ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: GÓRNICTWO z. 231 Nr kol. 1349

Ulf LIMPERT

Humboldt Wedag AG, Kolonia

ZASTOSOWANIE I SPOSÓB DZIAŁANIA WIRÓWEK SITOWYCH DO MECHANICZNEGO ODWADNIANIA KONCENTRATU FLOTACYJNEGO W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. Referat koncentruje się na uzasadnieniu niezbędności mecha-nicznego odwadniania koncentratu flotacyjnego w górnictwie. Zaprezentowano zalecenia dotyczące eksploatacji wirówek sitowych oraz zakres możliwych do uzyskania efektów odwadniania.

USAGE AND MANNER OF OPERATION OF BOWLLESS CENTRIFUGES FOR MECHANICAL DEWATERING OF FLOATATION CONCENTRATE IN THE HARD COAL MINING

Summary. The paper deals with grounds of the necessity of mechanical dewatering o flotation concentrate in the mining industry. In the paper there was given recommendation for exploiting of bowlles centrifuges together with ranges of possible dewatering effects.

1. Mechaniczne odwadnianie to konieczność

Wymagania wobec nowoczesnych metod przeróbki węgla determinują obecnie: oczekiwania przez odbiorców wysokiej jakości węgla, niezwykła presja cenowa na rynku oraz dążenie do uzyskania możliwie najwyższego stopnia wzbogacenia i wykorzystania węgla, przy równoczesnym zminimalizowaniu ilości odpadów.

Rosnące wymagania jakościowe wymuszają zastosowanie nowych technologii i urządzeń, które przede wszystkim powinny zapewnić optymalizację kosztów całego procesu przeróbczego, umożliwiając obniżenie kosztów wzbogacania węgla i uzyskanie lepszych cen.

Szczególnym kryterium oceny jakości masowego produktu, jakim jest węgiel, jest całkowite zawilgocenie po przeróbce. Na zawilgocenie całkowite składa się wilgotność wewnętrzna, na wielkość której nie można wpływać mechanicznie, oraz wilgotność powierzchniowa.

W większości przypadków elektrownie i elektrociepłownie dopuszczają całkowite zawilgocenie węgla nie przekraczające ok. 8 %. W przypadku grubszych ziaren spełnienie tego warunku zazwyczaj nie przedstawia żadnych trudności. Dążenie do większego stopnia wykorzystania urobku i intensywniejszego wykorzystania frakcji drobniejszych ziaren oraz mułów węglowych wymaga jednak redukcji ich zawilgocenia całkowitego przed zmieszaniem z innymi frakcjami ziarnowymi.

Wilgotność wewnętrzna, która zazwyczaj wynosi 1 - 4 % w zależności m.in. od wieku pokładów węgla, może być zredukowana jedynie metodą termiczną. Usunięcie niezwiązanej wody znacznie tańszą metodą mechaniczną pozwala osiągnąć możliwie najniższe zawilgocenie powierzchniowe.

Dotychczas często jedyną stosowaną metodą zmniejszenia zawilgocenia węgla jest suszenie termiczne. Suszenie jest jednak niezwykle kosztowne. Potrzebny jest ogromny nakład energii. Poza tym proces suszenia podrażają rygorystyczne wymogi ochrony środowiska w zakresie oczyszczania spalin.

Przykład:

40 t/godz. węgla odwodnionego w temp. ok. 20°C za pomocą wirówki sitowej do 17% wilgotności końcowej oraz

40 t/godz. węgla odwodnionego w temp. ok. 20°C za pomocą filtra do 23% wilgotności końcowej.

Energia termiczna konieczna jedynie do odparowania ilości wody odpowiadającej zmniejszeniu wilgotności końcowej z 23% do 17 % wynosi 7.722.430 kJ/godz. lub 4.300 kg pary/godz. (30 bar, 233°C).

Niezależnie od tego procesowi suszenia towarzyszy szkodliwa, powodująca ocieplenie atmosfery emisja gazów SO_2, CO_2, NO_x itp., co pociąga za sobą koszty oczyszczania spalin i inne, związane z wymogami ochrony środowiska.

