

Poprawa efektywności flotacji mułów węglowych poprzez zastosowanie nowej konstrukcji aeratora maszyny flotacyjnej

Jednym z najważniejszych elementów maszyny flotacyjnej jest aerator, odpowiedzialny za prawidłowe wymieszanie i napowietrzenie pulpy flotacyjnej. Dotychczasowe konstrukcje maszyn flotacyjnych stosowanych w polskim przemyśle węglowym to flotowniki pneumo-mechaniczne wyposażone w aeratory typu S4-Z. Aeratory te cechuje stosunkowo niska skuteczność i krótka żywotność. Zastosowanie nowego, wysokołopatkowego aeratora typu WD do flotacji węgla umożliwia poprawę jakości produktów wzbogacania oraz pozwala na osiągnięcie znacznych oszczędności w zużyciu energii elektrycznej w procesie flotacji. Aeratory typu WD charakteryzują się dłuższą żywotnością, związaną z wykorzystaniem do ich produkcji innowacyjnych powłok trudnościeralnych. Wymiana istniejących aeratorów S4-Z na aeratory serii WD jest prosta technicznie i nie wymaga istotnych nakładów finansowych.

1. WPROWADZENIE

Węgiel kamienny przygotowany do wzbogacania stanowi zbiór ziarnowy, zawierający 10-20% ziaren nadających się do flotacji. Pozostałe 80-90% materiału stanowi klasę od 0,5 do 80 mm przeznaczoną do wzbogacania z wykorzystaniem cieczy ciężkich, osadzarek i hydrocyklonów. Metody te pozwalają na produkcję czystych koncentratów węglowych o zapopieleniu 10-15%. Produktem ubocznym tych procesów jest duża ilość mułu węglowego o zapopieleniu od kilkunastu do około 40%. W przypadku węgla kierowanych do produkcji koksu wymagane jest zapopielenie produktów niższe niż 10%. Zapewnienie tak wysokiej jakości wsadu koksowniczego wymaga prowadzenia wzbogacania węgla w całym zakresie uziarnienia, włącznie z klasą poniżej 0,5 mm. Jedyną skuteczną w skali przemysłowej metodą wzbogacania tak drobnego materiału jest flotacja. Flotacja mułów węglowych w polskich zakładach przeróbki mechanicznej węgla (ZPMW) odbywa się nadal

głównie w oparciu o przepływowe, korytowe maszyny typu IZ-12 o pojemności roboczej pojedynczej komory 12 m³ [1]. Modernizacja oddziałów flotacji, polegająca na uruchomieniu nowoczesnych, wielkogabarytowych, polskich maszyn flotacyjnych serii IF, w większości przypadków staje się – ze względu na brak możliwości ich zabudowy – bardzo trudna lub wręcz niemożliwa do realizacji. Z uwagi na to celowym okazuje się poprawa efektywności flotacji przez zastosowanie w maszynach typu IZ-12 wysokołopatkowych aeratorów serii WD o lepszej charakterystyce pracy. Aerator, składający się z wirnika i statora, jest jednym z najważniejszych elementów maszyny flotacyjnej. Jest odpowiedzialny za prawidłowe wymieszanie, napowietrzenie i cyrkulację flotowanych mułów węglowych. Od prawidłowej pracy aeratora zależy jakość produktów flotacji. Maszyny IZ-12 wyposażone są standardowo w gumowane, niskołopatkowe aeratory typu S4-Z o średnicy wirnika 1000 mm. Pojedynczy zespół napędowy zasilany jest silnikiem o mocy 22 kW. Ze względu na wysoką konsumpcję energii elektrycznej oraz stosun-

kowo krótką żywotność aeratorów S-4Z przeprowadzono dla maszyn IZ-12 testy przydatności nowoczesnych, wysokoopatkowych aeratorów typu WD-720 o średnicy wirnika 720 mm. Aeratory serii WD, chronione odporną na ścieranie powłoką poliuretanową, są standardowym wyposażeniem wielkogabarytowych, okrągłych polskich maszyn flotacyjnych typu IF. Przydatność aeratorów WD-720 w maszynach flotacyjnych IZ-12 określono w trzech aspektach:

