

# GÓRNICTWO z. 15

JERZY NAWROCKI

P. 3351 / 66

**ANALITYCZNO-EMPIRYCZNE OKREŚLENIE PRĘDKOŚCI  
MATERIAŁU NA SICIE DLA RÓŻNYCH PRZESIEWACZY  
Z UWZGLĘDNIENIEM WILGOCI, CIĘŻARU WŁAŚCIWEGO  
I GRUROŚCI WARSTWY MATERIAŁU**

**P O L I T E C H N I K A   Ś L ą S K A**  
**ZESZYT NAUKOWY Nr 148 – GLIWICE 1966**

## SPIS TREŚCI

	Str.
WSTĘP . . . . .	3
1. TEORIA PRĘDKOŚCI MATERIAŁU NA SICIE . . . . .	4
2. PRZESIEWACZE WAHADŁOWE . . . . .	4
2.1. Obliczanie prędkości . . . . .	5
2.2. Doświadczalna weryfikacja wzorów . . . . .	15
2.2.1. Podstawowe metody statystyczne do oceny wielkości błędu . . . . .	15
2.2.2. Wyniki badań . . . . .	17
3.' PRZESIEWACZE WIBRACYJNE O RUCHU KOŁOWYM . . . . .	23
3.1. Obliczenia prędkości materiału na sicie . . . . .	25
3.2. Doświadczalna weryfikacja wzorów . . . . .	27
4. PRZESIEWACZE WIBRACYJNE O RUCHU LINIOWYM . . . . .	30
4.1. Określenie prędkości materiału . . . . .	31
5. WPŁYW WILGOCI NA PRĘDKOŚĆ MATERIAŁU NA SICIE . . . . .	33
5.1. Badania dla węgla . . . . .	33
5.2. Analiza wyników . . . . .	37
5.3. Badania innych kopalin . . . . .	49
5.3.1. Żwir . . . . .	49
5.3.2. Magnezyt . . . . .	50
5.3.3. Fluoryt . . . . .	51
5.3.4. Baryt . . . . .	52
5.4. Wnioski z przeprowadzonych badań . . . . .	54
6. WPŁYW CIĘŻARU WŁAŚCIWEGO NA PRĘDKOŚĆ MATERIAŁU NA SICIE . . . . .	55
6.1. Badania na przesiewaczu wahadłowym . . . . .	56
6.2. Analiza badań . . . . .	59
6.3. Badania na przesiewaczu wibracyjnym . . . . .	61
6.4. Wyniki badań . . . . .	63
7. WPŁYW GRUBOŚCI WARSTWY MATERIAŁU NA PRĘDKOŚĆ . . . . .	63
7.1. Badania na przesiewaczu wibracyjnym . . . . .	63
7.2. Wyniki badań dla grubości warstwy 110 mm . . . . .	65
7.3. Wyniki badań dla grubości warstwy 200 mm . . . . .	67
7.4. Wyniki badań dla grubości warstwy 280 mm . . . . .	70
7.5. Analiza wyników badań . . . . .	71
8. WNIOSKI . . . . .	74
9. LITERATURA . . . . .	75
10. STRESZCZENIA OBCOJEZYCZNE . . . . .	77



POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 148

JERZY NAWROCKI

P 3351/66

**ANALITYCZNO-EMPIRYCZNE OKREŚLENIE PRĘDKOŚCI  
MATERIAŁU NA SICIE DLA RÓŻNYCH PRZESIEWACZY  
Z UWZGLĘDNIENIEM WILGOCI, CIĘŻARU WŁĄŚCIWEGO  
I GRUBOŚCI WARSTWY MATERIAŁU**

PRACA HABILITACYJNA Nr 48

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 4. X. 1965 r.

---

GLIWICE 1966

REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH  
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

*Fryderyk Staub*

REDAKTOR DZIAŁU

*Jerzy Antoniak*

SEKRETARZ REDAKCJI

*Tadeusz Matula*

Dział Nauki — Sekcja Wydawnictw Naukowych — Politechniki Śląskiej  
Gliwice, ul. Konarskiego 23

*P 2m124/66*

---

Nakł. 100+155 Ark. wyd. 3,98 Ark. druk. 5 Papier powielacz. kl. V, 70x100, 70 g  
Oddano do druku 15.12.1965 Podpis. do druku 7. 2. 1966 Druk ukończ. w lutym 1966  
Zam. 2 17. 12. 1965 F-18 Cena zł 5,—

---

Skład, fotokopie, druk i oprawę  
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach



## W S T Ę P

Klasyfikacja granulometryczna jest jedną z operacji przerobczych przy wzbogacaniu kopaliny na produkty nadające się do dalszych procesów metalurgicznych. W przeróbce węgla na produkty nadające się do bezpośredniego użytku lub do dalszych procesów technologicznych, przy przeróbce kamienia użytkowego na materiały budowlane i w wielu innych.

Najbardziej rozpowszechniona jest klasyfikacja na sitach czyli przesiewanie.

Przesiewaniem nazywamy rozdział sypkiego materiału na sicie na klasy ziarnowe, czyli na zbiory ziarna o określonej wielkości. Urządzenie, na którym odbywa się klasyfikacja mechaniczna nazywamy przesiewaczem.

Istotą działania przesiewacza jest umożliwienie przejścia przez otwory sita ziarnom o wymiarach odpowiednio mniejszych od wymiarów otworów. Przesiewanie to powinno być połączone z przesuwaniem się materiału na sicie, co jest nieodzowne z uwagi na konieczność ciągłego odprowadzania klasy górnej, które decydująco wpływa na wydajność przesiewacza przy żądanej sprawności przesiewania.

Przedmiotem pracy jest opisanie ruchu materiału na sicie oraz analityczne przedstawienie zmian prędkości zachodzących w czasie przesiewania z uwzględnieniem różnych przesiewaczy oraz własności materiału.

Podstawą pracy są doświadczenia, w wyniku których ustalona została pewna charakterystyczna i powtarzalna prawidłowość w ocenie kinematyki ruchu materiału.

Dane eksperymentalne posłużyły do opisanego zjawiska i ustalenia wzorów, które w sposób bardziej dokładny aniżeli dotychczas stosowane wzory bądź w sposób nowy ujmują zagadnienie prędkości materiału na sicie dla przesiewaczy wahadłowych, wibracyjnych o ruchu kołowym, wibracyjnych o ruchu liniowym, z uwzględnieniem kilku zasadniczych dla klasyfikacji własności materiału jak ciężaru właściwego, wilgoci oraz grubości warstwy materiału na sicie.

Doceniając trudną pracę konstruktorów projektujących nowoczesne klasyfikatory o wysokiej sprawności i dużych wydajnościach, zwracam uwagę na wpływ jakości materiału na podstawowe parametry przesiewaczy. Sądzę, że omawiany temat i przeprowadzone badania doprowadzą do przyspieszenia postępu w tej dziedzinie.

Pracę wykonałem w Katedrze Przeróbki Mechanicznej Kopaliny przy konsultacji Kierownika Katedry Prof. dr inż. Tadeusza Łaskowskiego. Cennej pomocy konsultacyjnej w zakresie kinematyki ruchu materiału udzielili mi: prof. dr inż. Janusz Dietrich oraz Koledzy z Seminarium Ogólnych Podstaw Konstrukcji

Maszyn, a w różnych pracach pomocniczych współdziałali Pracownicy Katedry.

Wszystkim wyżej wymienionym składam w tym miejscu serdeczne podziękowanie.

Również bardzo serdecznie dziękuję Dyrekcji Kopalni "Rozbark" oraz Kolegom z Zakładu Przeróbki Mechanicznej tej Kopalni.

## 1. Teoria prędkości materiału na sicie

Spośród bardziej znanych badań w zakresie określania prędkości materiału na sicie można wymienić w porządku chronologicznym prace: Lewensona, Małkina, Olewskiego, Dietrycha.

Wymienione prace nie wyczerpują zagadnienia i w/w autorzy nadmieniają o potrzebie prowadzenia dalszych badań w tej dziedzinie. Konstruktorowi projektującemu przesiewacz konieczna jest znajomość ilości materiału na sicie. Zakładając, że szerokość przesiewacza została ustalona jego konstrukcyjnymi parametrami, dwa pozostałe elementy jak grubość warstwy materiału na sicie i prędkość jego posuwania się winny być teoretycznie uzasadnione i takie aby przy maksymalnej wydajności przesiewacza uzyskać jak największą sprawność. Grubość warstwy materiału na sicie wpływa decydująco na wydajność i sprawność przesiewacza lecz w stosunku odwrotnym. W tym zagadnieniu występuje trzecia wartość tj. droga ziarna na sicie, która nadaje ziarnu dynamika przesiewacza. Z drugiej strony dynamika przesiewacza wpływa na prędkość przesuwania się materiału na sicie decydując o wydajności przesiewacza jak również o jego sprawności. Zatem konstruktorowi projektującemu przesiewacz potrzebne są rzeczywiste prędkości przesuwania się materiału na sicie. Ponieważ na prędkość przesuwania się materiału wpływa zawilgocenie materiału, jego ciężar właściwy oraz grubość warstwy, postawiłem sobie zadanie omówić i uzasadnić wielkość wpływu tych własności, podając wzory, których wyniki nie odbiegają od doświadczalnie stwierdzonych na przesiewaczach:

- a) wahadłowych,
- b) wibracyjnych o ruchu kołowym,
- c) wibracyjnych o ruchu liniowym.

## 2. Przesiewacze wahadłowe

Podstawowy układ przesiewacza wahadłowego przedstawiono na rysunku 1.

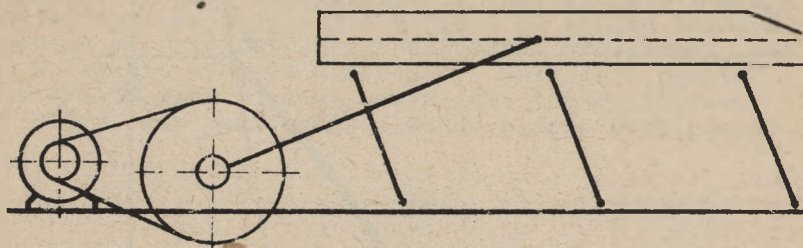
Mechanizm mimośrodowy o promieniu  $r$  porusza rzeszota przy pomocy łącznika mimośrodowego. Promień mimośrodu  $r$  jest mały w porównaniu z długością łącznika. Dzięki temu ruch rzeszota w przybliżeniu można uznać za harmoniczny i określić równaniem

$$S = S_0 \sin \omega t \quad (1)$$



$$V = S_0 \omega \cos \omega t \quad (2)$$

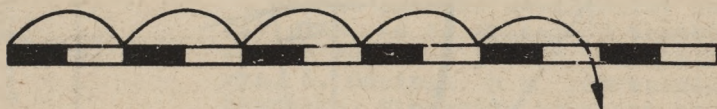
$$a = S_0 \omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$



Rys. 1. Przesiewacz wahadłowy

W nowoczesnych przesiewaczach wahadłowych ruch charakteryzuje się podrzutem materiału na sicie. Drogę ziarna na sicie przedstawiono schematycznie na rys. 2. Miarą podrzutu jest wskaźnik podrzutu  $u$  [3]

$$u = \frac{S_0 \omega^2}{g} \frac{\sin \gamma}{\cos \beta} \quad (4)$$



Rys. 2. Droga ziarna na sicie

gdzie:

$S_0$  - amplituda wahań rzeszota,

$\omega$  - prędkość kątowna,

$g$  - przyspieszenie ziemskie,

$\beta$  - kąt nachylenia sita,

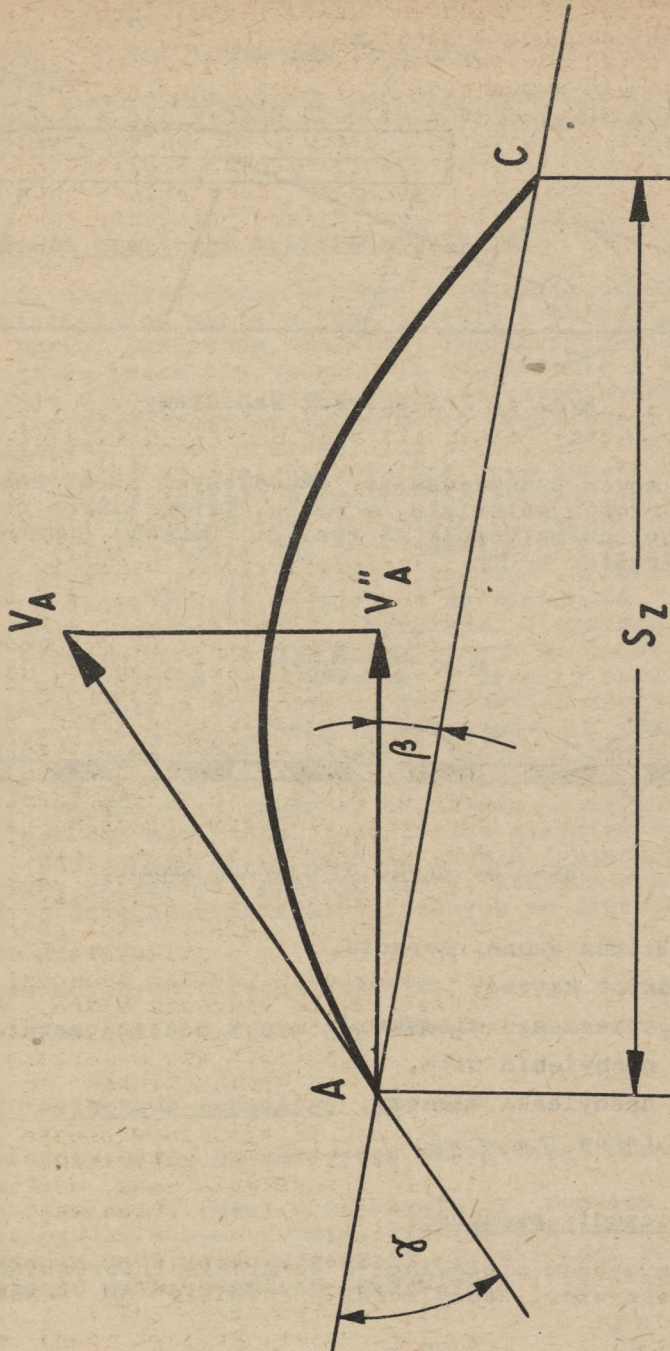
$\alpha$  - kąt nachylenia wahaczy,

$\gamma$  - kąt torów  $\gamma = \alpha + \beta$ .

### 2.1. Obliczanie prędkości

Pierwszym wzorem stosowanym w podmiocie interesującej nas wielkości jest wzór, który można sprowadzić do następującej postaci:

$$V = \frac{S_0 \omega u}{\pi} \left[ 1 - \frac{1}{u^2} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \right] \quad (5)$$



Rys. 3. Tor ziarna w czasie podrzutu



Doświadczenia wykazują, że tak obliczona prędkość materiału znacznie różni się od prędkości rzeczywistej. Drugi etap metody rozwoju obliczeń podał Dietrych.

Na rys. 3 przedstawiono tor ziarna w czasie podrzutu. Ruch ziarna zaczyna się w punkcie A i przy uwzględnieniu założeń przyjętych przy wprowadzaniu wzoru 5 kończy się w punkcie C.

Odchyłka wyników obliczenia wzoru 5 od wyniku pomiaru jest konsekwencją głównie przyjętego założenia przedstawionego na rys. 3. Założenie to jest nieścisłe. Położenie punktu A i C na płaszczyźnie sita w identycznym jego położeniu jest tylko możliwe wtedy, gdy czas trwania ruchu ziarna jest równy okresowi

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (6)$$

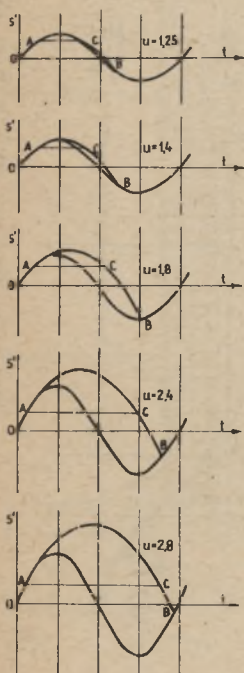
Na rys. 4 przedstawiono położenia w pionie sita i podrzucającego ziarna w funkcji czasu dla pięciu różnych wskaźników podrzutu 1,25; 1,4; 1,8; 2,4; 2,8. Dla uproszczenia przyjęto, że kąt  $\beta$  równa się 0. Wobec tego, że punkt C (rys. 4) jest na tym samym poziomie co punkt B, z przedstawionych wykresów wyraźnie widać, że długość toru ACB jest większa od długości toru AC wobec czego wyraźnym jest, że prędkość materiału na sicie jest znacznie większa od prędkości wyliczonej wzorem 5.

Jeżeli ponadto uwzględnimy nachylenie sita, to do wykresu 3 trzeba wprowadzić poprawkę jak to uczyniono na rys. 5. Odcinek CB reprezentuje tę poprawkę. Sinusoidea pokazana na wykresie przedstawia w takim razie przemieszczenie sita w punkcie A.

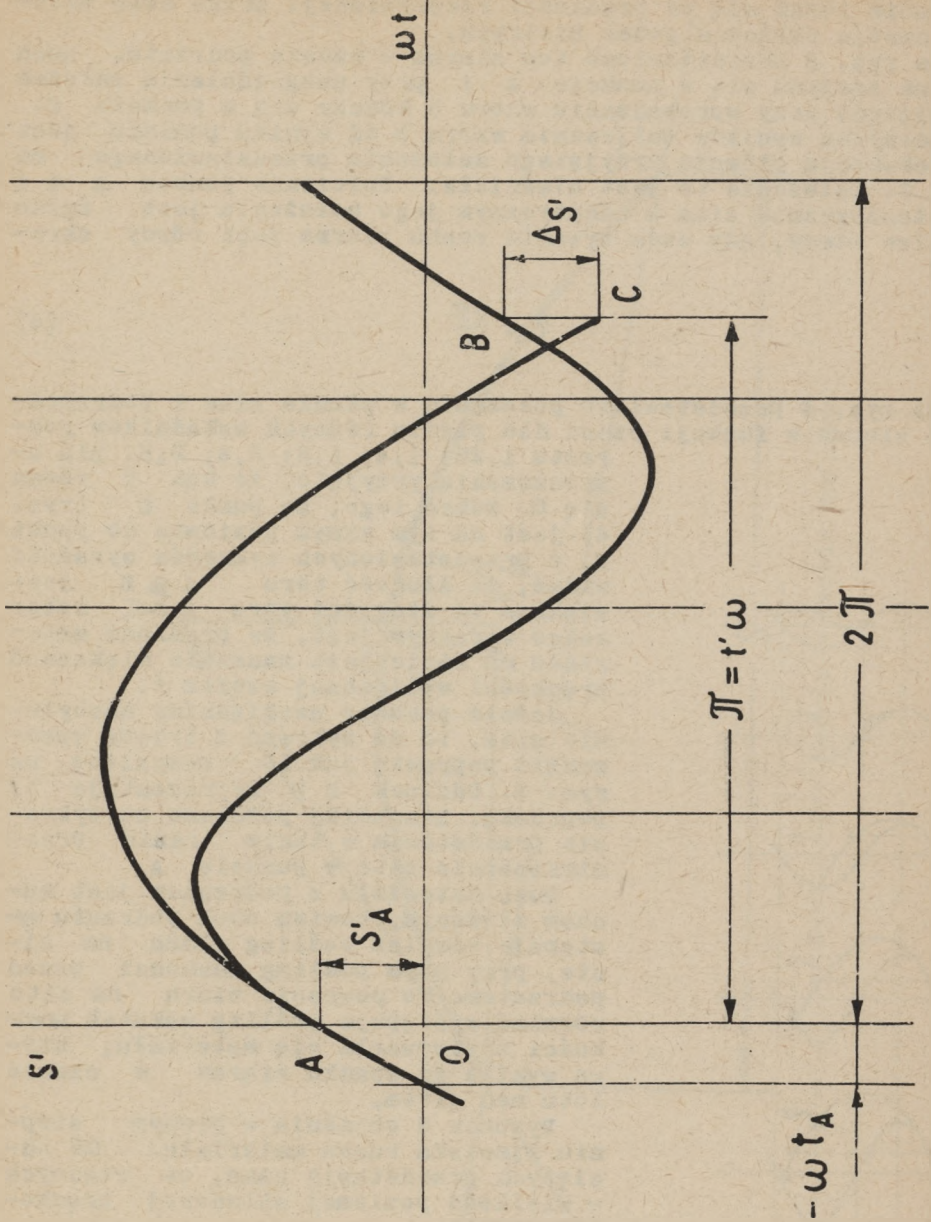
Ruch materiału z podrzutem jest ruchem złożonym, bowiem obok podrzutu występuje również poślizg ziarn na sicie, przy czym poślizg zachodzi przed podrzutem. Po powrocie ziarn na sito również występuje poślizg wskutek prędkości przesuwania się materiału, która wynika ze spadku ziarna w czasie lotu nad sitem.

Rysunek 6 objaśnia w pewnym stopniu zjawiska ruchu materiału. Oś odciętych przedstawia czas, oś rzędnych - wielkość poziomej składowej prędkości ziarna.