Celowość zastosowania nowoczesnych metod wzbogacania węgla polega na jak najdalej idącym wyeliminowaniu suszenia termicznego

Alternatywę wobec suszenia stanowi odwadnianie mechaniczne i zmieszanie odwodnionego mechanicznie węgla z mniej zawilgoconym węglem zmielonym. W szczególności należy wskazać na odwadniane miału po flotacji, który ze względu na niezwykle rozwiniętą powierzchnię wiąże bardzo dużą ilość wody.

Do odwadniania miału węglowego stosuje się na całym świecie różnorodne urządzenia. Najczęściej spotykane to wirówki sitowe.

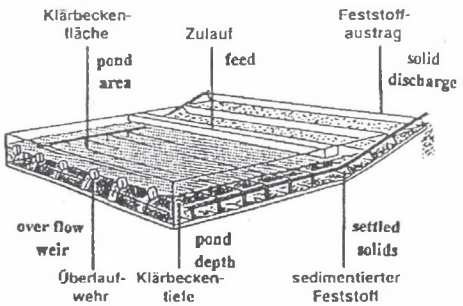
W dalszej części zostanie krótko przedstawiona zasada działania wirówki sedymentacyjno-sitowej w porównaniu z wirówką pełnopłaszczową.

2. Założenia ogólne procesu rozdziału faz w wirówce

- Zaprojektowanie procesu na podstawie teorii rozdziału.
- Cząsteczki substancji stałej uważa się za oddzielone, kiedy znajdą się na ściance bębna,
- Cząsteczki substancji stałej są transportowane ślimakiem do otworu odprowadzającego z wirówki.
- Wykluczone jest ponowne dostanie się do odcieku oddzielonych cząsteczek substancji stałej.

* *Na czym polega zasada odwadniania w wirówce ?*

Rozpatrzmy procesy rozdziału zachodzące w osadniku:



Rys.1.

- powierzchnia odwadniająca,
- doprowadzenie nadawy,
- otwory odprowadzające,
  odwodniony produkt,

- odwadniana substancja stała,
- zgarniak,
- grubość warstwy odwadniającej,
- otwory jazowe odpływu odcieku.

Powierzchnia odwadniająca osadnika statycznego przy 1x g wynosi: F = Q : V

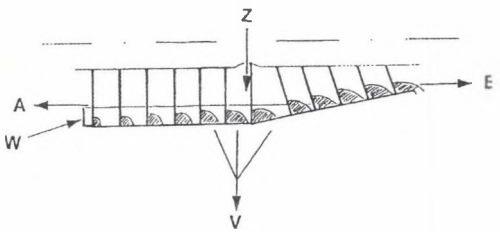
Zredukowanie rzeczywistej powierzchni odwadniającej przy zachowaniu niezmienionej wielkości efektywnej powierzchni odwadniania może nastąpić jedynie w wyniku wzrostu szybkości rozdziału, tzn. przez zwielokrotnienie przyśpieszenia g, czyli przez wirowanie.

3. Procesy zachodzące w wirówce

Każda wirówka odwadniająca, zarówno sedymentacyjno-sitowa, jak i pełnopłaszczowa składa się z pełnopłaszczowej części cylindrycznej i stożkowej.

* *w części cylindrycznej*

następuje oddzielenie cieczy i zagęszczenie cząsteczek substancji stałej



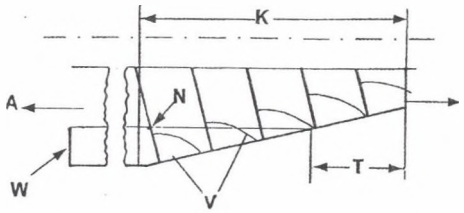
Rys.2.

Z = doprowadzenie odwadnianego osadu, tutaj pokazano w miejscu przejścia części cylindrycznej w stożkową,
W = otwór jazowy odpływu odcieku, o regulowanej wielkości, znajduje się na końcu części walcowej,
A = odpływ oddzielonej klarownej cieczy,
V = zagęszczona substancja stała, pory między ziarnami są wypełnione cieczą,

E = mechanicznie odwodniony produkt.

* *w części stożkowej*

następuje dalsze zagęszczenie substancji stałej i odprowadzenie oddzielonej cieczy z *„odcinka suszącego"*



Rys.3.

