



# Prędkość ziarn na pokładzie przesiewacza typu WK

## Velocity of grain moving upon the surface of WK-type screen

Artur FILIPOWICZ <sup>1)</sup>, Tadeusz BANASZEWSKI <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dr inż.; Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Maszyn Górniczych, Przerobczych i Transportowych; Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel.: (+48-12) 617 30 73; e-mail: arfili@uci.agh.edu.pl

<sup>2)</sup> Prof. dr hab. inż.; Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Maszyn Górniczych, Przerobczych i Transportowych; Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel.: (+48-12) 633 51 62; e-mail: banasz@uci.agh.edu.pl

RECENZENCI: prof. Peter FEČKO; prof. dr hab. inż. Piotr WODZIŃSKI

### Streszczenie

Jednym z najważniejszych parametrów decydujących o pracy przesiewacza jest prędkość ziarn na sicie. Zwiększenie tej prędkości powodować może zwiększenie wydajności kosztem obniżenia skuteczności przesiewania, a obniżanie poprawę skuteczności związaną z wydłużeniem czasu przesiewania. Najbardziej znane wzory na prędkość transportową ziarn na sicie o drganiach kołowych nie dają zadowalających wyników zwłaszcza dla dużych amplitud drgań. Opracowany w latach 90-tych wzór empiryczny nie pozwala jednoznacznie oceniać wpływu poszczególnych parametrów drgań na prędkość ziarn. W pracy zaproponowano prosty wzór empiryczny opracowany na podstawie kilku tysięcy pomiarów pozwalający na dokładniejsze prognozowanie prędkości transportowej.

### Summary

Velocity of grains moving upon the screen surface is one of the major parameters influencing the screening performance. However, increase of the velocity in question may improve the machine efficiency at the cost of sieving effectiveness. Consequently, decrease of the velocity may improve sieving effectiveness, due to the elongation of sieving time. Formulas commonly used to calculate the grains transport velocity on a circular vibration screen are not fully useful, particularly for high amplitudes. Based on the empirical formula proposed in the nineties, unique estimation of the influence of individual vibration parameters upon the grain velocity is hardly possible. A simple empirical formula developed on the basis of thousands of measurements has been proposed in the study. This formula allows more precise prognosis of the grain transport velocity.

## 1. Wstęp

Ważnym parametrem procesu przesiewania jest prędkość transportowania ziarn na sitach. Właściwy dobór tej prędkości powodować może zwiększenie wydajności kosztem obniżenia skuteczności przesiewania, lub poprawę skuteczności związaną z wydłużeniem czasu przesiewania.

Próby teoretycznego określenia prędkości ziarn na sicie przesiewacza WK o drganiach kołowych kończyły się niepowodzeniem z uwagi na trudności z opisaniem poślizgu ziarn po uderzeniu w pokład sitowy i wynikające z nich problemy z dokładnym określeniem kąta wyrzutu ziarna [1]. Prędkość transportowa określana była w sposób empiryczny lub półempiryczny.

Najpopularniejsze wzory do wyznaczania prędkości transportowej podane w pracach [4, 5] cechują się wyraźną rozbieżnością wyników już dla najniższych stosowanych w przesiewaczach wskaźników podrzutu.

Problemy w opisanie ruchu ziarn na pokładzie o drganiach kołowych i rozbieżności wyników prędkości transportowej uzyskiwanych z dotychczas stosowanych zależności skłoniły autorów do opracowania wzoru empirycznego opartego na kilku tysiącach pomiarów.

## 1. Introduction

Transport velocity of grains moving on the screen surface is a critical parameter of the sieving process. Proper selection of this velocity may improve the machine performance at the cost of reduction of sieving effectiveness, or it may improve the sieving effectiveness due to the sieving time elongation.

In case of the circular vibration WK-type screen, because of difficulties related to description of the grain slide and consequently the angle of the grain ejection [1], all trials of theoretical description of the grain velocity were not fully successful. The grain transport velocity was determined empirically, or semi-empirically.

The most commonly used formulas used for the grain transport velocity calculation [4, 5] express distinct divergence of results, already for the lowest values of the ejection factors.

Problems related to description of the grains movement, as well as the divergence of the results obtained, motivated the authors for development of a new empirical formula, on the basis of thousands of experimental measurements.

## 2. Analiza zależności opisujących prędkość transportową ziarn na pokładzie sitowym o drganiach kołowych

Najczęściej obliczenia prędkości transportowej przesiewaczy oparte są na pochodzących z lat siedemdziesiątych wzorach Nawrockiego [5]:

$$v = 14 \frac{g}{\omega} \tan \beta \log \frac{A \omega^2}{g \cos \beta} \quad (1)$$

i Błagowa [4]:

$$v = 33 \frac{\omega}{2\pi} A \sin \left[ \arccos \left( \frac{g \cos \beta}{A \omega^2} \right) - \beta \right] \sin \beta \quad (2)$$

w których:  $\omega$  wyrażono w [rad/s], kąty  $\alpha$  i  $\beta$  w [rad], a amplitudę  $A$  w [m].

Prędkość ziarn na sicie o drganiach kołowych opisywaną przez zależności (1 i 2) pokazano na rys.1. Wykres przedstawia prędkości określone przedstawionymi wzorami dla amplitudy drgań  $A = 1,6$ [mm], kąta nachylenia pokładu sitowego  $\beta = 20^\circ$  oraz częstości drgań w od 800 do 1800[obr/min]. Parametry te odpowiadają wskaźnikom podrzutu leżącym w zakresie  $u_2 = 1,2 \div 6,2$ .

Analiza teoretyczna wykazuje, że ruch ziarn z wykorzystaniem podrzutu następuje dla  $u_2 > 1$ , a możliwy do zaobserwowania podrzut występuje dla  $u_2 > 1,5$  [1]. Można zauważyć, że prędkości obliczone z wykorzystaniem przedstawionych wzorów są prawie zgodne tylko dla wskaźników podrzutu nieistotnych dla praktycznego zastosowania w przesiewaczach. Dla wskaźników podrzutu  $u_2 > 2$  występują znaczne rozbieżności w obliczeniach prędkości transportowej.

