

Wdrożenie innowacyjnej technologii oczyszczania węgla kamiennego przy pomocy suchej metody wzbogacania (FGX) drogą obniżenia kosztów wytwarzania produktów handlowych w krajowym górnictwie*

1. Technologia suchej separacji węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych typu FGX

1.1. Zasada działania

Urządzenia FGX są to złożone, pod względem wiedzy technologicznej, maszyny do suchego wzbogacania węgla. Składają się one z perforowanego stołu roboczego, urządzenia wibracyjnego, komory powietrznej oraz napędu i mechanizmu pozwalającego zmieniać kąty nachylenia stołu i częstotliwość wibracji. Nadawa surowego węgla jest podawana poprzez wibrujący zasilacz na stół roboczy pochylony pod różnymi kątami w osi poprzecznej i podłużnej, wprawiany w ruch wibracyjny przez wibrator [1, 2, 4].

Pod spodem stołu znajduje się kilka komór powietrznych zasilanych przez wentylator odśrodkowy. Zawierane powietrze przechodzi przez otwory w stole tworząc wznoszący prąd powietrza. Pod wpływem połączonych sił: wibracji i prądu powietrza złoża węgla surowego unosi się i w zależności od gęstości ziaren materiału różnicuje się. I tak materiał lżejszy znajduje się na powierzchni złoża zawieszonemu, a bardziej gęste frakcje znajdują się w dolnej jego partii. Materiał drobny w nadawie wraz z powietrzem stanowi autogeniczny ośrodek (medium), tzn. tworzy z powietrzem zawiesinę (suspensję) „powietrze-ciało stałe” nazywane czasami złożem fluidalnym. Medium to tworzy w rezultacie warunki do skrępowanego opadania cząstek złoża w zależności od ich wielkości i gęstości.

W powietrznych stołach koncentracyjnych wykorzystuje się efekt upłynnienia, który powstaje w wyniku interakcji pomiędzy gęstością drobnych cząstek stanowiących zawiesinę a bardziej gruboziarnistymi cząstkami złoża, co doprowadza do poprawy rozdziału frakcji gruboziarnistych [1, 2, 5].

Proces wzbogacania przebiega podobnie do procesu wzbogacania w cieczy ciężkiej. Z uwagi na to, że powietrzny stół koncentracyjny pochylony jest w kierunku poprzecznym, materiał o małej gęstości znajdujący się na powierzchni złoża fluidalnego ma tendencję do przesuwania się po tej powierzchni i spadania w sposób ciągły, pod wpływem sił grawitacji, poprzez przegrodę usytuowaną na brzegu stołu (tzw. przesypanie węgla

wzbogaconego). Materiał o wyższej gęstości koncentruje się w dolnej części złoża fluidalnego i przesuwają się w kierunku wylotu odpadów, poprzez płytę kierującą do zsypu odpadów. W zależności od rodzaju nadawy i sposobu ustawienia urządzenia może być wytwarzanych wiele rodzajów produktów dostosowanych do wymogów użytkowników [5, 11, 12]. Mając na uwadze ochronę środowiska przed zapyleniem – stół przykryty jest zadaniem wraz z zabudowanym odpylaczem, gdzie utrzymywane jest ujemne ciśnienie. Zgodnie z danymi podawanymi przez producenta 75% zapyłonego powietrza cyrkuluje w obiegu, tzn. za pomocą wentylatora przechodzi przez odpylacz cyklonowy i jest powtórnie używane. Natomiast 25% powietrza po odpyleniu przez odpylacz workowy ze sprawnością 99,5% uchodzi do atmosfery. W ten sposób urządzenie spełnia surowe wymogi standardów ochrony środowiska [3, 5, 8].

1.2. Zastosowanie procesu suchego odkamieniania

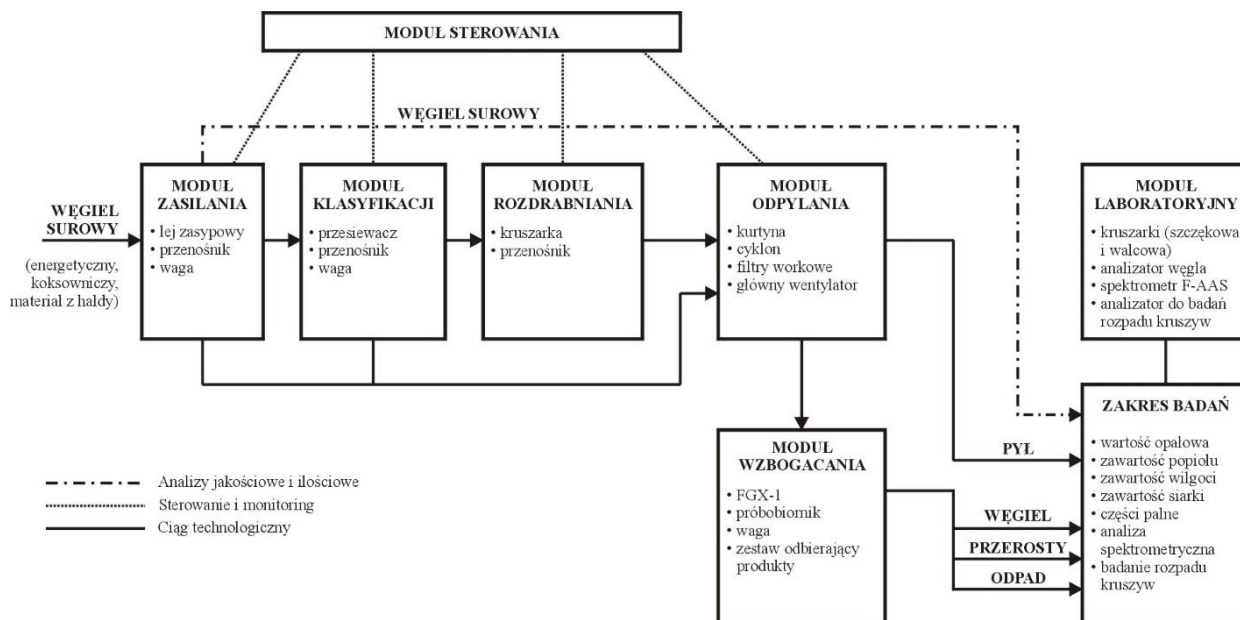
Instalacje suchego odkamieniania urobku węglowego mogą być samodzielnymi zakładami wzbogacania węgla klasy ziarnowej 100 (80), (75), (50) itd. mm. Mogą one w układzie technologicznym zakładu przerobczego zastąpić proces mokrego wzbogacania w osadzarkach.

