Pomiar prędkości transportowej ruchu materiału po powierzchni sita przesiewacza

Measurement of transport velocity of material movement along screen surface

Wiesław MĄCZKA [1], Dariusz FOSZCZ [2]

[1] Dr inż.; Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górniczy, Zakład Przeróbki Kopalin, Ochrony Środowiska i Utylizacji Odpadów; Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel.: (+48-12) 617-20-53, *fax: (+48-12) 617-21-98* , e-mail: *maczka@przerob.gorn.agh.edu.pl*

[2] Dr inż.; Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górniczy, Zakład Przeróbki Kopalin, Ochrony Środowiska i Utylizacji Odpadów; Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel.: (+48-12) 617-21-73, *fax: (+48-12) 617-21-98,* e-mail: *foszcz@agh.edu.pl*

RECENZENCI: Dr. Ing. Ralf G. JUNG; prof. dr hab. inż. Tadeusz BANASZEWSKI

Streszczenie

Prędkość transportowa ruchu przesiewanego materiału po powierzchni sita jest czynnikiem wpływającym na efektywność przesiewania i wydajność przesiewacza. Określeniem prędkości zajmowało się wielu autorów. Na drodze analizy ruchu pojedynczego ziarna opracowano szereg teoretycznych wzorów pozwalających obliczyć prędkość transportową. W przedstawionej pracy podjęto próbę wyznaczenia rzeczywistej prędkości transportowej na sicie przesiewacza wykorzystując możliwości rejestracji ruchu znaczonego materiału na powierzchni sita. Rejestrację ruchu prowadzono z użyciem kamery cyfrowej. Pozwoliło to na precyzyjne oznaczenie prędkości pojedynczych ziaren. Wyznaczono prędkości: średnią, minimalną i maksymalną. Przeprowadzony pomiar wskazuje, że prędkość transportowa materiału wzrasta w miarę zbliżania się przesiewanego materiału do końca sita.

Summary

Transport velocity of material movement along screen surface is a factor, influencing screening efficiency and screen capacity. Many authors focused on the assessment of this velocity. An array of theoretical equations have been proposed to calculate transport velocity based on the analysis of the movement of a single grain. The present study attempted to determine real transport velocity on screen, making use of recording of the movement of labeled material along screen surface. Movement was recorded with digital camera. It enabled precise determination of velocity of individual grains. Mean, minimal and maximal velocities were established. The conducted measurement indicates that transport velocity of material increases as the screened material comes closer to the screen end.

1. Wstęp

Czas przebywania materiału na powierzchni sita jest jednym z czynników decydujących o efektywności przesiewania i wydajności tego procesu. Wielkość ta przy określonych parametrach technicznych przesiewacza wynika z prędkości materiału po powierzchni sita. Prędkość transportowa stanowiła przedmiot zainteresowania wielu autorów [1, 2, 4, 5].

Według Tarjana [5] typowa prędkość materiału po powierzchni sita w przemysłowych procesach przesiewania wynosi około 15m/min. Często przyjmuje się $\upsilon = 2s_0N$ (s_0 — amplituda drgań rzeszota, N — obroty), co oznacza, że droga wykonywana podczas podrzutu jest równa amplitudzie.

Średnią prędkość ruchu materiału po powierzchni sita [m/s] można określić z wzoru [1]:

1. Introduction

Retention time of the material on screen surface (screening time) is one of the factors determining efficiency and capacity of the screening process. At fixed technical characteristics of the screen, this parameter depends on transport velocity of material movement along screen surface. Many authors focused on the theoretical assesment of this velocity [1, 2, 4, 5].

According to Tarjan [5], typical transport velocity of material movement along screen surface in industrial screening processes approximates 15 m/min. Frequently assume that $\upsilon = 2s_0N$ (s_0 — amplitude of oscillation, N — revolution per minute), which means that throw distance equals amplitude.