W pierwszym okresie po uruchomieniu przesiewacza z materiałem na sicie może się zdarzyć, że w chwili podrzutu prędkość materiału jest równa prędkości sita. Jednak po upływie stosunkowo



Rys. 4. Zmiany wysokości położenia ziarna i sita



Rys. 5. Zmiany wysokości położenia ziarna





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 następuje jego poślizg. Pod wpływem siły tarcia zmienia się składowa prędkości. Do czasu, w którym składowa prędkości materiału jest większa od składowej prędkości sita, przedstawionej na wykresie 6 cosinusoidą, prędkość materiału maleje. Składowa prędkości dla tego okresu przedstawiona jest linią B D. Wobec tego, że po upływie tego okresu prędkość sita jest większa od prędkości materiału, prędkość materiału rośnie - linia D F E. W punkcie E prędkości materiału oraz sita są równe i poślizg ustaje. Prostokąt A B H G przedstawia bezwzględną drogę ziarna w czasie podrzutu. Prostokąt A C C' G przedstawia pole, które uwzględnił wzór 6. Pole A B H G zostało przyjęte przez Dietrycha jako podstawa sformułowania wzoru 7

$$v_1 = \frac{g}{\omega} \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma} \sqrt{\frac{u-1}{2} (u^2 - 1)} \quad (7)$$

Wzór ten jest wzorem przybliżonym. Przy jego wyprowadzeniu istotne było obliczenie czasu  $\tau$ , reprezentowanego odcinkiem GH. Wyprowadzenie tej wielkości dało w wyniku następujące równanie:

$$\begin{aligned} \frac{\tau^2}{2} (1 + \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}) - \tau \sqrt{u^2 - 1} (1 + \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}) + \sin \tau \sqrt{u^2 - 1} + \\ + 1 + \cos \tau - 1 = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Wykazano, [3] że przy dopuszczeniu stosunkowo nieznacznego błędu można przyjąć

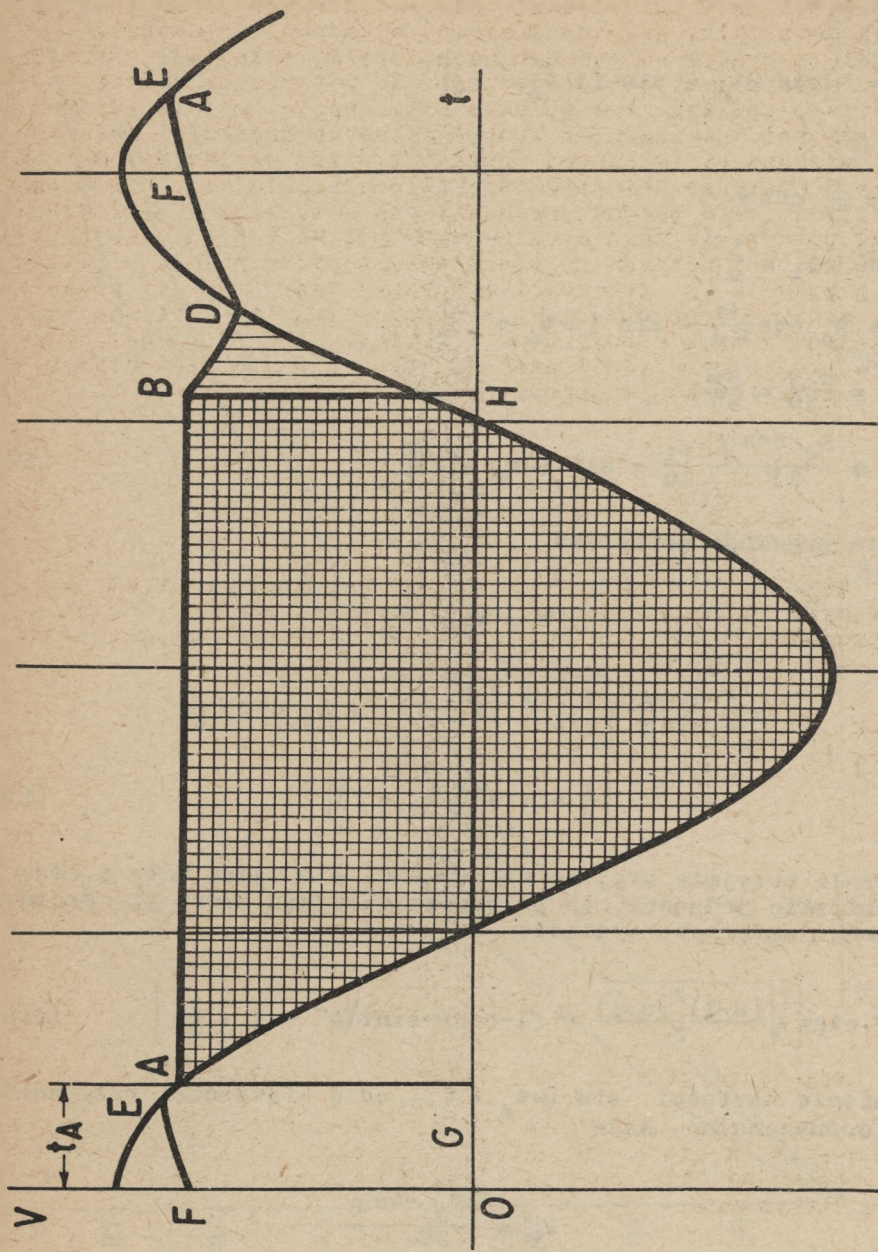
$$\tau = \pi \sqrt{2(u-1)} \quad (9)$$

Wzór 7 uwzględnia jedynie pole określone prostokątem A B i osią t.

Swoją koncepcję uzupełnienia wzoru opieram na analizie ziarna wobec sita, a nie na prędkości bezwzględnej, co pokazano na rys. 7. Całkując pole (wykres 7) zawarte między A B i cosinusoidą otrzymano:

$$S = \int_{\omega t_A}^{\frac{\pi}{2}} r \omega \cos \omega t \, dt - \int_{\frac{\pi}{2}}^{\omega t_A + \tau} r \omega \cos \omega t \, dt$$





Rys. 7. Prędkość materiału na sicie

$$S = -r \sin \omega t \Big|_{\frac{\tau}{2}}^{\frac{\pi}{2}} - r \sin \omega t \Big|_{\frac{\pi}{2}}$$

$$S = r [\sin \omega t_A - \sin (\omega t_A + \tau)]$$

gdzie

$$r = S_0 \cos \gamma$$

$$\sin \omega t_A = \frac{1}{u}$$

$$S = S_0 \cos \gamma \left[ \frac{1}{u} - \sin (\omega t_A + \tau) \right]$$

$$V_x = \frac{n s}{60} = \frac{s \omega}{2\pi}$$

$$V_x = \frac{S_0 \cos \gamma}{2\pi} \left[ \frac{1}{u} - \sin (\omega t_A + \tau) \right] \quad (10)$$

Średnia prędkość materiału

$$V = V_1 + V_x$$

$$V = \frac{g}{\omega} \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma} \sqrt{\frac{u-1}{2} (u^2 - 1)} + S_0 \cos \gamma \frac{\omega}{2\pi} \left[ \frac{1}{u} - \sin (\omega t_A + \tau) \right] \quad (11)$$

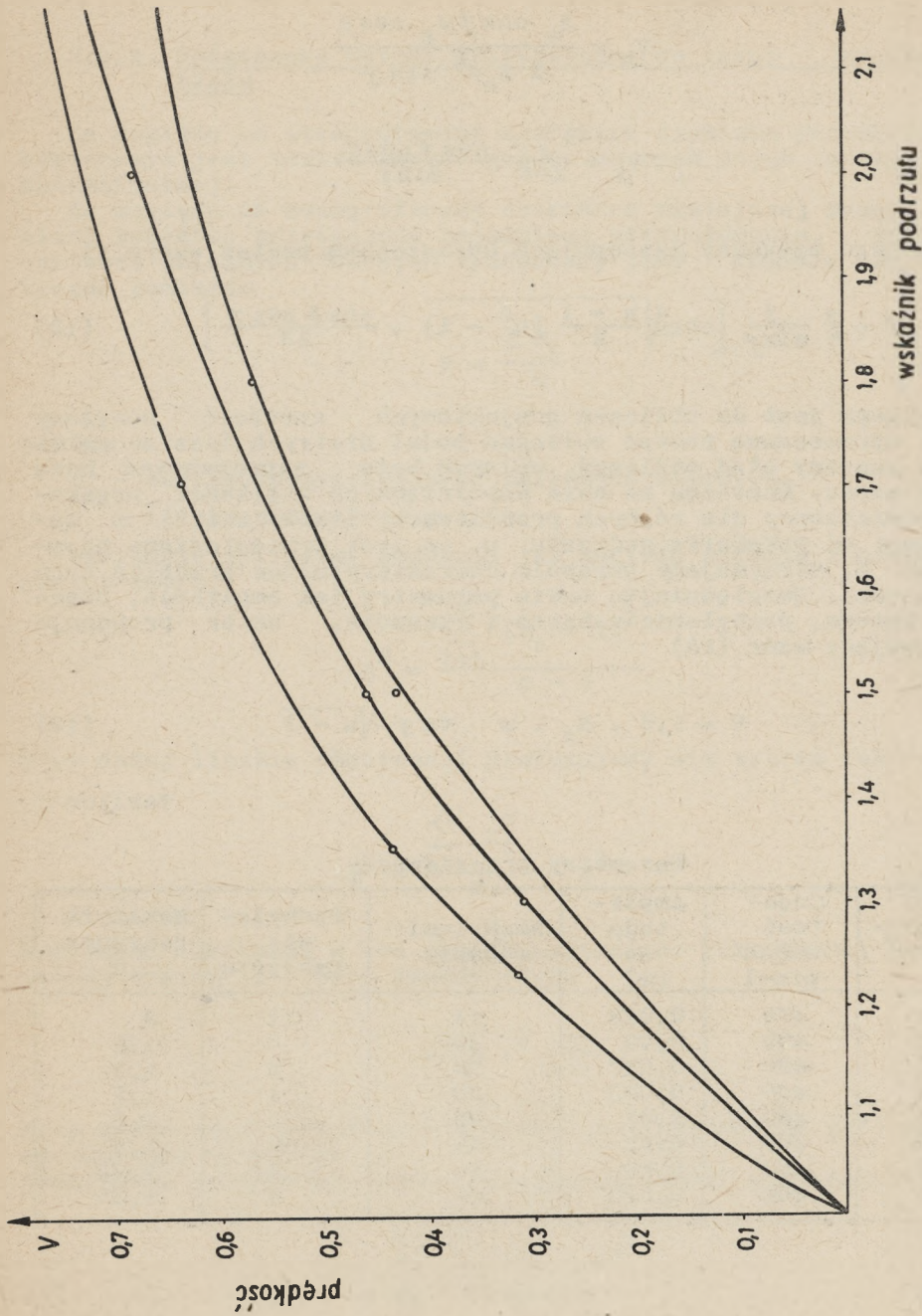
Jeżeli przyjmie się, że kąt  $(\gamma - \alpha) = \beta$  jest mały i  $\cos \beta$  jest bliskie jedności, to po przekształceniu wzoru 11 średnia prędkości materiału wyniesie

$$V = \frac{g}{\omega} \operatorname{ctg} \alpha \left[ \sqrt{\frac{(u-1)^2 (u+1)}{2}} + (1 - \cos \tau - \sin \tau \sqrt{u^2 - 1} + \frac{1}{2\pi}) \right] \quad (11a)$$

Pominięcie wartości  $\sin (\omega t_A + \tau)$ , co w większości przypadków jest dopuszczalne, daje

$$V_x = \frac{\omega S_0 \cos \gamma}{2\pi u}$$





Rys. 8. Prędkość w zależności od wskaźnika podrzutu u

Podstawiając za  $u$  wartość wzoru 4 otrzymamy

$$V_x = \frac{S_0 \cos \gamma \omega_g \cos \beta}{2 S_0 \omega^2 \sin \gamma}$$

$$V_x = \frac{g}{2\omega\pi} \frac{\cos \gamma \cos \beta}{\sin \gamma}$$

wobec tego uzyskamy następującą uproszczoną postać wzoru 11

$$V = \frac{g}{\omega} \frac{1}{\sin \gamma} \left[ \cos \alpha \sqrt{\frac{u-1}{2} (u^2 - 1)} + \frac{\cos \beta \cos \gamma}{2\pi} \right] \quad (12)$$

Celowym jest do obliczeń projektowych uprościć powyższy wzór. Uproszczoną postać obliczeń podał Dietrych lecz ze względu na znaczny błąd obliczeń, celowym było zaproponować nową formę wzoru. Nanosząc na osie współrzędnych wielkości prędkości pomierzonej dla różnych przesiewaczy (tabl. 1 i 7) w zależności od wskaźnika podrzutu  $u$ , co jest przedstawione na wykresie 8, otrzymujemy parabole charakteryzujące przebieg tych zależności. Uwzględniając takie parametry jak amplituda, prędkość kątowna, pochylenie wahacza i rzeszota, autor proponuje następujący wzór (13)

$$V = 1,6 \cdot S_0 \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \gamma \sqrt{u-1} \quad (13)$$

Tablica 1

Parametry przesiewaczy

Lp. (tablica 4)	Częstość wahań min-1	Amplituda $S_0$ (m)	Nachylenie wahaczy	Pochylenie rzeszo <sup>a</sup>	Wskaźnik podrzutu $u$
1	475	0,018	14	12	2
2	400	0,02	20	5	1,5
3	400	0,017	20	5	1,3
4	400	0,023	20	4	1,7
5	400	0,02	25	3	1,8
6	400	0,02	25	0	1,5
7	400	0,02	16	4	1,23
8	400	0,023	15	4	1,35



## 2.2. Doświadczalna weryfikacja wzorów

### 2.2.1. Podstawowe metody statystyczne do oceny wielkości błędu

Ze względu na stochastyczny charakter zjawiska przesiewania koniecznym jest zastosowanie ogólnie znanych pojęć statystyki matematycznej.

Ze względu na monograficzny charakter niniejszej pracy zostaną pokrótce przytoczone zasadnicze sformułowania. Średnie wartości zmiennych losowych wyznaczamy jako średnie arytmetyczne pomiarów

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (14)$$

gdzie:

$x_i$  - wartość poszczególnych zmiennych losowych,

$n$  - liczba pomiarów w próbie.

Wariancję wyliczamy podobnie jak wartość średnią z następującego wzoru

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (15)$$

Przy dużej liczbie obserwacji posługujemy się wzorem roboczym

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 \quad (16)$$

korygując otrzymaną w ten sposób wartość do równoważnej obliczonej wzorem (15) przy pomocy wzoru

$$S^2 = s^2 \frac{n}{n-1} \quad (17)$$

Przy dużej liczbie pomiarów wartość  $n-1$  we wzorze (15) możemy zastąpić przez  $n$ .

Odchylenie standardowe równa się pierwiastkowi z wariancji

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (18)$$

Jeżeli wariancja parametru w pewnym obszarze pomiaru wynosi  $S^2$  to wariancja średniej arytmetycznej  $n$  pomiarów  $S_{\bar{x}}^2$  wyraża się wzorem

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S^2}{n} \quad (19)$$

a odpowiednie odchylenie średnie

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (20)$$

Przy pomiarach zakładamy na ogół, że mamy do czynienia z rozkładem normalnym badanych parametrów i wszystkie obliczenia statystyczne przeprowadzamy wykorzystując właściwości tego rozkładu. Krzywa prawdopodobieństwa w tym rozkładzie (krzywa Gaussa) przedstawia jak wiadomo wzór

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (21)$$

w którym  $\bar{x}$  i  $\sigma$  są wartościami stałymi, tzw. parametrami rozkładu, a mianowicie  $\bar{x}$  - wartością przeciętną,  $\sigma$  - odchyleniem standardowym. Prawdopodobieństwo występowania wartości zmiennej losowej w określonym przedziale otrzymamy całkując funkcję gęstości prawdopodobieństwa w tym przedziale.

Przedział, w którym powinna być zawarta wartość wyznaczona na podstawie pomiarów, nazywamy w statystyce przedziałem ufności o nierówności

$$P[\bar{x} - t\sigma_{\bar{x}} < m < \bar{x} + t\sigma_{\bar{x}}] = \alpha \quad (22)$$

Treść zawartą w tym wzorze można wyrazić następująco: jeżeli w populacji rozkład cechy jest znany, to możemy twierdzić, że z zadany z góry prawdopodobieństwem przedział liczbowy  $(\bar{x} - t\sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + t\sigma_{\bar{x}})$  pokryje nieznaną wartość parametru  $m$ .

W przypadku małej liczby przeprowadzonych pomiarów powyższy sposób obliczania przedziału ufności jest niedokładny ponieważ przedział ufności jest zbyt wąski. Wartości średnie obliczone z pomiarów wahają się w szerszym przedziale, niż to wynika z obliczenia dla danego prawdopodobieństwa. Dokładne obliczenie przeprowadza się wówczas również przy założeniu normalnego rozkładu badanego pomiaru, wprowadzając zmienną losową, zwaną statystyką Studenta.

Obliczenia przedziału ufności przeprowadza się przy zastosowaniu statystyki Studenta, przy pomocy tablic rozkładu Studenta zbliżonego w ogólnej postaci do rozkładu normalnego. W tablicach tych wartość  $t$  jest funkcją liczby stopni swobody



$K = n - 1$  i poziomu ufności. Tablice te dają możliwość określenia przedziału ufności dla danego poziomu ufności przy pomocy wzoru 22.

Operując tym wzorem mamy prawdopodobieństwo  $\alpha$  założone przez nas z góry,  $\bar{x}$  i  $S\bar{x}$  obliczone na podstawie pomiarów podanyymi wzorami 14 i 20,  $t$  znajdujemy w tablicach. W ten sposób również dla małej liczby pomiarów możemy uzyskać ściśle oszacowanie dokładności obliczonej średniej pomiaru. Wartość  $t$ ,  $S\bar{x}$  odpowiada właśnie maksymalnemu odchyleniu przy żądanym prawdopodobieństwie.

### 2.2.2. Wyniki badań

Weryfikację wzorów 11, 12, 13 przeprowadzono w ten sposób, że dla różnych przesiewaczy wahadłowych (tabl. 2) mierzono prędkość materiału, a następnie porównano z prędkością obliczoną.

Tablica 2

Miejsce pomiaru i rodzaj przesiewania

Lp.	Miejsce pomiaru	Rodzaj przesiewania	Układ sit
1	Julian	mimośrodowy	posobny
2	Kleofas	rezonansowy	posobny
3	Knurów	rezonansowy	posobny
4	Knurów	rezonansowy	nadsobny
5	Makoszowy	rezonansowy	posobny
6	Rozbark	rezonansowy	nadsobny
7	Rozbark	rezonansowy	mieszany
8	Wieczorek	rezonansowy	mieszany

Dla tych celów konieczne było przeprowadzenie pomiarów przesuwania się materiału na określonym odcinku. Pomiar ten był wykonany w ten sposób, że pewną liczbę ziarn oznaczono białą farbą, a następnie mierzono stoperem czas przesuwania się tych ziarn.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów podano w tablicach 3, 4 i 5. Stosując wzory podane w rozdziale 2,3 obliczono średni czas przesuwania się ziarn jak również ich odchylenie średnie oraz przedział ufności. Wielkości te podano w tablicy 6, a w tablicy 1 podano parametry przesiewaczy. Znając średni czas przesuwania się ziarn oraz długość przebytego odcinka drogi, obliczono prędkości które porównano z prędkościami obliczonymi wzorami 7, 11, 12, 13. Wyniki tych obliczeń podano w tabl.7.

