



Analiza parametrów chemicznych, fizycznych i energetycznych depozytów mułów węglowych zinwentaryzowanych na terenie woj. śląskiego

Ireneusz Baic

*Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego
Oddział Zamiejscowy IMBiGS, Katowice*

1. Wstęp

Wydobywany z dołu kopalń urobek węglowy stanowi mieszaninę ziarn węglowo-odpadowych, która nie posiada praktycznie na rynku zbytu żadnej wartości użytkowej. W celu uzyskania węglowego produktu handlowego urobek poddawany jest procesom wzbogacania w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. W warunkach przemysłowych proces ten opiera się na wykorzystaniu grawitacyjnych metod wzbogacania w ośrodku wodnym bądź w cieczy ciężkiej magnetytowej. Przyjęte od lat i modyfikowane metody produkcji węgla handlowego powodują powstawanie znacznej ilości ubocznej produkcji w postaci mułów węglowych.

Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego Oddział Zamiejscowy Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego wspólnie z Katedrą Przeróbki Kopalni i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej w latach 2009–2012 realizowały projekt badawczo-rozwojowy Nr N R09 0006 06/2009 pt. „Identyfikacja depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania”.

Głównym celem zrealizowanego projektu było określenie możliwości włączenia wprost lub poprzez zastosowanie odpowiednich proce-

sów wzbogacania do krajowego bilansu paliwowego istniejących depozytów mułów węglowych.

W ramach ww. projektu w pierwszej kolejności przeprowadzono inwentaryzację istniejących obiektów wraz z przeprowadzeniem identyfikacji ilościowej i jakościowej. Następnie opracowano model matematyczny pozwalający na obliczenie potencjału energetycznego każdego badanego obiektu, co umożliwi w przyszłości wskazanie potencjalnych odbiorców wraz z określeniem ilości możliwych dostaw. W oparciu o dokonaną ocenę oddziaływania zinwentaryzowanych depozytów mułów węglowych na różne komponenty środowiska oraz opracowany punktowy system oceny, ustalona została lista rankingowa obiektów stanowiących potencjalnie największe zagrożenie dla środowiska uwzględniająca: stan aktualny, fazę ewentualnej eksploatacji oraz stan po jej zakończeniu. Określone zostały także kierunki, zakres oraz wytyczne projektowe przyszłej rekultywacji terenów poeksploatacyjnych. Dla zinwentaryzowanych oraz zidentyfikowanych jakościowo i ilościowo depozytów mułów węglowych opracowano technologie ich wzbogacania na pełnowartościowe paliwo dla energetyki zawodowej, uwzględniające zróżnicowaną strukturę fizyczną i parametry chemiczne. Przedstawiono również kierunki potencjalnego gospodarczego wykorzystania odpadów powstających w wyniku wzbogacania depozytów mułów węglowych.

Końcowy etap projektu stanowiły propozycje rozwiązań technicznych, organizacyjnych i prawnych – wraz ze strategią rozwoju technologicznego – zmierzających do wykorzystania zinwentaryzowanych w sposób ilościowy i jakościowy depozytów mułów węglowych w krajowym przemyśle energetycznym [1, 2].

W przedmiotowym artykule zaprezentowano wyniki przeprowadzonej analizy ilościowej i jakościowej w zakresie parametrów chemicznych, fizycznych i energetycznych zinwentaryzowanych na terenie województwa śląskiego depozytów mułów węglowych.

2. Identyfikacja depozytów mułów węglowych na terenie GZW

W celu identyfikacji istniejących depozytów mułów węglowych analizie zostały poddane informacje zawarte w funkcjonujących bazach danych, takich jak: Rejestr Obszarów Górniczych (ROG), Baza Danych –

MIDAS, Regionalny System Informacji Przestrzennej dla województwa śląskiego (RSIP) oraz inne dokumenty planistyczne, tj. sprawozdania z realizacji planów gospodarki odpadami, programy ochrony środowiska, przeglądy ekologiczne i in. Stwierdzono, że zakres zawartych w ww. bazach i dokumentach planistycznych informacji jest zbyt ogólnikowy i może stanowić jedynie wskazówkę co do informacji nt. właściciela i lokalizacji danego depozytu mułów węglowych. Ponadto stwierdzono, że zawarte w bazach danych informacje odnośnie ilości zdeponowanych odpadów nie są na bieżąco aktualizowane, co w obecnej sytuacji rynkowej (zmiana właściciela, eksploatacja, działania rekultywacyjne) uniemożliwia ich wykorzystanie [3, 4].

Z tego też względu przeprowadzono ankietyzację wśród wybranych podmiotów gospodarczych wytwarzających obecnie muły węglowe, władających terenami, na których zlokalizowane są depozyty mułów węglowych oraz instytucji, w gestii których mogą znajdować się dokumenty archiwalne. Efektem przeprowadzonej ankietyzacji i wielokrotnych wizyt w terenie było zlokalizowanie 62 osadników, w których zdeponowanych zostało prawie 16,5 mln Mg mułów węglowych.

Zestawienie zinwentaryzowanych depozytów mułów węglowych (bez podania informacji o ich lokalizacji oraz użytkownika z uwagi na podpisane z właścicielami obiektów klauzule poufności danych) przedstawiono w tabeli 1 [3, 4].

Tabela 1. Zestawienie zinwentaryzowanych depozytów mułów węglowych
Table 1. Summary of inventoried deposits of coal slurries

Lp.	Numer depozytu	Ilość obiektów [szt.]	Ilość zdeponowanych mułów węglowych [Mg]
1.	K18	1	200 000
2.	K4/1-19	19	1 102 000
3.	K11/1-3	3	1 521 000
4.	K12/1-5	5	65 000
5.	K1/1-2	2	228 000
6.	K17	1	130 000
7.	K2/1-2	2	460 000
8.	K3/1-2	2	1 293 000
9.	K6	1	163 000

Tabela 1. cd.
Table 1. cont.

