



<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMEKO2021.1>

Badania skuteczności osadzarkowego procesu wzbogacania mialów węgla koksowych w wąskich klasach ziarnowych

Daniel Kowol – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Piotr Matusiak – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono wyniki badań skuteczności wzbogacania mialów koksowych, charakteryzujących się znacznym udziałem klasy ziarnowej 3-0 mm, w oparciu o analizy gęstościowego rozdziału materiału 25-0,5 mm. W celu określenia wpływu udziału drobnych ziaren w nadawie na skuteczność osadzarkowego procesu wzbogacania wyznaczono parametry rozdziału materiału w wąskich klasach ziarnowych. Przedstawiono koncepcje rozwiązań, których zastosowanie pozwoli na wzrost skuteczności procesu wzbogacania węgla koksowych w osadzarkach mialowych ITG KOMAG.

Słowa kluczowe: węgiel koksowy, wzbogacanie, osadzarka pulsacyjna, skuteczność rozdziału

Testing the efficiency of jig beneficiation of coking coal fines in narrow grain size classes

Abstract: Results of testing the efficiency of beneficiation of coke fines of a significant share of the grain size 3-0 mm, based on the analysis of density separation of 25-0.5 mm material are presented. In order to determine the impact of the share of fine grains in the feed on the efficiency of the jig beneficiation process, the parameters of material separation in narrow grain classes were determined. Concepts of solutions, the use of which will increase the efficiency of the process of beneficiation of coking coals in the KOMAG's coal fines jig machines are presented.

Keywords: coking coal, beneficiation, pulsating jig, separation efficiency

1. Wprowadzenie

Osadzarki pulsacyjne konstrukcji ITG KOMAG stosowane są do wzbogacania nadaw mialowych w klasie 20-0 mm i średnioziarnowych w klasie 70-0 mm podczas produkcji węgla koksowych. Zakres uziarnienia nadaw węglowych kierowanych do osadzarek wynika z przyjętego, podczas projektowania zakładów przerobczych, modelu układu technologicznego urządzeń realizujących procesy klasyfikacji, wzbogacania i odwadniania materiału oraz zmian wprowadzanych w okresie eksploatacyjnym.

Skuteczność osadzarkowego procesu wzbogacania nadaw węglowych w zakresie gęstościowego rozdziału jest zależna m.in. od:

- charakterystyki nadawy [1, 2, 3],
- równomierności zasilania osadzarki nadawą [4, 5, 6, 7],
- konstrukcji osadzarki i metod sterowania pulsacyjnym przepływem powietrza roboczego oraz odprowadzaniem produktów ciężkich (produkt odpadowy, półprodukt) [4, 8, 9, 10],
- doboru właściwych parametrów powietrza roboczego, natężenia dopływu wody procesowej oraz nastaw w układach regulacyjnych osadzarki [5, 11, 12, 13, 14],
- algorytmów zastosowanych w systemach sterowania osadzarkowym węzłem wzbogacania [15, 16, 17, 18, 19].

Nadawy węgla koksowych w klasie 20-0 mm charakteryzuje bardzo duży udział ziaren poniżej 3 mm, przekraczający 50%. Wynika to z wysokiej podatności na rozdrabniania węgla koksowych,



sposobu ich urabiania podczas wydobycia oraz braku odmulania materiału przed jego wprowadzeniem do osadzarki.

W większości węzłów osadzarkowego wzbogacania węgla koksowych nadawa nie podlega odmuleniu na sitach stałych lub wibracyjnych i jest wprowadzana do osadzarek wraz z wodą górną często zawierającą drobnoziarnisty materiał.

Znaczny i często większościowy udział w nadawie drobnoziarnistego materiału negatywnie wpływa na skuteczność procesów technologicznych realizowanych podczas osadzarkowego wzbogacania węgla koksowych [1]. Utrudnia pulsacyjny przepływ wody przez warstwę materiału, co może powodować zarówno zmniejszenie skuteczności jego gęstościowego rozdziału na skutek wzrostu zagęszczenia ośrodka, jak i szkodliwy wpływ powietrza z wnętrza podsitowych komór pulsacyjnych do przestrzeni roboczej osadzarki.

Szeroki zakres uziarnienia nadaw miałowych, znacznie odbiegający od optymalnego stosunku uziarnienia ziaren od największych do najmniejszych wynoszącego 4:1, powoduje, ze względu na obecność ziaren równoopadających w warstwach przyrozdziałowych w progu rozdzielczym, konieczność stosowania wielostopniowego oddzielania od materiału frakcji odpadowych w kolejnych trzech przedziałach roboczych osadzarki lub dodatkowo w osadzarce przeznaczony do wtórnego wzbogacania półproduktu [20].

Analiza przebiegu rozdziału materiału w osadzarkach wykazała, że oprócz parametrów nadawy najbardziej istotnym czynnikiem mającym wpływ na skuteczność osadzarkowego procesu wzbogacania nadaw węglowych jest sposób ich wprowadzania do koryta roboczego osadzarki [6].

Zapewnienie wymaganego równomiernego, pod względem ilościowym i jakościowym, rozprowadzenia materiału nadawy na wlocie do koryta roboczego osadzarki na całej jego szerokości przy obecnie stosowanych rozwiązaniach jest trudne do uzyskania, zwłaszcza gdy podczas transportu nadawy w kierunku osadzarki znajdują się prostopadłe do jej osi przesypy, w których występuje segregacja ziaren wg prędkości opadania.

Występowanie tego zjawiska ogranicza również skuteczność równomiernego rozprowadzania materiału na szerokości urządzeń wibracyjnych, takich jak podajniki i przesiewacze.

