

Aleksander LUTYŃSKI\*, Ireneusz BAIC\*\*, Marcin LUTYŃSKI\*\*\*

## Potencjał energetyczny zdeponowanych mułów węglowych

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono wyniki analizy potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych. Wyniki zaprezentowanej analizy dotyczą stanu surowego tych mułów oraz produktów, które uzyskano w wyniku ich wzbogacania różnymi metodami. Muły węglowe wzbogacano w hydrocyklonie zagęszczająco-klasyfikującym, klasyfikatorze odśrodkowym, wzbogacalniku zwojowym Reicherta i metodą flotacji. Oceniono zarówno potencjał energetyczny mułów po ich wzbogaceniu, jak i straty potencjału energetycznego, które ponoszone są w wyniku wzbogacania. Najkorzystniejsze rezultaty uzyskano w przypadku metody flotacji. Średnio strata potencjału energetycznego wyniosła w tym przypadku 15% i wahała w granicach od 3 do 31% dla poszczególnych osadników. Średnio wartość opałowa uzyskanego produktu wyniosła 25 057 kJ/kg i była najwyższą spośród uzyskanych we wszystkich analizowanych metodach.

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%. Średnio wartość opałowa uzyskanego produktu wyniosła 22 864 kJ/kg.

Wyniki te są podobne do osiągniętych przy wzbogacaniu mułów w spiralach Reicherta z wstępnym odmuleniem materiału. Średnia strata potencjału energetycznego mułów wzbogaczanych w spiralach Reicherta wyniosła 64%, a wartość opałowa produktu wzbogacania 22 678 kJ/kg.

---

\* Prof. dr hab. inż., \*\*\* Dr inż. – Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice; e-mail: [aleksander.lutynski@polsl.pl](mailto:aleksander.lutynski@polsl.pl)

\*\* Dr inż., – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie, oddział zamiejscowy w Katowicach, Katowice; e-mail: [i.baic@imbigs.pl](mailto:i.baic@imbigs.pl)

Najniższe wartości opałowe produktów wzbogacania uzyskiwano w przypadku wzbogacania w hydrocyklonie. Mimo istotnych 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 wartości opałowej mułów surowych wynoszącego 16 427 kJ/kg.

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że istnieje możliwość wzbogacania mułów zdeponowanych w osadnikach. Należy jednak liczyć się ze znacznymi stratami potencjału energetycznego tych materiałów.

Analizy 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 Kopalini i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej od sierpnia 2009 roku.

SŁOWA KLUCZOWE: potencjał energetyczny, depozyty mułów węglowych

## Wprowadzenie

Odpady o najdrobniejszym uziarnieniu – a więc muły węglowe i odpady flotacyjne – posiadają najwyższy poziom substancji węglowej spośród wszystkich odpadów powstałych w wyniku wydobywania i wzbogacania węgla. Wskazują na to badania jakości wykonywane w różnych jednostkach naukowo badawczych (Blaschke 2005; Grudziński 2005; Szpyrka, Lutyński 2012). Z tego względu poszukuje się skutecznych metod pozwalających na efektywne wykorzystanie potencjału energetycznego, zawartego w odpadach. Metodami tymi mogą być metody wzbogacania najdrobniejszych odpadów lub metody bezpośredniego wykorzystania podczas spalania np. w kotłach z łóżem fluidalnym (Hycnar, Bugajczyk 2004; Hycnar 2006).

Metody wzbogacania pozwalają na pozyskanie pełnowartościowego paliwa w postaci drobno uziarnionych mieszanek węglowych o wysokich parametrach energetycznych. Poprawa jakości koncentratów pozyskiwanych w wyniku wzbogacania pociąga za sobą powstawanie odpadów o pewnej zawartości substancji węglowej. Jest to nieuniknione, mimo istniejących dzisiaj skutecznych metod wzbogacania.