K = długość części stożkowej,
T = odcinek suszący,
N = poziom cieczy = grubość warstwy oddzielonej cieczy nadosadowej (głębokość *stawu nadosadowego.)*

W wirówce pełnopłaszczowej zmiana stopnia odwodnienia osadu ze stanu „V" do stanu „E" następuje wyłącznie na odcinku suszącym „T".

4. Wpływ parametrów osadu na proces odwadniania w polu grawitacyjnym wirówki

* Możliwa do uzyskania wielkość końcowego zawilgocenia powierzchniowego jest zależna przede wszystkim od składu ziarnowego substancji stałej odwadnianego osadu. Wzór Batela pozwala obliczyć możliwe teoretycznie do uzyskania powierzchniowe zawilgocenie końcowe R_B produktu o znanym składzie ziarnowym:

$$R_B = \frac{\gamma_F}{\gamma_K} \sqrt[4]{K_1 \frac{O'k \quad \gamma_K}{Z\, d'}} = \%H_2O$$

Rys.4.

γF = 1000 kg/m ^{3} dla wody K_1 = 3340 dla węgla

γK = 1300 kg/m ^{3} dla węgla *O'k, d'* z siatki podziału ziarnowego wg normy DIN 4190

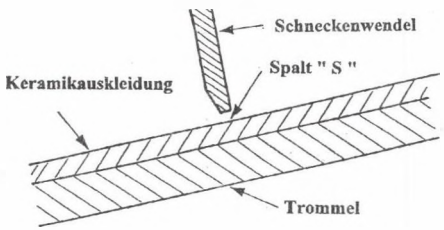
* Koncentrat flotacyjny (i węgiel w ogóle) jest produktem nieściśliwym, tzn. nie zmienia praktycznie swojej objętości pod wpływem ciśnienia zewnętrznego.

5. Odwadnianie substancji stałej w wirówce pełnopłaszczowej

czyli

jak przejść ze stanu odwodnienia osadu „V" do stanu „E"?

* ***Przesuwanie substancji stałej***



Rys.5.

Większe tarcie substancji stałej względem bębna niż krawędzi transportującej zwojów ślimaka umożliwia przesuwanie substancji stałej przez ślimak, który wiruje z inną niż bęben prędkością obrotową.

Możliwie najgładsza powierzchnia krawędzi transportującej zwojów ślimaka oraz zachowanie szczeliny między tą krawędzią a wykładziną ceramiczną bębna jest warunkiem niezakłóconego przesuwania substancji stałej.

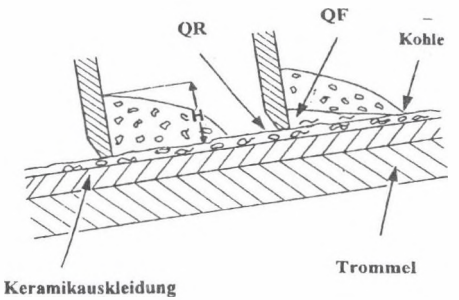
Przykładowo w wirówce o średnicy bębna 1.100 mm szczelina „S" ma 1 - 2 mm. W szczelinie substancja stała jest zagęszczona i jest przesuwana wolniej niż produkt przed zwojami ślimaka, co redukuje tarcie względem wykładziny ceramicznej wewnętrznej ścianki bębna, a tym samym zmniejsza zużycie ochrony przeciwścieralnej bębna.

* *Odwadnianie na odcinku suszącym*

Przesuwana substancja stała po opuszczeniu warstwy „N" oddzielonej cieczy nadosadowej jest zagęszczona do najmniejszej objętości, jednak pory między ziarnami są wypełnione cieczą.

Przy gęstości węgla ok. 1,4 g/ml i założeniu, że masa nasypowa zagęszczonej substancji stałej wynosi ok. 0,8 g/ml, zawilgocenie całkowite 1000 kg miału węglowego wynosi ok. 536 l wody.

Przykładowo, jeśli wilgotność powierzchniowa, w przeliczeniu na 1000 kg miału węglowego, ma wynieść 250 l wody, to z każdej tony miału trzeba usunąć 286 l nie związanej wody „F".



Rys.6.