Nierównomierny rozkład materiału nadawy na szerokości wlotu osadzarki negatywnie wpływa na skuteczność gęstościowego rozwarstwienia materiału oraz dokładność jego rozdziału na produkty, co w rezultacie może powodować obniżenie ich parametrów jakościowych i zmniejszenie wychodów koncentratu węglowego przy jednoczesnym zwiększeniu ilości produktu odpadowego i półproduktu.

Negatywne skutki ww. nieprawidłowości w zasilaniu osadzarki nadawą ulegają nasileniu wraz ze wzrostem szerokości koryta roboczego, zakresu uziarnienia nadawy i udziału ziaren frakcji ciężkich.

2. Badania własne

Celem badań było określenie wpływu udziału drobnych ziaren w nadawie na skuteczność osadzarkowego procesu wzbogacania węgla koksowych. Przeprowadzono badania skuteczności wzbogacania miałowych koksowych charakteryzujących się znacznym udziałem klasy ziarnowej 3-0 mm. Ocenę skuteczności wykonano w oparciu o wyniki gęstościowego rozdziału materiału w wąskich klasach ziarnowych 25-12 mm, 12-6 mm, 6-3 mm oraz 3-0,5 mm [21].



2.1. Obiekt badań

Osadzarka OM24 wzbogaca miął węgla koksowego o uziarnieniu 20(30)-0 mm charakteryzujący się znacznym, często przekraczającym 50% udziałem w nadawie klasy ziarnowej 3-0 mm.

Osadzarka posiada trójprzedziałową konstrukcję umożliwiającą uzyskiwanie produktu odpadowego w dwóch pierwszych przedziałach oraz produktu koncentratowego i półproduktu w trzecim przedziale. Produkt odpadowy otrzymywany z dwóch pierwszych przedziałów po połączeniu jest odwadniany w pojedynczym przenośniku kubelkowym analogicznie jak półprodukt z przedziału przerostowego.

W porównaniu do dotychczasowych konstrukcji osadzarek typu KOMAG, w których szerokość koryta roboczego zawierała się w przedziale 2-3 m, w osadzarce OM24 wynosi ona 3,5 m.

2.2. Metodyka badań

Materiał do analiz laboratoryjnych wykorzystanych w badaniach uzyskano podczas prób technologicznych zrealizowanych przy obciążeniu osadzarki OM24 nadawą wynoszącą około 580 t/h. Próbkę nadawy i produktu odpadowego pobierano z przenośników taśmowych, półprodukt z przenośnika kubelkowego, a produkt koncentratowy z krawędzi przelewu progę przedziału przerostowego.

W celu wykonania analiz parametrów rozdziału dla całości materiału oraz w klasach ziarnowych próbki nadawy, produktu koncentratowego, półproduktu i produktu odpadowego poddano klasyfikacji na sitach o otworach 12, 6, 3 i 0,5 mm, a następnie materiał klas ziarnowych 25-12 mm; 12-6 mm; 6-3 mm oraz 3-0,5 mm rozdzielono w cieczach ciężkich jednorodnych o gęstościach 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; i 1,8 g/cm³. W oparciu o uzyskane wyniki analiz laboratoryjnych opracowano współrzędne rozdziału klasofrakcji oraz określono skuteczność procesu wzbogacania całości materiału w klasie 25-0,5 mm oraz w klasach 25-12 mm, 12-6 mm, 6-3 mm i 3-0,5 mm.

Skuteczność rozdziału materiału była charakteryzowana wartością parametru E_p (rozproszaniem prawdopodobnym) wyznaczonego w zależności od uzyskanego zakresu współrzędnych krzywych rozdziału dla gęstości ρ_{25} i ρ_{75} lub ρ_{25} i ρ_{50} . W badaniach przeprowadzono analizę porównawczą parametrów rozdziału materiału (ρ_{50} i E_p) w klasach ziarnowych oraz uzysku frakcji gęstościowych nadawy w produktach wzbogacania.

W oparciu o wyniki rozdziału klasofrakcji przeprowadzono analizę wpływu udziału w nadawie miałowej klasy ziarnowej 3-0,5(0) mm na uzyskiwane w osadzarce parametry ilościowe produktów wzbogacania.

2.3. Wyniki badań

2.3.1. Analizy granulometryczne i densymetryczne

W nadawie o uziarnieniu 25-0 mm udział ziaren w klasie <3 mm był znaczny i wynosił 52,8%, w tym 20,5% stanowiły ziarna o wielkości <0,5 mm.

W analizowanym gęstościowo zakresie uziarnienia 25-0,5 mm skład granulometryczny nadawy charakteryzował się znacznym udziałem klasy 3-0,5 mm wynoszącym 40,6%. Udziały pozostałych analizowanych klas ziarnowych zawierały się w przedziale od 16,4% do 22,4%.

Skład ziarnowy koncentratu był mocno zbliżony do składu nadawy. Produkt koncentratowy charakteryzował się znacznym, wynoszącym 40,0% udziałem klasy 3-0,5 mm. Udziały w koncentracie



pozostałych klas ziarnowych zawierały się w przedziale od 18,2% (klasa 6-3 mm) do 22,8% (klasa 12-6 mm).

W półprodukcie większościowy udział stanowiła klasa 3-0,5 mm równa 66,3%. Natomiast udziały pozostałych klas ziarnowych były zbliżone i zawierały się w przedziale od 10,2% (klasa 12 – 6 mm) do 12,4% (klasa 25 – 12 mm). Produkt odpadowy charakteryzował się większościowym udziałem ziaren o rozmiarze 25-6 mm wynoszącym 63,7%.

Wyniki analiz granulometrycznych zestawiono w tabeli 1.

