

Materiały XXVII Konferencji z cyklu
*Zagadnienia surowców energetycznych
i energii w gospodarce krajowej*
Zakopane, 13–16.10.2013 r.
ISBN 978-83-62922-26-0

Jan Józef HYCJAR*, Andrzej FRAŚ**, Rafał PRZYSTAŚ**, Roman FOLTYN***

Stan i perspektywy podwyższenia jakości mułów węglowych dla energetyki

STRESZCZENIE. Dotychczasowe badania i doświadczenia stosowania drobnoziarnistych odpadów węglowych, jako paliwa w kotłach i piecach energetycznych, wskazują na możliwość podwyższenia ich jakości oraz zwiększenia efektów ekonomicznych i ekologicznych u ich użytkowników.

Właściwości energetyczne drobnoziarnistych odpadów węglowych wynikają z zawartości i jakości występujących macerałów węglowych oraz zawartości wody i składników mineralnych. Najprostszą drogą podwyższenia kaloryczności mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych jest obniżenie w nich zawartości wody i popiołu.

Na wilgotność drobnoziarnistych odpadów węglowych z bieżącej produkcji duży wpływ mają zastosowane urządzenia odwadniające, najbardziej skutecznymi okazały się prasy filtracyjne. Stopień zawodnienia mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych eksploatowanych z osadników zależy od czasu ich deponowania i budowy osadników oraz sposobu urabiania i magazynowania urobku. Dostarczane do energetyki drobnoziarniste odpady węglowe charakteryzują się wilgotnością od 14 do 38%.

Znaczącą poprawę jakości drobnoziarnistych odpadów węglowych uzyskano poprzez ich granulowanie. Otrzymywany granulaturę charakteryzuje się odpornością transportową i magazynową, nie ulega degradacji w zmiennych warunkach pogodowych oraz charakteryzuje się lepszymi właściwościami energetycznymi. Zastępując pulę mułowo-wodną granulaturę mułową można uzyskać przyrost jednostkowy wartości opałowej spalane go paliwa o około 2000 kJ/kg.

* Dr inż. – Ecocoal Consulting Center, Katowice

** Mgr inż. – Południowy Koncern Węglowy SA, Grupa Tauron, Jaworzno

*** Dr inż. – Foltyn Industriesystemelektronik GmbH, Rückersdorf, Niemcy

Zasadniczą poprawę jakości drobnoziarnistych odpadów węglowych można uzyskać przez obniżenie w nich zawartości składników mineralnych. Najprostszym rozwiązaniem jest selektywne wydzielanie najbogatszych w węgiel cieków wodno-mułowych z obiegu wodno-mułowego. A w przypadku ich uzyskiwania ze składowisk, selektywne wybieranie depozytu.

Najbogatsze koncentraty węglowe z mułów węglowych, uzyskuje się poprzez wydzielanie frakcji ziarnowej powyżej 30–50 μm . W przypadkach zastosowania odwadniających przesiewaczy wibracyjnych z tkaninowymi przeponami oraz przesiewaczy łukowych i odśrodkowych sit odwadniających uzyskiwano koncentraty węglowe o wartości opałowej w granicach 16 do 22 MJ/kg.

W dotychczasowych metodach deponowania zawiesin wodno-mułowych w osadnikach nie wykorzystuje się możliwości grawitacyjnego wzbogacania zawiesin wodno-mułowych w ziarna węgla. Poprzez ukierunkowanie przepływu zawiesin wodno-mułowych w osadnikach można uzyskać obszary bogatych i najbogatszych depozytów w ziarna węgla oraz uzyskać bardziej efektywne oczyszczenie wody nadosadowe.

Wzbogacanie odpadów poflotacyjnych wymaga stosowania innych metod rozdziału, najczęściej opartych o różnice gęstości lub/i właściwości powierzchniowych ziaren węgla i składników mineralnych. Najczęściej budowane instalacje oparte są o technologie stosujące hydrocyklony, ciecz ciężką i procesy flotacyjne. Wymienione technologie umożliwiają uzyskiwanie najbogatszych koncentratów węglowych.

Z dokonanej analizy zagospodarowania drobnoziarnistych odpadów węglowych wynika, że poprzez współdziałanie górnictwa i energetyki istnieją warunki i możliwości nie tylko zwiększenia ich ilościowego zagospodarowania, ale także zwiększenia efektów ekonomicznych i ekologicznych dla zainteresowanych stron.

SŁOWA KLUCZOWE: drobnoziarniste odpady węglowe, muły węglowe, odpady poflotacyjne, granulowane muły węglowe, spalanie mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych

Wprowadzenie

Stosowanie paliw niskokalorycznych jest naturalnym zjawiskiem powodowanym możliwościami uzyskania dodatkowych efektów ekonomicznych w energetyce i zmniejszenia ilości odpadów u producentów paliw. Wszystkie te działania sprowadzają się do racjonalizacji wykorzystania substancji węglowej/macerału zawartego w paliwach i odpadach.

