

## Możliwości zwiększenia efektywności procesu produkcji miałów węgla koksowych poprzez wzrost dokładności wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej

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

Possibility of increasing the effectiveness of coking coal fines production by increasing separation efficiency in secondary beneficiation of middlings in a pulsating jig

Streszczenie:

Wyniki wzbogacania węgla koksowego o uziarnieniu 20(30)-0,5 mm w osadzarkach pulsacyjnych zależą od wzbogalności węgla surowego, konfiguracji układu technologicznego przeróbki węgla oraz parametrów rozdziału operacji przerobczych. Szeroki zakres uziarnienia 20(30)-0,5 mm oraz wymagane niskie zapopielenie produktu koncentratowego powodują konieczność produkcji przerostu, którego ilość ze względów ekonomicznych powinna być jak najmniejsza. Efektywność wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej zależy zarówno od skuteczności grawitacyjnego rozdziału materiału na produkt koncentratowy i odpadowy jak i od parametrów jakościowych nadawy. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych których celem było określenie wpływu zakresu uziarnienia nadaw przerostowych na skuteczność rozdziału. Przedstawiono koncepcję osadzarkowego węzła wtórnego wzbogacania półproduktu umożliwiającą zwiększenie efektywności produkcji węgla koksowych.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, osadzarka pulsacyjna, skuteczność rozdziału, wtórne wzbogacanie półproduktu

Keywords: hard coal, pulsating jig, separation effectiveness, secondary beneficiation of middlings

Abstract:

Effectiveness of separation of coking coal of grain size 20(30)-0,5 mm in pulsating jigs depend on washing ability of raw coal, configuration of technological line as well as on technological parameters. Broad range of grain sizes 20(30)-0,5 mm as well as required low ash content in coal concentrate force a necessity of production greater volume of middlings, which should be as low as possible due to economic reasons. Effectiveness of secondary beneficiation of middlings in a pulsating jig depends both on effectiveness of gravitational separation into a concentrate and waste product as well as on qualitative parameters of feed material. Results of laboratory tests on impact of size range of middlings particles on separation effectiveness are presented. Concept of jig node of secondary beneficiation of middlings to increase effectiveness of coke coal production is given.

### 1. Wprowadzenie

Podczas wzbogacania węgla koksowego o uziarnieniu 20(30)-0,5 mm w osadzarkach pulsacyjnych proces rozdziału materiału realizowany jest przeważanie trójproduktowo [3, 6].

Udział w nadawie ziaren przerostowych przekraczający 5-10% powoduje konieczność otrzymywania, oprócz produktu koncentratowego i odpadowego, również półproduktu (produktu przejściowego) w celu uzyskania węgla do koksowania o zawartości popiołu do 9% [1, 2].

W zależności od ilości ziaren przerostowych w nadawie i wychodu półproduktu, zawierającego oprócz ziaren przerostowych również drobne ziarna odpadowe i duże ziarna węglowe, uzasadnione względami ekonomicznymi może być stosowanie wtórnego wzbogacania półproduktu w oddzielnej osadzarce w celu zwiększenia produkcji i poprawy jakości węgla do koksowania.

Znaczny udział ziaren przerostowych w nadawie kierowanej do osadzarki, przeznaczonej do wtórnego wzbogacania półproduktu, utrudnia proces rozdziału, którego przebieg dodatkowo uzależniony jest od wychodu i jakości produktu uzyskiwanego z osadzarek wzbogacających materiał surowy. Zmienność charakterystyki nadawy oraz trudność jej wzbogacania wpływa niekorzystnie na stabilność wyników uzyskiwanych podczas tego procesu [5].

Wyniki wzbogacania półproduktu w osadzarce wtórnej mogą być niezadowolające w przypadku występowania przerw w dostarczaniu nadawy lub niedociążenia materiałem zawierającym małe ilości ziaren odpadowych. Drobne uziarnienie frakcji odpadowych zawartych w półprodukcie powoduje, że są one w znacznej części odprowadzane z komory roboczej osadzarki poprzez otwory sit. Proces ten nie podlega kontroli przez automatyczne układy odprowadzania produktu ciężkiego, który jest realizowany miejscowo, przy progu przedziału, poprzez regulację otwarcia szczeliny przepustowej.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych których celem było określenie wpływu zakresu uziarnienia nadaw przerostowych na skuteczność rozdziału.

Rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie poprawy skuteczności wzbogacania półproduktu poprzez zmniejszenie charakterystycznego dla tego produktu znacznego udziału ziaren równopadających jest zmniejszenie zakresu uziarnienia materiału w wyniku skruszenia ziaren o największym rozmiarze.

Skuteczność osadzarkowego procesu wtórnego wzbogacania półproduktu w klasach ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm została określona w oparciu o dokładność gęstościowego rozwarstwiania materiału w osadzarce oraz uzysk ziaren frakcji węglowych w produkcie koncentratowym [4].

## 2. Metodyka badań

Badania skuteczności wtórnego wzbogacania półproduktu przeprowadzono na stanowisku osadzarki laboratoryjnej wyposażonej w elektroniczny system sterowania zaworów pulsacyjnych regulujących parametry przepływu powietrza roboczego.

Materiał do prób przygotowano z próbek półproduktu otrzymywanego w wyniku przemysłowego wzbogacania nadawy węglowej o uziarnieniu 30-0 mm w trójproduktowej osadzarce pulsacyjnej.

