

Hydrocyklony z cieczą ciężką w układach wzbogacania węgla kamiennego

Dense media cyclones for coal beneficiation circuits

mgr inż. Piotr Myszkowski – PRO-INDUSTRY Sp. z o.o. Sp.k.,
piotr.myszkowski@pro-industry.pl

STRESZCZENIE

W niniejszym opracowaniu omówiono zastosowanie hydrocyklonów cieczy ciężkiej stosowanych w układach wzbogacania węgla kamiennego oraz przedstawiono porównanie parametrów ekonomicznych układów opartych na hydrocyklonach cieczy ciężkiej oraz osadzarkach.

Zastosowanie hydrocyklonów cieczy ciężkiej do wzbogacania węgla (energetycznego oraz koksującego) jest bardzo ekonomicznym rozwiązaniem. W porównaniu do powszechnie stosowanych osadzarek jest to rozwiązanie, które oferuje uzyskanie znacznych, dodatkowych dochodów. Bardzo ważne jest także uproszczenie schematu technologicznego zakładu, jego obsługa nie wymaga wysokich kwalifikacji, a sam system jest kompaktowy.

Hydrocyklony wykorzystywane do wzbogacania w cieczy ciężkiej

Układ oparty na hydrocyklonie cieczy ciężkiej pracuje w sposób w pełni automatyczny, nie jest wymagana jakakolwiek ingerencja operatora, oprócz nastawy gęstości separacji. Praktycznie nie istnieje inny system do płukania węgla, który byłby tak niewrażliwy na zmiany wielkości ziaren, zmiany w zagęszczeniu ciał stałych w nadawie oraz oferował tak wysoki stopień odzysku. Na przykład, jeśli zakład jest zaprojektowany do wydajności 100t/h, otrzymamy w efekcie, praktycznie tą samą jakość produktu w zakresie 115 t/h do 20 t/h. Separacja jest równie wysoka dla różnych frakcji wymiarowych

Hydrocyklony stosowane są powszechnie dla węgla o różnych właściwościach fizykochemicznych. Zwiększenie przychodów zakładu obserwuje się nie tylko przy węglach trudno wzbogacalnych, ale również dla węgla łatwo wzbogacalnych. Przykładowo, dla węgla trudno wzbogacalnych, przy wydajności 700 t/h i popiele w produkcie 13,8%-17,1%, wzrost przychodów z tytułu zastosowania płuczki na hydrocyklonie cieczy ciężkiej, to ok. 10-14 mln USD rocznie, natomiast dla węgla łatwo wzbogacalnych odpowiedni wzrost przychodów wynosi 2 mln USD (popiół w produkcie 5,9%).

Typowe współczynniki rozproszenia prawdopodobnego uzyskiwane przy eksploatacji hydrocyklonów cieczy ciężkiej to $E_p = 0,02 \div 0,06$, podczas, gdy te współczynniki dla osadzarek to $E_p = 0,08 \div 0,24$. Współczynnik rozproszenia prawdopodobnego wpływa wprost na ilość odzyskanego węgla. We wszystkich przypadkach, ilość odzyskanego węgla na hydrocyklonie jest większa niż w najlepiej nawet pracującej osadzarce. Wzrost sprzedaży węgla handlowego z tym związany liczy się w milionach dolarów na rok.

Biorąc pod uwagę fakt, że w przyszłości należy spodziewać się coraz bardziej konkurencyjnego rynku sprzedaży węgla, na którym popyt i podaż będą regulowane jedynie mechanizmami rynkowymi, jedyną logiczną alternatywą jest eksploatacja płuczki opartej na

1. WSTĘP

Niezwykłe konkurencyjny rynek w branży górnictwa węgla powoduje konieczność zmiany dotychczasowych sposobów działania, również w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. W chwili obecnej są realizowane lub znajdują się w fazie koncepcyjnej projekty modernizacji zakładów przeróbki mechanicznej węgla. Wydaje się, że proste unowocześnianie parku maszynowego, tzn. zastępowanie urządzeń starszej generacji, nowszymi, bardziej wydajnymi, czy też bardziej oszczędnymi w eksploatacji, nie umożliwi poprawy rentowności zakładu górniczego, w taki sposób, aby był on konkurencyjny i przynosił maksymalny dochód. Oczywiście należy zawsze pamiętać, aby w procesie modernizacji parku maszynowego utrzymać lub polepszyć jakość produktu. Jednak największe zyski uzyska się poprzez zastosowanie zupełnie nowych, do tej pory w danym zakładzie, niestosowanych układów technologicznych, które umożliwiają prowadzenie procesu produkcji z większą rentownością. Podstawową kwestią przy prowadzeniu ruchu zakładu górniczego jest uzyskanie produktu o pożądanych przez klientów własnościach, przy maksymalizacji przychodów. Bardzo ważnym elementem jest również uzyskiwanie wysokich parametrów wydajnościowo-jakościowych przy niskich wymaganiach dotyczących kwalifikacji obsługi. Istotnym czynnikiem jest także brak miejsca pod zabudowę nowych urządzeń.

Węgiel kamienny w Polsce w perspektywie najbliższych 15 lat będzie najbardziej wykorzystywanym surowcem do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Decyduje o tym konkurencyjna cena w stosunku do innych surowców energetycznych, odnawialnych źródeł energii i rozbudowana sieć dystrybucyjna ułatwiająca dostęp. Własne złoża i wydobycie decyduje o bezpieczeństwie energetycznym Polski oraz zwiększa konkurencyjność polskiej

gospodarki na świecie. Jednak czy będzie to wyłącznie węgiel pochodzący z polskich zakładów górniczych?

Polskie zakłady górnicze będą musiały działać na niezwykle konkurencyjnym rynku, na którym popyt oraz ceny są ustalane w sposób rynkowy. Na jakie warunki należy się zatem przygotować? W wyniku pobieżnej analizy wykresu przedstawionego na rys. 1. możemy stwierdzić, że obecna cena węgla jest raczej średnia i prawdopodobnie należy nastawić się na długotrwałą sytuację, w której cena węgla będzie oscylować na obecnym poziomie. Stwierdzenie to jest aktualne, tak dla węgla energetycznego, jak i dla koksującego. Dla zakładów górniczych oznacza to konieczność zwiększenia rentowności produkcji przy niezminionej lub nawet spadającej jakości węgla surowego. Wzrost rentowności można osiągnąć jedynie poprzez zastosowanie sprawdzonej technologii produkcji opartej na hydrocyklonach cieczy ciężkiej.

W chwili obecnej w Polsce jedynie dwa zakłady górnicze stosują technologię wzbogacania węgla opartą na hydrocyklonach cieczy ciężkiej, Jest to dysonans do trendów obserwowanych w świecie. Wydaje się, że obecnie w Polsce niezbędne jest zastosowanie systemów, które gwarantują dużo bardziej rentowne prowadzenie procesu wzbogacania niż do tej pory.