## Czas przesuwania się materiału t(sek)

Poz.1 z tablicy 4		Poz.2 z tablicy 2		Poz.3 z tablicy 2			
3,6	4,0	8,3	9,0	13,5	13,9	14,0	14,1
3,6	4,0	8,3	9,1	13,5	13,9	14,0	14,1
3,6	4,0	8,4	9,1	13,6	13,9	14,0	14,1
3,6	4,0	8,4	9,1	13,7	13,9	14,0	14,1
3,6	4,0	8,4	9,2	13,7	13,9	14,0	14,1
3,7	4,1	8,5	9,2	13,7	13,9	14,0	14,2
3,7	4,1	8,5	9,3	13,7	13,9	14,0	14,2
3,8	4,1	8,6	9,4	13,7	13,9	14,0	14,2
3,8	4,1	8,7	9,4	13,7	13,9	14,1	14,2
3,8	4,1	8,8	9,5	13,7	13,9	14,1	14,2
3,8	4,2	8,8	9,5	13,8	13,9	14,1	14,2
3,8	4,2	8,8	9,5	13,8	13,9	14,1	14,2
3,8	4,2	8,9	9,5	13,8	13,9	14,1	14,2
3,9	4,2	8,9	9,5	13,8	13,9	14,1	14,2
3,9	4,2	8,9	9,5	13,8	14,0	14,1	14,3
3,9	4,3	8,9	9,5	13,8	14,0	14,1	14,3
3,9	4,3	8,9	9,5	13,8	14,0	14,1	14,3
3,9	4,3	8,9	9,7	13,8	14,0	14,1	14,3
3,9	4,3	8,9	9,7	13,8	14,0	14,1	14,3
3,9	4,4	9,0	9,8	13,8	14,0	14,1	14,3
3,9	4,4	9,0	9,8	13,8	14,0	14,1	14,3
4,0	4,0	9,0	9,8	13,8	14,0	14,1	14,4
4,0	4,4	9,0	9,9	13,8	14,0	14,1	14,4
4,0	4,4	9,0	10,0	13,9	14,0	14,1	14,4
4,0	4,4	9,0	10,0	13,9	14,0	14,1	14,5



Czas przesuwania się materiału t/sek

Poz.4 z tablicy 2				Poz.5 z tablicy 2		Poz.6 z tablicy 2	
9,4	9,8	10,0	10,4	3,7	5,0	10,9	11,8
9,4	9,8	10,0	10,4	3,9	5,0	11,0	11,8
9,5	9,8	10,0	10,4	4,0	5,0	11,0	11,8
9,7	9,8	10,0	10,4	4,0	5,1	11,0	11,8
9,7	9,9	10,1	10,5	4,1	5,1	11,2	11,8
9,7	9,9	10,1	10,5	4,2	5,1	11,2	11,9
9,7	9,9	10,1	10,5	4,3	5,1	11,2	11,9
9,7	9,9	10,1	10,5	4,4	5,2	11,2	11,9
9,7	9,9	10,1	10,5	4,4	5,2	11,2	11,9
9,8	9,9	10,2	10,5	4,4	5,2	11,3	11,9
9,8	9,9	10,2	10,5	4,4	5,2	11,3	12,0
9,8	9,9	10,2	10,5	4,5	5,3	11,4	12,0
9,8	9,9	10,2	10,5	4,7	5,3	11,4	12,0
9,8	9,9	10,2	10,5	4,7	5,3	11,4	12,0
9,8	9,9	10,3	10,5	4,7	5,3	11,4	12,0
9,8	9,9	10,3	10,5	4,8	5,3	11,4	12,0
9,8	10,0	10,3	10,5	4,9	5,3	11,4	12,0
9,8	10,0	10,3	10,5	5,0	5,4	11,4	12,0
9,8	10,0	10,3	10,5	6,0	5,7	11,5	12,0
9,8	10,0	10,3	10,6	5,0	5,9	11,5	12,1
9,8	10,0	10,4	10,6	5,0	6,0	11,6	12,1
9,8	10,0	10,4	10,6	5,0	6,1	11,6	12,1
9,8	10,0	10,4	10,6	5,0	6,1	11,7	12,1
9,8	10,0	10,4	10,7	5,0	6,2	11,7	12,1
		10,4	10,7	5,0	6,3	11,8	12,1
		10,4	10,7	5,0			

## Czas przesuwania się materiału t/sek

Poz.6 z tablicy 2		Pozycja 7 z tablicy 2				Poz.8 z tablicy 2	
12,1	12,6	8,5	9,9	10,4	10,6	4,5	6,0
12,1	12,6	8,5	9,9	10,4	10,6	4,5	6,0
12,2	12,6	8,7	9,9	10,4	10,6	4,6	6,0
12,2	12,6	8,7	9,9	10,4	10,7	4,6	6,0
12,2	12,7	8,7	9,9	10,4	10,7	4,6	6,0
12,3	12,7	8,8	10,0	10,4	10,7	4,7	6,1
12,3	12,8	8,9	10,0	10,4	10,7	4,8	6,1
12,3	12,8	8,9	10,0	10,4	10,7	4,8	6,2
12,3	12,8	8,9	10,0	10,4	10,8	4,9	6,3
12,3	12,8	9,0	10,0	10,4	10,8	5,0	6,3
12,3	12,9	9,0	10,0	10,4	10,8	5,1	6,3
12,3	13,0	9,2	10,1	10,4	10,8	5,2	6,4
12,3	13,0	9,2	10,1	10,5	10,9	5,2	6,4
12,3	13,0	9,2	10,1	10,5	10,9	5,3	6,7
12,4	13,0	9,2	10,2	10,5	11,0	5,4	6,7
12,4	13,1	9,3	10,3	10,5	11,0	5,5	6,8
12,4	13,1	9,4	10,3	10,5	11,1	5,6	7,0
12,5	13,1	9,4	10,3	10,5	11,1	5,6	7,0
12,5	13,1	9,5	10,3	10,5	11,2	5,7	7,0
12,5	13,1	9,6	10,3	10,5	11,2	5,8	7,0
12,5	13,1	9,8	10,3	10,5	11,3	5,8	7,1
12,5	13,1	9,8	10,3	10,5	11,3	5,8	7,1
12,5	13,1	9,8	10,3	10,5	11,3	5,8	7,2
12,6	13,1	9,8	10,3	10,5	11,3	5,9	7,4
12,6	13,1	9,8	10,3	10,5	11,4	5,9	7,4



Tablica 6

Czas, średnie odchylenie, droga, prędkość materiału

Lp. z tabli- cy 2	Czas przesuwa- nia się mate- riału (sek)	Średnie od- chylenie $\frac{s\bar{x}}{\sqrt{n}}$	Przedział ufności (sek)	Droga ziarna (m)	Prędkość ma- teriału m/sek
1	4,01	0,033	3,91 < 4,01 < 4,1	2,76	0,69
2	9,12	0,08	8,88 < 9,12 < 9,36	4,2	0,46
3	14,0	0,02	13,94 < 14, < 14,06	4,34	0,31
4	10,08	0,035	9,975 < 10,08 < 10,185	6,4	0,64
5	4,99	0,08	4,75 < 4,99 < 5,23	2,84	0,57
6	12,13	0,06	11,95 < 12,13 < 12,31	5,21	0,43
7	10,17	0,69	9,97 < 10,17 < 10,37	3,15	0,31
8	6,02	0,12	5,66 < 6,02 < 6,38	2,64	0,44

Prędkość pomierzona i obliczona

Lp. z tabl. 4	$V_7$ m/sek	V%	$V_{12}$ m/sek	V %	$V_{13}$ m/sek	V %	$V_{11}$ m/sek	V %	V pom m/sek
1	0,53	23	0,598	14,5	0,69	0,0	0,66	4,4	0,69
2	0,29	37	0,365	21,0	0,44	4,5	0,45	2,2	0,46
3	0,17	45	0,25	19,4	0,294	5,5	0,28	9,1	0,31
4	0,42	34	0,55	14,0	0,594	8,3	0,64	0,8	0,645
5	0,37	35	0,52	8,8	0,554	3,0	0,56	1,7	0,57
6	0,26	40	0,34	21,0	0,43	0,7	0,43	0,7	0,433
7	0,15	51	0,25	19,2	0,25	19,2	0,258	16,0	0,31
8	0,25	43	0,318	21,0	0,33	25	0,425	2,3	0,44



Oznaczenia dla tablicy 7:

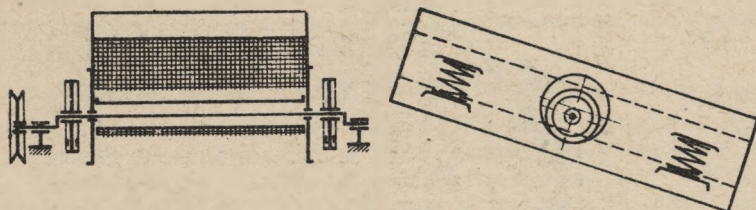
- $V_7$  - prędkość obliczona wzorem 7,
- $V_{12}$  - prędkość obliczona wzorem 12,
- $V_{13}$  - prędkość obliczona wzorem 13,
- $V_{11}$  - prędkość obliczona wzorem 11,
- $V_p$  - prędkość pomierzona.

$$\Delta V = \frac{V_{\text{pom}} - V_{\text{obl.}}}{V_{\text{pom}}} \cdot 100\% \text{ średni błąd obliczeń w stosunku do wartości rzeczywistej wyrażony w procentach.}$$

Zgodnie z przewidywaniami pomierzona prędkość w każdym przypadku jest większa od prędkości wyliczonej. Należy zwrócić uwagę, że ta odchyłka nie jest przyczyną zasadniczych błędów technicznych. Porównanie wartości liczbowych z tablicy 7 wskazuje, że stosowane wzory na obliczanie prędkości były zbyt mało dokładne, a w niektórych przypadkach błąd ten wynosił 51%. Najmniejsze odchyłki wykazuje wzór 11.

### 3. Przesiewacze wibracyjne o ruchu kołowym

Przesiewacze szybkodrgające (tj. wibracyjne) charakteryzuje znaczna częstość kątowna. Z tą dużą częstością wiąże się stosunkowo mała amplituda. Podstawowy układ obecnie stosowanych przesiewaczy przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Przesiewacz wibracyjny o ruchu kołowym

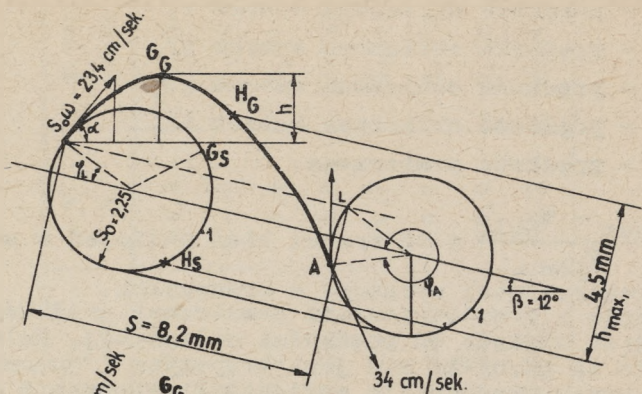
Wał mimośrodowy osadzony jest w dwu łożyskach przymocowanych do ramy. Na tej samej ramie osadzone są sprężyste zawieszania po dwa z każdej strony rzeszota. Przesiewacz o ruchu kołowym w płaszczyźnie pionowej zbudowany jest w zasadzie w ten sposób, że każdy punkt rzeszota zakreśla koła o promieniu  $S_0$  (rys. 10). Tory punktów leżą w płaszczyznach równoległych do siebie i do osi podłużnej sita, a jednocześnie prostopadłych do płaszczyzny sita. Największa siła występuje w chwili kiedy przyspieszenie  $S_0 \omega^2$  jest skierowane prostopadle do płaszczyzny sita i wtedy wskaźnik podrzutu  $u$  przyjmuje następującą postać

$$u = \frac{S_0 \omega^2}{g} \frac{1}{\cos \beta} \quad (25)$$

$2S_0 = 4,5 \text{ mm}$

$F = 16,5 \text{ Hz}$

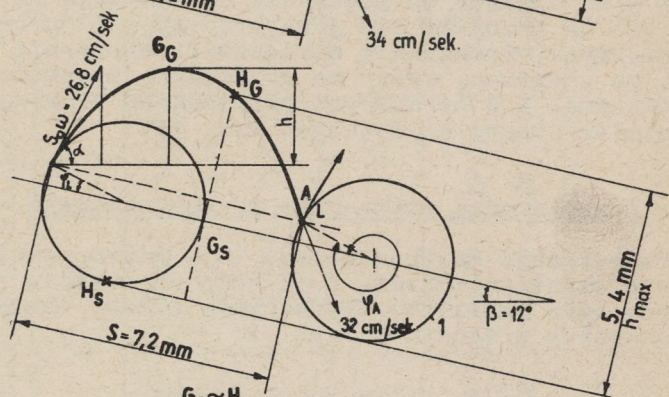
$U = 2,5$



$2S_0 = 4,5 \text{ mm}$

$F = 19 \text{ Hz}$

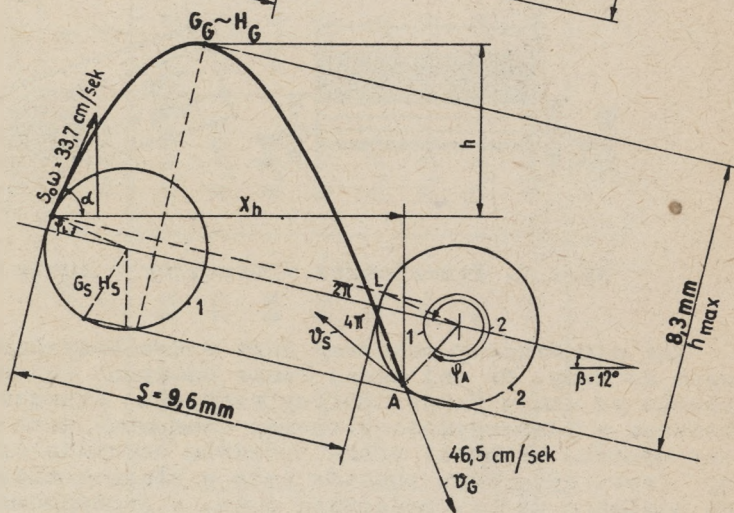
$U = 3,3$



$2S_0 = 4,5 \text{ mm}$

$F = 25 \text{ Hz}$

$U = 5,25$



Rys. 10. Zmiany położenia ziarna i sита dla przesiewaczy wi-  
bracyjnych



Droga przesiewanego materiału w kierunku poziomym powinna być tak dobrana, aby ziarno nie wpadło z powrotem do tego samego otworu, a więc droga ta musi być równa przynajmniej połowie otworu sita. Poza tym częstotliwość drgań przesiewacza nie może być bardzo duża, ponieważ ziarna znajdujące się w otworach mogłyby mieć trudność przy opuszczaniu otworu sita przez zbyt częste ruchy drgające.

Z tego wynika, że drgania przesiewacza muszą być zharmonizowane z wielkością otworu sita. Na rys. 10 przedstawiono warunki ruchu materiału na przesiewaczach wibracyjnych o ruchu kołowym dla trzech różnych wartości  $u$ , a mianowicie:

wskaźnik podrzutu  $u - 2,5; 3,3; 5,25$ ,

amplituda  $S_0 - 2,25$  mm,

nachylenie rzeszota -  $12^\circ$ .

Droga przesiewacza ma postać koła a ziarno paraboli. Oznaczenia dla rys. 10:

L - punkt oderwania się ziarna od sita,

A - punkt zetknięcia się ziarna z sitem,

$\varphi_L$  - kąt między płaszczyzną sita, a punktem oderwania,

$\varphi_A$  - kąt między płaszczyzną sita, a punktem zetknięcia,

S - droga ziarna,

$G_0$  - ziarno znajdujące się na największej wysokości,

$G_s$  - położenie sita, gdy ziarno znajduje się na największej wysokości,

$H_6$  - punkt, w którym ziarno ma każdorazowo największą odległość w stosunku do sita,

$H_s$  - położenie sita, kiedy ziarno znajduje się w  $H_6$ .

Na rys. 10 można łatwo zauważyć, że kąty podrzutu i padania są większe w porównaniu z tymi samymi wartościami przesiewaczy o ruchu liniowym. Teoretycznie zetknięcie materiału z sitem w przypadku 10a i b następuje w pierwszym okresie tzn. kiedy  $\varphi_A$  jest mniejsze od  $360^\circ$ . Dla przypadku 10c zetknięcie następuje w drugim okresie, kiedy  $\varphi_A$  jest większe od  $360^\circ$ .

### 3.1. Obliczenia prędkości materiału na sicie

Obliczeniowe określenie prędkości materiału na sicie przesiewaczy o ruchu kołowym w płaszczyźnie poziomej zostało dotychczas niedostatecznie opracowane. Ze względu na duży kąt podrzutu prędkość materiału jest mniejsza niż ta, którą oblicza się przy przesiewaczach o ruchu liniowym.

Prawdopodobny obraz ruchu materiału przedstawia rys. 7. Z wykresu wynika, że prędkość ziarna  $V_z$  jest dodatnia dla dowolnego czasu, a więc materiał porusza się w jednym kierunku.

Pole zakreskowane przedstawia wielkość drogi (mierzonej w rzucie poziomym), którą materiał przebywa w ciągu okresu  $T$ . Pole to określa wielkość całki

$$V = \frac{1}{T \cos \beta} \int_G^H v_z dt + \frac{1}{T} \left| \int_{\omega t_A}^{\omega t_A + \tau} r \omega \cos \omega t dt - \int_{\frac{\pi}{2}}^{\omega t_A + \tau} r \omega \cos \omega t dt \right| \quad (26)$$

uwzględniając, że  $t = \frac{r}{\omega}$  otrzymujemy

$$V = \frac{v_z}{T \cos \beta} \frac{r}{\omega} + \frac{S_0 \cos \beta}{T} \left[ \frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right] \quad (27)$$

Jeżeli przyjmiemy, że wypadkowa prędkości ziarna jest prostopadła do płaszczyzny sita, to prędkość składowa pozioma ma wartość

$$v_z = S_0 \omega \cos(90 - \beta) = S_0 \omega \sin \beta \quad (28)$$

przedstawiając tę wartość do równania 27 oraz uwzględniając że  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  otrzymuje się

$$v = \frac{1}{2} S_0 \omega \sqrt{2(u-1)} \operatorname{tg} \beta + \frac{S_0 \omega \cos \beta}{2\pi} \left[ \frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right] \quad (29)$$

i ostatecznie

$$v = \frac{1}{2} S_0 \omega \left[ \operatorname{tg} \beta \sqrt{2(u-1)} + \frac{\cos \beta}{\pi} \left( \frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right) \right] \quad (30)$$

wstawiając do równania 30 wartości  $S_0$  z równania 25 otrzymuje się drugą postać tego samego wzoru

$$v = \frac{\omega g \cos \beta u}{2\omega^2} \left[ \operatorname{tg} \beta \sqrt{2(u-1)} + \frac{\cos \beta}{\pi} \left( \frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right) \right] \quad (31)$$

i ostatecznie

$$v = \frac{g}{\omega} \cos \beta \left[ \operatorname{tg} \beta u \sqrt{\frac{(u-1)}{2}} + \frac{u}{2\pi} \left( \frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right) \right] \quad (32)$$



pomijając człon  $\sin(\omega t_A + \tau)$  otrzymujemy

$$V = \frac{g}{\omega} \cos \beta \left[ \operatorname{tg} \beta u \sqrt{\frac{(u-1)}{2}} + \frac{1}{2\beta} \right] \quad (33)$$

Przydatność każdego wzoru jest tym praktyczniejsza, im dany wzór jest przedstawiony w najprostszej postaci. Celowe jest więc uproszczenie wzoru 32 z założeniem aby obliczona wartość nie odbiegała zbyt od rzeczywistej. Po przeanalizowaniu wyników obliczeń i pomiarów można przyjąć, że zależność między prędkością, a wskaźnikiem podrzutu jest funkcją logarytmiczną. Wobec powyższego proponuję wzór następujący

$$V = 14 \frac{g}{\omega} \log u \operatorname{tg} \beta \quad (34)$$

### 3.2. Doświadczalna weryfikacja wzorów

Weryfikację wzoru 32, 33, 34 przeprowadzono, mierząc czas przebywania materiału na określonym odcinku drogi, a następnie obliczono prędkość materiału, uwzględniając parametry danego przesiewacza. Przeprowadzono doświadczenie dla określenia średniego czasu przesuwania materiału na sicie o wskaźniku podrzutu 5,2 (tabl. 8).

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{299.4}{30} = 9,98$$

Standardowe odchylenie zbioru

$$s = \sqrt{\frac{70.76}{29}} = \sqrt{2,44} = 1,6$$

Tablica 8

Czas przesuwania się materiału na sicie ( $u = 5,2$ )

t (sek)	7,1	5,5	9,5	11,2	12,01	11,4	11,8	9,3	9,8	8,2
t (sek)	10,1	10,5	9,2	12,2	10,7	7,5	8,9	10,6	11,1	11,0
t (sek)	9,7	11,3	10,1	9,5	8,5	10,1	8,9	12,1	11,1	11,5

Błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s\bar{x} = \frac{1,6}{\sqrt{n}} = \frac{1,6}{5,4} = 0,3$$

Czas przesuwania się materiału na sicie ( $u = 3,3$ )

t/sek	5,2	4,7	4,9	5,1	4,8	5,0	5,2	4,9	4,8	5,1
t/sek	4,8	5,0	5,1	5,3	4,9	4,8	4,9	5,0	5,2	4,9
t/sek	4,7	4,9	4,9	5,0	4,8	5,1	5,0	4,7	4,9	4,7

Przedział ufności dla danej wartości przy współczynniku przewidywania 0,997 wynosi

$$9,0 \text{ sek} < 9,98 \text{ sek} < 10,8 \text{ sek.}$$

Przeliczając powyższą zależność na prędkość przy  $L = 2,3 \text{ m}$  otrzymamy

$$0,214 \text{ m/sek} < 0,233 \text{ m/sek} < 0,251 \text{ m/sek}$$

Oznacza to, że poszukiwana wartość średnia prędkości materiału zawarta jest w powyższych granicach. Analogiczne doświadczenia przeprowadzono dla przesiewacza o wskaźniku podrzutu 3,3. Wyniki pomiarów czasu lotu materiału podano w tabl. 9.

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{148,3}{30} = 4,94$$

Standardowe odchylenie

$$s = \sqrt{\frac{38,57}{29}} = \sqrt{1,31} = 0,29$$

Błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,29}{\sqrt{n}} = \frac{0,29}{5,4} = 0,05$$

Przedział ufności dla danej wartości przy współczynniku przewidywania 0,997 wynosi

$$4,79 \text{ sek} < 4,94 \text{ sek} < 5,09 \text{ sek.}$$



Przeliczając powyższą zależność na prędkość  $L = 1,02$  otrzymamy

$$0,2 \text{ m/sek} < 0,21 \text{ m/sek} < 0,215 \text{ m/sek}$$

oznacza to, że poszukiwana wartość średnia prędkości materiału zawarta jest w powyższych granicach. Prędkości pomierzone i obliczone zestawiono w tabelicy 10.

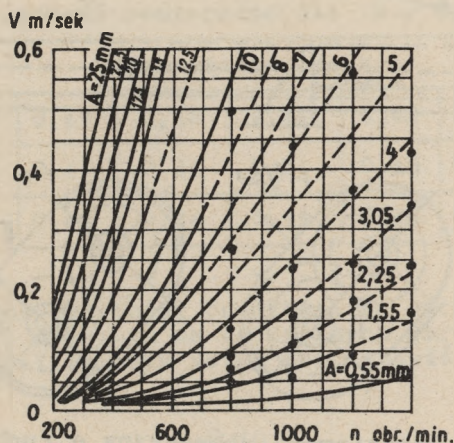
Tabela 10

Prędkość obliczona i pomierzona

u	$V_{37}$ m/sek	$\Delta V$ %	$V_{33}$ m/sek	$\Delta V$ m/sek	$V_{38}$ m/sek	$\Delta V$ %	$V_{\text{pom}}$ m/sek
3,3	0,12	42	0,16	24	0,21	0,0	0,21
5,2	0,19	21	0,214	7,5	0,227	1,5	0,23

Oznaczenia dla tabelicy 10:

- $V_{33}$  - prędkość obliczona wzorem 33,
- $V_{29}$  - prędkość obliczona wzorem 29,
- $V_{34}$  - prędkość obliczona wzorem 34,
- $V_{\text{pom}}$  - prędkość pomierzona.
- $\Delta V$  - średni błąd obliczeń w stosunku do wartości rzeczywistej wyrażonej w procentach.

