

JERZY NAWROCKI

## EMPIRYCZNA METODA OKREŚLENIA POWIERZCHNI SIT

**Streszczenie:** W artykule podano sposób obliczenia powierzchni sit, uwzględniając prędkość materiału na sicie przesiewacza.

## 1. WSTĘP

Granulometryczna klasyfikacja jest procesem odgrywającym dużą rolę w produkcji przemysłowej. Przy przerobie minerałów, węgla, materiałów budowlanych oraz przy wytwarzaniu produktów chemicznych, artykułów spożywczych i wielu innych proces ten, szczególnie przesiewanie tj. mechaniczna klasyfikacja granulometryczna stanowi jeden z podstawowych zabiegów produkcyjnych.

Jednym z głównych problemów teoretycznych przesiewaczy jest sprawa doboru powierzchni sit, odpowiedniej do założonego efektu przesiewania.

Spośród szerzej znanych badań w tym zakresie można wymienić (w chronologicznym porządku) prace: Levensona, Michelin, Dietrycha [3] [4] [2].

Wymienione prace nie wyczerpują zagadnienia, a przeciwnie w pracach tych podkreśla się celowość prowadzenia dalszych badań, tak ze względu na konieczność dalszego sprecyzowania wpływu niektórych czynników, jak również ze względu na pewne trudności wynikające głównie z charakteru przerabianego materiału, a szczególnie ze względu na trudności ilościowego ustalenia parametrów określających jakość materiału przepływającego przez przesiewacz.

W niniejszej pracy postawiono za cel omówienie tych czynników, które odgrywają głównie rolę tak przy konstruowaniu przesiewaczy jak i projektowaniu zakładów przerobczych. Tyimi czynnikami są skuteczność przesiewania i grubość materiału przesiewanego na sicie. Z tego względu przedmiotem zainteresowań stała się idea opracowania metody określenia skutecznej powierzchni sit, na podstawie wyników doświadczeń

każdorzazowo prowadzonych dla materiałów będących przedmiotem określonego procesu.

Określenie przez autora dokładniejszego obliczenia prędkości materiału na sicie umożliwiło uwzględnienie tej prędkości w obliczeniu skutecznej powierzchni sit. Za główny czynnik w tej metodzie przyjęto czas przejścia średniego ziarna przez warstwę materiału i przez otwór sit. Średnie ziarno uważa się za typowego reprezentanta zbioru ziarn. Założono, że obserwacja ruchu ziarna ze zbioru ziarn znajdujących się w górnej części warstwy stanowi podstawę do oceny czasu przejścia wszystkich innych ziarn. Przyjęto uproszczenie, że prawdopodobny czas przejścia ziarn z różnych części warstwy jest nie większy jak prawdopodobny czas przejścia ziarn z wierzchniej części warstwy. Ze względu na konieczność uniknięcia błędów obliczeń przeprowadzonych w odwrotnym kierunku przyjęto, że różnica między czasami przejścia ziarn z części wierzchniej warstwy, a innymi będzie pomijana, czyli że przyjęto czas przejścia ziarn z górnej warstwy jako czas przejścia wszystkich ziarn.

Opierając się na wyżej przytoczonych założeniach proponuje się wzór o następującej postaci:

$$F = B \cdot V \cdot t \cdot K \cdot Z$$

1

gdzie:

F - powierzchnia sita, m<sup>2</sup>

B - szerokość sita, m

V - prędkość materiału na sicie, m/sek

t - czas przejścia ziarn przez warstwę o określonej grubości, sek.

K - współczynnik wpływu klasy górnej

Z - współczynnik wpływu składu granulometrycznego i kształtu ziarn.

## 2. SPOSÓB PROWADZENIA POMIARÓW

Miejsce pomiaru - kopalnia "Rozbark", przesiewacz rezonansowy. Pomiaru zostały dokonane na przesiewaczu o otworach 10, 18, 30, 50, 80 mm. Grubość materiału na przesiewaczu zmienna, 80, 100, 120, 140, 160 mm. Przy każdym pomiarze pewną ilość ziarn średnich znaczone pyłem kamiennym i mierzone czas przejścia tych ziarn przez warstwę.