Instalacje suchego odkamieniania mogą również być czymś w rodzaju „by pasa” w węzle wzbogacania w istniejących zakładach przerobczych pozwalającego na odpylenie najdrobniejszych ziaren urobku i usunięcie pewnej ilości kamienia przed podaniem częściowo wzbogaconego urobku do mokrych procesów wzbogacania, gdy wymagana jest niska zawartość popiołu w produkcie handlowym, zmniejszając równocześnie ilość ziaren urobku trafiających do obiegu wodno-mułowego.

Zastosowanie procesu suchego odkamieniania umożliwia:

- obniżenie kosztów inwestycyjnych (rezygnując z mokrych metod wzbogacania i zastępując je metodą suchą (patrz rozdział 4) poprzez budowanie samodzielnych zakładów suchego wzbogacania,
- ograniczenie kosztów związanych z produkcją węglowych sortymentów handlowych i tym

* Artykuł był opublikowany w Monografii „Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych” KOMEXO 2016. Wyd. KOMAG. Gliwice



Rys. 1. Schemat blokowy instalacji badawczej [źródło: opracowanie własne]

- samym zwiększenia konkurencyjności na rynku europejskim i światowym,
- obniżenie kosztów eksploatacyjnych procesu mokrego wzbogacania przy zastosowaniu „by pasów” poprzez zmniejszenie kosztownej gospodarki wodno-mułowej, mniejsze zużycie wody i energii, ograniczenie ilości instalacji i urządzeń oraz dłuższą ich żywotność,
 - aplikację rozwiązania technologicznego jako elementu istniejących ciągów technologicznych wzbogacania węgla energetycznych z wykorzystaniem metod mokrych,
 - efektywne odkamienianie (usunięcie skały płonnej) i odsiarczanie (usunięcie siarki pirytovej) z urobku węgla energetycznych o granulacji 80-0 mm,
 - produkcję wysokojakościowych ekologicznych paliw kwalifikowanych,
 - efektywne wykorzystanie wytwarzanych w tym rozwiązaniu technologicznym produktów odpadowych

- jako substytutu kruszyw naturalnych w pracach drogowych i inżynierskich oraz jako materiału do wypełniania pustek poeksploatacyjnych.
- odzysk substancji węglowej z odpadów wydobywczych zdeponowanych w środowisku,
 - możliwość wtórnego oczyszczania produktów mokrego wzbogacania gdy są ku temu przesłanki technologiczne [1, 3, 8, 9].

2. Instalacja badawcza do suchego odkamieniania węgla wyposażona w powietrzny stół koncentracyjnych typu FGX-1

Na rys 1. przedstawiono schemat blokowy instalacji badawczej do suchego odkamieniania węgla wyposażonej w powietrzny stół koncentracyjnych typu FGX-1.

W skład mobilnej instalacji badawczej Instytutu MBiGS przeznaczonej do suchego odkamieniania wchodzi 6 modułów, których dane techniczne przedstawiono poniżej:

1. MODUŁ ZASILANIA

Lp.	Nazwa urządzenia	Zbiornik zasypowy
1.	Pojemność zbiornika	12 [m ³]; Producent Artech Sp. z o.o.
2.	Wymiary	2700 × 2000 × 4234 [mm]
3.	Elementy składowe	segment górny z sitem zasypowym o oczkach 240 × 240 mm, segment środkowy z zamontowanym elektrowibratorem, segment dolny
4.	Waga	3100 kg
5.	Włot zbiornika	zakryty dla ochrony zmagazynowanego materiału przed opadami atmosferycznymi
6.	Sposób załadunku	załadunek z wykorzystaniem koparko – ładowarki typu „Ostrówek”
7.	Dodatkowe wyposażenie	elektrowibrator zapobiegający oblepianiu się ścian zbiornika typu MVE 300/1 o mocy 0,75 kW (230V)

Lp.	Nazwa urządzenia	Dozownik taśmowy
1.	Typ	AR – PT4; Producent Artech Sp. z o.o.
2.	Szerokość taśmy	650 [mm]
3.	Rodzaj taśmy	tkaninowo – gumowa, trudno palna, ilość przekładek – 2
4.	Napęd	motoreduktor NORD SK 9082.AZ BHK-160MH4 o mocy znamionowej 11 kW
5.	Elementy składowe	stacja napędowa, stacja zwrotna, podpora przenośnika I, podpora przenośnika II, uchwyt krążka dolnego, zespół bębna napędowego, bęben wieszakowy, elementy złączne
6.	Zasilanie	400 [V]
7.	Dodatkowe wyposażenie	falownik (w szafie sterowniczej), system napinania taśmy
Lp.	Nazwa urządzenia	Przenośnik taśmowy
1.	Typ	AR – PT5; Producent Artech Sp. z o.o.
2.	Wydajność	30 [Mg/h]
3.	Szerokość taśmy	650 [mm]
4.	Rodzaj taśmy	tkaninowo – gumowa, trudno palna, ilość przekładek – 2
5.	Napęd	motoreduktor NORD SK 9042.1AZ BDH-100AH/4 o mocy znamionowej 3 kW
6.	Elementy składowe	stacja napędowa, stacja zwrotna, podpora stała, podpora przenośnika II, zaczep, kosz zasypowy, zgarniacz skośny, elementy złączne
7.	Zasilanie	400 [V]
8.	Dodatkowe wyposażenie	system napinania taśmy, linkowe wyłączniki bezpieczeństwa, sygnalizacja akustyczna wyprzedzająca ruch taśmy, czujnik ruchu taśmy
Lp.	Nazwa urządzenia	Waga taśmowa
1.	Typ	WAGTROL 2; Producent Introl Sp. z o. o.
2.	Zakres wskazań	od 2 do 50 [Mg/h]
3.	Klasa dokładności	1
4.	Sposób monitorowania danych	wyświetlacz zewnętrzny odporny na warunki atmosferyczne
5.	Sposób przekazywania danych	porty komunikacji zewnętrznej RS 232 i 485
6.	Sposób archiwizacji danych	program do obsługi wagi z możliwością rejestracji wyników
7.	Zasilanie	230 [V]

