

Aleksander LUTYŃSKI\*, Jan SZPYRKA\*\*

## Analiza właściwości fizykochemicznych depozytów mułów węglowych na Górnym Śląsku

**STRESZCZENIE.** W opracowaniu przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości fizycznych, chemicznych i energetycznych mułów węgla energetycznego i koksowego z dwudziestu depozytowych stawów osadowych. Zaprezentowane wyniki to oznaczenia składu chemicznego oraz zawartości wilgoci, części lotnych, siarki i wartości opałowej w różnych stanach. Podano też wyniki badań właściwości mułów w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm. Uzyskane w badaniach wyniki oznaczeń wybranych podstawowych parametrów składu chemicznego wykazały, że muły mają skład chemiczny typowy dla odpadów drobnoziarnistych tego rodzaju. Odstępstwem od znanych z literatury wartości jest bardzo niska zawartość  $Al_2O_3$  i  $TiO_2$ . Średnia wartość opałowa w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 9265 do 23 293 kJ/kg. Średnia zawartość popiołu w stanie analitycznym waha się w granicach od 26,98 do 63,96%, średnia zawartość siarki całkowitej w stanie analitycznym waha się w granicach od 0,57 do 2,98%, średnia zawartość wilgoci przemijającej w odpadach mieści się w granicach od 11,69 do 34,48%, a średnia zawartość części lotnych w stanie analitycznym w odpadach zawiera się w granicach od 14,29 do 28,50%.

Analiza granulometryczna mułów węglowych wykazała, że średni wychód klasy ziarnowej poniżej 0,1 mm dla wszystkich osadników wynosi 62,27%. Średnia wartość opałowa w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm jest dość wysoka i wynosi 12 078 kJ/kg. Klasa ta charakteryzuje się wyższą zawartością popiołu i siarki.

Zaprezentowane wyniki wskazują na znaczne zróżnicowanie jakości mułów zdeponowanych w poszczególnych osadnikach.

---

\* Prof. dr hab. inż., \*\* Dr inż. – Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice; e-mail: aleksander.lutyński@polsl.pl

Badania wykonano w ramach projektu rozwojowego Nr N R09 0006 06/2009 pt: „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania”. Projekt ten realizowany jest przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego we współpracy z Katedrą Przeróbki Kopaliny i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej od sierpnia 2009 roku.

SŁOWA KLUCZOWE: właściwości fizykochemiczne, depozyty mułów węglowych

## Wprowadzenie

Przy wydobywaniu węgla kamiennego powstają odpady wydobywcze zarówno na etapie poszukiwania surowca, jego wydobywania, jak i wzbogacania. Wyniki prezentowane w różnych opracowaniach wskazują, że odpady wytworzone w procesie produkcji węgla kamiennego stanowią około 40% wydobywania. Tak wysoki udział odpadów w wydobywanej masie urobku wynika ze specyfiki eksploatowanych złóż, technologii stosowanych w procesach wydobywania surowca, polityki gospodarki złożem, technologii wzbogacania surowca oraz zwiększonych wymagań odbiorców produktu końcowego. W odpadach powstałych przy wydobywaniu węgla kamiennego około 94% stanowią odpady przerobcze, które są materiałem skalnym wydobytym w urobku surowym. Materiał ten w procesach wzbogacania kopaliny, a więc w procesach przerobczych, zostaje wydzielony. W wyniku wzbogacania węgla powstają odpady przerobcze gruboziarniste (200–20 mm), drobnoziarniste (20–0,5 mm) i odpady mułowe oraz poflotacyjne o uziarnieniu < 1 (0,5) mm. Zaznaczyć również należy, że do czasów przemysłowego opanowania flotacji węgla koksowego, a więc do lat trzydziestych ubiegłego wieku, znanymi ówczesnymi metodami przerobczymi nie można było z najdrobniejszych klas ziarnowych urobku usunąć kamienia, który wydatnie pogarsza właściwości koksu. Wobec powyższego ziarna poniżej 1 mm traktowane były jako odpad. Również w przypadku węgla energetycznych ziarna najdrobniejsze uznawano za odpad, ponieważ spalanie ich w kotłach rusztowych było niemożliwe. Z tego względu wymienione odpady deponowano w środowisku, na ogół w stawach osadowych. Niniejszy artykuł dotyczy będzie odpadów węglowych najdrobniejszych, które zdeponowano w okresach wcześniejszych w stawach osadowych. Badania wykonano w ramach projektu rozwojowego Nr N R09 0006 06/2009 pt: „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania” wykonywanego przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego we współpracy z Katedrą Przeróbki Kopaliny i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej. W projekcie zidentyfikowano pięćdziesiąt dziewięć stawów osadowych, z czego dwadzieścia wytypowano do wnikliwych badań jakości zawartych w nich mułów węgla energetycznego i koksowego (Sobko i in. 2011). Z wytypowanych stawów osadowych, zgodnie z przyjętymi założeniami i metodyką, wykonano odwierty i pobrano do badań po kilkadziesiąt prób.

