

mgr inż. Piotr Myszkowski – PRO-INDUSTRY Sp. z o.o. Sp.k.

mgr inż. Ryszard Moroz – SEPARATOR PROJEKT Sp. z o.o.

## **ODWADNIANIE KONCENTRATU FLOTACYJNEGO WĘGLA OPTYMALIZACJA KOSZTÓW PROCESU ODWADNIANIA**

### **Streszczenie**

W niniejszym rozdziale omówiono różnorodne urządzenia, które mogą być zastosowane do odwadniania koncentratu flotacyjnego węgla: prasy filtracyjne, dwa rodzaje wirówek oraz filtry nadciśnieniowe. Następnie, dokonano obliczeń symulacyjnych kosztów odwadniania koncentratu dla przykładowego węzła technologicznego przy wykorzystaniu omówionych wcześniej urządzeń oraz ich kombinacji. W zależności od własności fizyko-mechanicznych odwadnianego produktu, najkorzystniejszym układem do odwadniania produktów przeróbki węgla, dla węgla energetycznych jest zastosowanie, wirówek sedimentacyjno-filtracyjnych najnowszej generacji, a dla węgla koksowych, układu kombinowanego złożonego z wirówek sedimentacyjno-filtracyjnych i filtrów.

### **Summary**

This chapter discusses different devices that can be used to dewater coal flotation concentrate: pressure filters, two types of centrifuges and hyperbaric filtration. Then, the simulation costs were calculated for a sample of the concentrate dewatering technology using the previously described devices as well as their combinations. Depending on the physical and mechanical properties of the material, for steam coals the most preferred system of dewatering products is the use of the newest development of screen-bowl centrifuges and for coking coal combined system consisting of screen-bowl centrifuges and a filters.

### **Wprowadzenie**

W procesach odwadniania mechanicznego produktów przeróbki węgla kamiennego stosuje się wiele różnych urządzeń, których zasada działania wykorzystuje zjawiska fizyko-mechaniczne różniące się między sobą. Zastosowanie danego typu maszyny zależy między innymi od uziarnienia produktów przeznaczonych do odwadniania mechanicznego.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono odwadnianie najdrobniejszych frakcji ziarnowych o wymiarach 0,7-0 mm. Mechaniczne odwadnianie w porównaniu do procesów termicznych ma szereg zalet dla ochrony środowiska naturalnego, zmniejszając w dużym stopniu zagrożenia eksploatacji i wykorzystywania węgla w gospodarce.

Analizie poddano odwadnianie drobnych ziaren, które występują w procesach wzbogacania węgla, stosowanych głównie w krajowych zakładach przerobczych węgla.

Odwadnianie wymienionych frakcji odbywa się przy pomocy następujących urządzeń:

- Odpady flotacyjne, frakcja ziarnowa 0,7-0 mm – odwadniane głównie na prasach filtracyjnych komorowych. W niektórych zakładach ten proces jest prowadzony przy pomocy pras taśmowych. W przeszłości próbowano także wykorzystać wirówki sedymentacyjne bezsitowe, jednak bez dobrych rezultatów. Wymienione dwa ostatnie procesy są mało skuteczne jeśli chodzi o stopień odwodnienia, a dodatkowo prasy taśmowe wymagają znacznego zużycia środków koagulacyjnych. Są też mniej proekologiczne ponieważ woda w znacznych ilościach jest wyprowadzana do środowiska.
- Koncentrat flotacyjny oraz frakcje mułowe węgla energetycznego – odwadniane są głównie na filtrach próżniowych, a obecnie, coraz powszechniej na wirówkach sedymentacyjno-filtracyjnych. Bardzo pozytywne opinie uzyskuje system odwadniania z wykorzystaniem filtrów nadciśnieniowych, tzw. filtrów hiperbarycznych.

Biorąc pod uwagę różnorodność dostępnych rozwiązań technicznych służących do odwadniania drobnych produktów przeróbki węgla, pojawia się pytanie, jaki typ urządzenia należy zastosować biorąc pod uwagę kryteria poziomu zawilgocenia produktu wyjściowego, efektywnościowe czynniki proekologiczne i wskaźniki ekonomiczne?

