ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967

Seria: GÓRNICTWO z. 22 Nr kol. 186

JERZY NAWROCKI, DUMITRU CONSTANTIN, JERZY PAKLEZA

UDOSKONALENIA METODY OKREŚLANIA POWIERZCHNI SIT

Streszczenie. W pracy tej, opierając się na niektórych założeniach Dietrycha oraz na dokładniejszym sposobie określania prędkości materiału na sicie - podano empiryczną metodę określania powierzchni sit.

Skuteczność przesiewania

Skuteczną wydajność przesiewania danego materiału na przesiewaczu, dostosowanym do podziału materiału na dane klasy, wyznacza stosunek ilości przesiewanego materiału do ilości zużytego czasu przy określonych ilościach podziarna w produktach przesiewania. Pierwszym, który w powyższy sposób opracował metodę obliczania wydajności przesiewania był L.B. Levenson. Teoretyczne zagadnienie skuteczności przesiewania opracowali dotychczas najściślej J. Dietrych i P. Michelin.

Opierając się na niektórych założeniach Dietrycha oraz na dokładniejszym sposobie określania prędkości materiału na sicie, na podstawie wyników wielu doświadczeń, proponuję następującą metodę określania powierzchni sit:

$$F = \frac{Q\ S\ m}{900\ \sqrt{n}\ .\ V\ .\ O\ .\ A\ .\ J\ .\ B}$$

gdzie:

- f - powierzchnia sita, m^2,
- Q - skuteczna wydajność przesiewania, t/h,
- ϑ - wielkość otworu sita kwadratowego, m,
- A - współczynnik przesitu,
- n - częstość wahań, min^{-1},
- J - ciężar usypowy przesiewanego materiału, t/m^3,

V - prędkość materiału na sicie, m/sek,
S - współczynnik skuteczności przesiewania,
B - współczynnik trudności przesiewania,
m - współczynnik lepkości materiału.

Określenie prędkości materiału na sicie (V)

Badania analityczne oraz doświadczalne umożliwiły autorowi określenie prędkości materiału na sicie, jako funkcji amplitudy, prędkości kątowej, kąta nachylenia wahaczy, kąta nachylenia sita, wilgoci, ciężaru właściwego i grubości warstwy. Dla celów praktycznych można przyjąć następujące sformułowanie empiryczno-analityczne:

$$Vm = V \cdot K \cdot Z \cdot \lambda$$

gdzie: prędkość (V) dla przesiewaczy wahadłowych ma postać:

$$V = \frac{g}{\omega} \frac{\cos\alpha}{\sin\gamma} \sqrt{\frac{u-1}{2}(u^2-1)} + S_o \cos \frac{\omega}{2\pi}\left[\frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau)\right]$$

pomijając wartość $\sin(\omega t_A + \tau)$, co w większości przypadków jest dopuszczalne, otrzymamy:

$$V = \frac{g}{\omega} \frac{1}{\sin\gamma}\left[\cos\alpha\sqrt{\frac{u-1}{2}(u^2-1} + \frac{\cos\beta \cos\gamma}{2\pi}\right]$$

lub uproszczoną postać:

$$V = 1{,}6\, S_o\, \omega\, tg\gamma \sqrt{u-1}$$

prędkość dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym

$$V = \frac{1}{2} S_o \omega \left[tg\beta \sqrt{2(u-1)} + \frac{\cos\beta}{\pi}\left(\frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau)\right)\right]$$

lub uproszczoną postać:

$$V = 14 \frac{g}{\omega} \log u \, tg\beta$$

- prędkość dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu liniowym, dla których wskaźnik podrzutu jest większy od 3 ($u > 3$).

$$V = 0{,}53 \frac{g}{\omega} e^{0{,}1u} (u-1) \sin\gamma$$

- "K" - liczba wpływu wilgoci na prędkość
- $K = 1 - 0{,}24 \, e^{-0{,}027 \left\{\left[W_c-(1{,}83 \, W_h + 2{,}2)\right] - 15\right\}^2}$

  W_e - wilgoć całkowita

  W_h - wilgoć higroskopijna
- "Z" - liczba wpływu ciężaru właściwego na prędkość

  a) przesiewacz wahadłowy

$$Z = 1 - \log (0{,}87\gamma - 0{,}72)$$

  b) przesiewacz wibracyjny

$$Z = 1 - \log (0{,}072\gamma + 0{,}876)$$

  γ - ciężar właściwy
- "λ" liczba wpływu grubości warstwy materiału na prędkość

  $\lambda = e^{-0{,}0017(H-40)}$
- H grubość warstwy materiału [mm]

(odnosi się do ziarn mniejszych od 60 mm).