QF = ilość nie związanej cieczy w zagęszczonej substancji stałej
QR = ilość oddzielonej cieczy w strumieniu zawracającym przepływającym przez szczelinę „S"
H = grubość warstwy substancji stałej przed zwojem ślimaka

Odprowadzenie nie związanej cieczy podczas przesuwania przez część stożkową

W czasie przesuwania substancji stałej przez ślimak nie związana ciecz pod wpływem siły odśrodkowej przedostaje się porami między ziarnami w kierunku większej średnicy bębna i przepływa przez szczelinę „S" pomiędzy zwojem ślimaka a bębnem. Ciecz może być odprowadzona tylko szczeliną „S", która jest jednak wypełniona zagęszczonym miałem węglowym, co limituje wielkość strumienia zawracającego.

Dopóki zachowana jest zależność QF ≤ QR, dopóty uzyskuje się stabilne zawilgocenie powierzchniowe odwodnionego produktu.

Wraz ze wzrostem ilości odwadnianej substancji stałej wzrasta grubość warstwy „H" proporcjonalnie do ilości nie związanej cieczy „QF", natomiast wielkość strumienia zwrotnego oddzielonej cieczy „QR" nie zmienia się.

* ***Odprowadzenie cieczy w strumieniu zawracającym „QR"***

Strumień zwrotny oddzielonej cieczy, który przed grudkami substancji stałej na ślimaku jest idealnie spiralny, przepływa z prędkością „VR" w kierunku większej średnicy do *stawu nadosadowego* „N".

Przepływ strumienia zwrotnego jest zakłócony przez dokładnie liniowy kierunek ruchu substancji stałej przesuwanej przez ślimak z prędkością „VF". W przypadku zachwiania relacji VR:VF, szybciej nasuwane kolejne partie substancji stałej hamują przepływ cieczy „QR" wytrącając ją ze strumienia, a oddzielona ciecz „QR" musi ponownie przedostać się przez pory i szczelinę „S" do strumienia zawracającego.

* ***Na strumień zawracający „QR" w szczelinie „S" wpływają:***

a. struktura ziarnowa substancji stałej

im mniejsza przeciętna średnica ziarna d', tym mniejszy strumień „QR", ponieważ opór przepływu wzrasta wraz ze zmniejszeniem ziarna;

b. przyśpieszenie wirówki „C"

wzrost przyspieszenia wirówki „C" powoduje zwiększenie strumienia „QR". Należy jednak zwrócić uwagę, że wzrost przyspieszenia powoduje również zwiększenie oporu przepływu w następstwie wzrostu ciśnienia, co częściowo ogranicza wzrost strumienia „QR".

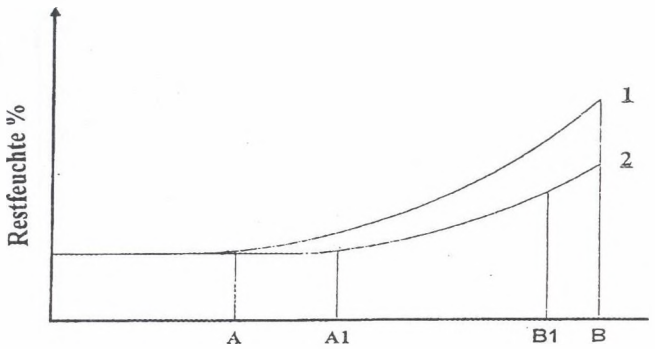
c. niekorzystne aspekty wzrostu przyspieszenia wirówki „C"

- **zwiększone zużycie energii:** zapotrzebowanie mocy biegu jałowego wirówki jest proporcjonalne do *sześcianu* prędkości obrotowej, a zapotrzebowanie mocy pomp - do *kwadratu* prędkości obrotowej. *Proporcjonalnie* do wzrostu obrotów rośnie szybkość przesuwania osadu w wirówce.
- **zwiększone zużycie** w wyniku ścierania części stykających się z osadem.

* ***Zastosowanie wirówek pełnopłaszczowych***

Wirówki pełnopłaszczowe dobrze sprawdzają się jako urządzenia odwadniające i rozdzielające wtedy, kiedy są eksploatowane w zakresie QF ≤ QR. Gdy zależność ta nie jest zachowana, to, jak wykazuje praktyka, wzrasta zawilgocenie końcowe produktu.

zawilgocenie końcowe %



nadawa t/h węgla

Rys.7.

1 przyśpieszenie G_1 A/A_1 odpowiednie parametry eksploatacyjne

2 przyśpieszenie G_2; $G_2 > G_1$ B/B_1 odpowiednie granice możliwości mechanicznych.

