

Filtracja parowo-ciśnieniowa najdrobniejszych klas ziarnowych węgla na filtrach BOKELA HiBar – nowe kierunki rozwoju i rezultaty.

Roman Wenglorz, Piotr Myszkowski

BOKELA GmbH

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 zmniejszania 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.

Wprowadzenie

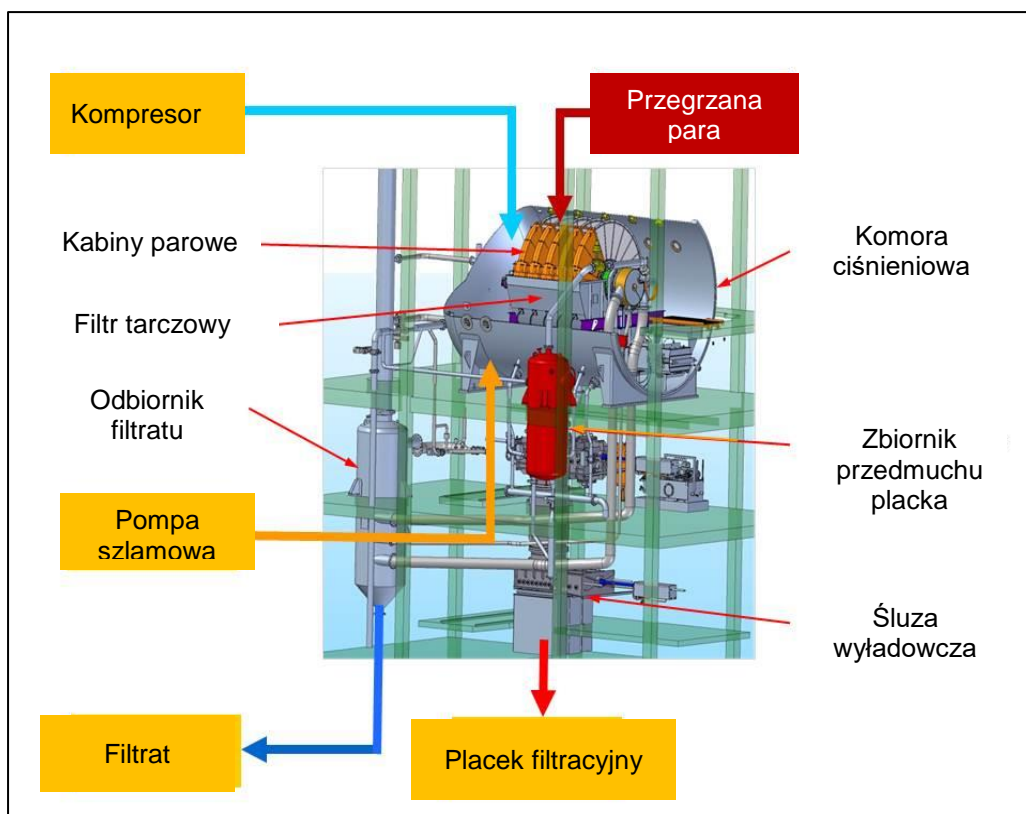
W zależności od przerabianego złoża węgla, udział najdrobniejszych ziaren (definiowanych tutaj jako $-0,25\text{mm}$) może wynosić ok. 10% - 40% wagowo. Jeśli zawartość wilgoci powierzchniowej w mieszaninie frakcji grubych i drobnych wynosi poniżej 10% w/w, wtedy filtracja najdrobniejszych ziaren przy 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.

Owadnianie drobnych ziaren przy wykorzystaniu ciągłej parowo-ciśnieniowej filtracji typu HiBar

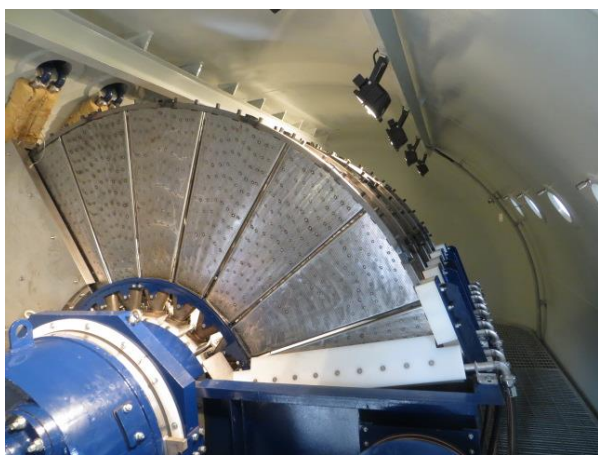
Model techniczno-technologiczny węzła filtracji typu HiBar

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^2 w skali przemysłowej.