Skład granulometryczny nadaw i produktów wzbogacania [21]

Tabela 1

Klasa ziarnowa, mm	Nadawa I st.		Odpady	Nadawa II st.	Półprodukt	Koncentrat
	%	%	%	%	%	%
25-12	16,42	20,65	32,34	17,34	12,39	18,9
12-6	17,77	22,35	31,38	19,79	10,16	22,84
6-3	13,01	16,37	15,79	16,53	11,2	18,22
3-0,5	32,30	40,63	20,47	46,34	66,25	40,04
<0,5	20,50					
Suma	100	100	100	100	100	100
Wychód	100	100	22,08	77,92	18,73	59,19

Nadawa w klasie 25-0,5 mm zawierała 61,7% ziaren frakcji koncentratowych o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$, 5,4% ziaren frakcji przerostowych o gęstości $1,5 - 1,8 \text{ g/cm}^3$ oraz 32,9% frakcji odpadowych o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$.

Wyniki analizy densymetrycznej produktu koncentratowego wykazały, że zawierał on w przeważającej części ziarna frakcji koncentratowych ($<1,5 \text{ g/cm}^3$), których udział wynosił 95,6%. Ponadto zawierał 3,8% ziaren frakcji przerostowych ($1,5-1,8 \text{ g/cm}^3$) oraz 0,6% ziaren frakcji odpadowych ($>1,8 \text{ g/cm}^3$).

Analiza densymetryczna półproduktu wykazała, że produkt ten złożony był w większości z ziaren frakcji odpadowych (gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$), których udział wyniósł 61,9%. Udziały ziaren frakcji koncentratowych ($<1,5 \text{ g/cm}^3$) i przerostowych ($1,5-1,8 \text{ g/cm}^3$) w półprodukcie kształtowały się na poziomie, odpowiednio 25,2% i 12,9%.

Produkt odpadowy zawierał głównie ziarna frakcji odpadowych ($>1,8 \text{ g/cm}^3$), których udział wyniósł 94,7%.

Wyniki analiz gęstościowych zamieszczono w tabeli 2.

Skład gęstościowy nadaw i produktów wzbogacania w klasie ziarnowej 25-0,5 mm [21]

Tabela 2

Gęstość frakcji, g/cm^3	Nadawa I st.	Odpady	Nadawa II st.	Półprodukt	Koncentrat
	%	%	%	%	%
<1,5	61,72	1,90	78,67	25,20	95,60
1,5-1,8	5,43	3,40	6,01	12,92	3,81
>1,8	32,85	94,70	15,32	61,88	0,59
Suma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



2.3.2. Analiza rozdziału klasofrakcji

Analiza rozdziału klasofrakcji w produktach wzbogacania zależnego od przebiegu procesu rozwarstwiania materiału w osadzarce oraz od procesu odprowadzania w niej produktów ciężkich w postaci produktu odpadowego i półproduktu wykazała wpływ wielkości ziaren na rozdział frakcji koncentratowych, przerostowych i odpadowych (tabela 3).

Podczas oddzielania z materiału nadawy frakcji ciężkich w dwóch kolejnych przedziałach odpadowych osadzarki uzysk frakcji o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$ w produkcie odpadowym obniżał się wraz ze zmniejszaniem rozmiaru ziaren w zakresie od 93,3% (klasa 25-12 mm) do 30,7% (klasa 3-0,5 mm). Po przepływie pozostałych w materiale ziaren odpadowych do przedziału przerostowego były one w klasie 25-3 mm całkowicie oddzielone i odprowadzane z półproduktem.

Uzysk klasofrakcji 3-0,5 mm o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$ w półprodukcie wynosił 66,9%, a w produkcie koncentratowym 2,4% i był uzyskany poprzez możliwość wykorzystania do odprowadzania półproduktu, zarówno szczelinowego przepustu produktu ciężkiego i jak i powierzchni sitowej przedziału przerostowego.

Wysoka skuteczność rozdziału ziaren odpadowych 3-0,5 mm w przedziale przerostowym (o dwukrotnie mniejszej powierzchni roboczej w porównaniu do sumarycznej powierzchni przedziałów odpadowych) wynikała z większej efektywności ich odprowadzania przypadkiem przez otwory sit z warstwy o małej zawartości większych ziaren odpadowych, które ograniczają przepływ małych ziaren w kierunku powierzchni sitowej.

Ze względu na znaczny udział ziaren klasy 3-0,5 mm we frakcjach odpadowych nadawy wynoszący 43,4% całkowity uzysk frakcji o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$ w produkcie odpadowym wyniósł 63,7% a w półprodukcie był równy 35,3%. Powyższe rezultaty uzyskano przy udziale frakcji odpadowych $>1,8 \text{ g/cm}^3$ w nadawie wynoszącym 32,9%.

Uzysk frakcji przerostowych o gęstości $1,5-1,8 \text{ g/cm}^3$ i niskim udziale w nadawie 25-0,5 mm wynoszącym 5,4% był największy w półprodukcie, gdzie wynosił 44,7% oraz w produkcie koncentratowym, gdzie był równy 41,6%.

Na skutek występowania różnic prędkości opadania ziaren w materiale o szerokim zakresie uziarnienia wraz ze zmniejszaniem wielkości ziaren przerostowych zwiększał się ich uzysk w półprodukcie z 37,2% (klasa 25-12 mm) do 55,2% (klasa 3-0,5 mm) oraz w produkcie koncentratowym z 32,8% (klasa 25-12 mm) do 47,9% (klasa 6-3 mm) za wyjątkiem klasy 3-0,5 mm, dla której uzysk był równy 42%.