## 2. Analysis of relations describing transport velocity of grains moving on circular vibration screen

Calculations of the screen transport velocity are based on Nawrocki's formulas [5], developed in the seventies:

$$v = 14 \frac{g}{\omega} \tan \beta \log \frac{A \omega^2}{g \cos \beta} \quad (1)$$

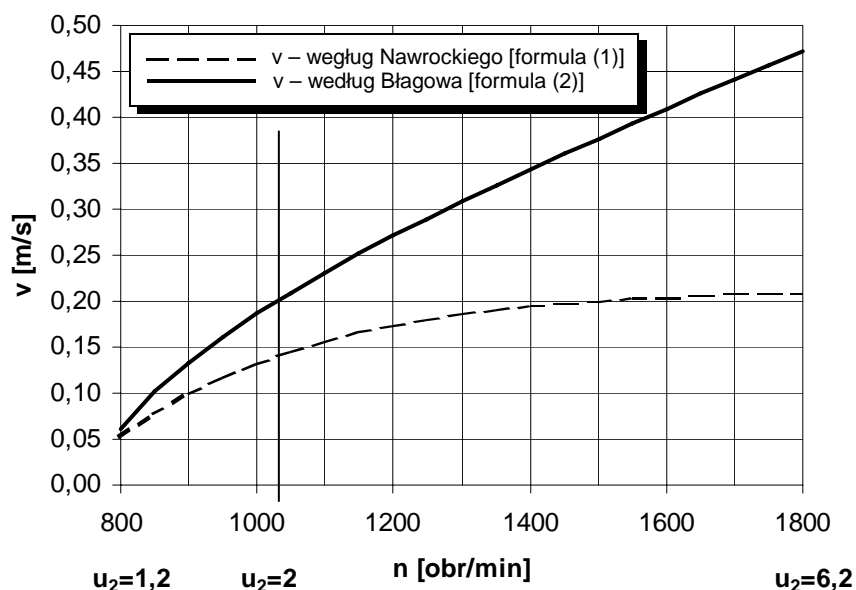
and Błagow's formulas [4]:

$$v = 33 \frac{\omega}{2\pi} A \sin \left[ \arccos \left( \frac{g \cos \beta}{A \omega^2} \right) - \beta \right] \sin \beta \quad (2)$$

where:  $\omega$  is expressed in [rad/s], angles  $\alpha$  and  $\beta$  in [rad], and amplitude  $A$  in [m].

The grains velocity on circular vibration screen, defined by formulas (1 i 2) is shown in Fig.1. The diagram presents the velocities calculated with use of the cited formulas, for the amplitude  $A = 1.6$ [mm], screen surface inclination  $\beta = 20^\circ$  and vibration frequency  $\omega$  ranging from 800 to 1800[r.p.m.]. The parameters refer to ejection factor  $u_2 = 1.2 \div 6.2$ .

Theoretical analysis proves that the movement of grains, including ejection, takes place when  $u_2 > 1$ , and the ejection which can be observed take place when  $u_2 > 1.5$  [1]. It can be seen that the velocities calculated on the basis of the cited formulas are truth only for ejection factors, which are not essential from the practical point of view. For the ejection factors  $u_2 > 2$ , considerable divergences of the calculated transport velocity are observed.



Rys. 1  
Prędkość transportowa ziarn wyznaczana według zależności (1) i (2) dla  $A = 1,6$ [mm] w funkcji prędkości obrotowej i wskaźnika podrzutu

Fig. 1  
Grain transport velocity calculated from formulas (1) i (2), for  $A = 1.6$ [mm], as a function of rotational velocity and ejection factor

Jak widać prędkości wyznaczone z wykorzystaniem wzoru (1), dla podanego zakresu wskaźników podrzutu są znacznie niższe od uzyskiwanych przez zastosowanie wzoru (2).

Obydwa wzory służące do określania prędkości transportowej opracowane zostały przynajmniej częściowo na drodze teoretycznej.

Prowadzone analizy wykazały, że w pełni teoretyczne wyznaczenie użytecznych wzorów określających prędkość transportową ziarna na przesiewaczu kołowym nie jest możliwe ze względu na problemy związane z jednoznacznym określeniem momentów upadku ziarna na pokład i momentu jego ponownego wyrzutu. Wynika to z występowania poślizgów popadkowych, trudnych do ujęcia we wzorach teoretycznych.

Z powodu znacznego nachylenia pokładów przesiewaczy o drganiach kołowych, ziarna po upadku na pokład przemieszczają się w trudny do teoretycznego ujęcia sposób, a określenie momentu ich wyrzutu jest znacznie bardziej złożone niż dla przesiewaczy o drganiach prostoliniowych [1]. Na pokładzie o drganiach kołowych wyrzut ziarna warunkowany jest uzyskaniem wystarczającej wartości składowej siły bezwładności normalnej do pokładu. W przeciwieństwie do przesiewaczy o drganiach prostoliniowych, siła bezwładności działająca na ziarno ma stałą wartość, lecz zmienny zwrot i kierunek, a więc warunki umożliwiające podrzut ziarna występują w okresach uniemożliwiających jednoznaczne określenie kąta wyrzutu [1].

Zasadnicza trudność w analitycznym opracowaniu wzoru na prędkość materiału na przesiewaczach o drganiach kołowych wynika przede wszystkim z tego, że siła bezwładności zmienia swój kierunek i może powodować poślizgi wsteczne ziarna. Aby ograniczyć poślizgi wsteczne, sita przesiewaczy WK są mocno nachylone. To z kolei stwarza duże prawdopodobieństwo toczenia się ziarna w przypadku cienkiej warstwy materiału. Poślizg po upadku jak i ewentualne toczenie, mogą trwać aż do ponownego wyrzutu, co również zmieni przebieg trajektorii lotu. Konieczność uwzględnienia w ruchu ziarna po sicie poślizgów stanowi główną przeszkodę w opracowaniu teoretycznego, dającego poprawne wyniki wzoru na prędkość ziarna na sicie o drganiach kołowych.

Brak podstaw do teoretycznego opisu ruchu ziarna na pokładzie przesiewaczy o drganiach kołowych skłania do poszukiwania alternatywnej metody opisanego zjawiska.

### 3. Metodyka pomiarów

W związku z opisanymi trudnościami podjęto próby empirycznego wyznaczenia zależności pomiędzy parametrami drgań pokładu a prędkością transportową ziarna.