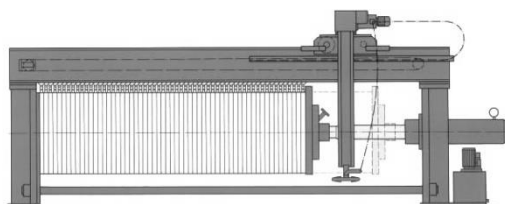
Niniejsza analiza przedstawia kształtowanie się nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych koniecznych do poniesienia w celu prowadzenia procesu odwadniania. Opracowano ogólne wskaźniki kosztowe określające niezbędne zaangażowanie środków pieniężnych wyrażonych w odniesieniu do tony węgla. W szczególności wykazano, wielkość współczynnika dla odpowiedniego typu urządzenia odwadniającego i przypisano mu właściwy charakterystyczny współczynnik kosztów odwadniania jednej tony materiału. Uwzględniono zdolność danego urządzenia do odprowadzenia jak największej ilości wody.

Dla porównania wybrano następujące urządzenia:

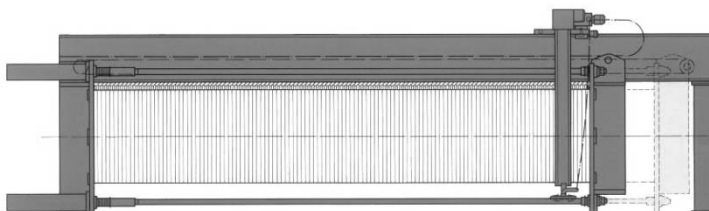
1. Prasy filtracyjne (PF).
2. Wirówki sedymentacyjno-filtracyjne standardowe (WS-F std).
3. Wirówki sedymentacyjno-filtracyjne ze stożkową częścią sitową (WS-F stoż).
4. Filtry hiperbaryczne (HBF).

## Prasy filtracyjne

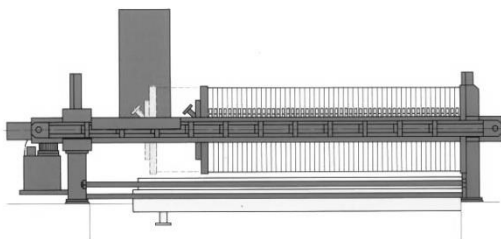
### Prasy filtracyjne o konstrukcji z belką górną i belkami bocznymi