Zależność zawilgocenia końcowego produktu odwadnianego na wirówce pełnopłaszczowej od ilości nadawy i przyśpieszenia

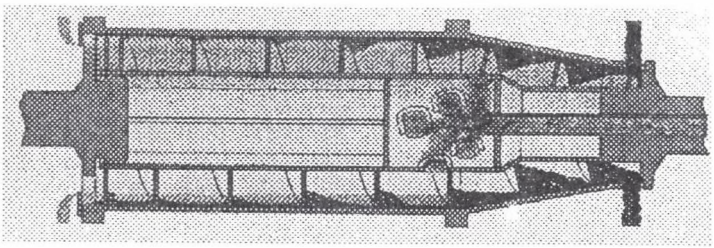
Wydajność wirówki pełnopłaszczowej nie jest limitowana możliwościami mechanicznymi, ani zdolnością rozdzielania, lecz jest ograniczona sposobem odprowadzenia nie związanej cieczy, oddzielonej w procesie odwadniania.

6. Odwadnianie substancji stałej w wirówce sedymentacyjno-sitowej

czyli

jak przejść ze stanu odwodnienia osadu „V" do stanu „E",
zachowując pełną wydajność i unikając ograniczającego wpływu strumienia „QR" ?

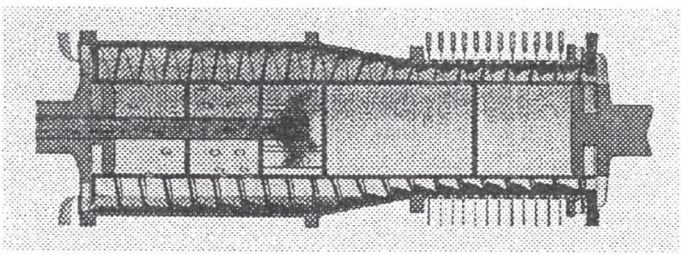
W części stożkowej wirówki pełnopłaszczowej substancja stała wydostaje się z warstwy „N" oddzielonej cieczy nadosadowej pod wpływem siły odśrodkowej. Oczywiste jest założenie, że nie związana ciecz „QF" zostanie odprowadzona z wirówki.



Rys.8.

Wirówka pełnopłaszczowa Humboldt Wedag

Jeśli nie związana ciecz „QF" będzie mieć możliwość natychmiastowego odpływu, to można w znacznym stopniu zrezygnować z odcinka suszącego.

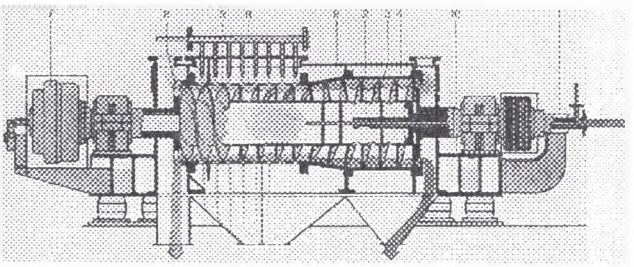


Rys.9.

Wirówka sedymentacyjno-sitowa Humboldt Wedag

Rozwiązaniem jest wirówka sedymentacyjno-sitowa Humboldt Wedag:

Na końcu stożkowej części pełnopłaszczowej została zamontowana cylindryczna część sitowa



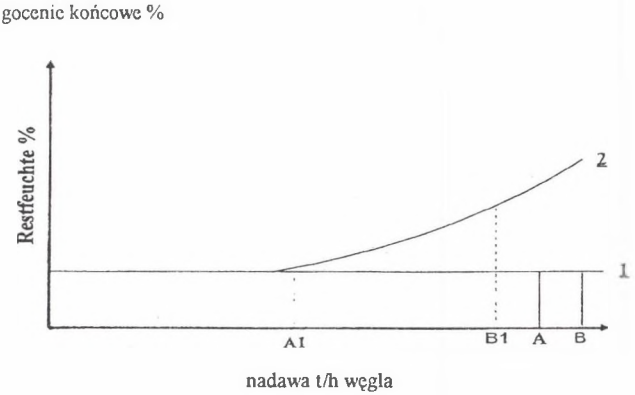
Rys.10.