## 3. WYNIKI POMIARÓW I WNIOSKI

W tablicy 1 zestawiono wyniki pomiarów.

Tablica 1

Średni czas przejścia ziarn w zależności od grubości warstwy i wielkości otworu sita

$\theta$ mm	10					18				
H mm	80	100	120	140	160	80	100	120	140	160
t sek	8,8	11,0	12,6	15,9	18,4	7,3	9,2	10,8	13,4	16,5

$\theta$ mm	30					50				
H mm	80	100	120	140	160	80	100	120	140	160
t sek	5,8	6,8	8	9,5	11,2	4,8	5,6	6,4	7,8	9

$\theta$ mm	80				
H mm	80	100	120	140	160
t sek	4,1	5,3	5,8	7	8,3

Interesujące jest analityczne określenie zależności między czasem przejścia ziarn przez warstwę, a grubością warstwy. Wstępne rozważania teoretyczne wskazują że krzywa ta jest funkcją wykładniczą

$$y = a e^x \quad (2)$$

Przy czym "a" jest pewną wielkością zależną od warunków przesiewania i jak bliższa analiza wykazała, od wielkości otworu sita. Ze względu na fizyczny sens w naszym przypadku y oznacza czas

$$y = t$$

$$a = t_0$$

Wielkość X nietrudno uzasadnić; w interpretacji tego współczynnika zależnego od grubości warstwy przyjmuje się następujące założenia upraszczające:

$$X = V.H \quad (3)$$

Przy tych założeniach wzór określający związek między czasem przejścia ziarna przez warstwę a grubością warstwy ma postać:

$$t = t_0 e^{V.H} \quad (4)$$

Współczynniki  $t_0$  i  $V$  mogą być określone zależnie od wielkości otworu sita, jako dodatkowego czynnika wpływającego na prędkość ruchu ziarna kwalifikującego się do przejścia przez otwór. Dla określenia współczynników posługujemy się wykresami w siatce półlogarytmicznej, w której na osi rzędnych oznacza się logarytm czasu przejścia ziarna ( $\log t$ ) a na osi odciętych grubość warstwy materiału ( $H$ )

$$\log t = \log t_0 + 0,434 V.H \quad (5)$$

Punkty doświadczalne pokrywają się z wykresem funkcji (4) co świadczy o jej właściwym doborze.

Początkiem układu siatki półlogarytmicznej jest punkt o współrzędnych  $H = 0, t = 1$ . Podstawiając do wzoru (4) wartość  $H=0$ , otrzymamy  $t = t_0$ . Współczynnik  $t_0$  określamy graficznie ekstrapolując prostą na rys. 1. do przecięcia się z osią rzędnych.

Współczynnik  $V$  obliczymy wybierając dwie pary wartości  $H$  i  $t$  ( $H_1, t_1; H_2, t_2$ ). Podstawiając współrzędne wybranych punktów do równania (5) otrzyma się

$$\log t_1 = \lg t_0 + 0,4343 V \cdot H_1$$

$$\log t_2 = \lg t_0 + 0,4343 V \cdot H_2$$

Odejmując stronami równanie pierwsze od drugiego znajdziemy

$$V = 2,3026 \frac{\lg t_2 - \lg t_1}{H_2 - H_1}$$

Wartości  $V$  i  $t_0$  podano w tabelicy 2.

Tabela 2

Współczynniki  $V$  i  $t_0$  w zależności od  $\theta$

$\theta$	10	18	30	50	80
$V$	0,1	0,11	0,09	0,08	0,075
$t_0$	4	3,2	3	2,7	2,4

Obliczony czas wg podanego wzoru (4) i parametrów zawarty jest w tabelicy 3.