W ww. osadzarce półprodukt był produktem ciężkim otrzymywanym w trzecim przedziale roboczym. Po oddzieleniu z próbki ziaren poniżej 0,5 mm przeprowadzono rozdział materiału w cieczach ciężkich o gęstości  $1,4 \text{ g/cm}^3$  i  $1,8 \text{ g/cm}^3$  w celu przygotowania nadawy do laboratoryjnych prób wzbogacania. Udział ziaren koncentratowych o gęstości  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  wynosił 59%, przerostowych o gęstości  $1,4-1,8 \text{ g/cm}^3$  wynosił 24% a odpadowych o gęstości  $>1,8 \text{ g/cm}^3$  był równy 17%.

Materiał nadawy wprowadzono do komory roboczej osadzarki warstwowo zaczynając od frakcji zawierającej ziarna o najmniejszej gęstości. Kolejno wprowadzane ziarna o gęstości  $<1,4 \text{ g/cm}^3$ ,  $1,4-1,8 \text{ g/cm}^3$  i  $>1,8 \text{ g/cm}^3$  tworzyły warstwę węglową, przerostową i odpadową wypełniając komorę roboczą o powierzchni  $0,087 \text{ m}^2$  do wysokości około 0,21 m.

Badania w osadzarce laboratoryjnej poprzedzono próbami wstępnymi, podczas których dobrano parametry pulsacji dla analizowanego materiału. Dobór parametrów miał na celu opracowanie optymalnych parametrów, umożliwiających najbardziej efektywne rozwarstwianie się łoża w trakcie procesu. Opracowane parametry doświadczeń zestawiono w tabeli 1.

## Zestawienie parametrów doświadczeń [4]

Tabela 1

Parametr	Wartość
Częstotliwość pulsacji [ $\text{min}^{-1}$ ]	60
Czas wlotu powietrza [ms]	200
Czas przerwy [ms]	310
Czas wylotu powietrza [ms]	200
Czas przerwy [ms]	290
Czas całego cyklu pulsacji [ms]	1000
Skok pulsacji [mm]	80
Wydajność dmuchawy [%]	85
Natężenie dopływu wody dolnej [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	1,5

Po zakończeniu wzbogacania półproduktu i usunięciu z osadzarki wody opróżniono komorę roboczą osadzarki z materiału otrzymując trzy warstwy. Wysokość warstwy I (górnej), wynoszącej 0,12 m i warstwy II (środkowej), równej 0,05 mm, odpowiadały ilości ziaren węglowych o gęstości  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  i ziaren przerostowych o gęstości  $1,4-1,8 \text{ g/cm}^3$ , wprowadzonych do komory roboczej osadzarki przed doświadczeniem. Pozostały na powierzchni sita komory roboczej materiał stanowił warstwę III (dolną) zawierającą głównie ziarna odpadowe o gęstości  $>1,8 \text{ g/cm}^3$ . Ilość przepadu odprowadzanego z komory roboczej przez elastyczne sito o szczelinie otworów wynoszącej 2,5 mm nie była uwzględniana podczas analiz procesu gęstościowego rozwarstwiania ze względu na stosowany sposób wprowadzania poszczególnych frakcji materiału do osadzarki.

Materiał warstw poddano analizom grawimetrycznym w cieczach ciężkich o gęstości 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7 i  $1,8 \text{ g/cm}^3$  w celu określenia udziałów frakcji gęstościowych w produktach osadzarkowego rozwarstwiania półproduktu w klasie ziarnowej 30-0,5 mm. Analizy gęstościowe wykonano zgodnie z normą PN-G-04559:1997. Następnie każdą z uzyskanych frakcji gęstościowych sklasyfikowano na sicie o otworach 16 mm uzyskując możliwość oceny procesu rozdziału materiału w klasach ziarnowych 30-16 mm i 16-0,5 mm.

W celu określenia wpływu uziarnienia na skuteczność wzbogacania półproduktu klasofrakcje o uziarnieniu 30-16 mm skruszono do zakresu 16-0,5 mm i po połączeniu odpowiednich frakcji gęstościowych powtórnie wzbogacono w osadzarce laboratoryjnej (materiał przepadu łączono z ziarnami o gęstości  $>1,8 \text{ g/cm}^3$ ).

Sposób realizacji prób osadzarkowego wzbogacania półproduktu w klasie ziarnowej 16-0,5 mm był taki sam jak podczas rozdziału półproduktu w klasie 30-0,5 mm podobnie jak zastosowane parametry procesowe.

Przeprowadzony podczas badań rozdział materiału na trzy warstwy umożliwił ocenę skuteczności wzbogacania nadawy półproduktowej wariantowo dla dwóch gęstości rozdziału. W wariacie I materiał warstwy I zaliczano do produktu koncentratowego, a materiał warstwy II, III do produktu odpadowego. Przy drugim podziale do produktu koncentratowego zaliczano materiał warstw I i II, a do produktu odpadowego materiał warstwy III.

Na podstawie uzyskanych wychodów produktów wzbogacania i ich składów grawimetrycznych określano, zgodnie z normą PN-G-07020:1997, gęstości rozdziału oraz wartości wskaźników charakteryzujących skuteczność wzbogacania tj. rozproszenia

prawdopodobnego  $E_p$  i imperfekcji I dla dwuproduktowego i dwuwariantowego rozdziału nadawy półproduktowej w klasie 30-0,5 mm, w klasofrakcjach 30-16 i 16-0,5 mm oraz w klasie 16-0,5 mm.