Mean transport velocity of material movement along screen surface may be described as [1]:

$$\upsilon_m = \frac{2{,}67\,(u-1)^{0{,}73}}{n} \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin(\alpha+\beta)} \qquad (1)$$

gdzie: u — wskaźnik podrzutu,
β — kąt nachylenia sita,

where: u — toss factor,
β — angle of screen inclination,

α — kąt pomiędzy kierunkiem drgań sita i poziomem,
n — częstotliwość drgań, Hz.

2. Przedmiot i metodykaa pomiaru

Pomiar prędkości ruchu materiału po powierzchni sita wykonano w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej KWK „Pokój". Doświadczenia przeprowadzono dla przesiewacza kontrolnego koncentratu z wzbogacania miałów. Podstawowe parametry techniczne przesiewacza przedstawiono poniżej:

- przesiewacz wibracyjny dwupokładowy firmy Allis – Svedala typ 70.41,
- górny pokład wyposażony w sito harfowe o kwadratowych otworach a = 6 mm,
- długość sita 4800 mm,
- szerokość sita 1800 mm,
- amplituda drgań 5 mm,
- częstotliwość drgań rzeszota 15 s^{-1},
- kąt drgań sita względem poziomu (α) 47°,
- kąt nachylenia sita (β) 0°,
- moc silnika napędowego 22 kW,
- obroty silnika 1500 obr/min.

Pomiar prędkości materiału po powierzchni sita przesiewacza przeprowadzono wykorzystując rejestrację ruchu „znaczonego" materiału na powierzchni sita (rys. 1). Rejestrację wykonano przy pomocy cyfrowej kamery video zapisującej obraz z częstotliwością 25 klatek/sekundę. Umożliwiło to odczytanie z zapisu video czasu przebywania materiału na sicie z dokładnością do 0,04 sekundy.

α — angle between direction of oscillation and horizontal level,
n — frequency of oscillation, Hz.

2. Subject and Methods of Measurements

Measurements of transport velocity were conducted at the Mechanical Processing Plant KWK "Pokój". Tests were conducted for the screen checking granulation of concentrate after washing of fine coal. The most important technical parameters of screen were as follow:

- double deck vibrating screen Allis Svedala type 70.41,
- upper deck – harp screen, size of aperture 6 mm (square opening),
- length of screen 4800 mm,
- width of screen 1800 mm,
- amplitude of oscillation 5 mm,
- frequency of oscillation 15 s^{-1},
- angle between direction of oscillation and horizontal level (α) 47°,
- angle of screen inclination (β) 0°,
- engine power 22 kW,
- revolution of engine 1500 min^{-1}.

The measurement of transport velocity of material movement along screen surface was performed by recording the movement of labeled material along screen surface (fig. 1) using digital video camera recording pictures with the frequency of 25 frames/second. Video recording allowed to established retention time of the material on screen exact to 0.04 sec.

a)

b)

Rys. 1
Rozkład znaczonego materiału w trakcie przesiewania
a) doświadczenie nr 4, (mniejsza ilość znaczonego materiału)
b) doświadczenie nr 6, (większa ilość znaczonego materiału)

Fig. 1
Distribution of the labeled material during screening
a) Experiment nr 4, (lower amount of the labeled material)
b) Experiment nr 6, (larger amount of the labeled material)

Zasadniczym materiałem umożliwiającym wykonanie rejestracji ruchu przesiewanego materiału po powierzchni sita były próbki produktu górnego (ziarna o wymiarze powyżej 12 mm) pobrane wcześniej z badanego przesiewacza. Ziarna tych próbek pobielono poprzez zanurzenie w farbie emulsyjnej i następne osuszenie. Próbki te wprowadzano do nadawy przesiewacza podczas jego pracy a następnie filmowano ich ruch na powierzchni sita wraz z zasadniczą masą materiału stanowiącego nadawę przesiewacza. Kamera znajdowała się w tym czasie na podeście znajdującym się ponad przesiewaczem. Podest ten częściowo zakrywał powierzchnie roboczą sita (jej końcowy fragment) w związku z tym nie było możliwe rejestrowanie położenia materiału przez cały czas trwania procesu przesiewania.