2. MODUŁ KLASYFIKACJI

Lp.	Nazwa urządzenia	Przesiewacz wibracyjny
1.	Typ	WK2 - 1,3 × 3,0; Producent Mifama Sp. z o.o.
2.	Powierzchnia sit [m ²]	pokład górny sit – 3,6 [m ²]; pokład dolny sit – 3,2 [m ²]
3.	Rodzaj sita	pokład górny – sito plecione o oczku 50 mm, pokład dolny – sito plecione o oczku 25 mm
4.	Kąt pochylenia rzeszota	12°÷20°
5.	Skok rzeszota	10±1 [mm]
6.	Napięcie zasilania	400 [V]
7.	Dodatkowe wyposażenie	sito plecione o oczku 6 mm
8.	Napęd	silnik elektryczny typu Sg 160L8 o mocy znamionowej 7,5 kW
Lp.	Nazwa urządzenia	Przenośnik taśmowy
1.	Typ	AR – PT5
2.	Wydajność	do 30 [Mg/h]
3.	Szerokość taśmy	650 [mm]
4.	Rodzaj taśmy	tkaninowo-gumowa, trudno zapalna, ilość przekładek – 2

5.	Zasilanie	400 [V]
6.	Dodatkowe wyposażenie	napęd zwrotny, system napinania taśmy, linkowe wyłączniki bezpieczeństwa, sygnalizacja akustyczna wyprzedzająca ruch taśmy, czujnik ruchu taśmy

3. MODUŁ ROZDRABNIANIA

Lp.	Nazwa urządzenia	Podajnik wibracyjny – zsuwnia
1.	Typ	80 - 5 wyk. II; Producent Mifama Sp. z o.o.
2.	Zabudowa	wykonanie II – przód podparty, tył podparty
3.	Rodzaj podparcia	4 zespoły sprężyn
4.	Kąt pochylenia	0÷10 [°]
5.	Zasilanie	400 [V]
6.	Napęd	silnik elektryczny typu 1LE1002-1CC23-4AA4-2N03 o mocy znamionowej 4 kW
Lp.	Nazwa urządzenia	Kruszarka szczękowa
1.	Typ	AR – KS1; Producent Artech Sp. z o.o.
2.	Wydajność	od 1 do 22 [m ³ /h] w zależności od nastawy szczeliny wylotowej
3.	Maksymalna wielkość ziarna (nadawy)	320 x 600 [mm]
4.	Wielkość szczeliny wylotowej	od 5 do 97 [mm]
5.	Grubość podkładek do regulacji szczeliny wylotowej	od 0 do 50 [mm]
6.	Napęd	silnik elektryczny typu dSg250M8 o mocy znamionowej 30 kW
7.	Twardość kruszonego materiału	do 300 MPa
8.	Waga	7000 kg
9.	Napięcie zasilania	400/690 [V]
10.	Dodatkowe wyposażenie	przekładnia pasowa (5 pasów SPB)
Lp.	Nazwa urządzenia	Przenośnik taśmowy
1.	Typ	AR – PT4
2.	Wydajność	do 30 [Mg/h]
3.	Szerokość taśmy	650 [mm]
4.	Rodzaj taśmy	tkaninowo – gumowa, trudno zapalna, ilość przekładek – 2
5.	Zasilanie	400 [V]
6.	Dodatkowe wyposażenie	napęd zwrotny, system napinania taśmy, linkowe wyłączniki bezpieczeństwa, sygnalizacja akustyczna wyprzedzająca ruch taśmy, czujnik ruchu taśmy

4. MODUŁ WZBOGACANIA

Lp.	Nazwa urządzenia	Przenośnik taśmowy ilość - 3 sztuki
1.	Typ	AR – PT 5; Producent Artech Sp. z o.o.
2.	Wydajność	30 [Mg/h]
3.	Szerokość taśmy	650 [mm]
4.	Rodzaj taśmy	tkaninowo – gumowa, trudno zapalna, ilość przekładek – 2
5.	Napęd	motoreduktor NORD SK 9042.1AZ BDH-100AH/4 o mocy znamionowej 3 kW
6.	Elementy składowe	stacja napędowa, stacja zwrotna, podpora stała, podpora przenośnika II, zaczep, kosz zasypowy, zgarniacz skośny, elementy złączone
7.	Zasilanie	400 [V]
8.	Dodatkowe wyposażenie	napęd zwrotny, system napinania taśmy, linkowe wyłączniki bezpieczeństwa, sygnalizacja akustyczna wyprzedzająca ruch taśmy, czujnik ruchu taśmy

