

przesiewacze zataczające, sprawność przesiewania

Wojciech POĆWIARDOWSKI*

Piotr WODZIŃSKI**

Joanna KANIEWSKA***

PRZESIEWANIE KRUSZYWA WAPIENNEGO NA PRZESIEWACZU ZATACZAJĄCYM – ŚRUBOWYM

Praca dotyczy przesiewaczy zataczających; maszyn złożonych z okrągłych kasetonów sitowych, które ułożone jeden nad drugim, stanowią rzeszoto maszyny. Sita w przesiewaczach zataczających wykonują precesyjny ruch „pijanej beczki”. Jest to ruch złożony, przestrzenny i dlatego maszyny te są szczególnie przeznaczone do przesiewania materiałów drobno i bardzo drobno uziarnionych. Zajęto się przesiewaczami napędzanymi dwoma symetrycznymi, zsynchronizowanymi motowibratorami rotacyjnymi. Ten stosunkowo prosty napęd pozwala na osiągnięcie dobrych właściwości procesowych. Badania wykonano z użyciem kruszywa wapiennego. Celem pracy było zaprezentowanie studium konstrukcyjnego przesiewaczy zataczających jak i wyników badań procesowych.

1. OPIS PRZESIEWACZA ZATACZAJĄCEGO

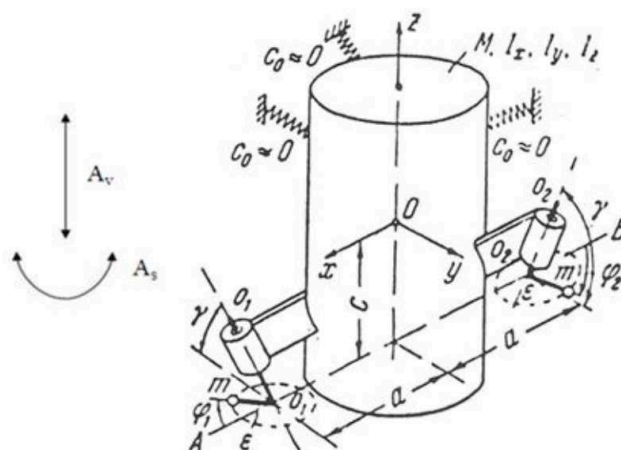
Przesiewacze rotacyjne są maszynami przeznaczonymi do realizacji procesów klasyfikacji sitowej materiałów ziarnistych. Chodzi tutaj przede wszystkim o drobno i bardzo drobnouziarnione mieszaniny, które z racji swego uziarnienia nie mogą być przesiewane na sitach innych, znanych przesiewaczy. Maszyny te wykonują złożony, przestrzenny ruch rotacyjny, będący ruchem tzw. „pijanej beczki”. Jak wiadomo główny opór procesu przesiewania leży po stronie warstwy, a nie po stronie sita.

Przesiewacz zataczający, na którym prowadzone były badania wyposażony jest w napęd, który polega na zastosowaniu dwóch motowibratorów rotacyjnych, pracujących w warunkach wzajemnej samosynchronizacji przeciwbieżnej. Układ ten przedstawiono na rysunku 1.

* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, 85-326 Bydgoszcz, ul. Seminaryjna 3, wojciech.pocwiardowski@utp.edu.pl

** Politechnika Łódzka, Katedra Przeróbki Kopaliny i Ochrony Środowiska, W 10, K 101, 90-924 Łódź, ul. Wólczańska 175, wodzinsk@wipos.p.lodz.pl

*** joanna.kaniewska@utp.edu.pl



Rys. 1. Przesiewacz zataczający napędzany dwoma zsynchronizowanymi motowibratorami rotacyjnymi
Fig. 1. A screen driven by two synchronized rotary motovibrators

Osie tych motowibratorów nachylone są do poziomu (do płaszczyzny sita) pod kątem γ . Układ napędowy wymusza złożone drgania rzeszota (zestawu kasetonów sitowych), które można rozpatrywać jako złożone z dwóch elementarnych ruchów drgających. Pierwszy to pionowy ruch drgający o amplitudzie A_v , a drugi ruch stanowi drgania skrętne o amplitudzie kątowej A_s , lub liniowej $A_s l$ [1].

2. CEL BADAŃ, MATERIAŁY I METODY

Celem badań jest sprawdzenie hipotezy, że zastosowanie drgań pionowych, przy optymalnym doborze pozostałych parametrów przesiewania, pozwoli na znaczące zwiększenie skuteczności procesu przesiewania.

Badanym materiałem był kamień wapienny (kruszywo) dostarczone przez EGM Sp. z o.o. – Kopalnię Wapieni „Wierzbica” w ilości 50 kg. Charakteryzował się on wilgotnością 0,136%, wyznaczoną wagosusząrką.