#### 4. OBLICZENIE WSPÓŁCZYNNIKA $K$

Na sicie o otworach 10 mm i jednakowej grubości warstwy materiału mierzono czas przejścia ziarn w zależności od różnego wychodu klasy górnej. Pomiary przeprowadzono przy różnych wychodach klasy górnej, która przy poszczególnych pomiarach stanowiła 0, 20, 40, 60, 80%.

Wyniki pomiarów podaje tabela 4 i rys.2.

Tablica 3

Pomierzony i obliczony czas przejścia ziarn w zależności od grubości warstwy i wielkości otworu sita

$\theta$ mm	10					18				
H mm	80	100	120	140	160	80	100	120	140	160
t <sub>pom</sub> sek	8,8	11,0	12,6	15,9	18,4	7,3	9,2	10,8	13,4	16,5
t <sub>obl</sub> sek	8,88	10,8	13,2	16,2	19,8	7,6	9,6	11,7	14,0	17,2
$\Delta t$	+0,08	-0,2	+0,6	+0,3	+1,4	+0,3	+0,4	+0,9	+0,6	+0,7

$\theta$ mm	30					50				
H mm	80	100	120	140	160	80	100	120	140	160
t <sub>pom</sub> sek	5,8	6,8	8	9,5	11,2	4,8	5,6	6,4	7,6	9
t <sub>obl</sub> sek	6,0	7,4	8,1	9,9	12	4,86	5,9	6,7	8,1	9,4
$\Delta t$	+0,2	+0,6	+0,1	+0,4	+0,8	+0,06	+0,3	+0,3	+0,3	+0,4

$\theta$ mm	80				
H mm	80	100	120	140	160
t <sub>pom</sub> sek	4,1	5,3	5,8	7	8,3
t <sub>obl</sub> sek	4,3	5,0	5,7	6,5	7,9
$\Delta t$	+0,2	-0,3	-0,1	-0,5	-0,4

Tablica 4

Czas przejścia ziarn w zależności od  $W_1$ 

$W_1, \%$	0	20	40	60	80
$t_{\text{śr}}, \text{sec}$	3,3	4,8	7,3	10,5	15,2

Tablica 5 została sporządzona w ten sposób, że na osi rzędnych rysunku 2 odnotowano względne wartości  $K$  przy każdorazowo przeliczonej skali (w przyjęciu  $K = 1$  dla odpowiednich  $t$ : 5; 5,8; 6,5; 7).

Poszczególne wartości współczynnika  $K$  w zależności od wychodu klasy górnej  $W_1$  podaje tablica 5.

## 5. OBLICZENIE WSPÓŁCZYNNIKA $Z$

Skuteczność przesiewania jest zależna od składu granulometrycznego przesiewanego materiału oraz kształtu ziarna. Kształt krzywej granulometrycznej określa łatwość lub trudność przesiewania w zależności od danego otworu sita. Na przykład wg rysunku 3 przesiewanie na sicie o otworze  $\theta_1$  jest łatwiejsze niż o otworze  $\theta_2$ , gdyż w pierwszym przypadku pochyłość krzywej jest mniejsza niż w drugim. Można przyjąć, że im mniejsze jest nachylenie stycznej, odpowiadającej oczku  $\theta$ , tym przesiewanie będzie łatwiejsze i odwrotnie.

Wartość  $Z$  jest funkcją  $\lambda$ , różnicy wychodu ziarn, wynikającej pomiędzy krzywą granulometryczną a krzywą zredukowaną rys.4. W ten sposób uwzględniono kształt ziarn jak również ilość ziarn trudnych.

Doświadczenie przeprowadzono z materiałem w skład którego wchodziło 5, 10, 20 i 100% ziarn trudnych. Do ziarn trudnych zaliczono te, których wymiar znajduje się w granicach - otwór sita pomniejszony o 20% $\theta$ , dla klasy powyżej 10 mm, natomiast dla klasy poniżej 10 mm otwór sita pomniejszamy o 50% $\theta$ . Materiał w ten sposób przygotowany przesiewamo, a wyniki ilości otrzymanego podziarna podano w tablicy 6 i rys.5.

