

JERZY NAWROCKI

Katedra Przeróbki Mechanicznej

Kopalin

UWAGI DO OBLICZEŃ WYDAJNOŚCI PRZESIEWACZY  
RUSZTOWYCH, WAHADŁOWYCH, REZONANSOWYCH I WIBRACYJNYCH

Streszczenie. W artykule omówiono prędkości materiału na przesiewaczach rusztowych, wahadłowych, rezonansowych i wibracyjnych. Podano wzory i współczynniki, które należy uwzględnić przy obliczeniach.

## 1. WSTĘP

Znajomość prędkości materiału na sicie przesiewacza, potrzebna jest głównie do określenia:

a) największej grubości warstwy materiału

$$h_1 = \frac{Q}{3600 VB\gamma} \quad (1)$$

Q - wydajność przesiewaczy (t/h),

V - prędkość materiału (m/sek),

B - szerokość rzeszota (m),

$\gamma$  - ciężar usypowy materiału (t/m<sup>3</sup>),

$h_1$  - grubość warstwy materiału (m).

Jeżeli udział przesiewalnych ziarn na określonym sicie przez siewacza wynosi  $W_0$ , to wychodząc z powyższego założenia ilość materiału dla danego przesiewacza oblicza się wzorem

$$K_m = \frac{n_1 (2 - W_0) B L \rho}{2} \quad (2)$$

L - długość sita w metrach,  
 $K_m$  - ciężar materiału na sicie (ton).

c) powierzchni przesiewaczy (4)

$$F = B \cdot V \cdot t \cdot K \cdot Z, \quad (3)$$

B - szerokość rzeszota (m),  
 V - prędkość materiału (m/sek),  
 t - czas przejścia ziarn przez warstwy o określonej grubości,  
 K - współczynnik wpływu klasy górnej,  
 Z - współczynnik wpływu ziarn trudnych,  
 F - powierzchnia ( $m^2$ ).

d) wydajności przesiewaczy

$$Q = 3600 B V h \rho \quad (4)$$

oznaczenia jak w punkcie a).

Ze względu na to, że prędkość materiału na przesiewaczu odgrywa dużą rolę, podano w tej pracy metodę obliczeń oraz współczynniki (różne od jedności) określone na podstawie większej liczby przeprowadzonych doświadczeń. Badania zostały przeprowadzone dla przesiewaczy wg podziału opartego na zasadach mechaniki przesiewaczy.

