

## ROZDRABNIANIE ZIAREN RYŻU W MŁYNIĘ OBROTOWO-WIBRACYJNYM

## Streszczenie

*W pracy, dla osiągnięcia założonego celu postanowiono rozwiązać problem sformułowany w postaci pytania: Jaki wpływ na wydajność masową, udziały masowe czterech frakcji wymiarowych, a szczególnie frakcji o wielkości ziaren (400 – 800)  $\mu\text{m}$ , mają parametry ruchu, celowo sterowane: prędkość obrotowa komór, amplituda drgań zespołu roboczego, częstotliwość drgań zespołu roboczego, stopień wypełnienia komór, czas mielenia? Uzyskano, w badany zakresie, optymalne wartości zmiennych sterowanych z ilością skierowanej frakcji wymiarowej produktu (jakością)  $\langle 400 - 800 \rangle \mu\text{m}$ .*

## WSTĘP

Rozdrabnianie ziaren ryżu w młynie obrotowo-wibracyjnym, nie należy do zadań standardowych, ujawnia natomiast pewną złożoność zagadnień: jakości produktu, efektywności procesu, nieszkodliwości produktu i procesu działania, w tym tworzenia inżynierskiego [Flizikowski J., 2014/15, Flizikowski J. i in. 2014, Drzymała Z. i in. 1992, Bachmann D., 1940]. Proces obrotowo-wibracyjnego mielenia uziarnionych materiałów roślinnych (biomateriałów), np. dla energetyki, w sposób dominujący zachodzi pomiędzy swobodnymi mielnikami w kształcie: kul, walców (o wysokości równej średnicy zwanych cylpepsami), sześciątów, graniastópów o podstawie trójkąta równobocznego, a także prętów, oraz pomiędzy mielnikami a wewnętrzną częścią komory, która najczęściej ma kształt walca, rzadko koryta i torusa. Najbardziej intensywnie proces mielenia zachodzi na poboczniczy wyłożonej wykładziną, a znacznie mniej intensywnie na ścianach bocznych, które tworzą pokrywy lub przegrody sitowe - w młynach o działaniu ciągłym [Sidor J, 2005].

W młynach obrotowo-wibracyjnych, np. oryginalny młyn LMOV-S2n-2x2 [Sidor J. i in., 2014] stosuje się dwie komory wypełnione swobodnymi mielnikami w kształcie kul o tej samej średnicy. Wprowadzenie komór i mielników w ruch obrotowo-wibracyjny pozwala na rozdrabnianie wsadu. Parametry ruchu, którymi można sterować to, np.: prędkość obrotowa komór, amplituda drgań, częstotliwość drgań, czas mielenia. Komory wprawiane są w ruch złożony – obrotowy i drgający. Młyn wyposażony jest w 2 napędy: wibratora i komór. Proces może być przeprowadzany w środowisku gazowym, najczęściej jest to powietrze oraz w środowisku cieczy.

## Cel i problem

Celem praktycznym była metodyka doświadczalnych i analitycznych badań optymalizacyjnych, które na podstawie poznania, wiedzy, praktycznych umiejętności i postawy twórcy, w zakresie inżynierii mechanicznej mielenia obrotowo-wibracyjnego materiałów uziarnionych, pozwolą na wykorzystanie: opisów matematycznych wpływu wybranych parametrów młyna obrotowo-wibracyjnego, kształtowaniu charakterystyk użytkowych mielenia ziaren ryżu ( $Q_m, f_{\langle \rangle}$ ).

Problem badawczy sformułowany w postaci pytania: Jaki wpływ na wydajność masową ( $Q_m$ ), udziały masowe czterech frakcji wymiarowych ( $f_{\langle \rangle}$ ), a szczególnie frakcji o wielkości ziaren (400 – 800)  $\mu\text{m}$ , mają parametry ruchu, celowo sterowane: prędkość obrotowa komór ( $n$ ), amplituda drgań zespołu roboczego ( $A$ ), częstotliwość drgań zespołu roboczego ( $fr$ ), stopień wypełnienia komór ( $\psi$ ), czas mielenia ( $t_m$ )?