Np. w samych Stanach Zjednoczonych, prawie wszystkie zakłady przeróbcze węgla oparte są na hydrocyklonach cieczy ciężkiej. Oprócz USA, płuczki węgla oparte na hydrocyklonach cieczy ciężkiej są stosowane na całym świecie, między innymi w Chinach, Indiach, Australii, południowej Afryce, Rosji, Indonezji. Najważniejszym powodem ich stosowania to większy odzysk węgla umożliwiający wzrost sprzedaży i przychodów.



Rys. 1. Zmiana ceny energetycznego węgla w kontraktach terminowych.

Fig. 1. Change of thermal coal price in futures contracts.

Zastosowanie hydrocyklonu wzbogacającego cieczy ciężkiej umożliwia znacznie uproszczenie schematu technologicznego, redukcję kosztów eksploatacyjnych, większy odzysk węgla oraz zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych, znacznie zredukowaną obsługę samego układu, jak również ograniczenie kosztów remontowych.

Wymagania użytkowników węgla koksowego dotyczące jakości koncentratów (produktu handlowego) powodują, że cały urobek musi być poddawany procesom wzbogacania. W warunkach krajowych sortymenty grube wzbogacane są we wzbogacalnikach z cieczą ciężką, sortymenty miałowe w osadzarkach, a najdrobniejsze metodą flotacji. Sortymenty miałowe i grube mogą być także wzbogacane w cyklonach z cieczą ciężką. Ten ostatni sposób preferowany jest w rozwiązaniach układów technologicznych za granicą, przede wszystkim w Australii, RPA, a także w większości zakładów przerobczych w USA.

W cyklonach z cieczą ciężką wzbogaca się w zasadzie klasy urobku węglowego o wymiarach od 0,5 do 90 mm. Badania pokazały, że maksymalny wymiar ziaren nie może przekraczać 1/3 wymiaru otworu wlotowego cyklonu. Wydajność dla jednego hydrocyklonu, w praktyce, wynosi od 50 t/h do nawet 900 t/h.

Cyklony z cieczą ciężką pracują z różną dokładnością mierzoną wskaźnikami rozproszenia prawdopodobnego lub imperfekcji. Badania wielkości wskaźnika rozproszenia prawdopodobnego czy wskaźnika imperfekcji są w warunkach przemysłowych rzadko wykonywane. Na podstawie analiz literaturowych przyjmuje się, że rozproszenie prawdopodobne (E_p) kształtuje się dla cyklonów z cieczą ciężką na poziomie $E_p = 0,02 \div 0,06$, czasami dochodzi do 0,08. Dla porównania dla osadzarek $E_p = 0,08 \div 0,24$, ale znane są przypadki, że E_p osadzarek dochodzi do wartości 0,32. Różnica pomiędzy hydrocyklonami cieczy ciężkiej a osadzarkami jest tym bardziej widoczna, im trudniej wzbogacalny jest dany węgiel, przy czym, nawet dla węgla łatwo wzbogacalnych, różnica w ilości odzyskanego węgla jest znaczna.

Zatem niekwestionowaną korzyścią z zastosowania cyklonów z cieczą ciężką jest większa dokładność wzbogacania, czyli większy odzysk węgla z nadawy! W warunkach przemysłowych przejawiało się to uzyskiwaniem wyższych wychodów koncentratu z jednostki nadawy przy tych samych parametrach jakościowych. Oznacza to, że z tej samej ilości urobku, dzięki wysokiej dokładności wzbogacania, otrzymuje się większą ilość produktu handlowego. Przekłada się to na wyższe wpływy z jego sprzedaży poprawiając efekty ekonomiczne zakładu przerobczego (zakładu górniczego).

Generalnie można stwierdzić, że istnieje bardzo duża zależność pomiędzy wychodami koncentratów a dokładnością wzbogacania. Przekłada się to wprost na efekty ekonomiczne kopalni. Im niższa ma być zawartość popiołu w koncentracie (produkcje handlowym) tym wyższa musi być dokładność wzbogacania urządzeń przemysłowych.

2. HISTORIA

Opracowanie i wdrożenie zastosowania hydrocyklonów cieczy ciężkiej nastąpiło w latach 50-tych XX wieku poprzez holenderską firmę Duch State Mines (DSM), a pierwszy zakład, Tertre and Winterslag, oparty na tej technologii, zbudowano w Belgii w roku 1957. Od tego czasu wzbogacanie przy pomocy hydrocyklonów cieczy ciężkiej stało się podstawową technologią stosowaną w zakładach przeróbki minerałów, szczególnie węgla w świecie. Okazało się, że jest ona bardzo skuteczna, nawet dla węgla zawierających dużą ilość materiału bliskiego punktu separacji gęstości oraz dzięki łatwości w bardzo dokładnej kontroli jakości produktu.