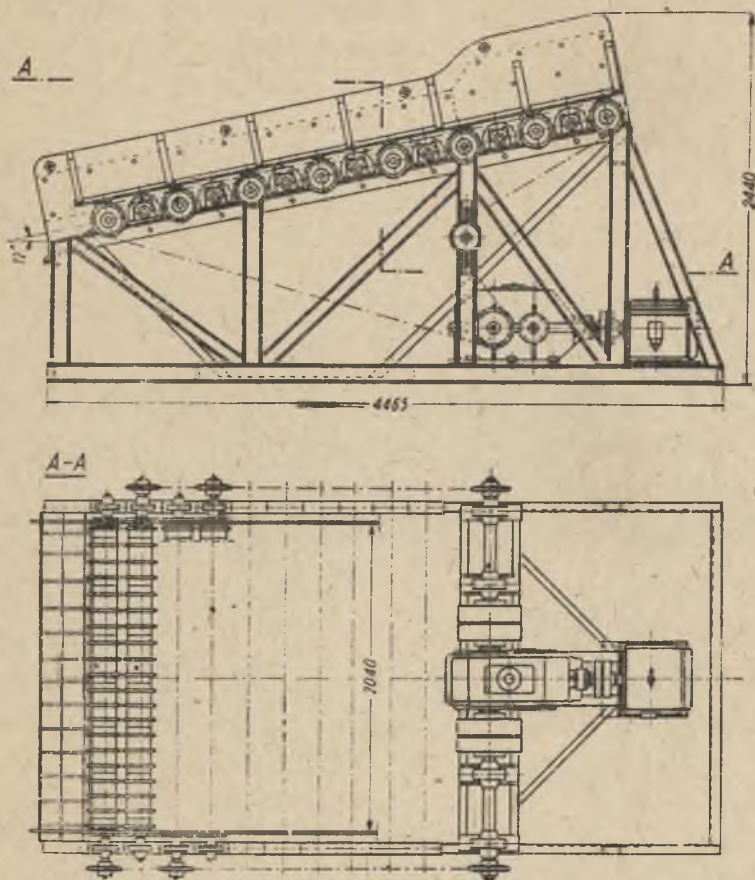
## 2. PRZESIEWACZE RUSZTOWE

Budowa przesiewaczy rusztowych rozwinęła się wskutek potrzeb przesiewania materiału gruboziarnistego. Wiąże się to z dużą wytrzymałością tego typu przesiewaczy. Rozwiązań konstrukcyjnych przesiewaczy rusztowych jest bardzo dużo. W obecnym czasie można zauważyć stosowanie dwóch typów przesiewaczy rusztowych, a mianowicie:

wałkowe - Distl-Susky

kaskadowe - Seltnera.

Przesiewacze Distl-Susky rys. 1 mają na wale kołnierze w formie trójkątów o wypukłych bokach. Na rys. 2 pokazano przekroje kołnierzy wałków. Kształt trójkąta sferycznego pozwala na za-



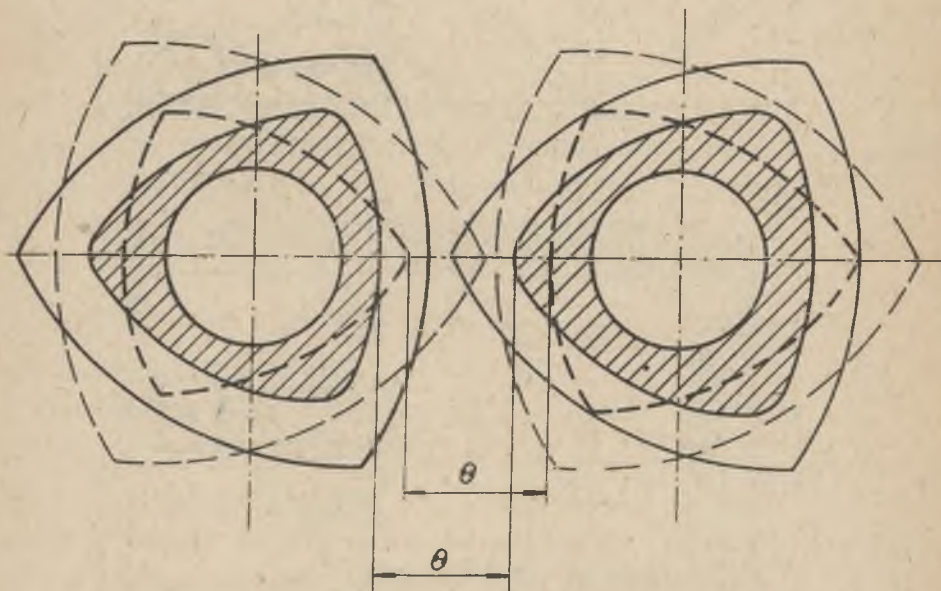
Rys. 1. Przesiewacz wałkowy o kołnierzach trójkątnych

chowanie warunku stałości wymiarów otworu niezależnie od kąta obrotu wałka. Poszczególne wałki napędzane są łańcuchem Galla. Przesiewacze Seltnera rys. 3 składają się z dwóch zespołów rusztownic nieruchomych i ruchomych. Rusztowniny każdego z tych systemów są umocowane w ramach w ten sposób, że między każde dwie rusztowniny jednego systemu wchodzi rusztownina systemu drugiego. Rusztowniny ruchome osadzone są w ramie poruszającej się ruchem posuwistym wywołanym napędem korbowym. Masa rusztu ruchomego jest częściowo zrównoważona przeciwciężarami, umieszczonymi na dźwigach wahadłowych.



Prędkość materiału na przesiewaczach rusztowych wynosi:

$$v = \frac{1 \ t \ n}{60} \quad (5)$$



Rys. 2. Kołnierze trójkątne

Wzór (5) uzupełniono współczynnikiem sprawności posuwu oraz kątem nachylenia przesiewaczy

$$v = \frac{1 \ t \ n}{60 \ \cos \beta} \ \eta \quad (6)$$

t - odległość między rusztowinami (m),  
n - ilość obrotów ( $\text{min}^{-1}$ ).