Określenie współczynnika skuteczności przesiewania "S"

Istotą przesiewania jest oddzielenie ziaren o pożądanych wymiarach. Skutecznością przesiewania nazywamy stopień, w jakim oddzielono ziarna spośród wszystkich możliwych do oddzielenia.

Jasnym jest, że skuteczność przesiewania nie jest zależna tylko od łatwości odsiewania, wynikającej z charakteru nadawy

pod względem ziarnistości. Drugim oczywistym czynnikiem jest ilość wstrząsów, jakim poddano przesiewany materiał.

Wartość współczynnika będzie uwarunkowana z jednej strony warunkami, jakie stwarza odsiewany materiał, zaś z drugiej strony warunkami, jakie stawiane są skuteczności przesiewania.

Z dotychczasowej analizy przeprowadzonej przez Dietrycha wynika, że obliczanie przesiewacza musi również uwzględniać wielkość błędu, jaki może być w wyniku przesiewania. Wiemy bowiem, że w przypadku odsiewania ziaren, których wychód jest mały w stosunku do nadawy, bezbłędny skutek przesiewania jest niemożliwy.

Zagadnienie błędu przesiewania musi być punktem wyjścia przy określaniu wydajności przesiewania. Zagadnienie to ma znaczenie techniczne i ekonomiczne. Błąd przesiewania w zależności od współczynnika skuteczności przesiewania przedstawiono na rys. 1.

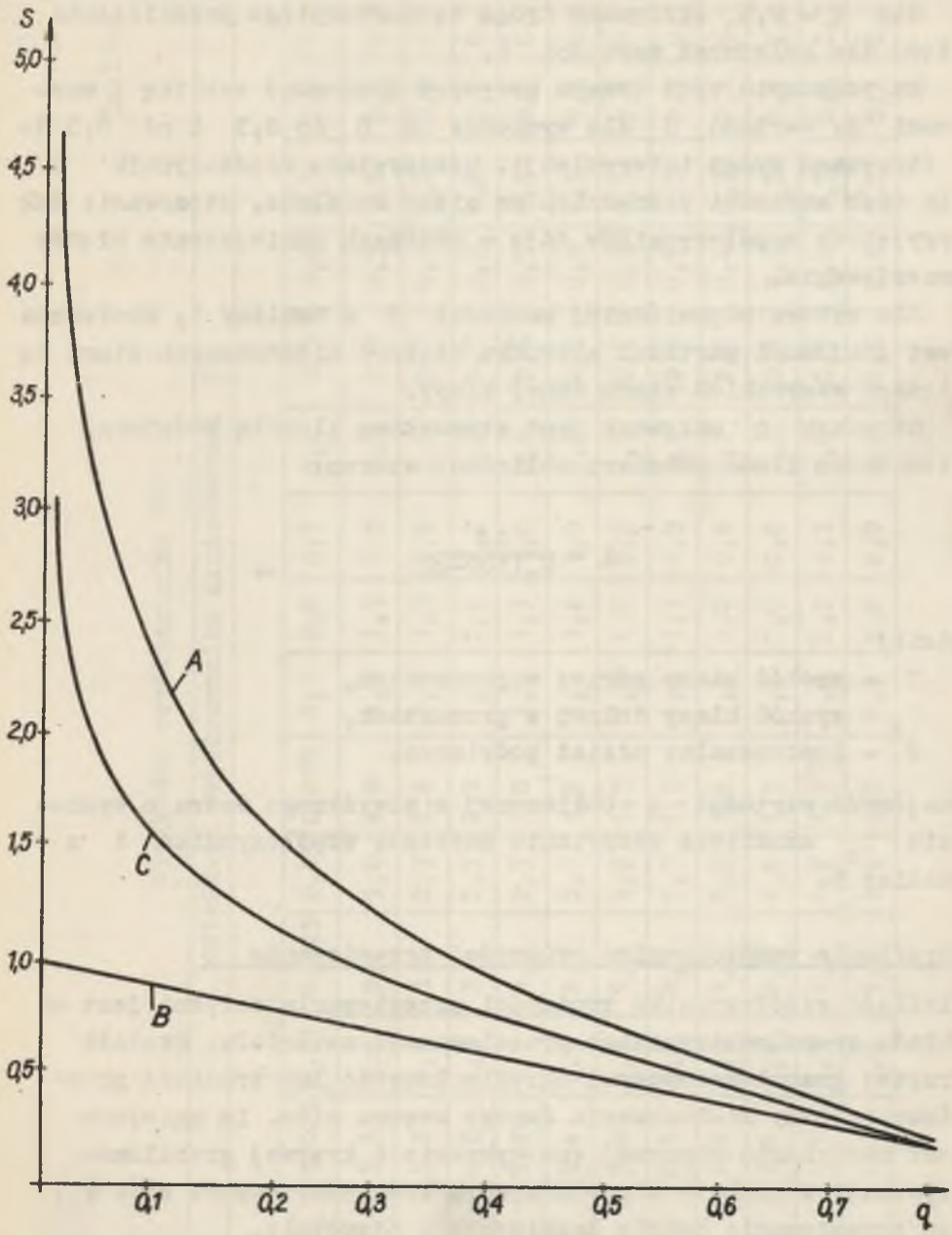
Oznaczmy w ten sposób wartość "S" dla wypadku, kiedy wychód odsiewalnego ziarna jest bliski zeru.

