

Badania możliwości zastosowania trapezoidalnego cyklu pulsacji wody dla osadzarkowego wzbogacania nadaw średnioziarnowych w klasie 60-0,5 mm

dr inż. Daniel Kowol
Michał Łagódka
dr inż. Piotr Matusiak
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Skuteczność procesu wzbogacania nadaw węglowych w osadzarkach wodnych pulsacyjnych jest zależna od szeregu czynników. Charakterystyka ruchu pulsacyjnego wody wpływa w największym stopniu zarówno na dokładność grawitacyjnego rozdziału ziaren, jak i na wydajność urządzenia. W artykule przedstawiono badania laboratoryjne, na podstawie których opracowano i zweryfikowano doświadczalnie metodę kształtowania krzywej pulsacji wody w formie trapezoidalnego przebiegu w osadzarkach wodnych pulsacyjnych średnioziarnowych. Porównano wpływ trapezoidalnego i sinusoidalnego cyklu pulsacji wody na skuteczność rozdziału nadawy średnioziarnowej.

Słowa kluczowe: wzbogacanie węgla, osadzarka pulsacyjna, cykl pulsacji, badania cyklu trapezoidalnego,

Keywords: coal beneficiation, pulsating jig, pulsation cycle, tests of trapezoidal cycle

Abstract:

The effectiveness of beneficiation of coal feeds in water pulsating jigs depends on few factors. Characteristics of water pulsating movement affect both accuracy of gravitational separation of grains and efficiency of the device.

Laboratory tests, being a basis of the method for shaping the water pulsation curve in a form of trapezoidal characteristics in water pulsating jigs for medium-grain feeds was developed and verified, are presented. Impact of trapezoidal and sinusoidal water pulsation cycle on effectiveness of separation of medium-grain feed is compared.

1. Wstęp

Charakterystyka ruchu pulsacyjnego wody w osadzarkach wodnych pulsacyjnych jest jednym z najistotniejszych czynników determinujących skuteczność procesu wzbogacania nadaw węglowych [1, 2, 3, 6, 8, 9]. Wpływa ona zarówno na dokładność grawitacyjnego rozdziału ziaren wg gęstości, jak i na wydajność urządzenia.

Wynika to z faktu, że zarówno rozwarstwienie materiału, jak i jego transport wzdłuż koryta roboczego osadzarki następuje tylko w warunkach rozluźnienia, w wyniku pulsacyjnego oddziaływania strumienia wody. W nowoczesnych osadzarkach wodnych pulsacyjnych, wyposażonych w elektroniczne systemy sterowania zaworami pulsacyjnymi, istnieje możliwość doboru parametrów ruchu pulsacyjnego do uziarnienia nadawy, obciążenia osadzarki oraz oporu przepływu wody przez materiał i sita. Najczęściej stosowany jest sinusoidalny cykl ruchu pulsacyjnego wody. Charakteryzuje się on naprzemiennym oddziaływaniem strumienia wznoszącego i opadającego wody na rozdzielany materiał w komorze roboczej. Innym rodzajem ruchu pulsacyjnego wody, stosowanym w osadzarkach, jest cykl dający trapezoidalny wykres krzywej pulsacji. Charakteryzuje się on, w zależności od rozwiązań osadzarki wodnej pulsacyjnej, dwiema lub trzema posobnymi fazami wlotu sprężonego powietrza do komór powietrzno-wodnych i jedną fazą wylotu zużytego powietrza, w pojedynczym cyklu pulsacji.

Uzyskanie najkorzystniejszego, względem dokładności rozdziału materiału, przebiegu pulsacji wody w osadzarkach wodnych pulsacyjnych wymaga uwzględnienia składu gęstościowego i ziarnowego nadawy. Powoduje to, że dla różnego rozmiaru ziaren nadawy wymagane jest stosowanie różnych cykli pulsacji wody.

Dla osadzarkowego wzbogacania miałów węglowych w klasie ziarnowej 20-0,5 mm, charakteryzujących się niekorzystnym udziałem ziaren równopadających o różnej gęstości, wysoką dokładność rozdziału materiału uzyskuje się przy sinusoidalnym cyklu pulsacji. W części osadzarek stosowany jest również cykl o przebiegu trapezoidalnym, który wymaga zwiększenia ilości faz wlotu w pojedynczym cyklu pulsacji. W osadzarkach wodnych pulsacyjnych, z podsitowymi komorami pulsacyjnymi, ilość faz wlotu powietrza w pojedynczym cyklu pulsacji ograniczona jest do dwóch. W urządzeniach wyposażonych w boczne komory pulsacyjne możliwe jest stosowanie trzech faz wlotu powietrza w pojedynczym cyklu pulsacji. W niektórych osadzarkach wodnych pulsacyjnych, posiadających podsitowe komory pulsacyjne, trapezoidalny przebieg krzywej pulsacji wody realizowany jest poprzez zastosowanie dwuciśnieniowego zasilania sprężonym powietrzem roboczym z osobnych dmuchaw. Wyniki badań zastosowania trapezoidalnego przebiegu pulsacji wody do wzbogacania miałów węglowych wykazują, że może on wpływać korzystnie na skuteczność procesu rozdziału [4, 5, 6].