## 1. METODYKA BADAŃ

## 1.1. Założenia

Założono, w procesie badań, możliwość zdobycia wiedzy na temat związku rodzaju mielonego ziarna i istoty, konstrukcji rozdrabniania obrotowo-wibracyjnego w kategoriach odpowiedzi na pytanie: tak/nie. Następnie - praktycznych umiejętności sterowania procesem pomiarowo-badawczym w wyznaczeniu wpływu wybranych parametrów wejściowych na charakterystyki użytkowe, zmienne wyjściowe procesu:

## 1.2. Instrumentarium, stanowisko badawcze

W młynie obrotowo-wibracyjnym proces mielenia zachodzi w szczelnie zamkniętych komorach. Komory są wprowadzane w ruch drgający, efektem tego jest zderzanie się mielników. Zderzają się one pomiędzy sobą, a także między wewnętrzną częścią komory. Uzyskujemy wtedy rozdrobnienie materiału, który jest pomiędzy mielnikami i na wykładzinie. Ruch obrotowy zwiększa intensywność mieszania się mielników w komorze, a co za tym idzie wzmacnia proces mielenia materiału. Dzięki ruchowi obrotowemu zmniejszamy niekorzystny spadek energii mielników, który występuje w tradycyjnych młynach wibracyjnych.

Składa się on z dwóch komór (2) zamkniętych pokrywami (3). Komory osadzone są na ułożyskowanym wale za pomocą uchwytów (5). Moment obrotowy przekazywany jest z silnika (10) na wał przez przekładnię pasową. Koło czynne jest osadzone na wale silnika, natomiast koło bierne na uchwycie jednej z komór. Wibrator dwumasowy składa się dwóch wałów, połączonych ze sobą przekładnią zębatą (12) pełniącą rolę synchronizatora. Na każdym z wałków osadzone jest bierne koło pasowe (17), oraz koło luźne (14). Koła wibratora obciążone są zespołami obciążników (15), składających się z pięciu elementów. Silnik (16a) napędza wibrator za pomocą przekładni pasowej (17). Ramy (22) i (23) mocujące silniki napędowe, są osadzone przegubowo na podporze napędów (20). Element sprężysty (25) zapewniający ruch drgający, osadzony jest w podstawie (21) oraz wsporniku (8). Korpus składa się z czterech gumowych wibroizolatorów (26), dźwiękoszczelnej obudowy (27) oraz wziernika (29).

Dwumasowy wibrator mechaniczny jest napędzany przez przekładnię pasową i generuje ruch drgający komór. Zamocowanie przegubowo wahacza na ramie umożliwi ruch drgający. Dodatko-

$$(Q_m, f_{\langle \rangle}) = f(n, A, fr, \psi, t_m). \quad (1)$$

wo mocuje się element sprężysty, który łączy elementy drgające z podstawą. Ruch obrotowy zespołu roboczego młyna jest przekazywany przez przekładnię pasową z silnika.

Podstawowe parametry młyna obrotowo-wibracyjnego: prędkość obrotowa komór  $n=(90\pm 186)$  min<sup>-1</sup>, częstotliwość drgań  $f_r=(10\pm 15,3)$  Hz, amplituda drgań  $A=(2\pm 10)$  mm, maksymalna masa badanego materiału  $d_{max}=5,5$  kg, moc silnika napędzającego układ drgający  $P_{fr}=1,1$  kW, moc silnika napędzającego komory  $P_n=0,37$  kW.

### 1.3. Materiał i przebieg badań

Ryż (Rys.2 i tab.1) jest zbożem, które należy do rodziny wiechlinowatych. Uprawia się go niemal na całym świecie, na wodnych lub suchych polach. Istnieje wiele gatunków ryżu, które różnią się wielkością ziarna, zawartością skrobi, wartościami odżywczymi i stopniem oczyszczenia.