W przeprowadzonych badaniach nad możliwością wzbogacania mułów wykonanych w Katedrze Przeróbki Kopalini i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej wykorzystano sześć różnych metod. W prezentowanym materiale przedstawiono tylko wyniki czterech, które uznano za najefektywniejsze. Metodami tymi są:

- ✧ metody wzbogacania z wykorzystaniem siły odśrodkowej, w których użyte zostały hydrocyklon klasyfikująco-zagęszczający i klasyfikator odśrodkowy,
- ✧ metoda wzbogacania strumieniowego (jeden z procesów wzbogacania grawitacyjnego), w której użyty został wzbogaczalnik strumieniowy zwojowy typu Reichert LD4,
- ✧ metoda fizykochemiczna – flotacja.

Każda z tych metod pozwalała na uzyskanie koncentratu o wartości opałowej wyższej niż wartość opałowa mułu surowego, który pozyskano z osadników. Jednak każda z analizowanych metod powodowała stratę potencjału energetycznego zawartego w odpadach. Wielkości tych strat były różne, co pokazano w prezentowanym materiale.

Badania wzbogacania mułów przeprowadzono w hydrocyklonie klasyfikująco-zagęszczającym o średnicy  $\phi 150$  mm. Nadawa o dobranym zagęszczeniu podawana była pompą do hydrocyklonu z przelewem zapewniającym utrzymanie stałego ciśnienia hydrostatycznego. W badaniach wstępnych ustalono, że najkorzystniejszym zagęszczeniem dla wzbogacanego materiału jest 150 g/l.

W metodach wzbogacania grawitacyjnego jakość koncentratów jest pogarszana znaczną zawartością niewzbogaconych ziarn najdrobniejszych  $<0,1$  mm, które w większości trafiają razem z większymi, lekkimi ziarnami węglowymi do koncentratów. Poprawę jakości koncentratów uzyskuje się odmulając nadawę kierowaną do wzbogacania lub odmulając uzyskane koncentraty. W wykonywanych badaniach odmulono materiał w hydrocyklonie klasyfikująco-zagęszczającym i materiał uzyskany jako koncentrat wykorzystano w badaniu możliwości wzbogacania mułów w klasyfikatorze odśrodkowym i wzbogacalniku strumieniowym.

Badania wzbogacania mułów w klasyfikatorze odśrodkowym wykonano dla zagęszczenia nadawy 100 i 150 g/l. W opracowaniu zaprezentowano wyniki dla zagęszczenia nadawy 150 g/l, które uznano za korzystniejsze.

W metodzie wzbogacania strumieniowego użyty został wzbogacalnik Reichert typu LD4. Stanowisko badawcze składało się ze zbiornika nadawy, wzbogacalnika strumieniowego LD4 o układzie dwóch koryt po sześć zwojów i przesiewacza odwadniającego. Nadawa była podawana grawitacyjnie ze zbiornika z mieszadłem szybkoobrotowym i dodatkowo mieszana powietrzem ze sprężarki. Ruch mieszadła i strumień powietrza powodowały, że nadawa na spiralę nie osiadała w zbiorniku i miała stałe zagęszczenie. Badania przeprowadzono na materiałach z siedemnastu i dziewiętnastu osadników dla dwóch zagęszczeń nadawy kierowanej na spiralę – 300g/l i 400 g/l. Wyniki badań dla zagęszczenia nadawy 400 g/l, uznano za korzystniejsze.

Badania laboratoryjne mułów węglowych metodą flotacji przeprowadzone zostały na flotownikach laboratoryjnych o pojemności komory flotacyjnej wynoszącej  $1 \text{ dm}^3$ . Zagęszczenie mieszaniny wodno-węglowej wynosiło 100g/l. W badaniach użyte zostały dwa odczynniki flotacyjne, najczęściej stosowane w procesach flotacji w zakładach przerobczych kopalń węgla kamiennego. W pierwszej kolejności wykonano serię badań wstępnych w celu ustalenia optymalnej dawki odczynnika flotacyjnego. Badania przeprowadzono dla dawki: 0,4; 0,5 i 0,6 kg/tonę materiału suchego. Badania wykazały, że dla dawki 0,6 kg/tonę materiału suchego uzyskano najlepszy efekt flotacji mułów węglowych.