Schemat 1: Model jednostki filtracyjnej HiBar

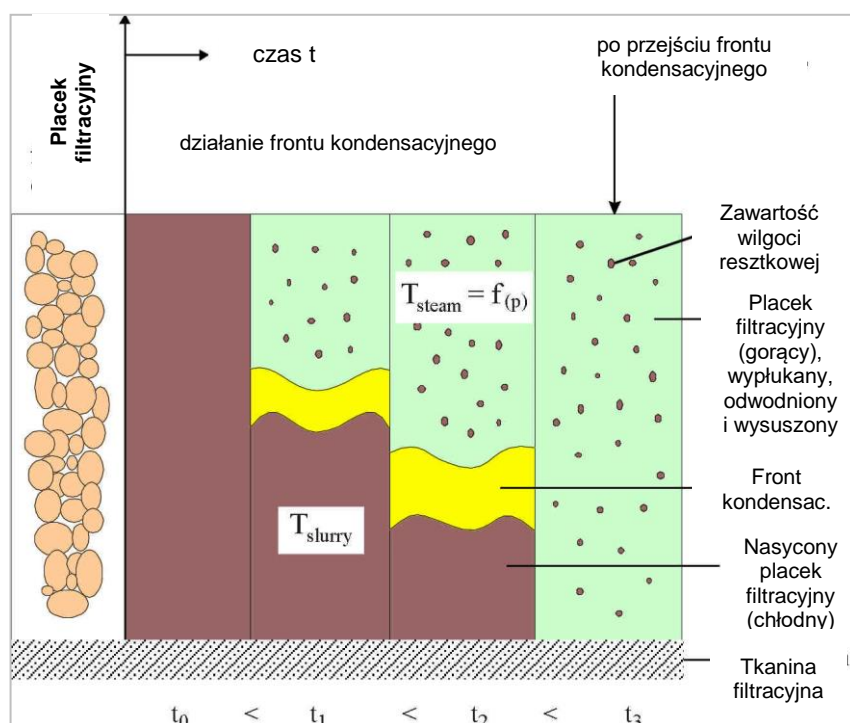


Zdjęcie 1: Filtry tarczowe HiBar (70 m² każdy) z kabinami parowymi do filtracji parowo-ciśnieniowej (po lewej); budynek filtrów z dwoma filtrami tarczowymi HiBar o pow. 70 m² każdy (po prawej)

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 placek filtracyjny jest tylko częściowo wystawiony 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 kabinie 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

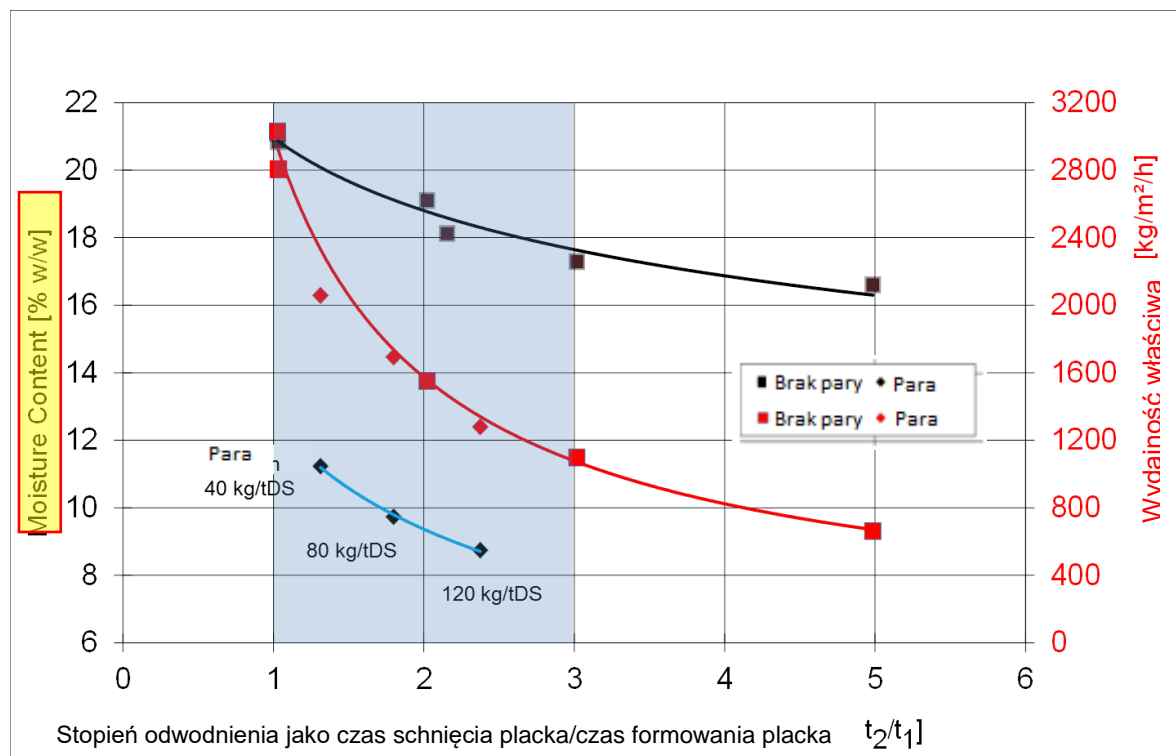
- Gdy „front kondensacyjny” dotrze do tkaniny filtracyjnej, placek ogrzewa się całkowicie do temperatury pary wodnej. W tym momencie placek opuszcza kabinę parową.
- Sprężone powietrze przepływa przez wstępnie odwodniony i gorący placek filtracyjny powodując bardzo skuteczne osuszanie termiczne, co prowadzi 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 stopnia 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 odwodnienia czasu suchego t_2 do czasu formowania t_1 , który odpowiada współczynnikowi α_2/α_1 (α_2 = kąt odwodnienia, α_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
Parowo-ciśnieniowa HiBar	8 – 12