Wykonano dwie serie pomiaru prędkości:

- seria 1 – przy wydajności przesiewacza równej 80% nominalnego obciążenia,
- seria 2 – przy wydajności przesiewacza równej 100% nominalnego obciążenia.

W czasie serii 1 wykonano również dwa doświadczenia wykorzystując kwarcyt o uziarnieniu 12 – 15 mm.

3. Dyskusja wyników pomiarów

Przed przystąpieniem do doświadczeń dokonano pomiarów pozwalających na wyznaczenie charakterystycznych punktów przesiewacza. Odległości tych punktów od miejsca wprowadzenia nadawy na przesiewacz zostały następnie wykorzystane dla wyznaczenia prędkości materiału po powierzchni sita na określonych odcinkach. Te charakterystyczne punkty to:

- kątownik znajdujący się na powierzchni sita w odległości 115 cm od miejsca wprowadzenia nadawy,
- początkowe punkty mocowania napędu w odległości 275 cm od wprowadzenia nadawy,
- końcowy punkt drogi ziaren na przesiewaczu widoczny z podestu na którym znajdowała się kamera 455 cm od miejsca wprowadzenia nadawy.

Prędkość materiału po powierzchni sita wyznaczono na podstawie czasu w jakim znaczony materiał pokonywał drogę:

Samples of oversize product, collected earlier from the screen under examination, constituted the basic material for recording of the transport of the screened material. Grains of these samples were whitened by dipping in white emulsion paint followed by drying. These samples were added to the feed of screen in motion, and their movement along screen surface together with whole mass of the material constituting screen feed was recorded. Camera was positioned on a platform above the screen. The platform partially covered screen surface (its end fragment), so recording of the location of the material over entire screening process was not possible.

Two series of velocity measurements were conducted:

- series 1 – at screen capacity equal to 80% of nominal load,
- series 2 – at screen capacity equal to 100% of nominal load.

Series 1 included also two experiments with quartzite of 12 – 15 mm grain size.

3. Discussion the results of measurments

Before the experiments started, the measurements were conducted to determine characteristic points of the screen. The distance from these points to the screen feeding point were then used to establish transport velocity of material movement along the segments of screen surface. There were the following characteristic points:

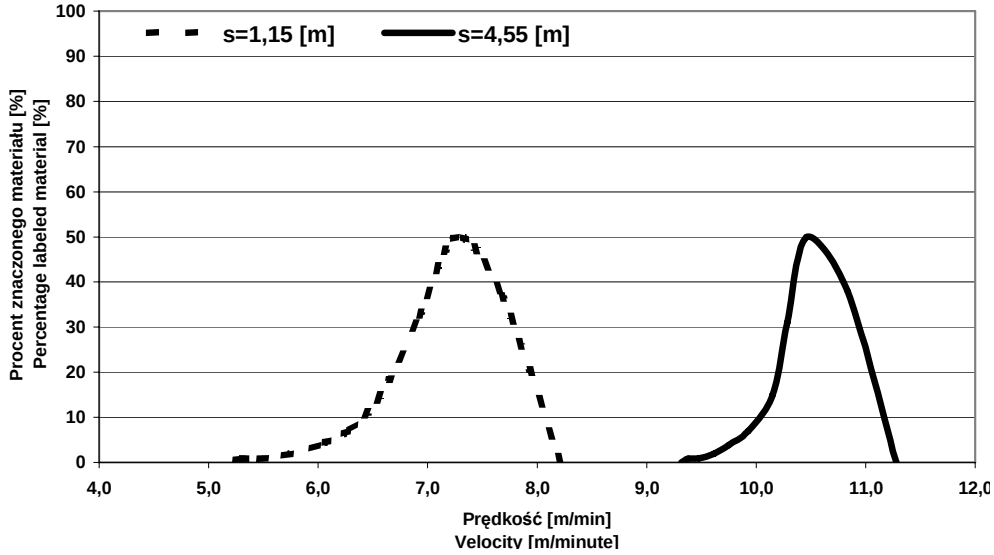
- iron angle located on screen surface at a distance of 115 cm from feeding point,
- end point of grain path on the screen before engine at a distance 275 cm from feeding point,
- endpoint of grain path on the screen seen from the platform, where camera was placed, 455 cm from the feeding point.

