

## **„Odwadnianie koncentratu węgla na innowacyjnych filtrach parowo-ciśnieniowych”**

**Piotr Myszkowski – Pro-Industry Sp. z o.o. Sp.k.**

**Roman Wenglorz – JWS S.A.**

**Marcin Czapek - Pro-Industry Sp. z o.o. Sp.k.**

### **Streszczenie**

Filtracja HiBar jest najnowocześniejszą technologią rozwoju ciągłej filtracji ciśnieniowej, zwaną również jako filtracja hiperbaryczna. W przypadku materiałów, które są uważane jako trudne w procesach filtracji, filtry HiBar umożliwiają uzyskanie niskiej zawartości wilgoci w produkcie, wysoką wydajność jednostkową oraz efektywne płukanie placka filtracyjnego, nawet w przypadku najdrobniejszych ziaren. Najniższe zawartości wilgoci w placku filtracyjnym są osiągnięte na filtrach HiBar przy jednoczesnym zastosowaniu pary wodnej i wysokiego ciśnienia. W takim hybrydowym procesie separacji do placka filtracyjnego jest podawana para wodna bezpośrednio po jego uformowaniu z zawiesiny. Proces ten zachodzi w specjalnie zaprojektowanej i opatentowanej kabinie parowej obejmującej niewielką część powierzchni filtracji, dlatego tylko taka część placka filtracyjnego podlega parowaniu, które przyspiesza i intensyfikuje proces odwadniania. W efekcie, w przypadku wielu odwadnianych materiałów uzyskiwana niska wilgość placka filtracyjnego znacznie zwiększa jakość oraz właściwości transportowe produktu odwodnionego. Należy stwierdzić, że w przypadku filtracji materiałów masowych, takich jak węgiel, powyższe kryteria są decydujące.

Filtracja parowo - ciśnieniowa HiBar umożliwia produkcję najdrobniejszych klas ziarnowych o niezwykle niskiej wilgoci, poniżej 10% wagowo, pozwalając na znaczne korekty w schemacie technologicznym zakładu.

W październiku 2017 roku, jednostka pilotowa Bokela Steam HiBar była eksploatowana w warunkach kopalni KWK Pniówek do odwadniania flotokoncentratu, przy obecności kilkudziesięciu ekspertów przeróbki węgla z Polski oraz z zagranicy. To była ogólnopolska premiera produkcji w skali półprzemysłowej, podczas której osiągnięto wilgość produktu poniżej 7% ww. Okazało się, że tak niską wilgość uzyskano przy zużyciu pary wodnej w ilości zaledwie 50 kilogramów na tonę suchej masy. Należy zaznaczyć, że produkcja najdrobniejszych klas węgla przy wilgoci poniżej 10%, eliminuje wcześniejsze ograniczenia i zapewnia nowe możliwości dalszych operacji technologicznych, takich jak:

- Mieszanie grubych i drobnych klas ziarnowych w dowolnym stosunku
- Przekształcenie odpadów w produkt, tzn. umożliwienie jego sprzedaży zamiast wysyłanie na składowisko odpadów
- Zmniejszenie kosztów transportowych w wyniku zmniejszenia zawartości wody
- Polepszenie zachowania produktu przy rozładunku wagonów kolejowych
- Niższe koszty energii lub nawet całkowite wyeliminowanie suszenia termicznego
- Większa zyskowność z każdej tony wydobywanego węgla

Niniejsze opracowanie wyjaśnia działanie oraz opisuje zastosowanie filtracji parowo-ciśnieniowej, a także podaje rezultaty uzyskane w czasie eksploatacji pilotowej jednostki HiBar przy odwadnianiu flotokoncentratu w zakładzie przeróbczym KWK Pniówek oraz przedstawia wyniki uzyskane podczas testów laboratoryjnych najdrobniejszych klas ziarnowych zarówno Z KWK Pniówek, jak i z kilku innych polskich kopalni węglowych.