Tabela 1

Analiza sitowa badanego materiału przeprowadzona na przesiewaczu laboratoryjnym

Bok otworu sita [mm]	Klasa [mm]	Masa materiału na sicie [g]	Procentowy udział frakcji [%]
1,6	> 1,6	13,90	6,95
0,8	0,8–1,6	47,70	23,85
0,4	0,4–0,8	63,80	31,90
0,2	0,2–0,4	48,00	24,00
0,1	0,1–0,2	23,40	11,70
–	< 0,1	3,20	1,60
	suma	200,00	100,00

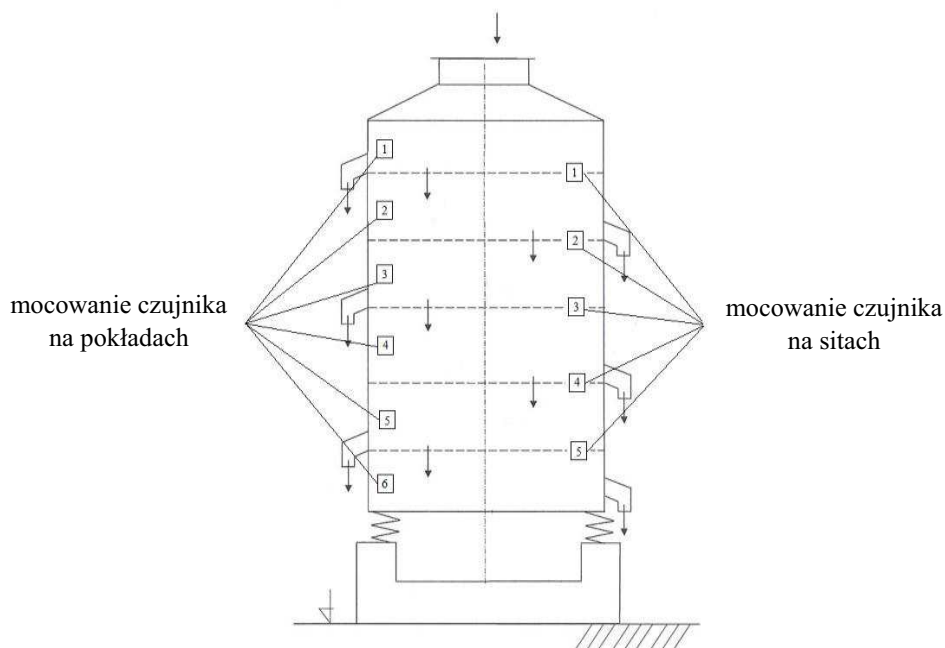
Oznaczenia powtórzono 10 razy. Przeprowadzono analizę sitową materiału do badań przesiewaczem laboratoryjnym Analysette 3 firmy Fritsch. Analizy dokonano przy ustawieniach amplitudy drgań 2 mm w czasie 5 min; wyniki – w tabeli 1.

Badania przesiewania prowadzono na przesiewaczu zataczającym wyposażonym w dwa motowibratory boczne z możliwością zmiany ich położenia względem osi pionowej przesiewacza. Motowibratory charakteryzowały się stałą prędkością obrotową, wynoszącą 1500 obr/min. Do badań użyto kompletu sit tkanych.

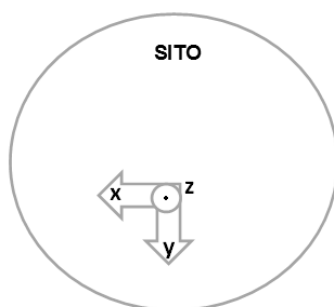
Do badań amplitudy drgań zestawu PULSE firmy Brüel & Kjaer (rys. 2 i 3). Jest to system z czujnikiem (akcelerometr) mierzącym amplitudę drgań w trzech płaszczyznach osi X, Y, Z (rys. 4).



Rys. 2. Akcelerometr (po lewej) i kasetka pomiarowa (po prawej) Systemu PULSE firmy Brüel & Kjaer
Fig. 2. Accelerometer (on left) and data acquisition hardware of PULSE System Brüel & Kjaer



Rys. 3. Schemat mocowania czujnika (akcelerometru) na przesiewaczu zataczającym
Fig. 3. Scheme of sensor emplacement on the rotary screen



Rys. 4. Oznaczenia osi x , y , z
Fig. 4. Marks of X , Y , Z axes

Badania prowadzono przy ustawieniach kąta motowibratorów względem osi pionowej przesiewacza 20° , 30° , 45° , 50° . Kąt 20° do badań z ruchem zataczającym bez drgań pionowych i 30° , 45° , 50° do badań z ruchem zataczającym z drganiami pionowymi (30° – dla średniej amplitudy drgań, 45° – dla optymalnej amplitudy drgań i 50° – dla wysokiej amplitudy drgań).

Przeprowadzono badania z wydajnością materiału Q (tab. 2).

Tabela 2

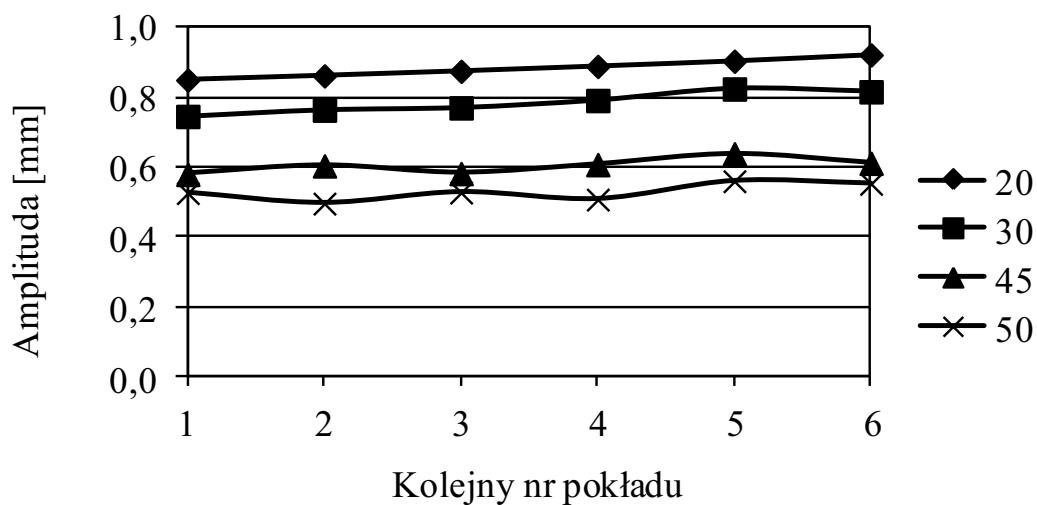
Wydajność dozowania materiału badanego

Kąt nachylenia motowibratorów [°]	Średnica dyszy dozownika [mm]	Wydajność dozowania [kg/h]
20/30/45/50	7,25	$19 \pm 1,72$