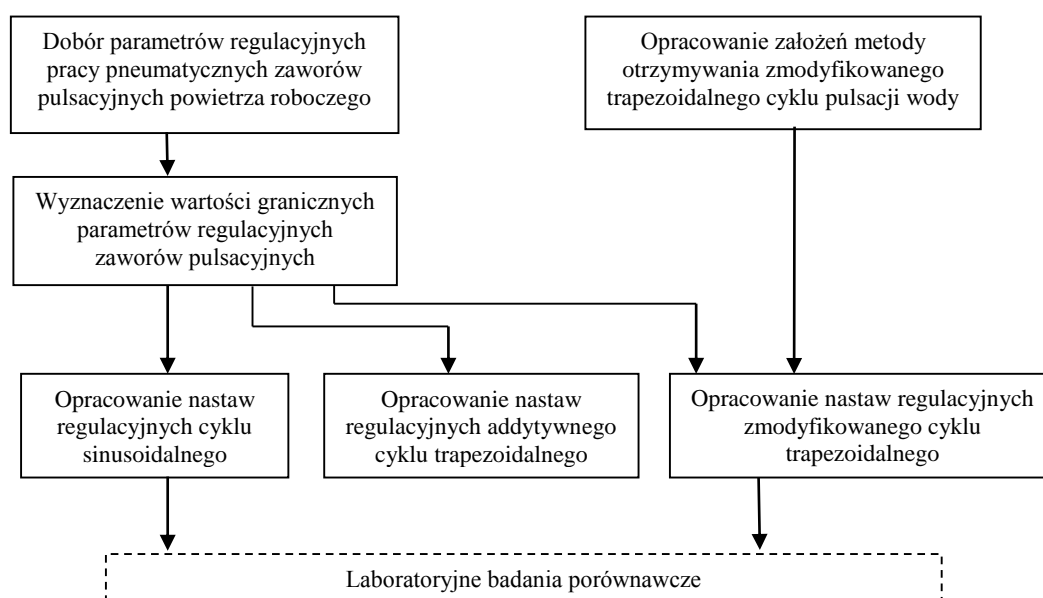
Zastosowanie cyklu trapezoidalnego do wzbogacania nadaw o większym uziarnieniu, o rozmiarze do 60 mm, wymaga większego skoku pulsacji i jest utrudnione ze względu na zbliżoną objętość komór pulsacyjnych w osadzarkach miałowych i średnioziarnowych.

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, których celem było uzyskanie możliwości kształtowania trapezoidalnego cyklu pulsacji wody, dostosowanego do wzbogacania nadaw średnioziarnowych. Zaprezentowano również wyniki porównawczych badań wpływu sinusoidalnego i trapezoidalnego cyklu pulsacji wody na skuteczność rozdziału nadawy średnioziarnowej [7].

2. Opracowanie metody kształtowania trapezoidalnego cyklu pulsacji dla nadaw średnioziarnowych

W celu opracowania metody kształtowania trapezoidalnego cyklu pulsacji dla nadaw średnioziarnowych przeprowadzono badania laboratoryjne na osadzarce doświadczalnej wyposażonej w elektroniczny system sterowania typu KOMAG.

Algorytm prac badawczych przedstawiono na rysunku 1.



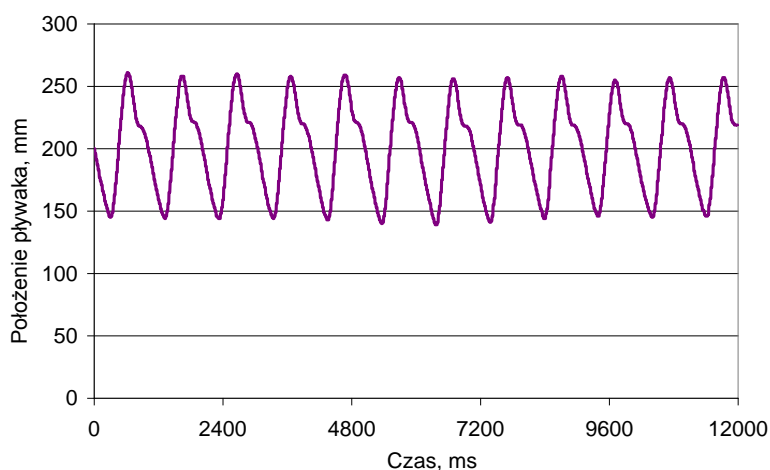
Rys. 1. Algorytm przeprowadzonych badań laboratoryjnych [7]