## Abstract

HiBar Filtration is the most modern technology of continuous pressure filtration also known as hyperbaric filtration. HiBar Filtration enables low moisture contents, high specific solids performance and efficient filter cake wash if fine grained, difficult to filter products have to be processed. Lowest cake moisture contents are achieved with HiBar Steam Pressure Filtration. With this hybrid separation process the filter cake is treated with steam immediately after emerging from the slurry. In a specially designed and patented steam cabin covering only part of the filtration area, the filter cake is only partially exposed

to steam, which accelerates and intensifies the dewatering process. For many products the dryness of the filter cakes significantly improves quality, handling and transport of the product. For filtration of bulk materials such as coal ultrafines these are decisive criteria.

Hi-Bar steam pressure filtration is capable to produce extremely dry ultrafines below 10% w/w free moisture which now offers new options in coal ultrafines treatment.

In October 2017 the BOKELA HiBar pilot plant was operated at the coal washery Pniówek Mine, for Steam Pressure Filtration of coal flotation concentrate in front of coal processing experts from Poland and other countries. It was a Polish premiere and for the first time filter cakes of dry coal ultrafines below 7% w/w free moisture were produced in a semi-industrial scale. It turned out that such a low moisture was obtained when using steam in the amount of only 50 kilograms per ton of dry matter.

It should be noted that the production of the coal ultrafines with moisture below 10%, eliminates earlier restrictions and provides new opportunities for further technological operations, such as:

- allowing mixtures of coarse and fine fractions in any given amount;
- waste-to-product ie marketing as a saleable product instead of disposal;
- reduced transport costs through reduced water content;
- improved bulk flow behaviour for discharge of railway wagons;
- lower or even no energy cost for thermal drying; and
- more profit per ton run-of-mine.

The paper explains the function and technical application of steam pressure filtration and reports results of the HiBar pilot plant operation for ultrafines dewatering at the coal washery Auguste Victoria (RAG).

This paper explains the operation and describes the use of HiBar Steam filtration, as well as the results obtained during the operation of the pilot HiBar unit for dewatering of the flotation concentrate in the Pniówek Mine processing plant and presents the results obtained during laboratory tests of ultrafines from both KWK Pniówek and several other Polish coal mines.