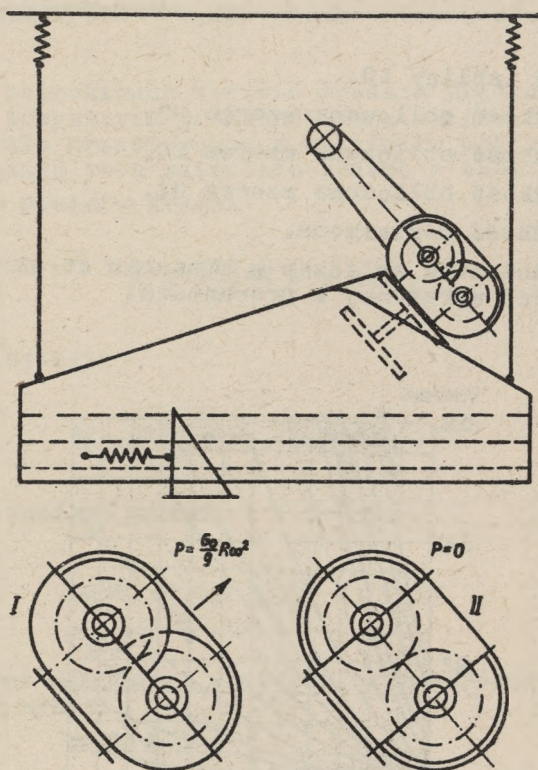


Rys. 11. Prędkość w zależności od obrotów i amplitudy

Analiza wyników obliczeń i doświadczeń uzyskanych przez autora oraz wyników badaczy radzieckich, może być uznana za podstawę weryfikacji proponowanych w tej pracy wzorów, co przedstawiono na rys. 11.

#### 4. Przesiewacze wibracyjne o ruchu liniowym

W przesiewaczach tych rzeszoto zamocowane jest na ciągłach z amortyzatorami sprężynowymi. Skrzynia napędu jest umocowana na wsporniku stanowiącym belkę poprzeczną łączącą i usztywniającą ściany rzeszota. Oś działania wektora siły wzbudzającej jest zgodna z kierunkiem drgań rzeszota. Na rys. 12 pokazano przesiewacz szybko drgający o ruchu prostoliniowym oraz dwa charakterystyczne położenia ciężarów nie wyważonych. W położeniu I siła wzbudzająca jest największa, w położeniu II jest równa zero.



Rys. 12. Przesiewacz wibracyjny o ruchu liniowym



#### 4.1. Określenie prędkości materiału

Kinematyka ruchu materiału dla tego typu przesiewaczy przy przyjęciu dopuszczalnego uproszczenia teoretycznego nie powinna różnić się od kinematyki w przesiewaczach wahadłowych. W rzeczywistości jest jednak inaczej, szczególnie zaś przy obliczeniach prędkości materiału na sicie.

Wzory odnoszące się do ruchu materiału dla przesiewaczy wahadłowych w przypadku zastosowania ich do obliczeń w przesiewaczach wibracyjnych o ruchu liniowym wykazują wartości znacznie większe od rzeczywistych, na odwrót wzory dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym wykazują wartości mniejsze od rzeczywistych. Z tego też względu proponuję wprowadzić wzór na określenie prędkości materiału na sicie na podstawie przeprowadzonego doświadczenia, które przeprowadziłem w laboratoriach PJC, gdzie odbywałem staż naukowy we Francji w 1963 roku. Dla zmiennych wartości podrzutu mierzono prędkość materiału na sicie przedstawiając wyniki w tablicach 11, 12, 13, 14.

Tablica 11

Prędkość pomierzona dla  $u = 3,2$

v pomierzone m/sek								
0,17	0,175	0,181	0,179	0,185	0,192	0,183	0,182	0,189
0,18	0,184	0,174	0,181	0,185	0,189	0,19	0,19	0,191
0,195	0,184	0,19	0,179	0,189	0,184	0,19	0,194	0,195

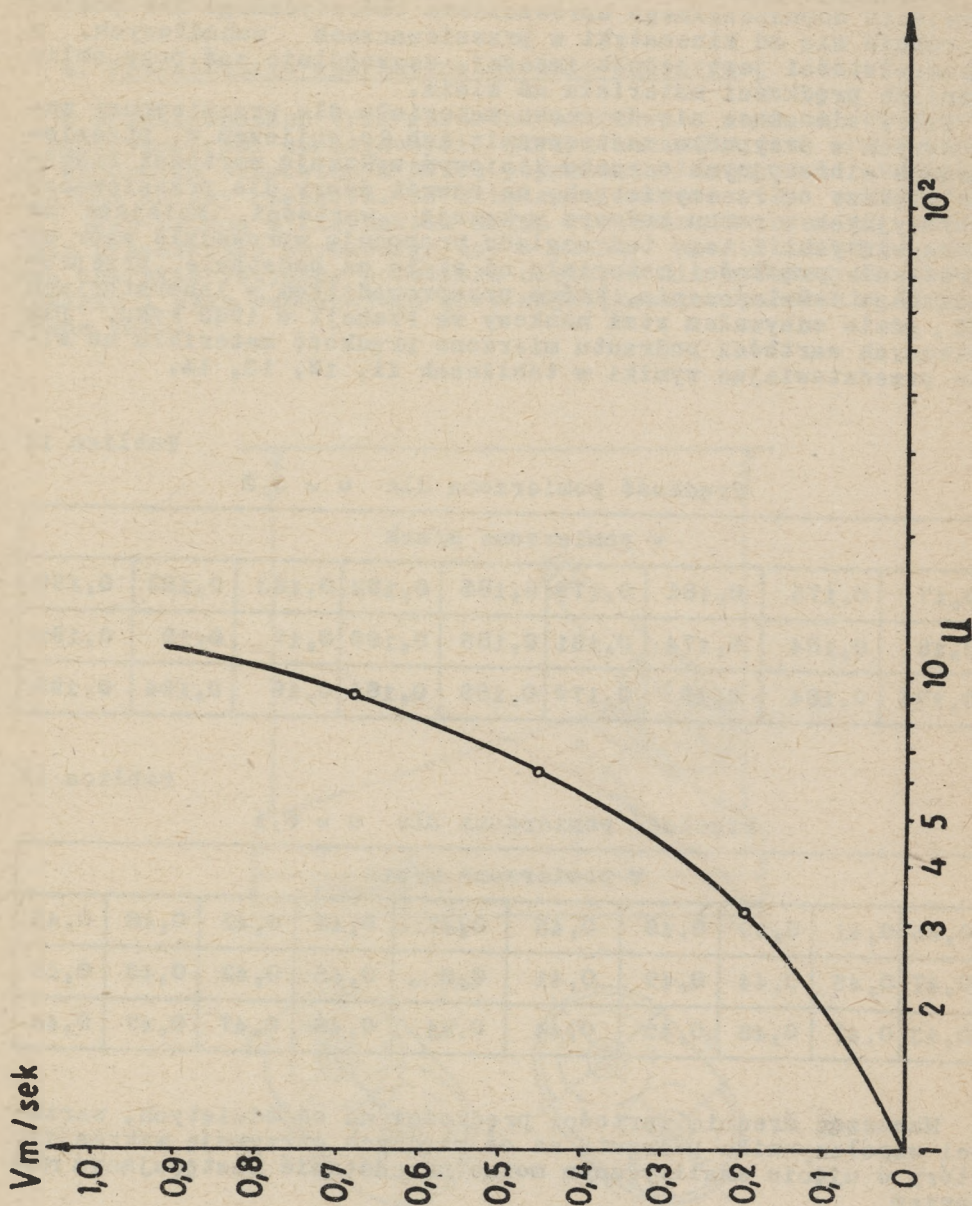
Tablica 12

Prędkość pomierzona dla  $u = 6,1$

V pomierzone m/sek									
0,45	0,41	0,39	0,49	0,45	0,47	0,42	0,42	0,48	0,45
0,47	0,45	0,44	0,49	0,41	0,5	0,45	0,42	0,43	0,45
0,43	0,47	0,48	0,43	0,44	0,41	0,48	0,47	0,47	0,44

Nanosząc średnie wartości prędkości na oś odciętych, wartości współczynnika podrzutu na oś rzędnych otrzymuje wykres 13, który w ujęciu analitycznym można przedstawić następującym równaniem

$$v = 0,53 \frac{g}{\omega} e^{0,1u} (u - 1) \sin \gamma \quad (35)$$



Rys. 13. Prędkość w zależności od wskaźnika podrzutu dla przeslewaczy wibracyjnych o ruchu liniowym



Prędkość pomierzona dla  $u = 8,9$ 

V pomierzone m/sek									
0,61	0,62	0,66	0,59	0,71	0,69	0,65	0,72	0,72	0,67
0,66	0,69	0,65	0,72	0,70	0,69	0,66	0,65	0,63	0,69
0,71	0,70	0,64	0,64	0,66	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64

Tablica 14

Wyniki obliczeń

u	$V_{\text{sr}}$	S	Sx	Przedział ufności		
3,2	0,185	0,0065	0,0013	0,181	<0,185	<0,188
6,1	0,45	0,029	0,0052	0,435	<0,45	<0,465
8,9	0,67	0,034	0,006	0,652	<0,67	<0,688

Charakter powyżej podanej zależności wiąże się z tym, że dla tej samej wielkości podrzutu przy zmiennej prędkości katowej i zmiennej wielkości kąta  $\gamma$ , pomierzone prędkości są różne. Analityczne ujęcie tych zależności uwzględni te parametry, tzn. prędkość katowa i kąt nachylenia wahaczy rzeszota.

## 5. Wpływ wilgoci na prędkość materiału na sicie

### 5.1. Badania dla węgla

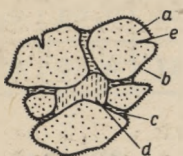
Węgiel w pokładzie zawiera pewną ilość wilgoci higroskopijnej i przemijającej, które w sumie dają wilgoć całkowitą. W węglach kamiennych Zagłębia Górnośląskiego zawartość wilgoci całkowitej waha się w bardzo szerokich granicach od 2% (na kop. Gliwice) do około 23% (na kop. Siersza). Jest ona związana ze stopniem uwęglenia tych węgli. Część wilgoci przemijającej można usunąć na powietrzu. Przy suszeniu węgla w laboratorium w temperaturze około 25°C do stałego ciężaru (wg Polskich Norm) węgiel traci wilgoć przemijającą, co stanowi zazwyczaj więcej niż połowę wilgoci całkowitej.

Tę wilgoć nazywamy wilgocią węgla powietrzno-suchego, w którym pozostała również cała wilgoć higroskopijna. W zasadzie zawartość wilgoci higroskopijnej jest wartością stałą dla danego węgla i nie możemy jej usunąć susząc węgiel na powietrzu - w warunkach naturalnych.

Oprócz wilgoci całkowitej surowego węgla podczas mechanicznego mokrego wzbogacania, węgiel przyjmuje wilgoć dodatkową

(taka wilgoć może również pochodzić z opadów atmosferycznych).

Ze względu na sposób zatrzymywania wilgoci przez węgiel można wyróżnić następujące rodzaje wilgoci (rys. 14):



Rys. 14. Sposób związania wody przez węgiel

- a) wilgoć wewnętrzna (absorpcyjna) umieszczona w mikroporach i mikrokapilarach w całej masie węgla,
- b) wilgoć kapilarna znajdująca się w kapilarach i pęknięciach substancji węglowej,
- c) wilgoć absorpcyjna tworząca cienki film na powierzchni ziarn i większych kapilar,
- d) wilgoć międzyziarnowa znajdująca się albo w kapilarach utworzonych przez dwa ziarna, albo w przestrzeniach pustych utworzonych przez kilka stykających się ziarn,

- e) wilgoć adhezyjna przylegająca w formie otoczki do powierzchni ziarn lub zespołu ziarn.

Wilgoć a i b stanowi wilgoć węgla powietrzno - suchego, to jest wilgoć przemijającą. Wilgoć d i zazwyczaj e jest pochodzenia obcego (nabyta).

Wilgoć z węgla można usunąć całkowicie przez suszenie go w temperaturze 108°C. Wilgoć d i e oraz częściowo c można usunąć działaniem mechanicznym lub fizykochemicznym.

Ze wstępnych obserwacji wynika, że prędkości materiału suchego jest większa od prędkości materiału mokrego. Stwierdzenie to jest słuszne dla materiału, w którym występuje klasa 15-0 mm. W przypadku, gdy klasa 15-0 mm jest wcześniej wydzielona, różnice w prędkościach nie przekraczają błędów pomiaru. W tym przypadku trudno mówić o wpływie wilgoci na prędkość. W celu udokumentowania powyższego zjawiska przeprowadzono doświadczenia na różnych typach węgla i innych kopalinach w klasie 80-0 mm.

Badania przeprowadzono na przesiewaczach wahadłowych i wiracyjnych, mierząc prędkość materiału przy zmiennej wilgoci.

5.1.1. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 1,85% i wilgoci powierzchniowej (przemijającej) 13,3% podano w tablicy 15

Tablica 15

Czas przesuwania się materiału dla Wp = 13,3%

t sek 10,7 10,9 10,1 10,5 11 10,8 11,1 10,7 10,9 10,7 10,8										
średnia wartość - 10,6 sek					przedział ufności					
odchylenie standardowe 0,333					10,29 sek < 10,6 sek < 10,91 sek					
błąd całkowity pomiaru 0,104					0,184 m/sek < 0,193 m/sek < 0,199 m/sek					



5.1.2. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 1,83% i wilgoci powierzchniowej 18,2% przedstawia tabl. 16.

Tablica 16

Czas przesuwania się materiału dla  $W_p = 18,2\%$

t sek	12,2	12,2	11,9	12,2	11,8	12,1	11,9	11,9	12,4	12,0	11,8
średnia wartość -	12,04 sek					przedział ufności					
standardowe odchylenie	0,64					11,4 sek < 12,04 sek < 12,6 sek					
całkowity błąd pomiaru	0,2					0,164 m/sek < 0,17 m/sek < 0,177 m/sek					

5.1.3. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 1,83% i wilgoci powierzchniowej 23,9% podano w tabl. 17

Tablica 17

Czas przesuwania się materiału dla  $W_p = 23,9\%$

t sek	9,3	9,1	8,9	9,1	8,9	9,2	8,9	9,3
średnia wartość	9,1 sek							
standardowe odchylenie	0,55							
całkowity błąd pomiaru	0,2							
				przedział ufności				
				8,5 sek < 9,11 sek < 9,7 sek				
				0,208 m/sek < 0,222 m/sek				
				0,237 m/sek				

5.1.4. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 3,8% i wilgoci powierzchniowej 10,7% podano w tabl. 18.

Tablica 18

Czas przesuwania się materiału dla  $W_p = 10,7\%$

t sek	10,8	11,5	11,8	11,0	10,7	10,1	11,8	12,1
t sek	11,4	11,3	11,6	11,4				
średnia wartość -	11,35 sek							
standardowe odchylenie	0,44							
całkowity błąd pomiaru	0,13							
				przedział ufności				
				10,96 sek < 11,35 sek < 11,74 sek,				
				0,433 m/sek < 0,45 m/sek				
				< 0,467 m/sek				

5.1.5. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 3,8% i wilgoci powierzchniowej (przemijającej) 18,3% podano w tabl. 19

Tablica 19

Czas przesuwania się materiału dla Wp = 18,3%

t sek	13,2	14,1	13,1	15,1	14,2	14,8	13,9	13,5	14,9	14,2
średnia wartość - 14,18 sek standardowe odchylenie 0,54 całkowity błąd pomiaru 0,17	przedział ufności 13,67 sek < 14,18 sek < 14,68 sek, 0,348 m/sek < 0,35 m/sek < 0,305 m/sek									

5.1.6. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 3,8% i wilgoci powierzchniowej przemijającej 31,5% podano w tabl. 20

Tablica 20

Czas przesuwania się materiału dla Wp = 31,5%

t sek	10,2	9,8	10,8	11,5	11,3	10,9	11,4	9,9
średnia wartość - 10,8 sek standardowe odchylenie 0,68 całkowity błąd pomiaru 0,24	przedział ufności 10,08 < 10,8 sek < 11,52 sek 0,44 m/sek < 0,471 m/sek < 0,508 m/sek							

5.1.7. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 10,2% i wilgoci powierzchniowej 16,3%, podano w tabl. 21

Tablica 21

Czas przesuwania się materiału

t sek	9,7	9,9	9,8	9,6	9,7	9,0	9,9	10,1	9,7
średnia wartość - 9,7 sek standardowe odchylenie - 0,29 całkowity błąd pomiaru 0,097	przedział ufności 9,41 sek < 9,7 sek < 9,99 sek 0,205 m/sek < 0,211 m/sek < 0,818 m/sek								



5.1.8. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci higroskopijnej 10,2% i wilgoci powierzchniowej 24,7% podano w tablicy 22

Tablica 22

Czas przesuwania się materiału

t sek	11,3	11,5	11,5	10,9	11,3	11,7	10,8	11,3	11,4
średnia wartość - 11,3 sek standardowe odchylenie 0,55 całkowity błąd pomiaru 0,18	przedział ufności 10,73 sek < 11,3 sek < 11,84 sek, 0,171 m/sek < 0,179 m/sek < 0,19 m/sek								

## 5.2. Analiza wyników

Związek między wilgocia, a prędkością przedstawia wykres na rys. 15. Wartości rzędnej przedstawiają stosunek prędkości materiału przy różnej wilgoci do prędkości materiału suchego. Na odciętej podano wartości wilgoci całkowitej.

Wykres 15 uwidacznia występowanie minimum prędkości. Wartość tego minimum występuje przy różnych wartościach wilgoci. Wilgoć nadmierna, przy której prędkość przesiewanego materiału jest najmniejsza nazywana jest w tej pracy krytyczną wilgocia nadmierną. Wilgocia nadmierną nazywam wilgoć całkowitą pomniejszoną o wilgoć krytyczną.

$$W_n = W_c - W_k \quad (36)$$

czyli

$$W_n = W_c - (1,83 W_h + 2,2) \quad (37)$$

oznaczenia:

$W_h$  - wilgoć higroskopijna,

$W_k$  - wilgoć krytyczna,

$W_c$  - wilgoć całkowita,

$W_n$  - wilgoć nadmierna.