Największe różnice rozdziału pomiędzy klasofrakcjami przerostowymi odnotowano w produkcie odpadowym, w którym zmniejszanie wielkości ziaren obniżało uzysk ziaren przerostowych z 30% (klasa 25-12 mm) do 2,8% (klasa 3-0,5 mm).

Powyższe rezultaty uzyskano przy udziale klasofrakcji 3-0,5 mm we frakcjach przerostowych $1,5-1,8 \text{ g/cm}^3$ wynoszącym 35,1%.

Uzysk frakcji koncentratowych o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$ i udziale w nadawie 25-0,5 mm wynoszącym 61,7% był największy w produkcie koncentratowym równy 91,7%. W półprodukcie i produkcie odpadowym uzysk frakcji koncentratowych wyniósł odpowiednio 7,6% i 0,7%.

W produkcie koncentratowym uzysk frakcji $<1,5 \text{ g/cm}^3$ zwiększał się wraz ze zmniejszeniem rozmiaru ziaren z 87,8% (klasa 25-12 mm) do 93,5% (klasa 6-3 mm). Dla klasofrakcji 3-0,5 mm uzysk



był nieznacznie mniejszy od maksymalnego i wynosił 92,2%. Odwrotna zależność pomiędzy wielkością ziaren a uzyskiem wystąpiła podczas rozdziału materiału w półprodukcie, gdzie uzysk obniżał się z 11,6% (klasa 25-12 mm) do 5,5% (klasa 6-3 mm). Dla klasofrakcji 3-0,5 mm jej uzysk był zbliżony do średniego uzysku frakcji $<1,5 \text{ g/cm}^3$ w półprodukcie i wynosił 7,5%.

Uzysk klasofrakcji koncentratowych w produkcie odpadowym zawierał się w przedziale 1,1-1,0% dla ziaren w klasie 12-3 mm oraz w przedziale 0,6-0,4% dla ziaren w klasach 25-12 mm i 3-0,5 mm. Powyższe wyniki uzyskano przy udziale klasofrakcji 3-0,5 mm w frakcjach koncentratowych o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$ wynoszącym 39,6%.

Rozdział frakcji podstawowych w produktach wzbogacania [21]

Tabela 3

Produkt	$<1,5 \text{ g/cm}^3$				
	25-12 mm	12-6 mm	6-3 mm	3-0,5 mm	25-0,5 mm
Koncentrat	87,80	92,78	93,54	92,16	91,67
Półprodukt	11,63	6,15	5,50	7,46	7,65
Odpady	0,57	1,07	0,96	0,38	0,68
Suma (Nadawa)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Produkt	$1,5-1,8 \text{ g/cm}^3$				
	25-12 mm	12-6 mm	6-3 mm	3-0,5 mm	25-0,5 mm
Koncentrat	32,83	42,60	47,89	42,00	41,62
Półprodukt	37,19	35,20	43,79	55,23	44,57
Odpady	29,98	22,20	8,32	2,77	13,81
Suma (Nadawa)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Produkt	$>1,8 \text{ g/cm}^3$				
	25-12 mm	12-6 mm	6-3 mm	3-0,5 mm	25-0,5 mm
Koncentrat	0,00	0,00	0,00	2,45	1,07
Półprodukt	6,66	8,52	22,83	66,86	35,28
Odpady	93,34	91,48	77,17	30,69	63,65
Suma (Nadawa)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

2.3.3. Skuteczność procesu wzbogacania

Proces oddzielania produktu odpadowego (I stopień wzbogacania) przeprowadzany był przy wysokiej gęstości rozdziału $\rho_{50}=1,98 \text{ g/cm}^3$. Wskaźnik skuteczności rozdziału E_p kształtował się na poziomie $0,22 \text{ g/cm}^3$, co było wartością relatywnie dobrą dla nadawy o bardzo dużym przekraczającym 50% udziale ziaren poniżej 3 mm.

Analiza parametrów rozdziału w wąskich klasach ziarnowych wykazała znaczne ich zróżnicowanie. Wraz ze zmniejszaniem rozmiaru ziaren zwiększała się gęstość rozdziału oraz obniżała się jego skuteczność. Różnica gęstości rozdziału ρ_{50} pomiędzy klasami ziarnowymi 25-12mm ($\rho_{50}=1,634 \text{ g/cm}^3$) a 6-3 mm ($\rho_{50}=1,952 \text{ g/cm}^3$) była znaczna i wynosiła $0,274 \text{ g/cm}^3$.

Procentowe różnice parametrów rozdziału pomiędzy materiałem klas ziarnowych 25-12 mm i 6-3 mm dla gęstości rozdziału ρ_{50} wyniosły 16,3% a dla rozproszenia prawdopodobnego E_p były równe 58%. Niskie wartości współrzędnych rozdziału materiału klasy 3-0,5 mm uniemożliwiły określenie gęstości rozdziału i wartości rozproszenia prawdopodobnego. Większość frakcji ciężkich o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$ klasy 3-0,5 mm przepływała z przedziałów odpadowych osadzarki do przedziału przerostowego, gdzie podlegała rozdziałowi podczas realizacji II stopnia wzbogacania.



Proces rozdziału nadawy II stopnia na produkt koncentratowy i półprodukt realizowany był przy gęstości rozdziału ρ_{50} równej $1,595 \text{ g/cm}^3$ ze skutecznością według wartości wskaźnika E_p równą $0,114 \text{ g/cm}^3$, dwukrotnie korzystniejszą w porównaniu do wyników rozdziału podczas realizacji I stopnia wzbogacania.