Lp.	Numer depozytu	Ilość obiektów [szt.]	Ilość zdeponowanych mułów węglowych [Mg]
10.	K7	1	644 000
11.	K5/1-4	4	620 000
12.	K9/1-2	2	560 000
13.	K10	1	100 000
14.	K8	1	150 000
15.	K13	1	670 000
16.	K14	1	221 000
17.	K15	1	42 250
18.	K16	1	25 000
19.	K19/1-3	3	580 000
20.	K20	1	800 000
21.	K21	1	40 000
22.	K22/1-2	2	1 261 600
23.	K23	1	1 365 000
24.	K24/1-2	2	100 000
25.	W1/1	1	1 629 000
26.	W2/2-3	2	2 498 000
RAZEM		62	16 467 850

Z uwagi na fakt, że część terenów, na których deponowane były muły węglowe, w latach 90-tych ubiegłego wieku uległa przeobrażeniom antropogenicznym na tereny rekreacyjne, tereny przemysłowe, zbiorniki wodne itp., opracowano formułę matematyczną umożliwiającą szacunkowe określenie ilości mułów węglowych wytwarzanych w latach 1945–1989. Przeprowadzona analiza szacunkowa przy wykorzystaniu opracowanej formuły matematycznej wykazała, że w środowisku od 1945 r. zdeponowanych zostało blisko 120 mln Mg mułów węglowych, czyli 8-krotnie więcej niż zostało zinwentaryzowane z natury i wykazywane jest obecnie w oficjalnych statystykach.

3. Parametry chemiczne depozytów mułów węglowych

W celu opracowania najbardziej efektywnych ekonomicznie technologii wzbogacania przeprowadzone zostały badania podstawowych

parametrów chemicznych próbek mułów węglowych pochodzących ze zinwentaryzowanych depozytów. W tym celu opracowano algorytm badawczy oraz określono zakres niezbędnych do oznaczenia parametrów. W pierwszym rzędzie analizowano skład chemiczny próbek mułów węglowych oznaczając w nich zawartość: SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , S_c , C , P_2O_5 w celu dokonania ich identyfikacji jakościowej [5].

Graniczne wyniki badań składu chemicznego dla badanych próbek mułów węglowych pochodzących ze wszystkich badanych depozytów przedstawiono w tabeli 2. W tabeli tej podano również metodyką badawczą zastosowaną do badania składu chemicznego próbek mułów węglowych.

Tabela 2. Wyniki badań składu chemicznego próbek mułów węglowych
Table 2. The results testing the chemical composition of samples of coal slurries

Lp.	Składnik	Zawartości graniczne [%]	Metoda wg Polskiej Normy
1.	SiO_2	27,81–63,96	PN-G-04528/03:1977
2.	Al_2O_3	4,83–10,26	PN-G-04528/04:1977
3.	TiO_2	0,01–0,30	PN-G-04528/08:1978
4.	Fe_2O_3	0,46–1,78	PN-G-04528/04:1977
5.	CaO	0,01–0,14	PN-G-04528/06:1977
6.	MgO	0,35–1,20	PN-G-04528/07:1977
7.	K_2O	1,19–2,98	PN-G-04528/10:1998
8.	Na_2O	0,32–1,33	
9.	S_c	0,57–2,98	PN-90/G04514/16
10.	C	11,15–31,80	PN-B-04481:1988
11.	P_2O_5	0,001–0,015	PN-G-04528/11:1979

Na podstawie powyższych badań stwierdzono, że głównymi składnikami próbek mułów węglowych są: krzemionka (27,81–63,96%) oraz węgiel (11,15–31,80%). Jest to skład chemiczny typowy dla odpadów drobnoziarnistych tego rodzaju. Odstępstwem jest bardzo niska zawartość Al_2O_3 i TiO_2 . W ramach analizy bezpośredniej próbki mułów zostały poddane badaniom na obecność następujących metali: arsen, bar, chrom, cyna, cynk, glin, kadm, kobalt, magnez, mangan, miedź, molibden, nikiel, ołów, rtęć, wanad i wapń. Oznaczenia zawartości tych metali zostały wykonane metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną.

dzoną indukcyjnie (ICP-AES), przy użyciu spektrometru JY 2000. W tabeli 3 przedstawiono wyniki dla baru, cynku, kobaltu i niklu, których zawartość przekroczyła wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r., Nr 165, poz. 1359).

Tabela 3. Wyniki oznaczeń metali w próbkach mułów węglowych
Table 3. The results of determinations of metals in a sample of coal slurries

Numer depozytu	Metale			
	Bar	Cynk	Kobalt	Nikiel
	mg/kg s.m.			
WDS¹⁾	200	300	20	100
K18	417,92	499,69	92,67	178,98
K11	877,98	601,27	184,03	102,10
K3	1123,4	405,96	144,23	156,08
K4	bp	bp	85,67	bp
K6	534,67	bp	bp	bp
K2	333,24	bp	55,68	bp
K17	777,27	bp	49,35	bp
K1	422,37	bp	38,55	bp
K5/1	423,91	bp	55,22	bp
K5/4	599,06	bp	20,33	bp

WDS¹⁾ – wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi, obszar B (Dz. U. z 2002 r., Nr 165, poz. 1359)

bp – brak przekroczenia

Stwierdzono, że przekroczenia wartości dopuszczalnych stężeń ww. metali nie wynikają tylko z obecności ich w eksploatowanym złożu lecz są najprawdopodobniej spowodowane także zanieczyszczeniami antropogenicznym oraz ich obecnością w gruntach otaczających teren badanych depozytów. Wyniki oznaczeń pozostałych metali nie przekroczyły wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi, zgodnie z cytowanym powyżej rozporządzeniem.