As seen, velocities calculated using formula (1), for the mentioned range of ejection factor, are considerably lower than those calculated with use of the formula (2).

Both formulas used in transport velocity calculation have been determined theoretically.

The executed analysis proved that strictly theoretical formulas used for describing a circular screen grain transport velocity is not reasonable because of problems related with unique determination of the moment of the grain falling and ejecting. This effect is related to the post-falling grain slide, what is difficult to be described by theoretical formulas.

Because of the considerable inclination of the circular screen surface, the grains move in a manner which is difficult to be theoretically described, and defining the grain ejection moment is much more complex than in case of screens with rectilinear vibration [1]. On the circular vibration screen surface, the grain ejection depends on the inertial-force component, which is normal to the surface. In contrast to the rectilinear vibration screens, the inertial force inserted to the grain has constant value, but variable sense and direction, thus conditions allowing grain ejection occur within periods when unique description of the ejection angle [1] is not possible.

In case of the circular vibration screens, major difficulty of analytical development of the grain velocity formula results from the fact that the inertial force changes its direction, what can result in backward grain slides. In order to reduce the backward slide effect, WK-screens are strongly inclined. This in turn, in case of thin material layer, generates high probability of the grain rolling. Post-falling slide and eventual rolling may take place till the next ejection, what also changes the grain movement trajectory. The grain slide effect is major difficulty of theoretical analysis, aimed at receiving correct results of the grain velocity formula for circular vibration screens.

This motivated us to search for the alternative method describing the phenomenon in question.

### 3. Measurement method and procedure

The experiments have been aimed at empirical development of the relation between the screen vibration parameters and the grain transport velocity.

Badania prowadzone były na przesiewaczu o drganiach kołowych zweryfikowanych w kilku punktach metodą fotograficzną [2]. Prowadzono je wykorzystując poduszki wypełnione dwoma rodzajami kruszywa: –1mm i 5–10mm. Pięć materiałów, z których wykonano poduszki o wymiarach 120x200[mm] dobrano w sposób zapewniający różną współpracę poduszki z sitem jednokarbowym JL10.

Na przesiewaczu o długości 2[m] wydzielono odcinek o długości 1,5[m], na którym mierzono czas przemieszczania się poduszek. Każdy pomiar powtarzano co najmniej pięciokrotnie, a jako wynik traktowano średnią z pomiarów nie odbiegających od wartości średniej o więcej niż 5[%].

Wyznaczana dla określonych parametrów prędkość była wartością średnią dla wszystkich pięciu zastosowanych poduszek. Można więc stwierdzić, że prędkość transportowa materiału dla wybranych parametrów dynamicznych przesiewacza wyznaczana była na podstawie co najmniej 50 pomiarów. Łącznie wykonano ponad 4 tysiące pomiarów.

Podczas badań stwierdzono, że różnice w prędkości transportowej zastosowanych poduszek nie przekraczały 11[%].

Wynikiem opisanych badań było sformułowanie w pełni empirycznej zależności:

$$v = 0,85[(0,014 A + 0,033) n + (0,613 \beta - 9,2) A - 35] \quad [\text{cm/s}] \quad (3)$$

gdzie:  $A$  — amplituda drgań w [mm],  $n$  — obroty wału napędowego [obr/min],  $\beta$  — kąt nachylenia pokładu sitowego [°], a czynnik 0,85 wynikał z dostosowania wzoru do przeciętnych warunków zawilgocenia nadawy [3].

Przedstawiony wzór umożliwiał wyznaczanie prędkości transportowej dla parametrów:  $A=1,5\div 6$ [mm],  $n = 600\text{--}1400$ [obr/min],  $\beta = 15\div 25$ [°], co odpowiadało wskaźnikom podrzutu z zakresu 1,8–6,6, a więc powszechnie stosowanym w przesiewaczach o drganiach kołowych.

Mimo tego, że przedstawiona zależność opracowana została z wykorzystaniem prostych metod statystycznych, dobrze opisywała prędkość ziarn na pokładzie przesiewacza typu WK. Jej wadą jest brak możliwości jednoznacznej oceny wpływu podstawowych parametrów ( $A$ ,  $\omega$ ,  $\beta$ ) pracy przesiewacza na prędkość transportową.

W związku z opisaną wadą wzoru ponownie przeanalizowano wyniki badań, poddając je analizie statystycznej wykorzystującej metody numeryczne oraz współcześnie stosowane oprogramowanie. Celem pracy było uzyskanie jak najprostszego wzoru, w którym widoczny byłby wpływ poszczególnych parametrów na prędkość ziarn na pokładzie o drganiach kołowych.

The tests have been made using circular vibration screen. The vibrations were verified by photographic method [2]. Pillows filled with two types of aggregate: –1mm and 5–10mm were used. Pillow dimension: 120x200[mm]. In order to allow operational cooperation of the pillow with the screen JL10, suitable pillow-building material was selected.

On the screen, a section of the length has been chosen. Here, the time of the pillow displacement was measured. Each measurement was repeated at least 5 times. Mean value of the measurements not exceeding 5% of the average value was considered as the measurement result.

Velocity determined for assumed parameters was a mean value of five pillows used. Thus it can be stated that the grain transport value for chosen dynamic parameters was determined on the basis of at least 50 measurements. In total, over four thousand measurements have been executed.

It was proved that the transport velocity differences of the pillow used, did not exceed 11[%].

In result the following fully empirical relation has been defined:

where:  $A$  — vibration amplitude in [mm],  $n$  — driving shaft rotations [r.p.m.],  $\beta$  — screen inclination in [°]. Constant 0.85 resulted from the average moisture content of the material [3].

The presented formula allows transport velocity calculation for parameters:  $A = 1.5\div 6$ [mm],  $n = 600\text{--}1400$ [r.p.m.],  $\beta = 15\div 25$ [°], what corresponds to ejection factors ranged from 1.8 to 6.6, which are commonly used for circular vibration screens.

Irrespective of the fact that the presented relation was defined on the basis of simple statistical methods, the relation properly described the grain velocity on WK screen. However, unique estimation of the influence of the basic parameters ( $A$ ,  $\omega$ ,  $\beta$ ) upon the grain transport velocity is still not possible.

Due to the mentioned disadvantage, the testing results were re-analyzed. The results were handled with use of numerical-based statistical analysis, on the base of up-dated software. The analysis was aimed at constructing the possibly simplest formula, combining influence of the operational parameters upon the grain transport velocity.