W naszym przypadku dla powyższych wartości wilgoć n wynosi:

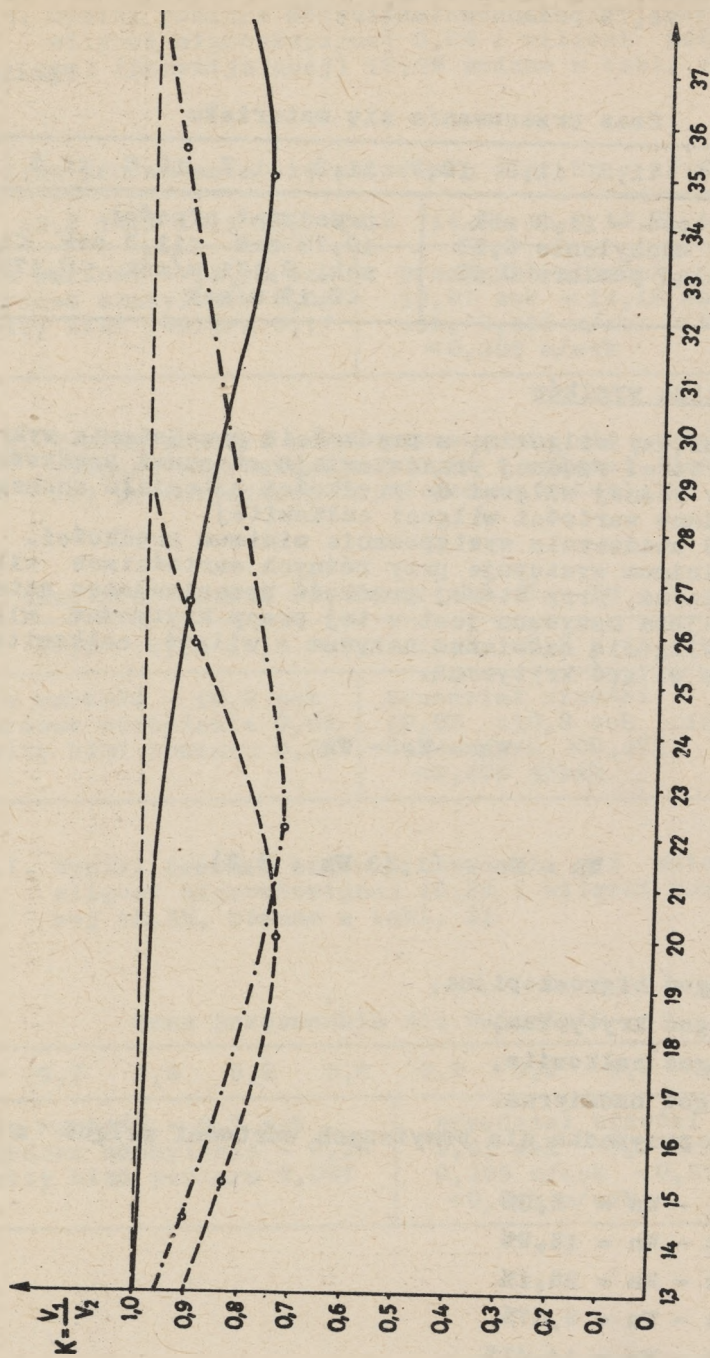
ad 5.1.1 -  $W_n = 5,3\%$

ad 5.1.2 -  $W_n = 12,9\%$

ad 5.1.3 -  $W_n = 26,1\%$

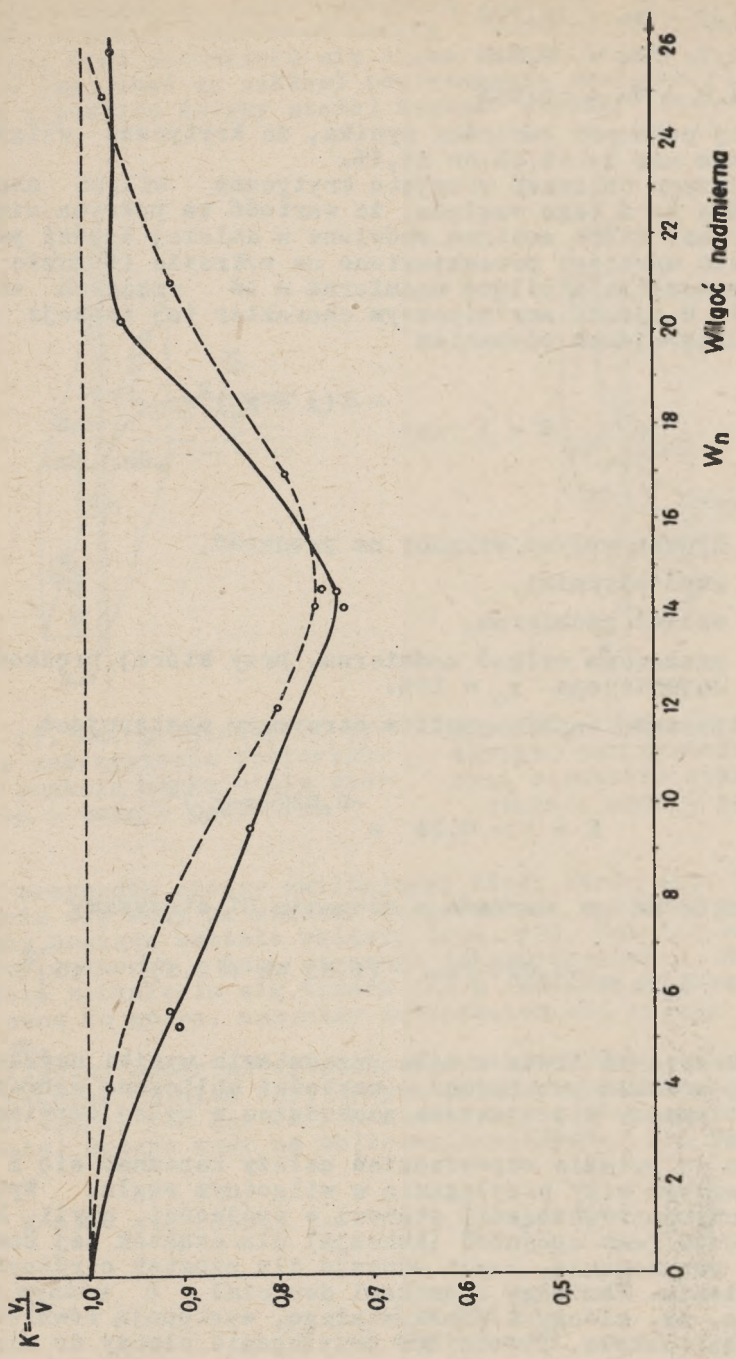
ad 5.1.4 -  $W_n = 9,57\%$

ad 5.1.5 -  $W_n = 14,47\%$



Wc wilgoć całkowita  
 Rys. 15. Zależność między wilgocą całkowitą a prędkością





Rys. 16. Zależność między wilgotnością nadmierną a prędkością

ad 5.1.6 -  $W_n = 20,17\%$

ad 5.1.7 -  $W_n = 5,64\%$

ad 5.1.8 -  $W_n = 14,04\%$

Z wyżej podanych wartości wynika, że krytyczna wilgoć nadmierna waha się do 12,9% do 14,7%.

Do dalszych obliczeń przyjęto krytyczną wilgoć nadmierną równą 15% a to z tego względu, że wartość ta pokrywa się z wynikami badań, które zostaną omówione w dalszej części pracy.

Powyższe wartości przedstawiono na wykresie 16 gdzie oś odciętych przedstawia wilgoć nadmierną a oś rzędnych stosunek prędkości. W ujęciu analitycznym charakter tej funkcji możemy opisać następującym równaniem

$$K = 1 - ae^{-\alpha(x - x_0)^2} \quad (38)$$

gdzie:

$K$  - liczba wpływu wilgoci na prędkość,

$a, \alpha$  - współczynniki,

$x$  - wilgoć nadmierna,

$x_0$  - graniczna wilgoć nadmierna, przy której prędkości jest najmniejsza  $x_0 = 15\%$ .

Po obliczeniu współczynników otrzymamy następującą postać wzoru

$$K = 1 - 0,24 e^{-0,027(x-x_0)^2} \quad (39)$$

Podstawiając za  $x$  wartość z równania 37 otrzymamy

$$K = 1 - 0,24 e^{-0,027 \left\{ [W_c - (1,83 W_h + 2,2)] - 15 \right\}^2} \quad (40)$$

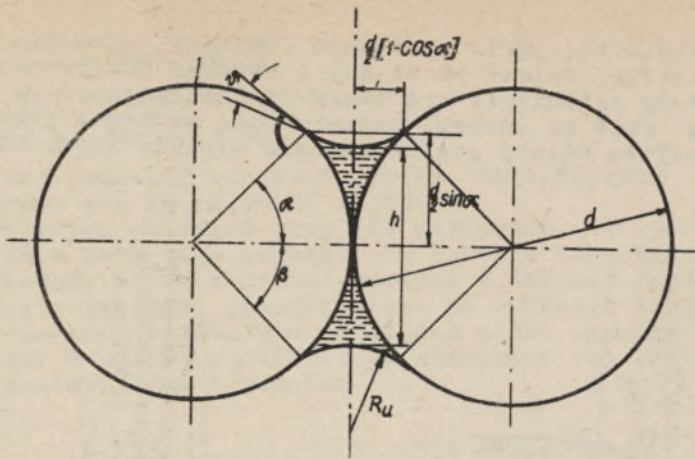
Na wykresie 16 linia ciągła przedstawia wyniki uzyskane z pomiarów, a linia przerywana - wartości obliczone wzorem 40.

Czym tłumaczy się zjawiska zachodzące w wyżej omawianym zagadnieniu?

Aby na to pytanie odpowiedzieć należy zapoznać się z zagadnieniem wpływu siły przylegania w wilgotnym węglu. Wytrzymałość cieczy na rozciąganie stanowi o spójności, czyli kohezji cieczy. Czym jest spójność (kohezja) dla cząstek tej samej cieczy, tym przyleganie, czyli adhezja dla cząstek o różnym stanie skupienia. Pomiędzy cząstkami dwu ciał o różnym stanie skupienia, np. cieczy i ciała stałego, występują również siły międzycząsteczkowe, powodujące przyleganie cieczy do ciała stałego. Siły te nazywamy siłami adhezyjnymi.







Rys. 19. Ciecz kapilarna w miejscu styku dwóch kulistwych ziarn

oznaczenia:

- K - siła przylegania, dyn,
- $\theta$  - średnia ziarna, cm,
- $R_1, R_2$  - promień zakrzywionej powierzchni cm,
- $\sigma$  - napięcie powierzchniowe, dyn/cm,
- $\psi$  - kąt graniczny (zetknięcia),
- $\alpha$  - kąt określający wielkość menisku w zależności od zawartości wilgoci (rys. 19).

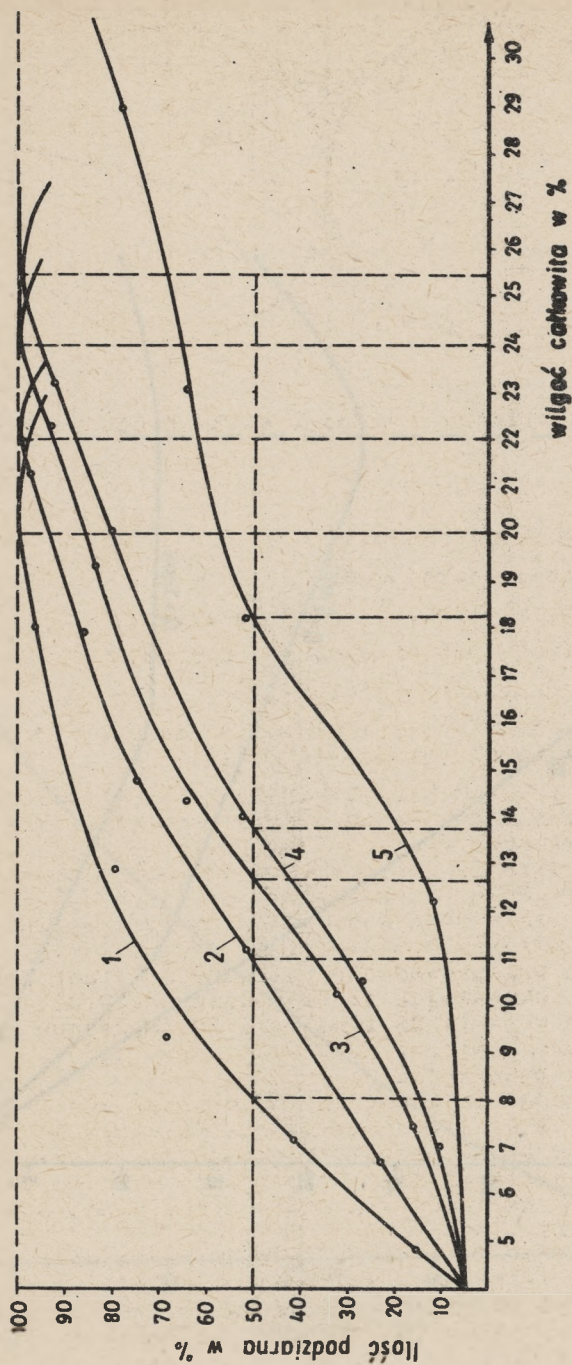
Z obserwacji procesu klasyfikacji na sitach można przewidywać, że wielkość sił przylegania jest proporcjonalna do otrzymanej ilości podziarna przy zmiennej wilgoci, tzn. że maksymalnej ilości podziarna i określonej wilgoci odpowiada maksymalna siła przylegania (wprowadzam pewne uproszczenie podporządkowując wszystkie siły występujące w tym zjawisku siłom przylegania). W dalszym ciągu tezę tę postaram się uzasadnić.

Doświadczenia przeprowadzono na różnych typach węgla i przy zmiennej wilgoci określając ilość podziarna. Wyniki tych doświadczeń podano w tabl. 23 i na rys. 20. Maksimum krzywej na rys. 20, określa nam wilgoć całkowitą, przy której występuje największa ilość podziarna.

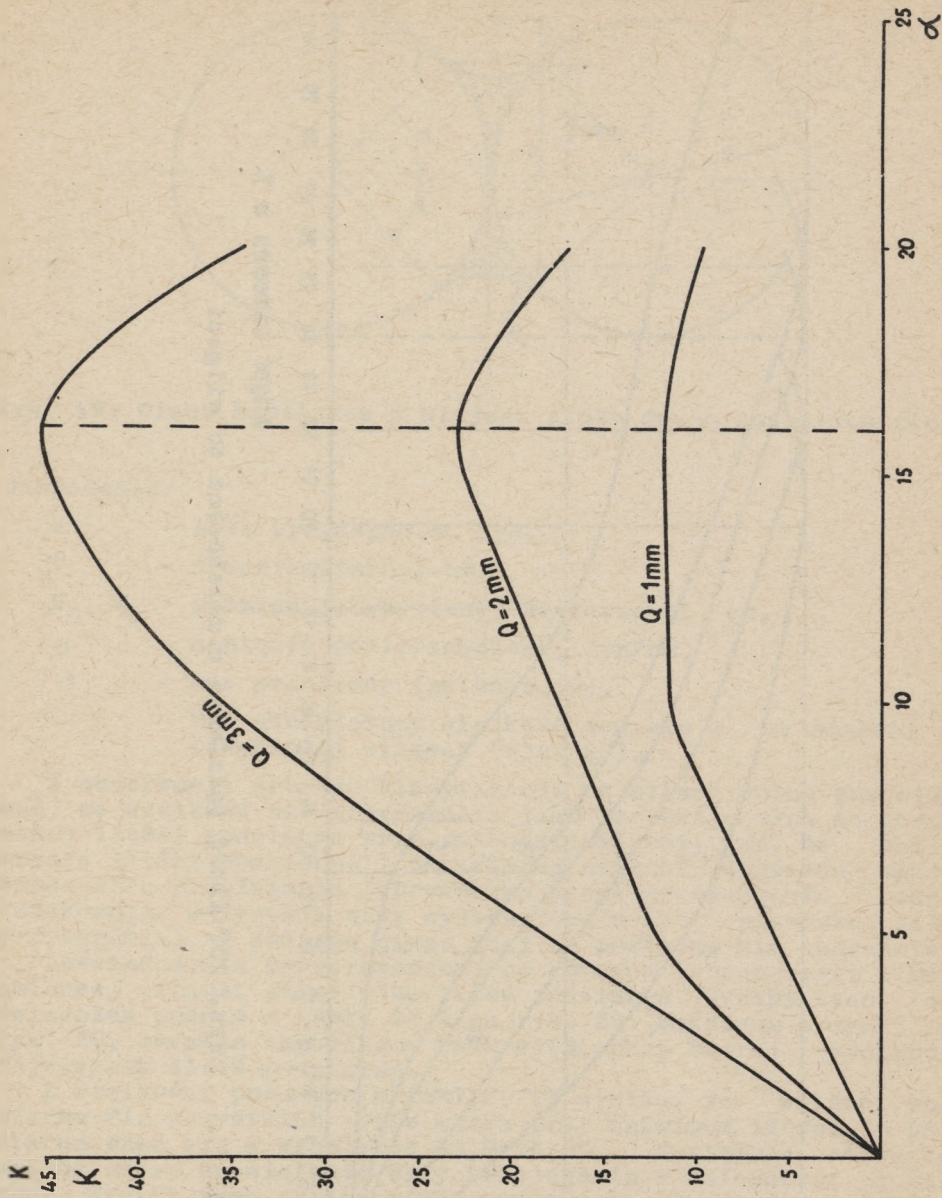
Z wielkości podanych w tablicy 24 wynika, że wilgoć nadmierna dla wszystkich typów węgla przy maksimum ilości podziarna waha się w granicach 13,9-16,0%. Następnie obliczono według wzoru 41 wielkość siły przylegania w zależności od wilgoci. Wyniki tych obliczeń dla ziarn 1 mm, 2 mm, 3 mm podano w tablicy 25 i na rys. 21.

Z analizy wykresu 21 wynika, że największe siły przylegania występują przy  $\alpha = 16,5^{\circ}$ , tj. kącie określającym wielkość menisku w zależności od wilgoci. Oznacza to, że dla wilgoci nadmiernej wynoszącej około 15% występuje największa siła przylegania.



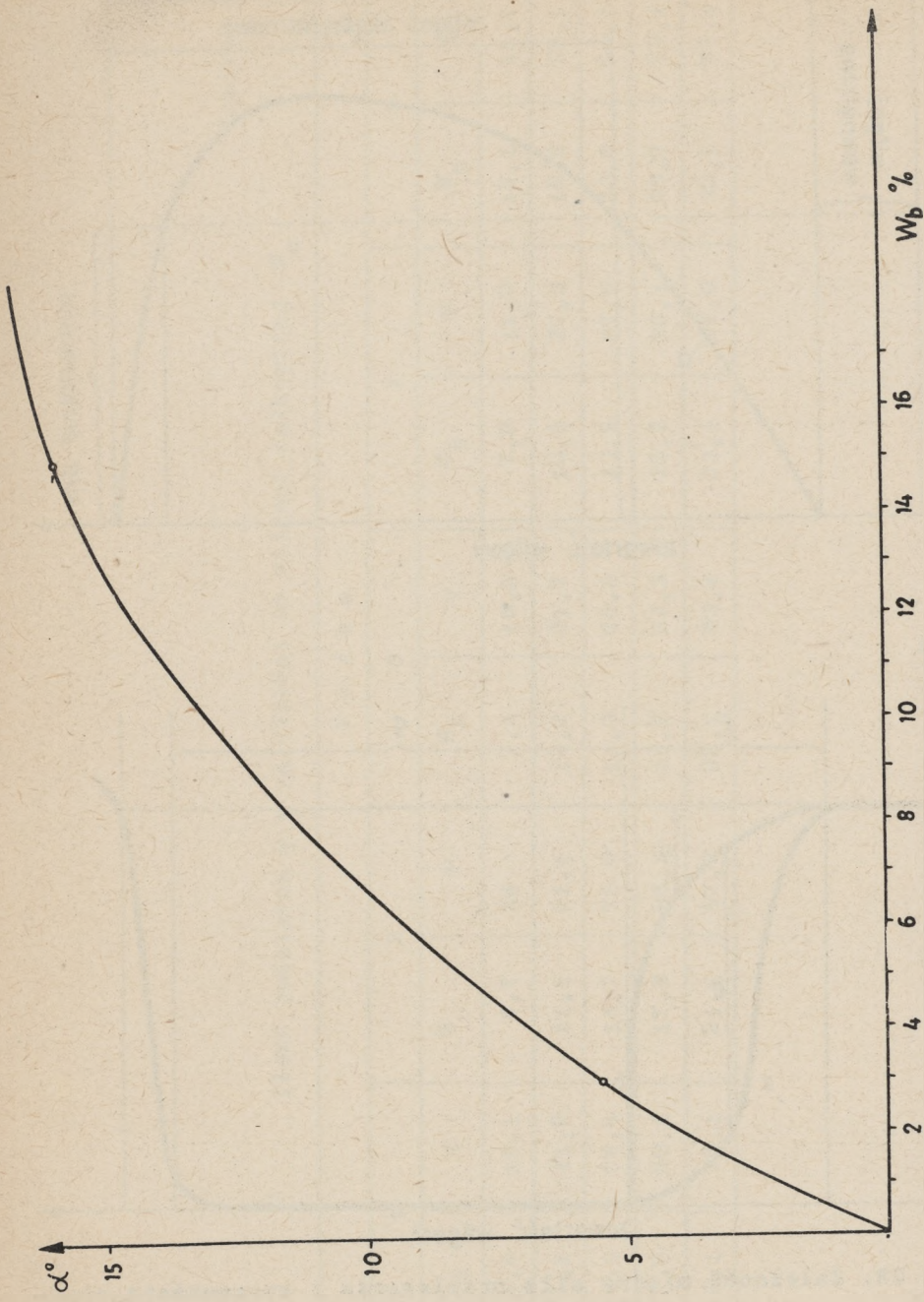


Rys. 20. Ilość podziarna w zależności od wilgoci

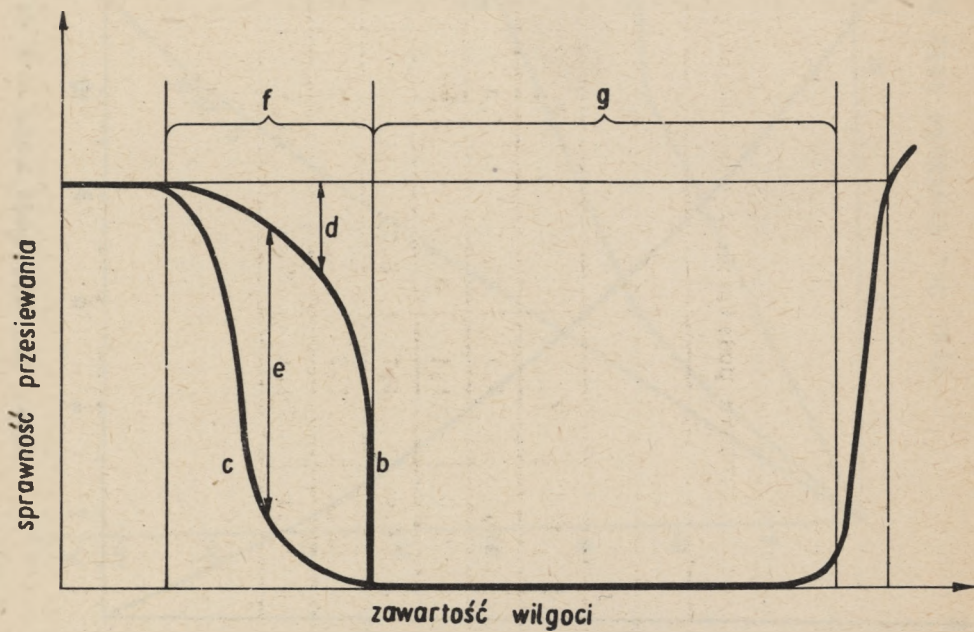
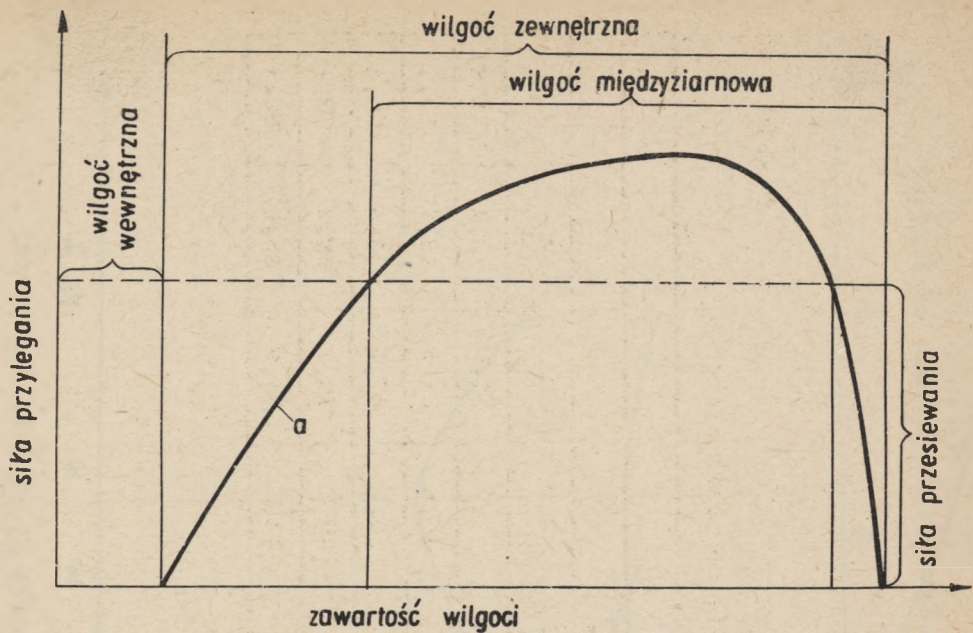