Badania przeprowadzono dla wszystkich zidentyfikowanych osadników. Za pozytywny wynik badań flotowalności mułów uznano taki, dla którego 80% badanych próbek danego osadnika wykazywało pozytywny efekt flotacji. Za pozytywny wynik flotacji mułów z jednego badanego osadnika uznawano taki, dla którego w 66% badanych prób uzyskano wychód na poziomie większym niż 30% , a zawartość popiołu w koncentracie z tych prób była mniejsza od 25%. Te warunki spełniały próbki z 12 osadników.

## 1. Sposób szacowania potencjału energetycznego depozytów

Podstawowa analiza jakościowa mułów węglowych i dokonane oszacowania ich ilości wykonane 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” pozwoliły na oszacowanie potencjału energetycznego tych mułów.

W tym celu opracowany został algorytm szacowania potencjału energetycznego zinventaryzowanych osadników. Zaproponowano szacowanie potencjału energetycznego w dwóch wariantach.

Pierwszy z tych wariantów stanowi przybliżone oszacowanie potencjału energetycznego osadnika, którego podstawą są:

- ✧ oszacowana masa mułów znajdujących się w osadniku,
- ✧ średnia wartość opałowa wyznaczona w badaniach jakościowych poszczególnych próbek pobranych do badań z osadnika.

W powyżej podany sposób szacowana jest średnia przybliżona wartość potencjału energetycznego osadnika, 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 opałowej 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 średnia przybliżona wartość potencjału energetycznego osadnika w stanie roboczym lub laboratoryjnym szacowana jest z zależności (1):

$$E_{\dot{s}r} = M Q^{rva}_{\dot{s}r} \cdot 10^{-3} \text{ [GJ]} \quad (1)$$

gdzie:  $E_{\dot{s}r}$  – średnia wartość potencjału energetycznego osadnika [GJ],  
 $M$  – oszacowana masa mułów znajdujących się w osadniku [ton],  
 $Q^{rva}_{\dot{s}r}$  – średnia wartość opałowa w stanie roboczym lub analitycznym wyznaczona w badaniach jakościowych poszczególnych próbek pobranych do badań z osadnika, która szacowana jest z zależności (2):

$$Q^{rva}_{\dot{s}r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q^r_i \text{ [kJ/kg]} \quad (2)$$

Wartości graniczne potencjału energetycznego osadnika szacowane są z zależności (3):

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

oraz (4)

$$E_{\min} = M \cdot (Q^{rva}_{sr} - S_Q) \cdot 10^{-3} \text{ [GJ]} \quad (4)$$

gdzie:  $S_Q$  – odchylenie standardowe wartości opałowej szacowane z wykorzystaniem zależności (5):

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q^{rva}_i - Q^{rva}_{sr})^2} \text{ [GJ]} \quad (5)$$

Wyniki przeprowadzonych oszacowań przedstawiono w tabeli 1 i 2.

TABELA 1. Potencjał energetyczny mułów w stanie roboczym zdeponowanych w osadnikach

TABLE 1. Energetic potential of coal slurries on “as received” basis deposited at impoundments

Osadnik	Orientacyjna pojemność osadnika	Średnia wartość opałowa	Odchylenie standardowe wartości opałowej	Potencjał energetyczny w stanie roboczym		
	t			średni	maksymalny	minimalny
			kJ/kg	kJ/kg	GJ	GJ
K13	1 000 000	12 380	674	12 380 000	13 053 891	11 706 109
K14	300 000	12 552	607	3 765 600	3 947 736	3 583 463
K12	1 000 000	12 179	568	12 178 667	12 748 949	11 610 385
K18/1	100 000	7 737	1 673	773 747	941 065	606 428
K18/2	100 000	8 587	2 369	858 675	1 095 554	621 796
K11/1	640 000	11 087	2 324	7 095 825	8 583 052	5 608 598
K3/1	1 521 000	6 874	2 270	10 455 354	13 907 739	7 002 969
K3/2	176 000	13 115	4 655	2 308 240	3 127 660	1 488 819
K2	1 117 000	10 213	1 975	11 408 107	13 614 438	9 201 776
K17	155 000	18 979	1 732	2 941 794	3 210 402	2 673 187
K1	153 000	19 352	1 062	2 284 311	2 409 719	2 158 902
K4/1	345 600	19 285	1 290	6 664 939	7 110 828	6 219 049
K4/2	163 000	12 038	724	1 962 221	2 080 363	1 844 078
K4/3	460 000	16 155	1 394	7 431 258	8 072 425	6 790 091
K5/1	130 000	8 256	967	1 073 316	1 199 042	947 589
K5/2	228 000	13 648	3 628	3 111 873	3 938 967	2 284 779
K5/3	106 000	14 869	680	1 576 075	1 648 248	1 503 903
K5/4	102 000	15 385	763	1 569 270	1 647 164	1 491 375
K11/2	176 000	15 057	464	2 650 090	2 731 792	2 568 388
K6	236 000	14 636	1 268	3 453 624	3 753 031	3 154 214