W pierwszym etapie badań stosowano cykle o przebiegu sinusoidalnym. Określono wpływ parametrów regulacyjnych pracy zaworów talerzowych na charakterystykę ruchu pulsacyjnego wody. Wyznaczono również graniczne (minimalne) wartości parametrów regulacyjnych zaworów pulsacyjnych. W drugim etapie dobrano parametry regulacyjne przepływu powietrza dla cykli trapezoidalnych w oparciu o wyniki poprzednich prób. Badania ukierunkowane były na maksymalizację wykorzystania objętości komór pulsacyjnych i uzyskania możliwie największego skoku pulsacji wody w komorze roboczej osadzarki.

Jednym z założeń technologii otrzymywania trapezoidalnego cyklu pulsacji wody w osadzarkach wodnych pulsacyjnych do wzbogacania nadaw średnioziarnowych było wykorzystanie pojedynczego źródła zasilania osadzarki sprężonym powietrzem roboczym.

W celu obciążenia powierzchni sitowej komory roboczej wypełniono ją ziarnami odpadowymi o gęstości $> 1,8 \text{ g/cm}^3$ w klasie 60-20 mm.

Badania wpływu czasu otwarcia zaworów pulsacyjnych na skok pulsacji wody i graniczne wartości nastaw czasu pracy napędów zaworów pulsacyjnych przeprowadzono dla cyklu sinusoidalnego realizowanego w czasie 1000 ms. W trakcie badań różnicowano czas otwarcia zaworów oraz przerwy pomiędzy pojedynczymi fazami wlotu i wylotu powietrza roboczego. Zmiany położenia lustra wody w komorze roboczej osadzarki, mierzone za pomocą pływaka, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Położenie pływaka pomiarowego – cykl sinusoidalny [7]

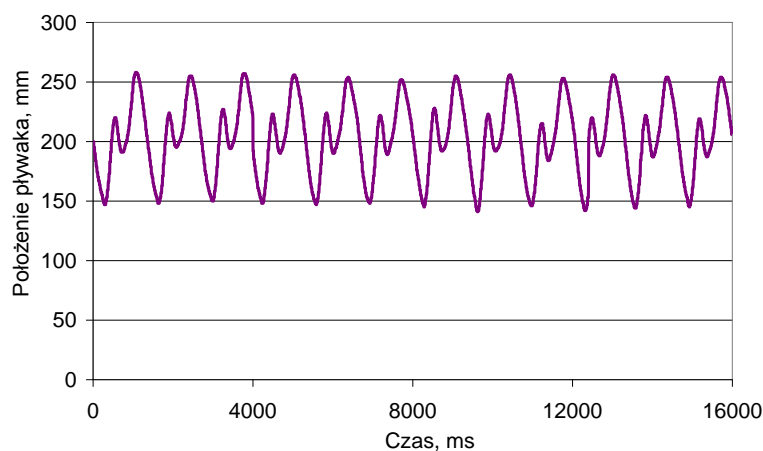
Badania wykazały, że stosowanie czasów wynoszących 100-150 ms, dla przerwy pomiędzy fazą wylotu a fazą wlotu powietrza, powoduje zmniejszenie skoku pulsacji wody. Stwierdzono również, że stosowanie czasu otwarcia zaworu pulsacyjnego mniejszego niż 100 ms nie jest efektywnie realizowane przez pneumatyczny napęd zaworu.

W oparciu o opracowane nastawy regulacyjne, dla cyklu sinusoidalnego, przeprowadzono próby technologiczne z wykorzystaniem wielokrotnego wlotu powietrza roboczego podczas pojedynczego cyklu pulsacji, w celu uzyskania przebiegu trapezoidalnego.

Rezultatem przeprowadzonych prób było wyznaczenie dwóch zestawów nastaw regulacyjnych umożliwiających uzyskiwanie cykli pulsacji o dwóch i trzech fazach wlotu powietrza.

Opracowanie cyklu o dwóch fazach wlotu powietrza i pojedynczej fazie wylotu powietrza polegało na doborze czasu poszczególnych faz przepływu powietrza przez komory pulsacyjne oraz przerw pomiędzy nimi przy założonej minimalizacji czasu trwania cyklu pulsacji.