Rys. 21. Wielkość siły przylegania w zależności od wilgoci





Rys. 22. Wielkość kąta  $\alpha$  w zależności od wilgoci nadmiernej



Rys. 23. Zależność między siłą przylegania i sprawnością przesiewania a wilgocią



Ilość podziarna  $\varphi$  w zależności od wilgoci całkowitej  $W_c$

1		2		3		4		5	
		$W_c$	$\varphi$	$W_c$	$\varphi$	$W_c$	$\varphi$	$W_c$	$\varphi$
4,9	16,1	6,7	24	7,4	16,5	7,0	11,0	12,1	11,1
7,1	41,0	11,1	51,1	10,2	31,7	10,5	27,3	18,2	52,1
9,3	69,4	14,7	75,0	14,3	65,3	13,9	57,0	23,6	64,1
12,8	80,2	17,9	86,2	19,2	84,3	20,2	80,1	29,2	79,1
18,1	96,1	21,1	97,0	22,1	93,4	23,1	92,0	33,6	89,4

Próba

Wilgoć higroskopijna, całkowita i nadmierna

Próby	W i l g o ć %			
	higrosko- pijna	całkowita	nadmierna dla 100%	nadmierna dla 50%
1	1,9	20	14,4	2,4
2	3	22	14,3	3,4
3	3,8	24	14,9	3,4
4	4	25,5	16	4,4
5	10,2	36,1	15,3	2,5

Tablica 25

Wielkość siły przylegania K w zależności od  $\alpha$ 

mm	K dyn			
	$\alpha$			
	5	10	15	20
1	5,7	11,5	11,7	9,8
2	12,4	17,28	22,68	17,1
3	18,3	35,4	44,9	34,5

Rys. 22 przedstawia wielkości menisku dla obliczenia siły przylegania. Krzywa na tym wykresie jest parabolą o następującym równaniu

$$\alpha = 2,96 \sqrt{2 \left\{ [W_c - (1,83 Wh + 2,2)] - 1 \right\}} \quad (44)$$

Rysunek 23 przedstawia wpływ zawartości wilgoci w drobnych ziarnach na wielkość siły przylegania.

W materiale o jednakowej wielkości ziarn kąt  $\alpha$  jest mniejszy od  $45^\circ$ , gdyż przy  $\alpha$  większym woda przeciekłaby między szczelinami.

Doprowadzając do masy ziarn większą ilość wody, uzyskuje się zapełnienie przestrzeni międzyziarnowej i wówczas przyciąganie maleje.



Z analizy przeprowadzonych doświadczeń wynika, że przy krytycznej wilgoci nadmiernej występują największe siły przylegania. Siły te powodują zlepianie się materiału, utrudniając przemieszczanie się ziarn, wskutek czego zmniejsza się prędkość materiału na sicie.

### 5.3. Badania innych kopalin

#### 5.3.1. Żwir

Żwirry są to skały złożone z drobnych otoczków o średnicy mniejszej niż 2 cm. W skład żwirów wchodzi odłamki różnych skał. Kształt otoczków żwirzastych bywa różny zależnie od rodzaju skały, w której powstały. Najczęstsze są formy owalne. Ciężar właściwy około 2,6 g/cm<sup>3</sup>.

Doświadczenia przeprowadzono dla materiału suchego i wilgotnego. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci powierzchniowej 10,2% podano w tablicy 26.

Tablica 26

Czas przesuwania się materiału

t sek	5,8	5,7	5,8	6,1	6,0	5,9	6,1	6,0	5,8	5,6
	5,9	5,8	5,6	5,9	5,9	6,0	6,0	6,1	6,3	6,0

Tablica 27

Czas przesuwania się materiału

t sek	5,5	5,7	5,6	5,9	6,0	5,3	5,7	5,9	6,1	5,9
	5,3	5,3	5,9	6,3	5,7	4,9	5,4	6,1	5,9	5,6

Tablica 28

Czas przesuwania się materiału

t sek	6,5	6,1	6,4	6,9	7,1	6,6	5,9	6,0	6,5	6,7
	6,9	7,2	6,2	6,5	6,1	5,8	6,2	6,7	6,8	7,0

Czas przesuwania materiału

t sek	6,1	6,5	6,3	6,7	6,6	7,0	6,9	6,4	6,5	6,1
	5,9	6,3	6,5	7,0	6,9	6,2	6,4	6,1	5,8	6,0

Średnia wartość pomiaru

$$\bar{x} = \frac{118,1}{20} = 5,9$$

Standardowe odchylenie

$$s = \sqrt{\frac{0,589}{19}} = \sqrt{0,031} = 0,175$$

Całkowity błąd pomiaru

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,175}{\sqrt{n}} = \frac{0,175}{4,4} = 0,039$$

przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$5,78 \text{ sek} < 5,9 \text{ sek} < 6,017 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość otrzymamy

$$0,167 \text{ m/sek} < 0,17 \text{ m/sek} < 0,172 \text{ m/sek}$$

Stosunek prędkości materiału wilgotnego (Wp = 10,2%) do prędkości materiału suchego

$$K = \frac{0,17}{0,22} = 0,77.$$

### 5.3.2. Magnezyt

Magnezyt jest minerałem, który krystalizuje w układzie trygonalnym.

Barwa magnezytu jest zwykle żółta, białoszara i brunatna. Ciężar właściwy około 2,9 g/cm<sup>3</sup>.



Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci powierzchniowej granicznej, która wg badania autora wynosi około 9%, podano w tabelicy 27. Średnia wartość pomiaru wynosi

$$x = \frac{114}{20} = 5,7$$

Standardowe odchylenie

$$s = \sqrt{\frac{2,09}{19}} = \sqrt{0,11} = 0,33$$

Całkowity błąd pomiaru

$$S_{\bar{x}} = \frac{0,33}{4,4} = 0,075$$

przedział ufności dla tej wartości przy współczynniku przewodzenia 0,977 wynosi

$$5,48 \text{ sek} < 5,7 \text{ sek} < 5,92 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość otrzymamy

$$0,169 \text{ m/sek} < 0,178 \text{ m/sek} < 0,182 \text{ m/sek}$$

Stosunek prędkości materiału wilgotnego ( $W_p = 8,5\%$ ) do prędkości materiału suchego

$$K = \frac{0,178}{0,22} = 0,8$$

### 5.3.3. Fluoryt

Fluoryt jest minerałem, który krystalizuje w układzie regularnym, tworząc często piękne kryształy w kształcie sześciątów.

Fluoryt najczęściej jest zabarwiony na fioletowo, zielono lub żółto. Ciężar właściwy około  $3,2 \text{ g/cm}^3$ . Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci powierzchniowej granicznej, (która wg badań autora wynosi  $8,0\%$ ), podano w tabelicy 28. Średnia wartość pomiaru

$$\bar{x} = \frac{130,1}{20} = 6,5$$

Standardowe odchylenie

$$s = \sqrt{\frac{3,04}{19}} = \sqrt{0,16} = 0,4$$

Całkowity błąd pomiaru

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,4}{\sqrt{n}} = \frac{0,4}{4,4} = 0,091$$

przy współczynniku przewidywania 0,977 przedział ufności będzie w granicach

$$6,23 \text{ sek} < 6,5 \text{ sek} < 6,77 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość otrzymamy

$$0,149 \text{ m/sek} < 0,154 \text{ m/sek} < 0,16 \text{ m/sek}$$

Stosunek prędkości materiału wilgotnego ( $Wp = 8,0\%$ ) do prędkości materiału suchego  $K = \frac{0,154}{0,21} = 0,73$ .

#### 5.3.4. Baryt

Baryt krystalizuje w układzie rombowym w postaci różnorodnie wykształconych kryształów. Barwa barytu jest przeważnie szara lub biała - rzadziej różowa, żółta lub błękitna. Ciężar właściwy około  $4,4 \text{ g/cm}^3$ .

Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału dla wilgoci powierzchniowej granicznej, która wg badań autora wynosi około 6%, podano w tabelicy 29. Średnia wartość pomiaru

$$x = \frac{128,1}{20} = 6,4$$

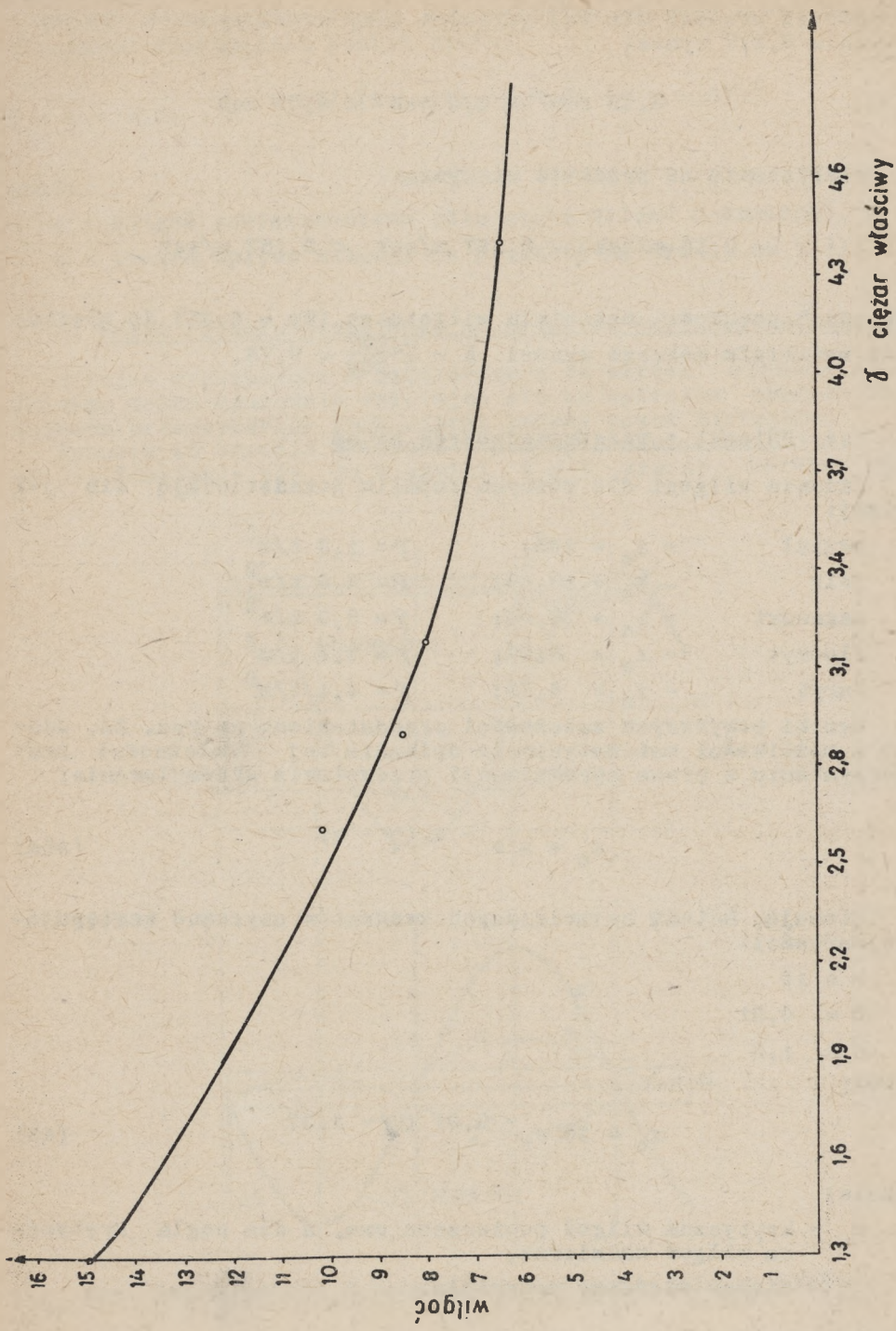
Standardowe odchylenia

$$s = \sqrt{\frac{2,66}{19}} = \sqrt{0,14} = 0,37$$

całkowity błąd pomiaru

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,37}{\sqrt{n}} = \frac{0,37}{4,4} = 0,084$$





Rys. 24. Zależność między ciężarem włściwym a wilgocią

przedział ufności dla tej wartości przy współczynniku przewidywania 0,977 wynosi

$$6,15 \text{ sek} < 6,4 \text{ sek} < 6,65 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość otrzymamy

$$0,15 \text{ m/sek} < 0,157 \text{ m/sek} < 0,162 \text{ m/sek}$$

Stosunek prędkości materiału wilgotnego ( $Wp = 6,5\%$ ) do prędkości materiału mokrego wynosi  $K = \frac{0,157}{0,208} = 0,75$ .

#### 5.4. Wnioski z przeprowadzonych badań

Badania wilgoci dla różnych kopalin przedstawiają się jak niżej:

węgiel	- $x_0 = 15\%$ ;	$\gamma = 1,3 \text{ t/m}^3$
żwir	- $x_0 = 10,2\%$ ;	$\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3$
magnezyt	- $x_0 = 8,5\%$ ;	$\gamma = 2,9 \text{ t/m}^3$
fluoryt	- $x_0 = 8,0\%$ ;	$\gamma = 3,2 \text{ t/m}^3$
baryt	- $x_0 = 6,5\%$ ;	$\gamma = 4,4 \text{ t/m}^3$

Wyniki powyższych zależności przedstawiono na rys. 24. Jedną z możliwości matematycznego opisanie tej zależności przy korzystaniu z prawa aproksymacji przedstawia sformułowanie:

$$x_0 = a e^{-b(\gamma - c)} \quad (45a)$$

Stosując metodę najmniejszych kwadratów uzyskano następujące wartości:

$$a = 15$$

$$b = 0,31$$

$$c = 1,3$$

czyli

$$x_0 = 15 e^{-0,31(\gamma - 1,3)} \quad (45)$$

gdzie:

$x_0$  - krytyczna wilgoć powierzchniowa, a dla węgla krytyczna wilgoć nadmierna,

$\gamma$  - ciężar właściwy materiału.



Jeżeli do równania 39 za  $x_0$  wstawimy wartość zrównania 45 otrzymamy następującą postać wzoru:

$$K = 1 - 0,24 \cdot e^{-0,027 [x - 15e - 0,31 (\gamma - 1,3)]^2} \quad (46)$$

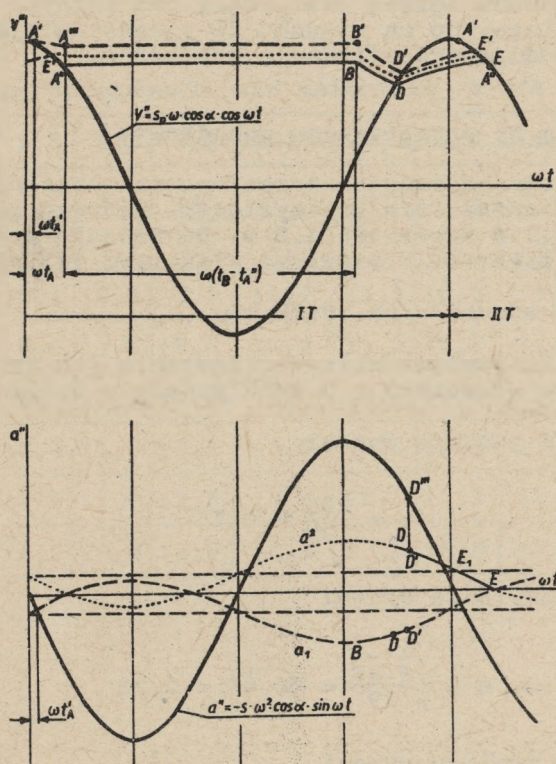
gdzie:

- $x$  - wilgoć powierzchniowa (dla węgla wilgoć nadmierna),
- $K$  - liczba wpływu wilgoci na prędkość materiału na sicie.

### 6. Wpływ ciężaru właściwego na prędkość materiału na sicie

Różnice występujące w prędkościach na skutek ciężaru właściwego można uzasadnić opierając się na wykresie charakteryzującym prawdopodobny ruch ziarna podany przez Dietrycha.

Rysunek 25 określa prędkość i przyspieszenie materiału na sicie. Przyjmuje się, że w chwili  $t = 0$  ziarno porusza się



Rys. 25. Prędkość i przyspieszenie materiału na sicie

razem z sitem. Po upływie czasu  $t_A$  rozpoczyna się poślizg ziarna w przód, który trwa do chwili  $t_A$ . Od punktu  $A'$  do  $A''$  prędkości ziarna są większe od prędkości sita. Od chwili  $t_A$ ; gdy zaczyna się podrzut, ziarno posuwa się ze stałą prędkością poziomą, która jest równa poziomej składowej prędkości, jaką ziarno miało w chwili  $t_A$  - odcinek  $A'' B'$ . Po upływie czasu, który odpowiada odcinkowi  $A''' B'$  ziarno znajduje się na sicie i porusza się dalej z poślizgiem względem sita w kierunku zasadniczego ruchu. Ruch poślizgu rozpoczyna się z prędkością określoną dla punktu  $B'$ . Po czym prędkość ta maleje, ruch bowiem jest opóźniony. W chwili odpowiadającej punktowi  $D'$  prędkość ziarna zrówna się z prędkością sita. Ponieważ jednak przyspieszenie sita jest większe od przyspieszenia krytycznego, ruch wspólny ziarna i sita jest niemożliwy i poślizg trwa dalej, lecz z pewnym przyspieszeniem proporcjonalnym do przyspieszenia przedstawionego na wykresie przyspieszeń (krzywa  $a_2$ ) odcinkiem  $DEE_1$ . W chwili określonej na wykresie punktem  $D'$  przyspieszenia ziarna i sita znacznie się różnią (odcinek  $D'D'''$  na wykresie przyspieszeń).

Można przypuszczać, że przebieg prędkości ziarna w drugim okresie będzie zachodził według linii kropkowanej a to dlatego, że współczynnik tarcia jest różny dla różnych materiałów. Istnienie poślizgu, co na rysunku 25 przedstawiają linie  $A' A''$  i  $B' D' E'$ , powoduje zróżnicowanie prędkości.

### 6.1. Badania na przesiewaczu wahadłowym

Badania przeprowadzono na przesiewaczu wahadłowym kopalni "Rozbark", tj. urzędzeniu przemysłowym, którego gabaryty wynoszą: długość 5,2 m szerokość 1,8 m. Do badania średniej prędkości używano materiałów o ciężarze właściwym  $1,3 \text{ g/cm}^3$ ,  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ,  $2,6 \text{ g/cm}^3$ . Wielkość ziarn wynosiła od 10-80 mm.

6.1.1. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału o ciężarze właściwym  $1,3 \text{ t/m}^3$  podano w tablicy 30.

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$x = \frac{293}{30} = 0,76$$

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{1,45}{29}} = \sqrt{0,05} = 0,23$$

całkowity błąd pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,23}{\sqrt{n}} = \frac{0,23}{5,47} = 0,042$$



przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$9,63 \text{ sek} < 9,76 \text{ sek} < 9,89 \text{ sek}$$

Przeliczając na prędkość, otrzymano następujące wartości

$$0,51 \text{ m/sek} < 0,52 \text{ m/sek} < 0,53 \text{ m/sek}$$

W moich rozważaniach przyjąłem, że wzorcowa prędkość jest ta, którą ma materiał suchy o ciężarze właściwym  $1,57 \text{ t/m}^3$ . Prędkość ta wynosiła  $0,499 \text{ m/sek}$  i niewiele różni się od obliczonej analitycznie. Stosunek prędkości materiału o ciężarze właściwym wynoszącym  $1,3 \text{ t/m}^3$  do prędkości wzorcowej

$$Z = \frac{0,52}{0,499} = 1,04$$

Tablica 30

Czas przesuwania się materiału t sek

Materiał o ciężarze właściwym	1,4 t/m <sup>3</sup>	9,5	9,8	9,6	9,3	10,1	9,9	9,7	10,1	9,9	9,7
		9,7	9,8	9,7	9,7	9,9	9,8	10,1	10,0	9,7	9,6
		9,9	9,7	9,6	9,8	9,9	9,7	10,3	9,8	9,6	9,1
	1,8 t/m <sup>3</sup>	11,5	10,1	10,4	9,9	11,7	11,1	10,3	9,8	10,0	11,3
		9,8	9,9	11,0	10,6	10,3	11,2	10,7	11,0	9,7	10,3
		11,1	10,3	10,2	10,2	10,3	10,4	10,3	11,0	9,9	10,7
	2,6 t/m <sup>3</sup>	12,2	13,4	11,9	12,3	13,5	12,0	13,3	11,8	12,6	13,7
		12,8	13,9	11,7	13,3	13,4	12,6	13,2	12,4	14,5	13,5
		14,1	11,9	13,8	12,9	12,4	13,5	13,3	12,2	11,9	11,0

6.1.2. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału o ciężarze właściwym  $1,8 \text{ t/m}^3$  podano w tabelicy 30.