Lp.	Nazwa urządzenia	Waga przenośnikowa ilość – 3 sztuki
1.	Typ	WAGTROL 2; Producent Introl Sp. z o. o.
2.	Wydajność	od 2 do 50 [Mg/h]
3.	Klasa dokładności	1
4.	Sposób monitorowania danych	wyświetlacz zewnętrzny odporny na warunki atmosferyczne
5.	Sposób przekazywania danych	porty komunikacji zewnętrznej RS 232 i 485
6.	Sposób archiwizacji danych	program do obsługi wagi z możliwością rejestracji wyników
7.	Zasilanie	230 [V]
Lp.	Nazwa urządzenia	Przenośnik taśmowy ilość – 1 sztuka
1.	Producent	WAMPOL Sp. z o.o.
2.	Wydajność	30 [Mg/h]
3.	Szerokość taśmy	650 [mm]
4.	Rodzaj taśmy	tkaninowo – gumowa, trudno zapalna, ilość przekładek – 2
5.	Elementy składowe	stacja napędowa, stacja zwrotna, podpora wsporcza mobilna na kołach, kosz zasypowy, zgarniacz skośny
6.	Zasilanie	400 [V]
Lp.	Nazwa urządzenia	Powietrzny stół koncentracyjny
1.	Typ	FGX-1
2.	Producent	Tangshan Shenzhou Machinery Co., Ltd. Chiny
3.	Wydajność	10 [Mg/h]
4.	Max. uziarnienie nadawy	60 [mm]
5.	Max. wilgotność nadawy	12–20%
6.	Wymiary (długość, wysokość, szerokość)	5,7 × 3,1 × 6,0 [m]
7.	Moc urządzeń	24,63 [kW]
8.	Wysokość kosza zasypowego	5 [m]
9.	Wysokość kolektorów produktów rozdziału	1,5 m

5. MODUŁ ODPYLANIA

Moduł odpylania wraz z modułem wzbogacania stanowi integralną część instalacji FGX i ma na celu ułowienie (wychwytywanie) pyłu z obiegu powietrza cyrkulującego w urządzeniu FGX-1, a tym samym ochronę środowiska naturalnego przed zapyleniem.

W skład modułu odpylania wchodzi:

- gumowa kurtyna (okap) uszczelniająca, zabudowana nad płytą roboczą powietrznego stołu koncentracyjnego,
- kolektor odprowadzający zanieczyszczone pyłem powietrze z początkowej przestrzeni nad płytą roboczą powietrznego stołu koncentracyjnego do cyklonu odpylającego,
- pionowo zabudowany, pracujący w podciśnieniu cyklon, służący do wytrącania ziaren pyłu. Wytrącone ziarna pyłu są odprowadzane z cyklonu przenośnikiem ślimakowym,
- kolektor odprowadzający zanieczyszczone pyłem powietrze z pozostałej przestrzeni nad płytą roboczą powietrznego stołu koncentracyjnego do baterii filtrów workowych,
- bateria filtrów workowych zakończona zbiornikiem do magazynowania wytrąconego pyłu wraz

- z urządzeniem wstrząsowym. Okresowo uruchamiany mechanizm wstrząsowy powoduje opróżnianie worków filtracyjnych z nagromadzonych ziaren pyłowych. W skład baterii filtrów workowych wchodzi niezależnie pracujący wentylator wyciągowy (pomocniczy) służący do wytworzenia podciśnienia w końcowej części przestrzeni nad płytą roboczą oraz do wytworzenia ciągu zapyłonego powietrza o kierunku umożliwiającym skierowanie go do procesu filtracji,
- główny wentylator wyciągowy służący do wytworzenia podciśnienia w początkowej przestrzeni objętej kurtyną gumową nad płytą roboczą oraz w cyklonie.

Zgodnie z danymi podawanymi przez producenta około 75% zapyłonego powietrza cyrkuluje w obiegu, tzn. za pomocą wentylatora przechodzi przez odpylacz cyklonowy i jest powtórnie używane. Pozostała część powietrza jest odpylana przez odpylacz workowy i uchodzi do atmosfery. Sprawność zastosowanego procesu odpylania wynosi 99,5%. Wydzielone z układów odpylania ziarna pyłu stanowią oddzielny produkt prowadzonego procesu suchej separacji [9, 13].

6. MODUŁ STEROWANIA

Moduł sterowania stanowi szafa sterownicza umożliwiająca sekwencyjne uruchamianie urządzeń z poszczególnych modułów rozbudowanej instalacji do suchej separacji węgla.

Szafa sterownicza przy tak rozbudowanej instalacji daje możliwość wyboru pracy poszczególnych wybranych modułów. Stanowi też ważny element zachowania warunków bezpieczeństwa podczas rozruchu i wyłączenia urządzeń [14, 15].

3. Wyniki badań pilotażowych suchej separacji węgla

3.1. Badania mające na celu uzyskanie czystych produktów węglowych o możliwie wysokiej wartości opałowej

Odkamienianie urobku węglowego w instalacjach FGX, jak to już powyżej przedstawiono, ma na celu usunięcie możliwie największej ilości skały płonnej

znajdującej się w urobku węglowym. Dzięki częściowemu wzbogaceniu urobku otrzymuje się w wielu przypadkach produkty handlowe, które posiadają parametry jakościowe odpowiadające parametrom gwarancyjnym kotłów w energetyce a w związku z tym są akceptowane przez odbiorców. Przeprowadzono szereg badań nad odkamienianiem węgla surowego w celu sprawdzenia jakie można uzyskać rezultaty przy wykorzystaniu stołów typu FGX. Wyniki niektórych badań zestawiono w tabelach 1 – 10.

Jak łatwo zauważyć analizując dane zamieszczone w tabeli 5 ziarna klasy ziarnowej poniżej 6 mm wzbogacają się znacznie gorzej niż ziarna klasy ziarnowej powyżej 6 mm. Przy dużym udziale klasy 6 – 0 mm korzystne jest jej odsianie przed podaniem pozostałego urobku do procesu odkamieniania na stołach typu FGX. Należy tu jednak dodać, że pewna ilość tej klasy jest potrzebna aby utworzyć złożę fluidalne. Ilości te dobiera się doświadczalnie [3, 5].