### 3. Wyniki badań

#### Parametry jakościowe nadawy

Materiał nadawy, którego rozdział analizowano w oparciu o wyniki gęstościowego rozwarstwiania we wnętrzu komory roboczej osadzarki laboratoryjnej, otrzymano z półproduktu o uziarnieniu 30-0,5 mm, uzyskiwanego w procesie przemysłowym.

W tabeli 2 zamieszczono składy gęstościowe spreparowanych nadaw doświadczalnych.

Składy gęstościowe nadaw doświadczalnych [4]

Tabela 2

Gęstość frakcji [g/cm <sup>3</sup> ]	Klasa ziarnowa, mm			
	30-0,5			16-0,5 [%]
	Całość [%]	Klasofrakcja 30-16 [%]	Klasofrakcja 16-0,5 [%]	
<1,4	58,43	68,38	56,34	57,30
1,4-1,8	28,65	24,95	29,43	30,53
>1,8	12,92	6,67	14,23	12,17
Suma	100,00	100,00	100,00	100,00
Udział	100,00	17,30	82,70	100,00

Skuteczność procesu dwuproduktowego wzbogacania półproduktu 30-0,5 mm określono w oparciu o analizy dokładności rozwarstwienia materiału wg gęstości ziaren dla dwóch gęstości rozdziału. Uzyskane podczas badań laboratoryjnych zróżnicowanie gęstości rozdziału wynoszących 1,42 g/cm<sup>3</sup> i 1,67 g/cm<sup>3</sup> wynikało z przyjętego podziału warstw wzbogacanego materiału na produkt koncentratowy i odpadowy (polegającego na alternatywnym dodaniu materiału warstwy II do warstwy I lub do warstwy III).

W tabeli 3 zestawiono parametry procesu rozdziału uzyskane podczas badań osadzarkowego rozdziału nadawy o uziarnieniu 30-0,5 mm, z uwzględnieniem klasofrakcji 30-16 mm oraz 16-0,5 mm.

Zestawienie parametrów procesu rozdziału klasy ziarnowej 30-0,5 mm [4]

Tabela 3

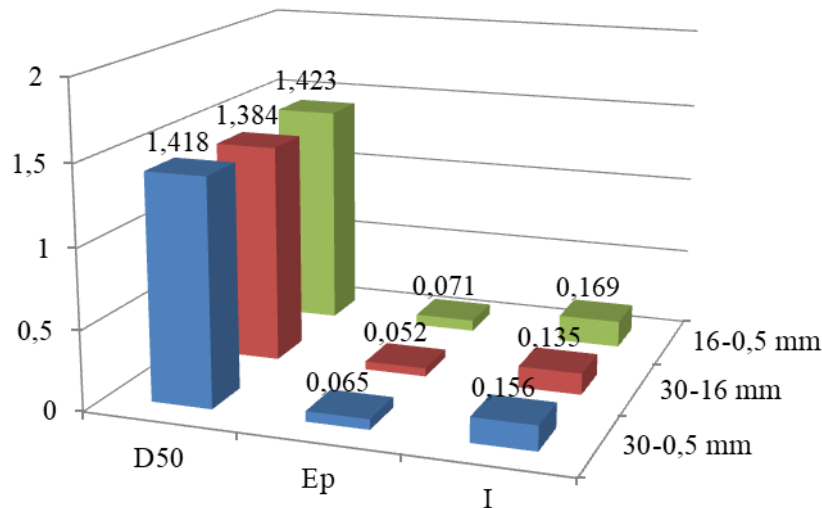
Parametr	Rozdział I		
	30-0,5 mm	Klasofrakcja	
		30-16 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału $D_{50}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,418	1,384	1,423
Rozproszenie prawdopodobne $E_p$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,065	0,052	0,071
Imperfekcja I	0,156	0,135	0,169
Parametr	Rozdział II		
	30-0,5 mm	Klasofrakcja	
		30-16 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału $D_{50}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,668	1,703	1,651
Rozproszenie prawdopodobne $E_p$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,161	0,099	0,168
Imperfekcja I	0,241	0,141	0,258

Analiza skuteczności wzbogacania półproduktu, w którym materiał warstwy I stanowił produkt koncentratowy a pozostała w komorze część materiału produkt odpadowy, wykazała, że przy gęstości rozdziału  $D_{50}=1,418 \text{ g/cm}^3$  uzyskana wartość rozproszenia prawdopodobnego  $E_p=0,065 \text{ g/cm}^3$ . Wynikowa wartość imperfekcji I wyniosła 0,156.

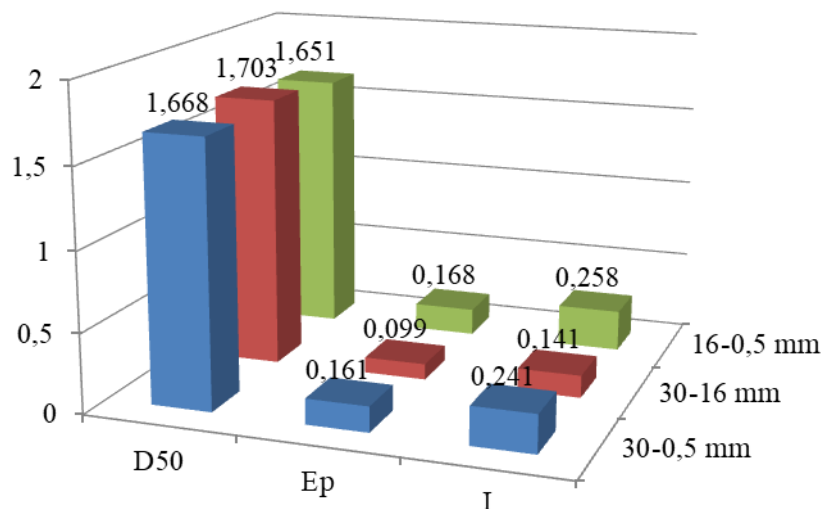
W przypadku, gdy materiał warstw I i II stanowił produkt koncentratowy, a materiał warstwy III produkt odpadowy, uzyskana wartość rozproszenia prawdopodobnego  $E_p$  była równa  $0,161 \text{ g/cm}^3$ , przy gęstości rozdziału  $D_{50}=1,668 \text{ g/cm}^3$ . Wynikowa wartość imperfekcji I wyniosła 0,241.