Tablica 5

## Wartości współczynnika K

$W_1, \%$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
K 10 mm	0,68	0,73	0,79	0,85	0,9	0,94	1,0	1,05	1,1	1,15	1,19	1,25	1,3	1,35	1,44	1,5	1,6
K 18 mm	0,75	0,79	0,84	0,89	0,94	1,0	1,05	1,1	1,15	1,17	1,20	1,25	1,31	1,4	1,45	1,54	1,62
K 30 mm	0,78	0,83	0,89	0,95	1,0	1,04	1,08	1,1	1,15	1,19	1,25	1,29	1,33	1,4	1,48	1,58	1,72
K 50 mm	0,9	0,95	1,0	1,03	1,05	1,07	1,1	1,14	1,2	1,25	1,29	1,34	1,4	1,45	1,55	1,62	1,7
K 80 mm	0,9	0,95	1,0	1,03	1,05	1,07	1,1	1,14	1,2	1,25	1,29	1,34	1,4	1,45	1,55	1,62	1,7



Tablica 6

Ilość podziarna  $\varphi$  w zależności od  $W_t$ 

$W_t$ %	5	10	20	100
$\varphi$ %	3,5	6,1	11,1	39

 $\varphi$  - ilość podziarna, % $W_t$  - ilość ziarn trudnych, %

Wartość współczynnika  $Z$  w zależności od  $\lambda$  podaje tablica 7.

Dla warunków, w których przeprowadzono doświadczenia dla określenia wartości  $V$ ,  $t$  oraz  $K$  przyjęto  $z = 1$ . W pracy przyjęto, że zmiana  $\lambda$  powoduje zmianę wielkości współczynnika  $Z = f(\lambda)$ . Związek pomiędzy  $W_t$  i  $\varphi$  oraz  $\lambda$  i  $Z$  można wyrazić przy pomocy wzorów

$$\varphi = W_t^a$$

$$z = \lambda^b$$

Tablica 7 została sporządzona w ten sposób, że na osi rzędnych wykresu 5 odczytano względne wartości  $Z$  przy każdorazowo przeliczonej skali po przyjęciu  $Z = 1$  dla odpowiednich  $\varphi(4; 4,5; 5)$ .

## 6. METODA OBLICZANIA POWIERZCHNI SITA

Przy obliczaniu powierzchni sita należy

- Przyjąć jako dane; skład granulometryczny, parametry przesiewania i graniczne wartości  $C$ .
- Obliczyć wielkości:  $V$ ,  $H$ ,  $W_1$
- Obliczyć  $t$  za pomocą wzoru 4.
- Kierując się wielkościami  $W_1$  określić z tablicy 5 wartość  $K$ .
- Kierując się wielkościami  $\lambda$  określić z tablicy 7 wartości  $Z$ .
- Obliczyć powierzchnie sita  $F$  za pomocą wzoru 1.

Tablica 7

Wartości współczynnika Z

$\lambda \%$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Z_{10}$	0,7	0,73	0,79	0,84	0,9	0,95	1	1,04	1,1	1,11
$Z_{18}$	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,13	1,19
$Z_{18}$	0,77	0,82	0,88	0,93	1	1,04	1,1	1,11	1,18	1,21

$\lambda \%$	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Z_{10}$	1,18	1,21	1,28	1,3	1,35	1,44	1,44	1,5	1,5
$Z_{18}$	1,2	1,25	1,31	1,36	1,4	1,45	1,5	1,53	1,54
$Z_{18}$	1,28	1,3	1,37	1,4	1,45	1,5	1,55	1,58	1,6

## 7. PORÓWNANIE WYNIKÓW OBLICZEŃ PRZEPROWADZONYCH ROŻNYMI METODAMI

Dla porównania przeprowadzono obliczenia powierzchni przesiewaczy przy tych samych parametrach, następującymi metodami:

- a) Chalmersa
- b) Dietrycha
- c) Francuską
- d) Lewensona

Wyniki obliczeń podane są w tablicy 8.