## 1. Badania właściwości mułów węglowych

W pierwszym etapie badań próbek uśrednionych, które powstały z połączenia próbek pobranych ze wszystkich otworów jednego osadnika, wykonano badania składu chemicznego mułów. Oznaczano też zawartość wybranych metali oraz badano ekstrakt wodny uzyskany w próbie wymywalności.

Następnie dla każdej dostarczonej próbki wykonywano podstawową analizę jakościową, wykonując oznaczenia:

- ✧ zawartości wilgoci przemijającej  $W_{ex}$  i higroskopijnej  $W_h$ ,
- ✧ zawartości popiołu w stanie analitycznym  $A^a$ , roboczym  $A^r$  i suchym  $A^d$ ,
- ✧ zawartości siarki w stanie analitycznym  $S_t^a$ , roboczym  $S_t^r$  i suchym  $S_t^d$ ,
- ✧ zawartości części lotnych w stanie analitycznym  $V^a$ , roboczym  $V^r$  i suchym  $V^d$ ,
- ✧ wartości opałowych w stanie analitycznym  $Q^a$ , roboczym  $Q^r$  i suchym  $Q^d$ .

Po przeprowadzeniu analiz jakościowych mułów węglowych, dla prób uśrednionych z wybranych osadników, wykonano analizy granulometryczne i densymetryczne. W analizach tych, dla każdej klasy ziarnowej i frakcji gęstościowej, oznaczano:

- ✧ wychody,
- ✧ wilgoć higroskopijną  $W_h$ ,
- ✧ zawartość popiołu w stanie analitycznym  $A^a$  i suchym  $A^d$ ,
- ✧ zawartość siarki w stanie analitycznym  $S_t^a$  i suchym  $S_t^d$ ,
- ✧ zawartość części lotnych w stanie analitycznym  $V^a$  i suchym  $V^d$ ,
- ✧ wartość opałową w stanie analitycznym  $Q^a$  i suchym  $Q^d$ .

Oznaczenia wykonane zostały zgodnie z obowiązującymi normami oraz przyjętymi procedurami laboratoriów Katedry Przeróbki Kopalini i Utylizacji Odpadów (Szpyrka, Lutyński 2012; Witkowska-Kita i in. 2012).

## 2. Wyniki badań właściwości mułów węglowych

Przykładowe wyniki badań składu chemicznego pokazano w tabeli 1. Pozostałe wyniki badań analizy jakościowej, które przeprowadzono na pozyskanych próbkach mułów węglowych, przedstawiono w tabelach 2 do 5.

W tabelach 2, 3 i 4 przedstawione zostały wyniki zbiorcze własności mułów jako średnie statystyczne i odchylenia standardowe tych średnich dla poszczególnych dwudziestu osadników mułowych. W tabeli 2 zaprezentowano wyniki zawartości wilgoci przemijającej oraz higroskopijnej mułów, w tabeli 3 parametry jakościowe mułów w stanie analitycznym, a w tabeli 4 parametry jakościowe mułów w stanie roboczym.