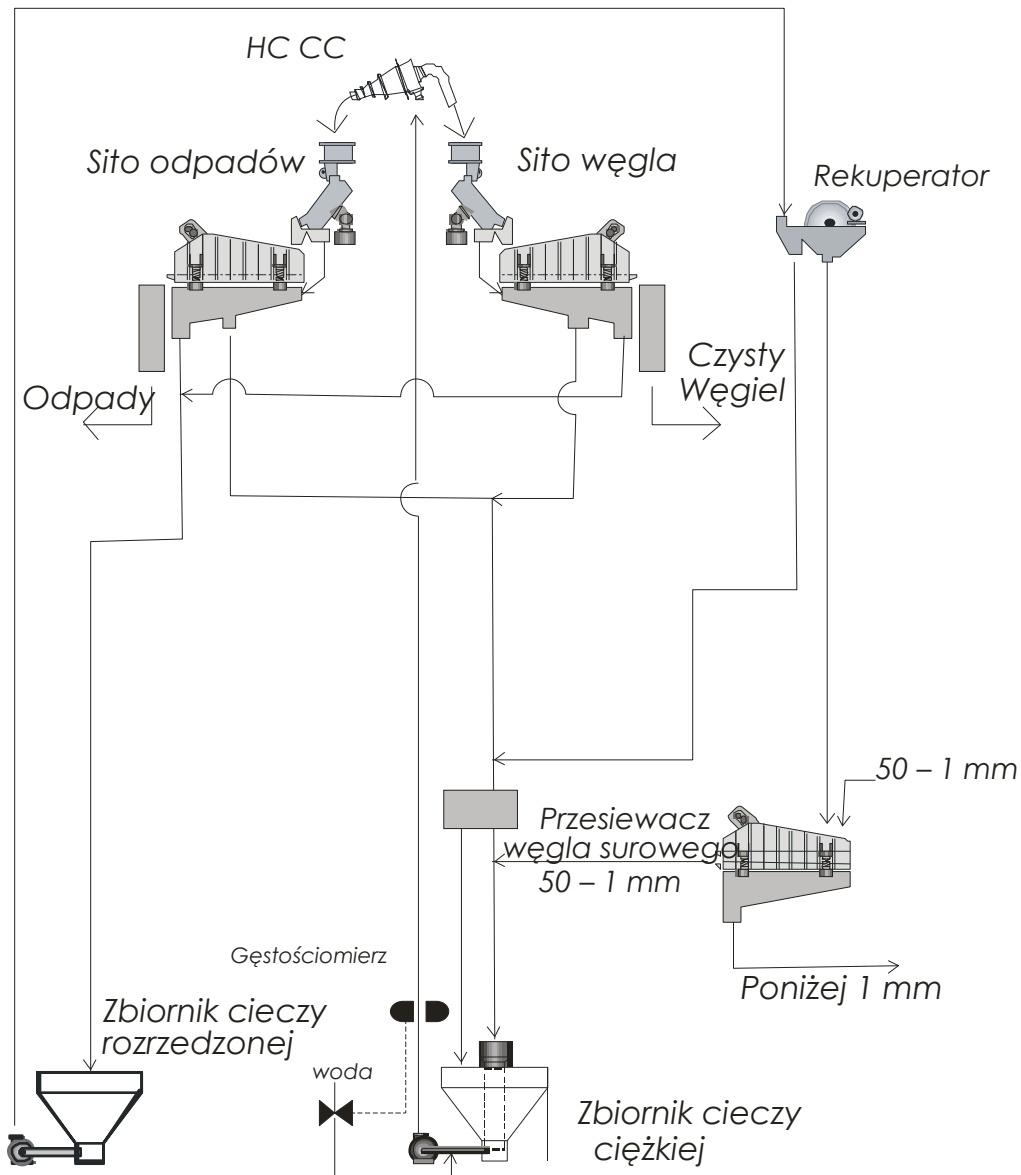
W latach 60'tych w USA zastosowano na masową skalę hydrocyklony cieczy ciężkiej przy wzbogacaniu węgla koksujących. Dla węgla energetycznych stosowano standardowe

wzbogacalniki grawitacyjne w środowisku wodnym. Potrzeba poszukiwania innej metody wzbogacania węgla koksujących wynikała z nacisków wywieranych przez producentów stali, którzy chcieli mieć węgiel o niskim popiele i niskiej zawartości siarki, rozwinięto technologię wykorzystania hydrocyklonów pracujących na cieczach ciężkich. Okazało się, że zastosowanie wydajnego i bardzo sprawnego układu wzbogacania na hydrocyklonach spowodowało większą dostępność węgla koksującego na rynku i jego spadek ceny. Skorzystały na tym spółki produkujące stal. Pionierem w wykorzystaniu hydrocyklonów cieczy ciężkiej do wzbogacania węgla koksującego była firma Betlejem Mines, wzbogacając węgiel w cieczach o niskiej gęstości oraz kreując na rynku zapotrzebowanie na węgiel o wysokich parametrach jakościowych.

Na początku lat 70-tych zaczęto stosować hydrocyklony cieczy ciężkiej również do energetycznych.

Oczywiście jest wiele korzyści z zastosowania hydrocyklonów cieczy ciężkiej, jednak głównymi to bezsprzecznie zwiększenie odzysku węgla oraz korzyści ekonomiczne. Jeśli polski przemysł węglowy zaczyna przestawiać swoje tory na działalność na wolnym rynku i zamierza na tym rynku konkurować, w rzeczywistości nie ma innego rozwiązania niż technologia oparta na hydrocyklonach cieczy ciężkiej. Pytanie tylko, kto wdroży ją najszybciej i kto będzie miał największy udział w rynku ze względu na możliwość oferowania odpowiedniego produktu przy zachowaniu rentowności produkcji.

3. TYPOWY SCHEMAT TECHNOLOGICZNY



Rys. 2. Typowy schemat technologiczny układu z hydrocyklonem cieczy ciężkiej

Fig. 2. Typical Dense Media Cyclone layout.

Najbardziej typowy układ płuczki cieczy ciężkiej opartej na cyklonie pokazano na rys. 2. W USA podobne układy stanowią ok. 80% wszystkich płuczek cieczy ciężkiej. Układ pracuje bardzo stabilnie i wydajnie, jednak jedynie wówczas, gdy cały układ technologiczny jest odpowiednio zaprojektowany, a szczególnie zbiornik cieczy ciężkiej wraz z oprzyrządowaniem.

Opis działania układu: surowy węgiel o granulacji 50,0mm – 1,0mm podawany jest na przesiewacz węgla surowego, na którym odsiewa się klasę -1,0mm. Następnie węgiel podawany jest do zbiornika cieczy ciężkiej. Do przygotowania pulpy w tym zbiorniku podaje się również odcieki z przesiewaczy węgla i odpadów, odzyskany magnetyt z rekuperatora, czystą wodę uzupełniającą oraz świeży magnetyt, w miarę potrzeb. Gęstość zawiesiny jest nadzorowana on-line przez gęstościomierz zamontowany na tłoczeniu pompy. Zawiesina podawana jest do hydrocyklonu cieczy ciężkiej. Z przelewu hydrocyklonu odbierany jest koncentrat węgla, który następnie przekazywany jest na przesiewacz, na którym odzyskuje się wodę. Odwodniony koncentrat w postaci czystego węgla, kierowany jest do dalszych procesów w zakładzie. Wylew z hydrocyklonu przedostaje się na przesiewacz odpadów, na którym odwadniamy odpady. Przepady z obu przesiewaczy (głównie obciążnik magnetyczny) są przekazywane do zbiornika cieczy rozrzedzonej, z którego kierowany jest na rekuperator. Z rekuperatora odzyskany magnetyt przepływa do skrzynki mieszającej i dalej do zbiornika cieczy ciężkiej. Frakcja niemagnetyczna kierowana jest do przesiewacza węgla surowego.