TABELA 2. Potencjał energetyczny mulów w stanie analitycznym zdeponowanych w osadnikach

TABLE 2. Energetic potential of coal slurries in analytical state deposited at impoundments

Osadnik	Orientacyjna pojemność osadnika	Średnia wartość opałowa	Odchylenie standardowe wartości opałowej	Potencjał energetyczny w stanie analitycznym		
				średni	maksymalny	minimalny
	t	kJ/kg	kJ/kg	GJ	GJ	GJ
K13	1 000 000	15 096	1 509	15 095 667	16 604 265	13 587 068
K14	300 000	15 646	830	4 693 800	4 942 657	4 444 943
K12	1 000 000	14 813	581	14 812 667	15 393 327	14 232 006
K18/1	100 000	9 325	2 052	932 547	1 137 768	727 326
K18/2	100 000	10 073	2 747	1 007 325	1 281 976	732 674
K11/1	640 000	13 297	2 413	8 509 964	10 054 237	6 965 690
K3/1	1 521 000	9 265	3 498	14 092 825	19 413 371	8 772 280
K3/2	176 000	14 877	5 976	2 618 308	3 670 019	1 566 597
K2	1 117 000	12 304	2 803	13 743 987	16 874 910	10 613 064
K17	155 000	22 807	1 538	3 535 074	3 773 403	3 296 745
K1	153 000	23 293	1 444	3 563 810	3 784 749	3 342 871
K4/1	345 600	22 941	590	7 928 525	8 132 297	7 224 753
K4/2	163 000	15 813	937	2 577 600	2 730 378	2 424 822
K4/3	460 000	20 829	2 065	9 581 173	10 530 941	8 631 404
K5/1	130 000	12 051	1 504	1 566 590	1 762 060	1 371 119
K5/2	228 000	17 802	5 351	4 058 928	5 279 050	2 838 807
K5/3	106 000	19 402	646	2 056 612	2 125 131	1 988 132
K5/4	102 000	20 351	844	2 075 761	2 161 898	1 989 625
K11/2	176 000	19 672	767	3 462 345	3 597 362	3 327 329
K6	236 000	18 887	1 834	4 457 435	4 890 353	4 024 518

Drugi z wariantów szacowania potencjału energetycznego osadników wykonywany jest na podstawie głębszej wiedzy o materiale zgromadzonym w osadniku, łącznie z wiedzą o kierunku wykorzystania mulów i sposobie jego wzbogacenia. Oszacowanie potencjału energetycznego oparte jest na:

- ✧ zdefiniowanej masie mulów znajdujących się w osadniku,
- ✧ uzysku koncentratu w wyniku zastosowania wybranej technologii wzbogacania,
- ✧ średniej wartości opałowej wyznaczonej 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 osadnika oszacowano z zależności (6):

$$E_{sr} = M \cdot U \cdot Q_{sr}^a \cdot 10^{-3} \text{ [GJ]} \quad (6)$$

gdzie:  $E_{sr}$  – średnia przybliżona wartość potencjału energetycznego osadnika [GJ],  
 $M$  – oszacowana masa mułów znajdujących się w osadniku [ton],  
 $Q_{sr}^a$  – średnia wartość opałowa koncentratu w stanie analitycznym wyznaczona w badaniach jakościowych poszczególnych prób technologicznych procesu wzbogacenia wybraną technologią [kJ/kg],  
 $U$  – uzysk 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 3, 4, 5 i 6.

## 2. Omówienie wyników uzyskanych w badaniach i analizie

Zaprezentowane 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 się w granicach od 3 do 31% 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 dla odczynników flotacyjnych zastosowanych w badaniach.