## Wprowadzenie

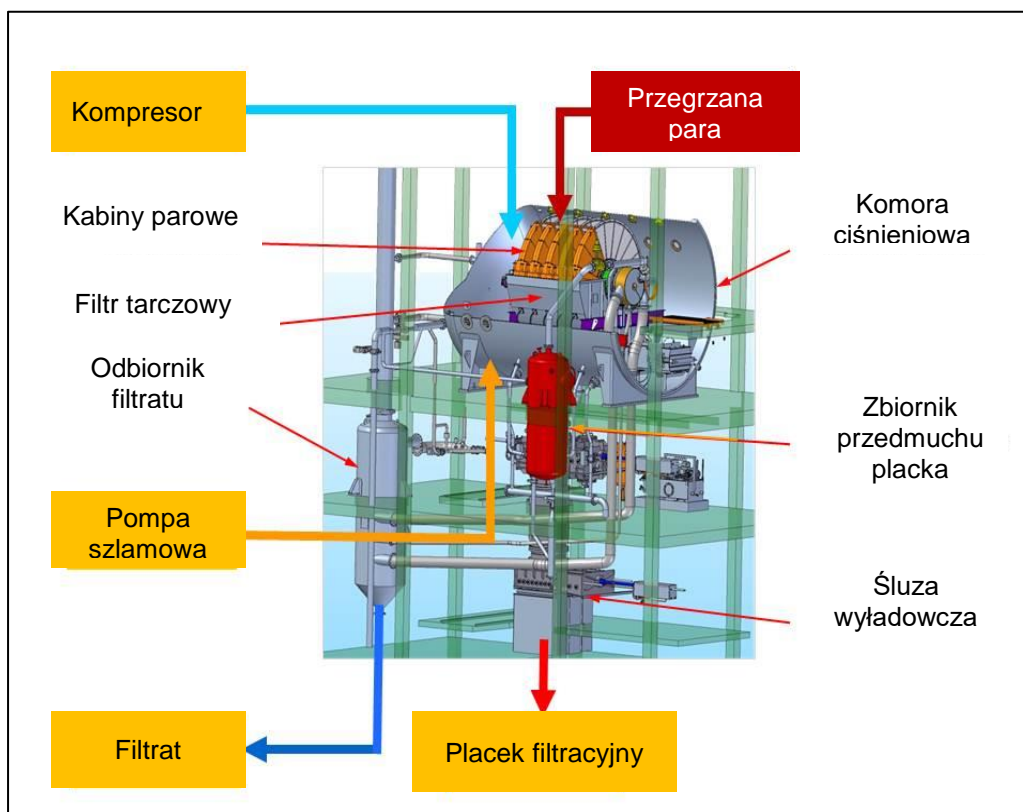
W zależności od przerabianego złoża węgla, udział najdrobniejszych ziaren (definiowanych tutaj jako <math>-0,25\text{mm}</math>) może wynosić ok. 10% - 40% wagowo. Jeśli zawartość wilgoci powierzchniowej w mieszaninie frakcji grubych i drobnych wynosi poniżej 10% w/w, wtedy filtracja najdrobniejszych ziaren przy wykorzystaniu nowoczesnych, obrotowych, próżniowych filtrów tarczowych jest najbardziej ekonomicznym sposobem uzyskiwania materiału o zawartości wilgoci powierzchniowej 20-30% w/w, co pozwala na domieszanie znacznych ilości frakcji najdrobniejszych do produktu końcowego. Jeżeli zawartość wilgoci powierzchniowej w mieszaninie grubych i drobnych frakcji węglowych jest bliska 10% lub więcej, wtedy poprzez zastosowanie filtrów parowo-ciśnieniowych HiBar można produkować bardzo suche ziarna o wilgoci powierzchniowej poniżej 10% w/w. Możliwe jest wówczas handlowe wykorzystanie tych frakcji. Frakcje najdrobniejsze, odwonione przy wykorzystaniu filtracji parowo-ciśnieniowej, mogą być sprzedawane jako produkt sam w sobie lub jako domieszka do drobnych i grubych ziaren w dowolnym stosunku.

## Odwadnianie drobnych ziaren przy wykorzystaniu ciągłej parowo-ciśnieniowej filtracji typu HiBar

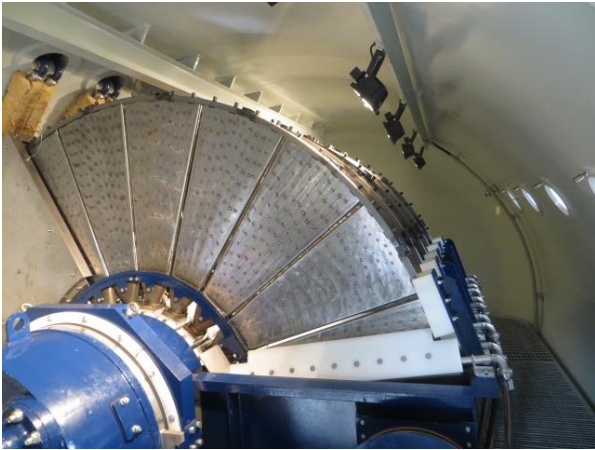
### Model techniczno-technologiczny węzła filtracji typu HiBar