#### 4. Analiza wyników pomiarów

Wstępna analiza wyników polegała na ocenie zależności prędkości ziarn na pokładzie w funkcji parametrów drgań.

Analizowano funkcje:

- $v(\omega)$  dla  $\beta = \text{const}$  i różnych wartości  $A$ ,
- $v(\omega)$  dla  $A = \text{const}$  i różnych wartości  $\beta$ ,
- $v(\beta)$  dla  $\omega = \text{const}$  i różnych wartości  $A$ ,
- $v(\beta)$  dla  $A = \text{const}$  i różnych wartości  $\omega$ ,
- $v(A)$  dla  $\beta = \text{const}$  i różnych wartości  $\omega$ ,
- $v(A)$  dla  $\omega = \text{const}$  i różnych wartości  $\beta$ .

W każdym z przypadków funkcją najlepiej opisującą zależności była funkcja liniowa. Na żadnym z ponad 30 syntetycznych wykresów nie stwierdzono występowania wyraźnych zależności innych niż liniowe.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono ostateczne, uśrednione wyniki pomiarów w postaci funkcji  $v(A)$  dla  $\beta = 15$  i  $21[^\circ]$  oraz częstości drgań w z zakresu  $73 \div 136[\text{rad/s}]$ .

#### 4. Measurement results - analysis

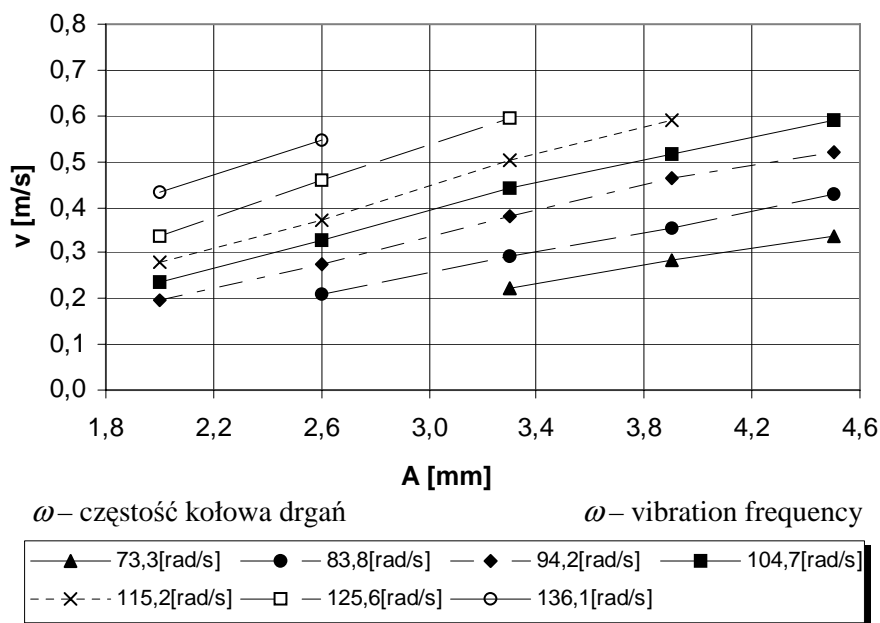
Preliminary analysis comprised evaluation of the grain velocity on the screen surface as a function of vibratory parameters.

The following functions were analyzed:

- $v(\omega)$  for  $\beta = \text{const}$  and for different  $A$  values,
- $v(\omega)$  for  $A = \text{const}$  and for different  $\beta$  values,
- $v(\beta)$  for  $\omega = \text{const}$  and for different  $A$  values,
- $v(\beta)$  for  $A = \text{const}$  and for different  $\omega$  values,
- $v(A)$  for  $\beta = \text{const}$  and for different  $\omega$  values,
- $v(A)$  for  $\omega = \text{const}$  and for different  $\beta$  values.

Linear function was the best describing one, for each of the analyzed options. No other than linear relations were observed within over 30 analyzed diagrams.

Final, averaged measurement results, expressed in form of a function  $v(A)$   $\beta = 15$  and  $21[^\circ]$ , and vibration frequency  $\omega$  from the range  $73 \div 136[\text{rad/s}]$ , are shown in Fig.2 and Fig.3.



Rys. 2

Zależność prędkości transportowej ziarn od amplitudy drgań pokładu dla różnych wartości  $\omega$  i kąta nachylenia  $\beta = 15[^\circ]$

Fig. 2

Relation between grain transport velocity and vibration amplitude, for different values  $\omega$  and inclination angle  $\beta = 15[^\circ]$

W analizowanych przypadkach stwierdzano, że liniowa zależność najlepiej opisuje wpływ podstawowego parametru na prędkość transportową ziarn na pokładzie przesiewacza WK.

Do analizy wyników wykorzystano komputerowe programy statystyczne, zadając poszukiwanie parametrów  $Par_i$  funkcji:

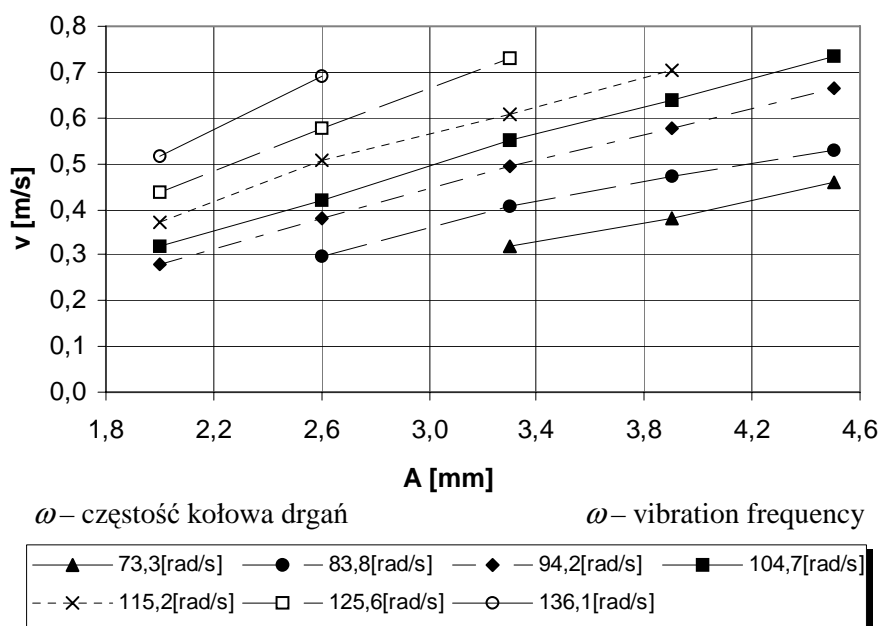
It was proved in the analyzed cases that the linear relation describes in the best manner the influence of the major parameter upon the grain transport velocity, on the WK screen.