Najwyższe straty potencjału energetycznego mułów węglowych zanotowano w przypadku wzbogacania w klasyfikatorze odśrodkowym ze 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

TABELA 3. Potencjał energetyczny mułów węglowych w poszczególnych osadnikach jako wynik wzbogacania w hydrocyklonie klasyfikującym

TABLE 3. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of separation in hydrocyclone classifier-separator

Osadnik	Stan surowy osadnika			Hydrocyklon klasyfikujący			
	pojemność	wartość opałowa	potencjał $E_{\text{sr}}$	uzysk	wartość opałowa	potencjał $E_{\text{sr}}$	strata potencjału
	t	kJ/kg	GJ	–	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15 096	15 095 667	0,47	18121	8 516 870	44
K14	300 000	15 646	4 693 800	0,56	20362	3 420 816	27
K12	1 000 000	14 813	14 812 667	0,50	17281	8 640 500	42
K18/1	100 000	9 325	932 547	0,50	9295	464 750	50
K18/2	100 000	10 073	1 007 325	0,60	8576	514 560	49
K11/1	640 000	13 297	8 509 964	0,51	15990	5 219 136	39
K3/1	1 521 000	9 265	14 092 825	0,57	16277	12 377 730	12
K3/2	176 000	14 877	2 618 308	0,63	12027	1 333 553	49
K2	1 117 000	12 304	13 743 987	0,58	14234	9 221 639	33
K17	155 000	22 807	3 535 074	0,44	13444	916 880	74
K1	153 000	23 293	3 563 810	0,52	17972	1 429 852	60
K4/1	345 600	22 941	7 928 525	0,51	24363	4 294 124	49
K4/2	163 000	15 813	2 577 600	0,59	24557	2 073 136	20
K4/3	460 000	20 828	9 581 173	0,57	25501	6 686 362	30
K5/1	130 000	12 051	1 566 590	0,46	21415	1 180 617	25
K5/2	228 000	17 802	4 058 928	0,48	21085	2 307 542	43
K5/3	106 000	19 402	20 566 631	0,50	21161	1 121 533	45
K5/4	102 000	20 351	2 075 761	0,51	21844	1 136 324	45
K11/2	176 000	19 672	3 462 345	0,44	12008	92 999	97
K6	236 000	18 887	4 457 435	0,47	18022	19 99 000	55
średnio	–	16 427	–	0,53	16950	–	44



TABELA 4. Potencjał energetyczny mułów węglowych w poszczególnych osadnikach jako wynik wzbogacania w hydrocyklonie klasyfikującym klasyfikatorze odśrodkowym ze wstępnym odmuleniem

TABLE 4. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of separation in centrifugal separator with sludge removal

Osadnik	Stan surowy osadnika			Klasyfikator odśrodkowy, 150 g/l			
	pojemność	wartość opałow	potencjał $E_{sr}$	uzysk	wartość opałow	potencjał $E_{sr}$	strata potencjału
	t	kJ/kg	GJ	–	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15 096	15 095 667	0,23	18 916	4 350 680	71
K14	300 000	15 646	4 693 800	0,36	20 654	2 230 632	52
K12	1 000 000	14 813	14 812 667	0,10	22 042	2 204 200	85
K18/1	100 000	9 325	932 547	–	–	–	–
K18/2	100 000	10 073	1 007 325	–	–	–	–
K11/1	640 000	13 297	8 509 964	0,04	21 043	538 700	94
K3/1	1 521 000	9 265	14 092 825	0,14	25 840	5 502 369	61
K3/2	176 000	14 877	2 618 308	–	–	–	–
K2	1 117 000	12 304	13 743 987	0,48	24 104	11 923 600	13
K17	155 000	22 807	3 535 074	0,03	18 965	88 187	97
K1	153 000	23 293	3 563 810	0,08	25 046	306 000	91
K4/1	345 600	22 941	7 928 525	0,28	24 095	2 331 625	71
K4/2	163 000	15 813	2 577 600	0,47	24 164	1 851 204	28
K4/3	460 000	20 828	9 581 173	0,52	24 315	5 816 148	39
K5/1	130 000	12 051	1 566 590	0,25	24 430	793 975	49
K5/2	228 000	17 802	4 058 928	0,22	24 043	1 205 997	70
K5/3	106 000	19 402	20 566 631	0,26	23 802	655 983	68
K5/4	102 000	20 351	2 075 761	0,22	24 281	544 865	74
K11/2	176 000	19 672	3 462 345	0,02	18 519	65 187	98
K6	236 000	18 887	4 457 435	0,08	24 124	455 461	90
średnio	–	16 427	–	0,22	22 846	–	68