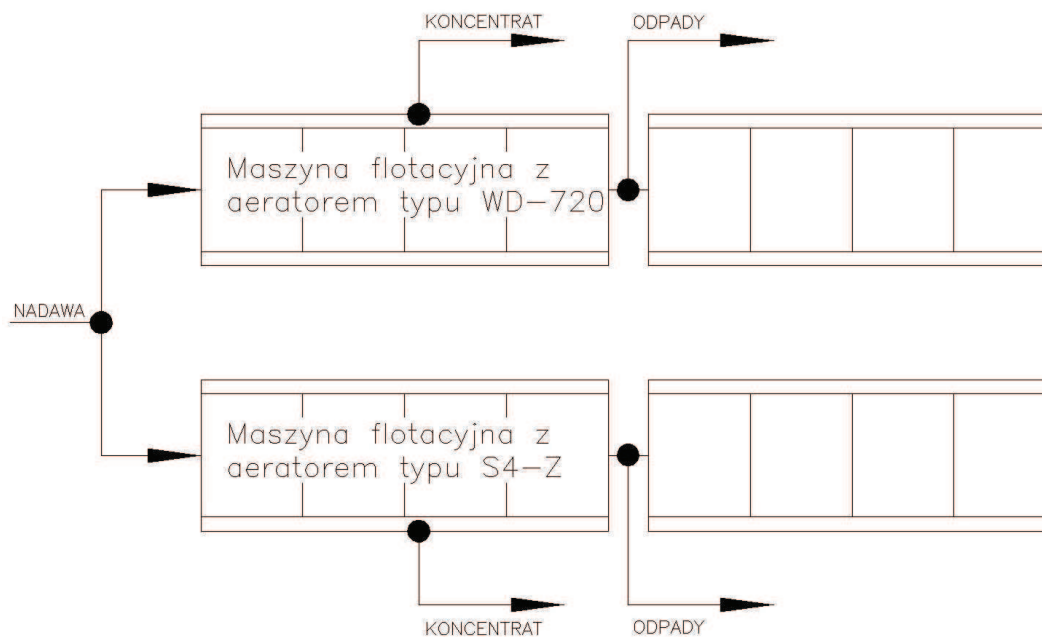
- poprawy jakości uzyskiwanych produktów flotacji,
- obniżenia konsumpcji energii elektrycznej w procesie flotacji,
- wydłużenia żywotności i związanej z tym niezawodności pracy aeratorów.

Nadrzędnym celem podjętych działań było opracowanie projektu zmodernizowanej maszyny flota-

cyjnej IZ-12 i przystąpienie – w oparciu o nowy projekt – do modernizacji parku maszynowego oddziałów flotacji zakładów przerobczych.

2. METODYKA PROWADZENIA PRAC

ZPMW KWK „Pniówek” specjalizuje się w produkcji wysokiej jakości węgla koksowego typu 35.1 i w skali roku produkuje średnio 1 250 000 Mg handlowego flotokonzentratu o zapozieleniu około 6%. Próby z nowym aeratorem przeprowadzono w tym zakładzie w obrębie pierwszej 4-komorowej kaskady 8-komorowej maszyny IZ-12. Schemat flotacji wraz z usytuowaniem miejsc pobierania produktów flotacji pokazano na rys. 1.