**Konstrukcja z belką górną**  
Zamykanie w wyniku docisku  
Wielkość płyt do 2000 x 2000 mm  
Ciśnienia do 15 bar



**Konstrukcja z belką górną**  
Zamykanie w wyniku ciągnięcia  
Wielkość płyt do 2600 x 2600 mm  
Ciśnienia do 25 bar



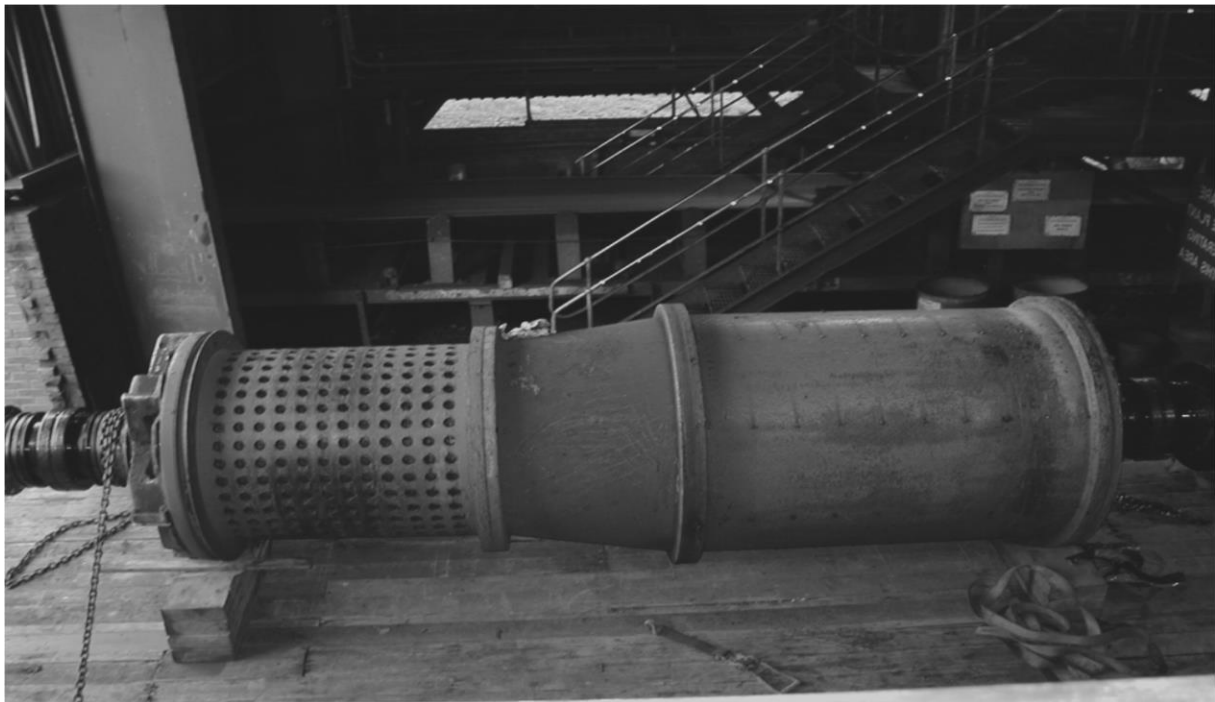
**Konstrukcja z belkami bocznymi**  
Zamykanie w wyniku docisku  
Wielkość płyt do 2000 x 2000 mm  
Ciśnienia do 15 bar

Rys. 1. Prasy filtracyjne o konstrukcji z belką górną i belkami bocznymi.

Korzyści ze stosowania membranowych i komorowych pras filtracyjnych:

- Niska wilgoć placka filtracyjnego
- Czysty filtrat
- Nie ma potrzeby stosowania odczynników chemicznych

## Wirówki sedymentacyjno-filtracyjne standardowe.



Rys. 2. Zespół wirujący wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej standardowej

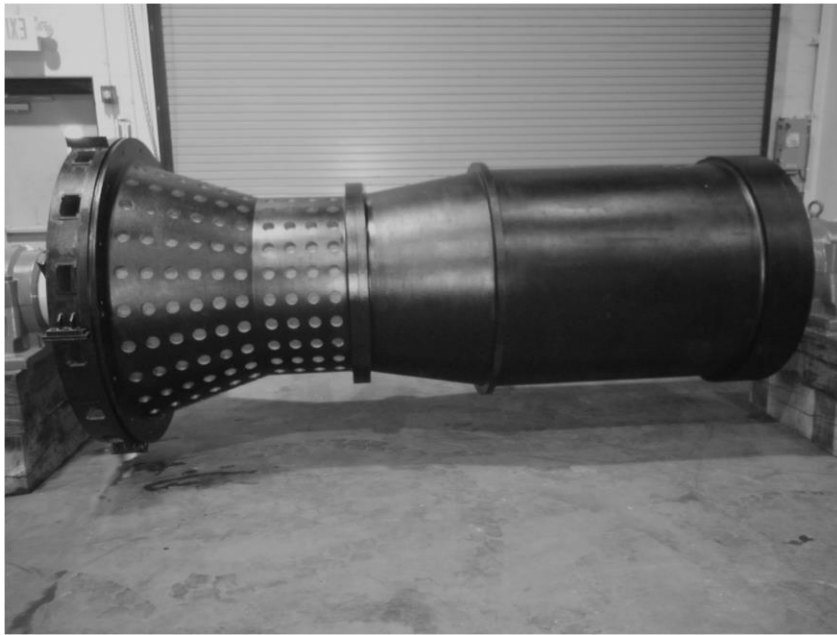
Układ wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej łączy korzystne cechy sedymentacji i filtracji w jednym zespole. Układ jest kompaktowy i pozwala na osiągnięcie wyższej wydajności przy mniejszym wykorzystaniu miejsca niż w przypadku innych systemów.