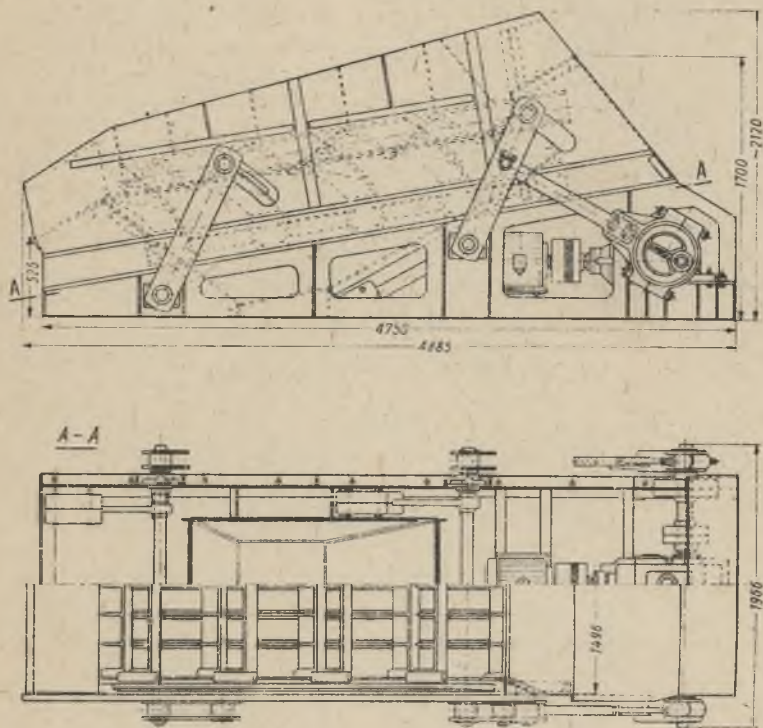
$i$  - ilość rusztowin ruchomych, nad którymi przechodzi ziarno w czasie jednego obrotu i tak dla

Distl-Susky  $i = 3$

Seltnera  $i = 1$

$\beta$  - kąt nachylenia przesiewacza,

$\gamma$  - sprawność posuwu materiału na sicie przesiewacza.



Rys. 3. Przesiewacz kaskadowy BKMG

Współczynnik  $\gamma$  obliczono przez porównanie prędkości obliczonej wzorem  $V = \frac{t i n}{60 \cos \beta}$ , z prędkością pomierzoną. Pomiary przeprowadzono na kopalniach Gliwice, Makoszowy, Rozbark i Szombierki.

Przesiewacz rusztowy Distl-Susky:

Dla określenia prędkości materiału na przesiewaczu, mierzono czas przebycia materiału na określonej długości przesiewa-

cza. Średni czas przebywania ziarn na sicie  $x$ , drogą ziarna  $y$ , prędkość pomierzoną  $V_p$  i prędkość obliczoną  $V_{ob}$  podano w tablicy 1.

$$\eta = \frac{V_p}{V_{ob}}$$

Tablica 1

Wielkości  $x$ ,  $y$ ,  $V_p$ ,  $V_{ob}$  dla Distl-Susky

Kopalnia	$x$ sek	$y$ m	$V_o$ m/sek	$V_{ob}$ m/sek	$\eta$
Gliwice	15,9	3,6	0,225	0,53	0,43
Makoszowy	8,48	2,0	0,23	0,61	0,38
Rozbark	6,8	1,7	0,25	0,57	0,43

Średnia wartość współczynnika posuwu materiału na sicie przesiewacza wynosi:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{1,24}{3} = 0,413$$

Standardowe odchylenie populacji ma wartość:

$$s = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,001651}{2}} = 0,029$$

Przy współczynniku przewidywania 0,95, następną obserwacja  $y$  będzie leżała w granicach  $\bar{x} \pm a \cdot s$ , gdzie  $a = 5$ , a więc:

$$\bar{x} - a \cdot s < y < \bar{x} + a \cdot s$$

$$0,268 < y < 0,558$$



Współczynnik sprawności posuwu dla przesiewaczy rusztowych Distl-Susky wynosi 0,413.

