest więc przygotowanie się na taką sytuację, poprzez opracowanie innych alternatywnych sposobów wykorzystania tych „odpadów”, np. popioły lotne mogą być wykorzystywane do produkcji zeolitów.

Praca została przygotowana w ramach pracy statutowej Wydziału Energetyki i Paliw, AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie nr 11.11.210.373.

Literatura

- Aleksa i in. 2007 – Aleksa, H., Dyduch, F. i Wierzchowski, K. 2007. Chlor i rtęć w węglu i możliwości ich obniżenia metodami przeróbki mechanicznej. *Górnictwo i Geoinżynieria* 31(3/1), s. 35–48.
- Baic i in. 2011 – Baic, I., Góralczyk, S. i Witkowska-Kita, B. 2011. Diagnoza stanu obecnego w zakresie rozwoju technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego – analiza SWOT [W:] Monografia: *Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego* red. Góralczyk S. Warszawa: Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego.

- Baic, I. i Blaschke, W. 2017a. Preliminary study on the reduction of mercury content in steam coal by using a pneumatic vibrating concentrating table, *Proceedings 21th International Conference on Environment and Mineral Processing*, Ostrava 1–3.06.2017, s. 7–16.
- Baic, I. i Blaschke, W. 2017b. Badania wstępne nad ograniczeniem zawartości rtęci w energetycznym węglu kamiennym poprzez zastosowanie wibracyjnego powietrznego stołu koncentracyjnego. *Rocznik Ochrony Środowiska – Annual Set the Environment Protection* 19 (w druku).
- Białecka i in. 2016 – Białecka, B., Michalska, A., Grabowski, J. i Bajerski, A. 2016. Ocena emisji rtęci z odpadów powęglowych podczas ich składowania [W:] Monografia: *Rtęć w polskim węglu kamiennym do celów energetycznych i w produktach jego przeróbki* red. Białecka B. i Pyka I. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- Burmistrz i in. 2016 – Burmistrz, P., Kogut, K., Marczak, M. i Zwoździak, J. 2016. Lignite and subbituminous coals combustion in Polish power plants as a source of anthropogenic mercury emission. *Fuel Processing Technology* 152, s. 250–258.
- Chrobak, Ł. 2014. *Nowe uregulowania prawne dotyczące odpadów wydobywczych – praktyczne wnioski*. [Online] Dostępne w: <http://salonkruszyw.imbigs.pl/uploads/pdf/referaty-2014.pdf> [Dostęp 10.07.2017].
- Dropek i in. 2016 – Dropek, L., Kanafek, J. i Pierzyna, P. 2016. Zagospodarowanie UPS w kopalniach węgla kamiennego stan aktualny, prognoza zużycia na lata 2016–2020, aspekty technologiczne i środowiskowe. XXIII Międzynarodowa Konferencja „Popioły z energetyki”, Zakopane 19–21.10.2016.
- Dziok i in. 2015a – Dziok, T., Strugała, A., Rozwadowski, A. i Macherzyński, M. 2015. Studies of the correlation between mercury content and the content of various forms of sulfur in Polish hard coals. *Fuel* 159, s. 206–213.
- Dziok i in. 2015b – Dziok, T., Strugała, A., Rozwadowski, A., Macherzyński, M. i Ziomber, S. 2015. Rtęć w odpadach z procesów wzbogacania węgla kamiennych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 31, z. 1, s. 107–122.
- Hyncar i in. 2014 – Hyncar, J.J., Szczygielski, T., Lysek, N. i Rajczyk, K. 2014. Kierunki optymalizacji zagospodarowania ubocznych produktów spalania węgla. *Inżynieria środowiska. Piecie przemysłowe & kotły V–VI*, s. 16–27.
- Kabziński, A. 2011. Prognoza potrzeb i produkcji kruszyw w Polsce w latach 2012–2020(+2). *Przegląd Górniczy* 66(7–8), s. 201–206.
- Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016 – Kłojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J. i Paw, K. 2016. Możliwości zagospodarowania kruszyw i odpadów wydobywczych górnictwa węgla kamiennego ZG Janina w procesach rekultywacji wyrobisk odkrywkowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 32, z. 3, s. 111–134.
- Kłojzy-Karczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2016. Badania zawartości rtęci i siarki w odpadach z obszaru nieczynnej hałdy odpadów górnictwa węgla kamiennego. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 17, z. 4, s. 289–302.
- Michalska A., Białecka B. 2012. Zawartość rtęci w węglu i odpadach górniczych. *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko* 3, s. 73–87.
- Plewa i in. 2013 – Plewa, F., Popczyk, M. i Pierzyna, P. 2013. Możliwości wykorzystania wybranych odpadów energetycznych z udziałem środka wiążącego do podszkazy zastalanej w podziemiu kopalń. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 4, s. 257–270.
- Rozporządzenie MŚ 2002a. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002, Nr 165, poz. 1359).
- Rozporządzenie MŚ 2002b. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Dz.U. z 2002, Nr 204, poz. 1728).
- Strugała i in. 2014 – Strugała, A., Makowska, D., Bytnar, K. i Rozwadowska, T. 2014. Analiza zawartości wybranych pierwiastków krytycznych w odpadach z procesu wzbogacania węgla kamiennego. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 17, z. 4, s. 77–88.
- Ustawa o odpadach 2013. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. z 2013, poz. 21).
- Wichliński i in. 2013 – Wichliński, M., Kobyłecki, R. i Bis, Z. 2013. Wybrane metody oznaczania zawartości rtęci w węglach i popiołach lotnych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 3, s. 287–300.