Odkamienianie klasy ziarnowej 20 – 0 mm

Tabela 1. Wyniki badań węgla surowego o granulacji 20 – 0 mm – próba badawcza Nr 1

Węgiel surowy 20 – 0 mm					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Przerost	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	31,7	21,2	29,5	80,5
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	9,6	9,0	8,4	5,3
3.	Zawartość siarki [%]	0,56	0,62	0,68	0,44
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	17 151	21 558	18 885	1 860
5.	Wychód [%]	100	77	3	18

W bilansie produkt pyłowy stanowił 2% (nie wykonano oznaczeń)

Tabela 2. Wyniki badań dla węgla surowego o granulacji 20 – 0 mm – próba badawcza Nr 2

Węgiel surowy 20 – 0 mm					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Przerost	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	31,8	21,8	40,6	85,7
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	10,3	5,0	4,4	2,2
3.	Zawartość siarki [%]	0,69	0,62	0,61	1,28
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	19 244	24 383	14 459	1 307
5.	Wychód [%]	100	71	15	12

W bilansie produkt pyłowy stanowił 2% (nie wykonano oznaczeń)

Tabela 3. Wyniki badań węgla surowego o granulacji 20 – 0 mm – próba badawcza Nr 3

Węgiel surowy 20 – 0 mm					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Przerost	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	35,0	23,9	38,6	83,4
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	7,08	6,3	6,36	2,84
3.	Zawartość siarki [%]	0,54	0,59	0,53	0,16
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	17 329	21 641	13 906	1 311
5.	Wychód [%]	100	66,3	18,5	15,2

Tabela 4. Wyniki badań węgla surowego o granulacji 20 – 0 mm – próba badawcza Nr 4*)

Węgiel surowy 20 – 0 mm						
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Przerost	Odpad	Pył
1.	Zawartość popiołu [%]	35,2	29,9	39,9	72,0	26,7
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	8,8	5,2	5,0	2,9	3,7
3.	Zawartość siarki [%]	0,59	0,65	0,56	0,29	0,68
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	17 160	20 352	16 680	5 423	21 563
5.	Wychód [%]	100	58,4	24,4	15,4	1,8

*) – Próba badawcza zawierała bardzo duży udział, niekorzystnej podczas wzbogacania klasy ziarnowej poniżej 6 mm. Jej wpływ zilustrowano w tabeli 5

Tabela 5. Wyniki rozkasyfikowania koncentratu z próby badawczej Nr 4

Koncentrat z próby badawczej Nr 4			
Lp.	Nazwa parametru	Klasa –6 mm	Klasa +6 mm
1.	Zawartość popiołu [%]	28,6	16,9
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	8,2	5,0
3.	Zawartość siarki [%]	0,63	0,59
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	19 648	25 250
5.	Wychód [%]	54	4,4

Tabela 6. Wyniki odkamieniania produktu odpadowego o granulacji 20 – 0 mm

Produkt odpadowy 20 – 0 mm				
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	66,2	8,2	87,1
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	3,2	5,5	2,0
3.	Zawartość siarki [%]	0,42	0,78	0,21
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	6 630	27 614	*)
5.	Wychód [%]	100	25,9	74,1

*) – minimalna wartość opałowa – brak możliwości pomiaru

Odkamienianie klasy ziarnowej 25 – 8 mm

Tabela 7. Wyniki badań węgla surowego o granulacji 25 – 8 mm

Węgiel surowy 25 – 8 mm					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Przerost	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	35,9	28,0	65,8	86,1
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	8,7	6,9	3,8	2,3
3.	Zawartość siarki [%]	0,55	0,60	0,33	0,39
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	16 727	20 941	5 494	948
5.	Wychód [%]	100	81,4	1,6	14,0

Odkamienianie klasy ziarnowej 90 – 0 mm

Tabela 8. Wyniki badań (wstępne odkamienianie) węgla surowego o granulacji 90 – 0 mm

Węgiel surowy 90 – 0 mm					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Odpad	Pył
1.	Zawartość popiołu [%]	20,9	13,9	43,5	18,5
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	10,2	10,77	8,1	12,6
3.	Zawartość siarki [%]	0,23	0,25	0,22	0,33
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	20 802	22 931	13 530	20 618
5.	Wychód [%]	100	75,8	23,6	0,6

Tabela 9. Wyniki wtórnego odkamieniania produktu odpadowego otrzymanego w wyniku wstępnego odkamieniania węgla surowego o granulacji 90 – 0 mm

Produkt odpadowy 90 – 0 mm				
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	41,7	17,23	70,4
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	10,2	10,88	6,2
3.	Zawartość siarki [%]	0,41	0,44	0,18
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	13 530	21 805	3 783
5.	Wychód [%]	100	53,9	46,1

Odkamienianie klasy ziarnowej 8 – 0 mm

Tabela 10. Wyniki badań dla węgla surowego o granulacji 8 – 0 mm

Węgiel surowy 8 – 0 mm					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Odpad	Pył
1.	Zawartość popiołu [%]	41,3	33,1	54,3	37,2
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	7,4	6,88	64,4	6,0
3.	Zawartość siarki [%]	0,76	0,84	0,64	0,82
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	15 870	18 245	11 416	16 809
5.	Wychód [%]	100	60,4	33,5	6,1

Wyniki zestawione w powyższych tabelach pokazują, że rezultaty odkamieniania są różne dla węgla pochodzących z różnych kopalń. Dla niektórych węgla są bardzo korzystne, dla innych mniej. Przed wdrożeniem instalacji FGX do praktyki przemysłowej należy przeprowadzić szczegółowe badania. W tym właśnie celu IMBiGS zakupił doświadczalne stanowisko badawcze powietrznej separacji urobku węglowego.

3.2. Badania możliwości usuwania siarki z produktów handlowych

Otrzymywane w wyniku wzbogacania w osadzarkach produkty handlowe czasami zawierają podwyższoną

zawartość siarki. W przypadkach gdy siarka występuje w postaci pirytu oznacza to, że trafił on do koncentratu (tzw. węgiel płukany) na skutek niedokładności procesu rozdziału. Przeprowadzono badania możliwości jej usunięcia poddając ten produkt wtórnemu wzbogacaniu na instalacji FGX. Niektóre rezultaty pokazano w tabelach 11 – 14.