Na podstawie wzoru $S = 1 - q$ umiemy obliczyć wartość "S" dla wychodu niemal równego jedności. Poniżej podano zestawienie w ten sposób określanych wartości "S".

Błąd	0,010	0,025	0,050	0,075	0,1	0,2	0,3
S dla W=0	4,50	3,63	2,94	2,56	2,3	1,56	1,21
S dla W=1	0,99	0,975	0,950	0,925	0,9	0,8	0,7

Błąd	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
S dla W=0	0,90	0,68	0,5	0,35	0,22	0,1	
S dla W=1	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	

Na rys. 1 przedstawiono wartości S.
Linia A wartość S dla $W \approx 0$, linia B dla $w \approx 1$.



Rys. 1. Wartość współczynnika S

Poza tym jest linia C dla wartości S przy $W \approx 0,5$. Wartość S dla $W \approx 0,5$ otrzymano drogą bezpośredniego przeliczenia błędu dla kolejnych wartości S.

Na podstawie tych trzech krzywych zbudowano tablicę 1 wartości S. Wartość S dla wychodów od 0 do 0,5 i od 0,5 do 1 otrzymano drogą interpolacji. Rzeczywiste współczynniki S dla tych wartości pośrednich są nieco mniejsze. Stosowanie tak przyjętych współczynników daje w skutkach zmniejszenie błędów przesiewania.

Dla wyboru odpowiedniej wartości S z tablicy 1, konieczna jest znajomość wartości stosunku ciężaru nieodsianych ziarn do ciężaru wszystkich ziarn danej klasy.

Stosunek q nazywany jest stosunkową ilością podziarn. Stosunkową ilość podziarn obliczono wzorem:

$$q = \frac{W\delta}{W_o(100-\delta)}$$

gdzie:

W - wychód klasy górnej w procentach,
W_o - wychód klasy dolnej w procentach,
δ - dopuszczalny udział podziarna.

Znajomość wartości q obliczonej z powyższego wzoru o wychodzie W_o umożliwia odczytanie wartości współczynnika S z tablicy 1.

Określenie współczynnika trudności przesiewania B

Wielkość współczynnika trudności przesiewania zależna jest od składu granulometrycznego przesiewanego materiału. Kształt krzywej granulometrycznej określa łatwość lub trudność przesiewania przy zastosowaniu danego otworu sita. Im mniejsze jest nachylenie stycznej (na wykresie 2 krzywej granulometrycznej) w punkcie odpowiadającym wielkości otworu sita θ, tym przesiewanie będzie łatwiejsze i odwrotnie.

Doświadczenia przeprowadzono w ten sposób, że w przygotowanym materiale znajdowała się pewna zróżnicowana ilość ziarn

Tablica 1

Wielkości współczynnika "S"

Wielkość współczynnika skuteczności S														
W_o	q													
	0,005	0,01	0,025	0,05	0,075	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	5,3	4,5	3,7	3,0	2,6	2,3	1,7	1,2	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1
0,1	4,8	4,1	3,4	2,7	2,4	2,1	1,5	1,2	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1
0,2	4,3	3,7	3,1	2,5	2,2	1,9	1,4	1,1	0,09	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1
0,3	3,9	3,3	2,8	2,3	2,0	1,8	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1
0,4	3,4	2,9	2,5	2,1	1,8	1,7	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1
0,5	3,0	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1
0,6	2,6	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1
0,7	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
0,8	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,9	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1

Tablica 2

Wielkości współczynnika "B"