Przykładowe wyniki analizy granulometrycznej wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych klasach ziarnowych, dla dwóch osadników, pokazano w tabelach 5 i 6. Natomiast w tabelach 7 i 8 pokazano przykładowe wyniki analizy densymetrycznej

TABELA 1. Wyniki oznaczeń wybranych parametrów podstawowych składu chemicznego mulów zdeponowanych w osadnikach ziemnych

TABLE 1. Results of basic chemical composition analysis of coal slurries deposited in impoundments

Nr osadnika	Badany parametr [%]									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	C	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
K13	49,26	5,32	0,02	0,46	0,02	0,84	1,86	0,32	22,50	0,001
K14	49,23	5,91	0,12	1,29	0,03	0,53	1,86	0,32	22,50	0,001
K12	54,16	9,09	0,04	1,00	0,03	0,72	2,79	1,34	19,00	0,008
K18/1	55,69	9,28	0,02	0,84	0,03	0,77	2,98	0,79	15,53	0,003
K18/2	40,79	7,22	0,07	0,81	0,01	0,88	2,52	1,31	26,50	0,015
K11/1	28,88	7,70	0,17	0,95	0,03	0,97	2,66	0,90	25,45	0,006
K3/1	33,16	5,69	0,026	1,03	0,03	0,99	2,57	0,81	23,05	0,007
K3/2	42,49	6,32	0,03	0,73	0,02	1,20	1,35	0,81	11,15	0,001
K2	45,16	6,89	0,03	0,70	0,01	0,93	1,23	0,81	11,58	0,002
K17	53,48	7,26	0,04	0,64	0,02	0,44	1,93	0,67	31,6	0,001
K1	51,23	6,74	0,03	0,71	0,02	0,35	1,93	0,66	30,25	0,002
K4/1	58,96	6,24	0,04	0,68	0,02	0,40	1,35	0,66	31,80	0,001
K4/2	54,60	5,66	0,02	1,42	0,09	0,49	1,34	0,44	26,05	0,002
K4/3	63,96	5,61	0,01	1,13	0,12	0,48	2,77	0,62	17,54	0,001
K5/1	54,66	7,10	0,01	1,46	0,12	0,90	1,83	0,48	21,50	0,003
K5/2	43,05	9,22	0,02	1,77	0,03	0,56	1,23	0,40	25,00	0,003
K5/3	51,46	6,68	0,02	0,81	0,10	0,99	1,49	0,48	25,04	0,001
K5/4	42,77	5,57	0,02	1,43	0,14	1,12	1,35	0,41	23,25	0,003
K11/2	42,57	4,80	0,02	1,46	0,13	1,20	1,19	0,39	30,05	0,001
K6	33,57	6,38	0,02	1,61	0,11	0,74	1,23	0,41	25,65	0,002
średnio	47,46	6,73	0,04	1,05	0,06	0,77	1,87	0,65	23,25	0,04
od. stand.	9,11	1,29	0,04	0,38	0,05	0,27	0,82	0,29	5,94	0,01

Źródło: Witkowska-Kita i in. 2012.

TABELA 2. Zawartość wilgoci przemijającej i higroskopijnej w badanych mułach węglowych poszczególnych osadników

TABLE 2. Transient moisture content and hygroscopic moisture content of coal slurries at impoundments

Nr osadnika	Wilgoć przemijająca [%]	Odchylenie standardowe wilgoć przem. [%]	Wilgoć higroskopijna [%]	Odchylenie standardowe wilgoć higr. [%]
K13	24,75	3,94	7,00	0,29
K14	27,69	1,32	7,92	0,40
K12	23,05	1,79	5,25	0,73
K18/1	20,69	1,99	3,73	0,97
K18/2	19,47	2,42	4,66	2,40
K11/1	22,61	4,86	5,71	1,21
K3/1	27,25	4,19	2,15	0,40
K3/2	11,69	6,79	1,77	1,60
K2	17,66	3,58	1,27	0,19
K17	18,57	3,66	1,69	0,22
K1	18,77	2,46	1,58	0,11
K4/1	17,28	4,72	1,66	0,11
K4/2	25,01	0,92	1,14	0,12
K4/3	24,53	2,57	2,23	0,22
K5/1	34,48	3,85	3,17	0,77
K5/2	22,45	3,98	1,23	0,31
K5/3	24,67	1,58	1,29	0,07
K5/4	25,45	1,36	1,04	0,08
K11/2	24,63	1,07	1,20	0,12
K6	23,67	1,60	1,25	0,17
średnio	22,70	–	2,85	–
od. stand.	4,92	–	2,13	–

dla tych samych dwóch osadników w klasie ziarnowej +0,1 mm. Przeprowadzone analizy próbek mułów wykazały, potwierdzając wcześniejsze wyniki tego typu badań (Blaschke 2005; Grudziński 2005), że największy wychód ma klasa ziarnowa poniżej 0,1 mm. Dla badanych mułów z poszczególnych osadników stwierdzono, że udział klasy ziarnowej