Technologia filtracji HiBar wykorzystuje filtry obrotowe, w przypadku odwadniania węgla są to filtry tarczowe, które są zabudowane w zbiorniku ciśnieniowym (por. Schemat 1) i pracują pod ciśnieniem sprężonego powietrza (7 bar). Zawiesina ciał stałych jest pompowana do zbiornika ciśnieniowego, a filtrat jest odprowadzany rurociągiem do otwartego zbiornika. Placek filtracyjny jest odspajany od tkaniny filtracyjnej za pomocą mocnego impulsu/przedmuchu wstecznego sprężonym powietrzem i jest transportowany na zewnątrz komory ciśnieniowej poprzez system śluz. Pompy próżniowe wykorzystywane przy konwencjonalnej filtracji próżniowej zostały zastąpione kompresorem, który dostarcza odpowiednią ilość sprężonego powietrza do komory ciśnieniowej oraz do przedmuchu placka. Sprężone powietrze z przedmuchu placka, służy również do utrzymywania odpowiedniego nadciśnienia w komorze przy procesie filtracji. Wewnątrz komory filtr pracuje przy różnicy ciśnień do  $\Delta p=6$  bar.

Na zdjęciu 1 pokazano zespół filtra HiBar z filtrami tarczowymi o powierzchni 70 m<sup>2</sup> w skali przemysłowej.



Schemat 1: Model jednostki filtracyjnej HiBar

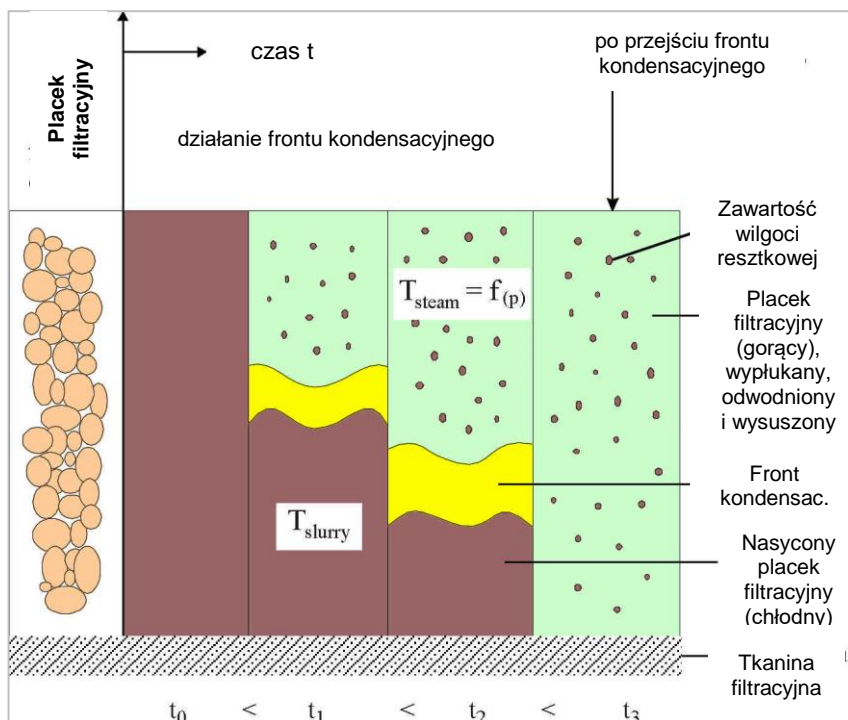


Zdjęcie 1: Filtry tarczowe HiBar (70 m<sup>2</sup> każdy) z kabinami parowymi do filtracji parowo-ciśnieniowej (po lewej); budynek filtrów z dwoma filtrami tarczowymi HiBar o pow. 70 m<sup>2</sup> każdy (po prawej)

### Filtracja parowo-ciśnieniowa HiBar

W przypadku filtracji parowo-ciśnieniowej tarcze filtra są dodatkowo wyposażone w kabiny parowe oraz orurowane doprowadzające parę. Wykorzystanie pary wodnej w procesie odwodniania placka filtracyjnego powoduje wystąpienie jednocześnie zjawisk oddziaływania termalnego i mechanicznego, po których następuje dosuszanie konwekcyjne sprężonym gazem (Gerl 1996).