Transport velocity of material movement along screen surface was determined on the basis of time necessary for the labeled material to be transported over a distance:

$$\upsilon_{\max} = \frac{s}{t_{\min}}, \quad \upsilon_{\min} = \frac{s}{t_{\max}}, \quad \upsilon_{sr} = \frac{s}{t_{sr}}$$

Przez $t_{\min}$ oznaczono czas w jakim pierwsze ziarno przebyło drogę s, $t_{\max}$ czas, w którym ostatnie ziarno znaczonego materiału przebyło tę drogę, natomiast t_{sr} odpowiada czasowi w którym 50% znaczonych ziaren przebyło określoną drogę (rys. 2).

A $t_{\min}$ designates time necessary for the first grain to cover a distance s, $t_{\max}$ is the time necessary for the last grain of the labeled material to cover this distance, while t_{sr} corresponds to the time in which 50% of labeled grains covered the distance (fig. 2).



Rys. 2
Rozkład prędkości ruchu znaczonego materiału po powierzchni sita

Fig. 2
Transport velocity diagram for the labeled material movement along screen surface

Tablica 1
Prędkość materiału po powierzchni sita przy obciążeniu równym 80% nominalnej wydajności [m/min]

Table 1
Transport velocity of material movement along screen surface at the load equal to 80% of nominal capacity [m/min]

Numer doświadczenia Test numbers	Do kątownika Between feeding point and iron angle (s = 1150mm)			Do punktów mocowania napędu Between feeding point and angle (s = 2750mm)			Od kątownika do końca sita Between iron angle and of the screen (s = 3400 mm)			Po całej długości sita Along all lenght of screen (s = 4550 mm)		
	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}
1	8,67	7,26	5,06	10,25	9,03	7,58	12,79	11,33	9,67	11,42	10,52	9,40
2*	8,04	7,23	5,14	**	**	**	**	**	**	**	**	**
3*	8,12	7,50	5,22	9,51	8,54	7,86	13,09	11,52	9,75	11,33	10,41	9,27
4	7,92	7,17	4,94	9,40	8,41	7,70	12,78	11,77	9,81	11,07	10,48	9,25
Średnia Mean	8,17	7,29	5,09	9,72	8,66	7,71	12,89	11,54	9,75	11,27	10,47	9,31

* — doświadczenie wykonane z kwarcytem o uziarnieniu 12 – 15 mm
** — wyznaczenie prędkości materiału po powierzchni sita niemożliwe z powodu zbyt małej ilości kwarcytu wprowadzonego do nadawy przesiewacza

* — experiment with quartzite (grain size ranging 12 – 15 mm)
** — determination of transport velocity of material movement along screen surface was not possible due to too low amount of quartzite introduced into screen feed

Tablica 2
Prędkość materiału po powierzchni sita przy obciążeniu równym 100% nominalnej wydajności [m/min]

Table 2
Transport velocity of material movement along screen surface at a load equal to 100% of nominal capacity [m/min]

Numer doświadczenia Test numbers	Do kątownika Between feeding point and iron angle (s = 1150mm)			Do punktów mocowania napędu Between feeding point and angle (s = 2750mm)			Od kątownika do końca sita Between iron angle and of the screen (s = 3400 mm)			Po całej długości sita Along all lenght of screen (s = 4550 mm)		
	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}	υ_{max}	υ_{sr}	υ_{min}
5	8,62	7,13	5,10	9,6	8,6	7,66	12,58	11,03	9,32	11,28	10,30	9,13
6	8,19	6,93	4,91	9,73	8,5	7,87	13,06	11,56	9,66	11,36	10,52	9,24
Średnia Mean	8,40	7,03	5,00	9,67	8,55	7,765	12,82	11,29	9,48	11,32	10,41	9,18

Uzyskane wyniki obliczonej średniej prędkości ruchu materiału po powierzchni sita wyznaczone dla poszczególnych odcinków przesiewacza różnią się. Największą średnią prędkość wykazują ziarna w końcowym odcinku. Sytuacja ta związana jest ze zmniejszaniem się ilości materiału na sicie w skutek przesiewania.