Analiza parametrów rozdziału w wąskich klasach ziarnowych wykazała ich zróżnicowanie. Dla zakresu uziarnienia materiału 25-3 mm wraz ze zmniejszaniem rozmiaru ziaren zwiększała się gęstość rozdziału ρ_{50} z $1,568 \text{ g/cm}^3$ (klasa 25-12 mm) do $1,607 \text{ g/cm}^3$ (klasa 6-3 mm) oraz jednocześnie obniżała się skuteczność rozdziału E_p z $0,081 \text{ g/cm}^3$ (klasa 25-12 mm) do $0,155 \text{ g/cm}^3$ (klasa 6-3 mm).

Różnica gęstości rozdziału ρ_{50} pomiędzy klasami ziarnowymi 25-12 mm i 6-3 mm wynosiła $0,039 \text{ g/cm}^3$ (2,4%) a różnica skuteczności rozdziału według E_p była równa $0,046 \text{ g/cm}^3$ (36,2%).

Parametry rozdziału materiału klasy 3-0,5 mm odbiegały od powyższych zależności ze względu na intensyfikację w przedziale przerostowym procesu powierzchniowego odprowadzania drobnych, ciężkich frakcji przez otwory sit. Gęstość rozdziału ρ_{50} klasy 3-0,5 mm wynosiła $1,587 \text{ g/cm}^3$ i zawierała się pomiędzy wartościami tego parametru uzyskiwanymi dla klasy 25 – 12 mm i 12 – 6 mm.

Skuteczność rozdziału klasy 3-0,5 mm według E_p była równa $0,127 \text{ g/cm}^3$ przy gęstości rozdziału ρ_{50} wynoszącej $1,587 \text{ g/cm}^3$. Parametry procesu rozdziału dla obydwu stopni wzbogacania zebrano w tabeli 4.

Parametry procesu rozdziału [21]

Tabela 4

Klasa ziarnowa 25-0,5 mm			
I stopień		II stopień	
ρ_{50}	1,980	ρ_{50}	1,595
$E_p (\rho_{50}-\rho_{25})$	0,220	$E_p (\rho_{75}-\rho_{25})/2$	0,114
I	0,224	I	0,191
Klasa ziarnowa 25-12 mm			
I stopień		II stopień	
ρ_{50}	1,634	ρ_{50}	1,568
$E_p (\rho_{50}-\rho_{25})$	0,058	$E_p (\rho_{75}-\rho_{25})/2$	0,081
I	0,091	I	0,142
Klasa ziarnowa 12-6 mm			
I stopień		II stopień	
ρ_{50}	1,749	ρ_{50}	1,618
$E_p (\rho_{50}-\rho_{25})$	0,108	$E_p (\rho_{75}-\rho_{25})/2$	0,095
I	0,144	I	0,153
Klasa ziarnowa 6-3 mm			
I stopień		II stopień	
ρ_{50}	1,952	ρ_{50}	1,607
$E_p (\rho_{50}-\rho_{25})$	0,138	$E_p (\rho_{75}-\rho_{25})/2$	0,155
I	0,145	I	0,255
Klasa ziarnowa 3-0,5 mm			
I stopień		II stopień	
ρ_{50}	-	ρ_{50}	1,587
E_p	-	$E_p (\rho_{75}-\rho_{25})/2$	0,127
I	-	I	0,216



3. Założenia projektowe nowych rozwiązań konstrukcyjnych

Z analizy danych procesowych wynika uzależnienie możliwości uzyskania zwiększenia efektywności wzbogacania miałów węgla koksowych w osadzarkach ITG KOMAG od wzrostu skuteczności oddzielania od nadawy ziaren odpadowych 25-3(6) mm w I przedziale osadzarki.

Dzięki większej skuteczności oddzielania w I przedziale dużych ziaren odpadowych możliwa będzie intensyfikacja w II przedziale odpadowym odprowadzania drobnych ziaren odpadowych przez otwory sit, powodująca korzystne zmniejszenie ilości ziaren odpadowych w materiale wzbogacanym w III przedziale przerostowym. Pozwoli to zarówno na zwiększenie wychodu produktu koncentratowego, jak i na korzystne zmniejszenie uzyskiwanego półproduktu lub poprawę jego parametrów jakościowych.

Warunkiem uzyskania większej skuteczności oddzielania od nadawy ziaren odpadowych w klasie ziarnowej 25-3(6) mm proces wzbogacania materiału w I przedziale odpadowym osadzarki powinien przebiegać w warunkach zapewniających szybkie rozwarstwienie materiału po jego wprowadzeniu do komory roboczej przedziału oraz dokładny rozdział rozwarstwowanego materiału na produkty w końcowej części komory roboczej.

Do czynników umożliwiających spełnienie powyższych wymagań procesowych zalicza się:

- różnicowanie rozluźnienia materiału pod wpływem ruchu pulsacyjnego wody polegające na zmniejszeniu pulsacji wraz z przepływem materiału wzdłuż przedziału,
- równomierne obciążenie materiałem powierzchni roboczej na szerokości przedziału,
- zapewnienie jednorodności składu gęstościowego materiału w warstwie rozdzielczej,
- stabilizację poziomu warstwy rozdzielczej względem krawędzi przelewowej progę przedziału podczas odprowadzania produktu przy nierównomiernym rozprowadzeniu nadawy na wlocie osadzarki.

3.1. Nowe rozwiązania konstrukcyjne

Wśród rozwiązań, których zastosowanie pozwoliłoby na wzrost skuteczności procesu wzbogacania węgla koksowych w osadzarkach miałowych ITG KOMAG można wyróżnić modernizację układów regulacyjnych w I przedziale odpadowym polegającą na poszerzeniu dotychczasowego zakresu regulacji przepływu pulsacyjnego powietrza roboczego, natężenia dopływu wody dolnej oraz wprowadzeniu w osadzarkach posiadających koryta robocze o szerokości przekraczającej 2 m podwójnego, usytuowanego symetrycznie do osi podłużnej osadzarki, układu odprowadzania produktów ciężkich.