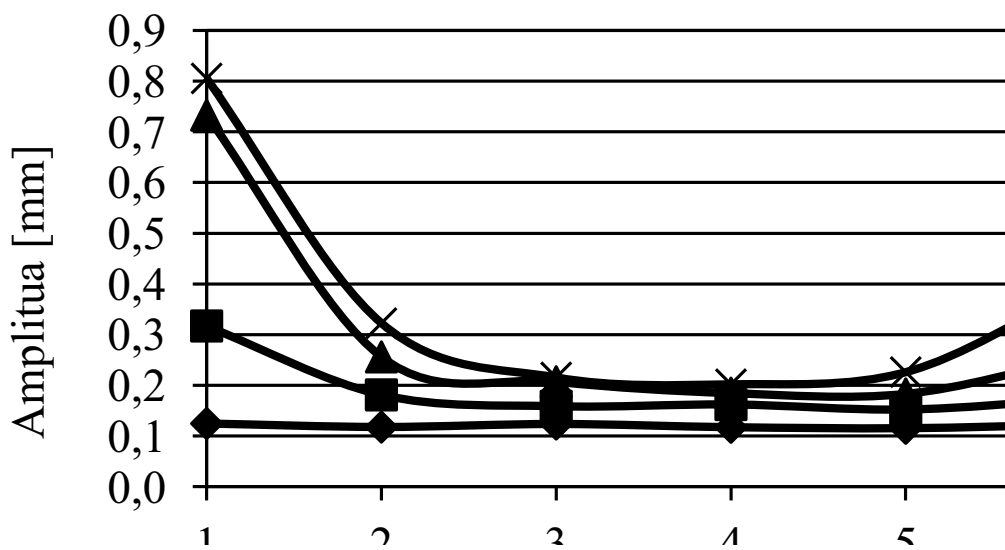
Odchylenie przy wydajności dozowania spowodowane jest różnymi ustawieniami motowibratorów, a co za tym idzie różnej amplitudzie drgań dozownika.

3. WYNIKI PRZESIEWANIA

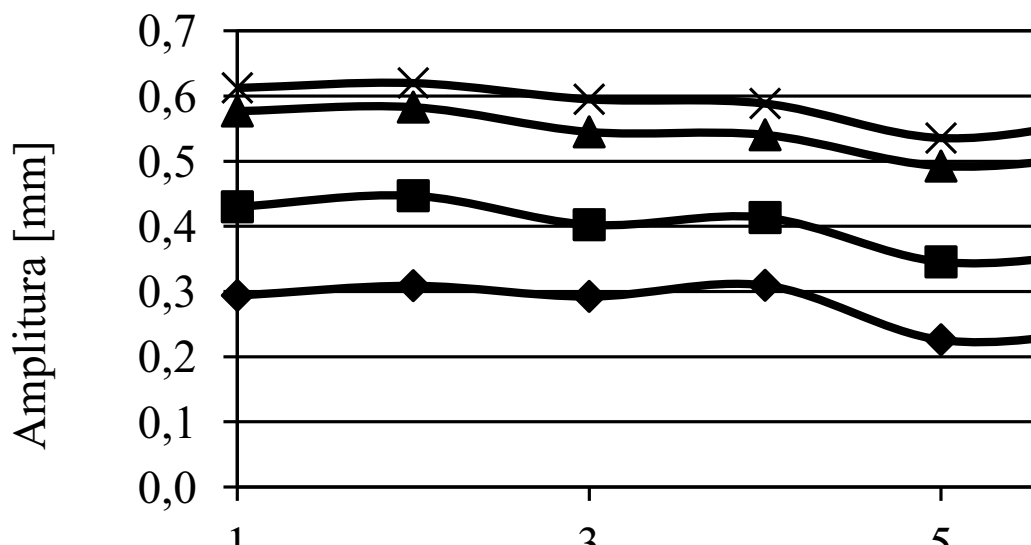
W celu lepszego poznania ruchu materiału na sicie przeprowadzono analizę amplitudy na osiach x , y oraz z na wszystkich pokładach sitowych przesiewacza zataczającego. Czujnik (akcelerometr) umieszczony był na ścianie zewnętrznej pokładu (rys. 3). Badano zachowanie się sit przy 4 ustawieniach motowibratorów bocznych – kącie nachylenia 20° , 30° , 45° i 50° . Niżej przedstawiono wyniki tych badań.