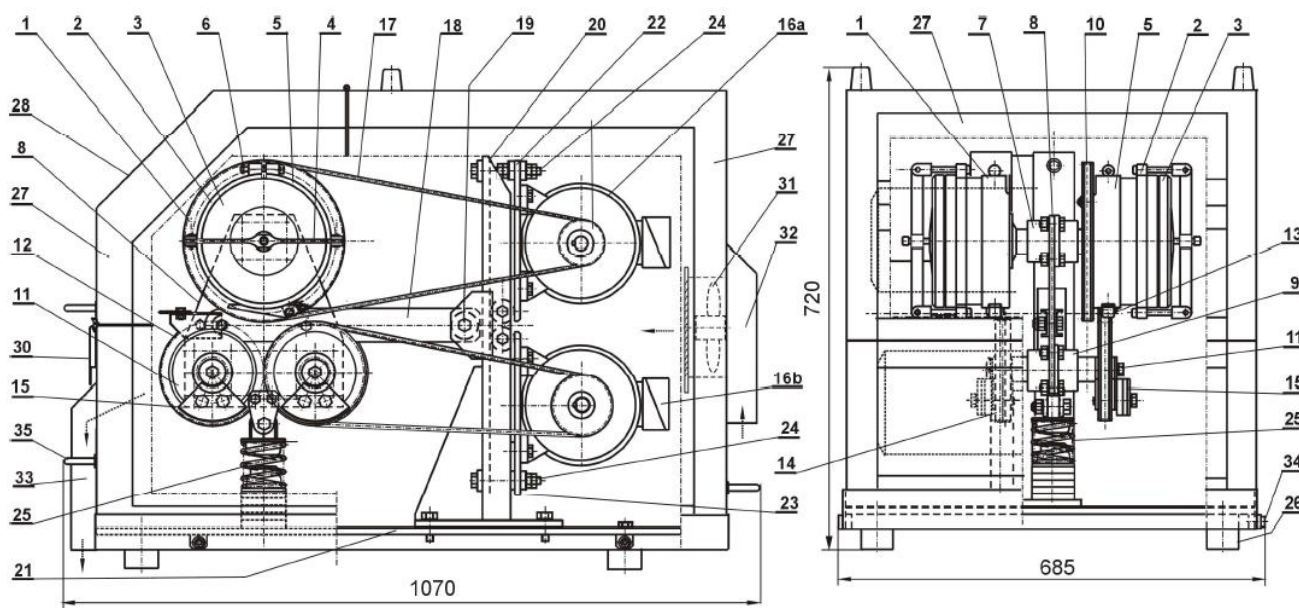
Tab. 1. Właściwości fizyczne badanych materiałów

Właściwości fizyczne	Ryż
Masa właściwa w stanie absolutnie suchym	1,11 – 1,12 g/cm <sup>3</sup>
Wilgotność ziarna	11,3 %
Wielkość ziarna	1,4 – 2,1 mm



Rys. 2. Ziarna ryżu

Przygotowanie badanego materiału oraz komór: zdemontowano komory mielące, a następnie dokładnie je oczyszczono, rysunek 3; odważono zadaną ilość badanego materiału, rysunek 4; umieszczono w komorach wcześniej przygotowany materiał badawczy i odpowiednią ilość mielników, rysunek 5; zamknięto komory pokrywami dokręcając śruby mocujące, rysunek 6. Umieszczenie komór w młynie: zwolniono zaciski pokrywy górnej i otworzono komorę młyna, sprawdzono liczbę i sposób mocowania obciążników na kołach zębatych, zdjęto jeden obciążnik, redukując amplitudę drgań o 0,85 mm, rysunek 7; obrócono zespół roboczy do pozycji umożliwiającej dostęp do złączy śrubowych, zwolniono dźwignię blokującą i umieszczono komory w gnieździe poprzez dosunięcie do oporu, aby następnie dokręcić śruby mocujące, rysunek 8, opuszczono górną osłonę młyna i zamknięto zaciski, podłączono młyn do sieci elektrycznej włącznik w pozycję „1”, sprawdzono lampki kontrolne (kolor żółty – podłączenie do sieci, kolor zielony – gotowość do pracy), na panelu sterującym, standard LabVIEW, zadano odpowiednie parametry pracy – prędkość obrotową, częstotliwość drgań komór oraz czas mielenia, rysunek 9, uruchomiono młyn przyciskiem: „TIMER START”, sprawdzono działanie wentylatora chłodzącego komory robocze i wnętrza młyna, pracę młyna kończono zgodnie z przyjętym programem pomiarów.