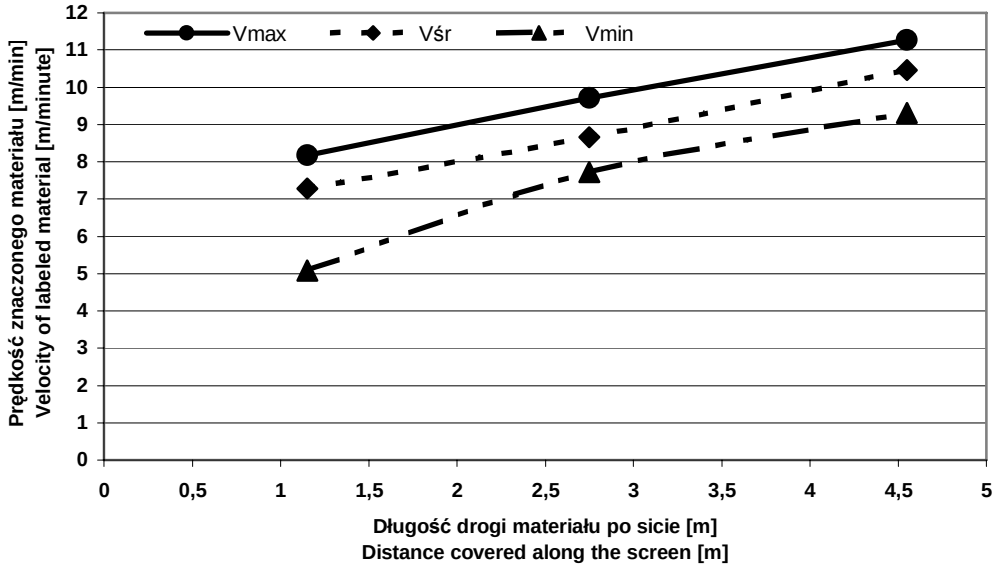
Natomiast wartości średniej prędkości wyznaczone dla różnej wydajności przesiewacza nie wykazują istotnych różnic.

Na rysunku 3 pokazano wartości wyznaczonej prędkości (średnia z 4-ech pierwszych doświadczeń) materiału w zależności od drogi jaką przebył materiał na sicie. Wynika z niego iż prędkość materiału wzrasta wraz ze wzrostem drogi przebytej przez materiał po sicie.

Mean velocities of material transport along screen surface measured for individual segments were different. The grains were transported with the highest mean velocity over the last segment. It results from reduction the quantity of material on the screen surface on account of screening.

On the other hand results of mean velocities determined for different capacities of screen no differ significant.

Figure 3 shows determined velocities (mean of test 1–4) on the surface of screen in dependence of distance from feed point. The velocity of material along screen surface increase with the travel distance.



Rys. 3
Zmiana wartości prędkości znaczonego materiału w zależności od przebytej drogi materiału po sicie

Fig. 3
The increase of the transport velocity along screen surface

Obliczona przy pomocy wzoru (1) średnia prędkość transportowa dla badanego przesiewacza wynosi 0,3 m/s (18 m/min), a więc jest wyższa od średniej wartości wyznaczonej doświadczalnie tj. 10,47 m/min (przy obciążeniu 80%) oraz 10,41 m/min (przy obciążeniu 100%).