Tablica 8  
Obliczone powierzchnie  $F$ ,  $m^2$

Metoda $\varnothing$ mm	$F$ $m^2$				
	Chalmersa	Dietrycha	Francuska	Lewensona	Auto- ra
13	13,4	11,0	5,7	12,0	10,95
50	5,45	4,4	3,5	3,2	4,7
80	2,4	3,1	2,6	1,1	3,38

## 8. WNIOSKI KOŃCOWE

Wyżej opisana metoda obliczenia powierzchni sit uwzględnia prawie wszystkie czynniki procesu przesiewania dające się w sposób jednoznaczny określić i mające na wynik tego procesu bezpośredni wpływ. Powierzchnia sita w opisanej metodzie jest traktowana jako funkcja szeregu czynników.

$$F = f(B V t K Z)$$

Opracowana metoda spełnia następujące warunki:

- 1) jest operatywna i łatwo dostępna,
- 2) nie pozostawia żadnych dowolności w doborze współczynników czyli jest jednoznaczna,
- 3) jest doświadczalnie sprawdzalna.

## LITERATURA

- [1] "Allis - Chalmers" - Katalog
- [2] Dietrych J. - "Teoria i budowa przesiewaczy"
- [3] L.H. Lewenson - "Drobnienie i grochoczenie poleznych iskopajemych"
- [4] F.Michelin - "Teoria wydajności przesiewaczy". Revue de L'Industrie Minérale. Paryż 1945.
- [5] Revue de l'Industrie Minérale. Numero Special 15 Decembre 1958, str.76.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПЛОЩАДКИ СИТ

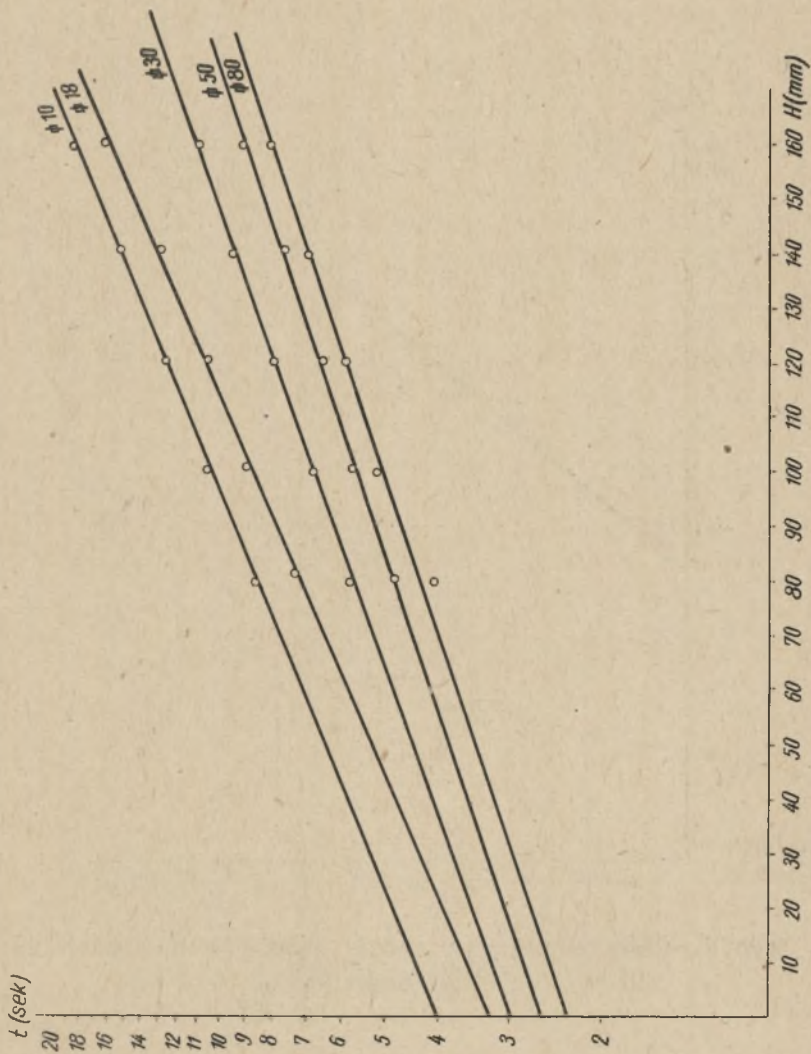
## С о д е р ж а н и е

В статье показано метод вычисления площадки сит, имея в виду скорость частиц на сите.