Analizie poddano także ekstrakty wodne sporządzone z próbek mułów węglowych, które zostały przygotowane zgodnie z normą PN – EN 12457-4:2006. Zakres badań obejmował następujące parametry podstawowe: TDS, ChZT_{Cr}, fenole, azot amonowy, azot azotanowy(V), azot azotanowy(III), cyjanki, chlorki, siarczany(VI), siarczki, chrom(VI).

Oznaczania zawartości metali (wykaz metali analogiczny jak w przypadku analizy bezpośredniej) w ekstrakcie wodnym wykonano metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-AES), przy użyciu spektrometru JY 2000.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki badań ekstraktu wodnego próbek mułów węglowych pochodzących z analizowanych depozytów w zakresie metali, dla których zostały przekroczone wartości dopuszczalnych stężeń (bar, cynk, kobalt i nikiel).

Tabela 4. Wyniki badań ekstraktu wodnego próbek mułów węglowych
Table 4. The results of testing aqueous extract of coal slurries samples

Numer depozytu	Metale			
	Bar	Cynk	Kobalt	Nikiel
	mg/l			
<i>NDW¹⁾</i>	2	2	1	0,5
K18	0,88	0,055	0,088	0,440
K11	0,068	0,108	0,183	0,440
K3	0,633	1,220	0,177	1,020
K4	0,055	0,102	0,067	0,009
K6	1,550	0,089	0,011	0,010
K2	0,777	0,022	0,022	0,011
K17	1,120	0,011	0,980	0,055
K1	0,858	0,009	0,013	0,009
K5/1	0,023	0,089	0,022	0,098
K5/4	0,010	0,033	0,032	0,011

NDW¹⁾ – najwyższa dopuszczalna wartość (Dz. U. z 2009 r., Nr 27, poz. 169, zał.1)

Analiza ekstraktu wodnego próbek mułów w zakresie parametrów podstawowych oraz wszystkich oznaczanych metali nie wykazała przekroczeń najwyższej dopuszczalnej wartości substancji szkodliwych dla środowiska wodnego zgodnie z rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego – załącznik 1, tabela I i II (Dz. U. z 2009 r. Nr 27, poz. 169).

Wobec powyższego wyciągnięto wniosek, że metale dla których stwierdzono przekroczenia, w analizie bezpośredniej występują w formach związanych nie stanowiąc tym samym zagrożenia dla środowiska.

4. Parametry fizyczne depozytów mułów węglowych

Dla zidentyfikowanych osadników mułów węglowych, według przyjętej metodyki wykonywano badania w zakresie podstawowej analizy jakościowej, polegającej na oznaczeniu: [6]

- zawartości wilgoci przemijającej W_{ex} i higroskopijnej W_h (PN-80/G-04511, PN-80/G-04511, PN-G-04560:1998, PN-80/G-04511),
- zawartości popiołu w stanie analitycznym A^a , roboczym A^r i suchym A^d , (PN-G-04560:1998, PN-80/G-04512),
- zawartości siarki w stanie analitycznym S_t^a , roboczym S_t^r i suchym S_t^d (PN-90/G-04514/16),
- zawartości części lotnych w stanie analitycznym V^a , roboczym V^r i suchym V^d (PN-G-04516:1998, PN-G-04560:1998, PN-ISO 562:2000),
- wartości opałowej w stanie analitycznym Q^a , roboczym Q^r i suchym Q^d (PN-81/G-04513).

Następnie dla próbek uśrednionych wykonano analizy granulometryczne i densymetryczne. 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 .

Przygotowanie prób do analizy wykonano zgodnie z PN-90/G-04502. Wyniki badań właściwości fizycznych, które przeprowadzono na pozyskanych próbkach mułów węglowych, przedstawiono w tabelach 5 i 6. W tabeli 5 przedstawione zostały wyniki zbiorcze właściwości fizycznych mułów węglowych w stanie analitycznym jako średnie statystyczne i odchylenia standardowe tych średnich dla poszczególnych depozytów. Natomiast w tabeli 6 zaprezentowano wyniki analizy właściwości fizycznych mułów węglowych w klasie ziarnowej $<0,1$ mm w stanie analitycznym i suchym z uwagi na fakt, że klasa ta ma największy udział w analizowanych mułach węglowych.

Tabela 5. Wyniki zbiorcze analizy właściwości fizycznych mułów węglowych w stanie analitycznym**Table 5.** Summary of coal slurries properties in analytical state at impoundments

Nr depozytu	Zawartość popiołu [%]	Odchylenie standardowe zawartości popiołu [%]	Zawartość siarki całkowitej [%]	Odchylenie standardowe zawartości siarki całkowitej [%]	Zawartość części lotnych [%]	Odchylenie standardowe zawartości części lotnych [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Odchylenie standardowe wartości opałowej [kJ/kg]
K13	27,47	2,99	1,90	0,84	28,50	4,32	15096	1509
K14	32,98	2,58	0,72	0,03	23,85	0,41	15646	829
K12	41,36	1,41	0,86	0,10	21,31	1,25	14813	581
K18/1	63,96	9,06	0,57	0,16	14,38	2,55	9325	2052
K18/2	63,04	17,76	0,64	0,25	14,39	5,47	10073	2746
K11/1	49,48	5,39	0,88	0,34	18,50	1,76	13297	2413
K3/1	60,43	10,56	0,70	0,20	16,41	3,13	9265	3498
K3/2	45,90	12,59	2,98	1,27	18,01	2,23	14877	5976
K2	58,34	8,24	2,26	0,67	14,29	1,17	12304	2803
K17	28,41	4,23	0,95	0,11	23,47	1,33	22807	1538
K1	26,98	3,46	0,95	0,15	23,77	0,75	23293	1444
K4/1	27,89	0,32	0,97	0,13	23,79	0,71	22941	590
K4/2	47,22	2,55	0,59	0,11	18,89	0,29	15813	937
K4/3	31,84	4,51	0,79	0,13	23,85	1,25	20828	2065
K5/1	53,79	5,17	1,21	0,19	16,99	1,52	12051	1504
K5/2	42,86	13,10	1,09	0,38	16,89	2,30	17802	5351
K5/3	37,59	1,44	0,94	0,08	20,64	0,87	19402	646
K5/4	35,22	1,28	0,97	0,02	21,54	0,40	20351	844
K11/2	37,33	1,29	0,92	0,06	20,72	0,54	19672	767
K6	38,83	5,88	0,94	0,15	20,16	2,12	18887	1834
średnia	42,55	–	1,09	–	20,02	–	16427	–
odchylenie standardowe	12,28	–	0,60	–	3,85	–	4520	–