TABELA 3. Wyniki zbiorcze analizy właściwości odpadów w stanie analitycznym dla poszczególnych osadników

TABLE 3. Summary of coal slurries properties in analytical state at impoundments

Nr osadnika	Zawartość popiołu [%]	Odchylenie standard. zawartość popiołu [%]	Zawartość siarki całkowitej [%]	Odchylenie stand. zaw. siarki całkowitej [%]	Zawartość części lotnych [%]	Odchylenie stand. zaw. części lotnych [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Odchylenie stand. wartości opałowej [kJ/kg]
K13	27,47	2,99	1,90	0,84	28,50	4,32	15 096	1 509
K14	32,98	2,58	0,72	0,03	23,85	0,41	15 646	829
K12	41,36	1,41	0,86	0,10	21,31	1,25	14 813	581
K18/1	63,96	9,06	0,57	0,16	14,38	2,55	9 325	2 052
K18/2	63,04	17,76	0,64	0,25	14,39	5,47	10 073	2 746
K11/1	49,48	5,39	0,88	0,34	18,50	1,76	13 297	2 413
K3/1	60,43	10,56	0,70	0,20	16,41	3,13	9 265	3 498
K3/2	45,90	12,59	2,98	1,27	18,01	2,23	14 877	5 976
K2	58,34	8,24	2,26	0,67	14,29	1,17	12 304	2 803
K17	28,41	4,23	0,95	0,11	23,47	1,33	22 807	1 538
K1	26,98	3,46	0,95	0,15	23,77	0,75	23 293	1 444
K4/1	27,89	0,32	0,97	0,13	23,79	0,71	22 941	590
K4/2	47,22	2,55	0,59	0,11	18,89	0,29	15 813	937
K4/3	31,84	4,51	0,79	0,13	23,85	1,25	20 828	2 065
K5/1	53,79	5,17	1,21	0,19	16,99	1,52	12 051	1 504
K5/2	42,86	13,10	1,09	0,38	16,89	2,30	17 802	5 351
K5/3	37,59	1,44	0,94	0,08	20,64	0,87	19 402	646
K5/4	35,22	1,28	0,97	0,02	21,54	0,40	20 351	844
K11/2	37,33	1,29	0,92	0,06	20,72	0,54	19 672	767
K6	38,83	5,88	0,94	0,15	20,16	2,12	18 887	1 834
średnio	42,55	–	1,09	–	20,02	–	16 427	–
od. stand.	12,28	–	0,60	–	3,85	–	4 520	–

TABELA 4. Wyniki zbiorcze analizy właściwości odpadów w stanie roboczym dla poszczególnych osadników

TABLE 4. Summary of coal slurries properties on “as received” basis at impoundments

Nr osadnika	Zawartość popiołu [%]	Odchylenie standard. zawartość popiołu [%]	Zawartość siarki całkowitej [%]	Odchylenie stand. zaw. siarki całkowitej [%]	Zawartość części lotnych [%]	Odchylenie stand. zaw. części lotnych [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Odchylenie stand. wartości opałowej [kJ/kg]
K13	24,31	3,37	1,58	0,73	23,49	4,25	12 380	674
K14	26,46	1,94	0,58	0,01	19,14	0,61	12 552	607
K12	34,01	1,69	0,70	0,07	17,53	1,33	12 179	568
K18/1	53,11	7,60	0,48	0,14	11,95	2,14	7 737	1 673
K18/2	53,68	15,08	0,55	0,22	12,26	4,70	8 587	2 369
K11/1	40,99	3,88	0,74	0,31	15,40	1,94	11 087	2 324
K3/1	45,46	10,20	0,52	0,13	12,24	1,73	6 873	2 270
K3/2	41,91	13,53	2,71	1,26	16,22	2,59	13 115	4 656
K2	49,00	8,53	1,91	0,62	11,92	0,71	10 213	1 975
K17	23,55	3,20	0,79	0,10	22,47	1,33	18 979	1 733
K1	22,36	3,05	0,79	0,13	19,69	0,87	19 285	1 290
K4/1	23,55	1,62	0,81	0,06	20,05	0,70	19 353	1 062
K4/2	35,95	1,95	0,45	0,09	14,38	0,30	12 038	725
K4/3	24,81	4,26	0,61	0,12	18,51	0,78	16 155	1 394
K5/1	37,00	4,78	0,83	0,16	11,65	1,04	8 256	967
K5/2	33,62	11,40	0,86	0,35	13,05	1,58	13 649	3 628
K5/3	28,79	1,08	0,72	0,06	15,82	0,89	14 869	681
K5/4	26,62	0,89	0,73	0,02	16,28	0,57	15 385	764
K11/2	28,59	1,25	0,70	0,04	15,87	0,47	15 057	464
K6	30,18	5,11	0,73	0,12	15,62	1,56	14 634	1 269
średnio	34,19	–	0,88	–	16,18	–	13 119	–
od. stand.	10,12	–	0,55	–	3,54	–	3 718	–