TABELA 5. Potencjał energetyczny mułów węglowych w poszczególnych osadnikach jako wynik wzbogacania w spirali Reicherta ze wstępnym odmuleniem

TABLE 5. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of separation in Reichert spiral with sludge removal

Osadnik	Stan surowy osadnika			Spirala Reicherta, 400g/l			
	pojemność	wartość opałowa	potencjał $E_{sr}$	uzysk	wartość opałowa	potencjał $E_{sr}$	strata potencjału
	t	kJ/kg	GJ	–	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15 096	15 095 667	0,29	18 825	5 459 250	64
K14	300 000	15 646	4 693 800	0,41	20 271	2 493 333	47
K12	1 000 000	14 813	14 812 667	0,18	21 523	3 874 140	74
K18/1	100 000	9 325	932 547	0,04	21 042	92 585	90
K18/2	100 000	10 073	1 007 325	–	–		–
K11/1	640 000	13 297	8 509 964	0,15	20 760	1 992 960	77
K3/1	1 521 000	9 265	14 092 825	0,23	25 843	9 040 657	36
K3/2	176 000	14 877	2 618 308	0,06	24 258	150 564	94
K2	1 117 000	12 304	13 743 987	0,50	24 335	12 602 267	9
K17	155 000	22 807	3 535 074	0,09	19 136	266 947	92
K1	153 000	23 293	3 563 810	0,14	24 241	519 000	85
K4/1	345 600	22 941	7 928 525	0,30	24 459	2 535 909	68
K4/2	163 000	15 813	2 577 600	0,50	23 763	1 936 684	25
K4/3	460 000	20 828	9 581 173	0,52	24 333	5 820 454	39
K5/1	130 000	12 051	1 566 590	0,30	23 352	910 728	42
K5/2	228 000	17 802	4 058 928	0,27	23 666	1 456 879	64
K5/3	106 000	19 402	20 566 631	0,30	24 035	764 313	63
K5/4	102 000	20 351	2 075 761	0,27	24 195	666 330	68
K11/2	176 000	19 672	3 462 345	0,07	18 756	231 074	93
K6	236 000	18 887	4 457 435	0,14	24 256	801000	82
średnio	–	16 427	–	0,25	22 687	–	64

TABELA 6. Potencjał energetyczny mułów węglowych w poszczególnych osadnikach jako wynik wzbogacania metodą flotacji

TABLE 6. Energetic potential of coal slurries deposited at impoundments as a result of flotation with sludge removal

Osadnik	Stan surowy osadnika			Flotacja, odczynnik 2			
	pojemność	wartość opałowa	potencjał $E_{sr}$	uzysk	wartość opałowa	potencjał $E_{sr}$	strata potencjału
	t	kJ/kg	GJ	–	kJ/kg	GJ	%
K13	1 000 000	15 096	15 095 667	–	–	–	–
K14	300 000	15 646	4 693 800	–	–	–	–
K12	1 000 000	14 813	14 812 667	–	–	–	–
K18/1	100 000	9 325	932 547	–	–	–	–
K18/2	100 000	10 073	1 007 325	–	–	–	–
K11/1	640 000	13 297	8 509 964	–	–	–	–
K3/1	1 521 000	9 265	14 092 825	–	–	–	–
K3/2	176 000	14 877	2 618 308	0,45	24 687	19 55 210	25
K2	1 117 000	12 304	13 743 987	0,41	20 670	94 66 240	31
K17	155 000	22 807	3 535 074	0,74	27 620	31 68 014	10
K1	153 000	23 293	3 563 810	0,80	27 120	33 19 488	7
K4/1	345 600	22 941	7 928 525	0,81	26 880	75 24 680	5
K4/2	163 000	15 813	2 577 600	0,65	21 525	22 80 574	11
K4/3	460 000	20 828	9 581 173	0,41	24 520	46 24 472	51
K5/1	130 000	12 051	1 566 590	–	–		
K5/2	228 000	17 802	4 058 928	0,58	24 670	32 62 361	20
K5/3	106 000	19 402	20 566 631	0,72	25 875	19 74 780	4
K5/4	102 000	20 351	2 075 761	0,71	25 810	18 69 160	10
K11/2	176 000	19 672	3 462 345	0,70	25 845	31 84 104	8
K6	236 000	18 887	4 457 435	0,72	25 465	43 27 013	3
średnio	–	16 427	–	0,64	25 057	–	15