Podczas filtracji parowo-ciśnieniowej placki filtracyjne są tylko częściowo wystawione na działanie pary wodnej, co przyspiesza i intensyfikuje proces odwodnienia. Proces ten można wyjaśnić w następujący sposób:



Schemat 2: Filtracja parowo-ciśnieniowa: model "frontu kondensacyjnego"

Placek filtracyjny uformowany z nadawy o niskiej temperaturze wprowadzany jest do specjalnie zaprojektowanej kabiny parowej zaraz po wynurzeniu z koryta filtra wypełnionego zawiesiną. W kabine parowej, w atmosferze z przegrzaną parą wodną, występuje zjawisko, które można przedstawić za pomocą modelu „frontu kondensacyjnego” (Schemat 2):

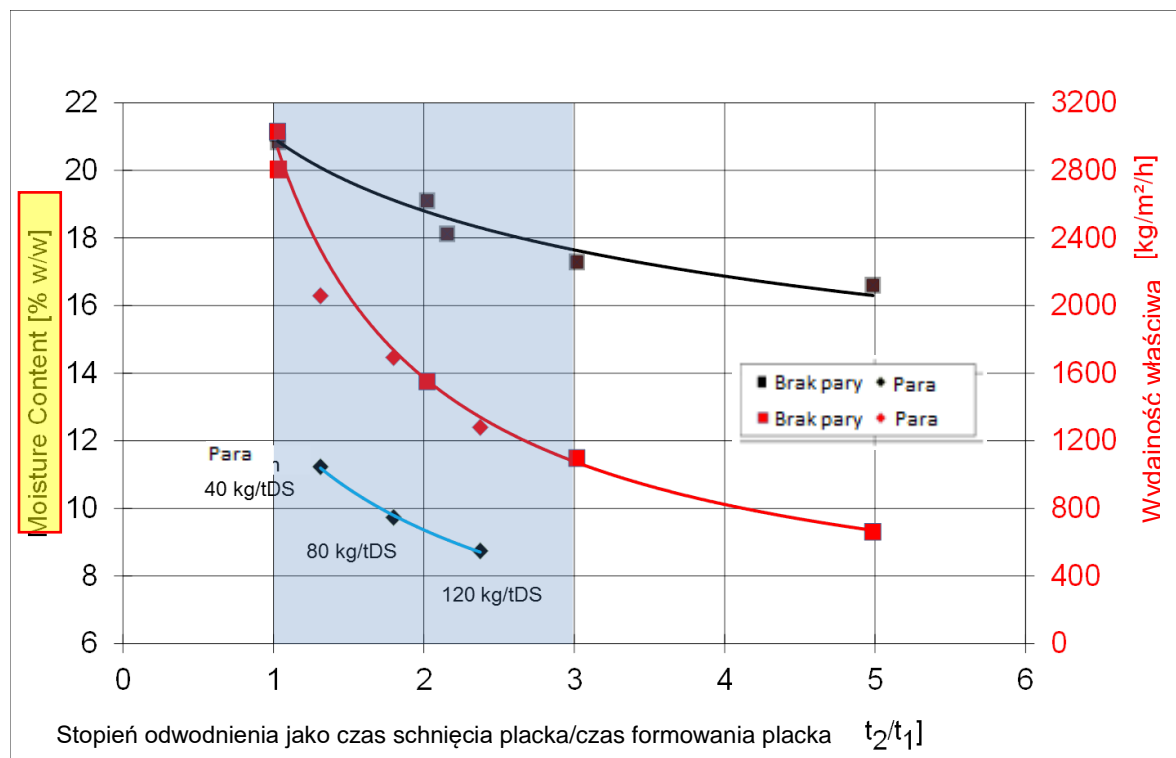
- Para wodna skrapla się na zimnej powierzchni placka filtracyjnego tworząc homogeniczną warstwę kondensatu, która przechodząc przez placek filtracyjny działa jak tłok („front kondensatu”).
- Przemieszczający się „front kondensacyjny” usuwa blisko 100% filtratu pierwotnego
- Gdy „front kondensacyjny” dotrze do tkaniny filtracyjnej, placek ogrzewa się całkowicie do temperatury pary wodnej. W tym momencie placek opuszcza kabinę parową.
- Sprężone powietrze przepływa przez wstępnie odwodniony i gorący placek filtracyjny powodując bardzo skuteczne osuszanie termiczne, co prowadzi do osiągnięcia bardzo niskiej wilgotności placka filtracyjnego.