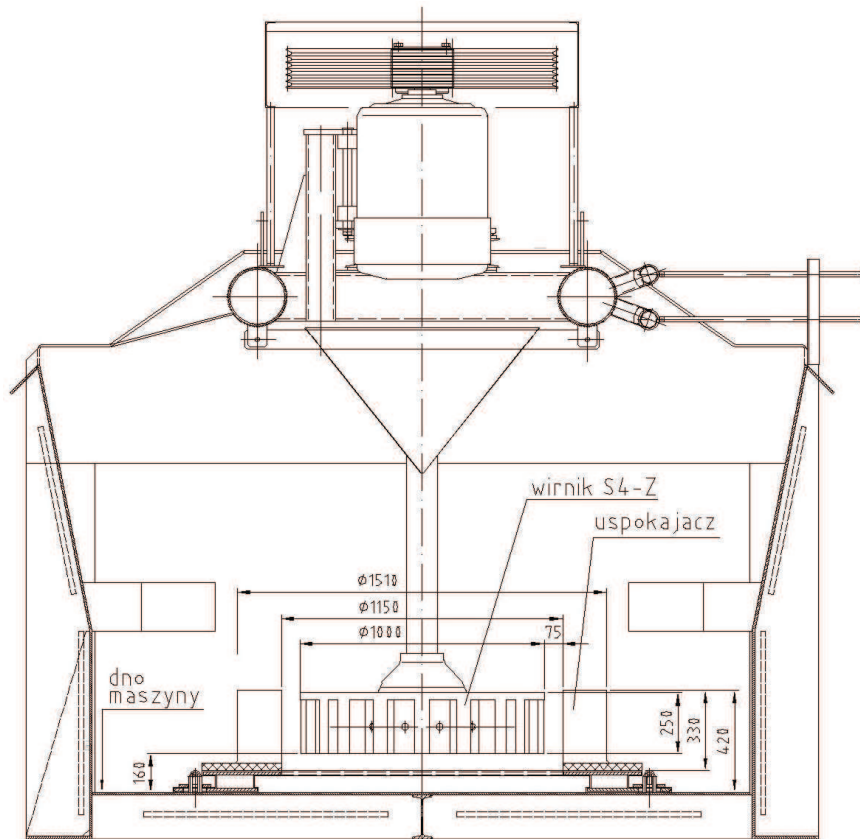


Rys. 1. Schemat flotacji i miejsca poboru prób technologicznych [4]

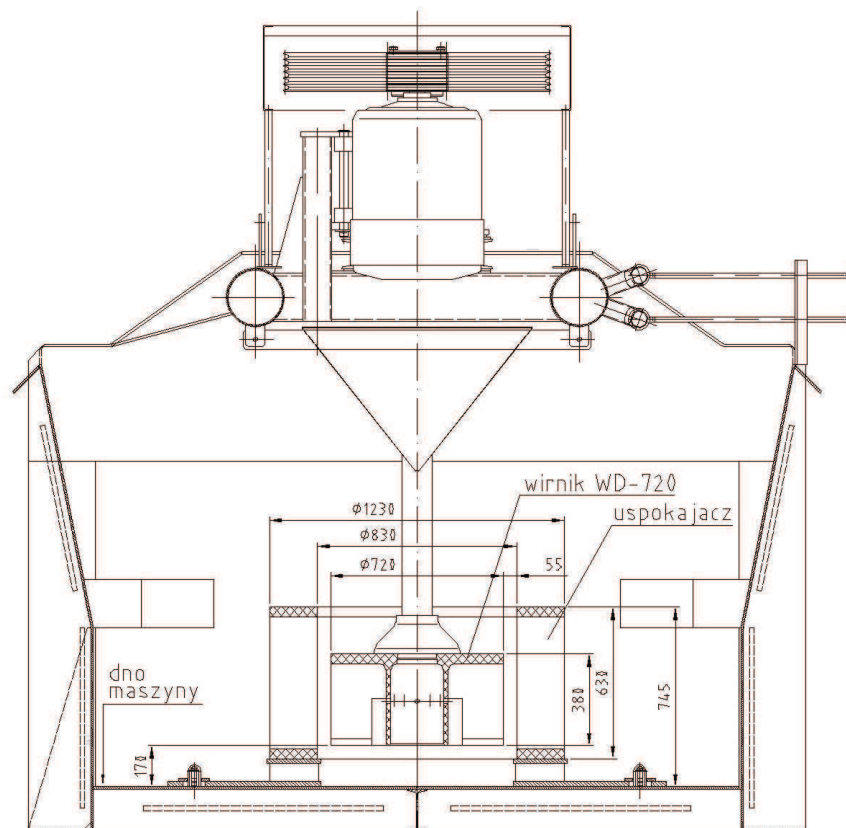
Na rys. 2. przedstawiono usytuowanie aeratora S4-Z we flotowniku IZ-12, natomiast rys. 3. pokazuje maszynę flotacyjną z zabudowanym aeratorem nowej konstrukcji typu WD-720. W obwód zasilania silników badanych układów aeracyjnych typu WD włączono przemiennik częstotliwości, który umożliwiał płynną regulację prędkości obrotowych wirników w zakresie od 5 do 6,5 m/s.