Przesiewacz rusztowy Seltnera

Wyniki przeprowadzonych pomiarów i obliczeń podano w tabl.2.

Tablica 2  
Wielkości  $x$ ,  $y$ ,  $V_p$ ,  $V_{ob}$  dla Seltner

Kopalnia	$x$ sek	$y$ m	$V_p$ m/sek	$V_{ob}$ m/sek	$\eta$
Makoszowy	8,3	2,0	0,24	0,37	0,65
Szombierki I	10,0	2,7	0,27	0,4	0,67
Szombierki II	9,7	2,7	0,276	0,4	0,69

Średnia wartość współczynnika posuwu materiału na sicie przesiewacza wynosi:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{2,01}{3} = 0,67$$

Standardowe odchylenie populacji ma wartość:

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,008}{2}} = 0,02$$

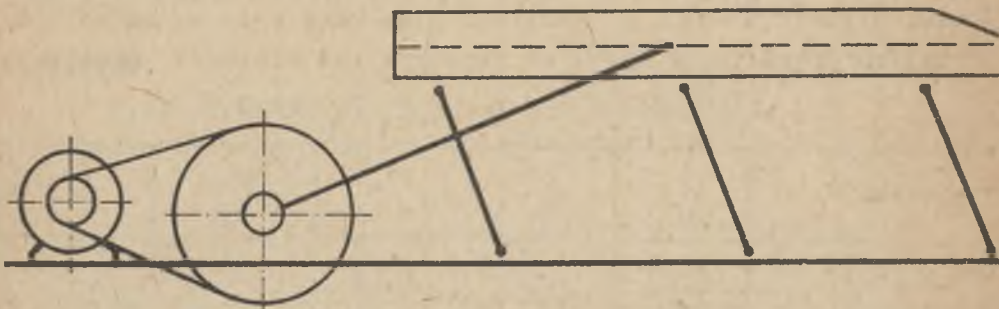
Przy współczynniku przewidywania 0,95 następną obserwacja  $y$  będzie leżała w granicach  $\bar{x} \pm a \cdot s$ , gdzie  $a = 5$

$$0,57 < y < 0,77$$

Współczynnik sprawności posuwu dla przesiewaczy rusztowych Seltnera wynosi 0,67.

## 3. PRZESIEWACZE WAHADŁOWE

Podstawowy układ przesiewacza wahadłowego przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przesiewacz wahadłowy

Mechanizm mimośrodowy o promieniu  $r$  porusza rzeszoto za pośrednictwem łącznika mimośrodowego. Promień mimośrodu  $r$  jest mały w stosunku do długości łącznika. Dzięki temu ruch rzeszota w przybliżeniu można uznać za harmoniczny i określić go wzorami

$$s = s_0 \sin \omega t$$

$$V = s_0 \omega \cos \omega t$$

$$a = -s_0 \omega^2 \sin \omega t$$

gdzie:

$s_0$  - amplituda wahań sita

$s$  - wychylenie sita

$V$  - prędkość sita

$a$  - przyspieszenie sita

$\omega$  - prędkość kątowna wahania sita

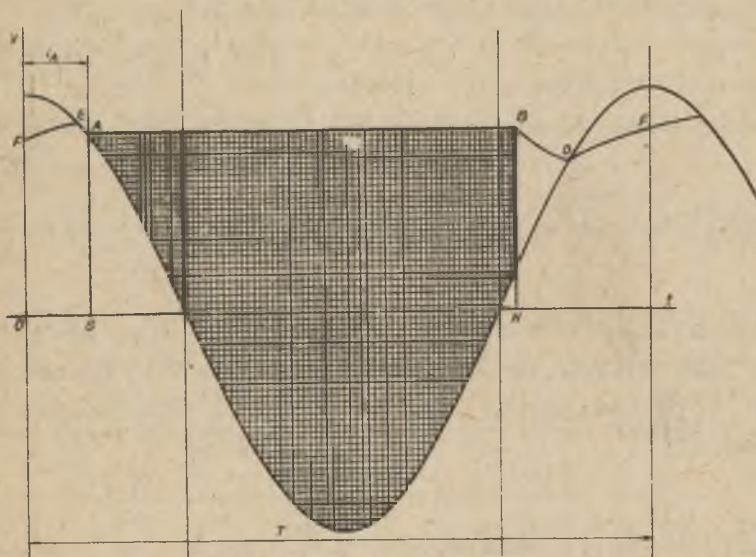
$t$  - czas wahania sita.