Analizując uzyskane wyniki wtórnego wzbogacania produktów handlowych można stwierdzić, że istnieje możliwość obniżenia w nich zawartości siarki. W poniższych tabelach zamieszczono przykłady gdy operacje te dały pożądany skutek. Nie zawsze to jest możliwe a zależy, jak już uprzednio wspomniano, od udziału

Tabela 11. Wyniki badań węgla płukanego o granulacji 25 – 6 mm – próba badawcza Nr 1

Nadawa - węgiel płukany 25 – 6 mm-					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Przerost	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	10,5	5,5	10,5	23,5
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	17,9	18,2	17,8	14,2
3.	Zawartość siarki [%]	1,90	0,86	1,70	5,88
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	21 255	23 074	22 424	18 038
5.	Wychód [%]	100	20,6	67,7	9,7

Tabela 12. Wyniki badań węgla płukanego o granulacji 25 – 6 mm – próba badawcza Nr 2

Nadawa - węgiel płukany 25 – 6 mm				
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	17,0	6,9	28,5
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	15,0	14,5	11,7
3.	Zawartość siarki [%]	1,46	0,88	2,16
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	19 853	23 456	16 938
5.	Wychód [%]	100	58	42,0

Tabela 13. Wyniki badań węgla płukanego o granulacji 25 – 6 mm – próba badawcza Nr 3

Nadawa - węgiel płukany 25 – 6 mm					
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat	Przerost	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	13,6	6,7	10,4	25,8
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	14,9	15,3	14,1	11,7
3.	Zawartość siarki [%]	1,17	0,99	1,01	2,94
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	21 305	23 568	22 541	18 086
5.	Wychód [%]	100	76,0	5,0	19,0

Tabela 14. Wyniki badań węgla płukanego o granulacji 31,5 – 8 mm – próba badawcza Nr 4

Nadawa - węgiel płukany 31,5 – 8 mm						
Lp.	Nazwa parametru	Nadawa	Koncentrat [+6 mm]	Koncentrat [-6 mm]	Przerost	Odpad
1.	Zawartość popiołu [%]	8,3	6,6	13,2	7,8	12,1
2.	Zawartość wilgoci całkowitej [%]	17,3	17,0	19,7	17,3	15,7
3.	Zawartość siarki [%]	1,36	0,97	1,32	1,24	3,08
4.	Wartość opałowa [kJ/kg]	22 124	22 843	19 576	22 361	21 200
5.	Wychód [%]	100	13,7	6,5	62,0	17,8

siarki pirytowej w nadawie. Przytoczone w tabelach wyniki wskazują, że badania takie w niektórych przypadkach mogą w znakomity sposób poprawić jakość produktów handlowych.

4 Efektywność ekonomiczna technologii suchej separacji węgla

Analizę efektywności ekonomicznej technologii suchej separacji węgla przedstawiono w oparciu o dane zawarte w raportach [14, 15, 18]:

4.1. Analiza ekonomiczna technologii suchej separacji w instalacji FGX-12 w USA [15, 18]

Tabela 15. Przybliżone nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne^{*)}

Rodzaj procesu	Nakłady inwestycyjne	Koszty operacyjne
	\$/tonę/h	\$/Mg
Technologia suchej separacji z wykorzystaniem powietrznego stołu koncentracyjnego typu FGX	6 200	0,50
Mokre metody wzbogacania	13 000	1,95

^{*)} *Nakłady i koszty odnoszą się do pojedynczej instalacji*

Z przedstawionego w tabeli 15 zestawienia wynika, że nakłady inwestycyjne przy zastosowaniu technologii suchej separacji stanowią 48% nakładów inwestycyjnych w odniesieniu do mokrych metod wzbogacania (prawie 2-krotnie niższe). Natomiast koszty operacyjne przy zastosowaniu technologii suchej separacji stanowią 25 % kosztów operacyjnych dla mokrych metod wzbogacania (4-krotnie niższe).

W cytowanym opracowaniu autor stwierdza zasadność zastosowania technologii suchej separacji w celu usunięcia skały płonnej (odkamienienia) z urobku węglowego w miejscu jego powstawania i tym samym znacznego zmniejszenia kosztów transportu oczyszczonego produktu do zakładów wzbogacania lub do odbiorcy finalnego.

4.2. Wyniki i analiza kosztowa instalacji 2 FGX-24 w kopalni Middelkraal Colliery (RPA) po wprowadzeniu technologii suchej separacji [14]

Firma Xantium (obecnie Genet Mineral Processing) przeprowadziła badania na pilotażowej instalacji typu FGX w celu zaprojektowania dwóch przemysłowych zakładów przeróbki z zastosowaniem technologii suchej separacji. Zakłady te obecnie pracują w sposób zadowalający w Middelkraal Colliery i Onverdacht Colliery. Ocenę efektywności ekonomicznej technologii suchej separacji przeprowadzono na przykładzie, pracującej w kopalni Middelkraal Colliery (o rocznym wydobyciu 3.000.000 Mg), instalacji 2 × FGX-24 o wydajności 480 Mg/h. Nadawę do instalacji stanowił urobek węglowy klasy ziarnowej 50-6 mm. W tabeli 16 przedstawiono uproszczony wynik finansowy.

Z przedstawionego w tabeli 16 zestawienia wynika, że biorąc pod uwagę roczną wielkość przychodów ze sprzedaży węgla wzbogaconego technologią suchej separacji z uwzględnieniem kosztów operacyjnych i poniesionych nakładów inwestycyjnych, okres zwrotu inwestycji [PP] wynosi 0,72 lat, przy stopie zwrotu [ROI] wynoszącej 0,39.

W raporcie zaprezentowano również przybliżone nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne technologii suchej separacji w porównaniu do mokrych metod wzbogacania z wykorzystaniem cyklonów z cieczą ciężką – tabela 17.