Głównym źródłem drobnoziarnistych paliw niskokalorycznych, mieszanek paliwowych są muły węglowe i odpady poflotacyjne i ich mieszaniny, a ponadto ściery z węgla brunatnego, odpady z produkcji wyrobów węglowo-grafitowych, sadza z petrochemii oraz coraz częściej frakcje pylaste i piaskowe pochodzące z przeróbki biomasy itp.

Znaczącym krokiem w rozwoju wykorzystania niskokalorycznych paliw było wdrożenie do eksploatacji kotłów i pieców z paleniskami fluidalnymi (Fluidized... 1997; Hycnar 2006). W tych przypadkach niskokaloryczne paliwa stosowane są, jako paliwa podstawowe lub/i jako składnik mieszanin paliwowych, jako paliwo uzupełniające. W praktyce eksploatacyj-

nej kotłów fluidalnych można zarejestrować spalanie mułów węglowych nawet o wartości opałowej rzędu 5,5 MJ/kg z tym, że większość ich charakteryzuje się wartościami opałowymi powyżej 8 MJ/kg.

Zaostrzone wymogi w zakresie emisji zanieczyszczeń gazowych do środowiska wskazują na celowość ponownego przeanalizowania dotychczasowych rozwiązań w zakresie przygotowania i stosowania niskokalorycznych paliw oraz wypracowania nowych kierunków działań na rzecz ich dalszego u efektywnienia. Działania te zasługują na uwagę, gdyż według informacji pochodzących z sektora górnictwa węgla kamiennego i władz terenowych mamy zdeponowanych w osadnikach znaczące ilości drobnoziarnistych odpadów węglowych (mułów węglowych, odpadów poflotacyjnych). W zależności od źródeł bilansującego ilość zdeponowanych mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych w środowisku szacowana jest na prawie 16,5 Gg (Blaschke 2012; Sobko i in. 2011) i na przeszło 20 Gg (Hycnar 2003), których ilość należy powiększyć o bieżącą produkcję rzędu 7 Gg.

Zdeponowane drobnoziarniste odpady węglowe bardzo różnią się pod względem kaloryczności i udziału poszczególnych grup kalorycznych, a mianowicie (Hycnar 2003):

- ✧ muły o wartości opałowej >15 MJ/kg, stanowią 9,3%;
- ✧ muły o wartości opałowej od 12 do 15 MJ/kg, stanowią 6,8%;
- ✧ muły o wartości opałowej od 10 do 12 MJ/kg, stanowią 22,3%;
- ✧ muły o wartości opałowej < 10 MJ/kg, stanowią 61,5%.

Oznacza to, że największą ilość stanowią muły węglowe o kaloryczności poniżej 10 MJ/kg.

1. Właściwości fizykochemiczne drobnoziarnistych odpadów węglowych

Właściwości drobnoziarnistych odpadów węglowych są wynikiem ich pochodzenia, sposobów przeróbki i wzbogacania urobku oraz w przypadku ich deponowania, sposobami ich składowania. Wszystkie te czynniki decydują o dużych różnicach w ich składzie chemicznym i fizycznym oraz ich właściwościach fizykochemicznych.

Z punktu widzenia wymogów energetyki cieplnej, najistotniejszymi wymaganiami formułowanymi dla paliwa jest, między innymi, ich ciepło spalania, wartość opałowa i zawartość siarki oraz pochodne parametry jak zawartość wody (wilgoci) i popiołu. Związki te dobrze ilustruje zależność pomiędzy wartością opałową i ciepłem spalania a zawartością balastu, a mianowicie:

$$Q_{i,r} = Q_s^{daf} - \alpha(A + W) \quad (1)$$

gdzie: $Q_{i,r}$ – wartość opałowa w stanie roboczym [kJ/kg],
 Q_s^{daf} – ciepło spalania w stanie bezpopiołowym i suchym [kJ/kg],

- A_r – zawartość popiołu [%],
 $W_{f,r}$ – zawartość wilgoci [%],
 α – współczynnik charakterystyczny dla danego rodzaju drobnopopielistych odpadów węglowych, kJ/kg/%

Dla konkretnych analizowanych przypadków, równanie to dla mułów węglowych z jednej z kopalń uzyskiwało następującą zależność:

$$Q_{ir} = 32,108 - 358,11 (W_{tr} + A_r) \text{ kJ/kg} \quad (2)$$

Drugim obszarem charakterystycznym dla drobnopopielistych odpadów węglowych jest ich zależność właściwości kalorycznych, zawartości popiołu i siarki od frakcyjnego składu ziarnowego, szczególnie wyraźnie widoczne na przykładzie mułów węglowych (tab. 1).