Podczas prób technologicznych badano wpływ zmian wartości prędkości obrotowych wirników aeratorów typów WD-720 na wartości parametrów jakościowych produktów flotacji (m.in.: stopień

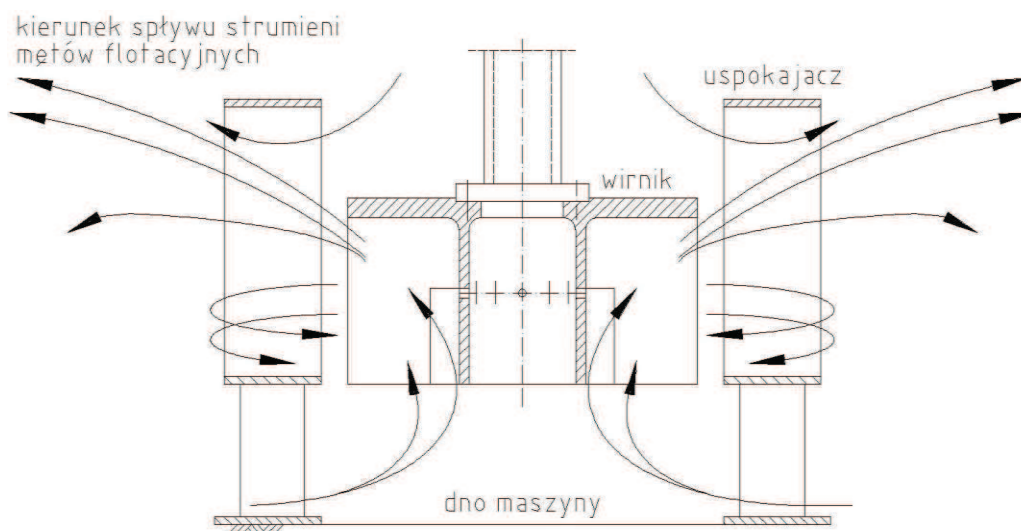
zapozielenia koncentratu i odpadu, uzysk substancji palnej w koncentracie) w stosunku do flotacji prowadzonej w oparciu o aeratory S4-Z, obracające się ze stałą prędkością obwodową 7,6 m/s. W obu przypadkach przyjęto stałą wielkość ilości powietrza technologicznego, doprowadzanego do pojedynczej komory, w wysokości 3 m³/min. Prawidłowy obieg strug mętów flotacyjnych w strefie aeratora typu WD przedstawiono na rys. 4. Badania prowadzono przy zachowaniu porównywalnych czasów flotacji [4].



Rys. 2. Aerator S4-Z w maszynie flotacyjnej IZ-12 [4]



Rys. 3. Wysokołopakowy aerator WD-720 w maszynie flotacyjnej IZ-12 [4]

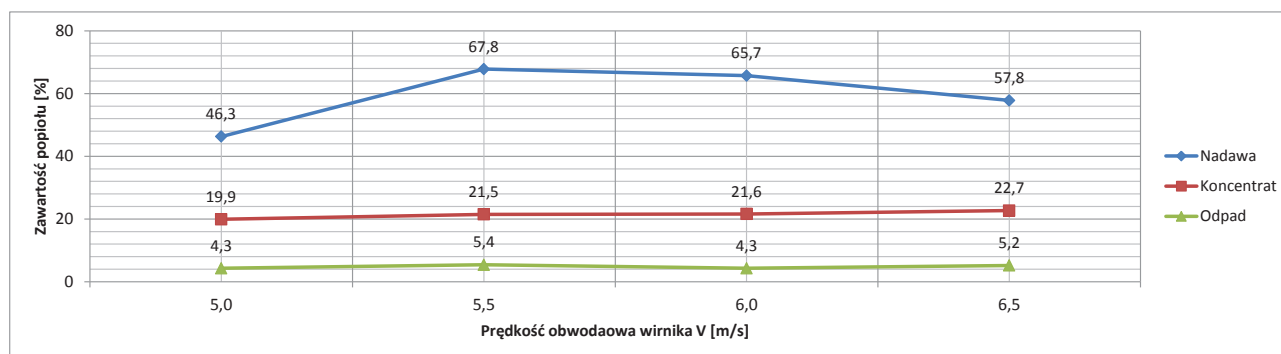


Rys. 4. Obieg mętno-flotacyjnych w strefie aeratora typu WD [4]