Analiza rozdziału klasofrakcji wykazała, że zgodnie z przewidywaniami, parametry rozdziału były korzystniejsze dla klasofrakcji 30-16 mm. Wartości rozproszenia prawdopodobnego dla ww. uziarnienia wyniosły  $0,052 \text{ g/cm}^3$  dla rozdziału I oraz  $0,099 \text{ g/cm}^3$  dla rozdziału II. Wynikowe wartości imperfekcji wyniosły odpowiednio 0,135 i 0,141.

Wyniki zawarte w tabeli 2 przedstawiono graficznie na rysunkach 1 i 2.



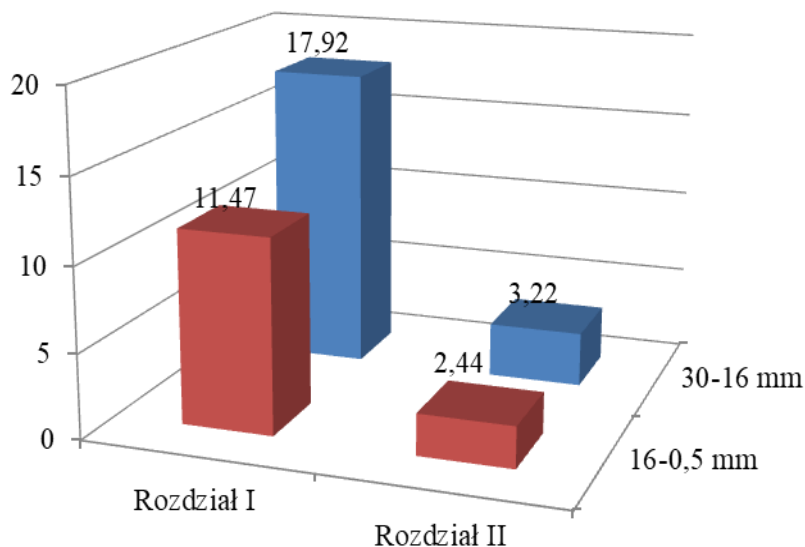
Rys. 1. Wpływ uziarnienia nadawy na parametry rozdziału klasy ziarnowej 30-0,5 mm – Rozdział I [4]



Rys. 2. Wpływ uziarnienia nadawy na parametry rozdziału klasy ziarnowej 30-0,5 mm – Rozdział II [4]

Analiza liczb rozdziału frakcji węglowych w warstwie III wskazujących na wielkość strat w produkcji odpadowym wykazała, że były one mniejsze przy rozdziale klasofrakcji 16-0,5 mm. Dla klasy 30-16 mm straty frakcji  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  w produkcji odpadowym wynosiły przy rozdziale I odpowiednio 17,92% a dla klasy 16 – 0,5 mm 11,47%. Przy rozdziale II straty ww. frakcji węglowych były niższe i wynosiły dla analizowanych klasofrakcji 30-16 mm oraz 16-0,5 mm odpowiednio wynosiły odpowiednio 3,22% oraz 2,44%.

Na podstawie powyższych wyników badań można stwierdzić, że udział ziaren węglowych klasy 30-16 mm w półprodukcie o uziarnieniu 30-0,5 mm może powodować zwiększenie strat substancji palnej w produkcji odpadowym podczas dwuproduktowego procesu wzbogacania półproduktu.



Rys. 3. Udziały frakcji  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  w produkcji odpadowym [4]

Analiza porównawcza wyników badań osadzkowego wzbogacania półproduktu w klasie ziarnowej 30-0,5 mm i 16-0,5 mm uzyskanej przez skruszenie ziaren klasy 30-16 mm o udziale 17,3 wykazała, że dwukrotne zmniejszenie zakresu uziarnienia w niewielkim stopniu wpłynęło na zmianę skuteczności dwuproduktowego rozdziału materiału charakteryzowanej rozproszeniem prawdopodobnym  $E_p$ . Zestawienie parametrów procesu rozdziału analizowanych klas ziarnowych zebrano w tabeli 4.