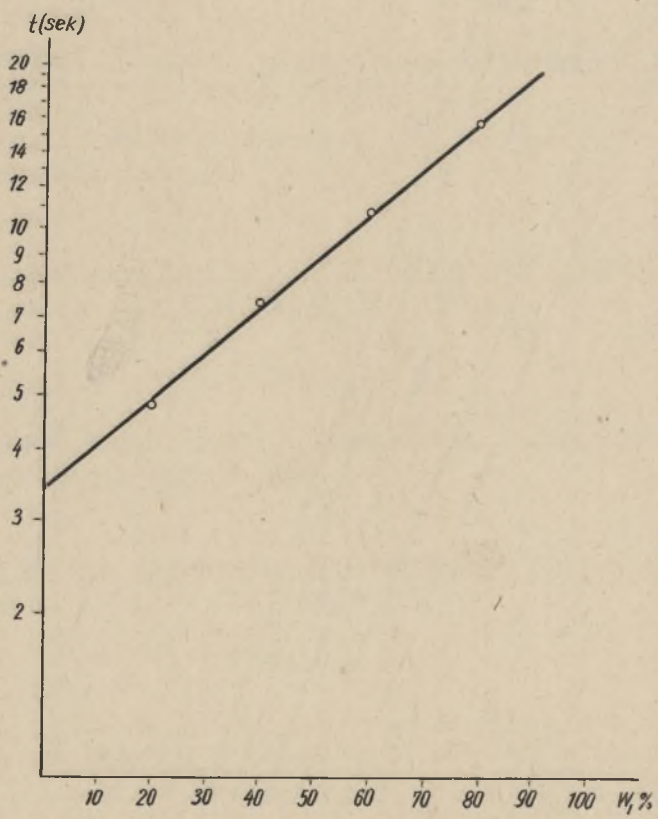
LA MÉTHODE EMPIRIQUE DE DEFINIR LES SURFACES  
DES CRIBLES

## R é s u m é

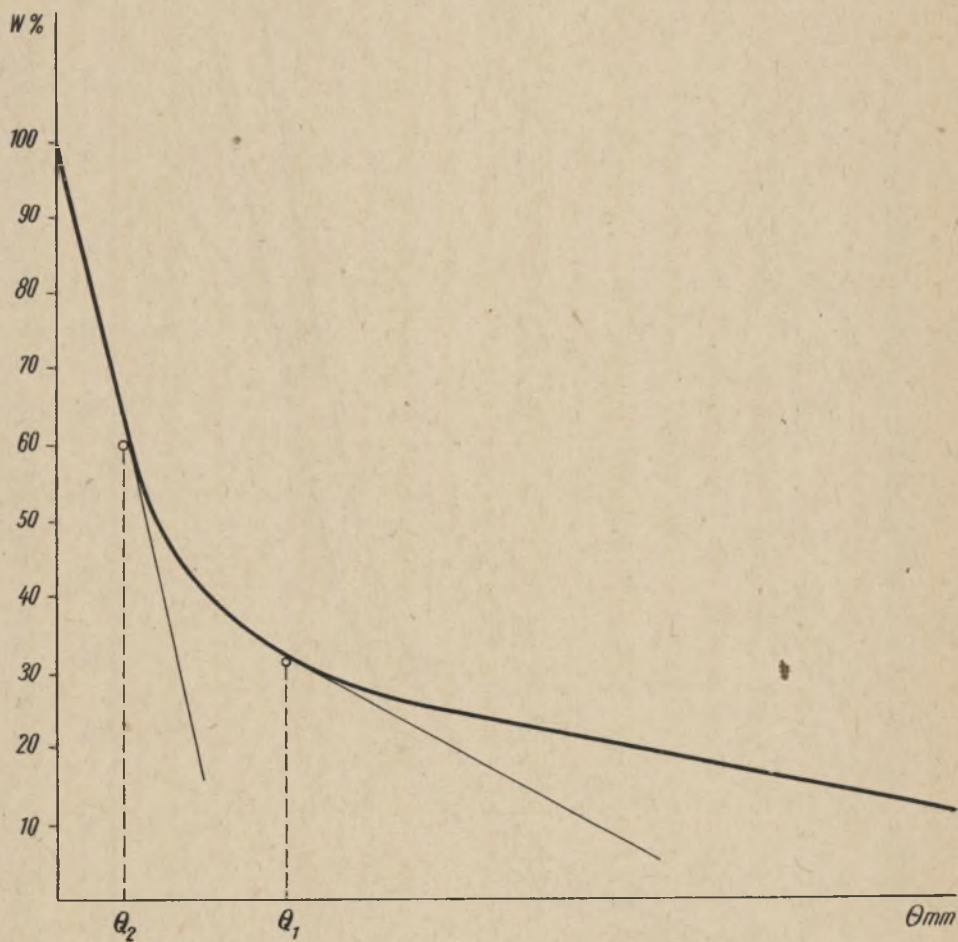
Dans cet article on a donné le moyen de calculer