3.1.1. Sterowanie powietrzem roboczym

W celu wprowadzenia możliwości regulacji ruchu pulsacyjnego wody na długości przedziału proponuje się zastosowanie dodatkowych przepustnic powietrza w przewodach wlotowo-wylotowych łączących dwie umiejscowione posobnie podsitowe komory pulsacyjne pojedynczym zespołem talerzowych zaworów pulsacyjnych oraz umieszczenie w części podsitowej przedziału pionowej przegrody oddzielającej od siebie strefy oddziaływania komór pulsacyjnych. Dodatkowe przepustnice regulacyjne powinny być umieszczone powyżej poziomu wody w osadzarce, najdogodniej pod względem łatwości obsługi, bezpośrednio pod zespołem zaworów pulsacyjnych.

Proponowane rozwiązania umożliwią regulację skoku pulsacji na długości przedziału, a tym samym na odpowiednie różnicowanie rozluźnienia materiału.



Dzięki uzyskaniu na początku rozdziału znacznego rozluźnienia materiału po jego wprowadzeniu do osadzarki możliwe będzie jego szybkie rozwarstwienie według prędkości opadania ziaren. Z kolei poprzez redukcję rozluźnienia rozwarstwowanego łoża na końcu przedziału możliwe będzie stabilne grawitacyjne odprowadzanie produktu odpadowego przy zadanym skoku pulsacji warstwy rozdzielczej, minimalizującym prawdopodobieństwo przepływu większych ziaren odpadowych do kolejnego przedziału.

Dodatkowo maksymalizacja rozluźnienia materiału na początku I przedziału odpadowego ułatwi jego rozproszczenie w przestrzeni roboczej przy nierównomiernym rozproszczeniu nadawy na wlocie osadzarki.

3.1.2. Sterowanie wodą dolną

W celu wprowadzenia możliwości regulacji natężenia przepływu wody na długości I przedziału odpadowego proponuje się zabudowę zaworów regulacyjnych na dopływach wody dolnej do przewodów zasilających oddzielnie dwie komory pulsacyjne oraz zastosowanie dodatkowego dopływu wody dolnej z zaworem regulacyjnym do części strefy oddziaływania pierwszej komory pulsacyjnej znajdującej się pomiędzy nią a ścianą przednią osadzarki.

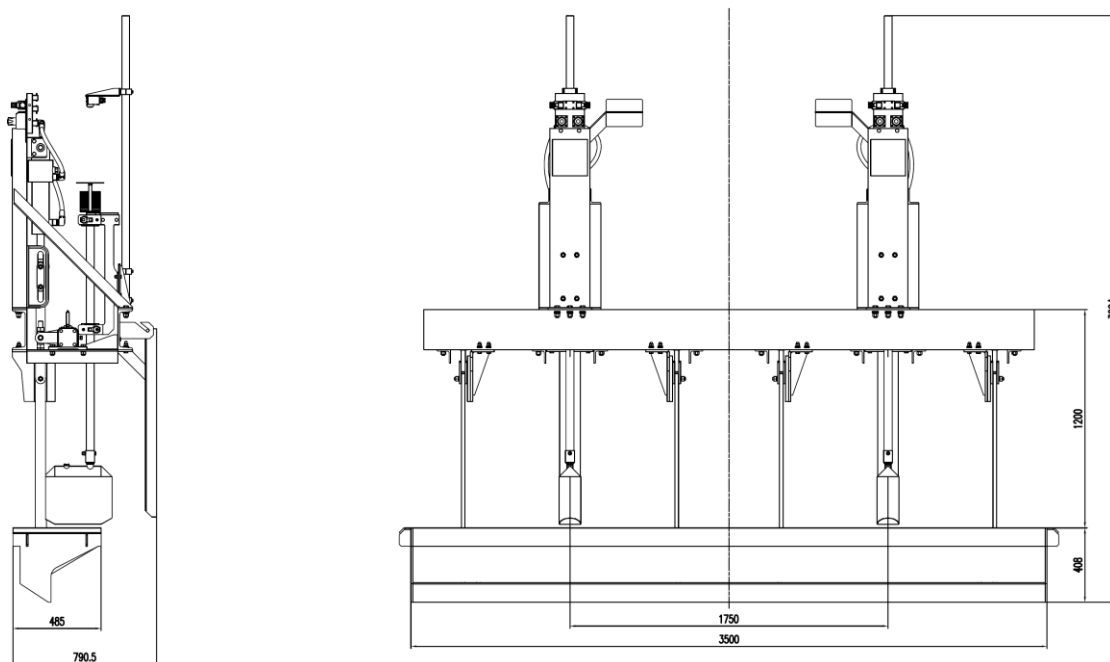
Dodatkowy przewód dopływu wody dolnej może być zlokalizowany na zewnątrz osadzarki, równoległe do jej ściany przedniej i łączyć się z nią poprzez kilka przewodów zasilających, służących do rozprowadzania wody dolnej – przedniej na szerokości obudowy przedziału. Zastosowanie regulacji dopływu wody na długości I przedziału odpadowego służy analogicznie, jak sterowanie dopływem powietrza pulsacyjnego, do różnicowania rozluźnienia materiału w zależności od wymogów procesu jego rozwarstwienia i odprowadzania produktów. Dodatkowy dopływ wody dolnej na początku osadzarki zmniejsza prawdopodobieństwo przepadu przez otwory sit drobnych frakcji lekkich podczas pierwszej fazy rozwarstwienia materiału. Odbywa się to poprzez skrócenie czasu ich wynoszenia do górnej części łoża oraz szybszy transport od początku I przedziału odpadowego w kierunku kolejnych.