λ%	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B 10-0	1,3	1,23	1,21	1,16	1,1	1,05	1,0	0,96	0,9	0,89	0,82	0,79	0,72	0,7	0,65	0,56	0,53	0,5	0,5
B 20-10	1,25	1,2	1,15	1,1	1,05	1,0	0,95	0,9	0,87	0,81	0,8	0,75	0,69	0,64	0,6	0,55	0,5	0,47	0,44
B 20	1,23	1,18	1,12	1,07	1,0	0,96	0,9	0,89	0,82	0,79	0,72	0,7	0,63	0,6	0,55	0,5	0,65	0,42	0,4

trudnych, a następnie przesiano ten materiał i na podstawie ilości otrzymanego podziarna ułożono tablicę 2, w której podane są wartości współczynnika trudności przesiewania B.

Wartość B jest funkcją różnicy wychodu odpowiedniej klasy ziarn wynikające z krzywej granulometrycznej. Zależność λ (określająca ziarna trudne), zawarta jest:

- dla ziarn poniżej 12 mm od Θ do $\frac{1}{2}\Theta$
- dla ziarn powyżej 12 mm od Θ do $\frac{3}{4}\Theta$

Wielkość współczynnika trudności przesiewania w zależności od λ przyjmuje się wg tablicy 2.

Określenie współczynnika "lepkości" materiału "m"

Zawartość wilgoci w węglu powoduje zlepianie się ziarn, co utrudnia ich klasyfikację.

Wilgotny materiał wykazuje pod mikroskopem, że ciecz osadza się wskutek działań kapilarnych przede wszystkim w miejscu styku ziarn. Batel podaje wzór na obliczenie wielkości sił przylegania

$$K = \pi\Theta \sin\alpha\, \sigma_b \left[\sin(\alpha+\nu) + \frac{\Theta}{4} \sin\alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)\right]$$

gdzie:

$$R_1 = \frac{\Theta(1-\cos\alpha)}{2\cos(\alpha+\nu)}$$

$$R_2 = R_1 + R_1 \sin(\alpha+\nu)$$

K – siła przylegania

Θ – średnia ziarn

R_1, R_1 – promień zakrzywionej powierzchni

σ_b – napięcie powierzchniowe

ν – kąt graniczny

α – kąt określający wielkość menisku w zależności od zawartości wilgoci.

J. Laskowski zwrócił uwagę, że w omawianych zagadnieniach oparto się wyłącznie na wzorze Batla, w którym uwzględnia się jedynie Laplace'owskie efekty kapilarne (efekty I rzędu). Twierdzi dalej, że uwzględnienie w rozważaniach również i efektów kapilarnych II rzędu z pewnością nie wniesie nic istotnego przy analizowaniu przesiewania materiału bardzo wilgotnego i mokrego, jednak przy najniższych zawartościach wilgoci, uwzględnienie i tych efektów powinno zmienić początkowe zależności wynikające ze wzoru Batla.

Przy obliczaniu sił przylegania zmiennym parametrem uzależnionym od wilgoci jest kąt α. Z obserwacji zachowania się materiału na sitach podczas przesiewania można przewidywać, że wielkość sił przylegania jest proporcjonalna do otrzymanej ilości podziarna przy zmiennej wilgoci tzn., że maksymalnej ilości podziarna odpowiada maksymalna siła przylegania. Doświadczenia przeprowadzono na różnych typach węgla i przy zmiennej wilgoci.

W wyniku tych doświadczeń podano zależność między wielkością kąta α a wilgocią węgla.

$$\alpha = 2{,}95\sqrt{2\left\{\left[W_c - 1{,}83\,W_h + 2{,}2)\right] - 1\right\}}$$

słuszne dla

$$W_c > W_k$$

gdzie:

W_c - wilgoć całkowita,
W_h - wilgoć higroskopijna,
W_k - wilgoć krytyczna.