Tabela 16. Uproszczony wynik finansowy

Lp.	Wskaźniki	
Parametry ilościowe, jakościowe oraz przychody		
1.	Produkt węglowy [Mg/r]	2 055 000
2.	Odpady [Mg/r]	945 000
3.	Wartość opałowia [MJ/kg]	20,51
4.	Zawartość popiołu [%]	30,37
5.	Wilgotność zewnętrzna [%]	4,0
6.	Wilgotność wewnętrzna [%]	3,6
7.	Wilgotność całkowita [%]	7,46
8.	Cena za Mg [w Randach]	171,28
9.	Przychody ze sprzedaży/rok [w Randach]	366 646 000
Koszty operacyjne/rok [w Randach]		
10.	Wydobycie	300 000 000
11.	Kruszenie i przesiewanie	7 500 000
12.	Wzbogacanie	11 550 000
13.	Unieszkodliwienie odpadów	2 362 000
14.	Suma kosztów operacyjnych	321 412 000
Nakłady inwestycyjne [w Randach]		
15.	Zakład wzbogacania	17 500 000
16.	Stacja przygotowania produktu handlowego	15 000 000
17.	Całkowite nakłady inwestycyjne	32 500 000
18.	Zysk netto/rok {Poz.9-Poz.14}	45 233 750
19.	Okres zwrotu (w latach) tzw. [PP] {Poz. 17/Poz. 18}	0,72
20.	Stopa zwrotu z inwestycji tzw. [ROI] {Poz. 18-Poz.17/Poz.17}	0,39

Rand (waluta w RPA) 1 R = 0,25 PLN

Tabela 17. Przybliżone nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne*

Rodzaj zakładu	Nakłady inwestycyjne	Koszty operacyjne
	[Rand**]	[Rand**]/rok
Technologia suchej separacji z wykorzystaniem powietrznego stołu koncentracyjnego typu FGX	17.500.000	11.550.000
Mokre metody wzbogacania z wykorzystaniem cyklonów z cieczą ciężką	70.000.000	35.700.000

*) *Nakłady i koszty te odnoszą się tylko do procesów wzbogacania i nie uwzględniają kosztów procesów kruszenia, przesiewania i usuwania wydzielanych odpadów;*

***) *Rand (waluta w RPA) 1R = 0,15\$ (dane z 2011r.)*

Z przedstawionego w tabeli 17 zestawienia wynika, że nakłady inwestycyjne przy zastosowaniu technologii suchej separacji stanowią 25% nakładów inwestycyjnych w odniesieniu do mokrych metod wzbogacania (4 krotnie niższe). Natomiast koszty operacyjne przy

zastosowaniu technologii suchej separacji stanowią 32% kosztów operacyjnych dla mokrych metod wzbogacania (3 krotnie niższe).

Dokonano również porównania okres zwrotu inwestycji [PP] i stopy zwrotu z inwestycji [ROI] dla ww. technologii. – tabela 18.

Tabela 18. Przybliżone wartości [PP] i [ROI]

Rodzaj zakładu	Okres zwrotu	Stopa zwrotu z inwestycji
	[lata]	[%]
Technologia suchej separacji z wykorzystaniem powietrznego stołu koncentracyjnego typu FGX	0,72	39
Mokre metody wzbogacania z wykorzystaniem cyklonów z cieczą ciężką	0,92	9

W oparciu o powyższe wskaźniki można stwierdzić, że technologia suchej separacji jest bardziej efektywna ekonomicznie od technologii wzbogacania w cyklonach z cieczą ciężką. Ponadto autor raportu stwierdza, że zastosowana technologia suchej separacji jest rozwiązaniem w pełni dojrzałym i nie przewiduje w najbliższym okresie czasu znaczących udoskonaleń i zmian dotyczących ww. technologii.

5. Podsumowanie

W USA i w RPA (a także w wielu innych krajach) nie stosuje się obecnie wzbogacania w osadzarkach lecz wzbogacanie w cyklonach z cieczą ciężką. Powodem jest stosunkowo mała dokładność rozdziału osadzarek powodująca duże straty substancji węglowej w odpadach i w ewentualnym produkcie pośrednim. Badania prowadzone w Australii, RPA, USA, a także przeprowadzone przez ITG KOMAG (prezentacje na konferencjach KOMEXO), potwierdzają powyższą opinię. Według danych literaturowych wskaźnik dokładności rozdziału (rozproszenie prawdopodobne) w cyklonach z cieczą ciężką waha się w granicach 0,04-0,12, w osadzarkach w granicach 0,14 – 0,2, a dla separatorów FGX kształtuje się na poziomie 0,2 – 0,25. Często jednak w warunkach przemysłowych wskaźnik dokładności rozdziału dla osadzarek w wyniku ich złej pracy dochodzi nawet do poziomu 0,31.

Wzbogacanie w osadzarkach prowadzone jest przy gęstości rozdziału w granicach 1.45 – 1.8 g/cm³. Odkamienianie w instalacjach FGX przebiega w strefie frakcji o gęstości powyżej 2,0 g/cm³. A więc mniejsza dokładność rozdziału nie ma większego znaczenia, gdyż w tych warunkach rozdziału substancja węglowa (przy uregulowanej pracy urządzenia) nie trafia do odpadów. Z tego też względu suche odkamienianie urobku węglowego w separatorach FGX z powodzeniem może zastąpić osadzarki w krajowych zakładach wzbogacania węgla i w projektowanych nowych sekcjach wzbogacania średnich i drobnych klas. Przynosi to znaczne korzyści ekonomiczne. Należy tu dodać, że częściowo odkamieniony produkt węglowy spełnia wymagania jakościowe (parametry gwarancyjne kotłów) krajowych odbiorców z elektrowni i elektrociepłowni [10].