Statistical computer programs were used for the analysis. Selection of parameters  $Par_i$  was prescribed to a function:

$$v = Par_0 + Par_1\beta + Par_2A + Par_3\omega \quad (4)$$

gdzie:  $Par_0$  to parametr nie związany z żadną wartością (wyraz wolny), a  $Par_i$  dla  $i = 1 \div 3$  to parametry związane z trzema podstawowymi parametrami drgań.

where:  $Par_0$  is a parameter not prescribed to any value (free parameter), whereas  $Par_i$  for  $i = 1 \div 3$  comprises parameters related to three basal vibration parameters.



Rys. 3  
Zależność prędkości transportowej ziarn od amplitudy drgań pokładu dla różnych wartości  $\omega$  i kąta nachylenia  $\beta = 21[^\circ]$

Fig. 3  
Relation between grain transport velocity and vibration amplitude, for different values  $\omega$  and inclination angle  $\beta = 21[^\circ]$

Obliczenia prowadzone różnymi metodami pozwoliły na określenie parametrów  $Par_i$ . Po wyznaczeniu wartości  $Par_i$  wzór (4) zapisać można jako:

The calculations, executed with use of different methods, allowed us to define parameters  $Par_i$ , and the formula (4) can be expressed as:

$$v = 0,151A + 0,007\omega + 0,0177\beta - 1,09 \quad (5)$$

gdzie:

- $v$  – prędkość transportowa ziarn [m/s],
- $A$  – amplituda drgań w [mm],
- $\omega$  – częstość kołowa drgań w [rad/s],
- $\beta$  – kąt nachylenia pokładu wyrażony w stopniach  $[^\circ]$ .

where:

- $v$  – grain transport velocity [m/s],
- $A$  – vibration amplitude in [mm],
- $\omega$  – circular vibration frequency in [rad/s],
- $\beta$  – screen inclination angle in  $[^\circ]$ .

Dla przedstawionego opisu prędkości transportowej ziarn na pokładzie o drganiach kołowych współczynnik regresji wynosi  $R=0,98$ , a średni błąd względny nie przekracza  $8,5[\%]$ .

For the presented description of the grain transport velocity, a regression coefficient accounts for  $R=0.98$ , and average relative error does not exceed  $8.5[\%]$ .

Wcześniejsze doświadczenia związane z wpływem wilgotności materiału na prędkość wykazują, że prędkość wyznaczona z wykorzystaniem opisanych wcześniej poduszek jest o ok.15% wyższa niż uzyskiwana w przypadku przesiewania rzeczywistej nadawy. Wyniki pomiarów oraz będący efektem ich analizy wzór (5) należy skorygować wprowadzając czynnik 0,85. Ostateczna postać wzoru na prędkość materiału na sicie o drganiach kołowych to:

Former examinations aimed at the influence of material moisture content upon the velocity have proved that velocity determined with use of pillows described in this study is about 15% higher than in case of real material sieving. Thus the measurement results and the formula (5) should be suitably corrected, and a factor 0.85 should be introduced. Thus the final form of the formula is:

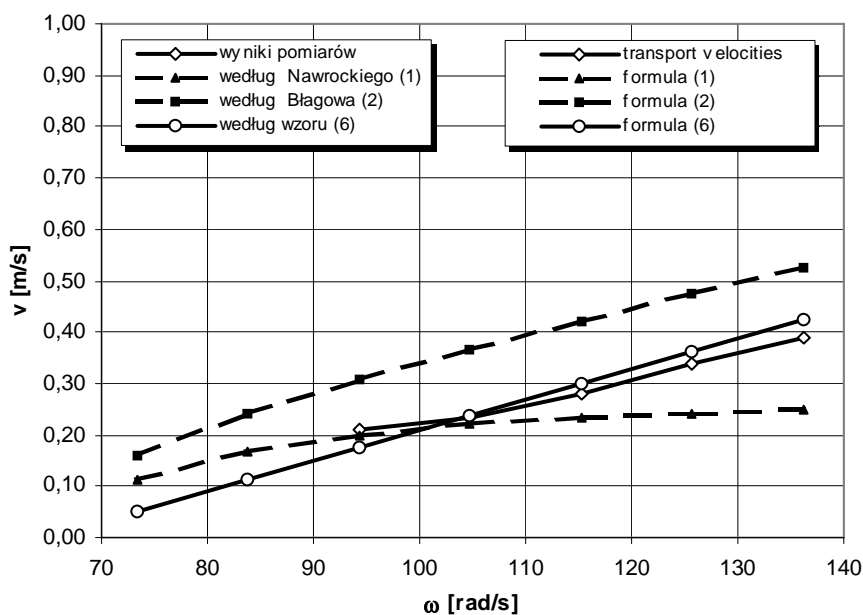
$$v = 0,128A + 0,006\omega + 0,015\beta - 0,927 \quad (6)$$

Na rysunkach 4÷8 przedstawiono wyniki badań prędkości transportowych skorygowanych według opisanej powyżej zasady oraz prędkości wyznaczone z wykorzystaniem wzoru (6) i wyniki uzyskiwane przy zastosowaniu wzorów (1) i (2). Wszystkie przebiegi opisują zależność prędkości transportowej od częstości drgań dla kolejnych badanych amplitud ( $A=2; 2,6; 3,3; 3,9$  oraz  $4,5$  [mm]) przy kącie nachylenia pokładu sitowego  $\beta=19^\circ$ .