Tabela 6. Wyniki zbiorcze analizy właściwości fizycznych mułów węglowych w klasie ziarnowej < 0,1 mm w stanie analitycznymi suchym

Table 6. Summary of coal slurries properties for grain size fraction <0.1 mm in analytical and dry state

Nr depozytu	Wychód klasy < 0,1 mm [%]	Wilgoć higr. [%]	Zawartość popiołu [%]		Zawartość siarki całkowitej [%]		Zawartość części lotnych [%]		Wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ		W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a
K13	27,90	4,30	53,00	55,38	1,21	1,26	17,21	17,98	12753	13326
K14	60,79	3,97	55,64	57,94	0,66	0,69	12,66	13,19	10185	10606
K12	70,16	4,61	53,02	55,58	0,86	0,90	15,20	15,94	11224	11766
K18/1	69,33	2,99	73,49	75,75	0,44	0,45	10,60	10,93	1684	1736
K18/2	54,75	2,13	77,23	78,91	0,47	0,48	7,92	8,09	6195	6330
K11/1	67,87	4,07	58,94	61,44	0,74	0,77	16,25	16,94	10680	11133
K3/1	28,43	1,51	57,73	58,62	4,15	4,21	15,62	15,86	8914	9051
K3/2	48,36	1,38	67,20	68,14	2,49	2,52	13,56	13,75	6791	6886
K2	57,23	2,56	52,49	53,87	0,67	0,69	16,21	16,63	12386	12712
K17	77,58	2,87	64,43	66,33	1,29	1,33	14,37	14,80	8540	8792
K1	65,75	1,57	49,91	50,71	1,36	1,38	16,15	16,40	15272	15515
K4/1	67,76	2,07	37,03	37,81	0,21	0,21	22,27	22,74	18704	19099
K4/2	54,80	1,92	41,19	42,00	0,38	0,39	20,02	20,41	16406	16727
K4/3	57,57	1,83	39,75	40,49	1,36	1,39	19,91	20,29	17271	17593
K5/1	75,76	1,64	45,53	46,29	0,96	0,98	17,83	18,13	15682	15943
K5/2	72,87	2,03	44,20	45,12	1,00	1,02	18,00	18,37	15464	15784
K5/3	68,53	1,24	42,58	43,11	1,05	1,06	17,98	18,21	16055	16257
K5/4	68,12	2,08	43,01	43,92	1,04	1,06	18,42	18,81	18118	18503
K11/2	78,93	2,57	63,13	64,80	0,69	0,71	14,30	14,68	7388	7583
K6	72,97	1,33	57,24	58,01	0,61	0,62	16,36	16,58	11855	12015
średnia	62,27	2,43	53,84	55,21	1,09	1,11	16,04	16,44	12078	12368
odchylenie standardowe	14,26	1,05	11,31	11,71	0,88	0,89	3,30	3,34	4580	4658

Analizując wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach jakościowych stwierdzić można, że:

- średnia wartość opałowa w stanie analitycznym w mułach węglowych, zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 9 265 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 węglowych, 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 mułach węglowych, 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 mułach węglowych, 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 mułach węglowych, 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 mułach węglowych, 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 ziaren 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 od 27,90 do 78,93%, przy odchyleniu standardowym 14,26%; tylko w trzech osadnikach zanotowano udział w tej klasie ziarnowej poniżej 50%,

- średnia wartość opałow w stanie analitycznym w mułach węglowych, zdeponowanych w poszczególnych osadnikach w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm waha się w granicach od 6184 do 18704 kJ/kg z odchyleniem standardowym 4580 kJ/kg,
- klasa ziarnowa poniżej 0,1 mm charakteryzuje się wyższą zawartością popiołu i siarki.

5. Potencjał energetyczny depozytów mułów węglowych

Przeprowadzona analiza ilościowo-jakościowa depozytów mułów węglowych pozwoliła na oszacowanie potencjału energetycznego tych mułów. W tym celu opracowany został algorytm szacowania potencjału energetycznego zinwentaryzowanych depozytów. Zaproponowano szacowanie potencjału energetycznego w dwóch wariantach [7].

Pierwszy z tych wariantów stanowi przybliżone oszacowane potencjału energetycznego depozytu, którego podstawą są:

- oszacowana masa mułów węglowych w danym depozycie,
- średnia wartość opałow wyznaczona w badaniach jakościowych poszczególnych próbek pobranych do badań z depozytu.