Zawiesina węgla jest wprowadzana przez stacjonarną rurę nadawcy do czaszy cylindrycznego bębna, gdzie ma miejsce wstępny rozdział ziaren węgla od wody, na zasadzie sedymentacji w polu dużych sił odśrodkowych wywołanych przyśpieszeniami rzędu 500g. Części stałe są następnie przenoszone do komory filtracyjnej (część filtracyjna) przenośnikiem ślimakowym, co pozwala na dalsze odwadnianie za pomocą siły odśrodkowej i odprowadzanie wody.

W wirówce sedymentacyjno-filtracyjnej zachodzi odwodnianie drobnoziarnistych materiałów. Jednak pewna część materiału drobnoziarnistego, poniżej 0,025mm, zostaje oddzielona od węgla grubego i przedostaje się do odcieków. Jeśli jest to zjawisko niepożądane, można zastosować dodatkowe urządzenie filtrujące, na którym odbywa się dalsze odwodnianie materiału i wytworzenie placka filtracyjnego.

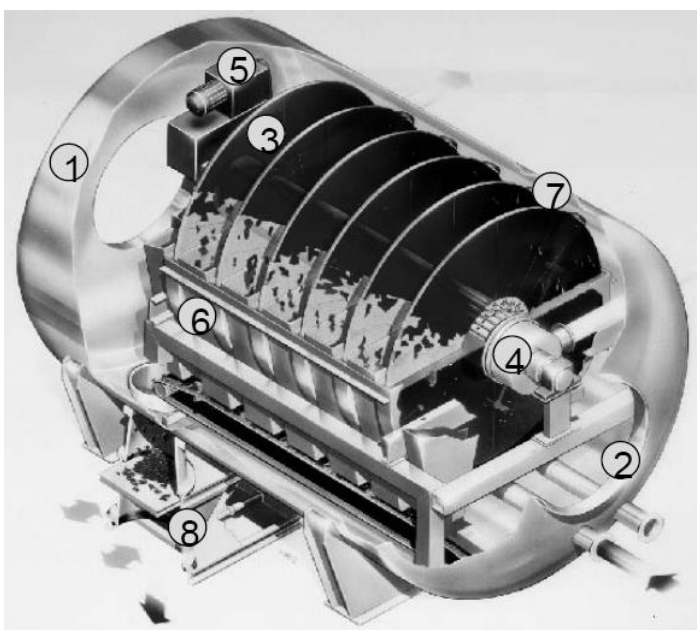
## Wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej ze stożkową częścią sitową.

Są to najnowsze konstrukcje wirówek dostępne na rynku. Ich zasada działania jest identyczna do wirówek standardowych, jednak zastosowanie części filtracyjnej w formie stożka powoduje zwiększenie wydajności, obniżenie wilgoci produktu oraz obniżenie zapotrzebowania na moc.



Rys. 3. Zespół wirujący wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej ze stożkową częścią sitową

## Filtry nadciśnieniowe (HBF)



1. Zbiornik ciśnieniowy
2. Właz
3. Dysk filtracyjny
4. Głowica sterująca
5. Napęd
6. Wanna filtra
7. Mieszadła
8. Rozładunek

Rys. 4. Przekrój filtra nadciśnieniowego

Filtry nadciśnieniowe (hiperbaryczne) w skrócie można opisać jako filtry tarczowe zamknięte w zbiorniku ciśnieniowym w celu zwiększenia ciśnienia filtracji do maksymalnie 6 bar (ze standardowej wartości 0,7 – 0,6 bar). Przy rzeczywistym ciśnieniu filtracji do 6 barów, filtry nadciśnieniowe umożliwiają przerób bardzo drobnoziarnistych zawiesin przy wysokim oporze filtracji, dając produkt o najniższym poziomie wilgotności rezydualnej i wysokiej wydajności. Ich wydajność w porównaniu z filtrem próżniowym, jest wielokrotnie większa, ponieważ dla prawidłowego procesu wymagany jest tylko ułamek powierzchni filtra.

Jedną z cech filtrów HBF jest to, że jednostka ta jest zwarta i wymaga małej powierzchni.

Liczba segmentów filtracyjnych na dysk zależy od wielkości urządzenia. Segmenty są zanurzone do 50% głębokości zbiornika filtracyjnego.