3.1.3. Odprowadzanie produktu ciężkiego

W celu zwiększenia dokładności rozdziału rozwarstwowanego gęstościowo materiału nadawy, polegającego na skutecznym oddzieleniu od materiału ziaren odpadowych 25-3(6) mm, proponuje się zastosowanie w I przedziale odpadowym, w miejsce pojedynczego, podwójny zasuwowy układ odprowadzania produktu ciężkiego.

Na rysunku 1 podwójny układ odprowadzania produktu ciężkiego, którego zastosowanie zapewni niezależną kontrolę procesu rozdziału łoża na produkty symetrycznie po lewej i prawej stronie I przedziału odpadowego przy jednakowym, automatycznie stabilizowanym poziomie warstwy rozdzielczej i gęstości materiału, co jest szczególnie korzystne przy nierównomiernym rozproszczeniu nadawy na wlocie osadzarki.

Zaletą zastosowania proponowanego rozwiązania jest zmniejszenie prawdopodobieństwa występowania strat substancji węglowej w produkcie odpadowym, co wynika z dokładniejszej kontroli rzeczywistego położenia warstwy rozdzielczej przy wykorzystaniu dwóch czujników pomiarowych. Podwójny układ odprowadzania produktów ciężkich z pomiarem otwarcia przepustów umożliwia monitorowanie prawidłowego zasilania osadzarki nadawą, co pozwala na sygnalizację zakłóceń równomierności jej wprowadzania dla np. podjęcia działań w celu ich usunięcia.



Rys. 1. Podwójny zasuwowy układ odprowadzania produktu ciężkiego [21]

4. Podsumowanie

Analiza procesu wzbogacania miałów węgla koksowych o uziarnieniu 20(30)-0 mm wskazuje, że do podstawowych czynników mających wpływ na efektywność produkcji koncentratów koksowych w osadzarkach pulsacyjnych zaliczyć należy charakterystykę technologiczną nadawy, skuteczność działania osadzarki oraz prawidłową jej eksploatację.

Szeroki zakres uziarnienia nadawy oraz znaczny, często większościowy udział drobnoziarnistego materiału utrudnia realizację w osadzarkach procesu gęstościowego rozwarstwienia oraz automatyczną regulację odprowadzania produktów opartą o wskazania pływakowego układu pomiarowego warstwy rozdzielczej

Badania skuteczności wzbogacania miału koksowego 25-0 mm charakteryzującego się większościowym udziałem klasy 3-0 mm, wynoszącym 53%, w nowej trójprzedziałowej osadzarkie OM24 typu KOMAG z systemem sterowania KOGA wykazały, że przy obciążeniu jednostkowym 166 t/h na 1 m szerokości, uzysk ziaren odpadowych o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$ w produkcie odpadowym, dla zakresu wielkości ziaren 25-6 mm, zawierał się w przedziale od 93,3% do 91,5%, w klasie 6-3 mm wyniósł 77,2% natomiast w klasie 3-0,5 mm jedynie 30,7%.

Mały uzysk ziaren odpadowych 3-0,5 mm w produkcie ciężkim odprowadzanym w dwóch przedziałach odpadowych, o łącznej powierzchni 16 m^2 , wynikał ze znacznego, wynoszącego 35,1%, udziału w tej klasie ziaren odpadowych oraz lokalizacji małych i ciężkich ziaren w warstwach przyrodziałowych łóża na skutek występowania, charakterystycznego dla procesu wzbogacania nadaw o szerokim zakresie uziarnienia, zjawiska równoopadania ziaren.

Odprowadzenie w przedziałach odpadowych znaczących ilości frakcji odpadowych (o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$) o uziarnieniu 25-3 mm było warunkiem uzyskania bardzo wysokiej skuteczności rozdziału ziaren odpadowych klasy 3-0,5 mm w przedziale przerostowym ze względu na możliwości ich



osadzania w dolnej warstwie łoża oraz powierzchniowe odprowadzanie przez otwory sit. Uzysk ziaren tej klasy w półprodukcie wyniósł 100% w klasie 25-3 mm oraz 96,5% w klasie 3-0,5 mm.

Większościowy udział w nadawie klasy 3-0 mm powodował niekorzystne zwiększenie wychodu półproduktu ze względu na konieczność oddzielenia w przedziale przerostowym, od materiału otrzymywanego z przedziałów odpadowych, pozostałych, głównie drobnoziarnistych frakcji odpadowych.

Zwiększenie efektywności wzbogacania miałów węgla koksowych 25-0 mm o większościowym udziale materiału drobnoziarnistego uwarunkowane jest zwiększeniem dokładności rozdziału ziaren odpadowych 25-3(6) mm w pierwszym przedziale odpadowym. Celem takiego działania jest uzyskanie możliwości intensyfikacji powierzchniowego odprowadzania ziaren odpadowych klasy 3-0,5 mm przez otwory sit w drugim przedziale odpadowym.

Uzyskanie w pojedynczym przedziale odpadowym produktów rozdziału o parametrach zbliżonych do dotychczas otrzymywanych w dwóch przedziałach wymaga zastosowania w I przedziale odpadowym rozwiązań zapewniających szybkie, gęstościowe rozwarstwienie materiału nadawy, jednorodność składu gęstościowego warstwy rozdzielczej oraz stabilizację jej poziomu na szerokości przedziału, również przy nierównomiernym wprowadzaniu nadawy.