Rys.1. Schemat młyna laboratoryjnego LMOW-Sn-2x2 [AGH, AUTO-SPRZĘT Kraków 2014]: 1 – komponent komór, 2 – komora, 3 – pokrywa, 4 – zamknięcie, 5 – uchwyt, 6 – złącze śrubowe, 7 – zespół łożyskowy, 8 – podpora zespołu drgającego, 9 – zespół łożyskowy, 10 – napęd, 11 – wibrator, 12 – przekładnia zębata, 13 – zatrzask komory, 14 – koło bierne, 15 – zespół obciążników, 16 – silnik, 17 – przekładnia pasowa, 18 – wahacz, 19 – przegub, 20 – podpora, 21 – płyta główna, 22 – stelaż silnika komory, 23 – stelaż silnika wibratora, 24 – napinacz pasków, 25 – część sprężysta, 26 – wibroizolator, 27 – korpus, 28 – pokrywa, 29 – wizjer, 30 – rygiel, 31 – wentylator, 32 – wlot powietrza, 33 – wylot powietrza, 34 – złącze śrubowe obudowy, 35 – uchwyt



Rys.3 Przygotowanie komór i mielników



Rys.4 Przygotowanie materiału badawczego



Rys.5 Umieszczenie mielników oraz materiału w komorze



Rys.6 Zamknięcie komory



Rys.7 Zamocowane ciężarki na kołach zębatych



Rys.8 Zespół roboczy młyna z zamontowanymi komorami

## 1.4. Wyniki badań i ich omówienie

### Wpływ czasu mielenia ( $t_m$ ) na wymiary produktu ( $f_{<>$ )

Przeprowadzono 5 pomiarów w 5-minutowych odstępach czasu. Pierwszy pomiar przeprowadzony był po 10 minutach, uzyskano 12 g frakcji o wymiarach ziaren  $<400 - 800> \mu m$ . Kolejny pomiar został wykonany po 15 minutach - 19 g frakcji o tych wymiarach. Po 20 minutach mielenia - 24 g zadanej frakcji. Po 25 i 30 minutach mielenia odpowiednio 32 i 37 g, tabela 2. Wszystkie pomiary wykonano dla 200g ryżu przy prędkości obrotowej komór 200  $min^{-1}$ , częstotliwości drgań 12 Hz.

Tab. 2. Wpływ czasu mielenia  $t$  na stopień rozdrobnienia materiału

Wielkość ziarna $d_z$ [mm]	Czas mielenia $t$ [min]					
	0	10	15	20	25	30
2,5 - 1,4	196	151	129	111	90	75
1,4 - 1	2	20	26	32	38	40
1 - 0,8	1	9	14	17	22	25
0,8 - 0,4	0,7	12	19	24	32	37
0,4 - 0	0,3	7	10	13	17	20
Suma	200	199	198	197	199	197

### Wpływ zapelnienia komory ( $\psi$ ) na jakość produktu ( $f_{>}$ )

Badanie wpływu zapelnienia komór przeprowadzono dla 20, 40, 60 i 80% wypełnienia. Badania prowadzone były dla prędkości obrotowej 180  $min^{-1}$ , częstotliwości 10 Hz, w czasie 20 min, a masa materiału wynosiła 600g, 450g, 300g i 150g. W pierwszym etapie dla pomiaru z 80% wypełnieniem, frakcja  $400 - 800 \mu m$  stanowiła 2,6%. W kolejnych pomiarach dla 60% i 40%, odpowiednio 7,1% oraz 11%. Dla ostatniego pomiaru przy 20% zapelnienia ilość spadła do 0,3%.