3. ANALIZA WYNIKÓW PRAC

W trakcie realizacji zadania zawartość popiołu w nadawie zawierała się w przedziale od 19,9% do 22,7%. Na rys. 5. pokazano wpływ zmiany prędkości obwodowej wirnika WD-720 w zakresie $V = 5,0-6,5$ m/s na zawartość popiołu w produktach flotacji. Wzrost prędkości V z 5 do 5,5 m/s powoduje zwiększenie zawartości popiołu w odpadzie z 46,3 do 67%, czyli o około 20%. W zakresie prędkości wirnika $V = 5,5-6$ m/s zawartość popiołu w odpadzie nie uległa większej zmianie i kształtuje się w przedziale od 67 do 65,7%. Dopiero podwyższenie prędkości do

wartości $V = 6,5$ m/s skutkuje widocznym pogorszeniem jakości odpadów i zapopieleniem 57,8%. Tłumaczy się to tym, że wysokołopatkowy wirnik WD-720, o wysokiej skuteczności tłoczenia mętno-flotacyjnych w obszarze aeracji powoduje w strefie odbioru produktu pianowego częściowe strącanie grubszych ziaren węglowych z wynoszącymi je pęcherzyków zdyspergowanego powietrza i przedostawanie się ich do odpadów. Zmiana prędkości wirnika w zakresie $V = 5-6,5$ m/s nie ma istotnego wpływu na zawartość popiołu w koncentracie. Zapopielenie tego produktu flotacji jest korzystnie niskie i wynosi od 4,3 do 5,4%.

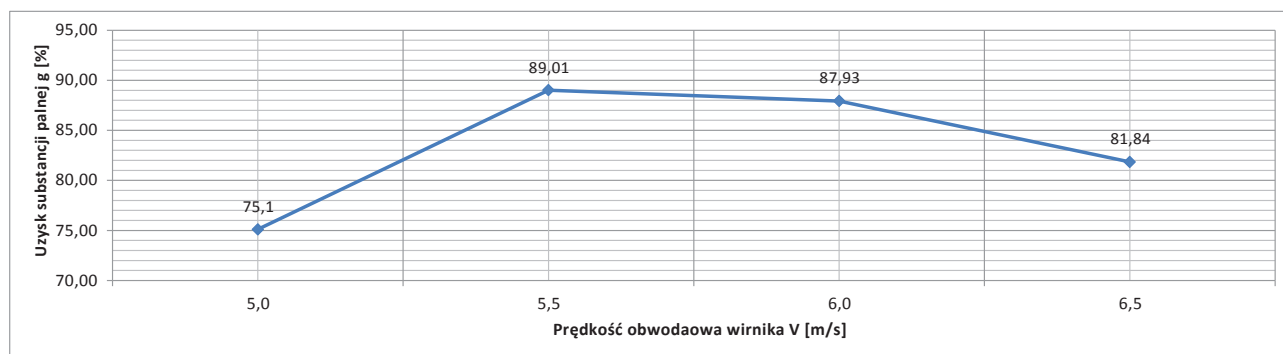


Rys. 5. Wpływ zmiany prędkości obwodowej wirnika WD-720 na zawartość popiołu w produktach flotacji [5]

Dla prób bazowych z aeratorami S4-Z pracujących przy prędkości obwodowej wirnika 7,6 m/s dla nadawy o zawartości popiołu 21% uzyskano następującą jakość produktów flotacji:

- zawartość popiołu w koncentracie: 4,8-5,9%,
- zawartość popiołu w odpadzie: 60,1-61%.