Jedną z możliwych przyczyn różnicy pomiędzy prędkością obliczoną z wzoru (1) i wyznaczoną doświadczalnie jest rodzaj zastosowanego sita. Sita plecione oraz harfowe cechują wysokie opory ruchu związane z klinowaniem ziarn w porównaniu z sitami blaszanymi dla których stosuje się wzór (1).

Tarjan (1981) podaje, że typowa prędkość materiału po powierzchni sita w warunkach przemysłowych wynosi około 15 m/min. Wyznaczona w przeprowadzonych pomiarach średnia prędkość materiału po powierzchni sita stanowi 70% tej wartości.

Mean transport velocity for tested screen, calculated with the equation (1) is equal 0.3 m/s (18 m/minute), this value is greater than mean value determined in tests. 10.47 m/minute (with the load 80%) and 10.41 m/minute (with the load 100%).

Difference between velocity calculated with formula (1) and determined in tests may results from kind of applied screen. Woven screen and harp screen characterises bigger resist movement than metal plate screen for which formula (1) is recommended.

Tarjan (1981) presumes that typical transport velocity of material movement along screen surface under industrial conditions approximates 15 m/minute. Mean velocities of material transport along screen surface determined in the present experiments amounted to 70% of this value.

Tarjan podaje następujący związek pomiędzy wydajnością przesiewacza i jego parametrami techniczno-ruchowymi:

Tarjan reported the following relationship between screen capacity and its technical parameters:

$$\frac{Q\left(S_{\frac{3}{2}a} - S_{\frac{1}{2}a}\right)}{100} = \frac{60 \cdot \upsilon \cdot a \cdot B}{1000} \qquad (2)$$

gdzie:
Q – wydajność, m^3/h
S – wychód klasy ziarnowej $(\frac{3}{2}a,\ \frac{1}{2}a)$ – ziarna trudne wg Tarjana, %
α – wymiar oczka sita, mm,
υ – średnia prędkość materiału, m/min,
B – szerokość sita, m.

where:
Q – capacity, m^3/h
S – yield of the class $(\frac{3}{2}a,\ \frac{1}{2}a)$ considered difficult to screen, %
α – size of screen aperture, mm,
υ – mean transport velocity of material, m/min,
B – screen breadth, mm.

Przyjmując dla badanego przesiewacza υ = 10 m/min, α = 6 mm, S = 50% otrzymamy wydajność:

Assuming that for testing screen υ = 10 m/min, α = 6 mm, S = 50% we obtain capacity:

$$Q = 60 \cdot 10 \cdot 6 \cdot \frac{1{,}8}{0{,}5 \cdot 1000} \approx 13 \text{ m}^3/\text{h}$$

Według Dietrycha [3] wydajność przesiewaczy w znacznym stopniu zależy od wielkości i kształtu otworów zastosowanych sit. Przy końcowej klasyfikacji węgla zaleca on dla otworów kwadratowych 25 mm obciążenie 15 – 20 Mg/h m^2 natomiast przy sitach o kwadratowych otworach 10 mm obciążenie nie powinno przekraczać 8 – 10 Mg/h m^2 [3].

Powierzchnia sita w badanym przesiewaczu o szerokości B = 1,8 m, L = 4,8 m wynosiła $L \times B$ = 8,64 m^2. Dla takiej powierzchni przy założeniu, że kwadratowe otwory w sicie mają wymiar a = 6 mm dopuszczalna wydajność wg Dietrycha wynosiłaby ok. 50 – 65 m^3/h, przyjmując że ciężar usypowy węgla wynosi 1Mg/m^3.

Obliczona na podstawie zmierzonej prędkości wydajność przesiewacza pozwala stwierdzić, że grubość warstwy przesiewanego materiału wynosi około 12 mm. Wartość ta nie przekracza czterokrotnej wartości wymiaru otworu sita zatem spełniony był warunek uzyskania wysokiej sprawności przesiewania [1]. Tak niewielka grubość warstwy przesiewanego materiału na sicie może być dodatkowym czynnikiem powodującym różnicę w wyznaczonych prędkościach ruchu materiału po powierzchni sita.