Rys. 5. Amplitudy drgań pokładów w osi x sit w przesiewaczu przy różnych kątach nachylenia motowibratorów
 Fig. 5. Amplitudes of layers on the X axis in screen sieves at different angles of motovibrators inclination

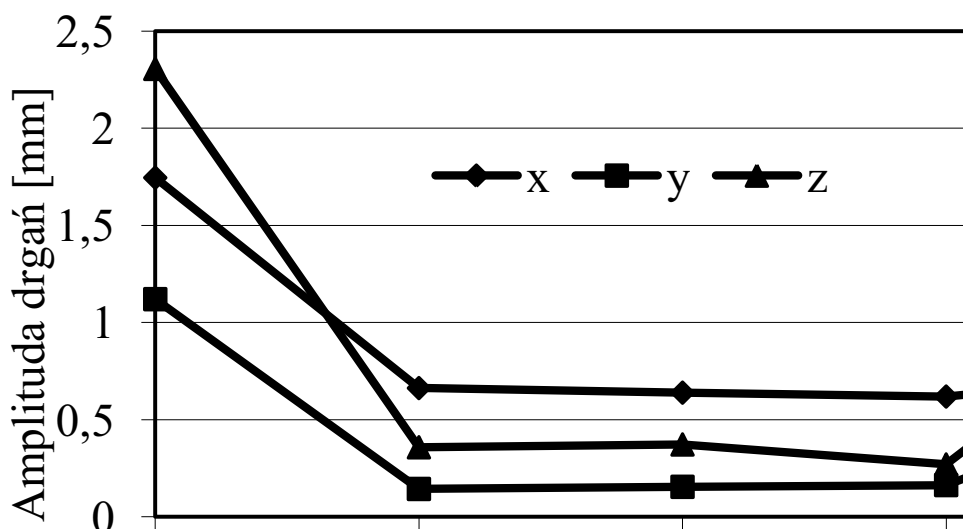


Rys. 6. Amplitudy drgań pokładów w osi y sit w przesiewaczu przy różnych kątach nachylenia motowibratorów
 Fig. 6. Amplitudes of layers on the Y axis in screen sieves at different angles of motovibrators inclination



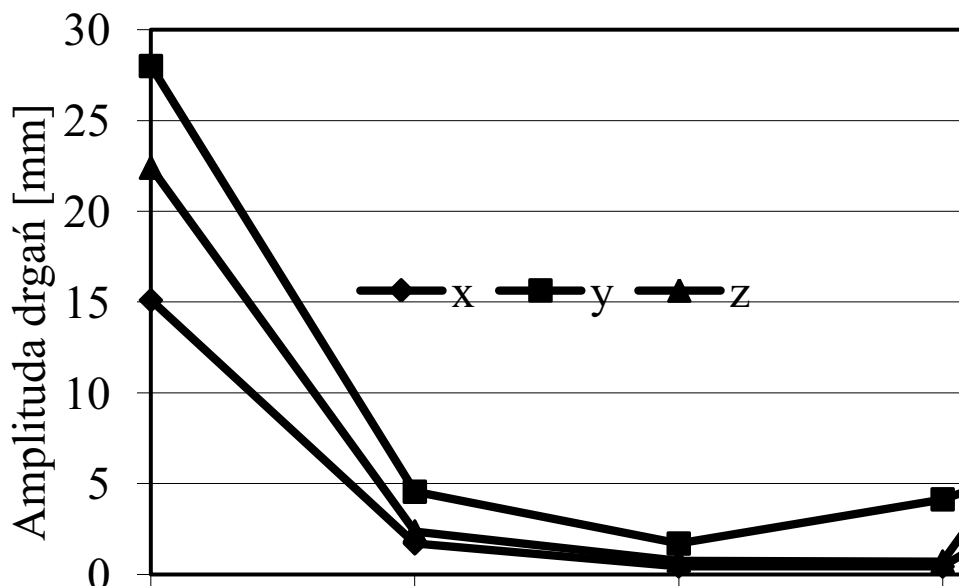
Rys. 7. Amplitudy drgań pokładów na osi z sit w przesiewaczu przy różnych kątach nachylenia motowibratorów

Fig. 7. Amplitudes of layers on the Z axis in screen sieves at different angles of motovibrators inclination



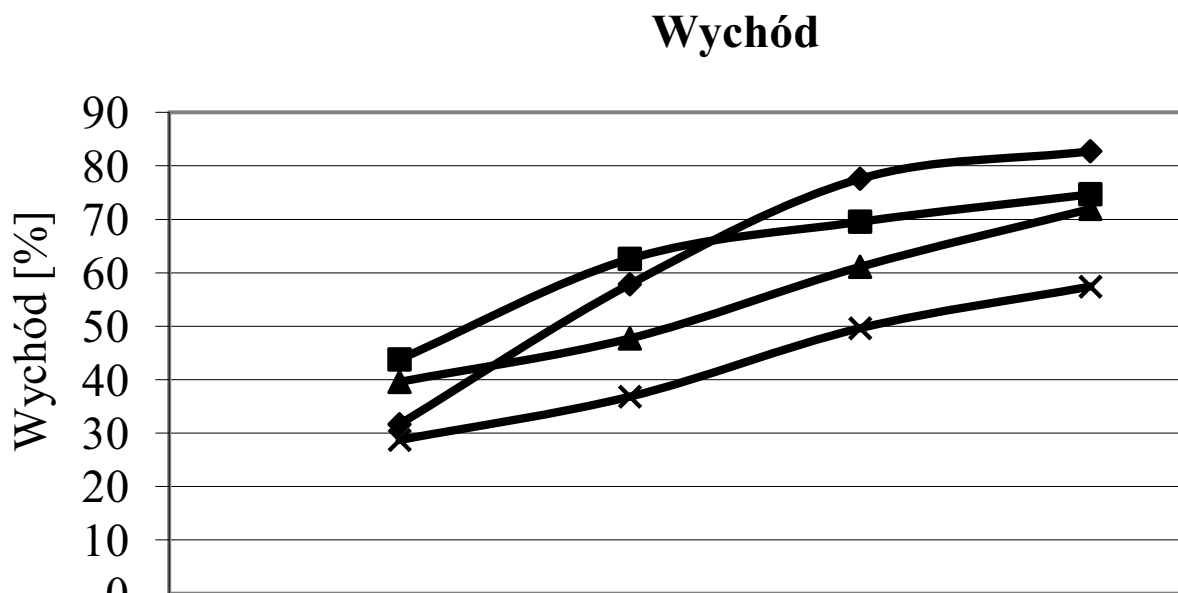
Rys. 8. Amplitudy drgań sit w osiach x, y i z przy kącie nachylenia motowibratorów wynoszącym 20°