Możliwość oderwania się ziarn przy pewnym zawilgoceniu zależy od stosunku siły bezwładności danego ziarna do wielkości sił przylegania. Aby ziarno mogło się oderwać musi być spełniony warunek

$$H > K \qquad \text{czy} \qquad \frac{H}{K} > 1$$

stosunek ten nazywam wskaźnikiem oderwania "Z". Wskaźnik oderwania "Z" jest stosunkiem największej siły bezwładności do wielkości siły przylegania

$$Z = \frac{H}{K}$$

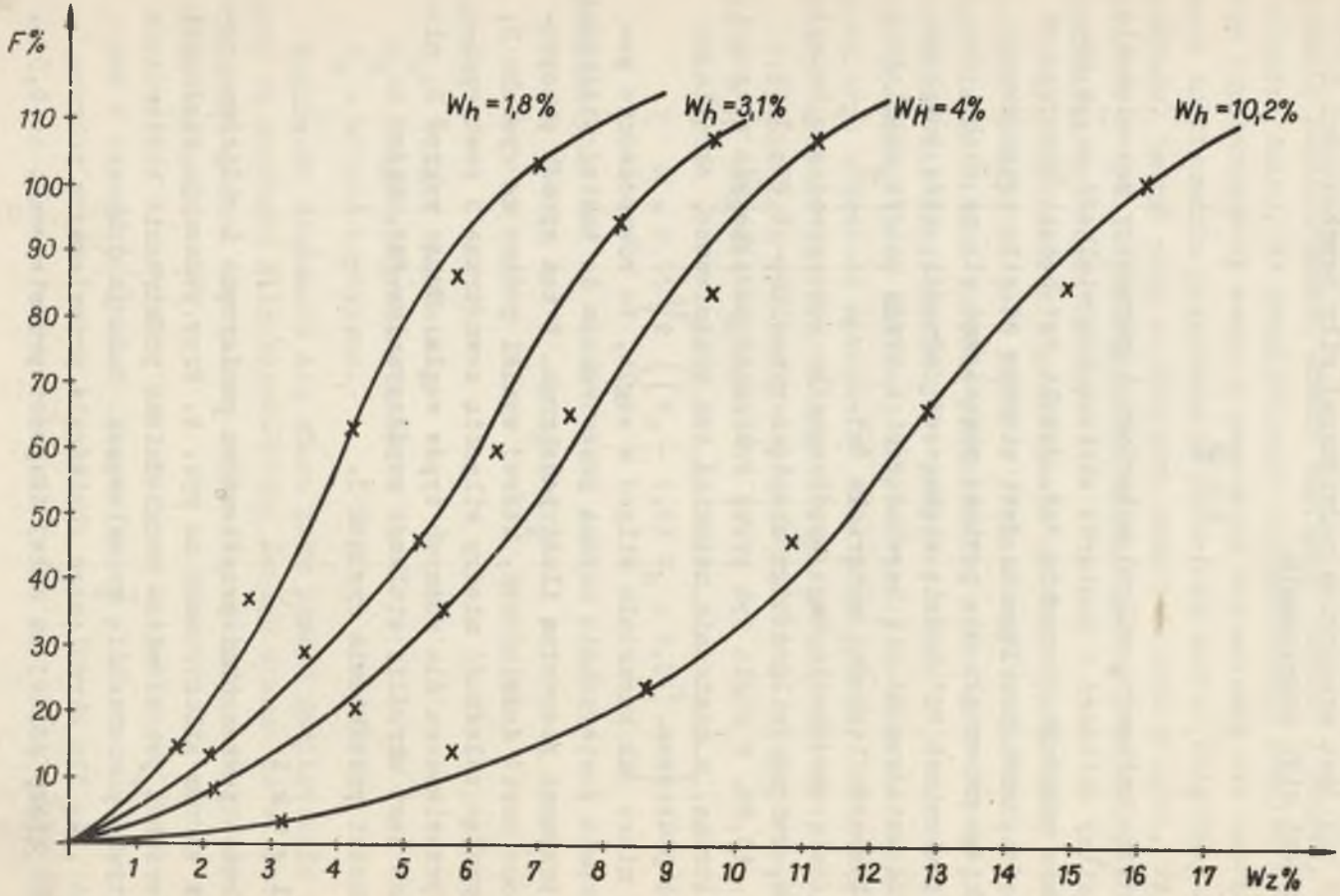
Znając całkowitą wilgoć materiału i parametry przesiewania z analizy obliczeń i pomiarów oblicza się wielkość α, a następnie wskaźnik oderwania "z". Jeżeli "z" będzie mniejsze od jedności, siła przylegania jest większa od siły przesiewania i takiego materiału nie powinno przesiewać się na sucho. Jeżeli natomiast "z" będzie większe od jedności, siły przylegania są mniejsze od sił bezwładności i wtedy należy uwzględnić współczynnik lepkości materiału "m".

W celu określenia tego współczynnika przeprowadzano badania węgla, którego wilgoć higroskopijna wynosiła - 1,8%; 3,1%, 4,0%, 10,2%. W węglu tym przez zraszanie powiększano wilgoć zewnętrzną, a następnie materiał ten przesiewano, określając ilość podziarna.