Tabela 1: Typowa zawartość wilgoci dla drobnych ziaren węgla przy filtracji próżniowej, ciśnieniowej oraz parowo-ciśnieniowej HiBar dla frakcji -250 μm

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 α_1 oraz przy wyższej prędkości obrotowej.

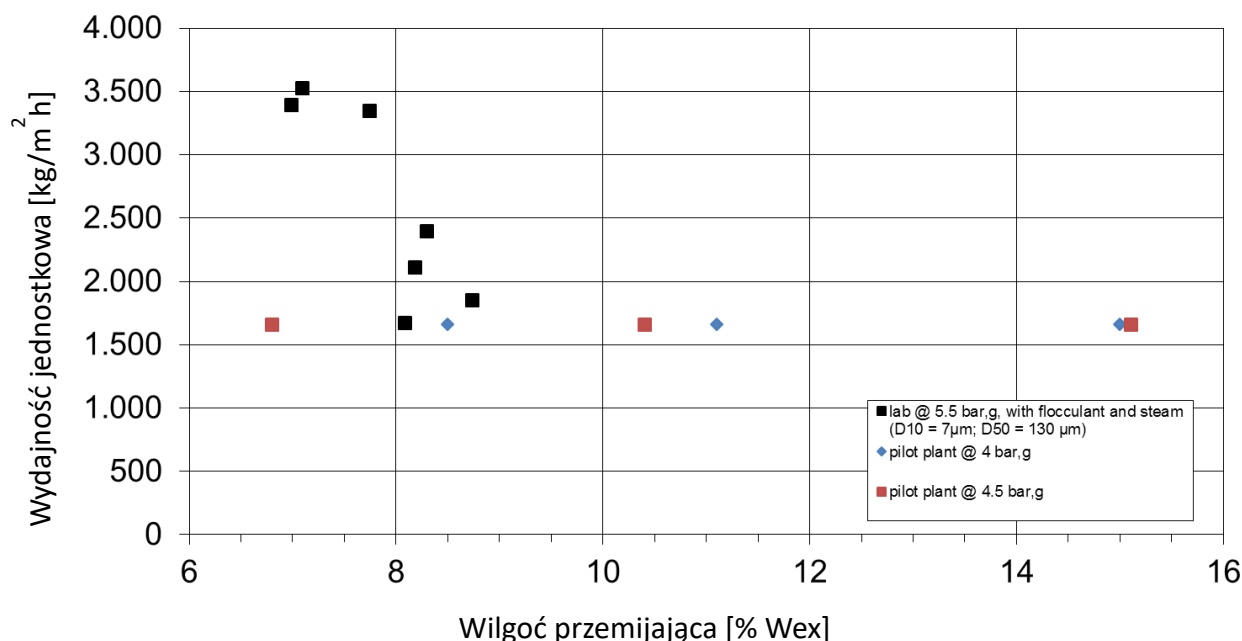
Jednostka pilotowa Steam HiBar – filtracja parowo-ciśnieniowa najdrobniejszych frakcji węgla

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

(Zdjęcie 2). Eksperci 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 m².



Wykres 2: Wyniki pracy jednostki pilotowej HiBar (1m² filtr tarczowy) w kopalni węgla Pniówek



Zdjęcie 2: Jednostka pilotowa HiBar (1m² filtr tarczowy) na płucze 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 produkcję 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.