Zastosowanie trapezoidalnego przebiegu pulsacji, o czasie trwania pojedynczego cyklu wynoszącego 1340 ms, charakteryzowało graniczne wykorzystanie objętości komór pulsacyjnych, uniemożliwiające wprowadzenie kolejnej fazy wlotu powietrza. Zmiany położenia lustra wody w komorze roboczej osadzarki, mierzone za pomocą pływka, przedstawiono na rysunku 3.

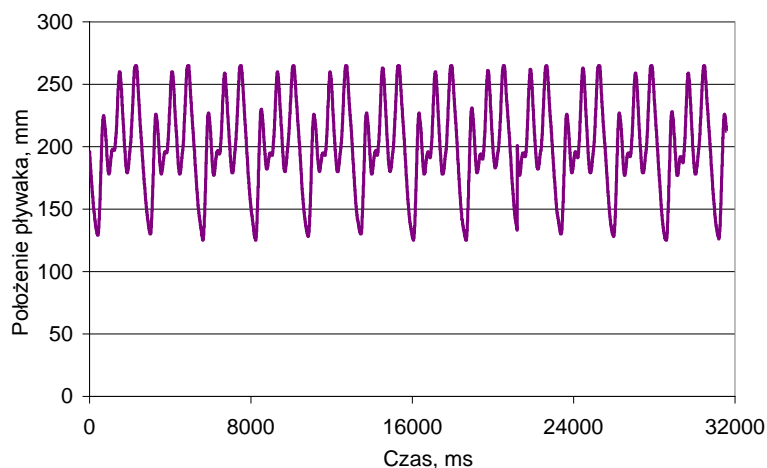


Rys. 3. Położenie pływaka pomiarowego – cykl trapezoidalny addytywny [7]

W celu dalszego zwiększenia ilości faz wlotu powietrza w pojedynczym cyklu pulsacji opracowano nastawy regulacyjne wykorzystujące możliwość wprowadzania, pomiędzy kolejnymi fazami wlotu, krótkotrwałych faz wylotu, dla obniżenia ciśnienia powietrza w komorach pulsacyjnych. W wyniku zastosowania powyższej metody regulacji przepływu powietrza pulsacyjnego następowało podniesienie poziomu wody w komorach pulsacyjnych w stopniu pozwalającym na realizowanie kolejnej fazy wlotu powietrza.

Stosując powyższą metodę regulacji przepływu powietrza, opracowano zmodyfikowany trapezoidalny cykl pulsacji o trzech fazach wlotu i wylotu powietrza, przy czym dwie pierwsze, krótkotrwałe fazy wylotu, realizowane po dwóch fazach wlotu, służyły do zwiększenia objętości operacyjnej komór pulsacyjnych. W wyniku modyfikacji uzyskano wydłużenie czasu utrzymywania podwyższonego poziomu wody i rozluźnienia materiału w komorze roboczej osadzarki przy zmniejszonym, w porównaniu do początkowego, skoku pulsacji wody.

Uzyskany czas trwania pojedynczego cyklu pulsacji o trzech fazach wlotu powietrza wyniósł 2600 ms. Zmiany położenia lustra wody w komorze roboczej osadzarki, mierzone za pomocą pływka, przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Położenie pływaka pomiarowego – cykl trapezoidalny zmodyfikowany [7]

Parametry regulacyjne badanych cykli pulsacji zestawiono w tabeli 1.

Parametry pracy zaworów pulsacyjnych w badanych cyklach pulsacji [7]