#### Porównanie parametrów procesu rozdziału klas ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm [4]

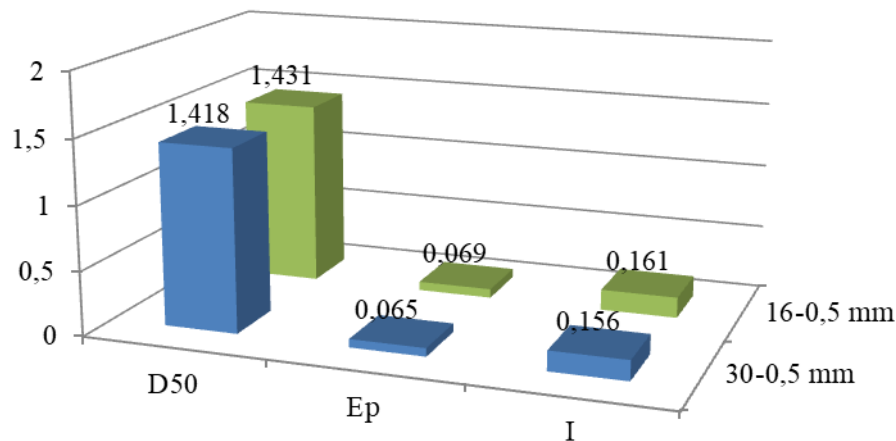
Tabela 4

Parametr	Rozdział I	
	Klasa ziarnowa	
	30-0,5 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału $D_{50}$ , $\text{g/cm}^3$	1,418	1,431
Rozproszenie prawdopodobne $E_p$ , $\text{g/cm}^3$	0,065	0,069
Imperfekcja I	0,156	0,161
Parametr	Rozdział II	
	Klasa ziarnowa	
	30-0,5 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału $D_{50}$ , $\text{g/cm}^3$	1,668	1,695
Rozproszenie prawdopodobne $E_p$ , $\text{g/cm}^3$	0,161	0,161
Imperfekcja I	0,241	0,231

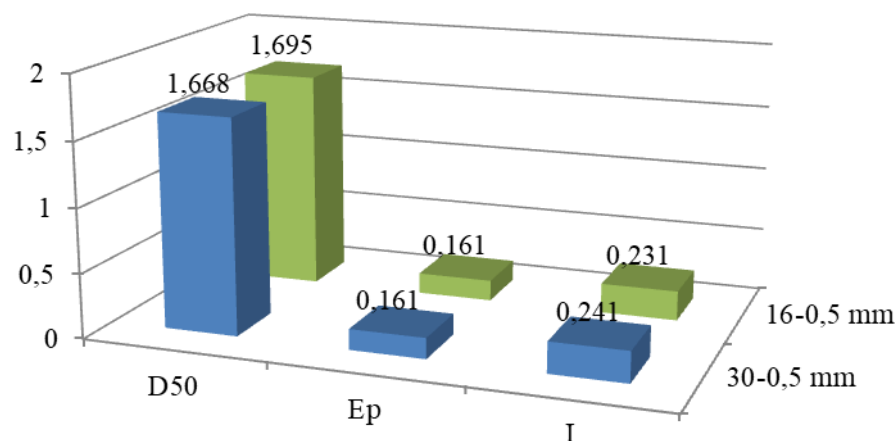
Przy zbliżonych gęstościach I rozdziału  $D_{50}$  wynoszących  $1,418 \text{ g/cm}^3$  dla klasy 30-0,5 mm oraz  $1,431 \text{ g/cm}^3$  dla klasy 16-0,5 mm, uzyskane wartości  $E_p$  wynosiły odpowiednio  $0,065 \text{ g/cm}^3$  i  $0,069 \text{ g/cm}^3$ . Wynikowe wartości imperfekcji I wyniosły odpowiednio 0,156 oraz 0,161.

Przy gęstościach II rozdziału  $D_{50}$  wynoszących  $1,668 \text{ g/cm}^3$  dla klasy 30-0,5 mm, oraz  $1,695 \text{ g/cm}^3$  dla klasy 16-0,5 mm, wartości  $E_p$  były jednakowo równe  $0,161 \text{ g/cm}^3$ . Dla rozdziału II wynikowe wartości imperfekcji I wyniosły odpowiednio 0,241 oraz 0,231.

Wyniki zawarte w tabeli 3 przedstawiono graficznie na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Porównanie parametrów rozdziału klas ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm – Rozdział I [4]

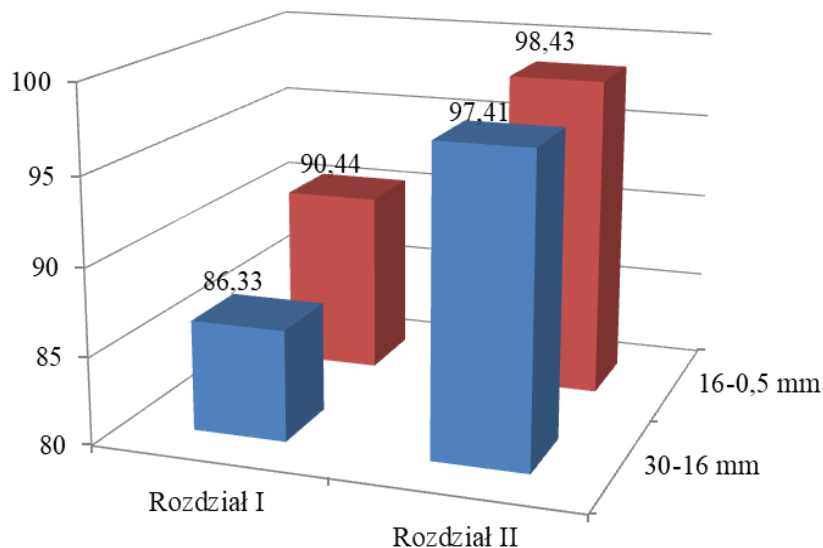


Rys. 5. Porównanie parametrów rozdziału klas ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm – Rozdział II [4]

Analiza uzysku ziaren węglowych o gęstości  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  w produktach koncentratowych wykazała korzystny wpływ zastosowanego podczas badań zmniejszonego zakresu uziarnienia nadawy półproduktowej na ilość koncentratu węglowego.