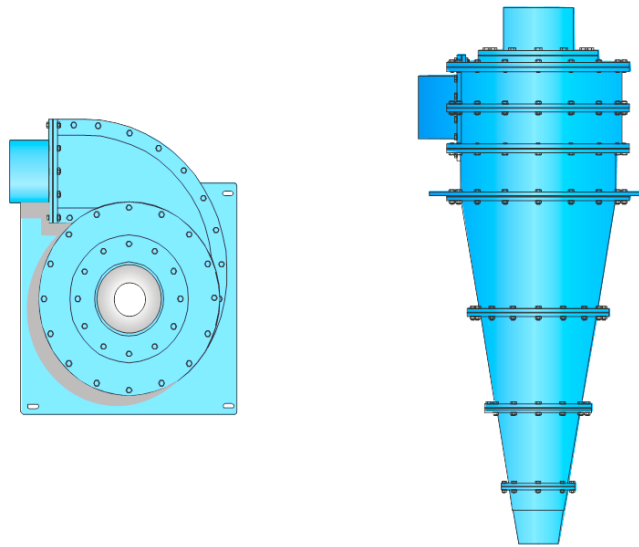
W przedstawionym powyżej układzie niezwykle prosta jest zmiana gęstości separacji. Odbywa się to poprzez zmianę ustawienia na komputerze operatora. Wówczas komputer, w zależności od potrzeb zwiększa ilość wody lub zwiększa ilość podawanego świeżego magnetytu. Zmiana gęstości separacji odbywa się w czasie kilkudziesięciu sekund.

Układ pracuje w sposób w pełni automatyczny, nie jest wymagana jakakolwiek ingerencja operatora, oprócz nastawy gęstości separacji. Praktycznie nie istnieje inny system do płukania węgla, który byłby tak niewrażliwy na zmiany wielkości ziaren, zmiany w zagęszczeniu ciał stałych w nadawie oraz oferował tak wysoki stopień odzysku. Na przykład, jeśli zakład jest zaprojektowany do wydajności 100t/h, otrzymamy w efekcie, praktycznie tą samą jakość produktu w zakresie 115 t/h do 20 t/h. Separacja jest równie wysoka dla różnych frakcji wymiarowych. W dalszej części niniejszego opracowania, przedstawione zostaną przykłady obrazujące zachowanie hydrocyklonów cieczy ciężkiej w przykładowych aplikacjach. Dla porównania, takie wyniki technologiczne są nie do otrzymania w systemach osadzarkowych – jest to wyraźnie widoczne przy porównywaniu krzywych wzbogacania dla osadzarek dla różnych klas ziarnowych.

4. ZASADA PRACY HYDROCYKLONU CIECZY CIĘŻKIEJ

W swojej pracy hydrocyklon cieczy ciężkiej wykorzystuje zasadę Archimedesesa podobnie jak to się dzieje w statycznym zbiorniku cieczy ciężkiej. Jediną różnicą jest to, że w

zbiorniku na ziarna działa jedynie siła ciężkości, podczas, gdy w hydrocyklonie na ziarna działa duża siła odśrodkowa przyspieszająca cały proces.



Rys. 3. Widok typowego hydrocyklonu cieczy ciężkiej.

Fig. 3. Typical dense Media Cyclone

Nadawa jest podawana pod odpowiednim ciśnieniem do wnętrza hydrocyklonu. Po przedostaniu się do wnętrza głowicy hydrocyklonu, zmienia się kierunek przemieszczającej się zawiesiny i nadawany jest jej ruch obrotowy. Wówczas lekkie ziarna (o małej gęstości) czyli koncentrat węgla, są kierowane do osi i są zabierane przez wodę wydostającą się z przez przelew (tworząc prądy wstępujące). Ziarna ciężkie w postaci odpadów i obciążnika magnetycznego, wyrzucane są w kierunku ścianek, po których zsuwają się do wylewu (tworząc prądy zstępujące). Na punkt gęstości separacji wpływa wiele czynników, jednak najważniejszym jest gęstość cieczy ciężkiej.

5. ZAKŁADY WZBOGACANIA OPARTE NA HYDROCYKLONACH CIECZY CIĘŻKIEJ

Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że hydrocyklon cieczy ciężkiej musi charakteryzować się specyficznymi właściwościami, odróżniającymi go od innych, tego typu konstrukcji. Oprócz odpowiedniej geometrii konstrukcji redukującej turbulencje i wydłużającej czas przebywania ziaren produktu wewnątrz hydrocyklonu, kluczowym jest stosowanie wykładziny ceramicznej, ponieważ odpady węgla są bardzo abrazyjne. Również niskie

ciśnienie na wlocie jest bardzo ważne, ponieważ wydłuża to znacznie żywotność hydrocyklonu oraz pompy nadawy, a także redukuje zjawisko klasyfikacji cząstek magnetytu.

Poprzez zastosowanie hydrocyklonów o dużych średnicach, możliwe jest efektywne prowadzenie procesu wzbogacania węgla, nawet dużych ziaren węgla (90mm) przy dużych wydajnościach (900 t/h i 2800m³/h). Bardzo często takie duże hydrocyklony stosowane są do czyszczenia jednocześnie grubych i drobnych klas ziarnowych węgla. W praktyce przemysłowej nie stosuje się mniejszych hydrocyklonów niż 500mm, które są odpowiednie dla ziaren 12,5mm i wydajności 50 t/h przy 700 m³/h.



Rys. 4. Hydrocyklon Krebs D40B (Ø 1000mm, 400 t/h, 1999r.)

Fig. 4. Hydrocyklon Krebs D40B (Ø 1000mm, 400 t/h, 1999)

Jedną z najważniejszych cech hydrocyklonów cieczy ciężkiej jest ich wydajność. Powszechnie stosowany hydrocyklon KREBS D26B, zyskał w świecie miano standardu jednak produkowane są także konstrukcje o większych rozmiarach.

Zastosowanie wykładzin ceramicznych o odpowiedniej grubości (od 25 do 36 mm) gwarantuje długotrwałą żywotność. Jednocześnie możliwa jest wymiana wykładzin w hydrocyklonie, dopasowując jego parametry eksploatacyjne do wymagań procesu. Istnieje kilkanaście różnorodnych zestawów wykładzin o różnych dysz wylewowych dla każdej wielkości hydrocyklonu.