Tabela 1

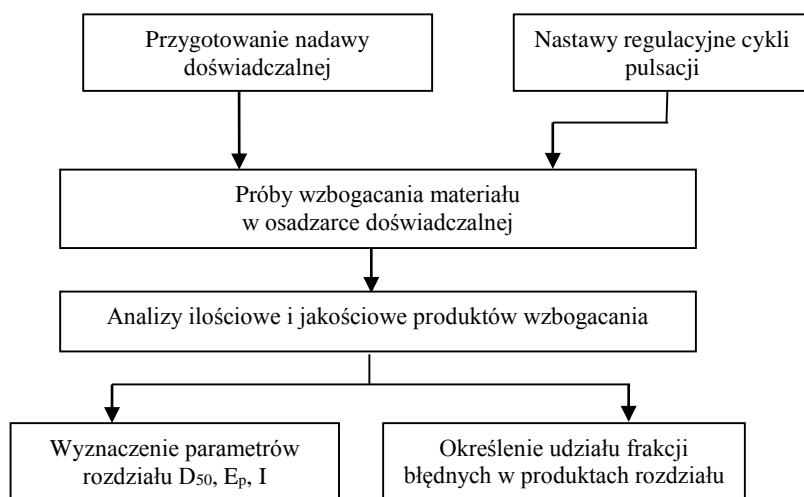
T [MS]	Cykl sinusoidalny	Cykl trapezoidalny addytywny	Cykl trapezoidalny zmodyfikowany
Czas pojedynczego cyklu	1000	1340	2600
Wlot 1	220	170	160
Przerwa 1	310	400	100
Wylot 1	320	-	100
Przerwa 2	150	-	440
Wlot 2	-	120	160
Przerwa 3	-	100	150
Wylot 2	-	-	150
Przerwa 4	-	-	340
Wlot 3	-	-	160
Przerwa 5	-	-	150
Wylot 3	-	450	540
Przerwa 6	-	100	150
Skok wody całkowity, [mm]	115	109	138
Skok wody fazowy, [mm]	-	77/64	100/82/85

Opracowany zmodyfikowany, trapezoidalny cykl pulsacji, zawierający dodatkowe fazy wylotu powietrza, charakteryzuje się:

- możliwością stosowania w osadzarkach wodnych pulsacyjnych do wzbogacania nadaw średnioziarnowych, gdzie wymagany jest duży skok pulsacji wody,
- zwiększonym zakresem doboru ilości faz pulsacji wody w cyklu,
- dłuższym czasem realizacji pojedynczego cyklu,
- większym skokiem pulsacji wody w okresie podtrzymywania jej wysokiego poziomu w komorze roboczej.

3. Porównanie sinusoidalnego i zmodyfikowanego trapezoidalnego cyklu pulsacji

Algorytm laboratoryjnych badań porównawczych cykli pulsacji wody, przedstawiono na rysunku 5. W badaniach porównawczych stosowano nadawę węglową w klasie ziarnowej 60-0,5 mm. Przeprowadzono dwie próby wzbogacania materiału w osadzarkę laboratoryjnej. W pierwszej, stosowano sinusoidalną charakterystykę pulsacji wody o częstotliwości $f=60 \text{ min}^{-1}$ i o czasie trwania pojedynczego cyklu wynoszącym 1000 ms (uzyskiwano go stosując w cyklu pojedyncze fazy wlotu i wylotu powietrza, do i z komory pulsacyjnej).



Rys. 5. Algorytm porównawczych badań laboratoryjnych [7]

W drugiej zastosowano zmodyfikowany, trapezoidalny przebieg pulsacji wody o częstotliwości $f=23 \text{ min}^{-1}$ i o czasie trwania pojedynczego cyklu wynoszącym 2600 ms.

W wyniku procesu wzbogacania nadawy otrzymano produkt „lekki” (koncentrat), o niskiej gęstości, odprowadzany przelewem na sito odwadniające oraz rozwarstwiony gęstościowo materiał w komorze roboczej, stanowiący produkt dolny rozdziału o wyższej gęstości.

Produkt dolny dzielono na dwie warstwy. Warstwa dolna stanowiąca produkt „ciężki” (odpady), usytuowana była na sicie komory roboczej i miała zawsze stałą wysokość. Warstwę górną materiału jako produkt „przejściowy” (półprodukt) oddzielano w celu uzyskania możliwości wariantowego wyznaczania gęstości rozdziału podczas oceny skuteczności procesu wzbogacania.

Sposób przeprowadzania prób wynikał z ograniczeń konstrukcyjnych osadzarki doświadczalnej, projektowanej do analiz procesu wzbogacania nadaw o uziarnieniu do 20 (30) mm, podczas których możliwe jest odprowadzanie z komory roboczej produktu ciężkiego przez szczelinowy przepust.

Otrzymywane podczas prób rozdziału produkty poddawano analizom gęstościowym w cieczach ciężkich o gęstości 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0 i 2,1 g/cm^3 , w celu określenia parametrów procesu wzbogacania, takich jak: gęstość rozdziału (D_{50}), rozproszenie prawdopodobne (E_p) oraz imperfekcja (I).

Wyniki analiz gęstościowych produktów wykorzystano do oceny jakości produktu koncentratowego i odpadowego, dla dwuproduktowego procesu wzbogacania materiału, zaliczając produkt „przejściowy” jako składnik ww. produktów.