rezultatem. Wyniki te są podobne do osiąganych przy wzbogacaniu mułów w spiralach z wstępnym odmulaniem materiału. Średnia strata potencjału energetycznego mułów wzbogaczanych w spiralach Reicherta wyniosła 64%, a wartość opałowa wzbogacania 22 678 kJ/kg.

Najniższe wartości opałowe produktów wzbogacania uzyskiwano w przypadku wzbogacania w hydrocyklonie. Mimo istotnych 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 wartości opałowej mułów surowych wynoszącego 16 427 kJ/kg.

Przeprowadzone badania upoważniają do stwierdzenia, że istnieje możliwość wzbogacania mułów zdeponowanych w osadnikach. Należy jednak liczyć się ze znacznymi stratami potencjału energetycznego 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. Z przeprowadzonej analizy wynika, że przemysłowe wykorzystanie mułów będzie w pełni efektywne w przypadku zastosowania metody pozbawionej konieczności dodatkowych zabiegów wzbogaczających materiał.

## Literatura

- BLASCHKE W., 2005 – Określenie wartości mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”. Politechnika Koszalińska. Koszalin.
- GRUDZIŃSKI Z., 2005 – Analiza porównawcza jakości mułów węgla kamiennego pochodzących z bieżącej produkcji i zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”. Politechnika Koszalińska. Koszalin.
- 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.
- HYCNAR J.J., BUGAJCZYK M., 2004 – Kierunki racjonalnego zagospodarowania drobnoziarnistych odpadów węglowych. *Polityka Energetyczna* t. 7, z. spec.
- HYCNAR J.J., 2006 – Paleniska fluidalne przykładem racjonalnego rozwiązywania problemu odpadów. *Polityka Energetyczna* t. 9, z. spec.

Aleksander LUTYŃSKI, Ireneusz BAIC, Marcin LUTYŃSKI

## Energetic potential of coal slurries

### Abstract

This paper presents the results of an energetic potential analysis of coal slurries deposited in impoundments. Results shown are on an “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. An assessment of energetic potential was made for concentrate, whereas losses of energetic potential due to beneficiation were estimated. Performed tests showed that the most effective method was flotation, where the loss of energetic potential was, on average, 15% and varied from 3 to 31% depending on the impoundment. The average value for the obtained concentrate was 25,057 kJ/kg, being the highest among all of the methods.

The highest losses of energetic potential of coal slurries were observed in the case of the centrifugal separator with sludge removal of feed. The loss of energetic potential was on average 68% and varied depending on the impoundment from 13% to as much as 98%. Average calorific value was 22,864 kJ/kg. The results are similar to those obtained with the use of the Reichert spiral with initial sludge removal from the feed. The average loss of energetic potential of coal slurries beneficiated in Reichert spirals was 64%, and the calorific value 22,678 kJ/kg. The lowest calorific values of concentrate were obtained from the hydrocyclone classifier-separator. Despite a significant loss of energetic potential of coal slurries, which was on average 44% and ranged from 12 % to 97%, the calorific value of the product was 16,950 kJ/kg and did not increase significantly in relation to the calorific value of raw coal slurry, which was 16,427 kJ/kg. Results obtained from this research showed that it is possible to beneficiate coal slurries deposited at old impoundments. Nevertheless, they revealed that a high loss of energetic potential should be taken into account when applying certain technology.

KEY WORDS: energetic potential, coal slurry deposits