**Analiza wpływu czasu mielenia (tm) ziaren ryżu na charakterystyki produktu (f<sub>0</sub>, Qm)**

Dynamika przyrostu frakcji (1400-1000) μm jest największa (1,28 g·min<sup>-1</sup>). Wysoki przyrost frakcji jest również dla (800-400) μm. Przyrost frakcji (1000-800) μm i (400-0) μm jest o połowę mniejszy w stosunku do najszybciej rosnących frakcji. Bardzo wysoka wartość współczynnika determinacji, świadczy o tym, że ponad 96,8 % wyników pomiarów tłumaczy zależność liniowa o postaci matematycznej podanej w tabeli 3.

**Tab. 3.** Dane z analizy statystycznej wyników badań mielenia obrotowo-wibracyjnego ziaren ryżu, w zależności od czasu realizacji procesu

Frakcja produktu [μm]	Masa frakcji [g]	Czas mielenia [min]	Współczynnik Kierunkowy a	Wyraz wolny b	Współczynnik determinacji R <sup>2</sup>
1400-1000	y	x	1,28	5,0	0,968
1000-800	y	x	0,8114	1,1429	0,9967
800-400	y	x	1,2286	0,3071	0,9974
400-0	y	x	0,6571	0,2643	0,9988

**Analiza wpływu zapelnienia komór ziarnami ryżu na charakterystyki produktu**

Uzyskane wyniki można opisać wielomianem 2-go stopnia. Z obliczeń wynika, że ekstremum funkcji jest dla 50% wypełnienia komory, kiedy frakcja (800-400) μm przyjmuje wartość 10% zmielonego materiału. W przedziale 0 – 50 % wypełnienia komory efektywność mielenia rośnie, natomiast w zakresie 50 – 100 % maleje.

**Tab. 4.** Dane z analizy statystycznej wyników badań mielenia obrotowo-wibracyjnego ziaren ryżu, w zależności od stopnia wypełnienia komór

Frakcja produktu μm	Zmielone ziarno %	Zapelnienie komory %	Współczynnik a	Współczynnik b	Wyraz wolny c	Wsp. determinacji R <sup>2</sup>
1400-1000	y	x	-0,009	0,9183	-12,722	0,8431
1000-800	y	x	-0,0052	0,5323	-7,8403	0,8488
800-400	y	x	-0,0095	0,964	-14,451	0,8572
400-0	y	x	-0,0074	0,7254	-10,208	0,7953