Połączenie procesów termicznych i mechanicznych wewnątrz placka zapewnia niemal homogeniczne i bardzo intensywne odwodnienie placka bez strat ciśnienia i energii, które występują gdy odwadnianie nie zachodzi w sposób homogeniczny.

### Wyniki odwadniania drobnych frakcji ciał stałych przy użyciu filtracji parowo-ciśnieniowej HiBar

Zastosowanie filtracji parowo-ciśnieniowej umożliwia produkcję bardzo suchej najdrobniejszej frakcji ziaren, co eliminuje dawne ograniczenia występujące przy wzbogacaniu drobnych ziaren.

Typowe wartości dla drobnego węgla dla danej wydajności i zawartości wilgoci poniżej 10%, pokazano na wykresie 1 oraz w tabeli 1.



Wykres 1: Zawartość wilgoci powierzchniowej oraz wydajności właściwej dla flotokonzentratu węgla przy filtracji ciśnieniowej i parowo-ciśnieniowej w zależności od stopienia odwodnienia (stopień odwodnienia na filtrach obrotowych w zakresie 1-3)

Na Wykresie 1 zawartość wilgoci dla filtracji ciśnieniowej (oznaczona linią czarną) oraz dla filtracji parowo-ciśnieniowej (oznaczona linią niebieską) flotokonzentratu ( $x_{50} < 45 \mu\text{m}$ ) została zestawiona z tak zwanym współczynnikiem odwodniania czasu suchego  $t_2$  do czasu formowania  $t_1$ , który odpowiada współczynnikowi  $\alpha_2/\alpha_1$  ( $\alpha_2 =$  kąt odwodnienia,  $\alpha_1 =$  kąt formowania placka). Przedstawione rezultaty zostały uzyskane w wyniku badań laboratoryjnych przy różnicy ciśnień wynoszącej 5,5 bar, zawartości ciał stałych 350 g/l oraz przy dozowaniu flokulantów 13 g na 1000 kg. Linia czerwona przedstawia odpowiednią wydajność właściwą. Typowe współczynniki odwodnienia występujące przy filtracji na filtrach obrotowych wynoszą 1 - 3 jak pokazano na Wykresie 1. W tym zakresie przy filtracji ciśnieniowej osiąga się zawartość wilgoci na poziomie od 21% do ok. 17,5%, podczas gdy przy filtracji parowo-ciśnieniowej osiąga się wilgoć na poziomie od 11% do 9% wagowo, w zależności od współczynnika odwodnienia i ilości pary wodnej. Przyjmuje się, że potrzeba ok 10 kg pary/t aby zmniejszyć wilgoć o 1 punkt procentowy w stosunku do filtracji ciśnieniowej.

Metoda	Wilgoć powierzchniowa [% w/w]
Próżniowa	23 – 28
Ciśnieniowa, ciągła	16 – 19
<b>Parowo-ciśnieniowa HiBar</b>	<b>8 – 12</b>

Tabela 1: Typowa zawartość wilgoci dla drobnych ziaren węgla przy filtracji próżniowej, ciśnieniowej oraz parowo-ciśnieniowej HiBar dla frakcji -250  $\mu\text{m}$

Ponieważ filtracja parowo ciśnieniowa przyspiesza i intensyfikuje odwadnianie, nie tylko osiąga się niższą zawartość wilgoci ale również wyższą wydajność właściwą, wynikającą z faktu, że filtr może pracować przy większym kącie formowania  $\alpha_1$  oraz przy wyższej prędkości obrotowej.