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{315,9}{30} = 10,5$$

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{7,69}{29}} = \sqrt{0,265} = 0,51$$

Całkowity błąd pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,51}{5,47} = 0,093$$

przedział ufności dla tej wartości przy współczynniku przewidywania 0,997 wynosi

$$10,22 \text{ sek} < 10,5 \text{ sek} < 10,78 \text{ sek}$$

przeliczając na prędkość otrzymamy

$$0,47 \text{ m/sek} < 0,48 \text{ m/sek} < 0,5 \text{ m/sek}$$

Stosunek prędkości materiału o ciężarze właściwym  $1,8 \text{ t/m}^3$  do prędkości wzorcowej wynosi

$$z = \frac{0,48}{0,499} = 0,96$$

6.1.3. Wyniki pomiaru czasu przesuwania się materiału o ciężarze  $2,6 \text{ t/m}^3$  podano w tabelicy 30.

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{384}{30} = 12,8$$

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{20,59}{29}} = \sqrt{0,71} = 0,85$$



Całkowity błąd pomiaru wynosi

$$S_{\bar{x}} = \frac{0,85}{5,47} = 0,15$$

przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$12,35 \text{ sek} < 12,8 \text{ sek} < 13,15 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość otrzymamy

$$0,382 \text{ m/sek} < 0,399 \text{ m/sek} < 0,415 \text{ m/sek}$$

Stosunek prędkości materiału o ciężarze właściwym  $2,6 \text{ t/m}^3$  do prędkości wzorcowej wynosi

$$Z = \frac{0,399}{0,499} = 0,799$$

## 6.2. Analiza badań

Analityczne określenie zależności między ciężarem właściwym a prędkością materiału przedstawiono na wykresie 26. Przy przyjęciu zależności liniowej otrzymujemy funkcję następującej postaci

$$Z = 1 - \log(ax + b) \quad (47)$$

gdzie:

a i b - współczynniki,

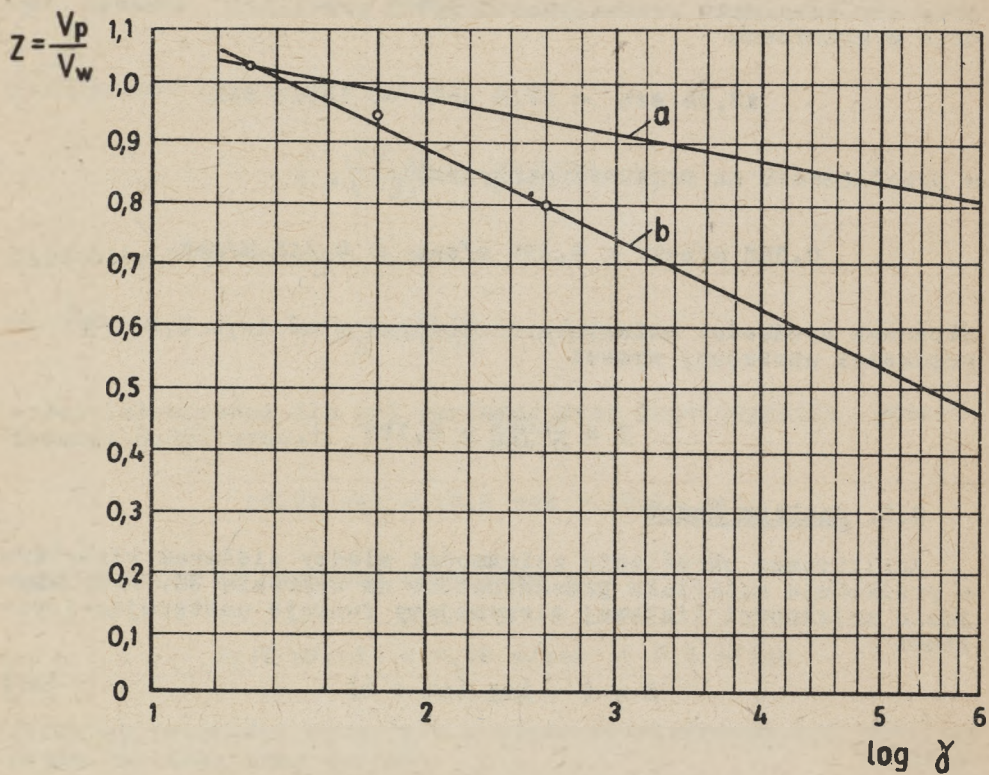
x =  $\gamma'$  - ciężar właściwy.

Równanie tej prostej wyznaczamy metodą najmniejszych kwadratów

$$\min \sum (Z_i - Z(\gamma'_i))^2 = \min f(a, b) \quad (48)$$

$$\frac{\partial f}{\partial a} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = 0$$



a — przesiewacz wibracyjny  
 b — przesiewacz wahadłowy

Rys. 26. Zależność między ciężarem właściwym a prędkością



$$f(a,b) = (1,04 - 1,3a - b)^2 + (0,96 - 1,8a - b)^2 + \\ + (0,799 - 2,8a - b)^2 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = 2(1,04 - 1,3\alpha - \beta)(-1,3) + 2(0,96 - 1,8) - \\ (-1,8) + 2(0,799 - 2,6\alpha - \beta)(-2,6) = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \beta} = 2(1,04 - 1,3\alpha - \beta) + 2(0,96 - 1,8) - \\ + 2(0,799 - 2,6\alpha - \beta) = 0$$

Po rozwiązaniu powyższych równań otrzymałem wielkości dla

$$\alpha \text{ i } \beta \text{ tzn. } \alpha = 0,87, \beta = -0,72$$

Ostateczna forma wzoru dla przesiewaczy wahadłowych, określająca związek między prędkością materiału a ciężarem właściwym przyjmie postać

$$Z = 1 - \log(0,87 \gamma^k - 0,72)$$

### 6.3. Badania na przesiewaczu wibracyjnym

Przeprowadzono badania przesiewaczy dla tego typu w ten sam sposób jak dla przesiewaczy wahadłowych. W wyniku szeregu prób okazało się, że dla materiału o ciężarze właściwym 1,3; 1,8; 2,6 t/m<sup>3</sup> wyniki pomiarów mieściły się w granicach błędu całego pomiaru i dlatego do następnych badań użyto materiału o znacznie wyższym ciężarze właściwym tj. 7,8 t/m<sup>3</sup>. Wyniki pomiaru przesuwania się materiału na sicie podano w tablicy 31.

Tablica 31

Czas przesuwania się materiału dla ciężaru właściwego 7,8 t/m<sup>3</sup>

t sek	13,4	14,1	13,2	12,1	12,8	11,8	12,9	13,6	13,8	13,9
	13,5	14,3	13,9	13,1	12,9	13,5	13,7	13,1	13,6	13,8

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{267}{20} = 13,3$$

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{7,74}{19}} = \sqrt{0,407} = 0,63$$

Całkowity pomiar błędu wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,63}{\sqrt{n}} = \frac{0,63}{4,47} = 0,14$$

przedział ufności dla tej wartości przy współczynniku przewidywania 0,997 wynosi

$$12,9 \text{ sek} < 13,3 \text{ sek} < 13,7 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość otrzymamy

$$0,169 \text{ m/sek} < 0,172 \text{ m/sek} < 0,179 \text{ m/sek}$$

Stosunek prędkości materiału o ciężarze właściwym  $7,8 \text{ t/m}^3$  do prędkości wzorcowej wynosi

$$z = \frac{0,172}{0,23} = 0,75$$

Jak wynika z podanych wyżej wartości oraz z wykresu 27 zależność tę aproksymowano do linii prostej otrzymując empiryczne ujęcie tej zależności.

Równanie tej prostej wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów

$$\frac{\partial E}{\partial \alpha} = 2(1,02 - 1,3\alpha - \beta)(1 - 1,3) + 2(0,75 - 7,8\alpha - \beta)(-7,8) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial \beta} = 2(1,02 - 1,3\alpha - \beta) + 2(0,75 - 7,8\alpha - \beta) = 0.$$

Obliczone współczynniki  $\alpha$  i  $\beta$  wynoszą

$$\alpha = 0,072$$

$$\beta = 0,876$$



Końcowa postać wzoru będzie następująca:

$$Z = 1 - \log (0,072 \gamma + 0,876). \quad (50)$$

#### 6.4. Wyniki badań

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych doświadczeń wskazują na to, że wpływ ciężaru właściwego na prędkość jest różny. Mianowicie dla przesiewaczy liniowych wpływ ten jest znaczny natomiast dla przesiewaczy wibracyjnych bardzo mały. Jak można sądzić różnice te wynikają z różnej wielkości drogi poślizgu materiału po sicie. Z kinematyki ruchu materiału wiemy, że droga poślizgu dla przesiewaczy liniowych jest większa aniżeli dla przesiewaczy wibracyjnych, bowiem kąt podrzutu materiału na przesiewaczach liniowych jest mniejszy jak na przesiewaczach wibracyjnych. Również na tych samych przesiewaczach w zależności od rodzaju materiału otrzymujemy różne prędkości czyli droga poślizgu jest funkcją nie tylko rodzaju przesiewacza ale też m.in. i rodzaju materiału. Zależności powyższe w oparciu o wyniki doświadczeń ujęto w formuły empiryczne 49 i 50.

#### 7. Wpływ grubości warstwy materiału na prędkość

Obserwując różnice przesuwania się na sicie pojedynczych ziarn i masy ziarn, wydaje się celowym określić te różnice oraz ściślej wyznaczyć te wartości.

W tym celu przeprowadzono pomiar prędkości materiału przy różnej grubości warstwy dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym. Technika pomiarów oparta była na obserwacji ziarn, które znajdują się na całej grubości warstwy materiału.

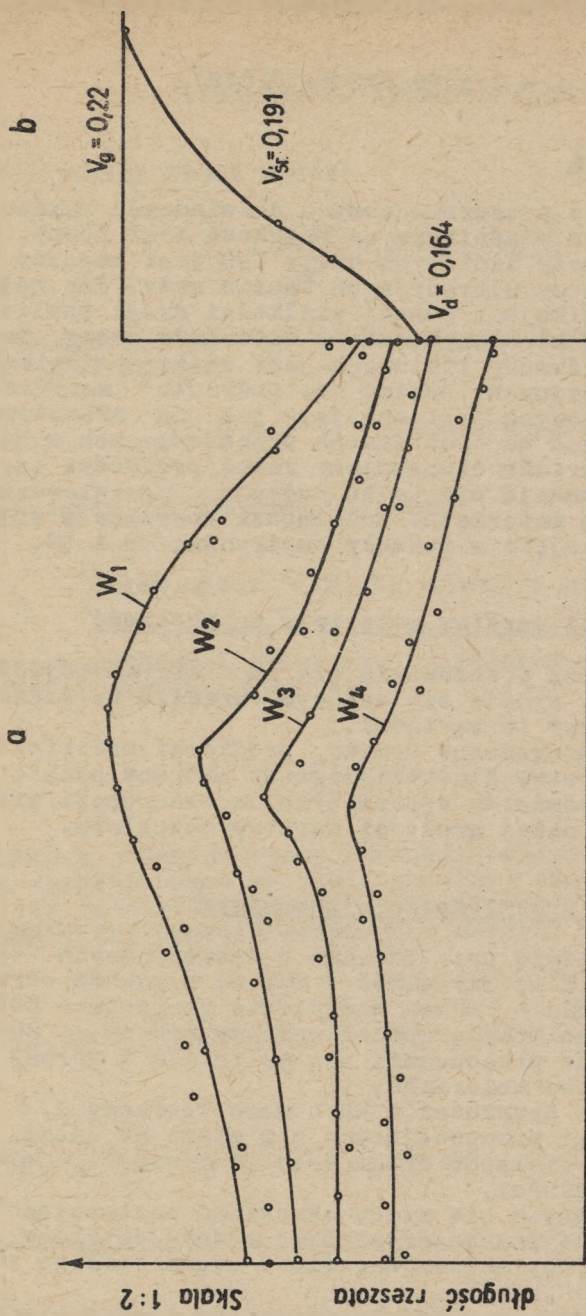
##### 7.1. Badania na przesiewaczu wibracyjnym

Do doświadczeń użyto przesiewacza o następujących parametrach: długość - 2,2 m; szerokość - 0,4 m; prędkość obrotowa - 1400 min<sup>-1</sup>, amplituda - 2,2 mm, nachylenie rzeszota - 20°. Pomiar przeprowadzono przy grubości warstwy 110 mm, 200 mm i 280 mm, mierząc czas przesuwania się materiału w górnej jak i dolnej części warstwy materiału.

Celem określenia prędkości w warstwach środkowych, pomierzono wielkość drogi przesuwających się ziarn na całej grubości warstwy bowiem wielkość drogi przy  $t = \text{const.}$  jest proporcjonalna do prędkości.

Drogę przesuwających się ziarn określono następująco: część przygotowanego węgla przeznaczanego do badań pobielono wapnem otrzymując część próby składającą się z węgla białego i czarnego.

Rzeszoto w połowie długości przedzielono ciekłą blachą, wypełniając górną część węglem białym, zaś drugą część węglem czarnym. Po wyjęciu blachy uruchomiono przesiewacz. Ze względu, na krótki okres czasu ruchu przesiewacza, ruch ten nie był



Rozkład prędkości  
w rzucie pionowym

Skala 1:2,5

Szerokość rzeszota  
Rozkład prędkości w rzucie poziomym

Rys. 27. Rozkład prędkości w rzucie poziomym i pionowym dla grubości warstwy 110 mm



w pełni ruchem ustalonym. Jednak można przyjąć, że różnice wynikające z tej przyczyny są nieznaczne.

## 7.2. Wyniki badań dla grubości warstwy 110 mm

Wyniki doświadczeń zestawiono w tablicach 32 i 33 jak również na wykresie 27. W tablicach tych podano czas przesuwania się ziarn górnej jak i dolnej warstwy materiału. Wykres 27 przedstawia rozkład drogi ziarn w płaszczyźnie poziomej, a wykres 27 rozkład drogi ziarn w płaszczyźnie pionowej.

### 7.2.1. Czas przesuwania się ziarn w warstwie górnej (tablica 32)

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{117}{13} = 9,0$$

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{0,54}{12}} = \sqrt{0,045} = 0,21$$

błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,21}{\sqrt{13}} = \frac{0,21}{3,6} = 0,06$$

przy współczynniku przewidywania 0,997, przedział ufności będzie w granicach

$$8,82 \text{ sek} < 9,0 \text{ sek} < 9,18 \text{ sek}$$

Tablica 32

Czas przesuwania się materiału w warstwie górnej dla grubości warstwy 110 mm

t sek	9,0	8,8	9,2	9,5	9,0	8,8	9,1
	8,7	8,9	8,9	9,2	9,0	8,9	

W przeliczeniu na prędkość przy długości odcinka 1,98 m otrzymamy:

$$0,25 \text{ m/sek} \quad 0,22 \text{ m/sek} \quad 223 \text{ m/sek}$$

### 7.2.2. Czas przesuwania się materiału w warstwie dolnej (tablica 33)

Srednia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{156,2}{13} = 12,01$$

Tablica 33

Czas przesuwania się materiału w warstwie górnej dla grubości warstwy 110 mm

t sek	12,1	11,7	12,0	12,3	11,9	12,4	12,2
	1,8	11,9	12,1	11,5	11,9	12,4	

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{0,8}{12}} = \sqrt{0,067} = 0,26$$

błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,26}{\sqrt{13}} = \frac{0,26}{3,6} = 0,072$$

przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$11,79 \text{ sek} < 12,01 \text{ sek} < 12,226 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość przy długości odcinka 1,98 m otrzymamy:

$$0,16 \text{ m/sek} < 0,164 \text{ m/sek} < 0,167 \text{ m/sek}$$

### 7.2.3. Wielkość drogi przesuwających się ziarn

W wyniku przeprowadzonych pomiarów i naniesieniu na wykres 27 otrzymałem charakteryzującą wielkość drogi dla poszczegól-



nych warstw. Wykres 27a przedstawia zachowanie się ziarn w poszczególnych warstwach tzn. w warstwie górnej oznaczonej przez  $W_1$ , w warstwie następnej w odległości 38 mm od warstwy górnej oznaczonej przez  $W_2$ , w warstwie  $W_3$  w odległości 80 mm od warstwy górnej i w warstwie  $W_4$  znajdującej się przy sicie. Wykres 27a wskazuje, że prędkość materiału na całej szerokości rzeszota jest zróżnicowana, a mianowicie po bokach rzeszota prędkość jest mniejsza aniżeli na środku. Jest to wynikiem tarcia materiału o boki rzeszota. Można jednak sądzić, że różnice te nie wpływają w zasadniczy sposób na obliczenie prędkości. Z wykresu 27b widać, jak różne są prędkości na całej grubości warstwy i jak przebiegają. Różnice te są dość znaczne, bo jak wynika z wyżej podanych doświadczeń prędkość warstwy górnej wynosi 0,22 m/sek, a prędkość warstwy dolnej 0,164 m/sek. Chcąc otrzymać średnią prędkość należy scałkować metodą graficzną funkcję, którą przedstawia rysunek 27b. W wyniku całkowania otrzymamy średnią prędkość materiału, która wynosi 0,185m/sek.

### 7.3. Wyniki badań dla grubości warstwy 200 mm

#### 7.3.1. Czas przesuwania się ziarn w warstwie górnej (tablica 34)

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{129,8}{16} = 8,1$$

Tablica 34

t	8,2	8,5	7,9	8,0	7,7	7,9	8,1	8,4
	8,0	8,3	7,9	8,1	8,4	8,4	8,1	7,9

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{0,82}{15}} = \sqrt{0,054} = 0,23$$

błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,23}{\sqrt{16}} = \frac{0,23}{4} = 0,057$$

przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$7,39 \text{ sek} < 8,1 \text{ sek} < 8,27 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość przy długości odcinka 1,64 otrzymano

$$0,198 \text{ m/sek} < 0,201 \text{ m/sek} < 0,204 \text{ m/sek}$$

### 7.3.2. Czas przesuwania się materiału w warstwie dolnej (tablica 35)

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{182,3}{14} = 13,0$$

Tablica 35

t	13,0	12,8	12,6	13,2	13,0	13,2	12,9
	13,5	13,1	12,8	12,9	13,2	13,1	13,0

Standardowe odchylenie ma wartość

$$s = \sqrt{\frac{0,65}{13}} = \sqrt{0,05} = 0,225$$

błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,225}{\sqrt{n}} = \frac{0,225}{3,7} = 0,06$$

przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$12,82 \text{ sek} < 13,0 \text{ sek} < 13,18 \text{ sek}$$

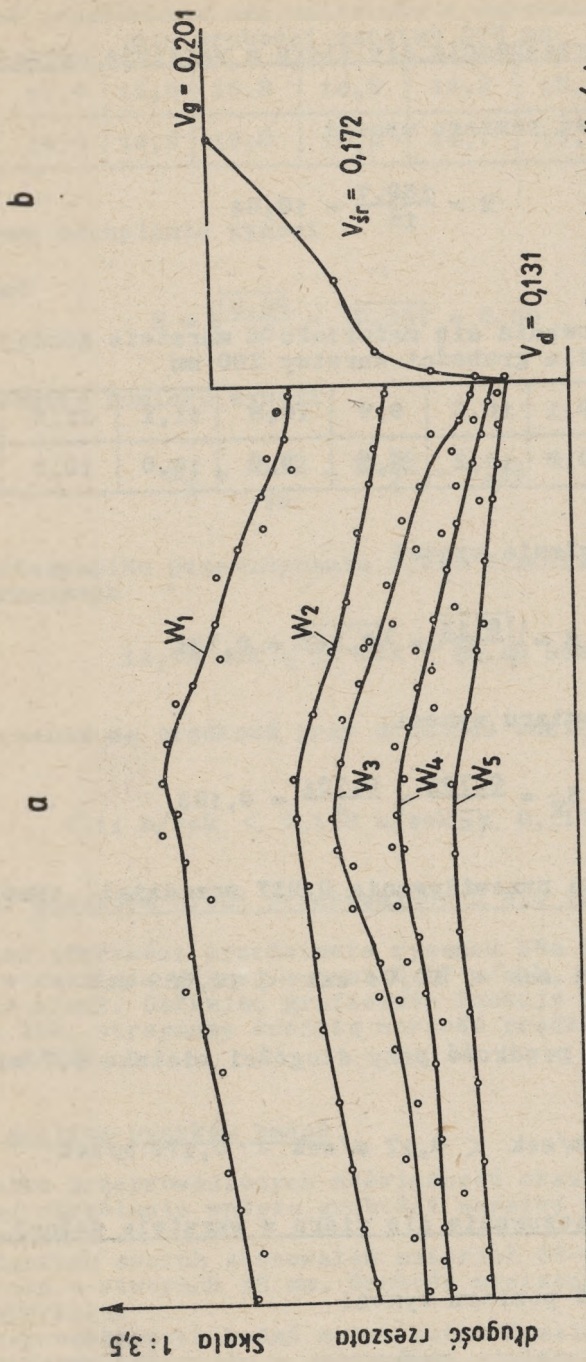
w przeliczeniu na prędkość przy długości odcinka 1,7 m otrzymano

$$0,129 \text{ m/sek} < 0,131 \text{ m/sek} < 0,1325 \text{ m/sek}$$

### 7.3.3. Wielkość drogi przesuujących się ziarn

Rozkład prędkości przedstawia rysunek 28a i b. Z rysunku 28b widać, że przebieg krzywej jest inny niż na rysunku 27b, oznacza to inny rozkład prędkości. Prędkość materiału w warstwie górnej wynosi 0,201 m/sek, a w warstwie dolnej 0,131 m/sek. Całkując graficznie funkcje na wykresie 29b, otrzymamy średnią wartość prędkości, która wynosi 0,172 m/sek.