Suche wzbogacanie urobku węglowego stwarza możliwość uproszczenia układu technologicznego zakładów przeróbki węgla kamiennego. Instalacje te mogą być też samodzielnymi zakładami wzbogacania (tak pracuje ponad 2000 instalacji w Chinach i w niektórych innych krajach). Dzięki bardzo niskim kosztom inwestycyjnym są one konkurencją dla mokrych sposobów wzbogacania. Bardzo niskie koszty operacyjne powodują, że metoda ta jest ekonomicznie opłacalna co może pozwolić na obniżenie kosztów wytwarzania produktów handlowych w krajowych kopalniach poprawiając ich rentowność. Zdaniem autorów suche odkamienianie węgla surowego powinno być powszechnie stosowane w polskim górnictwie węgla kamiennego.

Na Światowym Kongresie Przeróbki Węgla (Istambul 2013r.) amerykańskie, w swym wystąpieniu, proces wzbogacania w instalacjach FGX nazwali „technologią XXI wieku” [17].

Literatura

1. Baic I., Blaschke W.: Analiza możliwości wykorzystania powietrznych stołów koncentracyjnych do otrzymywania węglowych paliw kwalifikowanych i substytutów kruszyw. *Polityka Energetyczna*, 2013, Tom 16, zeszyt 3. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2013., s. 247 – 260.
2. Baic I., Blaschke W., Sobko W., Szafarczyk J., Okarmus P.: Badania możliwości usuwania kamienia z urobku węgla koksowego na powietrznych stołach koncentracyjnych. Monografia – „Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych” „KOMEKO 2014”.Wyd. ITG KOMAG, Gliwice 2014, s. 65 – 79.
3. Baic I., Blaschke W., Sobko W.: Ekologiczne oczyszczanie urobku węgla kamiennego za pomocą powietrznych stołów koncentracyjnych. Na mokro czy na sucho. *Kwartalnik Ekologia*. Wyd. Polska Izba Ekologii nr 1/69 2014, s. 32 – 24.
4. Baic I., Blaschke W., Sobko W., Szafarczyk J., Buchalik G.: Nowoczesne powietrzne stoły koncentracyjne do wzbogacania węgla kamiennego. Materiały Konferencyjne „Nowoczesne rozwiązania z zakresu procesów technologicznych przeróbki węgla”. Wyd. CNP EMAG (płyta CD), Katowice-Szczyrk 2014,s. 60 – 71.
5. Baic I., Blaschke W., Sobko W., Szafarczyk.: Badania nad wzbogacaniem węgla kamiennych na powietrznych stołach koncentracyjnych. *Wiadomości Górnicze* nr 7-8, 2014, s.417 – 421.
6. Baic I., Blaschke W., Szafarczyk J.: The First FGX Unit in the European Union. *CPSI Journal – a Magazine by the Coal Preparation Society of India*. Vol. VI. No16, 2014, s. 5 – 12.
7. Baic I., Blaschke W., Buchalik G., Szafarczyk J.: The First FGX Unit in the European Union. Thesis Collection of FGX Dry Coal Preparation Technology. Tangshan Shenzhou Manufacturing Co., Ltd. Chiny 2015, s. 21 – 27.
8. Baic I., Blaschke W., Sobko W.: Badania nad odkamienianiem energetycznego węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych, *Rocznik Ochrony Środowiska “Annual Set The Environment Protection”*, Vol. 17, 2015, Wyd. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Koszalin, str. 958 – 972.
9. Baic I., Blaschke W., Góralczyk S., Szafarczyk J., Buchalik G.: Nowa ekologiczna metoda usuwania zanieczyszczeń skałą płonną z urobku węgla kamiennego, *Rocznik Ochrony Środowiska “Annual Set The Environment Protection”*, Vol. 17, 2015, Wyd. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Koszalin, str. 1274-1284.
10. Blaschke W., Baic I.: Wykorzystanie powietrznych stołów koncentracyjnych do otrzymywania substytutów kruszyw metodą deshalingu, *Kruszywa*. Z. 3, 2013, s. 48 – 50.
11. Blaschke W.: Nowa generacja powietrznych stołów koncentracyjnych. *Zeszyty Naukowe Instytutu GSMiE PAN* nr 84, 2013.
12. Blaschke W., Baic I.: Otrzymywanie substytutów kruszyw z wykorzystaniem metody deshalingu. International conference “The new mineral policy and progressive Technologies in Mining, Geology and Environment”, Wyd. Slovakian Mining Society. Demianowska Dolina – Słowacja 2013, pp. 121 – 125.
13. Blaschke W., Okarmus P., Ziomber S.: Skuteczność suchego odkamieniania węgla koksowego metodą separacji na powietrznych stołach koncentracyjnych. Monografia – „Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych” „KOMEKO 2014”.Wyd. ITG KOMAG, Gliwice 2014, s. 81 – 91.
14. G.J. de Korte, Dry Processing of Coal–Status Update. Report Csi/Nre/Mmr/Er/2014/0040/B, Coaltech, South Africa, July 2014.
15. Honaker R.Q.; Coarse Dry Coal Cleaning; University of Kentucky, Department of Mining Engineering, Lexington, Kentucky, USA; Workshop on Coal Beneficiation and Utilization of Rejects: Initiatives, Policies and Best Practices Ranchi, India, 2007.
16. Sobko W., Blaschke W., Fraś A.: Odsiarczanie i odpielanie produktu „Jaret” z wykorzystaniem powietrznego stołu koncentracyjnego. Monografia – „Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych” „KOMEKO 2015”.Wyd. ITG KOMAG, (płyta CD) Gliwice 2015, s. 81 – 90
17. Ghosh T., Honaker R.Q., Patil D., Parekh B.K.: Up grading low rank coal using a dry density – based separator technology. *Proceedings of the 17th International Coal Preparation Congress*, Istambul, 2013 s. 295 – 300.
18. Honaker R.Q., Luttrell G.H.: Development of an advanced deshaling technology to improve the energy efficiency of coal handling, processing, and utilization operation. U. S. Department of Energy. Industrial Technologies Program, Mining of the Future. ID Number: DE-FC 26-05 NT 42501. Final technical report. 2005 – 2007.