les surfaces des cribles en ayant regard à la vitesse du materiel sur le crible.



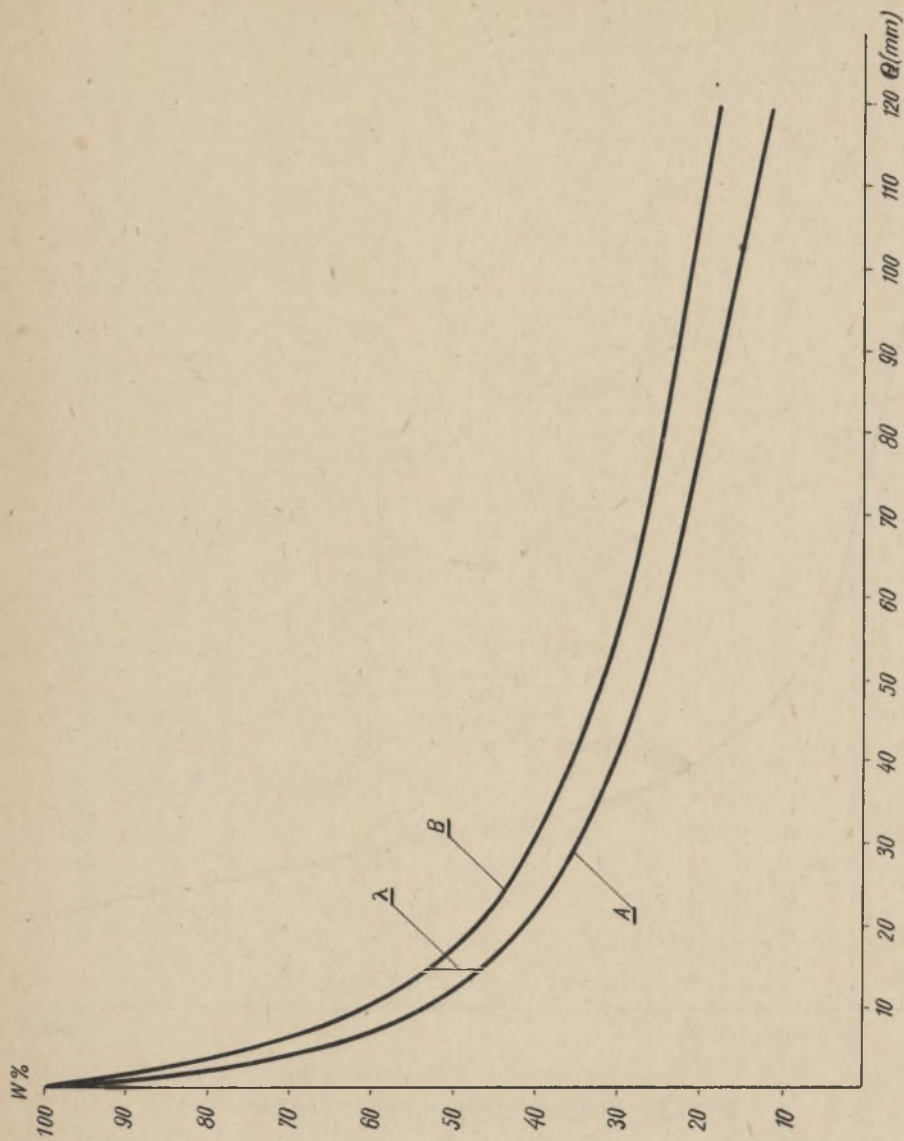
Rys.1. Czas przejścia ziarn w zależności od grubości warstwy materiału