W przypadku mułów węglowych frakcje ziarnowe powyżej 45 μm charakteryzują się zawartością ziaren węgla (tzw. koncentrat węglowy), frakcje poniżej 45 μm charakteryzują się natomiast zawartością ilów. Przechodząc, od najdrobniejszych do najgrubszych ziaren, obserwujemy spadek zawartości popiołu i wzrost kaloryczności poszczególnych frakcji ziarnowych. W zależności od formy występowania związków siarki w urobku (węglu), frakcje powyżej 45 μm zawierają więcej siarki organicznej niż frakcje poniżej 45 μm i zazwyczaj na odwrót, w przypadku występowania związków siarki w postaci związków pirytowych. Ze względu na fakt, że zazwyczaj związki siarki występują w węglach w postaci

TABELA 1. Porównanie zawartości popiołu we frakcjach ziarnowych mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych

TABLE 1. Comparison of the ash content in the fractions of the coal slimes and flotation tailings

Uziarnienie [mm]	Muły węglowe					Odpady poflotacyjne								
	wychód [%]	Muł J			muł S	mieszanina D	Z-1	Z-2	M					
		zawartość [%]								ciepło spalania [kJ/kg]	zawartość popiołu [%]			
		wody	popiołu	siarki										
Muł wyjściowy	100,0	3,1	57,5	0,86	10 471	–	–	–	–	–				
> 0,5	4,09	1,6	12,2	0,88	25 806	20,3	3,9	51,5	55,4	41,2				
> 0,315	2,24	1,7	20,7	0,96	23 092	23,8	6,5	53,3	66,0	50,3				
> 0,125	6,95	1,2	29,6	1,06	20 264	25,4	14,6	53,8	70,6	76,1				
> 0,063	7,05	1,2	29,5	1,21	20 309	30,5	21,7	52,5	–	–				
> 0,050	3,02	1,5	36,1	1,34	18 122	33,4	33,7	50,2	69,7	–				
< 0,050	76,65	2,3	67,6	0,73	7 008	62,1	64,7	70,0	73,8	70,7				

związków organicznych i nieorganicznych wymienione zasady występowania ich w poszczególnych frakcjach ziarnowych nie są tak przejrzyste.

W odpadach poflotacyjnych brak jest natomiast takich jednoznacznych zależności, jakie obserwuje się w badaniach mułów węglowych, co wynika z różnic ich powstawania (inny surowiec do procesu wzbogacania i proces flotacji).

Należy jednak uwzględnić, że w szeregu kopalniach wytwarzane muły są mieszaniną mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych, a szczególnie często ma to miejsce przy ich składowaniu na mokro w osadnikach.

Uwzględniając ponadto warunki deponowania w osadnikach i na hałdach, do energetyki dostarczane są bardzo zróżnicowane drobnoziarniste odpady węglowe, powszechnie nazywane mułami węglowymi.

W ostatnich latach wdrażane wymogi ekologicznych i ekonomicznych zasad spalania paliw w energetyce wpływają, i będą jeszcze silniej oddziaływać, na ilość i jakość spalanych samodzielnie i w mieszaninach mułów węglowych. Znaczące ilości balastu w mułach węglowych wpływają nie tylko na parametry eksploatacyjne (wskaźnik: zużycowania, skłonności do zanieczyszczania powierzchni grzewczych, energetyczne obciążenie popiołem jednostki ciepła), ale także na wielkość nakładów inwestycyjnych i koszty eksploatacyjne oraz na wielkość wskaźnika emisji CO₂ (Hycnar, Blaschke 2002; Sobko 2010; Blaschke 2011). Nie jest więc obojętne, jakie i w jaki sposób spalamy muły węglowe i odpady poflotacyjne.

2. Drobnoziarniste odpady węglowe zagospodarowywane w energetyce

Na potrzeby energetyki dostarczane są podstawowo muły węglowe w formie surowej, wydzielane na urządzeniach filtracyjnych z zagęszczonych zawiesin wodno-mułowych lub/i zdeponowanych w osadnikach dla ich odwodnienia i zagęszczenia.

Stosowanie surowych mułów węglowych jest często kłopotliwe ze względu na ich konsystencję oraz niebezpieczeństwo ich rozmywania, pylenia i zanieczyszczania środowiska i trudności ich zewnętrznego składowania w okresach suszy, śloty i mrozów. Z tych to m.in. powodów, często do zasilania kotłów fluidalnych stosowane są zamknięte stacje przygotowania/upłynnienia mułów do sporządzania pulpy mułowo-węglowej rozpylanej następnie w złożu paleniska. Niezależnie rozwijana jest także technologia granulowania mułów węglowych umożliwiającą ich bezpośrednie zastosowanie w paleniskach lub jako dodatek do innych paliw, w tym, do miałów węglowych.

Spalanie drobnoziarnistych odpadów węglowych w postaci **pulpy wodno-mułowej** do bezpośredniego opalania kotła fluidalnego zostało po raz pierwszy wdrożone we Francji. W sąsiadującej kopalni zostaje sporządzona pulpa z bieżącej zawiesiny wodno-mułowej i mułów z osadnika, transportowana następnie rurociągami do elektrowni. W ten sposób

wyeliminowano potrzebę stosowania pras filtracyjnych w kopalni dla wydzielania placków mułowych oraz tworzenia w elektrowni stacji przyjmowania mułów i sporządzania z nich pulpy.