$$f(x) = -0,0095x^2 + 0,964x - 14,451 \quad (2)$$

$$f'(x) = -0,019x + 0,964$$

$$f'(x) = 0$$

$$-0,019x + 0,964 = 0$$

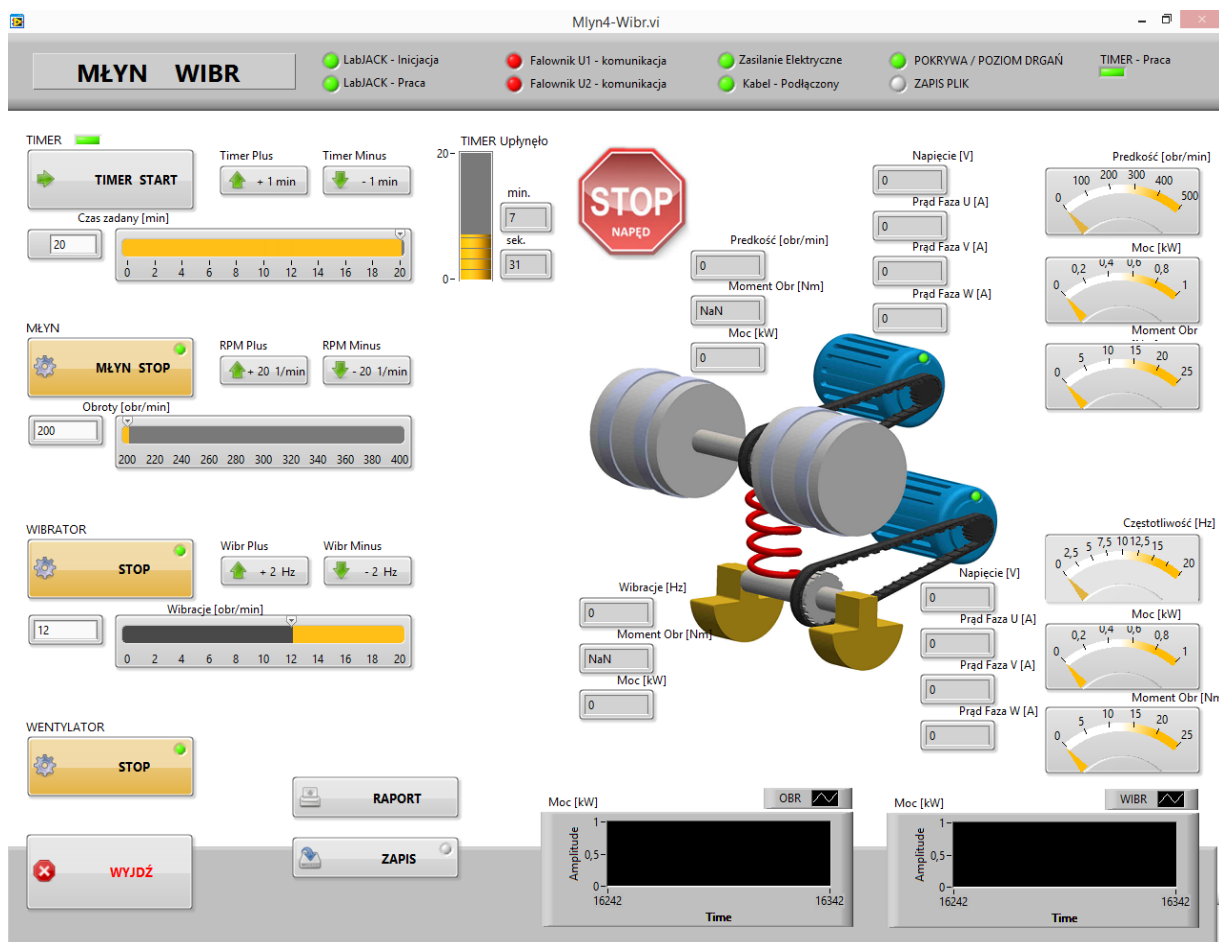
$$x = 50,74 \quad (3)$$

$$f(50,74) = -24,46 + 48,91 - 14,51 = 9,99$$

Największą ilość zmielonego produktu stanowią frakcje (1400-1000) μm oraz (800-400) μm

**Analiza wpływu prędkości obrotowej komór na charakterystyki produktu**

Obliczenia wskazują na to, że frakcja (800-400) μm ma ekstremum dla prędkości obrotowej 163 min<sup>-1</sup> i wynosi 33,2 g materiału. Uzyskane wyniki wskazują na paraboliczną postać. Dla min-1 frakcje (400-0) μm, (800-400) μm oraz (1400-1000) μm mają bar-



**Rys.9** Panel sterujący parametrami mielenia obrotowo-wibracyjnego ziaren ryżu

dzo wysoki udział (33-38) g w produkcji. Natomiast wydajność mielenia dla frakcji (1000-800)  $\mu\text{m}$  jest prawie dwukrotnie mniejsza (21 g).

Po przekroczeniu ekstremum (160  $\text{min}^{-1}$ ) frakcje (1400-1000)  $\mu\text{m}$  oraz (800-400)  $\mu\text{m}$  utrzymują się na wysokim poziomie, natomiast pozostałe znacząco maleją.

**Tab. 5.** Dane z analizy statystycznej wyników badań mielenia obrotowo-wibracyjnego ziaren ryżu, w zależności od prędkości obrotowej komór

Frakcja produktu, $\mu\text{m}$	Masa frakcji, g	Czas mielenia, min	Współczynnik a	Współczynnik b	Wyraz wolny c	Współczynnik determinacji $R^2$
1400-1000	y	x	-0,0095	3,0736	-212,51	0,9611
1000-800	y	x	-0,007	2,2536	-162,31	0,9021
800-400	y	x	-0,0118	3,8614	-282,69	0,8993
400-0	y	X	-0,0107	3,4086	-242,11	0,8885