Dla małych amplitud drgań 2 oraz 2,6[mm] wyniki pomiarów wahają się pomiędzy wartościami uzyskiwanymi z wzorów Nawrockiego (1) i Błagowa (2). W miarę wzrostu amplitudy zmierzona prędkość transportową ziarn lepiej opisuje wzór Błagowa (2). Dalszy wzrost amplitud wykazuje jednak, że obydwa wzory dają wartości zaniżone w stosunku do wyników pomiarów. Widać wyraźnie, że wzór Nawrockiego (1) wykazuje wyraźne odchylenia od wyników pomiarów już przy niewielkich amplitudach drgań. Wzór Błagowa (1), w którym wyraźnie widać liniowy związek prędkości transportowej z amplitudą pokładu, dokładniej uwzględnia dynamikę drgań.

The corrected grain transport velocities and velocities calculated with use of the formula (6), including results received with use of formulas (1) and (2), are shown in Figures 4÷8. All runs describe relations between the grain transport velocity and vibration frequency, for tested amplitudes ( $A=2; 2.6; 3.3; 3.9$  and  $4.5$  [mm]), with screen inclination angle  $\beta=19^\circ$ .

For small vibration amplitudes (2 and 2.6 [mm]), the results range between values which were received from Nawrocki's (1) and Błagow's (2) formulas. Błagow's formula (2) is more advantageous for higher amplitudes. However, in case of consequent increase of the amplitudes, both formulas expressed underrated values as compared with the measurement results. As seen, Nawrocki's formula gives distinct deviations from the measurement results, even for small vibration amplitudes. Błagow's formula (1), where linear relation between velocity and amplitude is observed, better describes the vibration dynamics.



Rys. 4  
Prędkość ziarn na pokładzie o drganiach kołowych w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu wzorów (1), (2) i (6), dla  $\beta=19^\circ$  oraz  $A=2$ [mm]

Fig. 4  
Grain velocity versus results obtained using formulas (1), (2) and (6), for  $\beta=19^\circ$  and  $A=2$ [mm]

Podczas badań zauważono, że wzory (1) i (2) nie powinny być stosowane dla wysokich parametrów dynamicznych drgań. Ze wzrostem dynamiki drgań różnice pomiędzy obliczeniami i wynikami pomiarów stają się coraz większe.

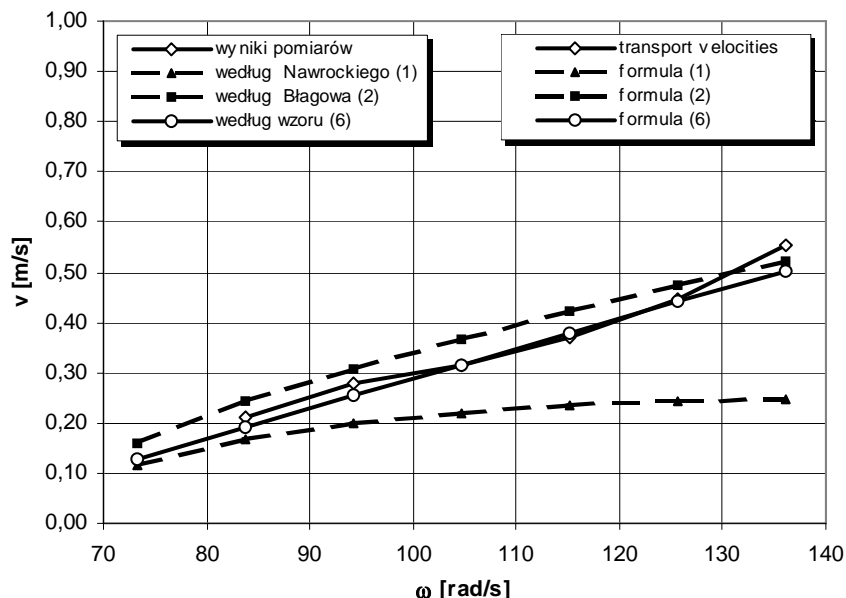
Na rysunkach 5 i 6 widać rosnące z amplitudą różnice między przewidywaniami wzoru Błagowa (2) i wynikami pomiarów. W opisywanym na tych

It was observed, that formulas (1) and (2) should not be used for high values of the dynamic vibration parameters. Differences between computational and theoretical results increase proportionally to the vibration dynamics.

Differences between Błagow's (2) and measurement results, increasing proportionally to the increased amplitude, are shown in Figures 5 and 6. In

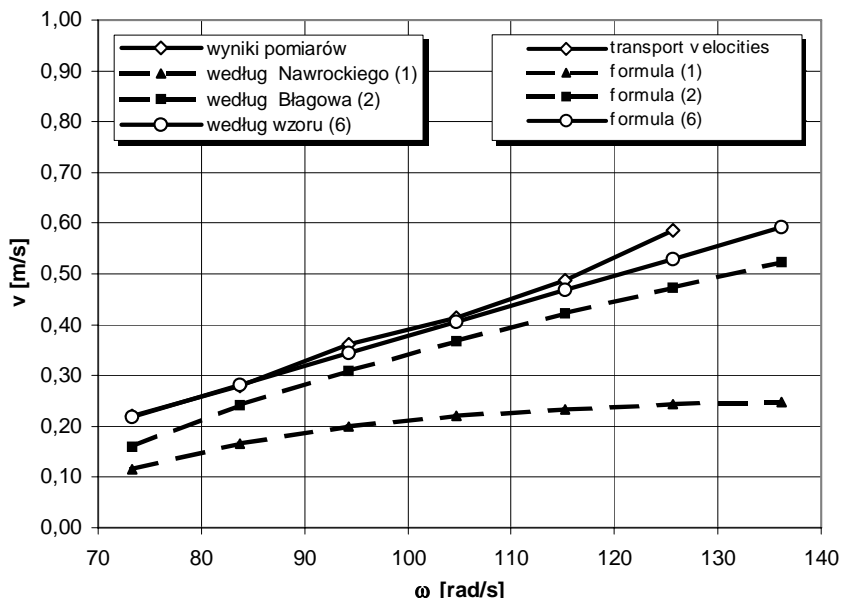
wykresach zakresie parametrów dynamicznych wzór Nawrockiego (1) wykazuje błędy, wykluczające praktyczną możliwość zastosowania. Ponieważ wzory (1) i (2) opracowane zostały dla niskich amplitud, nie powinny być stosowane przy wysokich wskaźnikach dynamicznych drgań.

the range of dynamic parameters shown in these figures, Nawrocki's formula (1) expresses some errors, which eliminate practical use of this formula. Because formulas (1) and (2) have been developed for low amplitudes, they should not be used for condition of high dynamic vibration indicators.