Proces **granulowania mułów** węglowych jest znany od bardzo dawna, ale jego wdrożenie do praktyki przemysłowej następuje w ostatnich dziesięciu latach. Coraz częściej zamiast tradycyjnych granulatorów talerzowych i bębnowych stosowane są mieszalniki intensywnego działania, charakteryzujące się wysokimi wydajnościami aglomerowania mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych przy znacznie niższych ciężarach urządzeń i mniejszym zużyciu energii elektrycznej. Spośród przebadanych kilkunastu spoiw do tworzenia i wiązania (utrwalania) granulatu mułowego, wytypowano stosowanie tlenku i wodorotlenku wapnia oraz popiołów fluidalnych zawierających znaczne ilości tlenku wapnia. Spoiwa te zapewniają nie tylko wymaganą wytrzymałość mechaniczną granulatu, ale także zmniejszają zawartość w nich wody, a ponadto w procesie spalania wiążą tlenki siarki adekwatnie do zawartego tlenku wapnia, co jest przedmiotem wielu opracowań i artykułów (Założenia... 2008; Szymkiewicz i in. 2012). Stosowanie popiołów dennych jako spoiwa do mułów z jednej strony powoduje zwiększenie zawartości popiołu w granulacie (zazwyczaj ilość popiołu jest około 3 razy większa od ilości dozowanego CaO), ale jednocześnie pozwala na zwiększenie wykorzystania wapieni (CaO nieprzereagowane) w procesie fluidalnego spalania węgla (Łacka-Matusiewicz, Fraś 2012).

Przeprowadzone analizy porównawcze stosowania pulpy mułowej i granulowanych mułów węglowych wykazują wyższą efektywność energetyczną stosowania granulowanych mułów węglowych (tab. 2). Dodatkowe korzyści mogą wynikać z uproszczenia instalacji do podawania granulatu bezpośrednio do złoża lub/i do podstawowego paliwa zasilającego kocioł.

TABELA 2. Porównanie właściwości mułów węglowych w zależności od sposobu ich przygotowania do spalania

TABLE 2. Comparison of the coal slimes properties depending on the method of preparation for combustion

Produkt	Stan analityczny					Stan roboczy				
	W	A	Q _s	S _t	C	W _t	A	Q _t	S	C
Muł węglowy (37 J) – jako pulpa zawierająca 40% wody	3,22	56,71	11 129	0,599	29,08	27,5 40,0	42,5	7 311 5 744	0,45	21,8
Muł węglowy (38 S) – jako pulpa zawierająca 40% wody	4,07	52,54	12 422	0,746	32,20	28,3 40,0	39,3	8 211 6 584	0,56	24,1
Granulat mułowy S	5,15	42,00	14 738	0,908	39,24	28,8	31,5	9 891	0,68	29,5
Miał + granulat 5% (39)	8,23	16,24	23 944	1,709	59,82	20,3	14,1	19 525	1,48	52,0

Analiza stosowanych w kraju i za granicą układów zasilania kotłów i pieców energetycznych w paliwa niskokaloryczne wykazuje duże zróżnicowanie sposobów ich przygotowania do spalania (Fluidized... 1997; Hycnar 2006; Założenia... 2008; Borowski, Hycnar 2013):

- ✧ w stosunkowo małym zakresie surowe muły węglowe stosowane są jako paliwo podstawowe, bezpośrednio zasilające paleniska (głównie suszarnie);
- ✧ częściej można spotkać stosowanie surowych mułów węglowych jako paliwa uzupełniającego dla tradycyjnych i odpadowych paliw (np. gazu koksowniczego);
- ✧ najczęściej surowe muły węglowe stosowane są w mieszaninie z paliwem podstawowym (miałami energetycznymi), sporządzane w kopalniach, mieszalnicach paliw i u użytkownika w ciągach nawęglania obiektów energetycznych;
- ✧ coraz częściej, szczególnie do zasilania palenisk fluidalnych, stosowane są muły w postaci pulpy mułowo-wodnej (zawartość wody ok. 40%) dostarczanej bezpośrednio z kopalni lub sporządzanej na miejscu z surowych mułów;
- ✧ w ograniczonym zakresie stosowane są granulowane muły węglowe jako paliwo podstawowe i uzupełniające do zasilania palenisk, natomiast najczęściej są stosowane jako dodatek do miał węglowych i sporządzania mieszanek paliwowych;
- ✧ w małych ilościach stosowane są także brykietowane muły węglowe, szczególnie przydatne do małych pieców i kotłów oraz kotłów rusztowych.

3. Kierunki działań na rzecz poprawy jakości drobnoziarnistych odpadów węglowych

Przedstawiony stan zagospodarowania drobnoziarnistych odpadów węglowych w górnictwie i w energetyce oparty jest przede wszystkim na akceptacji niskiej jakości mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych. Realizowane dotychczas działania tylko w małym zakresie wpływały na podwyższenie energetycznej efektywności ich spalania.

Na podstawie prowadzonych studiów i badań nad technologiami rozdziału drobnoziarnistych surowców i odpadów, dla wzbogacania drobnoziarnistych odpadów węglowych, przydatnymi są między innymi (Hycnar i in. 2005; Lutyński, Szpyrka 2012):

- ✧ metody selektywnego wydzielania cieków bogatych w węgiel z obiegów wodno-mułowych;
- ✧ metody klasyfikacji ziarnowej, densymetrycznej i opartych o różnice powierzchniowe ich składników;
- ✧ zmiany dotychczasowych metod składowania zawieszin wodno-mułowych w osadnikach.