Przy gęstościach rozdziału  $D_{50}$  w zakresie  $1,42-1,43 \text{ g/cm}^3$  uzysk ziaren węglowych w produkcie koncentratowym klasy 16-0,5 mm wynoszący 90,4% był o 4,1% większy niż w produkcie koncentratowym klasy 30-0,5 mm.

W przypadku stosowania większych gęstości rozdziału  $D_{50}$  w przedziale 1,67-1,7 g/cm<sup>3</sup> odnotowany większy uzysk ziaren węglowych w produkcie koncentratowym przy rozdziale nadawy 16-0,5 mm był niższy i wyniósł 1%.



Rys. 6. Uzysk frakcji węglowych o gęstości  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  w produkcie koncentratowym [4]

#### 4. Koncepcja wtórnego wzbogacania półproduktu

Zwiększenie efektywności procesu produkcji węgla koksowych poprzez wzrost dokładności wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej jest możliwe po wprowadzeniu zmian technologicznych w węźle wzbogacania nadawy przerostowej oraz dostosowanie osadzarki do charakterystyki materiału.

Przedstawione w koncepcji rozwiązania uwzględniają wykazany w badaniach wpływ zakresu uziarnienia nadawy i obciążenia materiałem osadzarki wtórnje wzbogacającej półprodukt na skuteczność rozdziału trudnowzbogalnej nadawy przerostowej [4].

Czynnikami mającymi ujemny wpływ na dokładność rozdziału materiału w osadzarkowym węźle wzbogacania półproduktu jest:

- szeroki zakres uziarnienia nadawy wynoszący 20(30)-0 mm,
- znaczny przekraczający 20% udział w nadawie ziaren frakcji przerostowych, o gęstości 1,4-1,8 g/cm<sup>3</sup>,
- duży wynoszący około 40% udział w nadawie materiału drobnoziarnistego w klasie 2-0 mm,
- niestabilne i nadmierne obciążenie wtórnej osadzarki materiałem.

##### Zmiana zakresu składu granulometrycznego nadawy

Wzrost dokładności rozdziału materiału w osadzarce pulsacyjnej wzbogacającej wtórnje półprodukt w klasie ziarnowej 20(30)-0 mm jest możliwy poprzez zmniejszenie uziarnienia nadawy np. do 8-2 mm.

Proponowany zakres uziarnienia nadawy przerostowej zmniejsza udział ziaren równopadających i dzięki temu wpływa korzystnie na dokładność osadzarkowego procesu wzbogacania półproduktu.



W celu uzyskania nadawy przerostowej w wąskiej klasie ziarnowej 8-2 mm półprodukt z osadzarek wzbogacających węgiel surowy 20(30)-0 mm powinien być klasyfikowany na dwupokładowym przesiewaczu o rozmiarach otworów sit wynoszących 8 mm i 2 mm.

Produkt górny klasyfikacji w klasie 20(30)-8 mm po rozdrobieniu w kruszarce byłby łączony z materiałem w klasie 8-2 mm i kierowany do wtórnej osadzarki. Prognozowany wg wyników badań udział ziaren klasy 20(30)-8 mm w półprodukcie o uziarnieniu 20(30)-0 mm wynosi około 20%.

W proponowanym rozwiązaniu produkt dolny klasyfikacji na przesiewaczu o uziarnieniu 2-0 mm powinien być wzbogacany w oddzielnych węzłach wzbogacania.

Półprodukt w klasie ziarnowej 2-0,5 mm podlegałyby grawitacyjnemu wzbogacaniu w układzie urządzeń hydrocyklon i wzbogacalnik zwojowy lub wzbogacalnik z autogenicznym łóżem zawieszinowym (TBS) i wzbogacalnik zwojowy natomiast rozdział materiału o uziarnieniu <0,5 mm byłby realizowany przy wykorzystaniu procesu flotacji. Prognozowany wg wyników badań udział klasy ziarnowej 2-0 mm w półprodukcie o uziarnieniu 20(30)-0 mm wynosi około 40%, w tym udział ziaren <0,5 mm około 10%.

#### Zasilanie wtórnej osadzarki nadawą

Korzystnym rozwiązaniem zapewniającym stabilne obciążenie materiałem osadzarki wtórnie wzbogacającej półprodukt jest jego składowanie w zbiorniku wyrównawczym.

Zapewnienie równomiernego zasilania osadzarki nadawą jest jednym z podstawowych warunków procesowych pozwalających na uzyskiwanie zarówno wysokiej dokładności rozdziału materiału jak i na ułatwienie obsługi wzbogacalnika poprzez eliminację konieczności dokonywania regulacji technologicznych każdorazowo po zmianie ilości dostarczanej nadawy.

Składowanie półproduktu w zbiorniku wyrównawczym wyposażonego w zasuwę regulacyjną umożliwi stabilizowanie obciążenia nadawą wtórnej osadzarki szczególnie w przypadku ograniczonego wychodu półproduktu z osadzarek wzbogacających węgiel surowy.

Zawężenie uziarnienia nadawy przerostowej między innymi przez oddzielenie klasy ziarnowej 2-0 mm umożliwi zmniejszenie obciążenia osadzarki wtórnie wzbogacającej półprodukt o około 40% co może wpłynąć na wzrost dokładności grawitacyjnego rozdziału nadaw przerostowych.

#### Technologia trójproduktowego wzbogacania

Rozwiązaniem umożliwiającym jednoczesną lub alternatywną produkcję koncentratów węglowych jest zastosowanie trójproduktowego procesu wzbogacania w trójprzedziałowej osadzarce.