TABELA 5. Przykład wyników analizy granulometrycznej wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych klasach ziarnowych dla próbek mulów pochodzących z osadnika K13

TABLE 5. Example of separation analysis combined with physicochemical properties in particular grain sizes fractions for coal slurry samples from impoundment K13

Klasa ziarnowa [mm]	Wychód klasy [%]	Wilgoć higr. [%]	Zawartość popiołu [%]		Zawartość siarki całkowitej [%]		Zawartość części lotnych [%]		Wartość opałowa [kJ/kg]	
	□	W <sub>h</sub>	A <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>a</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>a</sup>	V <sup>d</sup>	Q <sup>a</sup>	Q <sup>d</sup>
>2,0	0,38	7,32	14,35	15,48	1,85	2,00	34,67	37,41	21 087	22 752
2,0–1,0	2,18	7,05	10,64	11,45	1,08	1,16	36,16	38,90	21 587	23 224
1,0–0,5	26,04	7,19	24,55	26,45	1,24	1,34	31,59	34,04	19 188	20 674
0,5–0,3	26,30	6,67	30,22	32,38	1,44	1,54	29,32	31,42	17 965	19 249
0,3–0,2	4,89	6,10	30,98	32,99	1,87	1,99	28,02	29,84	17 601	18 745
0,2–0,1	12,31	7,20	24,04	25,91	1,26	1,36	31,80	34,26	19 397	20 902
<0,1	27,90	4,30	53,00	55,38	1,21	1,26	17,21	17,98	12 753	13 326
suma/średnia	100,00	6,19	33,89	35,97	1,32	1,40	26,95	28,81	17 079	18 247

TABELA 6. Przykład wyników analizy granulometrycznej wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych klasach ziarnowych dla próbek mulów pochodzących z osadnika K12

TABLE 6. Example of separation analysis combined with physicochemical properties in particular grain size fractions for coal slurry samples from impoundment K12

Klasa ziarnowa [mm]	Wychód klasy [%]	Wilgoć higr. [%]	Zawartość popiołu [%]		Zawartość siarki całkowitej [%]		Zawartość części lotnych [%]		Wartość opałowa [kJ/kg]	
	□	W <sub>h</sub>	A <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>a</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>a</sup>	V <sup>d</sup>	Q <sup>a</sup>	Q <sup>d</sup>
>2,0	1,77	4,07	46,50	48,47	0,51	0,53	15,93	16,61	13 324	13 889
2,0–1,0	0,52	4,92	39,11	41,13	1,11	1,17	16,89	17,77	14 704	15 465
1,0–0,5	8,10	5,98	16,91	17,99	0,91	0,97	21,55	22,93	22 854	24 307
0,5–0,3	6,06	6,03	12,24	13,03	0,80	0,85	23,35	24,85	23 858	25 389
0,3–0,2	5,21	6,01	15,11	16,08	1,09	1,16	22,18	23,60	23 434	24 932
0,2–0,1	8,19	5,80	20,78	22,06	1,78	1,89	20,41	21,67	20 407	21 664
<0,1	70,16	4,61	53,02	55,58	0,86	0,90	15,20	15,94	11 224	11 766
suma/średnia	100,00	4,97	42,82	44,96	0,94	0,99	17,02	17,93	14 374	15 160



TABELA 7. Przykład wyników analizy densymetrycznej wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej +0,1 mm dla próbek mułůw pochodzących z osadnika K13

TABLE 7. Example of separation analysis combined with physicochemical properties in grain size fractions +0.1 mm for coal slurry samples from impoundment K13