Rys. 5  
Prędkość ziarna na pokładzie o drganiach kołowych w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu wzorów (1), (2) i (6), dla  $\beta=19^\circ$  oraz  $A=2,6[\text{mm}]$

Fig. 5  
Grain velocity measured on circular vibration screen compared with results obtained using the formulas (1), (2) and (6), for  $\beta=19^\circ$  and  $A=2.6[\text{mm}]$



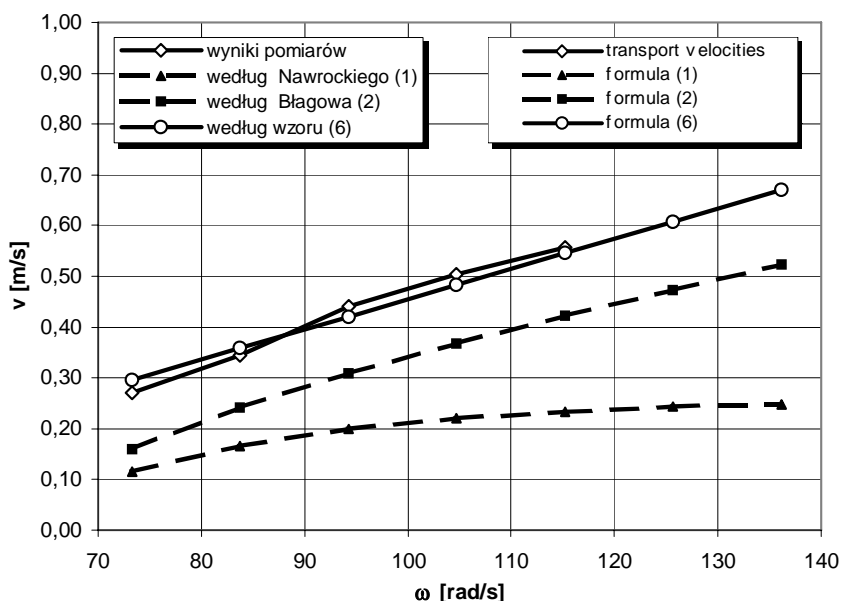
Rys. 6  
Prędkość ziarna na pokładzie o drganiach kołowych w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu wzorów (1), (2) i (6), dla  $\beta=19^\circ$  oraz  $A=3,3[\text{mm}]$

Fig. 6  
Grain velocities compared with results obtained using formulas (1), (2) and (6), for  $\beta=19^\circ$  and  $A=3.3[\text{mm}]$



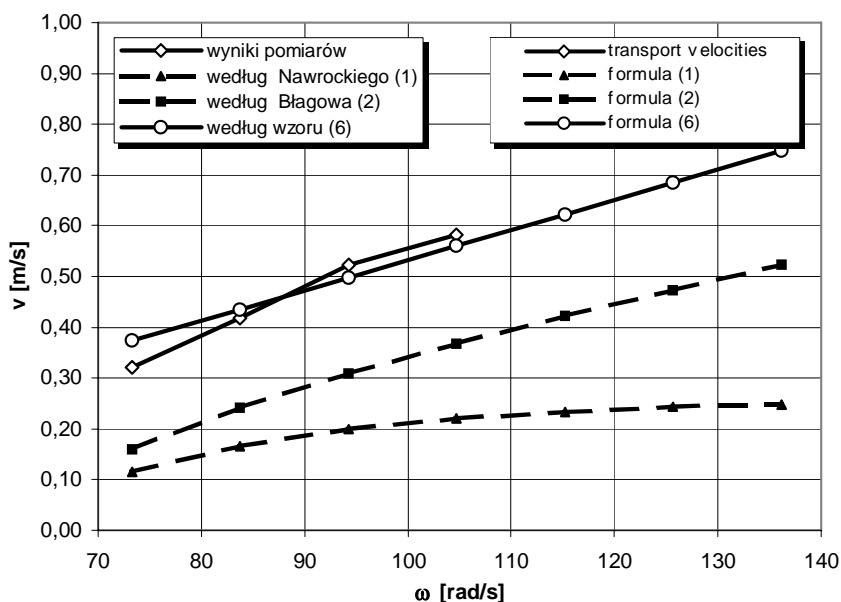
Kolejne rysunki 7 i 8 wykazują brak przydatności wzorów (1) i (2) dla wysokiej dynamiki drgań rzeszota.

Figures 7 and 8 prove that the formulas (1) and (2) are not useful for high vibration dynamics.



Rys. 7  
Prędkość ziarn na pokładzie o drganiach kołowych w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu wzorów (1), (2) i (6), dla  $\beta=19[^\circ]$  oraz  $A=3,9[\text{mm}]$

Fig. 7  
Measured grain transport velocity compared to results obtained using the formulas (1), (2) and (6), for  $\beta=19[^\circ]$  and  $A=3.9[\text{mm}]$



Rys. 8  
Prędkość ziarn na pokładzie o drganiach kołowych w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu wzorów (1), (2) i (6), dla  $\beta=19[^\circ]$  oraz  $A=4,5[\text{mm}]$

Fig. 8  
Measured grain transport velocity compared to results obtained using the formulas (1), (2) and (6), for  $\beta=19[^\circ]$  and  $A=4.5[\text{mm}]$

Dla przedstawionych rysunków 4÷8 i częstotści drgań 130[rad/s] wskaźniki podrzutu wynosiły:

For condition shown in figures 4÷8, and for vibration frequency of 130[rad/s], the ejection indi-

- 3,6 – dla rys.(4);
- 4,6 – dla rys.(5);
- 6 – dla rys.(6);
- 7,1 – dla rys.(7);
- 8,2 – dla rys.(8).

Jak już wspomniano dla przebiegów pokazanych na rys.(7) i (8) wzory (1) i (2) tracą możliwość zastosowania. Przedstawione wcześniej wnioski wykazują ich błędy nawet dla niskich parametrów dynamicznych.

Przedstawiona analiza wykazuje, że proponowany wzór (6) najlepiej opisuje wyznaczone eksperymentalnie prędkości ziarn na pokładzie o drganiach kołowych. Dla drgań o małej dynamice niemal uśrednia wyniki obliczeń uzyskiwane przy wykorzystaniu wzorów (1) i (2).