Wydzielane muły węglowe z obiegów wodno-mułowych stanowią mieszaninę mułów zawartych w ciekach powstających w poszczególnych węzłach technologicznych instalacji wzbogacania urobku/węgla. Analizy fazy stałej zawartej w ciekach wodno-mułowych wykazują bardzo duże zróżnicowanie ich składu i właściwości energetycznych w zależności

od miejsca ich powstawania. Przykładowo, w okresie prowadzonych badań cieków, zawartość w nich koncentratów węglowych (frakcji ziarnowej powyżej 45 μm) różniła się w zakresie 23 do 64% i ciepłem spalania od 13 do 28 kJ/kg, co ilustrują dane zawarte w tabeli 3.

TABELA 3. Ilościowo-jakościowe charakterystyki frakcji ziarnowych powyżej 45 μm wydzielanych z obiegu wodno-mułowego zakładu wzbogacania węgla

TABLE 3. Quantitative and qualitative characteristics of grain fractions over 45 μm separated from the water and slime circuit of the coal processing plant

L.p.	Miejsce poboru zawiesiny z obiegu wodno-mułowego (muł węglowy)	Frakcja ziarnowa +45 μm wydzielona z cieku (mułu)				
		udział [%]	uziarnienie [μm]	Stan analityczny		
				zawartość popiołu [%]	ciepło spalania [MkJ/kg]	wartość opałowa [MJ/kg]
1.	Sortownia	37,0	63	17,5–35,9	18,1–24,3	17,3–23,3
2.	Rekuperator	36,5	45	27,5–37,8	16,6–20,1	15,8–19,1
3.	Osadzarka I	58,0	63	14,0–25,4	19,5–23,7	18,5–22,5
4.	Osadzarka II	~25,0	63	8,9–16,0	24,4–27,8	23,3–24,9
5.	Zagęszczacz promieniowy	38–43	45	30,6–37,3	17,5–19,3	16,6–18,4
6.	Wirówka odwadniająca	33,3–64,0	63	14,1–52,0	12,7–25,3	12,1–24,2
7.	(Muł z prasy filtracyjnej)	23,3	50	12,2–36,1	18,1–25,8	–

Poprzez **selektywne wydzielenie cieków** bogatych w ziarna węgla można stosunkowo łatwo uzyskać koncentraty węglowe, niejednokrotnie bez potrzeby wydzielania frakcji ziarnowej + 45 μm . Jest oczywiste, że zrealizowanie tych założeń wymaga szeregu zmian w dotychczasowych obiegach wodno-mułowych i doboru odpowiednich urządzeń klasyfikująco-odwadniających (np. przesiewacze z przeponami tekstylnymi, sita łukowe i odśrodkowe sita odwadniające, hydrocyklony), których realizacja nie wymaga dużych nakładów inwestycyjnych.

W nielicznych **zakładach przeróbczych** drobnoziarniste odpady węglowe zdeponowane na składowiskach stanowią podstawowy surowiec do wytwarzania koncentratów węglowych, najczęściej odpady poflotacyjne. Instalacje takie zazwyczaj lokalizowane są w rejonach, gdzie znajdują się duże ilości surowca o znaczącej zawartości substancji węglowej, decydującej o ekonomii wytwarzanych koncentratów węglowych.

Rozpowszechniana przed kilkunastu latami, za granicą i wdrożona w kraju, technologia flotacyjnego wzbogacania drobnoziarnistych odpadów węglowych niestety nie wytrzymała konkurencji pomimo, że umożliwiała wytwarzanie koncentratów węglowych o najwyższych parametrach – dwa podstawowe zakłady zostały zlikwidowane (Niemcy – Linen, Polska – Dębieńsko).

TABELA 4. Zawartość popiołu w próbkach mułów węglowych pobranych z osadników mułowych

TABLE 4. Ash content in the samples of coal slimes collected from the coal slime settling lagoons

Głębokość Poboru próbki, m	Zawartość popiołu, %																		
	Osadnik I Próbka nr				Osadnik II Próbka nr				Osadnik III Próbka nr				Osadnik VI Sobieski Próbka nr						
	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04	05	01	02	03	04	05	06
1	45,6	41,8	25,6	34,0	42,7	22,4	29,8	30,3	28,5	29,0	33,2	46,3	43,6	37,8	38,0	17,2	38,6	41,4	38,7
2	59,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37,2	-	-	-
3	-	24,3	17,3	22,4	57,5	42,1	37,5	36,3	29,4	32,6	41,9	28,9	37,4	28,8	40,5	38,1	46,0	31,6	38,7
4	63,9	-	-	-	-	-	46,0	-	39,9	-	-	-	-	-	-	40,0	-	37,8	-
5	-	18,2	-	17,6	32,3	37,6	-	42,5	-	-	-	45,4	41,7	30,1	36,8	16,8	-	42,2	-
6	23,5	-	25,3	-	31,4	40,2	41,8	29,3	-	-	-	-	-	43,4	35,9	-	-	-	-
7	13,3	32,7	-	40,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Średnia	41,2	29,2	22,7	28,6	41,0	35,6	38,8	34,6	32,6	30,8	37,5	40,2	40,9	35,0	37,8	29,9	42,3	38,2	38,7
Osadnik																			

Najnowszym osiągnięciem w tym zakresie jest uruchomienie Zakładu Recyklingu Odpadów Węglowych w Nowej Rudzie produkującego koncentrat węglowy z zawiesiny odpadów poflotacyjnych w oparciu o technologię hydrocyklonów.