6. PRZYKŁADY APLIKACYJNE ZASTOSOWANIA HYDROCYKLONÓW CIECZY
CIEŻKIEJ W PORÓWNANIU DO OSADZAREK

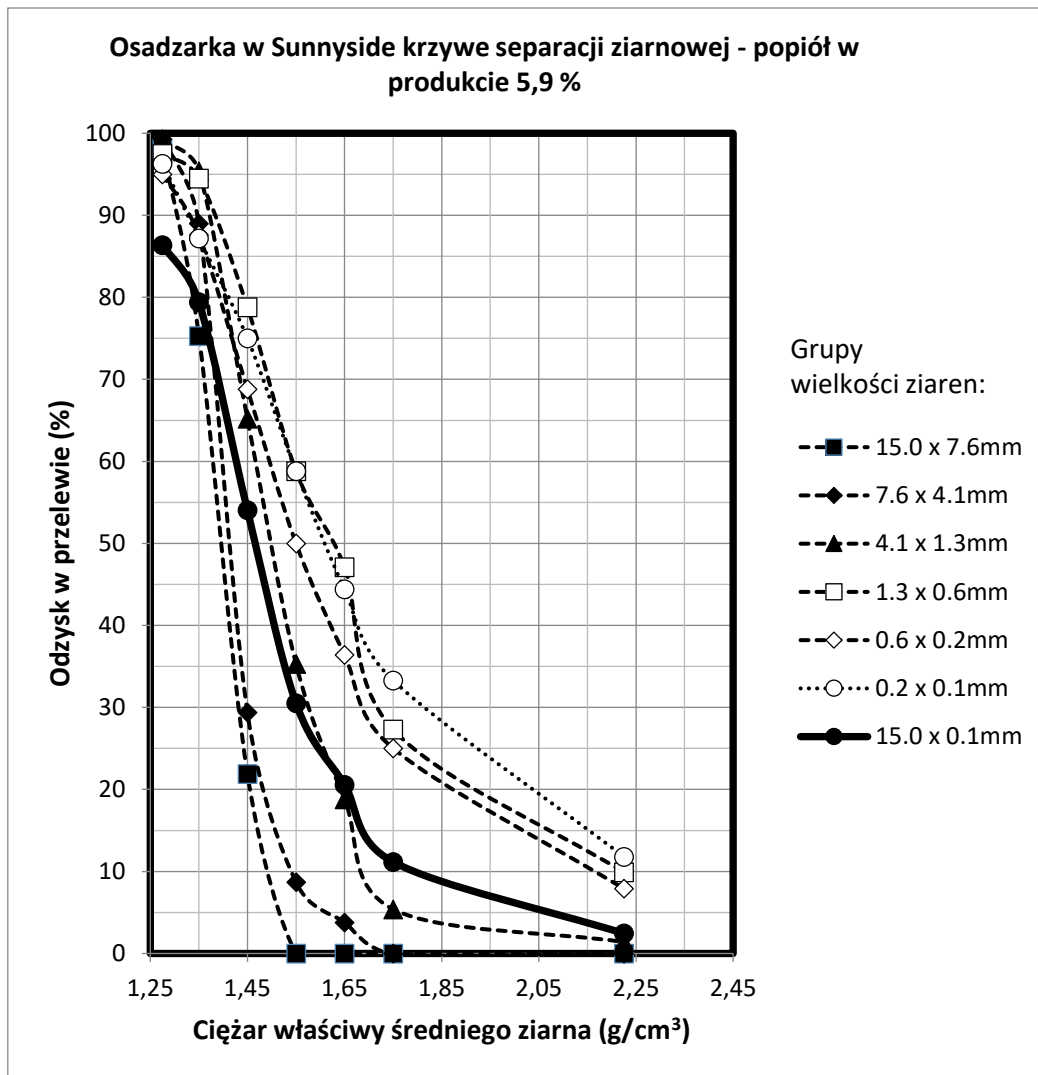
Kopalnia Sunnyside – węgiel łatwo wzbogacalny

Ilość materiału bliskiego punktu separacji = 9.6% (+/- 0.10 g/cm³)