Obliczenia punktu ekstremum funkcji kwadratowej dla frakcji 800-400  $\mu\text{m}$ :

$$f(x) = -0,0118x^2 + 3,8614x - 282,69 \quad (4)$$

$$f'(x) = -0,02x + 3,86 \quad (5)$$

$$f'(x) = 0$$

$$-0,02x + 3,86 = 0$$

$$x = 163,6$$

$$f(163,6) = -315,9 + 631,8 - 282,7 = 33,2$$

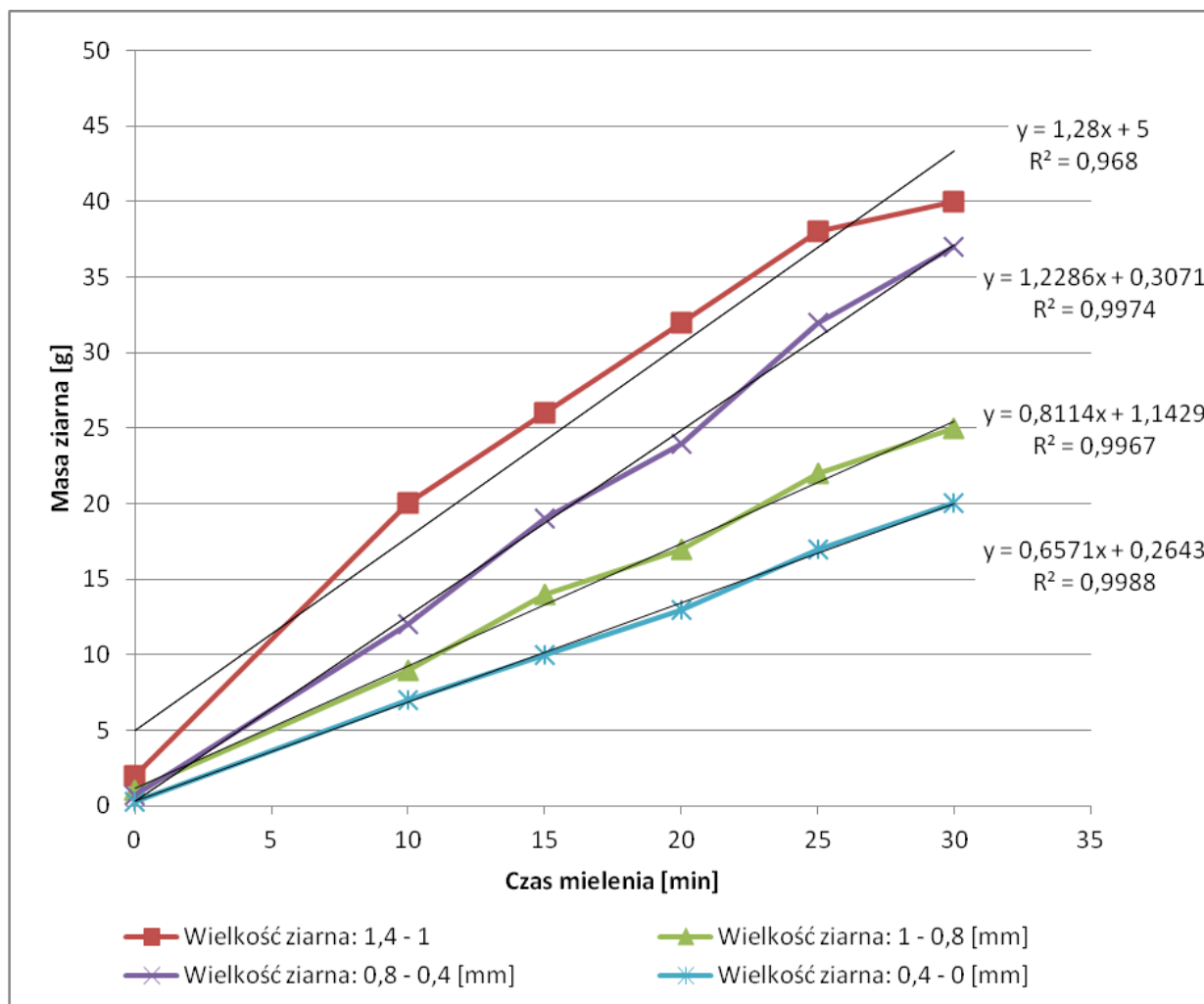
Z przeprowadzonych badań wynika, że ekstremum frakcji 800-400  $\mu\text{m}$  występuje dla częstotliwości drgań 10 Hz i wynosi 36 g produktu. Natomiast obliczenia analityczne wskazują ekstremum dla częstotliwości 9 Hz. Rozbieżność wyników procesu i modelu tłumaczy fakt, że współczynnik determinacji wynosi 0,85.