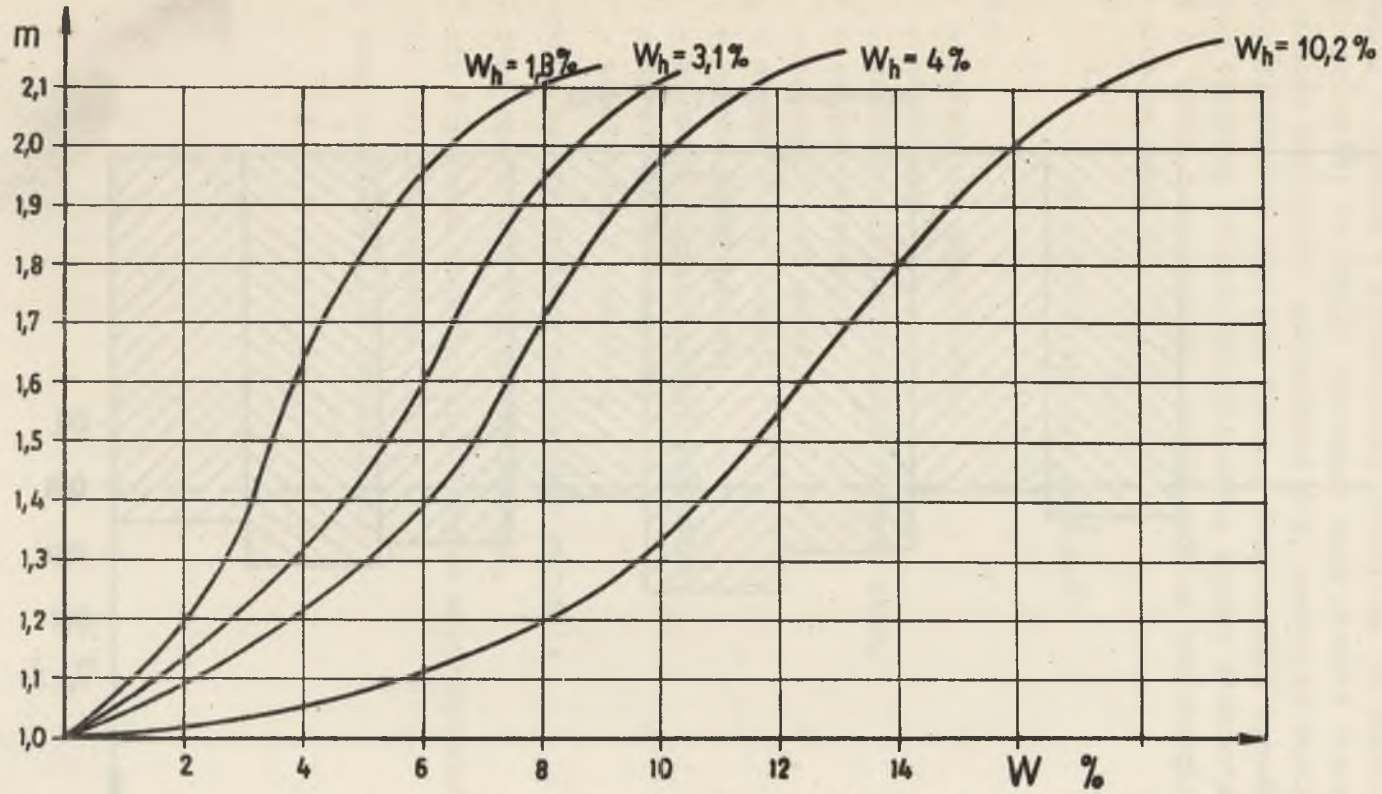
W miarę jak wzrastała wilgoć w węglu, to równocześnie powiększano powierzchnię czynną przesiewacza do takiej wielkości, aż otrzymano pierwotną ilość podziarna. W ten sposób przeprowadzono serię doświadczeń, której wyniki podano na rysunku 2, otrzymując zależność między wilgocią zewnętrzną a powierzchnią przesiewacza dla różnych typów węgla. Mając wykres 2, nietrudno jest określić wielkość współczynnika "m", które to wielkości przedstawia rysunek 3.