Znaczne ilości aktualnie spalanych mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych pochodzi z wyłączonych z **eksploatacji osadników**. W zależności od sposobu prowadzonego załadowania zawiesin mułowo-wodnych i następnie czasu ich grawitacyjnego odwadniania oraz sposobu urabiania depozytów i ich składowania, drobnoziarniste odpady węglowe znacząco się różnią między sobą, nie tylko z ich natury (rodzaj węgla, technologia wzbogacania), ale także stopnia ich uwodnienia.

Przebadane złoża zdeponowanych drobnoziarnistych odpadów węglowych w czternastu osadnikach i na jednej hałdzie nadpoziomowej dostarczyły bogatego zbioru wiadomości o składzie i właściwościach załadowanego materiału. Depozyty odpadów poflotacyjnych w osadnikach wykazują mniejszą zmienność składu i właściwości, można mówić o jednorodności złoża. W przypadku depozytów mułów węglowych mamy do czynienia ze złożem niejednorodnym pod względem składu i właściwości fizykochemicznych.

Proces składowania i odwadniania zawiesin wodno-mułowych w osadnikach ziemnych związany jest z procesami sedymentacji fazy stałej na drodze przepływu zawiesiny od miejsca zrzutu do miejsca odprowadzającego nadmiar wody (mnicha) z równoczesnym klarowaniem się wody z zawiesin. W zależności od rozwiązania osadnika i jego wielkości oraz występujących przepływów, deponowane muły podlegają segregacji ciężarowej, tworząc niejednorodne złożo często zmieniające się w miarę zapełniania osadnika, co zilustrowano na przykładzie zmienności zawartości popiołu w złożach czterech osadników (tab. 4).

Z analizy zjawisk sedymentacji zawiesin w uporządkowanych układach hydraulicznych wynika, że odpowiednio kierując przepływami można uzyskać znaczącą segregację fazy stałej. W tym zakresie, w energetyce uzyskano bardzo pozytywne rezultaty wprowadzając opaskowy przemienny zrzut zawiesin żużłowo-popiołowych; wzmacniając w ten sposób istniejące obwałowania i gromadząc materiał przydatny do ich nadbudowy. W przypadku analizowanych składowisk obserwujemy naturalne zjawisko przepływu zawiesiny najkrótszą drogą, zmieniającą się odpowiednio do stopnia wypełnienia osadnika, co nie oznacza optymalnych warunków sedymentacji mułów i oczyszczania wód nadosadowych.

Odpowiednio kształtując zrzuty zawiesin wodno-mułowych z osadników i wymuszając określone przepływy w osadnikach można uzyskiwać selektywną segregację mułu i tworzyć warunki do formowania się „złoża koncentratu węglowego” i uzyskiwania najwyższej czystości wód zrzutowych.

Podsumowanie

Dotychczasowe badania i doświadczenia stosowania drobnoziarnistych odpadów węglowych, jako paliwa podstawowego i uzupełniającego w kotłach i piecach energetycznych

wskazują na możliwość podwyższenia ich jakości oraz zwiększenia efektów ekonomicznych i ekologicznych u ich użytkowników.

Właściwości energetyczne drobnoziarnistych odpadów węglowych jako paliwa wynikają z zawartości i jakości występujących macerałów węglowych, decydujących o ich właściwościach energotwórczych oraz zawartości wody i składników mineralnych, które obniżają efekt cieplny z tytułu pochłaniania energii cieplnej, w szerokim zakresie temperatur na ciepło właściwe i ciepło parowania. Najprostszą drogą podwyższenia kaloryczności drobnoziarnistych odpadów węglowych (mułów węglowych, odpadów poflotacyjnych) jest obniżenie w nich zawartości wody (wilgotności) i popiołu.

W przypadku drobnoziarnistych odpadów węglowych z bieżącej produkcji na ich wilgotność duży wpływ mają zastosowane urządzenia odwadniające zawiesziny wodno-mułowe z zagęszczaczy promieniowych i lamelowych. W praktyce naszego górnictwa prasy filtracyjne okazały się bardziej skuteczne od filtrów taśmowych i tarczowych. Stopień zawodnienia mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych eksploatowanych z wyłączonych osadników mułowych zależy od stopnia ich grawitacyjnego odwodnienia (czasu deponowania i budowy osadnika) oraz sposobu urabiania i magazynowania urobku (napowietrzenie, suszenie atmosferyczne). Z tych to powodów, do energetyki trafiają drobnoziarniste odpady węglowe o zawartości wody w bardzo szerokim zakresie, od 14 do 38%.