Część sitowa zajmuje ok. 1/3 całkowitej długości wirnika. Szczeliny sita mają szerokość ok. 0,25 mm, a łączna powierzchnia szczelin stanowi ok. 5 - 7% powierzchni całkowitej sita. Dokładna długość części sitowej zależy od charakterystyki odwadnianego osadu.

Ślimak nasuwa na powierzchnię sita odwodnioną wstępnie w części pełnopłaszczowej substancję stałą i przesuwa przez całą długość części sitowej. Pomiędzy sitem a krawędzią zwojów ślimaka jest wąska szczelina o szerokości ok. 1 mm i praktycznie nie tworzy się w niej warstwa substancji stałej zakłócająca odpływ oddzielonej cieczy.

Pod wpływem dużego przyśpieszenia, 300 - 500-krotnie większego od przyśpieszenia ziemskiego g, nie związana ciecz „QF" przedostaje się przez pory między ziarnami substancji stałej i bez przeszkód jest natychmiast odprowadzana z wirówki, bez zmiany na przeciwny kierunku odpływu.

Doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że wydajność wirówki sedymentacyjno-sitowej jest ograniczona albo możliwościami mechanicznymi (np. mocą silnika napędowego, przeciążeniem momentem obrotowym), albo wymogiem zachowania odpowiedniego stopnia rozdziału (niska zawartość substancji stałej w odcieku sedymentacyjnym), nie jest jednak praktycznie ograniczona zadanym końcowym zawilgoceniem odwodnionego produktu.

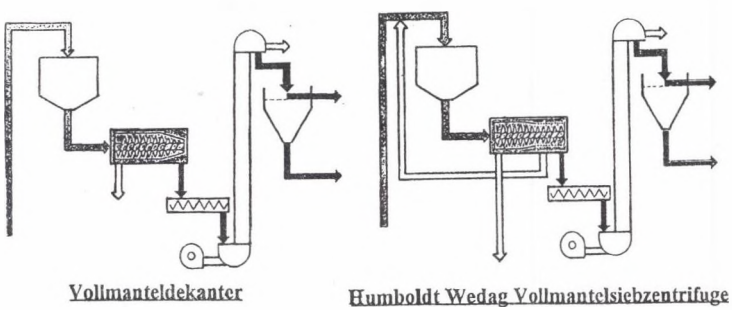


Rys.11.

1 wirówka sedymentacyjno-sitowa (małe przyśp.) A/A_1 odpowiednie parametry eksploatacyjne
2 wirówka pełnopłaszczowa (duże przyśp.) B/B_1 odpowiednie granice możliwości mechanicznych

Porównanie zależności zawilgocenia końcowego od ilości miału węglowego odwadnianego na wirówce sedymentacyjno-sitowej i pełnopłaszczowej o jednakowej średnicy wirnika

W zależności od ilości nadawy odciek sitowy stanowi 5 - 15% objętości nie związanej cieczy oddzielonej w procesie odwadniania i w zależności od struktury ziarnowej nadawy zawiera 4 - 7% węgla poddanego odwadnianiu w wirówce. Odciek sitowy o koncentracji substancji stałej 10 - 30% jest w większości przypadków ponownie kierowany na wirówkę sitową do rozdzielenia lub do odwodnienia.



Rys.12.

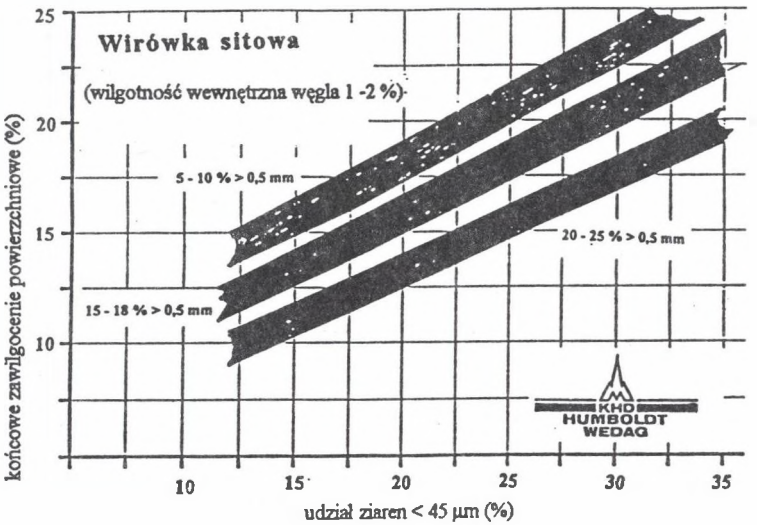
Wirówka pełnopłaszczowa Wirówka sedymentacyjno-sitowa Humboldt Wedag