Cechą pracy nowoczesnych przesiewaczy jest ruch z podrzutem, który określa wskaźnik podrzutu  $u$ .

$$u = \frac{s_0 \cdot \omega^2}{g} \cdot \frac{\sin f}{\cos \beta} \quad (7)$$



Ruch materiału z podrzutem jest złożony, obok bowiem podrzutu występuje również poślizg materiału na sicie, przy czym chwila poślizgu zachodzi przed chwilą podrzutu. Również po powrocie materiału na sito występuje poślizg wskutek prędkości materiału, który wynika ze swobodnego spadku w czasie lotu nad sitem. Rysunek 5 opisuje zjawisko ruchu materiału na sicie. Oś odciętych przedstawia czas, oś rzędnych zaś wielkość poziomej



Rys. 5. Prędkość materiału na sicie przy ruchu z podrzutem

składowej prędkości ziarna. Po uruchomieniu przesiewacza z materiałem na sicie w pierwszym okresie może się tak zdarzyć, że w chwili podrzutu prędkość materiału jest równa prędkości sita. Jednak po upływie stosunkowo krótkiego czasu i ustaleniu się warunków ruchu materiału wykres prędkości przedstawia się w formie linii F E A B D F. Poziomy odcinek A B przedstawia zarówno długość czasu lotu tj. podrzutu materiału, jak też wielkość składowej prędkości. Zgodnie z prawem swobodnego ruchu ciała składowa pozioma dla tego okresu jest stała. Po powrocie materiału na sito występuje poślizg. Pod wpływem tarcia

następuje zmiana składowej prędkości. Do czasu, w którym składowa prędkości materiału jest większa od składowej prędkości siła, przedstawionej na rys. 5 kosinusoidą, prędkość materiału maleje. Składowa prędkości przedstawiona jest dla tego okresu linią B D. Wobec tego, że po upływie tego okresu prędkość siła jest większa od prędkości materiału, prędkość materiału rośnie - linia D F E. W punkcie E prędkości materiału oraz siła są równe i poślizg ustaje.

Wzór na prędkość materiału został opracowany przy założeniach podanych poprzednio oraz na podstawie analizy ziarna wobec rzeszota. Całkując pole zawarte (rys. 5) między A B, a kosinusoidą otrzymujemy wzór na średnią prędkość materiału

$$v_{sr} = \frac{g}{\omega} \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma} \sqrt{\frac{u-1}{2} \cdot (u^2-1) + S_0 \cos \gamma} \frac{\omega}{2\pi} \left[ \frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right] \quad (8)$$

Kąt obrotu mimośrodowo w czasie podrzutu (czas ten na rys. 5 określony jest odcinkiem GH) oznaczono przez  $\tau$ . Równanie kąta obrotu  $\tau$  odpowiadającego czasowi podrzutu przedstawia się następująco: [2]

$$\frac{\tau^2}{2} \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \right) - \tau \sqrt{u^2-1} \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \sin \tau \sqrt{u^2-1} \cos \tau - 1 = 0 \quad (9)$$

Określenie wartości  $\tau$  na podstawie równania 9 jest uciążliwe dlatego wprowadzono przybliżony wzór na wartość

$$\tau = \pi \sqrt{2(u-1)} \quad (10)$$

Przy pominięciu wartości  $\sin(\omega t_A + \tau)$ , co w większości przypadków jest dopuszczalne otrzymujemy uproszczoną postać wzoru 8

$$v_{sr} = \frac{g}{\omega} \frac{1}{\sin \gamma} \left[ \cos \alpha \sqrt{\frac{u-1}{2} (u^2-1) + \frac{\cos \beta \cos \gamma}{2\pi}} \right] \quad (11)$$

Dla obliczeń projektowych po rozpatrzeniu wyników obliczeń proponuje się wzór

$$V_{\text{śr}} = 1,4 \cdot (u-1) \frac{g}{w} \operatorname{ctg} \alpha \quad (12)$$

$\alpha$  - kąt pochylenia wahaczy,

$\beta$  - kąt pochylenia sita.