Na rys. 6. pokazano wpływ zmiany prędkości obwodowej wirnika WD-720 w zakresie $V = 5,0-6,5$ m/s na wielkość uzysku substancji palnej w koncentracie (ϵ).



Rys. 6. Wpływ zmiany prędkości obwodowej wirnika WD-720 na uzysk substancji palnej w koncentracie [5]

Wzrost prędkości V z 5 do 5,5 m/s skutkuje wyraźnym zwiększeniem uzysku substancji palnej w koncentracie z 75,10 do 89,01%, czyli o około 14%. W zakresie prędkości wirnika $V = 5,5-6$ m/s wartość uzysku nie ulega wyraźnej zmianie i kształtuje się w przedziale od 89,01 do 87,93%. Dalsze podwyższenie prędkości wirnika do $V = 6,5$ m/s powoduje znaczący spadek uzysku do poziomu 81,84% (czyli o około 6%). Powód spadku uzysku wyjaśniono przy analizie rys. 4. W przypadku stosowania aeratorów typu S4-Z opisywany powyżej uzysk substancji palnej w koncentracie kształtował się na poziomie 86%. Wielkość wychodu koncentratu dla obu typów aeratorów jest zbliżona i kształtuje się na poziomie 73%.

Reasumując, zastąpienie aeratorów typu S4-Z nowoczesnymi, wysokołopatkowymi aeratorami WD-720 powoduje w zakresie prędkości obwodowych wirnika $V = 5,5-6$ m/s wyraźny wzrost zawartości popiołu w odpadach flotacyjnych średnio o 5,8%. Równocześnie jakość koncentratu pozostaje na porównywalnym poziomie 5%. Wykazano też wzrost uzysku substancji palnej w koncentracie w wysokości 2-3%.

Prędkość obwodową $V = 5,5$ m/s dla wirnika WD-720 uzyskujemy, wymieniając jedynie aeratory, bez ingerencji w pozostałe elementy układu napędowego (parametry silnika, geometria przekładni pasowej), co wpływa na znaczne obniżenie kosztów częściowych modernizacji starszych, lecz jeszcze sprawnych maszyn flotacyjnych typu IZ-12 [4]. Zysk energetyczny z zamiany aeratorów kształtuje się na poziomie 5-10%.

Zmniejszenie prędkości obwodowej z 7,6 m/s dla wirnika S4-Z do 5,5 m/s dla WD-720 wpłynie korzystnie na wydłużenie żywotności aeratorów w maszynach do flotacji mułów węglowych poprzez zmniejszenie ich zużycia ściernego. Wydłużeniu ulegnie okres ich niezawodnego funkcjonowania, zmniejszą się przerwy w ciągłości pracy zakładu przerobczego, a także koszty

remontowe. W latach 2002-2003 w Instytucie Metali Nieżelaznych w Gliwicach, w ramach realizacji pracy badawczej pt. „Dobór pokryć ochronnych elementów przepływowych maszyn flotacyjnych”, wykonano kompleksowe badania odporności na zużycie ściernie gumowych i poliuretanowych powłok ochronnych pokrywających wirnik i łopatki uspokajacza zespołu aeracyjnego flotownika. Badano m.in. powłoki z gumy trudnościeralnej stosowanej do zabezpieczenia aeratorów S4-Z oraz powłoki z poliuretanów używanych do produkcji aeratorów typu WD i wykładzin przeciwciernych elementów przepływowych flotowników. Próby prowadzono w jednym z Zakładów Wzbogacania Rud Miedzi w węzle flotacji wstępnej, charakteryzującej się wysoką abrazyjnością mętów flotacyjnych (znacznie wyższą niż w przypadku flotacji mułów węglowych). Wyznacznikiem żywotności powłoki był względny ubytek jej masy M – dla gumy $M = 0,7$, a dla poliuretanu $M = 0,3$. Świadczy to o ponad dwukrotnym wzroście żywotności poliuretanowych aeratorów typu WD w stosunku do aeratorów gumowanych serii S4-Z [2, 3].