3.1. Wyniki badań

Określenie wartości współczynników E_p i I , charakteryzujących skuteczność rozdziału materiału, w próbie z sinusoidalnym cyklem pulsacji było możliwe dla dwóch gęstości rozdziału ($D_{50}=2,044 \text{ g/cm}^3$, $D_{50}=1,489 \text{ g/cm}^3$) poprzez alternatywne dodanie materiału warstwy przejściowej do produktu „lekkiego” lub „ciężkiego”. W próbie ze zmodyfikowanym, trapezoidalnym cyklem pulsacji parametry procesu rozdziału określono dla jednej gęstości rozdziału ($D_{50}=1,783 \text{ g/cm}^3$), ze względu na brak możliwości wyznaczenia wszystkich liczb rozdziału, w wymaganym zakresie (od 25 do 75%), w przypadku dodania warstwy „przejściowej” do produktu „ciężkiego”.

Cykl sinusoidalny można scharakteryzować w następujący sposób.

Wyniki wzbogacania materiału z zastosowaniem sinusoidalnego cyklu pulsacji wody o pojedynczej fazie wlotu powietrza do komory pulsacyjnej umożliwiły wyznaczenie parametrów rozdziału dla dwóch gęstości rozdziału 1,489 g/cm³ i 2,044 g/cm³.

Przy rozdziale warstw, podczas którego materiał warstwy „przejsiowej” zaliczono do produktu odpadowego, produkt koncentratowy o wychodzie 23,4%, ze względu na niską gęstość rozdziału ($D_{50}=1,489 \text{ g/cm}^3$), charakteryzował się niską zawartością ziaren odpadowych o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$, wynoszącą 0,9%.

Produkt odpadowy o wychodzie 76,6% zawierał bardzo duże ilości ziaren koncentratowych o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$, których udział wyniósł 5,0%.

Przy rozdziale warstw, polegającym na zaliczaniu materiału warstwy „przejsiowej” do produktu koncentratowego, produkt koncentratowy o wychodzie 39,3% zawierał znaczne ilości ziaren odpadowych o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$ oraz przerostowych o gęstości 1,5-1,8 g/cm³, których sumaryczny udział wyniósł 36,4%. Udział frakcji odpadowych w ww. produkcie był równy 15,4%.

Produkt odpadowy, o wychodzie 60,7%, charakteryzował się małym udziałem ziaren koncentratowych ($<1,5 \text{ g/cm}^3$) oraz przerostowych (1,5-1,8 g/cm³) i wyniósł odpowiednio 0,37 i 1,1%.

Uzyskane wyniki gęstościowego rozdziału nadawy i produktów wzbogacania zestawiono w tabeli 2.

Wyniki rozdziału nadawy i produktów wzbogacania - Cykl sinusoidalny [7]

Tabela 2

Gęstość frakcji, [g/cm ³]	Koncentrat (1)	Półprodukt (2)	Koncentrat + Półprodukt (3)	Odpady (4)
	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %
<1,5	91,44	22,59	63,59	0,37
1,5-1,8	7,64	40,79	21,05	1,10
>1,8	0,92	36,62	15,36	98,53
Suma	100,00	100,00	100,00	100,00
Wychód produktu, %	23,42	15,90	39,32	60,68
Gęstość frakcji, [g/cm ³]	Półprodukt + Odpady (5)	Nadawa (6)	Liczby rozdziału	
	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %	R1 (4/6)	R2 (5/6)
<1,5	4,98	25,23	0,88	15,12
1,5-1,8	9,34	8,94	7,44	79,99
>1,8	85,68	65,83	90,83	99,67
Suma	100,00	100,00		
Wychód produktu, %	76,58	100,00		

Cykl trapezoidalny zmodyfikowany można scharakteryzować w następujący sposób.

W wyniku realizacji próby wzbogacania materiału z zastosowaniem zmodyfikowanego trapezoidalnego cyklu pulsacji, o trzech fazach wlotu powietrza, analizowano rozdział, w którym produktem koncentratowym był materiał produktu „lekkiego” i warstwy „prześciowej”, a produktem odpadowym materiał warstwy dolnej.

Produkt koncentratowy o wychodzie 33,3 %, ze względu na znaczny udział w nadawie ziaren odpadowych o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$, przekraczający 60%, zawierał 6,3% ziaren frakcji $>1,8 \text{ g/cm}^3$. Produkt odpadowy o wychodzie 66,5% charakteryzował się bardzo małym udziałem ziaren frakcji koncentratowych o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$ wynoszącym 0,23%.

Uzyskane wyniki gęstościowego rozdziału nadawy i produktów wzbogacania zestawiono w tabeli 3.