Gęstość frakcji [g/cm <sup>3</sup> ]	Wychód frakcji [%]	Wilgoć higr. [%]	Zawartość popiołu [%]		Zawartość siarki całkowitej [%]		Zawartość części lotnych [%]		Wartość opałowa [kJ/kg]	
	□	W <sub>h</sub>	A <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>a</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>a</sup>	V <sup>d</sup>	Q <sup>a</sup>	Q <sup>d</sup>
< 1,3	1,96	5,90	2,64	2,81	1,14	1,22	37,54	39,89	23 877	25 374
1,3–1,6	73,17	6,02	9,50	10,11	1,22	1,30	29,30	31,18	22 652	24 103
1,6–1,8	1,99	5,30	33,20	35,06	1,31	1,39	30,68	32,40	13 468	14 222
> 1,8	22,88	0,26	85,08	85,30	1,39	1,40	1,85	1,85	5 137	5 150
suma/średnia	100,00	4,69	27,13	27,66	1,26	1,32	23,21	24,66	18 486	19 595

TABELA 8. Przykład wyników analizy densymetrycznej wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej + 0,1 mm dla próbek mułůw pochodzących z osadnika K12

TABLE 8. Example of separation analysis combined with physicochemical properties in grain size fractions +0.1 mm for coal slurry samples from impoundment K12

Gęstość frakcji [g/cm <sup>3</sup> ]	Wychód frakcji [%]	Wilgoć higr. [%]	Zawartość popiołu [%]		Zawartość siarki całkowitej [%]		Zawartość części lotnych [%]		Wartość opałowa [kJ/kg]	
	□	W <sub>h</sub>	A <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>a</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>a</sup>	V <sup>d</sup>	Q <sup>a</sup>	Q <sup>d</sup>
< 1,3	12,39	4,23	2,50	2,61	0,80	0,84	34,37	35,89	27 987	29 223
1,3–1,6	64,91	4,87	9,26	9,73	1,06	1,11	24,72	25,98	25 720	27 036
1,6–1,8	2,23	3,89	37,02	38,52	1,16	1,20	18,53	19,28	16 395	17 059
> 1,8	20,47	1,18	69,46	70,29	1,46	1,48	10,53	10,66	5 771	5 840
suma/średnia	100,00	4,01	21,37	21,89	1,11	1,15	22,87	23,92	21 709	22 745

poniżej 0,1 mm wynosi średnio 62,27% i waha się dla poszczególnych osadników w granicach od 27,90 do 78,93%, przy odchyleniu standardowym 14,26%. Tylko w trzech osadnikach zanotowano udział tej klasy ziarnowej poniżej 50%. Z tego względu dokonano jej głębszej analizy. Wyniki zaprezentowano w tabeli 9. Wyniki tej analizy są istotne z uwagi

TABELA 9. Wyniki analizy właściwości fizykochemicznych odpadów we wszystkich osadnikach w klasie ziarnowej <0,1 mm w stanie analitycznym i suchym

TABLE 9. Results of physicochemical analysis of coal slurries for grain size fraction <0.1 mm in analytical and dry state