W powyżej podany sposób szacowana jest średnia przybliżona wartość potencjału energetycznego depozytu, która jest wykorzystywana i podawana najczęściej w różnych opracowaniach przedmiotowych. Jest to niewątpliwie informacja ważna, lecz dla pełniejszej wiedzy wstępnej o depozycie istotnym też jest podanie granic w jakich może oscylować szacowana wartość potencjału energetycznego mułów. W tym celu oprócz wartości średniej potencjału energetycznego podaje się jej wartości graniczne: górną i dolną na podstawie oszacowanego odchylenia standardowego z oznaczeń wartości opałow dla poszczególnych prób. Z teorii rachunku prawdopodobieństwa wiadomo, że w zakresie tych wartości granicznych leży 68% wartości oszacowań indywidualnych z poszczególnych prób uzyskanych w badaniach. Tak więc średnią przybliżoną wartość potencjału energetycznego depozytu w stanie roboczym lub analitycznym szacowana jest z zależności:

$$E_{\dot{s}r} = M \cdot Q^{rva}_{\dot{s}r} \cdot 10^{-3}, \text{ [GJ]}$$

gdzie:

- $E_{\dot{s}r}$ średnia wartość potencjału energetycznego depozytu [GJ],
 M oszacowana masa mułów znajdujących się w depozycie [Mg],
 $Q^{rva}_{\dot{s}r}$ średnia wartość opałowa w stanie roboczym lub analitycznym wyznaczona w badaniach jakościowych poszczególnych próbek pobranych do badań z depozytu, która szacowana jest z zależności:

$$Q^{rva}_{\dot{s}r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q^r_i \text{ [kJ/kg]}$$

Wartości graniczne potencjału energetycznego depozytu szacowane są z zależności:

$$E_{max} = M \cdot (Q^{rva}_{\dot{s}r} + S_Q) \cdot 10^{-3}, \text{ [GJ]}$$

oraz

$$E_{min} = M \cdot (Q^{rva}_{\dot{s}r} - S_Q) \cdot 10^{-3}, \text{ [GJ]}$$

gdzie:

S_Q – odchylenie standardowe wartości opałowej szacowane z wykorzystaniem zależności:

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q^{rva}_i - Q^{rva}_{\dot{s}r})^2} \text{ [GJ]}$$

Wyniki przeprowadzonych oszacowań przedstawiono w tabeli 7 i 8.

Tabela 7. Potencjał energetyczny mulów w stanie roboczym zdeponowanych w osadnikach
Table 7. Energetic potential of coal slurries on „as received” basis deposited at impoundments

Numer depozytu	Orientacyjna pojemność depozytu	Średnia wartość opałowa	Odchylenie standardowe wartości opałowej	Potencjał energetyczny w stanie roboczym		
				średni	maksymalny	minimalny
	Mg	kJ/kg	kJ/kg	GJ	GJ	GJ
K13	1 000 000	12 380	674	12380000	13053891	11706109
K14	300 000	12 552	607	3765600	3947736	3583463
K12	1 000 000	12 179	568	12178667	12748949	11610385
K18/1	100 000	7 737	1673	773747	941065	606428
K18/2	100 000	8 587	2369	858675	1095554	621796
K11/1	640 000	11 087	2324	7095825	8583052	5608598
K3/1	1 521 000	6 874	2270	10455354	13907739	7002969
K3/2	176 000	13 115	4655	2308240	3127660	1488819
K2	1 117 000	10 213	1975	11408107	13614438	9201776
K17	155 000	18 979	1732	2941794	3210402	2673187
K1	153 000	19 352	1062	2284311	2409719	2158902
K4/1	345 600	19 285	1290	6664939	7110828	6219049
K4/2	163 000	12 038	724	1962221	2080363	1844078
K4/3	460 000	16 155	1394	7431258	8072425	6790091
K5/1	130 000	8 256	967	1073316	1199042	947589
K5/2	228 000	13 648	3628	3111873	3938967	2284779
K5/3	106 000	14 869	680	1576075	1648248	1503903
K5/4	102 000	15 385	763	1569270	1647164	1491375
K11/2	176 000	15 057	464	2650090	2731792	2568388
K6	236 000	14 636	1268	3453624	3753031	3154214

Tabela 8. Potencjał energetyczny mulów w stanie analitycznym zdeponowanych w osadnikach**Table 8.** Energetic potential of coal slurries in analytical state deposited at impoundments

Numer depozytu	Orientacyjna pojemność depozytu	Średnia wartość opałowa	Odchylenie standardowe wartości opałowej	Potencjał energetyczny w stanie analitycznym		
				średni	maksymalny	minimalny
	Mg	kJ/kg	kJ/kg	GJ	GJ	GJ
K13	1 000 000	15 096	1509	15095667	16604265	13587068
K14	300 000	15 646	830	4693800	4942657	4444943
K12	1 000 000	14 813	581	14812667	15393327	14232006
K18/1	100 000	9 325	2052	932547	1137768	727326
K18/2	100 000	10 073	2747	1007325	1281976	732674
K11/1	640 000	13297	2413	8509964	10054237	6965690
K3/1	1 521 000	9265	3498	14092825	19413371	8772280
K3/2	176 000	14877	5976	2618308	3670019	1566597
K2	1 117 000	12304	2803	13743987	16874910	10613064
K17	155 000	22807	1538	3535074	3773403	3296745
K1	153 000	23293	1444	3563810	3784749	3342871
K4/1	345 600	22941	590	7928525	8132297	7224753
K4/2	163 000	15813	937	2577600	2730378	2424822
K4/3	460 000	20829	2065	9581173	10530941	8631404
K5/1	130 000	12051	1504	1566590	1762060	1371119
K5/2	228 000	17802	5351	4058928	5279050	2838807
K5/3	106 000	19402	646	2056612	2125131	1988132
K5/4	102 000	20351	844	2075761	2161898	1989625
K11/2	176 000	19672	767	3462345	3597362	3327329
K6	236 000	18887	1834	4457435	4890353	4024518

Drugi z wariantów szacowania potencjału energetycznego depozytów wykonywany jest na podstawie głębszej wiedzy o materiale zgromadzonym w depozycie, łącznie z wiedzą o kierunku wykorzystania mułów i sposobie jego wzbogacenia. Oszacowanie potencjału energetycznego wykonywane jest w oparciu o:

- zdefiniowaną masę mułów znajdujących się w depozycie,
- uzysk koncentratu pozyskanego w wyniku zastosowania wybranej technologii wzbogacania,
- średnią wartość opałową wyznaczoną dla koncentratów pozyskanych z poszczególnych prób technologicznych.