Rozkład prędkości w rzucie poziomym

Rys. 28. Rozkład prędkości w rzucie poziomym i pionowym dla grubości warstwy 200 mm

#### 7.4. Wyniki badań dla grubości warstwy 280 mm

##### 7.4.1. Czas przesuwania się ziarn w warstwie górnej (tablica 36)

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{160,7}{16} = 10,04$$

Tablica 36

Czas przesuwania się materiału w warstwie górnej  
dla grubości warstwy 280 mm

t sek	8,5	9,1	10,2	9,9	10,8	11,1	11,5	10,3
	9,7	10,0	10,2	9,2	9,9	10,0	10,2	10,1

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{8,13}{15}} = \sqrt{0,542} = 0,731$$

błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,731}{\sqrt{4}} = \frac{0,731}{2} = 0,183$$

przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$9,491 \text{ sek} < 10,04 \text{ sek} < 10,589 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość przy długości odcinka 1,7 mm otrzymamy

$$8,16 \text{ m/sek} < 0,17 \text{ m/sek} < 0,179 \text{ m/sek}$$

##### 7.4.2. Czas przesuwania się ziarn w warstwie dolnej (tablica 37)

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{240,0}{16} = 15,00$$



Czas przesuwania się materiału w warstwie dolnej  
dla grubości warstwy 280 mm

t sek	13,9	14,5	15,8	14,0	16,2	15,4	14,7	15,1
	15,4	14,9	15,0	15,2	14,7	15,4	15,1	14,7

Standardowe odchylenie wynosi

$$s = \sqrt{\frac{5,36}{15}} = \sqrt{0,357} = 0,59$$

błąd całkowity pomiaru wynosi

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,59}{\sqrt{n}} = \frac{0,59}{4} = 0,15$$

przy współczynniku przewidywania 0,997 przedział ufności będzie w granicach

$$14,55 \text{ sek} < 15 \text{ sek} < 15,45 \text{ sek}$$

w przeliczeniu na prędkość przy długości odcinka 1,7 m otrzymamy

$$0,11 \text{ m/sek} < 0,113 \text{ m/sek} < 0,117 \text{ m/sek}$$

#### 7.4.3. Wielkość drogi przesuwających się ziarn

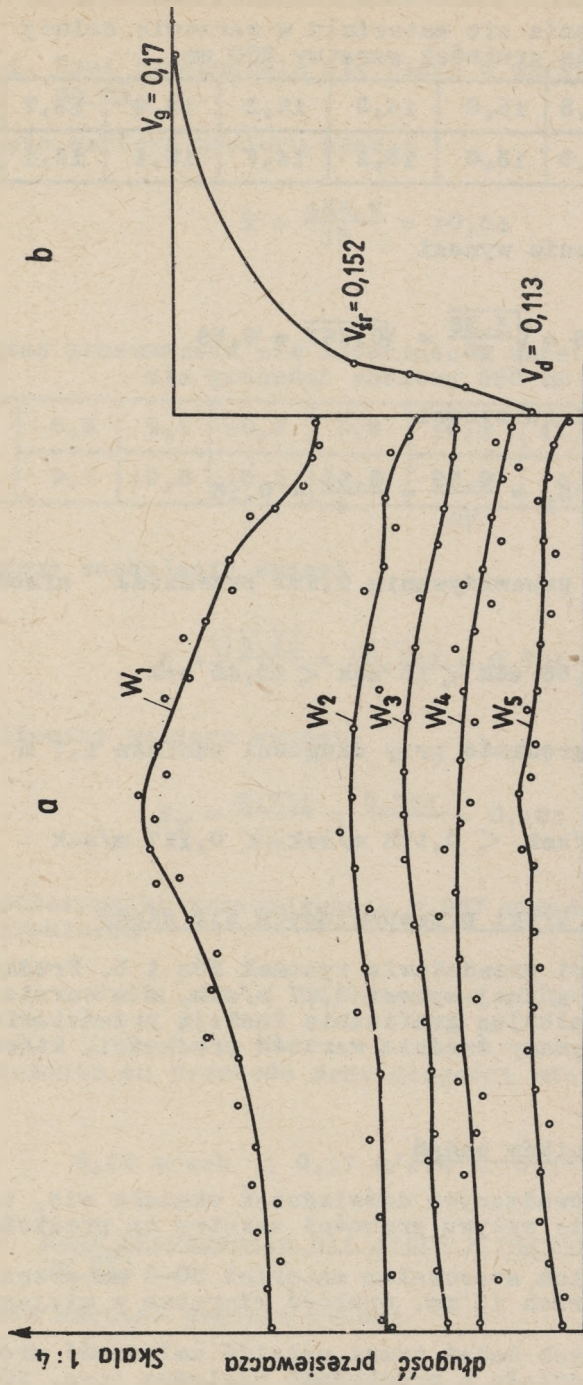
Rozkład prędkości przedstawia rysunek 29a i b. Prędkość materiału w warstwie górnej wynosi 0,17 m/sek, a w warstwie dolnej 0,113 m/sek. Całkując graficznie funkcję przedstawioną na wykresie 29b, otrzymamy średnią wartość prędkości, która wynosi 0,152 m/sek.

#### 7.5. Analiza wyników badań

W wyniku przeprowadzonych doświadczeń okazało się, że jednoznaczne określanie wpływu grubości warstwy na prędkość jest dość trudna.

W badaniach swoich stosowałem materiał 60-0 mm przesiewając go na sicie o otworach 15 mm. Grubość mierzono w miejscu dozowania materiału.

Z przeprowadzonych badań można ustalić zależność między grubością warstwy materiału a prędkością względną (rys. 30). Ko-



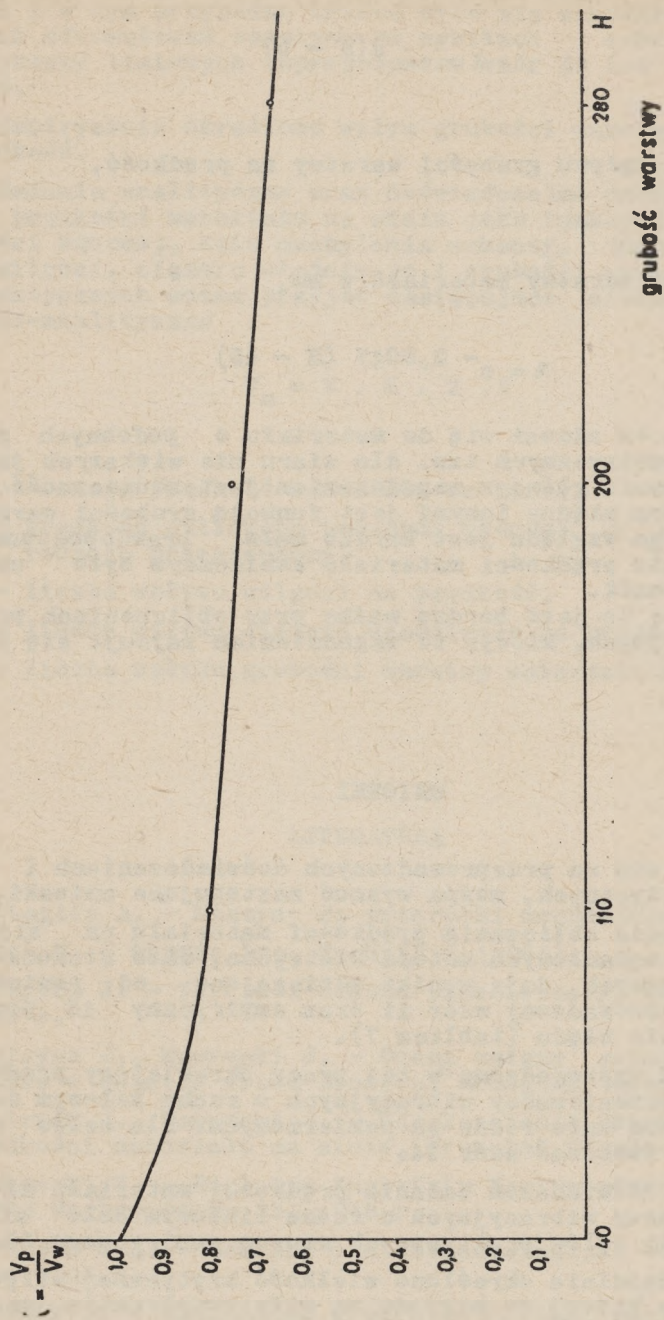
Rozkład prędkości w rzucie pionowym

Szerokość rzeszota Skala 1:2,5

Rozkład prędkości w rzucie poziomym

Rys. 29. Rozkład prędkości w rzucie poziomym i pionowym dla grubości warstwy 280 mm





Rys. 30. Zależność między grubością warstwy a prędkością względną

rzystając z prawa aproksymacji zależność tę przedstawić można następująco:

$$\lambda = e^{-a(H-b)}$$

gdzie:

$\lambda$  - liczba wpływu grubości warstwy na prędkość,

$a$  - 0,0017,

$b$  - 40,

$H$  - grubość warstwy materiału w mm,

czyli

$$\lambda = e^{-0,0017(H-40)} \quad (51)$$

Informacja ta odnosi się do materiału o podobnych parametrach granulometrycznych tzn. dla ziarn nie większych jak 60mm. Przy przesiewaniu głównym zagadnieniem jest skuteczność przesiewania, która między innymi jest funkcją grubości warstwy materiału. Z tego względu jest bardzo mało prawdopodobne, aby przy określaniu prędkości materiału koniecznym było uwzględnić współczynnik.

Zagadnienie to jest bardzo ważne przy obliczeniach przenośników wibracyjnych, którym to zagadnieniem zajmuje się A. Czubał z AGH.

## WNIOSKI

Opierając się na przeprowadzonych doświadczeniach i rozważaniach analitycznych, można wysnuć następujące wnioski:

1. W zakresie obliczania prędkości materiału na sicie dla przesiewaczy wahadłowych metoda Dietrycha, choć doskonalsza od metod dawniejszych, daje wyniki odbiegające od pomierzonych prędkości. Wyprowadzony wzór 11 oraz empiryczny 13 pozwalają na zmniejszenie błędu (tablica 7).

2. Wzór 32 wyprowadzony w tej pracy określający prędkość materiału dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym daje wyniki stosunkowo mało różne od pomierzonych. Dla celów projektowych można stosować wzór 34.

3. Wyniki doświadczeń badania prędkości materiału na sicie dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu liniowym dało się ująć użytecznym dla celów praktycznych wzorem empirycznym 35.

4. Doświadczalnie określono wielkość krytycznej wilgoci nadmiernej, przy której ze względu na siły przylegania następuje spadek prędkości materiału na sicie. Ponadto udało się określić wpływ wilgoci na prędkość empirycznymi wzorami 40 i 46.



5. Badano wpływ ciężaru właściwego na prędkość materiału. Również i w tym przypadku trzeba było się ograniczyć do empirycznych sformułowań opartych na wynikach doświadczeń. Dla przesiewaczy liniowych zaproponowano wzór 49 zaś dla wibracyjnych 50.

6. Empirycznie określono wpływ grubości warstwy materiału na prędkość.

7. Badania analityczne oraz doświadczalne umożliwiły 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

$$V_m = V \cdot K \cdot Z \cdot \lambda \quad (\text{m/sek})$$

gdzie:

- $V_m$  - średnia prędkość materiału na sicie,
- $V$  - prędkość obliczona podanymi wzorami w zależności od rodzaju przesiewaczy,
- $K$  - liczba wpływu wilgoci na prędkość,
- $Z$  - liczba wpływu ciężaru właściwego na prędkość,
- $\lambda$  - liczba wpływu grubości warstwy materiału na prędkość.

#### LITERATURA

- [1] Battaglia A. - Maszyny do przeróbki mechanicznej, PWN 1952r.
- [2] Batel W. - Chemie Ing. Technik 2 (1964).
- [3] Dietrych J. - Teoria i budowa przesiewaczy, WGH Katowice 1962 r.
- [4] Dietrych J., Nawrocki J. - Ocena zmiany granulometrycznej urobku w świetle wzoru Benneta, Przegląd Górniczy 1956 r.
- [5] Dietrych J., Nawrocki J. - Udoskonalenie metody obliczeń prędkości materiału na sicie, Przegląd Górniczy 1963 r.
- [6] Laskowski T. - Biuletyn Instytutu Naukowo-Badawczego Przemysłu Węglowego Nr 23, 1948 r.
- [7] Levenson L.B. - Maszyny dla obogaszczczenia, Moskwa - Lenin-grad 1933 r.
- [8] Łęcznar E. - Maszyny do przeróbki mechanicznej minerałów, PWN 1952 r.

- [9] Małkin R. - Zapiski Leningradzkowo Gornowo Instituta, tom X, Moskwa - Leningrad 1937 r.
- [10] Nawrocki J. - przyczynek do teorii prędkości materiału na sicie - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo 5.
- [11] Nawrocki J. - Ocena istniejących wzorów najczęściej stosowanych do obliczania powierzchni przesiewaczy w świetle przeprowadzonych doświadczeń, Przegląd Górniczy 1963 r.
- [12] Nawrocki J. - Empiryczna metoda określenia powierzchni sit, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo 5.
- [13] Nawrocki J. - Wybór optymalnych wymiarów otworów sita w zależności od kształtu ziarna, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo Nr 9.
- [14] Nawrocki J. - Uwagi do obliczeń wydajności przesiewaczy rusztowych, wahadłowych i wibracyjnych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo Nr 11.
- [15] Nawrocki J. - Granulometryczna charakterystyka materiału w ujęciu analitycznym, Separator Nr 2/64.
- [16] Nawrocki J. - Analityczne metody określania prędkości materiału na sicie, Rudy i Metale Nieżelazne Nr 5/1965.
- [17] Nawrocki J., Sobieszcański B. - Wpływ zawartości wilgoci w nadawie i obciążenia przesiewaczy na skuteczność przesiewania, Przegląd Górniczy 1965 r.
- [18] Nawrocki J. - Obliczenie prędkości przesiewanego materiału dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr 13.
- [19] Nawrocki J. - Zależność między siłami przesiewania a przylegania w wilgotnym węglu (w druku), Przegląd Górniczy 1965 r.
- [20] Nawrocki J. - przyczynek do określenia powierzchni przesiewaczy nożowo-płytkowych (w druku) Zeszyty Politechniki Śląskiej - Górnictwo Nr 15.
- [21] Nawrocki J. - Ocena istniejących wzorów prędkości materiału na sicie i skuteczności przesiewania w świetle przeprowadzonych doświadczeń oraz uzupełnienie tych teorii, Praca doktorska, Biblioteka Katedry PMK.
- [22] Olewskij W.A. - Kinematika grochotów, Leningrad, 1941 r.
- [23] Troskoleński A.T. - Hydromechanika techniczna tom I, str. 17, PWT, 1951.



РАСЧЕТНО ЭМПИРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ МАТЕРИАЛА НА СИТЕ  
ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРОХОТОВ С УЧЕТОМ ВЛАЖНОСТИ, УДЕЛЬНОГО ВЕСА  
И ТОЛЩИНЫ СЛОЯ МАТЕРИАЛА

Резюме

Во время грохочения сыпучих материалов некоторое определенное количество материала, в зависимости от условий находится на сите. При разработке проекта нового грохота необходимо располагать данными касающимися этого количества. Условием - позволяющим производить дальнейший расчет - является определение усредненной скорости материала на сите при принятой производительности грохота.

Опыт показал, что скорости материала на сите рассчитанные известными способами, значительно отличаются от истинных. Исходя из анализа зерна по отношению к ситам определили скорость как следующую функцию:

$$V = f(S_0, n, \alpha, \beta)$$

где:

- $S_0$  - амплитуда,
- $n$  - окружная скорость,
- $\alpha$  - наклон балансира,
- $\beta$  - наклон сита.

Скорость для колебательных грохотов и вибрационных грохотов располагающих круговым движением была определена путем математического анализа; для вибрационных грохотов с прямолинейным движением - эмпирически. Анализ результатов расчетов и испытаний полученных автором дает основание для предложения этих методов при определении скорости материала на сите. Затем проводились исследования определяющие влияние на скорость влажности. Из этих исследований сделан вывод, что при разных величинах влажности выступает минимум скорости. Влажность, при которой скорость грохоченного материала минимальна, назвали критической излишней влажностью. Излишняя влажность это общая влажность уменьшенная на критическую влажность:

$$W_n = W_c - W_k$$

Пользуясь аппроксимацией, зависимость между излишней влажностью и скоростью представили в математической форме.

В дальнейшей части было определено влияние на скорость - удельного веса материала. В результате опытов были получены величины указывающие на то, что влияние удельного веса на скорость различно, в зависимости от типа грохота. Аналитически эту зависимость можно представить как формулу.

Описывается также распределение скорости материала во всем слое и дается коэффициент влияния толщины слоя на скорость.

Выведенная формула для расчета усредненной скорости материала на сите имеет вид:

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

где:

- $V$  - скорость рассчитанная с применением формул предложенных автором,
- $K$  - коэффициент влияния влажности на скорость,
- $Z$  - коэффициент влияния удельного веса на скорость,
- $\lambda$  - коэффициент влияния толщины слоя на скорость.

Теоретическая увязка вышеопределенных факторов дает результаты весьма близкие данным, которые были установлены на практике при грохочении.

ANALYTICAL AND EMPIRICAL DETERMINATION OF SPEED  
OF THE MATERIAL ON THE SIEVE, FOR VARIOUS SCREENS,  
WITH REFERENCE TO MOISTURE,  
SPECIFIC GRAVITY AND BED THICKNESS OF THE MATERIAL

S u m m a r y

During the process of screening losse materials a certain amount of material remains on the sieve. When designing a new screen the knowledge of that material is necessary. The determination of the average speed of the material on the sieve in addition to the desired output of the screen, is a condition for futher calculations. The experiments show that the speeds of the material on the sieve calculated by the known methods considerably differ from the actual ones. Basing on the analysis of behavior of grains with respect to the sieve, the speed was determined as the following function

$$V = f (S_0, n, \alpha, \beta)$$

where:

- $S_0$  - amplitude,
- $n$  - rotational speed,
- $\alpha$  - inclination of hanger,
- $\beta$  - inclination of sieve.

The speed for oscillating and circular-vibratory screens was determined by mathematical analysis, while for linear-vibratory screens by empirical method. The analysis of results of calculations and experiments gives a basis for suggestion of speed of the material on the sieve.

Further on, tests were carried out for determination of moisture effect on the speed. It results from those tests that with various moisture content there is a minimum of speed. The moisture with which the speed of material to be screened is the lowest was called critical excessive speed. The excessive moisture is the total moisture content diminished by critical moisture ( $W_n = W_c - W_k$ ). Using the law of approximation the relation between the excessive moisture and the speed was expressed in mathematical form.

The effect of specific gravity of the material on the speed was also determined. As a result of experiments some values were obtained which show that the effect of specific gravity on the speed in different depending on the type of the screen. Analytical determination of this relation is given in the form of a formula. The distribution of speed of the material in the whole bed was discussed, and the number of effect of thickness on the speed was given.

The deduced formula for the average speed of the material on the sieve is as follows:

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



where:

V - speed calculated with the use of formulae given by the author,

K - number of moisture effect on the speed,

Z - number of the effect of specific gravity on the speed,

$\lambda$  - number of the effect of thickness on the speed.

The theoretical connection of factors determined above gives results very close to data found in the screening practice.

## ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

ukazują się w następujących seriach:

- A. AUTOMATYKA
- B. BUDOWNICTWO
- Ch. CHEMIA
- E. ELEKTRYKA
- En. ENERGETYKA
- G. GÓRNICTWO
- IS. INŻYNIERIA SANITARNA
- MF. MATEMATYKA-FIZYKA
- M. MECHANIKA
- NS. NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty  
serii G:

- Górnictwo z. 1, 1956 r., s. 134, zł 20,—
- Górnictwo z. 2, 1959 r., s. 96, zł 17,10
- Górnictwo z. 3, 1961 r., s. 130, zł 21,—
- Górnictwo z. 4, 1962 r., s. 134, zł 10,95
- Górnictwo z. 5, 1963 r., s. 158, zł 11,90
- Górnictwo z. 6, 1963 r., s. 154, zł 8,50
- Górnictwo z. 7, 1963 r., s. 129, zł 6,80
- Górnictwo z. 8, 1964 r., s. 175, zł 10,20
- Górnictwo z. 9, 1964 r., s. 133, zł 10,50
- Górnictwo z. 10, 1964 r., s. 157, zł 8,75
- Górnictwo z. 11, 1964 r., s. 221, zł 13,10
- Górnictwo z. 12, 1964 r., s. 304, zł 15,20
- Górnictwo z. 13, 1965 r., s. 145, zł 8,40
- Górnictwo z. 14, 1965 r., s. 78, zł 5,—



BIBLIOTEKA GŁÓWNA  
Politechniki Śląskiej

P 3354 / 66 / 15