Wyniki obliczeń i pomiarów przedstawione są w tabelicy 3.

$V_1$  - przedstawia wyniki wg wzoru 12

$V_2$  - przedstawia wyniki wg wzoru 11

$V_3$  - przedstawia wyniki wg wzoru 8

$V_4$  - przedstawia wyniki pomierzone.

Tablica 3

Wyniki pomiarów

Lp.	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$
1	0,51	0,43	0,46	0,48
2	0,45	0,34	0,45	0,46
3	0,27	0,25	0,28	0,31
4	0,63	0,55	0,64	0,64
5	0,45	0,52	0,56	0,57
6	0,32	0,2	0,23	0,25
7	0,36	0,34	0,48	0,43
8	0,26	0,25	0,26	0,31
9	0,42	0,35	0,42	0,44

Porównanie wartości liczbowych wskazuje na największą dokładność wzoru 8.

Powyższe obliczenia odnoszą się też do przesiewaczy rezonansowych.



#### 4. BADANIA WPŁYWU GRUBOŚCI WARSTWY MATERIAŁU NA WIELKOŚĆ PRĘDKOŚCI

Celem zbadania wpływu grubości warstwy materiału na wielkość prędkości dla przesiewaczy wahadłowych dokonano pomiaru prędkości materiału przy różnej grubości warstwy. Grubość warstwy materiału 1,5 $\theta$  przyjęto jako 100%, a następnie powiększono ją o 20%, mierząc każdorazowo prędkość materiału. Jak wynika z wartości podanych w tablicy 4 prędkość materiału maleje w miarę wzrastania grubości warstwy. Współczynnik  $\lambda$  jest wartością korygującą prędkość obliczoną wzorem 8 przy grubości warstwy materiału większej od 1,5 $\theta$ . Należy jednak przy analizie tych wyników zwrócić uwagę na to, że technika pomiarów oparta była głównie na obserwacji ziarn, które znajdują się w górnej części warstwy. Z punktu widzenia teoretycznego trzeba wziąć pod uwagę różne prędkości materiału z różnej grubości warstwy. Można jednak sądzić, że różnice te nie wpływają w zasadniczy sposób na obraz wpływu grubości warstw określonych w zdaniach poprzednich.

Tablica 4

Wartość  $\lambda$  w zależności od grubości warstwy materiału h

h %	20	40	60	80	200	220	240
$\lambda$	0,91	0,78	0,65	0,54	0,46	0,40	0,35

Zależności podane w tablicy 4 wskazują na funkcję wykładniczą następującej postaci:

$$\lambda = e^{-0,005 h} \quad (13)$$

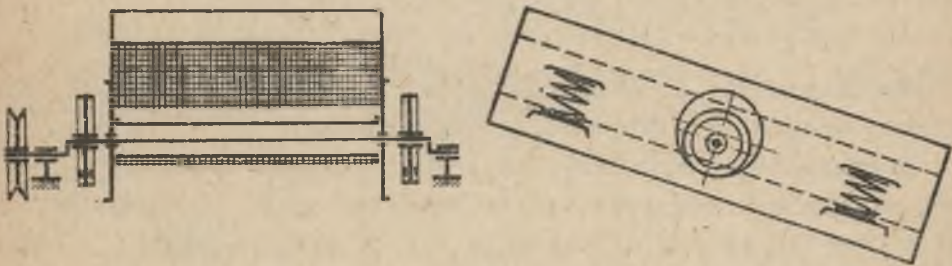
gdzie h [%] oznacza powiększoną grubość warstwy materiału. Dla h = 0 tzn. dla normalnej grubości warstwy materiału  $\lambda = 1$ .