4. PODSUMOWANIE

Wyniki prac przeprowadzonych w ZPMW KWK „Pniówek” potwierdziły celowość zastąpienia w maszynach IZ-12 do flotacji mułów węglowych aeratorów S4-Z nowoczesnymi, wysokołopatkowymi aeratorami typu WD-720, będącymi standardowym wyposażeniem wielkogabarytowych, okrągłych flotowników serii IF. Wymiana aeratorów skutkuje podwyższeniem jakości produktów flotacji, w tym wzrostem zawartości popiołu w odpadach o 5,8% oraz uzysku substancji palnej w koncentracie w wysokości 2-3%. Jakość koncentratu pozostaje dla obu typów aeratorów na porównywalnym, wysokim poziomie 5%. Należy zazna-

czyć, że doświadczenia wykonywano w strefie pierwszej kaskady flotownika IZ-12. Zysk energetyczny z zastosowania aeratorów WD-720 wynosi od 5 do 10%. Żywotność aeratorów typu WD, pokrytych wysokoodpornym na ścieranie poliuretanem, jest ponad dwukrotnie wyższa niż w przypadku gumowanych aeratorów typu S4-Z. Zastosowanie aeratorów WD skutkuje zmniejszeniem ilości przerw remontowych i związanych z tym strat finansowych w zakładach przerobczych. W Instytucie Metali Nieżelaznych opracowano dokumentację techniczną zmodernizowanej maszyny flotacyjnej typu IZ-12.

W 2012 r. w ZPMW KWK „Pniówek” rozpoczęto modernizację parku maszynowego oddziału flotacji. W pierwszym etapie w jednej z pięciu 8-komorowych maszyn IZ-12 wymieniono wszystkie aeratory z S4-Z na wysokołopatkowe WD-720 oraz zmieniono miejsce doprowadzania powietrza technologicznego do flotacji.

Po modernizacji uzyskano następujące średnie parametry jakościowe produktów flotacji (dla zawartości popiołu w nadawie 22,7%) [5]:

- zawartość popiołu w średnim koncentracie z dwóch kaskad – 5,8%,
- zawartość popiołu w końcowych odpadach – 75,8%,
- uzysk substancji palnej w koncentracie – 92,4%.

Powyższe parametry jakościowe są bardzo korzystne dla pracy zakładu przerobczego i potwier-

dzają celowość rozpoczętej modernizacji (wymiany) maszyn flotacyjnych typu IZ-12.

Sugerowana jest modernizacja flotacji mułów węglowych, polegająca na zastępowaniu maszyn korytowych serii IZ wysokowydajnymi, efektywnymi technologicznie i wymagającymi mniejszych nakładów finansowych w czasie eksploatacji wielkogabarytowymi, okrągłymi maszynami typu IF. Flotowniki IF o pojemnościach 30, 45, 57 i 100 m³, wyposażone standardowo w nowoczesne aeratory typu WD, pracują od 2005 r. zarówno w polskich, jak i chińskich zakładach wzbogacania mułów węglowych.

Literatura

1. Gramała J., Wieniewski A.: *Określenie przydatności maszyn o przeciwnym przepływie zawiesiny do flotacji mułów węglowych różnego pochodzenia*, Sprawozdanie IMN nr 6671/2009, 2009 r., nieopublikowane.
2. Zachariasz T., Gramała J.: *Dobór pokryw ochronnych elementów przepływowych maszyn flotacyjnych. Etap 1*, Sprawozdanie IMN nr 5902/14/2002, 2002 r., nieopublikowane.
3. Zachariasz T., Gramała J.: *Dobór pokryw ochronnych elementów przepływowych maszyn flotacyjnych. Etap 2*, Sprawozdanie IMN nr 5902/14/2003, 2003 r., nieopublikowane.
4. Zachariasz T., Łuczak R.: *Możliwość zastosowania aeratorów typu WD w maszynach flotacyjnych serii IZ na przykładzie flotacji mułów węglowych w KWK „Pniówek”*, Sprawozdanie IMN nr 6939/2011, 2011 r., nieopublikowane.
5. Zachariasz T., Szczepaniak K.: *Raport z rozruchu zmodernizowanej maszyny flotacyjnej IZ-12 (MF 1) w ZPMW KWK „Pniówek”*. Dokumentacja IMN, 2013 r., nieopublikowane.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.