Fig. 8. Amplitudes of sieves on axis X, Y and Z at angle of motovibrators inclination 20°



Rys. 9. Amplitudy drgań sit na osiach x , y i z przy kącie nachylenia motowibratorów wynoszącym 45°
 Fig. 9. Amplitudes of sieves on axis X , Y and Z at angle of motovibrators inclination 45°

Dodatkowo przeprowadzono badania amplitudy drgań na sitach przesiewacza zataczającego dla kąta nachylenia motowibratorów względem osi pionowej przesiewacza 20 i 45° . Akcelerometr umieszczony był jak przedstawiono na rysunkach 3 i 4 (w odległości $1/3$ promienia od brzegu pokładu). Wyniki przedstawiono na wykresach poniżej.



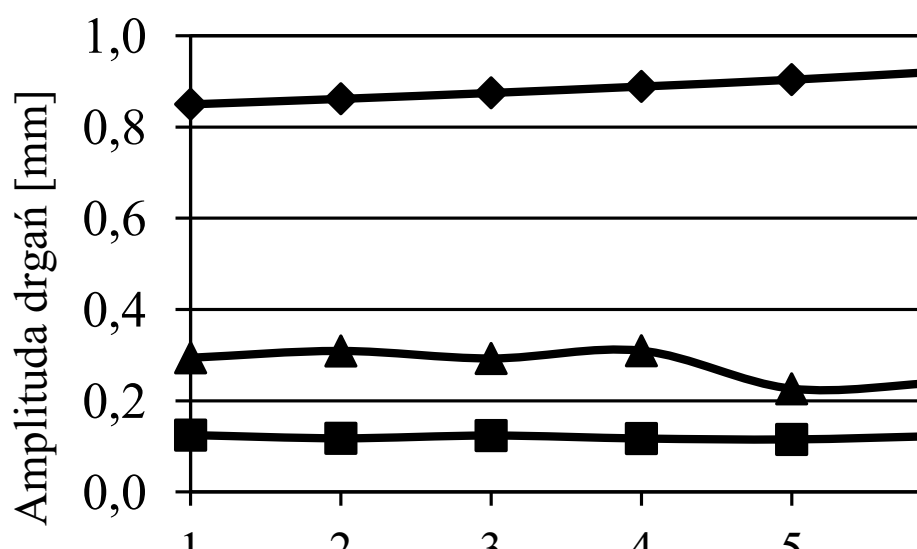
Rys. 10. Zestawienie wychodu przy różnych ustawieniach kąta nachylenia motowibratorów dla nadawy Q
 Fig. 10. Comparison of yield at different angle of motovibrators inclination for Q feed

Badania pracy przesiewacza prowadzono z materiałem o wilgotności 0,136%. Badano przesyp (wydajność przesiewania) kolejnych frakcji. W tym celu przed rozpoczęciem przesiewania ważono puste odbieralniki, by po czasie $t_1 = 0,5$ h, $t_2 = 1$ h, $t_3 = 1,5$ h i $t_4 = 2$ h możliwe było określenie ilości rozdzielonego materiału w poszczególnych odbieralnikach frakcji (wiaderkach). Na tej podstawie otrzymano wydajności przesiewania w czasie pracy przesiewacza zataczającego. Wydajność przesiewania (przesiew) porównano z ilością materiału dozowanego (nadawa). Rozdziału materiału dokonano przy 4 ustawieniach kąta motowibratorów: 20° , 30° , 45° i 50° i wydajności dozowania $Q = 19 \pm 1,72$ kg/h. Otrzymano krzywe wychodu, które przedstawiono poniżej.

W trakcie przesiewania sprawdzano czystość otrzymanych frakcji z pomocą analizy sitowej w analizatorze firmy Fritsch. Analizy dokonywano po $t_1 = 0,5$ h, $t_2 = 1$ h, $t_3 = 1,5$ h i $t_4 = 2$ h pracy przesiewacza.