Efektywność proponowanych rozwiązań, mających na celu zwiększenie skuteczności rozdziału miałów węgla koksowych w osadzarkach OM typu KOMAG, jest zależna od równomierności zasilania nadawą na szerokości wlotu do osadzarki oraz od parametrów technologicznych drobnoziarnistego materiału 3-0 mm.

Literatura

1. Kowol D., Łagódka M., Matusiak P.: Wpływ uziarnienia oraz składu grawimetrycznego klas ziarnowych na wyniki procesu osadzarkowego wzbogacania nadaw węglowych. KOMEKO 2013, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013.
2. Kumar S., Venugopal R.: Coal cleaning using jig and response surface approach for determination of quality of clean coal. *Int. J. Coal Prep. Util.* 2017, 40, 107–115, doi:10.1080/19392699.2017.1346631.
3. Surowiak A., Foszcz D., Niedoba T.: Evaluation of jig work on the basis of granulometric analysis of particle size fractions of beneficiation products in purpose of process optimization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 641, Mineral Engineering Conference (MEC 2019)
4. Kowol D., Matusiak P.: Improving the quality of hard coal products using the state-of-the-art KOMAG solutions in a pulsating jig nod. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 641, Number 1, 2019.
5. Kowol D., Matusiak P.: Wpływ wybranych parametrów na skuteczność procesu wzbogacania w osadzarkach wodnych pulsacyjnych, IV Polski Kongres Górniczy, Materiały Konferencyjne, Kraków 2017.
6. Kowol D., Łagódka M.: Badania laboratoryjne wpływu zmienności nadawy na skuteczność osadzarkowego procesu wzbogacania, *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 2012, Vol. 36, no. 4, s. 49-56.
7. Kowol D., Łagódka M.: Badania rozkładu gęstościowego wzbogacanego materiału w strefie rozdziału/odbioru osadzarki pulsacyjnej. KOMEKO 2012, Innowacyjne i przyjazne dla



- środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012 s. 125-137.
8. Matusiak P., Kowol D.: Use of state-of-the-art jigs of KOMAG type for a beneficiation of coking coal. *Mining Machines* 2020 No. 1 pp. 46-55.
 9. Matusiak P., Kowol D.: State-of-the-art pulsating jigs of KOMAG type. Materiały na konferencję: IMTech 2019, Innovative Mining Technologies, Scientific and Technical Conference, Szczyrk, Poland, 25-27 March 2019 s. 1-10, (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019 vol. 545) ISSN 1757-899X.
 10. Matusiak P., Łagódka M., Kowol D.: Badania parametrów procesu odprowadzania produktów ciężkich w osadzarce pulsacyjnej. KOMEKO 2013, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013.
 11. Kowol D., Łagódka M., Matusiak P.: Wpływ charakterystyki pulsacji wody na skuteczność osadzarkowego procesu wzbogacania. *Maszyny Górnicze* 2014 nr 3, s. 37-43, ISSN 0209-3693.
 12. Liu Y., Xie J., Zhang M., Kuang Y.: Study on the Model System of Jig with Flexible Air Chamber and Pulsating Current Characteristics. In XVIII International Coal Preparation Congress; Springer Science and Business Media LLC: Berlin/Heidelberg, Germany, 2016; pp. 797-802.
 13. Matusiak P., Łagódka M., Kowol D.: Badania laboratoryjne wpływu parametrów przepływu powietrza na zmiany poziomu wody i ciśnienia w komorze pulsacyjnej osadzarki. KOMEKO 2014, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014 s. 299-310, ISBN 978-83-60708-80-4.
 14. Surowiak A., 2018. The analysis of coal fines separation precision exposed to changeable hydrodynamic parameters of jig work. *Archives of Mining Sciences* 63, 2, 437-448.
 15. Cierpisz S., Joostberens J.: Monitoring of coal separation in a jig using a radiometric density meter. *IFAC-Papers On Line* 48 (17), 2015.
 16. Jendrysik S., Jasiulek D., Stankiewicz K., Babczyński J.: Implementation of a jig control system at BUDRYK Coal Mine. Materiały na konferencję: IMTech 2019, Innovative Mining Technologies, Scientific and Technical Conference - part 2, Szczyrk, Poland, 14-16 October 2019 s. 11, (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019 vol. 679), ISSN 1757-899X.
 17. Jendrysik, S., Stankiewicz, K., Jasiulek, D.: Innowacyjne rozwiązania ITG KOMAG w zakresie automatyzacji węzłów osadzarkowych. *Maszyny Górnicze* 2018 nr 2 s. 65-77.
 18. Panda L., Sahoo A.K., Tripathy A., Biswal S.K., Sahu A.K. 2012. Application of artificial neural network to study the performance of jig for beneficiation of non-coking coal. *Fuel* 97, 151-156.
 19. Rogala-Rojek J., Stankiewicz K., Jendrysik S.: SCADA class software of the KOGA control system of jig beneficiation node. Materiały na konferencję: IMTech 2019, Innovative Mining Technologies, Scientific and Technical Conference, Szczyrk, Poland, 25-27 March 2019 s. 1-12, (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019 vol. 545) ISSN 1757-899X.
 20. Kowol D., Matusiak P., Łagódka M.: Możliwości zwiększenia efektywności procesu produkcji miałów węgla koksowych poprzez wzrost dokładności wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej. *Maszyny Górnicze* 2018 nr 2 s. 53-64.
 21. Łagódka M. i in. 2020. Efektywność produkcji miałów węgla koksowych w osadzarkach. ITG KOMAG. Gliwice (materiały niepublikowane).