Ze wzrostem amplitudy drgań wyniki obliczeń z wykorzystaniem wzoru (6) wyraźnie oddalają się od uzyskiwanych w efekcie stosowania wzorów (1) i (2). Przedstawiona konfrontacja wyników obszernych badań z metodami obliczeniowymi wykazuje, że proponowany wzór (6) najlepiej opisuje prędkość transportową ziarn na pokładzie o drganiach kołowych.

Ponieważ w przesiewaczach o drganiach kołowych wykorzystuje się wysokie amplitudy drgań i częstotści drgań nie mniejsze od 1000[rad/s], przy kątach nachylenia pokładu nie mniejszych od 15[°], można uznać, że dla tak określonych parametrów dynamicznych ( $u_2$  w zakresie 5–8) wzory (1) i (2) wyznaczają prędkość transportową jedynie w dużym przybliżeniu. Rażąca jest zwłaszcza rozbieżność wyników osiąganych podczas stosowania wzorów (1) i (2). Można stwierdzić, że dla wysokich wskaźników dynamicznych przesiewaczy typu WK, w celu wyznaczenia prędkości transportowej najlepiej stosować empiryczne wzory (3) [3] lub (6).

## 5. Podsumowanie

- Opracowane wzory analityczno–empiryczne Nawrockiego (1) i Błagowa (2) cechują się rozbieżnością wyników w zakresie parametrów możliwych do wykorzystania w przesiewaczach o drganiach kołowych.
- Prędkości materiału na pokładzie o drganiach kołowych wyznaczone z wykorzystaniem wzorów (1) i (2) są zgodne jedynie dla najniższych parametrów dynamicznych i niewielkich amplitud stosowanych w przesiewaczach typu WK.
- Podjęta próba określenia prędkości transportowej materiału na pokładzie o drganiach kołowych w funkcji podstawowych parametrów dynamicznych pokładu umożliwiła sformułowanie prostej i funkcjonalnej zależności empirycznej (6) pozwalającej na określanie prędkości transportowej:

cators were:

- 3.6 – for Fig. (4);
- 4.6 – for Fig. (5);
- 6 – for Fig. (6);
- 7.1 – for Fig. (7);
- 8.2 – for Fig. (8).

As mentioned before, for conditions shown in figures (7) and (8), the formulas (1) and (2) are not useful. The formerly cited conclusions prove their errors, even for low dynamic parameters.

Based on the presented analysis it was proved that the proposed formula (6) gives the best description of the experimentally measured grain velocities. For condition of low vibration dynamics, the formula nearly averages the computational results, obtained using the formulas (1) and (2).

Vibration amplitude increase makes the computational results based on the formula (6) much more different than those based on the use of formulas (1) and (2). The presented confrontation of experimental and computational methods proves that the proposed formula (6) is the most convenient to describe grain transport velocity, on circular vibration screen.

As high vibration amplitudes and frequencies (not lower than 1000 rad/s), and screen inclination not lower than 15 [°], are utilized in case of the circular vibration screens, we can assume that for such dynamic parameters ( $u_2$  from 5 to 8), the formulas (1) and (2) can describe the grain transport velocity only with great approximation. Particularly the divergence of the results obtained with use of the formulas (1) and (2) is critical. Thus we can state that for high dynamic indicators of the WK screens, the empirical formulas (3) [3] or (6) should be used in order to determine the value of the grain transport velocity.

## 5. Summary

- As the parameters, which can be utilized for circular vibration screens are concerned, the Nawrocki's (1) and Błagow's (2) analytical–empirical formulas are not advantageous because of the divergence of their results.
- Grain velocities calculated using the formulas (1) and (2) are compatible only for lowest dynamic parameters and small vibration amplitudes, which are used for WK-type screens.
- The tests executed in this study allowed us to determine the material transport velocity as a function of major dynamic parameters. Simple and functional empirical relation (6), allowing us to define velocity of grains transported on the WK-type circulation screens, was developed.

- kości ziarn na pokładzie przesiewaczy typu WK o drganiach kołowych.
- Określona prosta zależność (6) pozwala na ocenę wpływu amplitudy i częstości drgań oraz kąta nachylenia pokładu sitowego na prędkość transportową ziarn.
  - Wyznaczona funkcja pozwala na wyznaczanie prędkości materiału na pokładzie drgającym o parametrach:
 
$$A = 1,5 \div 4,5 [\text{mm}];$$

$$n = 800 \div 1400 [\text{obr}/\text{min}];$$

$$\beta = 15 \div 21 [^\circ],$$
 a więc dla wartości najczęściej stosowanych w przesiewaczach WK.
  - Przedstawiona zależność umożliwia dokładniejsze prognozowanie wydajności przesiewaczy o drganiach kołowych.

- The relation (6) allows us to estimate the influence of vibration amplitude and frequency, as well as the screen inclination, upon the grain transport velocity.
- The determined function allows us to define the velocity of material transported on the vibrating screen of parameters:
 
$$A = 1.5 \div 4.5 [\text{mm}];$$

$$n = 800 \div 1400 [\text{r.p.m.}];$$

$$\beta = 15 \div 21 [^\circ],$$
 that is for values which are commonly used for the WK-type screens.
- The presented relation is very useful for predicting performances of circular vibration screens.

### Literatura — References

1. Banaszewski T.: *Przesiewacze*, Wyd. Śląsk, Katowice 1990
2. Banaszewski T., Filipowicz A.: *Badania poprawności drgań przesiewaczy*, *Maszyny Górnicze nr 90*, Gliwice 2002
3. Banaszewski T., Filipowicz A.: *Prędkość materiału na sicie przesiewacza o drganiach kołowych*, *Mechanika tom 10, z.3*, AGH, Kraków 1991
4. Blagow I. S. i inni: *Sprawocznik po obogaszczaniu uglej*, *Niedra*, Moskwa 1974
5. Nawrocki J.: *Analityczno-empiryczne określenie prędkości materiału na sicie dla różnych przesiewaczy z uwzględnieniem wilgoci, ciężaru właściwego i grubości warstwy materiału na sicie*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 148, Górnictwo z. 15*, Gliwice 1966.