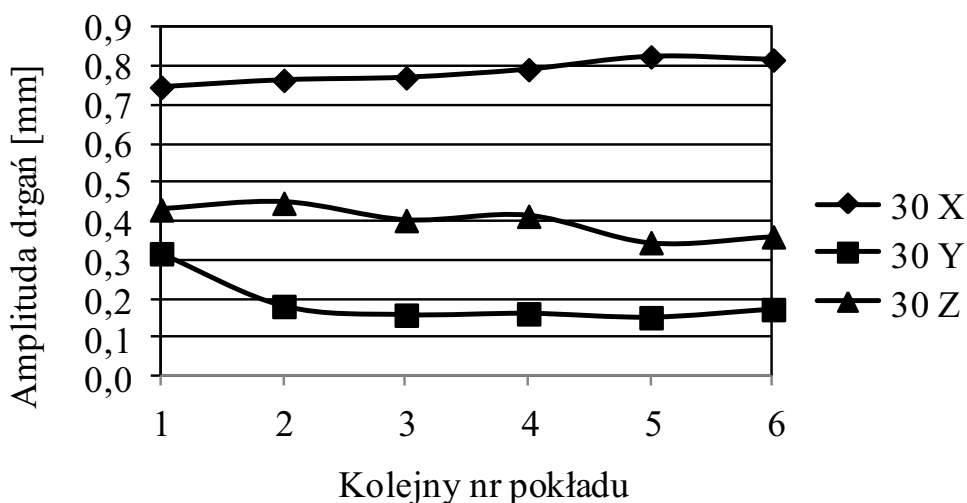
4. WYNIKI

Badania amplitudy drgań na poszczególnych pokładach dały pogląd o ruchu na siatach przesiewacza.



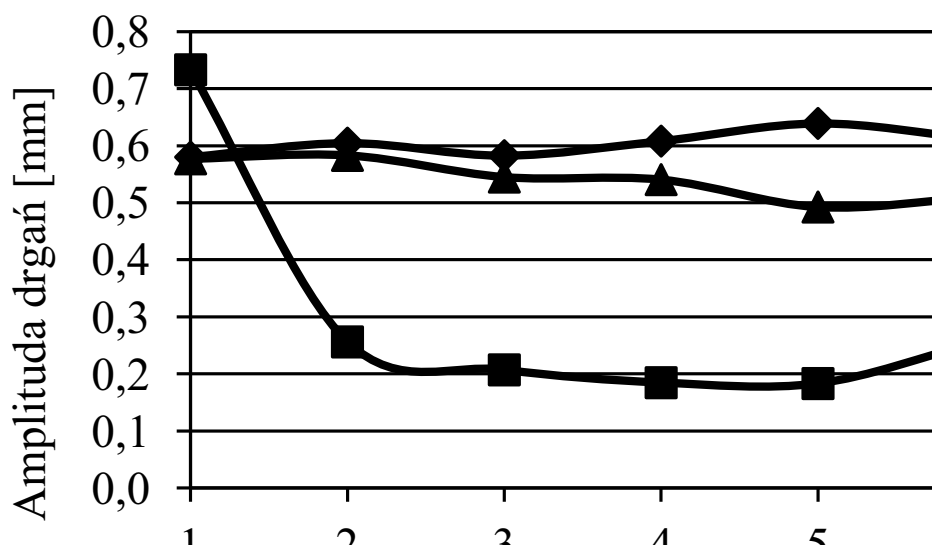
Rys. 11. Amplitudy drgań na poszczególnych pokładach przesiewacza z motowibratorami ustawionymi pod kątem 20°

Fig. 11. Amplitudes on different layers of the screen with motovibrators set by angle 20°



Rys. 12. Amplitudy drgań na poszczególnych pokładach przesiewacza z motowibratorami ustawionymi pod kątem 30°

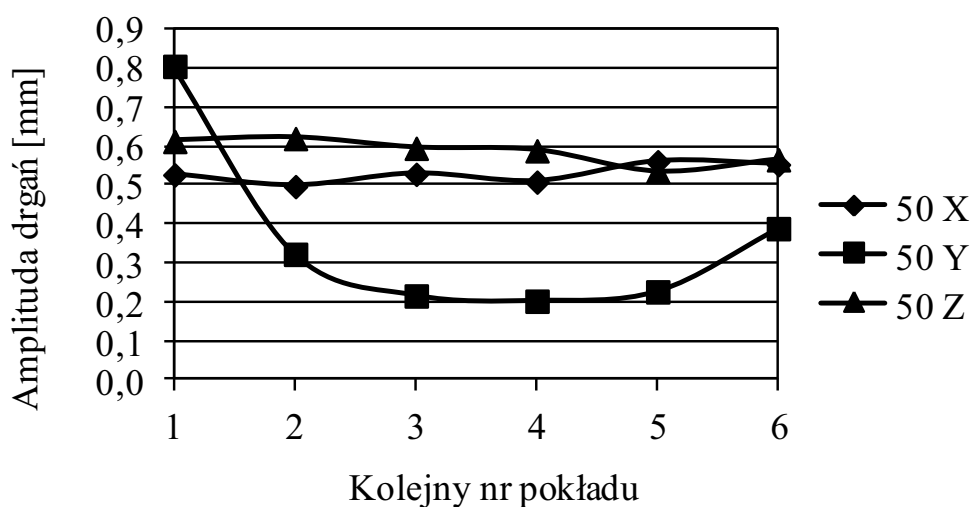
Fig. 12. Amplitudes on different layers of the screen with motovibrators set by angle 30°



Rys. 13. Amplitudy drgań na poszczególnych pokładach przesiewacza z motowibratorami ustawionymi pod kątem 45°

Fig. 13. Amplitudes on different layers of the screen with motovibrators set by angle 45°

Wraz ze wzrostem kąta nachylenia motowibratorów rośnie amplituda drgań pionowych (oś z). Gdy motowibratory są nachylone pod kątem 20° względem pionu drgania na osi z wynoszą średnio 0,278 mm i są one 4-krotnie mniejsze niż drgania poziome na osi x (rys. 11).