Ze względu na konieczność porównywania potencjału energetycznego mułów wzbogaczanych z wykorzystaniem różnych technologii do wykonywanych oszacowań przyjmowana była wartość opałowa w stanie analitycznym.

Średnią wartość potencjału energetycznego depozytu oszacowano z zależności:

$$E_{\dot{s}r} = M \cdot U \cdot Q_{\dot{s}r}^a \cdot 10^{-3} \quad [\text{GJ}]$$

gdzie:

$E_{\dot{s}r}$ średnia przybliżona wartość potencjału energetycznego depozytu [GJ],

M oszacowana masa mułów znajdujących się w depozycie [Mg],

$Q_{\dot{s}r}^a$ średnia wartość opałowa koncentratu w stanie analitycznym wyznaczona w badaniach jakościowych poszczególnych prób technologicznych procesu wzbogacenia wybraną technologią [kJ/kg],

U wychód koncentratu pozyskanego z procesu wzbogacenia wybraną technologią [%].

Wyniki oszacowań potencjału energetycznego mułów w stanie analitycznym dla czterech metod ich wzbogacania wraz z przewidywaną stratą tego potencjału przedstawiono w tabelach 9, 10, 11 i 12.

Tabela 9. Potencjał energetyczny mulów węglowych w poszczególnych depozytach jako wynik wzbogacania w hydrocyklonie klasyfikującym

Table 9. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of separation in hydrocyclone classifier-separator

Nr depozytu	Stan surowy depozytu			Hydrocyklon klasyfikujący			
	pojemność	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	wychód	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	strata pot.
	Mg	kJ/kg	GJ	%	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15096	15095667	47	18121	8516870	44
K14	300 000	15646	4693800	56	20362	3420816	27
K12	1 000 000	14813	14812667	50	17281	8640500	42
K18/1	100 000	9325	932547	50	9295	464750	50
K18/2	100 000	10073	1007325	60	8576	514560	49
K11/1	640 000	13297	8509964	51	15990	5219136	39
K3/1	1 521 000	9265	14092825	57	16277	12377730	12
K3/2	176 000	14877	2618308	63	12027	1333553	49
K2	1 117 000	12304	13743987	58	14234	9221639	33
K17	155 000	22807	3535074	44	13444	916880	74
K1	153 000	23293	3563810	52	17972	1429852	60
K4/1	345 600	22941	7928525	51	24363	4294124	49
K4/2	163 000	15813	2577600	59	24557	2073136	20
K4/3	460 000	20828	9581173	57	25501	6686362	30
K5/1	130 000	12051	1566590	46	21415	1180617	25
K5/2	228 000	17802	4058928	0,48	21085	2307542	43
K5/3	106 000	19402	20566631	0,50	21161	1121533	45
K5/4	102 000	20351	2075761	0,51	21844	1136324	45
K11/2	176 000	19672	3462345	0,44	12008	92999	97
K6	236 000	18887	4457435	0,47	18022	1999000	55
śr.	–	16427	–	0,53	16950	–	44

Tabela 10. Potencjał energetyczny mułów węglowych w poszczególnych depozytach jako wynik wzbogacania w klasyfikatorze odśrodkowym z wstępnym odmuleniem

Table 10. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of separation in centrifugal separator with sludge removal

Nr depozytu	Stan surowy depozytu			Klasyfikator odśrodkowy 150 g/l			
	pojemność	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	wychód	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	strata pot.
	Mg	kJ/kg	GJ	[%]	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15096	15095667	23	18916	4350680	71
K14	300 000	15646	4693800	36	20654	2230632	52
K12	1 000 000	14813	14812667	10	22042	2204200	85
K18/1	100 000	9325	932547	–	–	–	–
K18/2	100 000	10073	1007325	–	–	–	–
K11/1	640 000	13297	8509964	4	21043	538700	94
K3/1	1 521 000	9265	14092825	14	25840	5502369	61
K3/2	176 000	14877	2618308	–	–	–	–
K2	1 117 000	12304	13743987	48	24104	11923600	13
K17	155 000	22807	3535074	3	18965	88187	97
K1	153 000	23293	3563810	8	25046	306000	91
K4/1	345 600	22941	7928525	28	24095	2331625	71
K4/2	163 000	15813	2577600	47	24164	1851204	28
K4/3	460 000	20828	9581173	52	24315	5816148	39
K5/1	130 000	12051	1566590	25	24430	793975	49
K5/2	228 000	17802	4058928	22	24043	1205997	70
K5/3	106 000	19402	20566631	26	23802	655983	68
K5/4	102 000	20351	2075761	22	24281	544865	74
K11/2	176 000	19672	3462345	02	18519	65187	98
K6	236 000	18887	4457435	8	24124	455461	90
śr.	–	16427	–	22	22846	–	68

Tabela 11. Potencjał energetyczny mulów węglowych w poszczególnych depozytach jako wynik wzbogacania w spirali Reicherta z wstępnym odmuleniem

Table 11. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of separation in Reichert spiral with sludge removal