Wyładowanie „wydmuchowe” zapewnia całkowite usunięcie placka filtracyjnego. W wykonanym ze stali nierdzewnej zbiorniku filtracyjnym znajdują się łatwe do wymiany rurki filtracyjne, również wykonane ze stali nierdzewnej. Działanie filtra jest w pełni zautomatyzowane dzięki sterownikowi programowalnemu.

### **Założenia ogólne przyjęte do porównania**

W celu wykonania symulacji wskaźników i porównania wielkości sprowadzono je do jednakowego poziomu. Do wykonania analizy przyjęto następujące założenia:

Materiał odwadniany: koncentrat flotacyjny węgla koksowego	
Wydajność całkowita węzła odwadniania Mg/h węgla pow. suchego	200
Ilość godz. pracy na rok	6000
Okres eksploatacji [lata]	15
Ilość materiału produkowana rocznie [Mg]	1 200 000
Całkowita ilość materiału w okresie 15 lat [Mg]	18 000 000
Cena energii elektrycznej [USD/kWh]	0,14
Cena 1Mg węgla koksowego [USD]	180
Wilgoć produktu [%]	12-16

Inne współczynniki są zależne od typu urządzenia i są pokazane w tabeli nr 1.

W porównaniach nie uwzględniono:

- Kosztów zabudowy – wykonanie budynku
- Kosztów obsługi generowanych przez operatorów i dozór, ponieważ koszty te są porównywalne dla wszystkich urządzeń ze względu na ich bezobsługowość. Wyjątkiem są prasy filtracyjne. Koszty personelu obsługowego prasy filtracyjnej i konieczność nadzoru nad prawidłowym rozładunkiem są duże ze względu na znaczną czaso- i pracochłonność.
- Kosztów obsługi kredytu, ze względu na różnorodność stosowanych rozwiązań.

Tabela nr 1. Koszty eksploatacji urządzeń do odwadniania

	WS-F stożkowa	HBF	WS-F standardowa	PF	WS-F stożkowa & HBF		WS-F stożkowa & PF	
	wirówka s-f (stożkowa)	Filtr hiperbaryczny	Wirówka s-f (standard)	Prasy filtracyjne & pompy & sprężarki	Wirówki s-f stożkowe	filtr hiperbaryczny	Wirówki s-f stożkowe	prasy filtr. (tylko do sedymentu)
Ilość sztuk	3	3	5	7	2	1	3	2
Model	SBC6400	S96/8	SB6400	1,5x2,0 150 płyt	SBC6400	S96/8	SBC6400	1,5x2,0/150
Koszt zakupu jednostkowo [USD]	600 000,00	2 000 000,00	550 000,00	650 000,00	600 000,00	2 000 000,00	600 000,00	400 000,00
Koszt zakupu wartość [USD]	1 800 000,00	6 000 000,00	2 750 000,00	4 550 000,00	3 200 000,00		2 600 000,00	
Moc zainstalowana jednostkowa [kW]	250	100	315	100	250,00	100,00	250,00	100,00
Zagęszczenie odcieku [g/l]	40	3	40	8	3		8	
Koszt remontów roczny jednostkowy [USD]	36 000,00	30 000,00	40 000,00	30 000,00	36 000,00	30 000,00	36 000,00	30 000,00
Ilość osób obsługi na 1 zmianę				3				2
Koszt miesięczny pracownika obsługi [USD]				1 500,00				1 500,00
Koszt roczny obsługi pracowniczey[USD]				162 000,00				108 000,00
Moc sprężarki [kW]		300		300		300,00		bez
Jedn. wykorzyst. czasu sprężarki [%]		100%		66%		100%		bez
Wilgoć produktu [%]	12-15	14-16	15-17	15-17	13-16		13-15	
Pozycja kosztów	\$/Mg s.m. %	\$/Mg s.m. %	\$/Mg s.m. %	\$/Mg s.m. %	\$/Mg s.m. %		\$/Mg s.m. %	
Zakup inwestycyjny urządzenia	0,10 14%	0,33 27%	0,15 11%	0,25 13%	0,18 20%	0,14 16%	0,18 20%	0,14 16%
Zużycie powietrza	0,00 0%	0,63 50%	0,00 0%	0,97 46%	0,21 23%	0,00 0%	0,21 23%	0,00 0%
Obsługa	0,00 0%	0,00 0%	0,00 0%	0,14 7%	0,00 0%	0,09 10%	0,00 0%	0,09 10%
Zużycie energii elektrycznej	0,53 73%	0,21 17%	1,10 77%	0,49 25%	0,42 47%	0,53 58%	0,42 47%	0,53 58%
Tkaniny, filtry, smary, oleje, remonty	0,09 13%	0,08 6%	0,17 12%	0,18 9%	0,09 10%	0,14 16%	0,09 10%	0,14 16%
SUMA CAŁKOWITA	<b>0,72</b> 100%	<b>1,25</b> 100%	<b>1,42</b> 100%	<b>2,02</b> 100%	<b>0,89</b> 100%	<b>0,90</b> 100%	<b>0,89</b> 100%	<b>0,90</b> 100%
Różnica w kosztach dla węzła, roczna [USD]	-	640 000,00	848 333,33	1 568 373,33	213 333,33		220 133,33	
Różnica w kosztach dla węzła w okresie [USD]	-	9 600 000,00	12 725 000,00	23 525 600,00	3 200 000,00		3 302 000,00	
Koszt zabudowy, budynek itp.	Mały	Bardzo duży	Mały	Duży	Duży		Średni	