Nr osadnika	Wychód klasy <0,1 mm [%]	Wilgoć higr. [%]	Zawartość popiołu [%]		Zawartość siarki całkowitej [%]		Zawartość części lotnych [%]		Wartość opałowa [kJ/kg]	
	□	W <sub>h</sub>	A <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>a</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>a</sup>	V <sup>d</sup>	Q <sup>a</sup>	Q <sup>d</sup>
K13	27,90	4,30	53,00	55,38	1,21	1,26	17,21	17,98	12 753	13 326
K14	60,79	3,97	55,64	57,94	0,66	0,69	12,66	13,19	10 185	10 606
K12	70,16	4,61	53,02	55,58	0,86	0,90	15,20	15,94	11 224	11 766
K18/1	69,33	2,99	73,49	75,75	0,44	0,45	10,60	10,93	1 684	1 736
K18/2	54,75	2,13	77,23	78,91	0,47	0,48	7,92	8,09	6 195	6 330
K11/1	67,87	4,07	58,94	61,44	0,74	0,77	16,25	16,94	10 680	11 133
K3/1	28,43	1,51	57,73	58,62	4,15	4,21	15,62	15,86	8 914	9 051
K3/2	48,36	1,38	67,20	68,14	2,49	2,52	13,56	13,75	6 791	6 886
K2	57,23	2,56	52,49	53,87	0,67	0,69	16,21	16,63	12 386	12 712
K17	77,58	2,87	64,43	66,33	1,29	1,33	14,37	14,80	8 540	8 792
K1	65,75	1,57	49,91	50,71	1,36	1,38	16,15	16,40	15 272	15 515
K4/1	67,76	2,07	37,03	37,81	0,21	0,21	22,27	22,74	18 704	19 099
K4/2	54,80	1,92	41,19	42,00	0,38	0,39	20,02	20,41	16 406	16 727
K4/3	57,57	1,83	39,75	40,49	1,36	1,39	19,91	20,29	17 271	17 593
K5/1	75,76	1,64	45,53	46,29	0,96	0,98	17,83	18,13	15 682	15 943
K5/2	72,87	2,03	44,20	45,12	1,00	1,02	18,00	18,37	15 464	15 784
K5/3	68,53	1,24	42,58	43,11	1,05	1,06	17,98	18,21	16 055	16 257
K5/4	68,12	2,08	43,01	43,92	1,04	1,06	18,42	18,81	18 118	18 503
K11/2	78,93	2,57	63,13	64,80	0,69	0,71	14,30	14,68	7 388	7 583
K6	72,97	1,33	57,24	58,01	0,61	0,62	16,36	16,58	11 855	12 015
średnio	62,27	2,43	53,84	55,21	1,09	1,11	16,04	16,44	12 078	12 368
od. stand.	14,26	1,05	11,31	11,71	0,88	0,89	3,30	3,34	4 580	4 658

na ewentualne możliwości wzbogacania mułów w celu pozyskania wysoko jakościowych komponentów mieszanek węglowych.

## Podsumowanie

Analizując wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach właściwości depozytowych mułów węglowych stwierdzić można, że:

- ✧ uzyskane w badaniach wyniki oznaczeń wybranych podstawowych parametrów składu chemicznego wykazały, że muły depozytowe posiadają skład chemiczny typowy dla odpadów drobnoziarnistych tego rodzaju (Blaschke 2005; Grudziński 2005; Fečko i in. 2011; Baic i in. 2011). Odstępstwem od znanych z literatury wartości jest bardzo niska zawartość  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{TiO}_2$ ,
- ✧ średnia wartość opałowa w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 9265 do 23 293 kJ/kg, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 581 do 5976 kJ/kg,
- ✧ średnia zawartość popiołu w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 26,98 do 63,96%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 1,28 do 17,76%,
- ✧ średnia zawartość siarki całkowitej w stanie analitycznym w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 0,57 do 2,98%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 0,03 do 1,27%,
- ✧ średnia zawartość wilgoci przemijającej w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 11,69 do 34,48%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 1,07 do 4,89%,
- ✧ średnia zawartość wilgoci higroskopijnej w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 1,04 do 7,92%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 0,07 do 2,40%,
- ✧ średnia zawartość części lotnych w stanie analitycznym w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 14,29 do 28,50%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 0,40 do 5,47%,
- ✧ analiza granulometryczna mułów węglowych wykazała, że najwięcej ziarn znajduje się w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm. Średnio udział w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm wynosi dla wszystkich osadników 62,27% i waha się dla poszczególnych osadników w granicach 27,90 do 78,93%, przy odchyleniu standardowym 14,26%, a tylko w trzech osadnikach zanotowano udział w tej klasie ziarnowej poniżej 50%,
- ✧ średnia wartość opałowa w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm jest dość wysoka, wynosi 12 078 kJ/kg i waha się w granicach od 1684 do 18 704 kJ/kg z odchyleniem standardowym 4 580 kJ/kg,
- ✧ klasa ziarnowa poniżej 0,1 mm, charakteryzuje się wyższą zawartością popiołu i siarki.

Zaprezentowane wyniki wskazują na znaczne zróżnicowanie jakości mułów zdeponowanych w poszczególnych osadnikach, co jest oczywiste z uwagi na zróżnicowane warunki górniczo-geologiczne poszczególnych kopalń, które wykorzystywały te osadniki. W poszczególnych osadnikach wykazane różnice jakości mułów są na ogół mniejsze, na co wskazują odchylenia standardowe poszczególnych parametrów.