Wyniki rozdziału nadawy i produktów wzbogacania - Cykl trapezoidalny [7]

Tabela 3

Gęstość frakcji, g/cm^3	Koncentrat (1)	Półprodukt (2)	Koncentrat + Półprodukt (3)	Odpady (4)
	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %
<1,5	98,93	68,52	77,12	0,23
1,5-1,8	0,83	22,75	16,55	3,62
>1,8	0,24	8,73	6,33	96,15
Suma	100,00	100,00	100,00	100,00
Wychód produktu, %	9,42	23,89	33,31	66,69
Gęstość frakcji, g/cm^3	Półprodukt + Odpady (5)	Nadawa (6)	Liczby rozdziału	
	wychód frakcji, %	wychód frakcji, %	R1 (4/6)	R2 (5/6)
<1,5	18,24	25,84	0,59	63,94
1,5-1,8	8,67	7,93	30,47	99,02
>1,8	73,09	66,23	96,82	99,97
Suma	100,00	100,00		
Wychód produktu, %	90,58	100,00		

Skuteczność rozdziału w zależności od kształtu cyklu pulsacji

Analiza wychodów produktu „lekkiego” (koncentratowego) wykazała, że w próbie z sinusoidalnym cyklem pulsacji był on znacznie większy (23,4%) w porównaniu z cyklem trapezoidalnym (9,4%).

Różnice w wychodzie i jakości produktu „lekkiego” wpłynęły na parametry warstwy „prześciowej” materiału w komorze roboczej osadzarki. W próbie z cyklem sinusoidalnym wychód ww. warstwy, wynoszący 15,9%, był mniejszy niż w próbie z cyklem trapezoidalnym - 23,9%.

Analiza wychodów warstwy dolnej wykazała, że w próbie ze zmodyfikowanym cyklem trapezoidalnym wychód wynoszący 66,9% był większy o 6% od uzyskanego w próbie z cyklem sinusoidalnym. Przyczyną mniejszego wychodu warstwy dolnej w próbie z cyklem sinusoidalnym było większe, w porównaniu do próby z cyklem trapezoidalnym, rozluźnienie

materiału, ograniczające zagęszczenie ziaren w warstwie podczas fazy ich osadzania na powierzchni sita komory roboczej.

Porównanie skuteczności rozdziału uzyskanego podczas prób wzbogacania w oparciu o rozproszenie prawdopodobne E_p i imperfekcję I wykazało, że ww. wskaźniki technologiczne uzyskane podczas realizacji próby z cyklem trapezoidalnym, przy $D_{50}=1,783 \text{ g/cm}^3$ ($E_p=1,805 \text{ g/cm}^3$, $I=0,231$) zawierają się w zakresie wartości uzyskanych w próbie z cyklem sinusoidalnym dla gęstości rozdziału $D_{50}=1,489 \text{ g/cm}^3$ ($E_p=0,139 \text{ g/cm}^3$, $I=0,284$) i $D_{50}=2,044 \text{ g/cm}^3$ ($E_p=0,206$, $I=0,197$).

Wartości D_{50} , E_p i I wskazują, że podczas badań uzyskano zbliżoną skuteczność rozdziału materiału w klasie ziarnowej 60-0,5 mm, przy zastosowanych parametrach sinusoidalnego i trapezoidalnego cyklu pulsacji wody, dla zakresu gęstości ziaren przyrodziałowych, odpowiadającemu zakresowi liczb rozdziału od 25% do 75%. Uzyskane w badaniach parametry procesu rozdziału zestawiono w tabeli 4.

Parametry procesu rozdziału [7]

Tabela 4

Parametr	Cykl sinusoidalny		Cykl trapezoidalny
	Rozdział I (R1)	Rozdział II (R2)	Rozdział I (R1)
Gęstość rozdziału D_{50} , g/cm^3	2,044	1,489	1,783
Rozproszenie prawdopodobne E_p , g/cm^3	0,206	0,139	0,181
Imperfekcja I	0,197	0,284	0,231

Znaczne zróżnicowanie gęstości rozdziału D_{50} , uniemożliwiające bezpośrednie porównanie wartości E_p i I w uzyskanych próbach rozwarstwiania materiału, dla obydwu cykli pulsacji, wynikało zarówno z różnic parametrów ruchu pulsacyjnego wody, jak i wpływu rozmiaru największych ziaren na wysokość rozdzielanych warstw, a tym samym na ich ograniczoną ilość.