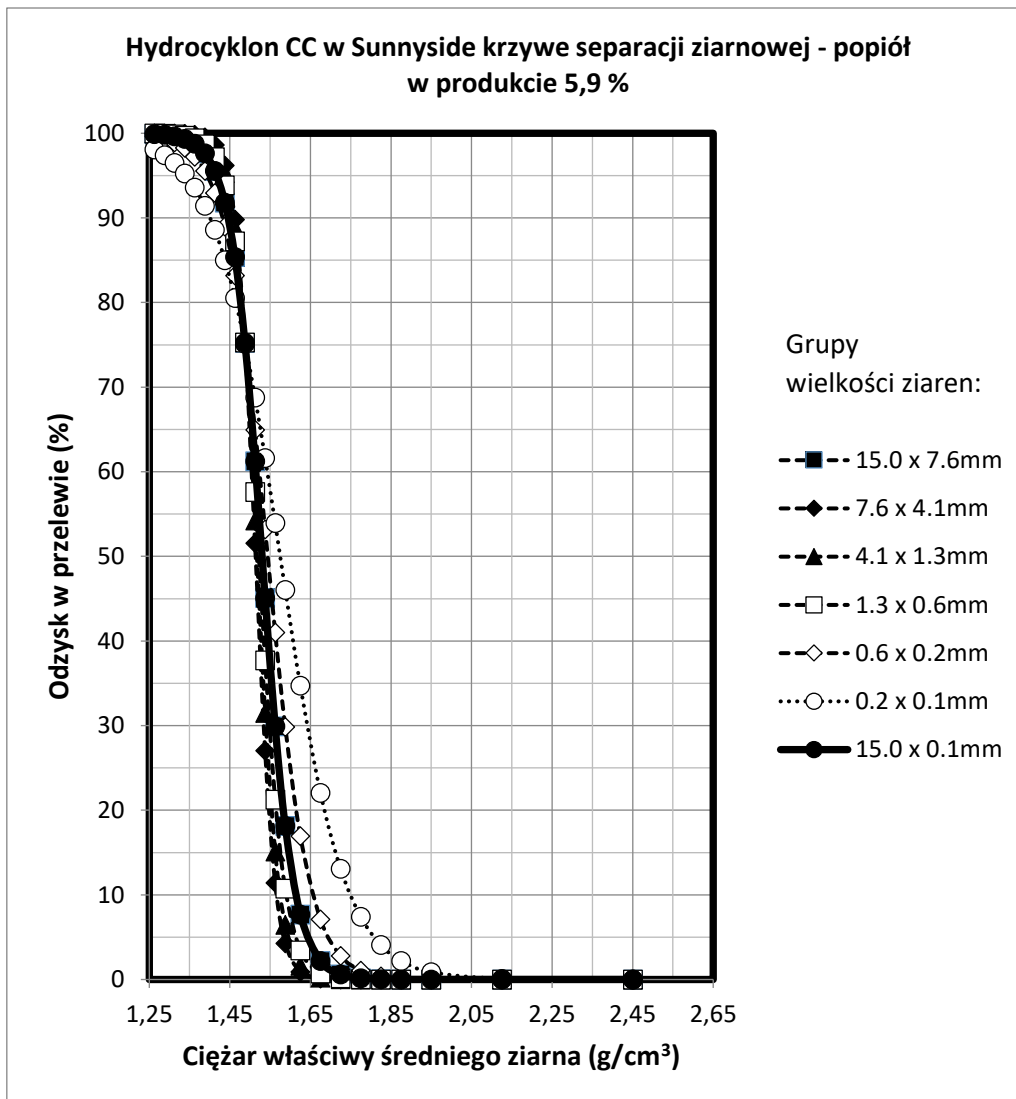
Nadawa 700 t/h

Popiół w produkcie 5,9%

	Osadzarka	Hydrocyklon CC
Nadawa węgiel surowy (t/h):	700	700
Odzysk (%):	76,1	78,2
Ilość produktu (t/h):	532,8	547,3
Popiół w produkcie (%):	5,9	5,9
Ilość godz. pracy:	5 600	5 600
Roczna ilość węgla surowego (t):	3 920 000	3 920 000
Odzysk (%):	76,1	78,2
Koszt przerobu (1 tona):	\$1,50	\$2,00
Roczny koszt operacyjny zakładu		
(USD):	\$5 880 000,00	\$7 840 000,00
Roczna ilość koncentratu (t):	2 983 501	3 064 941
Cena węgla czystego (USD/t):	\$50,00	\$50,00
Roczny przychód (USD):	\$149 175 052,51	\$153 247 034,64
Roczny dochód (USD):	\$143 295 052,51	\$145 407 034,64
Dochód (USD):	ODNOŚNIK	+ \$2 111 982,12



Wykres 1. Osadzarka w Sunnyside - krzywe separacji ziarnowej.



Wykres 2. Hydrocyklon CC w Sunnyside - krzywe separacji ziarnowej.

Z powyższego porównania wynika, że nawet dla węgla łatwego we wzbogacaniu, dodatkowych roczny dochód zakładu wynosi ponad 2 mln USD! Ponadto, analizując jedynie krzywe separacji ziarnowej dla osadzarek i hydrocyklonów cieczy ciężkiej można oczekiwać, że na hydrocyklonach otrzymamy znacznie lepszej jakości produkt, przy wyższych odzyskach. Do obliczeń przyjęto wyższe koszty jednostkowe przerobu jednej tony węgla dla hydrocyklonów, jednak w większości przypadków koszty te są niższe od osadzarek. Nie uwzględniono kosztów amortyzacji.

Kopłania Koehler – węgiel trudno wzbogacalny

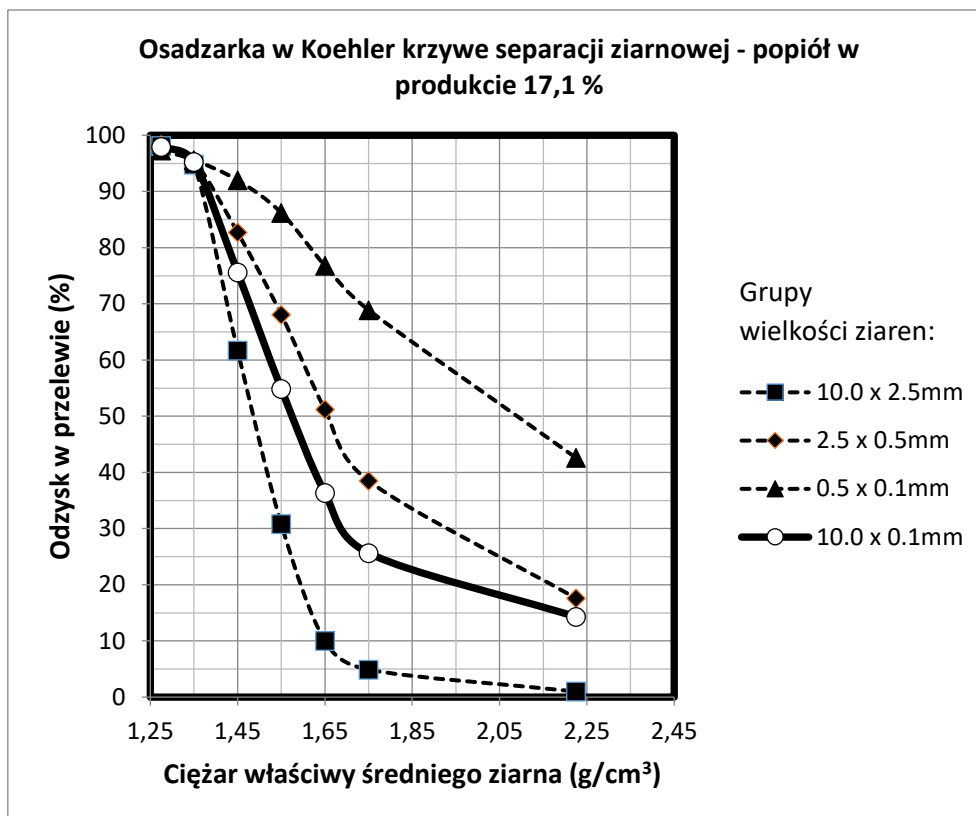
Pierwszy stopień

Ilość materiału bliskiego punktu separacji = 20.8% (+/- 0.10 g/cm³)