Uwzględniając wpływ grubości warstwy materiału (współczynnik  $\lambda$ ); średnia prędkość materiału na sicie przesiewacza ma postać

$$v_{\text{śr.}} = \left\{ \frac{g}{\omega} \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \gamma} \sqrt{\frac{u-1}{2}(u^2-1)} + S_0 \cos \gamma \frac{\omega}{2\pi} \right. \\ \left. \left[ \frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + t) \right] \right\} e^{-0,005 h} \quad (14)$$

### 5. PRZESIEWACZE WIBRACYJNE

Przesiewacze szybko drgające charakteryzuje znaczna częstość kątowna. Z tą dużą częstością wiąże się stosunkowo mała amplituda. Podstawowy układ obecnie budowanych przesiewaczy przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Przesiewacz wibracyjny

Wał mimośrodkowy osadzony jest w dwóch łożyskach przymocowanych do ramy, Na tej samej ramie osadzone są sprężyste zawieszania po dwa z każdej strony rzeszota. Przesiewacze szybko drgające (o ruchu kołowym) w płaszczyźnie pionowej zbudowane są w ten sposób, że każdy punkt rzeszota okresla koło o promieniu  $s_0$ . Tory punktów leżą w płaszczyznach równoległych do siebie i do osi podłużnej sita, a jednocześnie prostopadłych do płaszczyzny sita.

Największa siła  $H$  występuje w chwili kiedy przyspieszenie  $s_0 \omega^2$  jest skierowane prostopadle do płaszczyzny sita i wtedy

$$H = s_0 \omega^2 \frac{G}{g}$$

wobec czego wskaźnik podrzutu przy ruchu kołowym wynosi

$$u_k = \frac{s_0 \omega^2}{g} \frac{1}{\cos \beta} \quad (15)$$

Obliczeniowe określenie prędkości materiału na sicie przesiewaczy o ruchu kołowym w płaszczyźnie pionowej jest dotychczas niedostatecznie opracowane. Stosowanie obliczeń jest tym bardziej trudne, że w praktyce występują znaczne odchylenia to rów różnych punktów sita w stosunku do toru założonego. W przypadku przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym przy obliczaniu prędkości materiału na sicie proponuje się stosować wzór 16 z uwzględnieniem współczynnika  $K$

$$v_{\text{śr}} = \frac{g}{\omega} \operatorname{ctg} \beta \left[ \sqrt{\frac{u-1}{2}(u^2 - 1) + \frac{\cos^2 \beta}{2\pi}} \right] \quad (16)$$

Współczynnik  $K$  obliczono przez porównanie prędkości obliczonej wzorem 16 z prędkością pomierzoną.

Doświadczenia wykazały, że jeżeli będziemy stosować wzór 16, a wskaźnik podrzutu będzie mniejszy od 2, to wielkości obliczone tym wzorem mało różnią się od rzeczywistych. Jeżeli natomiast wskaźnik podrzutu jest większy od 2, to przy obliczeniach uwzględnić należy współczynnik  $K$ . Przy wskaźniku podrzutu  $u = 2,3 - K = 0,92$ ; dla  $u = 2,6 - K = 0,84$ , dla  $u = 3,1 - K = 0,7$ .

Nanosząc te wartości na siatkę logarytmiczną i przy przyjęciu zależności liniowej otrzymujemy analityczne określenie wielkości  $K$  wyrażone funkcją wykładniczą

$$K = e^{-(u-2)0,3} \quad (17)$$

gdzie  $u$  to wskaźnik podrzutu przy czym dla  $u = 2$  wielkość  $K = 1$  zgodnie z podanymi wyżej założeniami. Uwzględniając a-



nalityczne ujęcie współczynnika  $K$  otrzymujemy następującą po stać wzoru na obliczenia prędkości materiału na sicie

$$V_{6r} = \frac{g}{\omega} \operatorname{cgt} \beta \left[ \sqrt{\frac{u-1}{2} (u^2-1) + \frac{\cos^2 \theta}{2x}} \right] - (u-2)0,3 \quad (18)$$