W n i o s k i

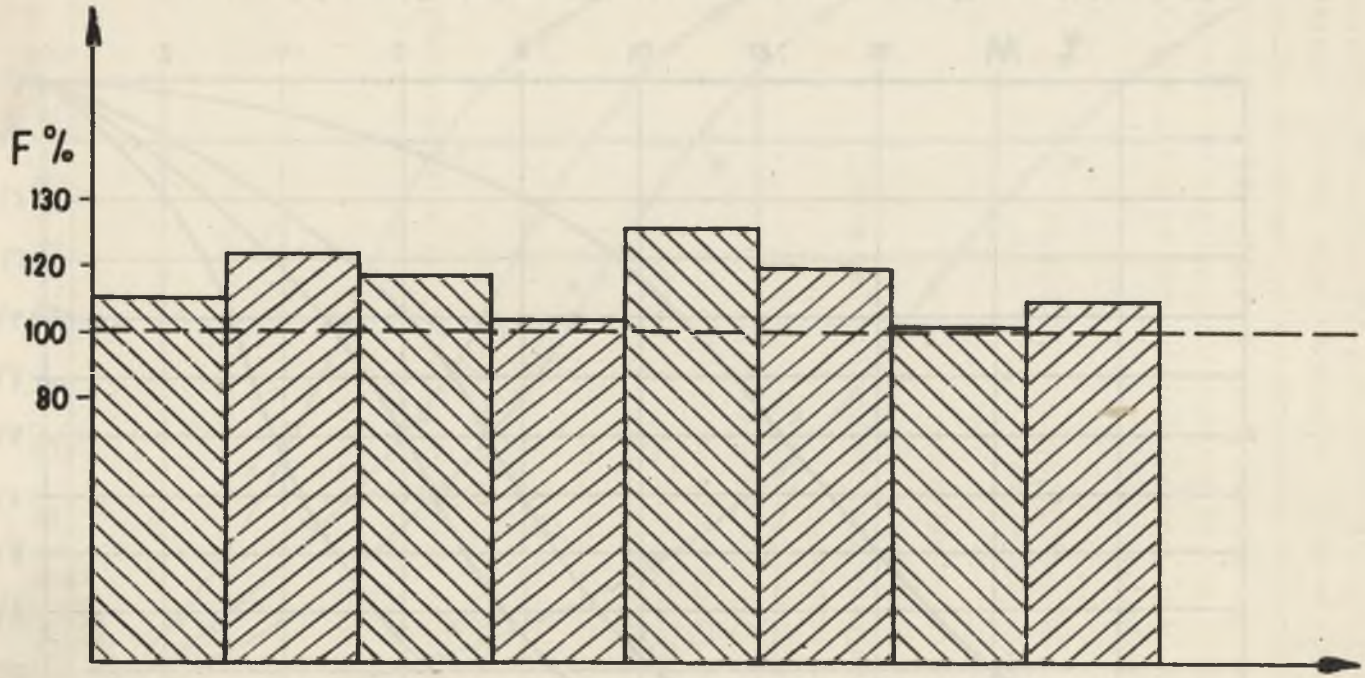
Wielkości powierzchni przesiewaczy pomierzone i obliczone podanym wzorem zilustrowano na rys. 4. Przy podawaniu wielkości powierzchni przesiewacza uwzględniono praktycznie stwierdzoną efektywną powierzchnię przesiewacza. Badania dokonano w ten sposób, że dla określonego obciążenia przesiewacza pobrano próbki klasy górnej na całej długości przesiewacza, co 0,5 m.



Rys. 2. Zależność między wilgocią zewnętrzną a wielkością powierzchni przesiewacza



Rys. 3. Zależność między wilgocią zewnętrzną a współczynnikiem "m"



Rys. 4. Ilość pomiarów

Powtarzająca się ilość podziarna określa długość danego przesiewacza, a zarazem i powierzchnię efektywną. Na wykresie słupkowym widać, że wyniki otrzymane mają nieduży rozrzut. Podana metoda obliczenia powierzchni sit, oparta na analizie prawdopodobieństwa odsiania ziaren, uwzględnia w sposób jednoznaczny czynniki procesu przesiewania, mające bezpośredni wpływ na wynik tego procesu. Podany wzór na powierzchnię sita jest złożoną funkcją:

$$F = f(Q, \theta, A, \gamma, n, w_o, w, \lambda, m, \delta)$$

gdzie:

- Q - wydajność przesiewacza,
- θ - otwór sita,
- A - współczynnik powierzchni czynnej sita,
- γ - ciężar usypowy,
- n - częstotliwość wahań,
- w_o - wychód klasy dolnej,
- w - wychód klasy górnej,
- δ - stosunek dopuszczalnego podziarna,
- λ - wychód ziarn trudnych,
- m - współczynnik lepkości.