### ***Jednostka pilotowa Steam HiBar – filtracja parowo-ciśnieniowa najdrobniejszych frakcji węgla***

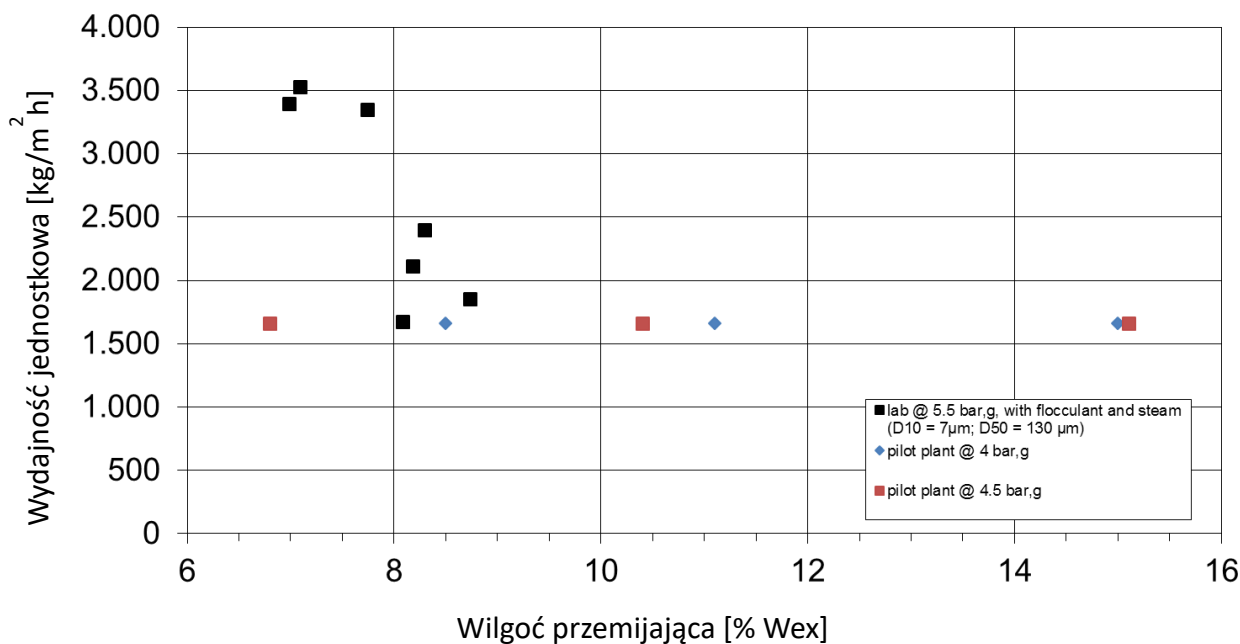
W październiku 2017 roku, jednostka pilotowa Bokela Steam HiBar była eksploatowana w warunkach kopalni KWK Pniówek do odwadniania flotokonzentratu.

(Zdjęcie 2). Eksperti branży węglowej udali się do KWK Pniówek aby uczestniczyć w tym przedsięwzięciu. To była ogólnopolska premiera produkcji w skali półprzemysłowej, podczas której osiągnięto wilgoć produktu poniżej 7% ww.

Wykres 2 obrazuje wilgotności placka uzyskane podczas testu filtra pilotowego oraz podczas testów laboratoryjnych względem jednostkowej wydajności filtra przy różnicach ciśnień  $\Delta p=4 - 5,5$  bar oraz przy różnym zużyciu pary wodnej 20-200 kg/t sm.



Jak widać, wilgotność placka znacznie poniżej 10% była osiągnięta przy zużyciu pary wodnej na poziomie 120 kg/t. W zawiązku z powyższym można uznać zasadę, że przy najdrobniejszych frakcjach węgla, 10 kg pary wodnej na kilogram suchej masy powoduje zmniejszenie wilgoci o ok. 1% w/w – twierdzenie to ma zastosowanie w zakresie wilgoci 20 do 8%. Niewielkie odchylenia od tej zależności widoczne na wykresie 2, są wynikiem efektu krawędziowania, fałszującego zużycie pary wodnej, spowodowanej niewielką powierzchnią filtracji filtra pilotowego, która wynosiła tylko 1 m<sup>2</sup>.