Nr depozytu	Stan surowy depozytu			Spirala Reicherta 400 g/l			
	pojemność	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	wychód	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	strata pot.
	Mg	kJ/kg	GJ	[%]	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15096	15095667	29	18825	5459250	64
K14	300 000	15646	4693800	41	20271	2493333	47
K12	1 000 000	14813	14812667	18	21523	3874140	74
K18/1	100 000	9325	932547	4	21042	92585	90
K18/2	100 000	10073	1007325	–	–	–	–
K11/1	640 000	13297	8509964	15	20760	1992960	77
K3/1	1 521 000	9265	14092825	23	25843	9040657	36
K3/2	176 000	14877	2618308	6	24258	150564	94
K2	1 117 000	12304	13743987	50	24335	12602267	9
K17	155 000	22807	3535074	9	19136	266947	92
K1	153 000	23293	3563810	14	24241	519000	85
K4/1	345 600	22941	7928525	30	24459	2535909	68
K4/2	163 000	15813	2577600	50	23763	1936684	25
K4/3	460 000	20828	9581173	52	24333	5820454	39
K5/1	130 000	12051	1566590	30	23352	910728	42
K5/2	228 000	17802	4058928	27	23666	1456879	64
K5/3	106 000	19402	20566631	30	24035	764313	63
K5/4	102 000	20351	2075761	27	24195	666330	68
K11/2	176 000	19672	3462345	7	18756	231074	93
K6	236 000	18887	4457435	14	24256	801000	82
śr.	–	16427	–	25	22687	–	64

Tabela 12. Potencjał energetyczny mułów węglowych w poszczególnych depozytach jako wynik wzbogacania metodą flotacji

Table 12. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of flotation

Nr depozytu	Stan surowy depozytu			Flotacja			
	pojemność	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	wychód	wartość opałowa	potencjał E_{sr}	strata pot.
	Mg	kJ/kg	GJ	[%]	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15096	15095667	–	–	–	–
K14	300 000	15646	4693800	–	–	–	–
K12	1 000 000	14813	14812667	–	–	–	–
K18/1	100 000	9325	932547	–	–	–	–
K18/2	100 000	10073	1007325	–	–	–	–
K11/1	640 000	13297	8509964	–	–	–	–
K3/1	1 521 000	9265	14092825	–	–	–	–
K3/2	176 000	14877	2618308	45	24687	1955210	25
K2	1 117 000	12304	13743987	41	20670	9466240	31
K17	155 000	22807	3535074	74	27620	3168014	10
K1	153 000	23293	3563810	80	27120	3319488	7
K4/1	345 600	22941	7928525	81	26880	7524680	5
K4/2	163 000	15813	2577600	65	21525	2280574	11
K4/3	460 000	20828	9581173	41	24520	4624472	51
K5/1	130 000	12051	1566590	–	–	–	–
K5/2	228 000	17802	4058928	58	24670	3262361	20
K5/3	106 000	19402	20566631	72	25875	1974780	4
K5/4	102 000	20351	2075761	71	25810	1869160	10
K11/2	176 000	19672	3462345	70	25845	3184104	8
K6	236 000	18887	4457435	72	25465	4327013	3
śr.	–	16427	–	64	25057	–	15

Zaprezentowane w tabelach 9, 10, 11 i 12 wyniki badań dotyczące wzbogacania mułów węglowych czterema metodami i analiza ich potencjału energetycznego wykazały, że w wyniku wzbogacania znaczna ilość tego potencjału jest tracona. Jest to wynik przechodzenia najdrobniejszych ziarn węglowych do odpadów.

Najkorzystniejsze rezultaty, co wydaje się zrozumiałe ze względu na istotę procesu wzbogacania, uzyskano w przypadku metody flotacji. Średnio strata potencjału energetycznego wyniosła w tym przypadku 15%. Strata ta wahała w granicach od 3 do 51% dla poszczególnych osadników. Średnio wartość opałowa produktu uzyskanego tą metodą wzbogacania wyniosła 25 057 kJ/kg i była najwyższą spośród uzyskanych we wszystkich analizowanych metodach. Niestety, nie wszystkie muły węglowe według przyjętego kryterium oceny, były podatne na wzbogacanie metodą flotacji przy użyciu flokulantów zastosowanych w badaniach.

Najwyższe straty potencjału energetycznego mułów węglowych zanotowano w przypadku wzbogacania w klasyfikatorze odśrodkowym z wstępnym odmuleniem wzbogacanego materiału. Strata potencjału energetycznego wyniosła w tym przypadku średnio 68% i wahała się dla poszczególnych osadników od 13% do nawet 98%. Zaobserwowane szerokie granice strat w poszczególnych osadnikach świadczą dobitnie o niedoskonałości zastosowanej metody. Średnio wartość opałowa produktu uzyskanego ze wzbogacania w klasyfikatorze odśrodkowym wyniosła 22 864 kJ/kg, co wydaje się bardzo dobrym rezultatem. Wyniki te są podobne do osiągniętych przy wzbogacaniu mułów w spiralach Reicherta z wstępnym odmulaniem materiału. Średnia strata potencjału energetycznego mułów wzbogaczanych w spiralach Reicherta wyniosła 64%, a wartość opałowa produktu wzbogacania wynosiła 22 678 kJ/kg.

Najniższe wartości opałowe produktów wzbogacania uzyskiwano w przypadku wzbogacania w hydrocyklonie. Pomimo stwierdzonych strat potencjału energetycznego mułów, który wyniósł średnio 44% i wahał się w granicach od 12% do 97%, wartość opałowa produktu wyniosła średnio 16 950 kJ/kg i niewiele wzrosła w stosunku do średniej wartości opałowej mułów surowych wynoszącej 16 427 kJ/kg.

Na podstawie powyższych badań można stwierdzić, że istnieje możliwość wzbogacania mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach. Należy jednak liczyć się ze znacznymi stratami potencjału energetyczne-

go tych materiałów. Pamiętać również należy, że każda z metod wzbogacania wymaga rozmycia mułów, a więc dostarczenia dla potrzeb procesu znacznych ilości wody, na co wskazują zagęszczenia mieszaniny wodno węglowej niezbędne dla efektywności procesu.