Przeprowadzone obliczenia wskazują że dopuszczalne obciążenie przesiewacza nie zostało przekroczone.

According to Dietrych [3], screen capacity depends mostly on size and shape of screen apertures. For final coal classification, he recommended a load of 15 – 20 Mg/h m^2 and less than 8 – 10 Mg/h m^2 for sizes of square screen apertures of 25 mm and 10 mm size, respectively [3].

The surface of tested screen with width B = 1.8 m and length L = 4.8 m is equal $L \times B$ = 8.64 m^2. For such surface assuming the square aperture of screen and a = 6 mm admissible capacity according to Dietrych is 50 – 65 m^3/h (for volume density of coal 1Mg/m^3).

Screen capacity determined on the basis of measured velocity enable to confirm, that thickness of the layer of screening material is about 12 mm. This value is less then four times value size of aperture. Hence one can conclude that the condition for obtaining a high screening efficiency were performed. [1]

Performed calculation showed that load of screen was lower than admissible.

4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary prędkości ruchu materiału po powierzchni sita wykazują różnice pomiędzy wartościami tej wielkości wyznaczonymi doświadczalnie oraz obliczonymi na podstawie wzoru

4. Conclusions

The conducted measurement of transport velocity along screen surface showed difference between values determined in test and values calculated with theoretic equation. Values calculated are higher then

wyprowadzonego teoretycznie. Wartości obliczone teoretycznie są wyższe od wartości prędkości określonych doświadczalnie. Może to być spowodowane rodzajem zastosowanego sita oraz grubością warstwy przesiewanego materiału na sicie.

Z porównania wyników uzyskanych w seriach doświadczeń przy różnych wydajnościach wynika, że zwiększenie ilości materiału podawanego na przesiewacz o około 25% (do nominalnego obciążenia) nie wpłynęło w sposób istotny na prędkość materiału na powierzchni sita.

Na początku swej drogi po powierzchni sita materiał porusza się wolniej a na końcowym odcinku sita prędkość materiału jest znacznie wyższa. Minimalna prędkość materiału w początkowej drodze jest dwukrotnie niższa od prędkości minimalnej w drugim odcinku na którym wykonywano jej pomiar.

Zarejestrowany przy pomocy kamery rozkład znaczonego materiału na powierzchni sita wskazuje na różnice w prędkościach dla przekroju sita wzdłuż jego szerokości. Największą prędkość posiadają ziarna w środkowym przekroju sita. Wynika to z dodatkowych oporów ruchu na krawędziach sita związanych z tarciem przesiewanego materiału o boczne elementy ramy.

values determined in tests. It may results from character of screen and thickness of material layer on the surface of screen.

Comparison of the results obtained at different capacities indicated that an increase in the amount of material fed to the screen by about 25% (up to nominal load) did not significantly affect transport velocity of material movement along screen surface.

The material was transported slower at the beginning of its movement along screen surface, while the velocity considerably increased at the end section. Minimal transport velocity of material movement along the first segment was twice lower in comparison with minimal velocity for the second segment under examination.

Distribution of labeled material on screen surface, recorded by video camera, showed differences in velocity across screen breadth. The highest velocity was noted in the middle of screen breadth, which resulted from additional resistance to the motion at screen edges, associated with friction of the screened elements with side elements of screen frame.

5. Literatura — References

1. *Banaszewski T.: „Przesiewacze", Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1990.*
2. *Dyr T., Wodziński P.: „Prędkość warstwy uziarnionej na sicie", Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 17 z. s., Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2001.*
3. *Praca zbiorowa: Poradnik Górnika Tom V., Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1976.*
4. *Sztaba K.: „Przesiewanie", Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.*
5. *Tarjan G.: „Mineral processing", Akademiai Kiado, Budapest 1981. Oniciu L. Physics – Chemistry. , Bucharest ,1988.*

Praca wykonana w ramach badań statutowych AGH (nr umowy: 11.11.100.238)