Analiza skuteczności rozdziału materiału w pozostałym zakresie gęstościowym frakcji wykazała, że w porównaniu do wyników z próby z sinusoidalnym cyklem pulsacji wody, gdy gęstość rozdziału D_{50} była równa $2,044 \text{ g/cm}^3$, wyniki próby z cyklem trapezoidalnym wykazały korzystne zmniejszenie udziału ziaren koncentratowych o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$ w produkcie odpadowym (warstwa dolna). Rozdział ww. ziaren w tym produkcie obniżył się z 0,88% do 0,59%, pomimo znacznie mniejszej gęstości rozdziału D_{50} , wynoszącej $1,783 \text{ g/cm}^3$.

4. Podsumowanie

Wyniki badań porównawczych sinusoidalnego i trapezoidalnego cyklu pulsacji wykazały, że mogą one być alternatywnie stosowane w procesie jedno- i dwustopniowego osadzarkowego wzbogacania węglowych nadaw średnioziarnowych.

Trapezoidalny cykl pulsacji wody, w porównaniu do sinusoidalnego, zapewnia większą skuteczność rozdziału nadaw w klasie 60-0,5 mm, ze względu na mniejszy udział ziaren substancji palnej (o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$) w produkcie odpadowym.

Skuteczność rozdziału materiału w klasie 60-0,5 mm, uzyskiwana przy stosowaniu trapezoidalnego i sinusoidalnego cyklu pulsacji wody oraz charakteryzowana rozproszeniem

prawdopodobnym i imperfekcją, dla zakresu gęstości ziaren przyrozdziałowych, kształtuje się na zbliżonym poziomie.

Cykl sinusoidalny, w porównaniu do trapezoidalnego, zapewnia możliwość uzyskiwania większego rozluźnienia materiału i większej wydajności osadzarki wodnej pulsacyjnej.

Stosowanie trapezoidalnego cyklu pulsacji wody może powodować konieczność zmniejszenia wydajności osadzarki wodnej pulsacyjnej, w przypadku wzbogacania nadaw o znacznym, przekraczającym 40%, udziale ziaren frakcji odpadowych.

Literatura

- [1] Breuer H., Jungmann A.: New potentials in jigging separation for fine and ultra fine fractions. *Aufbereitungs-Technik* 1986, nr 7, s. 380-386.
- [2] Fellensiek E.: Improving the actual separation efficiency of jigs. *Aufbereitungs-Technik* 1986, nr 12, s. 649-658.
- [3] Głowiak S.: O możliwości poprawy efektywności wzbogacania w wodnej osadzance pulsacyjnej poprzez zastosowanie niekonwencjonalnego cyklu pulsacji. W: *Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopaliny: XIV Konferencja, Szczyrk, 28-30 maja 2008*. Gliwice: Politechnika Śląska, 2008, s. 35-47.
- [4] Kowol D., Jędo A., Osoba M., Łagódka M.: Badania efektywności wzbogacania mialu węglowego o uziarnieniu 20(30)-0,5 mm w wodnych osadzarkach pulsacyjnych typu KOMAG. *Maszyny Górnicze* 2002, nr 90, s. 40-46.
- [5] Kowol D. i in.: Badania wpływu uziarnienia oraz składu grawimetrycznego klas ziarnowych na wyniki procesu osadzarkowego wzbogacania nadaw węglowych. ITG KOMAG, Gliwice 2012-2013 (materiały niepublikowane).
- [6] Lutyński A., Osoba M.: Wpływ charakterystyki pulsacji wody w wodnych osadzarkach pulsacyjnych na proces pozyskiwania wybranych produktów mineralnych. Gliwice: CMG KOMAG, 2007, ISBN 978-83-60708-06-4.
- [7] Łagódka M. i in.: Opracowanie technologii otrzymywania trapezoidalnego cyklu pulsacji wody w osadzarkach średnioziarnowych wzbogacających nadawy w klasie 60-0,5 mm. ITG KOMAG, Gliwice 2015 (materiały niepublikowane).
- [8] Matusiak P., Łagódka M., Kowol D.: Badania laboratoryjne wpływu parametrów przepływu powietrza na zmiany poziomu wody i ciśnienia w komorze pulsacyjnej osadzarki. W: *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych: Bezpieczeństwo, Jakość, Efektywność: KOMEKO 2014*. Red. nauk.: A. Klich, A. Kozieł. Gliwice: ITG KOMAG, 2014, s. 299-310.
- [9] Onodera J., Koyanagi N., Kubo Y.: Badania eksploatacyjne osadzarki powietrzno - pulsacyjnej typu „Varivawe” w zakładzie przeróbczym Mitsumi Miike. *Nowe technologie i nowe urządzenia do przeróbki węgla: XII Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla*. Kraków, 23-27 maja 1994. T.1. Kraków: Oficyna Wydawnicza JAXA, 1994, s. 297-308.