Wykres 2: Wyniki pracy jednostki pilotowej HiBar (1m<sup>2</sup> filtr tarczowy) w kopalni węgla Pniówek



Zdjęcie 2: Jednostka pilotowa HiBar (1m<sup>2</sup> filtr tarczowy) na płuczce węglowej KWK Pniówek zawartość wilgoci niezwiązanej placka filtracyjnego poniżej 7% w/w

## **Od odpadu do produktu – zalety suchych frakcji najdrobniejszych**

Filtry parowo-ciśnieniowe HiBar mogą pracować ciągle przy niezwykle wysokich wydajnościach oraz osiągać wilgotność placka poniżej 10% w/w, co eliminuje wcześniejsze ograniczenia i daje nowe możliwości w przeróbce najdrobniejszych frakcji węgla – są to:

- Możliwość mieszania drobnych i grubych frakcji w dowolnych ilościach;
- Możliwość uzyskania odrębnego produktu;
- Niższe koszty transportu z powodu niższej zawartości wody;
- Łatwiejszy rozładunek wagonów kolejowych;
- Łatwiejszy transport w regionach gdzie występują długotrwałe mrozy (nie zamarza)
- Niższe lub brak kosztów związanych z suszeniem termicznym

Aby zamienić najdrobniejsze frakcje węgla z odpadu w produkt, zawartość wilgoci w placku nie może przekroczyć 9-10%w/w. Filtry parowo-ciśnieniowe BOKELA HiBar umożliwiają produkowanie najdrobniejszych ziaren w tym zakresie wilgoci. W tym celu potrzebne jest ok 10 kg pary/t, aby zmniejszyć zawartość wilgoci o 1 procent. W odniesieniu do placka filtracyjnego, który po filtracji ciśnieniowej osiąga wilgoć na poziomie 17% w/w, filtracja parowo-ciśnieniowa wymaga użycia ok 80 kg pary/t aby zredukować wilgoć do 9% w/w ( $\Delta mc=8\%$  w/w). Całkowity koszt operacyjny to ok. US\$5 na 1000 kg suchej masy. Biorąc pod uwagę aktualne ceny rynkowe, stanowi to wzrost dochodów o ok. US\$50 na 1,000 kg suchej masy, jeżeli odpad staje się produktem. W rezultacie zwrot inwestycji w duży zakład (pod klucz) z filtrami parowo-ciśnieniowymi HiBar o wydajności 300 000 t/rok, wynosi zaledwie 1 rok.

## **Wnioski**

Technologia HiBar do ciągłej filtracji ciśnieniowej i parowo-ciśnieniowej daje nowe możliwości opłacalnej ekonomicznie filtracji i wykorzystania najdrobniejszych ziaren węgla oraz rud żelaza. Filtracja parowo-ciśnieniowa HiBar umożliwia produkowanie bardzo suchych najdrobniejszych frakcji węgla (np. poniżej 10% w/w wilgoci niezwiązanej) oferując nowe możliwości wzbogacania tych ziaren np. może zmienić odpad w produkt. Frakcje najdrobniejsze, odwodnione przy wykorzystaniu parowo-ciśnieniowej filtracji mogą być sprzedawane jako produkt sam w sobie lub jako domieszka do drobnych i grubych ziaren w dowolnym stosunku. Dla przykładu, koncentraty rudy żelaza mogą być odwodnione osiągając najniższą możliwą wilgoć 3% w/w. Podobnie jak w przypadku węgla, poprawia to znacznie transport w regionach gdzie występują długotrwałe mrozy lub sprawia, że transport jest w ogóle możliwy.