Przy zastosowaniu trójproduktowego wzbogacania półproduktu we wtórnej osadzarce produktem lekkim odprowadzonym przelewem mógłby być węgiel koksowy, natomiast produktami ciężkimi: produkt odpadowy odprowadzany z pierwszego lub z pierwszego i drugiego przedziału oraz węgiel energetyczny odprowadzany z drugiego i trzeciego przedziału lub tylko z trzeciego przedziału.

Propozycja trójproduktowego wzbogacania półproduktu we wtórnej osadzarce zwiększa zakres sterowania produkcją koncentratów węglowych i potencjalnie zmniejsza prawdopodobieństwo występowania znaczących strat węgla w odpadach. Wadą powyższego

rozwiązania jest konieczność zastosowania dodatkowego przenośnika kubelkowego, wirówki odwadniającej węgiel energetyczny oraz zabudowy dodatkowych przenośników taśmowych.

Celowość zastosowania trójproduktowej technologii wzbogacania półproduktu we wtórnej osadzarkie w przypadku planowania w niej produkcji węgla koksowych o niskiej zawartości popiołu uzasadniają wyniki analiz składu densymetrycznego nadaw przerostowych, w których udział frakcji węglowych o gęstości  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  był znaczny i zawierał się w przedziale od 50 do 65%.

Jednoczesne uzyskiwanie z wtórnej osadzarki wysokopopiołowego węgla energetycznego zawierającego oprócz frakcji przerostowych (których udział w nadawach wynosił od 20 do 30%) również część frakcji węglowych może korzystnie wpłynąć na efektywność ekonomiczną procesu produkcyjnego.

#### Sterowanie ruchem pulsacyjnym wody

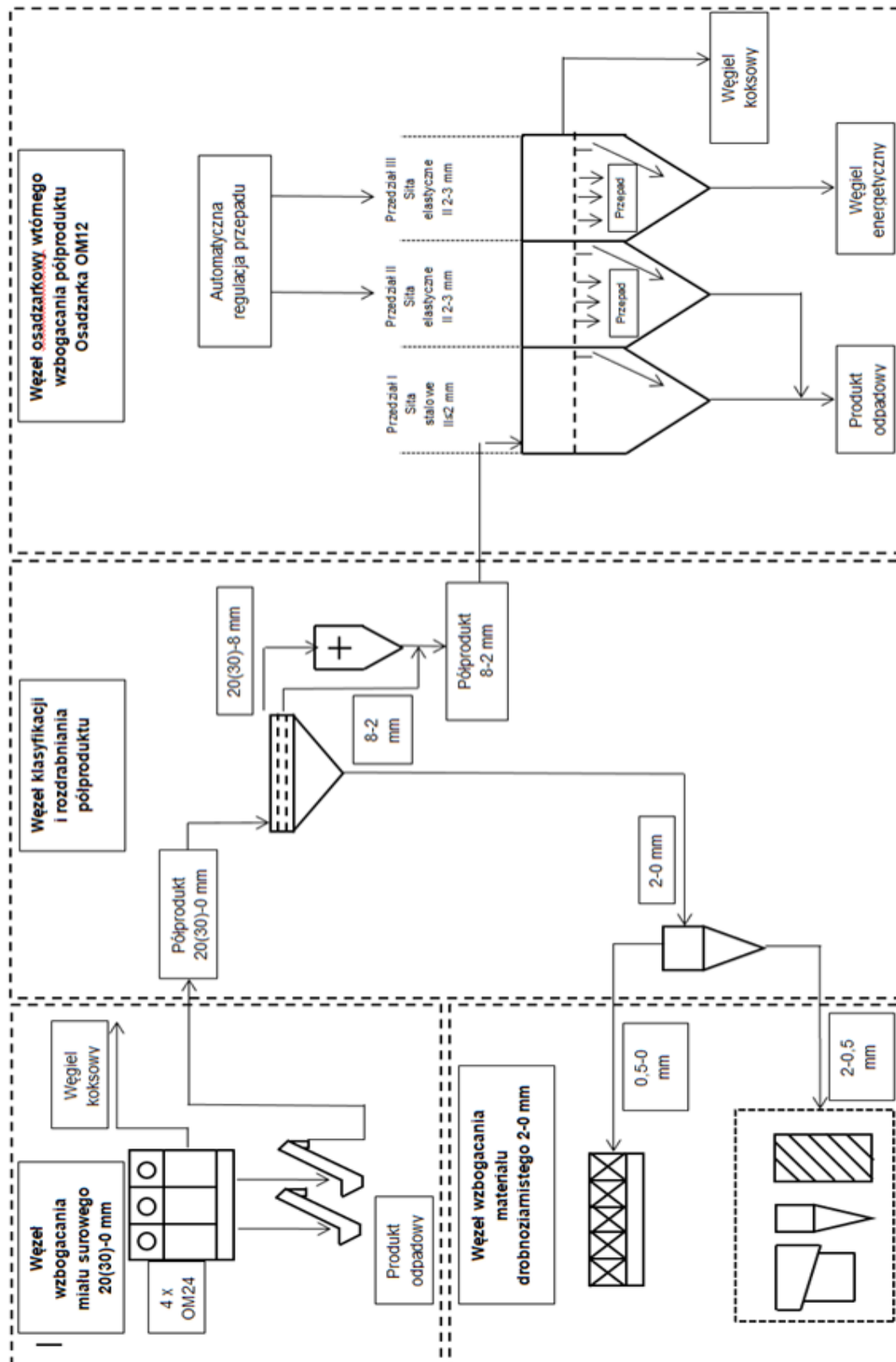
W osadzarkie wzbogacającej półprodukt charakteryzujący się małym uziarnieniem frakcji odpadowych na skuteczność rozdziału materiału w istotny sposób wpływa powierzchniowe odprowadzanie części drobnoziarnistego produktu ciężkiego przepadem przez otwory sit zabudowanych w przedziałach roboczych.