Nadawa 700 t/h

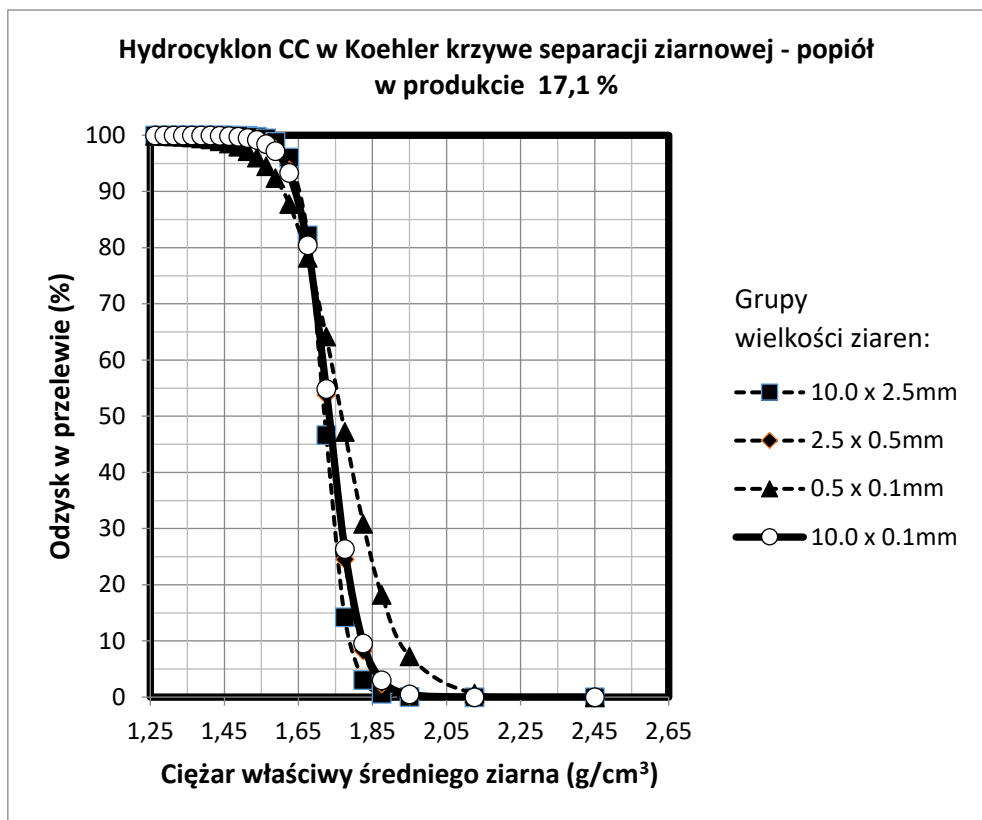
Popiół w produkcie 17,1%

	Osadzarka	Hydrocyklon CC
Nadawa węgiel surowy (t/h):	700	700
Odzysk (%):	62,4	70,4
Ilość produktu (t/h):	437,0	493,1
Popiół w produkcie (%):	17,1	17,1
Ilość godz. pracy:	5 600	5 600
Roczna ilość węgla surowego (t):	3 920 000	3 920 000
Odzysk (%):	62,4	70,4
Koszt przerobu (1 tona):	\$1,50	\$2,00
Roczny koszt operacyjny zakładu		
(USD):	\$5 880 000,00	\$7 840 000,00
Roczna ilość koncentratu (t):	2 446 997	2 761 172
Cena węgla czystego (USD/t):	\$50,00	\$50,00
Roczny przychód (USD):	\$122 349 864,00	\$138 058 597,60
Roczny dochód (USD):	\$116 469 864,00	\$130 218 597,60
Dochód (USD):	ODNOŚNIK	+\$13 748 733,60



Wykres 3. Osadzarka w Koehler - krzywe separacji ziarnowej, popiół w produkcie

17,1%



Wykres 4. Hydrocyklon CC w Koehler krzywe separacji ziarnowej - popiół w produkcie 17,1%

Drugi stopień

Ilość materiału bliskiego punktu separacji = 20.8% (+/- 0.10 g/cm³)

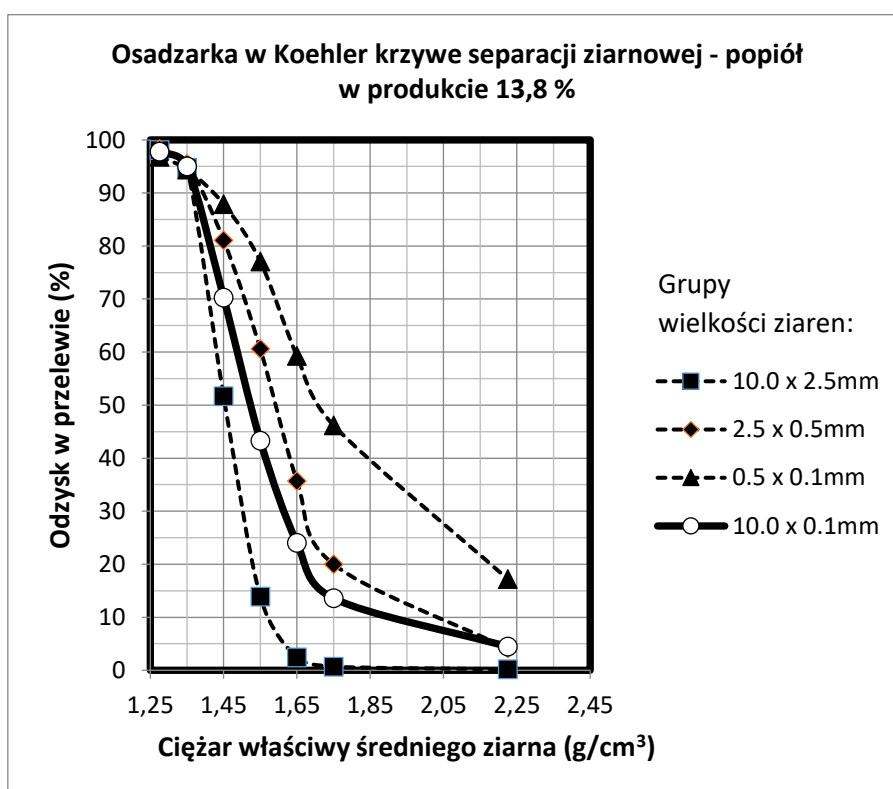
Nadawa 700 t/h

Popiół w produkcie 13,8%

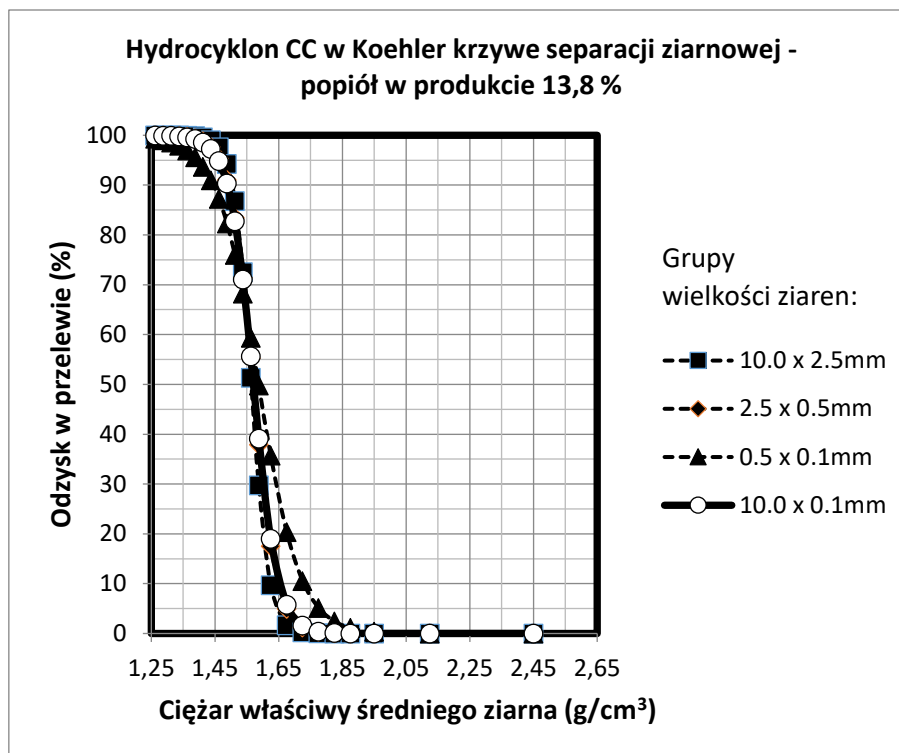
	Osadzarka	Hydrocyklon CC
Nadawa węgiel surowy (t/h):	700	700
Odzysk (%):	55,2	61,3
Ilość produktu (t/h):	386,4	429,4
Popiół w produkcie (%):	13,8	13,8
Ilość godz. pracy:	5 600	5 600
Roczna ilość węgla surowego (t):	3 920 000	3 920 000
Ozysk (%):	55,2	61,3
Koszt przerobu (1 tona):	\$1,50	\$2,00