Źródło: opracowanie własne



## Wnioski

1. W tabeli nr 1. zebrano podstawowe informacje dotyczące kosztów eksploatacji różnych urządzeń odwadniających, które mogą być stosowane do odwadniania koncentratu flotacyjnego węgla. Otrzymane wyniki kosztów jednostkowych odwadniania 1 tony koncentratu posegregowane są w sposób rosnący.
2. Każde z wybranych urządzeń umożliwia odwodnienie koncentratu węgla do zawartości wilgoci poniżej 17%.
3. Najniższe jednostkowe koszty odwadniania wykazują wirówki sedymentacyjno-filtracyjne. Należy zwrócić uwagę, że nakłady inwestycyjne, związane z zainstalowaniem wirówek są najmniejsze. W przypadku węgla koksowych wirówki (WS-F stożkowe oraz WS-F standardowe) generują dodatkowe straty, ponieważ odprowadzany do odpadów materiał znajdujący się w odcieku z części sedymentacyjnej (praktycznie 100% < 0,045mm) wykazuje niską zawartość popiołu (kilkanaście procent).

Zastosowanie tych wirówek dla węgla energetycznego ma dodatkowe korzystne efekty, wynikające ze wzbogacenia, odwodnionego mułu, przez wydzielenie wysokopopiołowej frakcji <0,045 mm. Dla odwodnienia koncentratu flotacyjnego węgla koksowego, z uwagi na niskie zapopielenie tej frakcji, należy szukać innych rozwiązań zwiększających efektywność ekonomiczną procesu odwadniania.

Możemy zastosować dwa rodzaje wirówek

- a. ze stożkową częścią sitową (WS-F stoż). Jednostkowe koszty odwadniania wynoszą 0,72USD/1 t koncentratu.
  - b. standardowe (WS-F std, z cylindryczną częścią sitową). Jednostkowe koszty odwadniania wynoszą 1,43USD/1 t koncentratu. Należy zwrócić uwagę, że zastosowanie tego typu wirówek w porównaniu z WS-F stoż będzie generowało dodatkowe koszty w wysokości ok. 850tyś. USD rocznie.
4. Filtr hiperbaryczny (HBF) wykazuje koszty jednostkowe rzędu 1,25 USD/ 1 t koncentratu. Roczny wzrost kosztów w porównaniu do WS-F stoż to ok. 640tyś. USD. Należy zwrócić uwagę, że jest to najbardziej ekonomiczne urządzenie, które nie produkuje w ogóle odpadów! Koszty montażu są jednak bardzo wysokie.
  5. Prasa filtracyjna (PF) wykazuje koszty jednostkowe rzędu 2,0USD/1 t koncentratu. Roczny wzrost kosztów w porównaniu do WS-F stoż to ok. 1,6 mln USD. Należy zwrócić uwagę, że jest to urządzenie, które nie produkuje w ogóle odpadów jednak