## 6. WNIOSKI

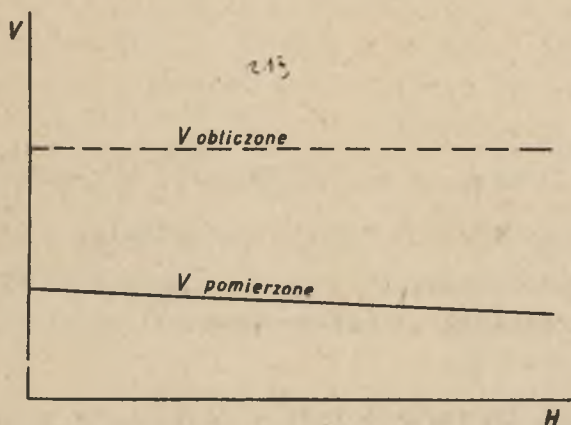
Z analizy pomiarów i obliczeń wynika, że przy obliczeniu prędkości materiału na przesiewaczach należy przy:

- a) przesiewaczach rusztowych uwzględnić współczynnik sprawności posuwu i tak dla

Distl-Susky  $\eta = 0,413$

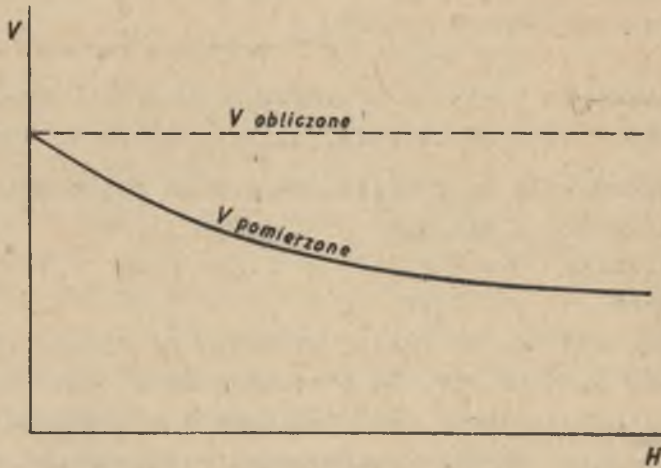
Seltnera  $\eta = 0,67$

z czego wynika, że ruszty Seltnera są wydajniejsze od rusztów Distl-Susky. Na przesiewaczach Distl-Susky pomniejszona prędkość jest wynikiem występowania tarcia statycznego między rusztowinami a materiałem. Wpływ grubości warstwy odgrywa tu małą rolę jak widać na rys. 7. Inaczej przedstawia się sprawa na przesiewaczach rusztowych Seltnera. Tu pomniejszona prędkość jest wynikiem wpływu grubości warstwy materiału rys. 8.



Rys. 7. Charakterystyka prędkości dla Distl-Susky

- b) W przesiewaczach wahadłowych i rezonansowych stosować wzory 8, 11, 12, a wyniki obliczone i pomierzone podaje tablica 3. Przy grubości warstwy materiału większej od  $1,5\theta$  uwzględnić współczynnik  $\lambda$  według wzoru 13.



Rys. 8. Charakterystyka prędkości dla Seltnera

- c) W przesiewaczach wibracyjnych o ruchu kołowym stosować wzór 18.

#### LITERATURA

- [1] Bataglia A.: Maszyny do przeróbki ciał kopalnych 1952 WGH.
- [2] Dietrych J.: Teoria i budowa przesiewaczy 1955, WGH.
- [3] Nawrocki J.: Przyczynek do teorii prędkości materiału na sicie przesiewacza - Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. nr 5 (1963 r.) str. 23.
- [4] Nawrocki J.: Empiryczna metoda określania powierzchni sit Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. nr 5, (1963), str. 75.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАСЧЕТАМ ГРОХОТ КАЧАЮЩИХСЯ, РЕЗОНАНСОВЫХ, ВИБРАЦИОННЫХ И О КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКЕ

Р е з ю м е

В статье обсуждено скорости материала на грохотах качающихся, резонансных, вибрационных и о колосниковой решётке.

Сообщено формуль и коэффициенты, которые рекомендуется учитывать при расчётах.

THE REMARKS TO CALCULATIONS OF CAPACITY OF THE BAR, OSCILLATING, RESONANT AND VIBRATING SCREENS

S u m m a r y

The article deals with speed of material on the bar, oscillating, resonant and vibrating screens. The formulas and coefficients which ought to be taken into consideration in calculations, are given.