Roczny koszt operacyjny zakładu

(USD):	\$5 880 000,00	\$7 840 000,00
Roczna ilość koncentratu (t):	2 163 963	2 404 641
Cena węgla czystego (USD/t):	\$50,00	\$50,00
Roczny przychód (USD):	\$108 198 144,21	\$120 232 044,80
Roczny dochód (USD):	\$102 318 144,21	\$112 392 044,80
Dochód (USD):	ODNOŚNIK	+\$10 073 900,59



Wykres 3. Osadzarka w Koehler - krzywe separacji ziarnowej, popiół w produkcie 13,8%



Wykres 3. Hydrocyklon CC w Koehler - krzywe separacji ziarnowej, popiół w produkcie 13,8%

W powyższym przypadku pokazano porównanie kosztów prowadzenia procesu wzbogacania na dwóch stopniach. Dla węgla trudnych we wzbogacaniu, dodatkowy roczny dochód zakładu wynosi od 10 do 14 mln USD w zależności od parametrów produkcji! Ponadto, analizując jedynie krzywe separacji ziarnowej dla osadzarek i hydrocyklonów cieczy ciężkiej można oczekiwać, że również w tych przypadkach na hydrocyklonach otrzymamy znacznie lepszej jakości produkt, przy wyższych odzyskach. Do obliczeń przyjęto wyższe koszty jednostkowe przerobu jednej tony węgla dla hydrocyklonów, jednak w większości przypadków koszty te są niższe od osadzarek. Nie uwzględniono kosztów amortyzacji.

Uwaga ogólna do przedstawionych powyżej wykresów krzywych separacji ziarnowej: jakość separacji dla różnych wielkości ziaren w osadzarkach jest „klasyczna”, co oznacza, że gęstość separacji wzrasta przy zmniejszających się wielkościach ziaren. Oczywiście hydrocyklon cieczy ciężkiej jest także swego rodzaju urządzeniem klasyfikującym, jednak praca w środowisku cieczy ciężkiej powoduje, że w cyklonie nie jest promowana separacja ziaren ze względu na ich wielkość, tak, jak to odbywa się w klasyfikatorach wodnych, również w osadzarkach. W rezultacie hydrocyklony oferują nie tylko ostrzejszą separację (krzywa jest

bardziej pionowa oraz dużo niższe E_p) ale także wszystkie wielkości ziaren są separowane w pobliżu tej samej gęstości, czyli drastycznie zwiększa się odzysk!

7. PODSUMOWANIE

Zastosowanie hydrocyklonów cieczy ciężkiej do wzbogacania węgla (energetycznego oraz koksującego) jest bardzo ekonomicznym rozwiązaniem. W porównaniu do powszechnie stosowanych osadzarek jest to rozwiązanie, które oferuje uzyskanie bardzo znacznych, dodatkowych dochodów. Generalnie można stwierdzić, że płuczki oparte na hydrocyklonach cieczy ciężkiej charakteryzują się następującymi właściwościami:

- Bardzo wysoka efektywność separacji
- Dokładna kontrola gęstości separacji
- Szybka odpowiedź na zmianę punktu gęstości separacji
- Prosty schemat technologiczny, w większości przypadków potrzebujemy jedynie 1 hydrocyklon, 2 pompy, 2 przesiewacze, rekuperator, gęstościomierz
- Niewrażliwość na zmiany w ilości oraz zagęszczeniu węgla surowego
- Ich obsługa nie wymaga szczególnych umiejętności
- Kompaktowy budynek

Hydrocyklony stosowane są powszechnie dla węgla o różnych właściwościach fizykochemicznych. Zwiększenie przychodów zakładu obserwuje się nie tylko przy węglach trudno wzbogacalnych, ale również dla węgla łatwo wzbogacalnych. Przykładowo, dla węgla trudno wzbogacalnych, przy wydajności 700 t/h i popiele w produkcji 13,8%-17,1%, wzrost przychodów z tytułu zastosowania płuczki na hydrocyklonie cieczy ciężkiej, to ok. 10-14 mln USD rocznie, natomiast dla węgla łatwo wzbogacalnych odpowiedni wzrost przychodów wynosi 2 mln USD (popiół w produkcji 5,9%).

Typowe współczynniki rozproszenia prawdopodobnego uzyskiwane przy eksploatacji hydrocyklonów cieczy ciężkiej to $E_p = 0,02 \div 0,06$, podczas, gdy te współczynniki dla osadzarek to $E_p = 0,08 \div 0,24$. Współczynnik rozproszenia prawdopodobnego wpływa wprost na ilość odzyskanego węgla. We wszystkich przypadkach, ilość odzyskanego węgla na hydrocyklonie jest większa niż w najlepiej nawet pracującej osadzarce. Wzrost sprzedaży węgla handlowego z tym związany liczy się w milionach dolarów na rok.

Biorąc pod uwagę fakt, że w przyszłości należy spodziewać się coraz bardziej konkurencyjnego rynku sprzedaży węgla, na którym popyt i podaż będą regulowane jedynie mechanizmami rynkowymi, jedyną logiczną alternatywą jest eksploatacja płuczki opartej na

hydrocyklonach cieczy ciężkiej. Układy takie są sprawdzone w większości zakładów przeróbczych w świecie. W setkach przypadków udowodniły swoje właściwości, umożliwiając uzyskanie rentownej produkcji węgla. Płuczki z hydrocyklonami cieczy ciężkiej są logiczną i bezpieczną alternatywą dla rozwiązań opartych na osadzarkach.

Bibliografia:

1. pl.tradingeconomics.com
2. Myszkowski P.: Hydrocyklony klasyfikujące, publikacja KOMIEKO 2012.
3. Izba Gospodarcza Sprzedawców Polskiego Węgla © 2015, Rynek węgla
4. Blaschke W., Ziomber S., Czarny G.: Wpływ dokładności wzbogacania węgla koksowego na wychód koncentratu, publikacja KOMIEKO 2010.
5. Robert Moorhead: Introduction to Heavy-Media Cyclones for Coal Processing, 2014, Materiały własne FLS KREBS
6. FLS KREBS: HM Cyclones for Coal, broszura produktowa
7. De Korte G.J.: Literature review of dense-medium beneficiation of fine coal, COALTECH 2020, June 2000