Znaczącą poprawę jakości drobnoziarnistych odpadów węglowych uzyskano poprzez wdrożenie ich granulowania, szczególnie z udziałem wapna palonego jako spoiwa. Otrzymywany granulaturę charakteryzuje się odpornością transportową i magazynową, nie ulega degradacji w zmiennych warunkach pogodowych oraz charakteryzuje się lepszymi właściwościami energetycznymi z tytułu obniżonej zawartości wody i zawartości aktywnych związków wapnia wiążących tlenki siarki w procesie ich spalania. Granulowane muły są i mogą być stosowane jako paliwo samodzielne oraz jako składnik mieszanek paliwowych tworzonych w kopalniach, u pośredników (hurtowniach) i u użytkownika tych paliw.

Szczególnie interesujące efekty ekonomiczne można uzyskać zastępując pulpę mułowo-wodną granulatem mułowym. W przypadku analizowanego paleniska fluidalnego uzyskano przyrost jednostkowy wartości opałowej spalanego paliwa o około 2000 kJ/kg. Ponadto, sposób podawania granulatu do paleniska jest o wiele prostszy i mniej energochłonny.

Zasadniczą poprawę, jakości drobnoziarnistych odpadów węglowych można uzyskać przede wszystkim przez obniżenie w nich zawartości składników mineralnych. Najprostszym rozwiązaniem jest selektywne wydzielanie najbogatszych w węgiel cieków wodno-mułowych z obiegu wodno-mułowego. A w przypadku składowisk selektywne wybieranie depozytu.

Najbogatsze koncentraty węglowe z mułów węglowych, z bieżącej produkcji i ze składowisk, uzyskuje się w technologiach mokrych poprzez klasyfikację ziarnową i wydzielanie frakcji ziarnowej powyżej 30–50 μm . W przypadkach zastosowania odwadniających przesiewaczy wibracyjnych z tkaninowymi przeponami filtracyjnymi oraz przesiewaczy łukowych i odśrodkowych sit odwadniających o właściwie dobranych szczelinach, uzyskiwano najbogatsze koncentraty węglowe o wartości opałowej w granicach 16–22 MJ/kg. Dla zwiększenia efektywności procesu rozdziału ziarnowego na sitach, zazwyczaj zawieszina wodno-mułowa jest wcześniej zagęszczana w hydrocyklonach.

W dotychczasowych metodach deponowania zawieszin wodno-mułowych w osadnikach nie wykorzystuje się możliwości grawitacyjnego wzbogacania zawieszin wodno-mułowych w ziarna węgla. Poprzez ukierunkowanie przepływu zawieszin wodno-mułowych w osadnikach można uzyskać obszary bogatych i najbogatszych depozytów w ziarna węgla oraz uzyskać bardziej efektywne oczyszczenie wody nadmiarowej.

Wzbogacanie odpadów poflotacyjnych wymaga innych metod rozdziału koncentratów węglowych od frakcji mineralnej niż przykładowo przytoczonych do wzbogacania mułów węglowych. Większość metod w tym przypadku oparta jest o różnice gęstości ziaren węgla i składników mineralnych oraz ich różnic we właściwościach powierzchniowych poszczególnych ziaren zawartych w drobnoziarnistych odpadach węglowych. Najczęściej instalacje wzbogacania są budowane do przerobu odpadów poflotacyjnych ze składowisk i częściowo z bieżącej produkcji przy zastosowaniu technologii z hydrocyklonami, cieczą ciężką i procesu flotacyjnego. Wymienione technologie umożliwiają uzyskiwanie najbogatszych koncentratów węglowych.

Z dokonanej analizy zagospodarowania drobnoziarnistych odpadów węglowych wynika, że poprzez współdziałanie specjalistów z górnictwa i z energetyki istnieją warunki i możliwości nie tylko zwiększenie ich ilościowego zagospodarowania, ale także zwiększenia efektów ekonomicznych i ekologicznych dla zainteresowanych stron.

Literatura

- BLASCHKE W., 2011 – Problem głębokości wzbogacania węgla kamiennego energetycznego przed jego użytkowaniem w energetyce. XXV Konferencja „Zagadnienia surowców energetycznych i energii gospodarce krajowej. Zakopane, 9–12.10.2011.
- BLASCHKE i in. 2012 – BLASCHKE W., BAIC I., SOBKO W., 2012 – Inwentaryzacja funkcjonujących i zamkniętych osadników mułów węglowych. Czasopismo Techniczne nr 150–153.
- BOROWSKI G., HYCENAR J.J., 2013 – Utilization of Fine Coal Waste as a Fuel Briquettes. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 33, 194–204.
- Fluidized 1997 – bed boiler Beringen – Unit 2. CMI. Seraing Belgique 1997.
- HYCENAR J.J., 2003 – Aktualizacja bilansu jakościowego i ilościowego wybranych mułów węglowych. Ecocoal CC – Haldex. Katowice.
- HYCENAR J.J., 2006 – Paleniska fluidalne przykładem racjonalnego rozwiązywania problemów odpadów. XX Konferencja nt. „Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarce Krajowej”. Zakopane, 08–11 października 2006.
- HYCENAR J.J., BLASCHKE W., 2002 – Ekologiczne, ekonomiczne i techniczne czynniki decydujące o roli węgla w bilansach paliwowo-energetycznych. Polityka Energetyczna t. 5, z. 1.
- HYCENAR i in. 2005 – HYCENAR J.J., FOLTYN R., OLKUSKI T., BLASCHKE A.S., 2005 – Kierunki energetycznego wykorzystania drobnoziarnistych odpadów z wydobycia i wzbogacania węgla kamiennego. VII Konferencja Naukowa „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska” Koszalin–Ustronie Morskie 2005.
- LUTYŃSKI A., SZPYRKA J., 2012 – Badania podatności na wzbogacania mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Czasopismo Techniczne nr 150–153.