6. Wnioski

- 1) Przeprowadzona inwentaryzacja wykazała, że w środowisku znajduje się ponad 16,5 mln Mg depozytów mułów węglowych, które wprost lub poprzez zastosowanie odpowiednich technologii wzbogacania mogą stanowić cenny surowiec dla energetyki.
- 2) Analiza szacunkowa przy wykorzystaniu zaprezentowanej formuły matematycznej wykazała, że w środowisku od 1945 r. zdeponowanych zostało blisko 120 mln Mg tego surowca, czyli 8-krotnie więcej niż zostało zinwentaryzowane z natury i wykazywane jest obecnie w oficjalnych statystykach.
- 3) Większość terenów, na których deponowane były w ubiegłym stuleciu muły węglowe, uległa przeobrażeniom antropogenicznym, co uniemożliwia eksploatację i gospodarcze wykorzystanie znajdujących się tam depozytów. Zostały one w części lub w całości zrekultywowane stając się terenami rekreacyjnymi bądź terenami, na których prowadzona jest obecnie działalność przemysłowa lub usługowa.
- 4) Głównymi składnikami próbek mułów węglowych są: krzemionka (27,81–63,96%) oraz węgiel (11,15–31,80%). Jest to skład chemiczny typowy dla odpadów drobnoziarnistych tego rodzaju. Odstępstwem jest bardzo niska zawartość Al_2O_3 i TiO_2 .
- 5) Przeprowadzone badania parametrów chemicznych w zakresie analizy bezpośredniej próbek mułów z zinwentaryzowanych osadników wykazały przekroczenia wartości dopuszczalnych stężeń metali, tj. bar, cynk, kobalt i nikiel. Jest to związane nie tylko z obecnością tych metali w złożu, ale najprawdopodobniej spowodowane także zanieczyszczeniami antropogenicznym oraz obecnością tych metali w gruntach otaczających teren badanych osadników.
- 6) Analiza ekstraktu wodnego próbek mułów węglowych w zakresie parametrów podstawowych i metali nie wykazała przekroczeń najwyższej dopuszczalnej wartości substancji szkodliwych dla środowiska wodnego.
- 7) Oznacza to, że metale znajdujące się w mułach węglowych, w tym te dla których stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnych,

występują w strukturach związanych chemicznie. Nie stanowią one więc zagrożenia dla środowiska i nie ograniczają potencjalnych kierunków ich gospodarczego wykorzystania.

- 8) Zaprezentowane wyniki badań parametrów fizycznych próbek mułków węglowych wskazują na znaczne zróżnicowanie jakości mułków zdeponowanych w poszczególnych osadnikach, co jest oczywiste z uwagi na zróżnicowane warunki górnictwo-geologiczne poszczególnych kopalń, które wykorzystywały te osadniki.
- 9) Uzyskane wyniki jakościowe i ilościowe mułków depozytowych wskazują na istnienie znacznego potencjału energetycznego, który przy odpowiednich technologiach wzbogacania może zostać efektywnie wykorzystany.
- 10) Zaprezentowane wyniki badań dotyczące wzbogacania mułków węglowych czterema metodami i analiza ich potencjału energetycznego wykazały, że w wyniku wzbogacania znaczna ilość tego potencjału jest tracona. Najkorzystniejsze rezultaty, uzyskano w przypadku metody flotacji.
- 11) Z przeprowadzonej analizy wynika, że przemysłowe wykorzystanie mułków będzie w pełni efektywne w przypadku zastosowania metody pozbawionej konieczności dodatkowych zabiegów wzbogacających materiał np. granulowania.

Literatura

1. *Projekt rozwojowy Nr N R09 006 06/2009 pn. „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułków węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania*, IMBiGS, Warszawa 2009,
2. **Blaşchke W, Baic I.**: *Problematyka depozytów mułków węglowych w Polsce*, Polityka Energetyczna Tom 15 zeszyt 3, 211–219 (2012).
3. **Sobko W., Baic I., Blaşchke W.**: *Depozyty mułków węglowych – inwentaryzacja i identyfikacja ilościowa*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1405–1417 (2011).
4. **Baic I., Sobko W., Łukowska M.**: *Inwentaryzacja szacunkowa i in situ depozytów mułków węglowych*, Polityka Energetyczna Tom 15 zeszyt 3 221–229 (2012).
5. **Baic I. i in.**: *Parametry chemiczne depozytów mułków węglowych . Baza danych DMW*, Polityka Energetyczna Tom 15 zeszyt 3, 231–245 (2012).

6. **Lutyński A., Szpyrka J.:** *Analiza własności fizykochemicznych depozytów mulów węglowych na Górnym Śląsku*, Polityka Energetyczna Tom 15 zeszyt 3, 273–285 (2012).
7. **Baic I., Lutyński A., Lutyński M.:** Potencjał energetycznych zdeponowanych mulów węglowych, Polityka Energetyczna Tom 15 zeszyt 3, 259–271 (2012).

Analysis of the Chemical, Physical and Energetic Parameters of Coal Sludge Deposits Inventoried in the Silesian Province

Abstract

The paper presents result of investigation of physical, chemical and energetic properties of steam coal slurries deposited in twenty four impoundments. Performed investigation include determination of chemical composition, moisture content, volatile matter, sulfur and calorific value at various states. Additionally, properties of coal slurry of particle size below 0.1 mm are presented.

The paper presents also results of energetic potential analysis of coal slurries deposited in impoundments. Results shown are for “as received” basis and for concentrates after beneficiation. Coal slurries were beneficiated using the following techniques: hydrocyclone classifier-separator, centrifugal separator, Reichert spiral separator LD4 and flotation. Assessment of energetic potential was made for concentrate whereas losses of energetic potential due to beneficiation were estimated. The most effective method was flotation where the loss of energetic potential was 15% and varied from 3 to 31% depending on the impoundment. Average value of obtained concentrate was 25 057 kJ/kg being the highest among all of the methods.

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 is 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.