Uzyskane wyniki jakościowe i ilościowe mułów depozytowych wskazują na istnienie znacznego potencjału energetycznego, który przy odpowiednich technologiach zagospodarowania może zostać efektywnie wykorzystany (Hycnar, Bugajczyk 2004; Hycnar 2006).

## Literatura

- BAIC i in. 2011 – BAIC I., BLASCHKE W., GRUDZIŃSKI Z., 2011 – Wstępne badania nad możliwością przewidywania parametrów jakościowych odpadów powstających w procesach wzbogacania węgla kamiennych. *Rocznik Ochrony Środowiska*, t. XIII, s. 1373–1384.
- BLASCHKE W., 2005 – Określenie wartości mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych. *Rocznik Ochrony Środowiska*, t. III, s. 23/1–13.
- FEČKO i in. 2011 – FEČKO P., HLAVATÁ M., PODEŠVOVÁ M., MUCHA N., KIRÁLY A., 2011 – New flotation agents on a slurry sample from Darkov Mine. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, No 1(27), s. 27–38.
- GRUDZIŃSKI Z., 2005 – Analiza porównawcza jakości mułów węgla kamiennego pochodzących z bieżącej produkcji i zdeponowanych w osadnikach ziemnych. *Rocznik Ochrony Środowiska*, t. III, s. 49/1–9.
- HYCENAR J.J., BUGAJCZYK M., 2004 – Kierunki racjonalnego zagospodarowania drobnoziarnistych odpadów węglowych. *Polityka Energetyczna* t. 7, z. spec.
- HYCENAR J.J., 2006 – Paleniska fluidalne przykładem racjonalnego rozwiązywania problemu odpadów. *Polityka Energetyczna* t. 9, z. spec.
- SOBKO i in. 2011 – SOBKO W., BAIC I., BLASCHKE W., 2011 – Depozyty mułów węglowych – inwentaryzacja i identyfikacja ilościowa. *Rocznik Ochrony Środowiska*, t. XIII, s. 1405–1416.
- SZPYRKA J., LUTYŃSKI A., 2012 – Właściwości fizyko-chemiczne mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Rozdział Monografii: *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo – jakość – efektywność*. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice. ISBN 978-83-607008-59-0. s. 245–258.
- WITKOWSKA-KITA i in. 2012 – WITKOWSKA-KITA B., BAIC I., LUTYŃSKI A., SUPONIK T., 2012 – Identyfikacja depozytów mułów węglowych – właściwości chemiczne, Baza Danych (DMW). Rozdział Monografii: *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo – jakość – efektywność*. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice. ISBN 978-83-607008-59-0. s. 231–244.

Aleksander LUTYŃSKI, Jan SZPYRKA

## Investigation of the physicochemical properties of coal slurries

### Abstract

This paper presents the results of investigation into the physical, chemical, and energetic properties of steam and coking coal slurries deposited in twenty impoundments. The research includes a determination of chemical composition, moisture content, volatile matter, sulfur, and calorific value at various states. Additionally, the properties of coal slurry of a particle size below 0.1 mm are presented. The determination of the chemical composition revealed that it is typical for such coal tailings with the exception of very low  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  content. The average calorific value in the analytical state of particular impoundments varies from 9,265 to 23,293 kJ/kg. The average ash content in the analytical state at impoundments varies from 26.98% to 63.96%, the average sulfur content in the analytical state varies from 0.57 to 2.98%, the average transient moisture content varies from 11.69 to 34.48%, whereas volatile matter in the analytical state ranges from 14.29 to 28.50%.

The average content of the fraction below 0.1 mm for all impoundments is 62.27%. The average calorific value for the fraction below 0.1 mm is relatively high at 12,078 kJ/kg; nevertheless, this fraction has a higher ash and sulfur content.

The results presented here indicate considerable variations in the quality of coal slurries deposited in different impoundments which is obvious when taking into account the differing geology of the mines' coal deposits. At individual impoundments, these differences are smaller as demonstrated by the lower variation in the standard deviation.

The research was performed under the development project Nr N R09 0006 06/2009 titled: "Identification of energetic potential of coal slurries in the national fuel balance and technological development strategy of their usage". The project has been implemented by the Institute of Mechanized Construction & Rock Mining in Warsaw in cooperation with the Department of Mineral Processing and Waste Utilization of the Silesian University of Technology since 2009.

KEY WORDS: physicochemical properties, coal slurry impoundments