pracuje w sposób cykliczny. Powoduje to konieczność zastosowania buforów gromadzących materiał oraz specjalnej organizacji pracy. Dodatkowo, niezbędne jest zatrudnienie obsługi, nadzorującej proces odwadniania, a w szczególności rozładunku placków. W celu uzyskania stosunkowo niskiej wilgoci placka należy wykonać przedmuch sprężonym powietrzem, co generuje poważne, dodatkowe koszty, stawiając pod znakiem zapytania zastosowanie pras filtracyjnych do odwadniania koncentratu flotacyjnego węgla. Należy także zastosować dodatkowo membrany, układ do mycia tkanin i system do kruszenia placka filtracyjnego. Koszty montażu są wysokie.

6. Najbardziej ekonomicznym sposobem odwadniania koncentratu flotacyjnego węgla koksowego jest układ kombinowany, złożony z wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych ze stożkową częścią sitową wraz z filtrem wyłapującym części stałe z odcieku z części sedymentacyjnej. Możliwe są tutaj dwa rozwiązania:
  - a. Układ kombinowany złożony z dwóch wirówek WS-F stoż oraz jednego filtra HBF. Wówczas koszt odwadniania 1 t koncentratu wynosi 0,89 USD. Jest to układ do pracy ciągłej, praktycznie nie wymagający obsługi. Koszt montażu takiego systemu jest średni.
  - b. Układ kombinowany złożony z trzech wirówek WS-F stoż oraz dwóch pras filtracyjnych. Wówczas koszt odwadniania 1 t koncentratu wynosi 0,90 USD. Jest to układ do pracy ciągłej/cyklicznej, wymagający obsługi oraz dodatkowych systemów do kruszenia placka filtracyjnego. Jednak nie ma konieczności stosowania przedmuchu powietrzem. Koszt montażu tego systemu jest średni.

Przy rozpatrywaniu technologii, która może być użyta do odwadniania koncentratu węgla kamiennego, należy kierować się rachunkiem ekonomicznym, biorąc pod uwagę rzeczywisty koszt odwadniania jednej tony materiału, głównie ze względu na masową produkcję. Należy uwzględnić przy tym:

- Amortyzację
- Zużycie powietrza jako czynnika bardzo energochłonnego.
- Koszty obsługi.
- Zużycie energii elektrycznej na inne niż wytworzenie sprężonego powietrza cele.
- Koszty remontów, wymiany części naturalnie zużywających się, olejów, smarów, itp.

## **Podsumowanie**

Powyżej przedstawiono uproszczoną analizę kosztów eksploatacyjnych dla urządzeń stosowanych podczas procesu odwadniania produktów przeróbki węgla. Pomimo wprowadzenia pewnych uproszczeń, ogólny wniosek wynikający z przedstawionej analizy pozostaje niezmienny. W zależności od odwadnianego materiału najkorzystniejszym układem do odwadniania produktów przeróbki węgla jest zastosowanie:

- dla węgla energetycznych wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych, które klasyfikują ziarna wysokopopiołowe (frakcje poniżej 0,045mm) i przekazują je do odpadów.
- dla węgla koksowych układu kombinowanego złożonego z wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych i filtrów wylapujących części stałe z odcieku z części sedymentacyjnej wirówek.

Inne urządzenia lub ich kombinacje generują dodatkowe, znaczne koszty. W 15 letnim okresie eksploatacji wzrost kosztów z tytułu wyboru mniej ekonomicznej technologii (np. pras filtracyjnych) będzie się wiązał ze wzrostem kosztów ogólnych o ok. 25 mln USD.

## **Bibliografia:**

1. Stanisław Blaschke: Przeróbka mechaniczna kopalin, Śląsk, Katowice 1984
2. Zbigniew Broma, Ernst Fronhweiser, Czesław Poznański, Filtracja nadciśnieniowa HBF, Przegląd Górniczy, nr 4., kwiecień 1997.
3. Milan Zboncak, Ohlednuti za provozem hyperbarickich filtru, Mlada Smena a Kahan z dn. 29.02.1996r.
4. Materiały własne ANDRITZ Separation GmbH
5. Materiały własne PRO-INDUSTRY Sp. z o.o.