Rys. 14. Amplitudy drgań na poszczególnych pokładach przesiewacza z motowibratorami ustawionymi pod kątem 50°

Fig. 14. Amplitudes on different layers of the screen with motovibrators set by angle 50°

Podczas pracy przesiewacza przy kącie nachylenia motowibratorów 45° i 50° amplituda drgań pionowych jest równa średnim amplitudom drgań poziomych na osiach x i y (rys. 13 i 14).

W przypadku badań amplitudy drgań, kiedy czujnik (akcelerometr) umieszczony był na sicie (rys. 5) i tak jak się spodziewano amplitudy drgań przy kącie ustawienia motowibratorów wynoszącym 20° są kilku- kilkunastokrotnie mniejsze niż dla kąta 45°. Najwyższe wartości amplitudy osiągają na pierwszym (sito 0,1 mm) oraz ostatnim (sito 1,6 mm) w obu przypadkach. Związane jest to z miejscem przyłożenia siły wzbudzającej ruch przesiewacza (umieszczenia pokładu z motowibratorami). Potwierdzenie tego zjawiska znajduje się w wydajnościach przesiewania, kiedy najszybciej w odbieralnikach pojawiają się frakcje <0,1 mm i >1,6 mm. Na podstawie analizy sitowej wiadomo, że udział tych frakcji jest najmniejszy w materiale badanym, stąd zmiana miejsca przyłożenia siły (umieszczenia motowibratorów) może spowodować zwiększenie sprawności sit, a tym samym procesu przesiewania. Ze względu na znaczny udział frakcji 0,2-0,4; 0,4-0,8 i 0,8-1,6 mm (ponad 70%) umiejscowienie pokładu z motowibratorami pomiędzy pokładami z sitami odpowiadającymi tym frakcjom mogłoby zwiększyć sprawność sit, a tym samym procesu przesiewania.

W trakcie badań przetestowano zachowanie przesiewacza zataczającego dla wydajności dozowania $Q = 19 \pm 1,72$ kg/h przy czterech ustawieniach kąta nachylenia motowibratorów bocznych. Przesiewacz najbardziej wydajnie pod względem przesiewu (ilości materiału rozdzielonego) pracował przy kącie nachylenia motowibratorów wynoszącym 20° (rys. 10). Aby przesiewacz pracował prawidłowo musi zostać obciążony pewną ilością materiału.

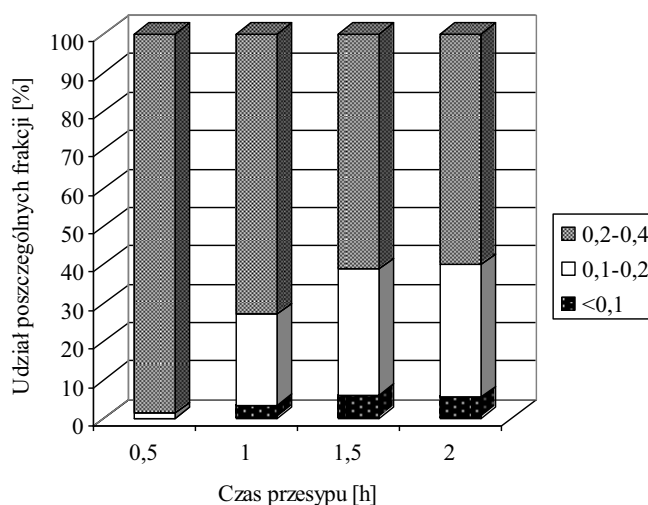
Tabela 3

Zestawienie równań prostej wydajności dozowania oraz wydajności przesiewu

Parametry przesiewania (kąąt nachylenia motowibratorów i wydajność dozowania)	Równanie wydajności dozowania [kg/h]	R^2	Równanie wydajności przesiewu [kg/h]	R^2
20° Q	$Q_2(20) = 21,54 t$	1	$W_{20Q2} = 21,865 t - 8,183$	0,9964
30° Q	$Q_2(30) = 19,20 t$	1	$W_{30Q2} = 16,292 t - 4,129$	0,9994
45° Q	$Q_2(45) = 17,78 t$	1	$W_{45Q2} = 14,806 t - 5,034$	0,9829
50° Q	$Q_2(50) = 18,00 t$	1	$W_{50Q2} = 12,208 t - 4,435$	0,9849

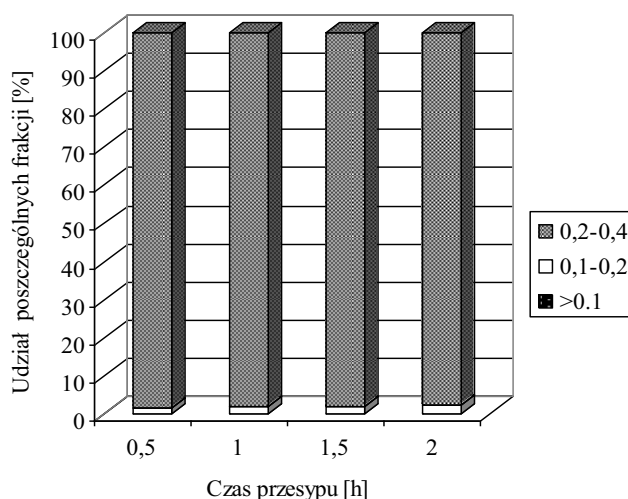
gdzie: t – czas [h], R^2 – współczynnik determinacji równania prostej, Q_i – wydajność dozowania, W_i – wydajność przesiewu.