*** Jakie końcowe zawilgocenie powierzchniowe produktu pozwala osiągnąć wirówka sedymentacyjno-sitowa Humboldt Wedag ?**

Możliwe do osiągnięcia zawilgocenie końcowe odwadnianego koncentratu flotacyjnego zależy przede wszystkim od struktury ziarnowej węgla w nadawie.

Podstawowa zależność jest następująca: im węgiel jest bardziej drobnoziarnisty, tym większe zawilgocenie końcowe odwodnionego produktu. Szczególne znaczenie ma udział ziaren o średnicy mniejszej od 45 μm.

Na diagramie poniżej przedstawiono zależność zawilgocenia końcowego od udziału procentowego ziaren mniejszych od 45 μm w odwadnianym węglu w odniesieniu do 3 wybranych przedziałów (5-10%, 15-18% i 20-25%) procentowej zawartości w substancji stałej nadawy ziaren o średnicy powyżej 0,5 mm.



Rys.13.

W przypadku bardzo drobnoziarnistej nadawy dla uzyskania lepszego odwodnienia można do koncentratu flotacyjnego dodać miał węglowy, np. przelew z hydrocyklonu o strukturze ziarnowej 0,5 - 2,0 mm. W ten sposób wzrasta przeciętna średnica i zmniejsza się powierzchnia właściwa ziarna, co spowoduje obniżenie zawilgocenia końcowego. Graficznym odzwierciedleniem na diagramie jest przesunięcie linii wykresu.

Większe ziarna 0,5 - 2,0 mm są potrzebne również do czyszczenia sita, dlatego ta frakcja ziarnowa jest nazywana *ziarnem czyszczącym*. Brak ziarna czyszczącego może doprowadzić do zaklejenia sita, a tym samym spowodować wzrost zawilgocenia odwadnianego produktu.

Odczytane na diagramie wielkości zawilgocenia końcowego mają charakter orientacyjny, ponieważ nie zostały uwzględnione konkretne parametry eksploatacyjne wirówki sedymentacyjno-sitowej, np. prędkość obrotowa, zapopielenie węgla w nadawie, geometria wirówki itp.

LITERATURA

1. F. Adam: Mechaniczna przeróbka kopalin i gospodarka odpadami w aspekcie ochrony środowiska, Konferencja MPiH i SIiTG, Szczyrk, październik 1995 (wykład).
2. Stetler: Obliczenia końcowego zawilgocenia powierzchniowego według wzoru Batela dla nadawy o rozkładzie ziarnowym Rosina, Rammlera, Speringa i Benneta (RRSB), Kolonia, styczń 1993 (wykład).
3. Normy DIN 66141 Diagram rozkładu ziarnowego, podstawy, luty 1973.
   Siatka rozkładu RRSB.
4. Prospekt: Technologia wirowania - Pennwalt-Sharples.
5. W. Bützler: China National Chemical Equipment Corporation, Zastosowanie wirówek sitowych w przemyśle chemicznym, styczeń 1996, Pekin (wykład).
6. U. Limpert: Nowoczesne wirówki do odwadniania w procesie wzbogacania węgla, I Międzynarodowa Konferencja Przeróbki Kopalin PAN, AGH i Pol. Śl., Zakopane listopad 1995 (wykład).

Recenzent: Dr inż. Jerzy Białas

Wpłynęło do Redakcji 25.09.1996 r.

Abstract

The paper deals with grounds of the necessity of mechanical dewatering o flotation concentrate in the mining industry. The principle of operation of bowlles centrifuges as a development of setting centrifuges has been described. The processes occuring in the particular parts of bowlles centrifuge have been clarified. It was explained why the setting centrifuges do not allow to get the optimum of dewatering effects of flotation concentrate. In the paper there was given recommendation for exploiting of bowlles centrifuges together with ranges of possible dewatering effects.