Rys.2. Czas przejścia ziarn w zależności od klasy górnej  $W_1$

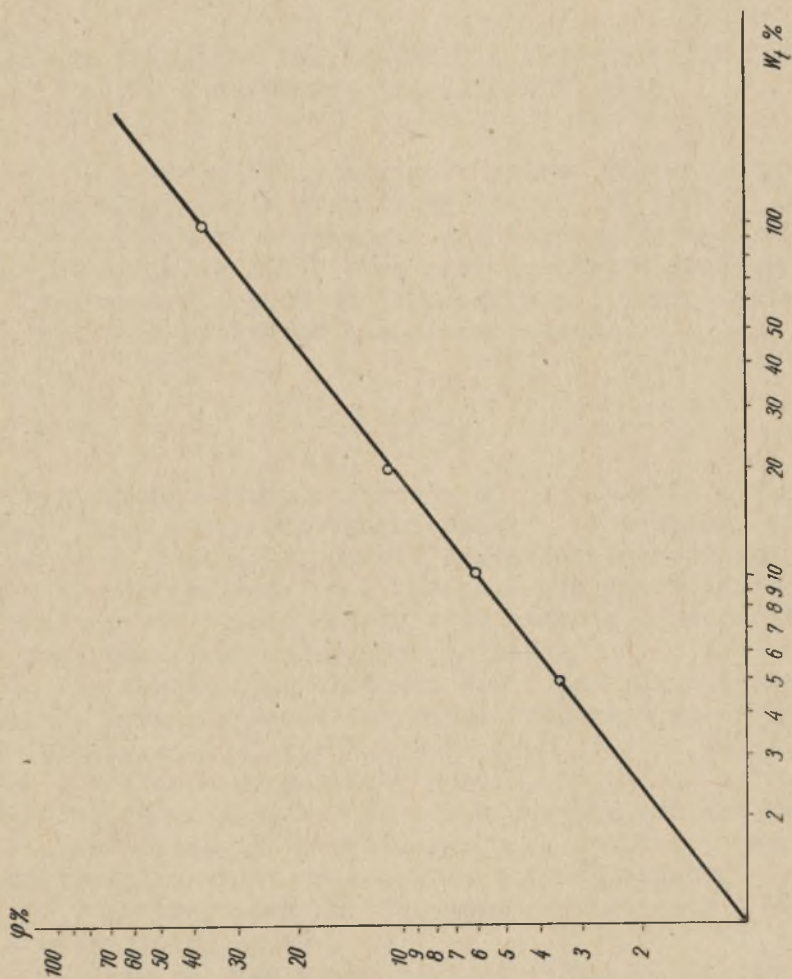


Rys.3. Krzywa granulometryczna



Rys.4. A - Krzywa granulometryczna, B - Krzywa zredukowana





Rys.5. Ilość podziarna  $\varphi$  % w zależności od ziarn trudnych  $W_t$