- ŁĄCKA-MATUSIEWICZ M., FRAŚ K., 2012 – Wpływ zagospodarowania ubocznych produktów spalania węgla na redukcję emisji CO₂ do środowiska. XIX Konferencja „Popioły z Energetyki”. Sopot, 24–26 października 2012.
- SOBKO W., 2010 – Muły węglowe jako paliwo energetyczne. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy. Materiały powystawowe WIPRO.
- SOBKO i in. 2011 – SOBKO W., BAIC I., BLASCHKE W., 2011 – Depozyty mułów węglowych – inwentaryzacja i identyfikacja ilościowa. Rocznik Ochrony Środowiska t. 13, cz. 2, s. 1405–1415.
- SZYMKIEWICZ i in. 2012 – SZYMKIEWICZ A., HYCINAR J.J., FRAŚ A., PRZYSTAŚ R., JÓZEFIAK T., BAIC I., 2012 – Application of fluidized bed combustion ashes for enhancement of mining waste management. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Workshop Ashes from TPPS. April 19–20, Moscow.
- Założenia (2008) technologiczne i techniczne przystosowania mułów węglowych jako dodatku do miałów węglowych i jako paliwa granulowanego. Ecocoal CC-PKW SA. Katowice.

Jan Józef HYCINAR*, Andrzej FRAŚ**, Rafał PRZYSTAŚ**, Roman FOLTYN***

Current state and perspectives of quality improvement of coal slimes for power generation

Abstract

Previous studies and experiences in applying fine-grained coal wastes as a fuel in boilers and furnaces indicate the possibility of improving their quality and increasing the economic and environmental benefits achieved by the users.

The energetic properties of fine-grained coal wastes result from quality and content of coal macerals, as well as from the water and mineral components content. The easiest way of increasing the calorific value of both coal slimes and flotation tailings is to reduce the water and ash content.

A big influence on the moisture content of the fine-grained coal wastes from running production has a dehydration equipment (filter-presses have proved to be the most effective ones). The level of water accumulation in coal slimes and flotation tailings collected from the settling tanks depends on the time of their disposal and tank structure, as well as on the processing and storage of the mined coal. Coal wastes provided for the power sector are characterized by the moisture content equaled from 14% to 38%.

A significant improvement of the quality of the fine-grained coal wastes was achieved thanks to the granulation process. Obtained granules are resistant to transport and storage, they do not undergo degradation in variable weather conditions and have better energetic properties. By replacing slime and water pulp with coal slime granules an increase in calorific value of combusted fuel of approximately 2000 kJ/kg per unit can be achieved.

An essential improvement of the fine-grained coal wastes quality can be achieved by reduction of the mineral components content. The easiest solution is a selection from the water and slime circuit

those water and slime courses that are richest in coal, whereas in case of collecting the coal wastes from the mine dumps the best way is a selective collection of the disposed material.

The most valuable coal concentrates from the coal slimes are obtained through the selection of the granular fraction exceeding 30–50 μm . In cases of applying the vibrating dehydrating screens with fabric compensators, as well as arch screens and centrifugal dehydrating sieves the coal concentrates of the calorific values equaled 16 to 22 MJ/kg were obtained.

In the previous methods of disposal of the water and slime suspensions in the settling tanks the possibility of the float-sink processing of these suspensions leading to the coal content enrichment has not been used. By directing the flow of water and slime suspensions in the settling tanks it is possible to obtain the areas of the material that are rich and richest in the coal grains, moreover the surplus water decontamination can be ensured.

Flotation tailings enrichment requires applying different methods of separation, most often based on the differences in the specific gravity or/and surface properties of the coal grains and mineral components. The most common are the installations based on the technologies using hydrocyclones, heavy medium and flotation processes that allow to obtain the richest coal concentrates.

The conducted analysis of the fine-grained coal wastes management shows that through the cooperation of the coal industry with the power sector there are conditions and possibilities not only in the field of increasing the managed quantity of coal wastes but also in terms of increasing the economic and environmental benefits for the interested parties.

KEY WORDS: fine-grained coal wastes, coal slimes, flotation tailings, granulated coal slimes, coal slimes and flotation tailings combustion