Wyraz wolny w równaniach wydajności przesiewu W_i ($y = ax + b$) odpowiada ilości materiału, który pozostaje w przesiewaczu w trakcie jego pracy.



Rys. 15. Analiza sitowa materiału rozdzielonego na sicie o średnicy otworu 0,2 mm przy kącie ustawienia motowibratorów 20° i wydajności dozowania Q

Fig. 15. Sieve analysis of material separated on a sieve with 0,2 mm hole diameter, 20° angle of motovibrators set and dozing flow Q



Rys. 16. Analiza sitowa materiału rozdzielonego na sicie o średnicy otworu 0,2 mm przy kącie ustawienia motowibratorów 45° i wydajności dozowania Q

Fig. 16. Sieve analysis of material separated on a sieve with hole diameter 0,2 mm, angle of motovibrators 45° and dosing flow Q

Na podstawie analizy sitowej otrzymanych frakcji, pomimo dobrej wydajności przesiewu, rozdzielony materiał w przesiewaczu z motowibratorami ustawionymi pod kątem 20° zawiera znaczące ilości pozostałych frakcji. Świadczy to o niskiej sprawności przesiewania przy tych ustawieniach przesiewacza zataczającego (rys. 15).

Natomiast przesiew przy kątach innych niż 20° w wyniku analizy sitowej wskazuje na wysoką skuteczność rozdzielania, ponieważ otrzymane frakcje zawierają niewielkie ($>2,5\%$) ilości innych frakcji (rys. 16).

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- Ze wzrostem kąta nachylenia motowibratorów przesiewacza zataczającego rośnie amplituda drgań pionowych i przy kącie wynoszącym 45° średnia amplituda drgań na osi Z jest równa średniej amplitudzie drgań poziomych.
- Analiza sitowa otrzymanych frakcji pozwala na ocenę skuteczności rozdzielania materiału. Przesiewacz zataczający z motowibratorami ustawionymi pod kątem 45° daje materiał dobrze rozdzielony. Udział innych niż główna frakcji jest bardzo mały, a najmniejszy gdy nadawa dozowana była z $Q = 17,78$ kg/h.
- Optymalnymi parametrami pracy przesiewacza jest kąt nachylenia motowibratorów wynoszący 45° przy wydajności dozowania wynoszącej $17,78$ kg/h i przy zastosowaniu dozownika z dyszą o średnicy $d = 7,25$ mm.

- Drgania pionowe zwiększają sprawność sit. Przy optymalnych parametrach dla badanego materiału otrzymane frakcje charakteryzują się udziałem frakcji innych poniżej 2,5%.
- Najwyższe amplitudy drgań na osi x , y i z występują na sitach o długości boku otworu 0,1 oraz 1,6 mm.
- W związku z występowaniem najwyższych amplitud drgań pionowych (na osi z) na pierwszym i ostatnim sicie sugeruje się badania amplitud, gdy pokład z motowibratorami znajdzie się w połowie wysokości przesiewacza (pokład nr 3 lub 4). Może to znacząco zwiększyć sprawność przesiewania materiału badanego.
- Sprawność przesiewania prawdopodobnie zwiększy się, gdy źródło drgań pionowych (na osi Z) znajdzie się na pokładzie z sitem oddzielającym frakcję o największym udziale w materiale przesiewanym.

Praca powstała przy realizacji prac naukowo badawczych na rzecz podmiotów gospodarczych BZ-51/2011/WtiCh.

LITERATURA

- [1] BLECHMAN I.I., *Synchronizacja dynamicznych systemów*, Moskwa–Leningrad 1976.
- [2] BŁASIŃSKI H., MŁODZIŃSKI B., *Aparatura przemysłu chemicznego*, WNT, Warszawa 1971.
- [3] DOMORADZKI M., WEINER W., KORPAL W., *Badania sprawności przesiewacza wibracyjnego*, XII Konf. Postęp w Inżynierii Żywności, Suwałki 2004.
- [4] KANZLEITER T., *Die Taumelsiebmaschine. Maschinendynamik und Guttransport*, 3,7, Auber.-Techn., 1997.
- [5] Powder handling&processing, Vol. 16, No. 1, January/February 2004.
- [6] SCHMIDT P., *Taumelsiebmaschinen*, 7, Aufber.-Techn., 1966.
- [7] WODZIŃSKI P., *Przesiewanie i przesiewacze*, Wyd. PŁ., Łódź 1997.
- [8] POĆWIARDOWSKI W., WODZIŃSKI P., *Przesiewanie surowców mineralnych na przesiewaczu zataczającym*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 132, 2011.

LIMESTONE AGGREGATE SCREENING BY ROLLING SCREEN

This paper concerns rolling screens. These machines consists of circular sieve panels, stacked one above the other, which makes machine's riddle. Screen's sieves perform precise movement called "drunk barrel". It is a complex and spatial movement, therefore these machines are specifically designed for screening fine and very fine grained materials. There are three types of screens drive: crank drive, drive with one rotary motovibrator and drive with two rotary motovibrators, placed symmetrically both sides of the riddle and working in conditions of mutual dynamic self-synchronization. The authors of this paper engage in two symmetrical synchronized rotary motovibrators driven screens. This drive is relatively simple and allows to achieve good process properties of sieve machine. Studies of this screen are performed using limestone aggregate. The aim of the work was to present the screen study design and process study results of these machines.