Automatyczna regulacja procesu powierzchniowego odprowadzania produktu ciężkiego może korzystnie wpłynąć, zarówno na skuteczność rozdziału materiału jak i na stabilizację parametrów jakościowych uzyskiwanych produktów wzbogacania.

W proponowanym rozwiązaniu, dla trójprzedziałowej osadzarki, automatyczna regulacja ilości odprowadzanego przepadem produktu ciężkiego realizowana będzie w drugim i trzecim przedziale roboczym przy wykorzystaniu zmian ilości sprężonego powietrza dostarczanego do komór pulsacyjnych. Zmiany ciśnienia będą następowały w oparciu o pomiar ciśnienia w podsitowej części osadzarki. Wzrost ciśnienia w ww. części osadzarki, na skutek przyrostu grubości warstwy osadzających się na powierzchni sitowej ziaren frakcji ciężkich, po przekroczeniu zadanej wartości ciśnienia, będzie powodować okresowe, jednoczesne i współzależne zwiększenie natężenia ruchu pulsacyjnego wody i ilości odprowadzanego przepadem produktu ciężkiego.

Korzystnym rozwiązaniem umożliwiającym skuteczne realizowanie powyższej technologii odprowadzania produktu ciężkiego jest zastosowanie, w miejsce stalowych, elastycznych sit poliuretanowych charakteryzujących się samooczyszczaniem otworów. W odróżnieniu od drugich i trzecich przedziałów osadzarki przedział pierwszy, w którym następuje wprowadzenie i rozprowadzenie materiału nadawy, powinien być wyposażony w sita metalowe o szczelinie nie większej niż 2 mm dla ograniczenia przepadu ziaren z nierozwarstwionego gęstościowo łoża. W pierwszym przedziale osadzarki odprowadzanie produktu odpadowego powinno być realizowane głównie przez szczelinowy przepust usytuowany w części końcowej przedziału.

Opracowaną koncepcję wtórnego wzbogacania półproduktu pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Koncepcja osadzarkowego węzła wtórnego wzbogacania półproduktu [4]

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzenie badań skuteczności procesu wtórnego wzbogacania półproduktu po dwustopniowym wzbogacaniu węgla koksowych o uziarnieniu 20(30)-0 mm w osadzarkach miałowych oraz analiza procesu przemysłowego umożliwiło ocenę dokładności grawitacyjnego rozdziału trudno wzbogacalnych nadaw przerostowych oraz identyfikację czynników wpływających na skuteczność dwuproduktowego rozdziału materiału w osadzarkowym węźle wtórnego wzbogacania półproduktu.

W oparciu o analizę wyników badań opracowano koncepcję osadzarkowego węzła wtórnego wzbogacania półproduktu umożliwiającą zwiększenie efektywności produkcji węgla koksowych.

W proponowanych rozwiązaniach zwiększenie efektywności produkcji węgla koksowych w węźle osadzarkowego wzbogacania półproduktu może być uzyskiwane głównie poprzez:

- zawężenie składu granulometrycznego nadawy przerostowej z 20-0 mm do 8–2 mm poprzez kruszenie ziaren 20–8 mm i kierowanie ziaren 2-0 mm do oddzielnych węzłów wzbogacania (hydrocyklony, wzbogacalniki TBS, wzbogacalniki zwojowe, flotacja),
- zmniejszenie obciążenia wtórnej osadzarki trudnowzbogacalnym materiałem przez oddzielenie od półproduktu ziaren 2-0 mm,
- zastosowanie trójproduktowej technologii wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej umożliwiającej jednoczesną produkcję węgla koksowego i energetycznego,
- wprowadzenie w systemie sterowania osadzarką automatycznej regulacji procesu powierzchniowego odprowadzania produktu ciężkiego przepadem przez otwory sit komory roboczej.

Opracowane koncepcje rozwiązań technologiczno – konstrukcyjnych osadzarkowego węzła wtórnego wzbogacania półproduktu mogą być wykorzystane podczas realizacji zadań projektowych lub modernizacyjnych w celu zwiększenia efektywności produkcji węgla koksowych i energetycznych.

## Literatura

- [1] Blaschke W.: Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2009
- [2] Blaschke W. i inni: Ekonomiczne kryterium wyboru sposobu wzbogacania miałów węgla koksowego, *Polityka Energetyczna* Tom 12, Zeszyt 2/2, 2009, s. 29-41
- [3] Kowalczyk J., Strzelec G.: Jastrzębska Spółka Węglowa SA – jakość produkcji i technologia wzbogacania węgla. *Inżynieria Mineralna* z. 2(13), Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalni, Kraków 2004, s. 28–44
- [4] Kowol D. i inni.: Zwiększenie efektywności procesu produkcji węgla koksowych 20(30)-0,5 mm poprzez wzrost dokładności wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej, ITG KOMAG Gliwice 2017 (materiały niepublikowane)
- [5] Lenartowicz M. i inni: Metoda doboru pokładów sitowych dla osadzarek wodnych pulsacyjnych, *Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 34, Zeszyt 4/1, 2010
- [6] Nycz R.: Aktualny stan przeróbki węgla kamiennego w Polsce. *Inżynieria Mineralna* z. 2, Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalni, Kraków 2000, s. 3–29