Opracowana metoda spełnia następujące warunki:

a) jest operatywna i nieskomplikowana,

b) nie dopuszcza do wolności w doborze współczynników, czyli jest jednoznaczna,

c) jest doświadczalnie sprawdzalna.

LITERATURA

[1] Batel W.: Chemie Ing. Technik 2 (1964).

[2] Dietrych J.: Teoria i budowa przesiewaczy, WGH, Katowice 1962.

[3] Kluge W.: Neuzeitliche Siebmaschinen für die Aufbereitung, Erdol und Kohle, 4 Jahrgang 1951.

[4] Kluge W.: Neuzeitliche Siebmaschinen für die Aufbereitung, Gluckauf - Forschungsheefte, 27 Jahrgang H. 4, 1966.

[5] Laskowski T.: Biuletyn Instytutu Naukowo-Badawczego Przemysłu Węglowego. Nr 23, 1948 r.

[6] Laskowski J.: Uwagi dyskusyjne do artykułu J. Nawrockiego - Przegląd Górniczy Nr 1, 1966.

[7] Lewenson L.B.: Masziny dla obogaszczenija Moskwa - Leningrad 1933 r.

[8] Lęcznar E.: Maszyny do przeróbki mechanicznej minerałów, PWN. 1952.

[9] Matkin R.: Zapiski Leningradzkowo Gornowo Instituta, tom X, Moskwa - Leningrad 1937.

[10] Dietrych J., Nawrocki J.: Ocena zmiany granulometrycznej urobku w świetle wzoru Benneta. Przegląd Górniczy 1956 r.

[11] Dietrych J., Nawrocki J.: Wpływ układu sił na wielkość przesiewaczy oraz ich wybór, Przegląd Górniczy 1960 r.

[12] Dietrych J., Nawrocki J.: Udoskonalenie metody obliczeń prędkości materiału na sicie. Przegląd Górniczy 1963 r.

[13] Nawrocki J.: Ocena istniejących wzorów najczęściej stosowanych do obliczenia powierzchni przesiewaczy w świetle przeprowadzonych doświadczeń - Przegląd Górniczy 1963 r.

[14] Nawrocki J.: Przyczynek do teorii prędkości materiału na sicie, Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., Górnictwo 5.

[15] Nawrocki J.: Empiryczna metoda określenia powierzchni sit. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo 5.

[16] Nawrocki J.: Wybór optymalnych wymiarów otworów sita w zależności od kształtu ziarna, Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., Górnictwo Nr 9.

[17] Nawrocki J.: Uwagi do obliczeń wydajności przesiewaczy rusztowych, wahadłowych i wibracyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo Nr 11.

[18] Nawrocki J.: Granulometryczna charakterystyka materiału w ujęciu analitycznym. Separator Nr 2, 1964 r.

[19] Nawrocki J.: Analityczne metody określania prędkości materiału na sicie, Rudy i Metale Nieżelazne Nr 5, 1965 r.

[20] Nawrocki J., Sobieszczański B.: Wpływ zawartości wilgoci na nadawie i obciążenia przesiewaczy na skuteczność przesiewania. Przegląd Górniczy 1965 r.

[21] Nawrocki J.: Obliczenie prędkości przesiewanego materiału dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo 13.

[22] Nawrocki J.: Zależność między siłami przęsiewania a przylegania w wilgotnym węglu, - Przegląd Górniczy 1965 r.

[23] Nawrocki J.: Przyczynek do określenia powierzchni przesiewaczy nożowo-płytkowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo Nr 13.

[24] Nawrocki J., Constantin D., Pakleza J.: Wpływ typu węgla na skuteczność przesiewania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo Nr 21.

[25] Nawrocki J.: Analityczno-empiryczne określenie prędkości materiału na sicie dla różnych przesiewaczy z uwzględnieniem wilgoci, ciężaru właściwego i grubości warstwy materiału. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo Nr 15.

[26] Nawrocki J.: Theoretical and Empirical Determination of the Speed of Progression of Material on the Screen and of Screening Efficiency, Fifth International Coal. Preparations Congress, Pittsburgh - October 1966 r.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ РЕШЁТ

Резюме

В настоящей работе, исходя из некоторых положений Детрыха, а также из более точного способа определения скорости продукта на решете, изложено эмпирический метод вычисления площади решёт.

IMPROVEMENT IN METHODS OF DETERMINING THE SEVES''AREA

Summary

In the paper on the ground of some DIETRICH's assumptions and on more exact ways of determining the speed of material's movement on the sieve, the empirical method of determining the area of sieves has been given.