Przy częstotliwości drgań 10 Hz frakcje (400-0)  $\mu\text{m}$ , (800-400)  $\mu\text{m}$  oraz (1400-1000)  $\mu\text{m}$  zawierają się w przedziale 33-38g. Wymienione frakcje są najbardziej wydajne, natomiast frakcja (1000-800)  $\mu\text{m}$  wynosi tylko 21 g.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem pracy było wykazanie wpływu wybranych parametrów młyna obrotowo-wibracyjnego na charakterystyki mielenie ziaren ryżu. Analizowano wpływ prędkości obrotowej komór, amplitudy i częstotliwości drgań zespołu roboczego, ponadto czas mielenia oraz stopień napełnienia komór. Skierowaną charakterystyką użytą była frakcja produktu <400 – 800>  $\mu\text{m}$ .

Zbadano wpływ czasu mielenia na wielkość rozdrobnionego produktu. Otrzymano wyniki wskazujące zależności matematyczne ilości skierowanej optymalizacyjnie frakcji z czasem mielenia. Przy-



**Rys.10** Wpływ czasu mielenia ( $t_m$ ) na stopień rozdrobnienia materiału ( $f_{<>}$ )

rost poszczególnych frakcji można opisać za pomocą równań liniowych. Najszybszy przyrost ilości materiału obserwujemy dla frakcji o wielkości ziaren  $<400 - 800> \mu\text{m}$ .

Zapełnienie komory, w zakresie badawczym: 80, 60, 40 i 20%, wskazuje optymalne napełnienie komory 40%. Efektywność mielenia wzrasta w przedziale prędkości od 120 min<sup>-1</sup> do 160 min<sup>-1</sup> osiąga maksimum. Spośród 4 frakcji produktu, najszybszy przyrost osiąga  $<400 - 800> \mu\text{m}$ .

Drgania o częstotliwości 8-10 Hz są przedziałem optymalnym. Ze wzrostem liczby obciążników stopień rozdrabniania materiału rośnie. Uzyskane wyniki można opisać za pomocą równań trzeciego stopnia. Pokazują one charakter zjawisk drganiowych i ich komplikacje.

Przeprowadzone doświadczenia dają podstawowe dane do rozwiązania zadania, czyli odpowiedzi na sformułowane problemy, w postaci pytań: czy można rozdrabniać? w jakich warunkach najlepiej rozdrabniać materiał, który wypełnia warunek rozdrabniania? oraz wskazują kierunki poznania, innowacji, rozwoju inżynierii mechanicznej mielenia i dalszych, rozszerzonych badań.

## BIBLIOGRAFIA

1. Flizikowski J., Sidor J., Tomporowski A., Mroziński A., 2014. *Analiza i ocena funkcjonalna młyna obrotowo-wibracyjnego*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, Nr 2/2014, Vol. 53(44), str. 71-73
2. Flizikowski J., 2014/15. Wykład "Mikro- i nano-rozdrabnianie w energetyce", WIM kierunek IOŻE, UTP w Bydgoszczy
3. Bachmann D., 1940. Bewegungsvorgänge in Schwingmuhlen mit trockener Mahlkörperfuhlung, „Z. VDI Beiheft Verfahrenstechnik“ nr 2, s. 43-45; nr 3, s. 82-89
4. Drzymala Z. (red.), 1992. *Badania i podstawy konstrukcji młynów specjalnych*, PWN, Warszawa s. 73-74.
5. Sidor J., 2005. *Badania, modele i metody projektowania młynów wibracyjnych*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków s. 30-31.
6. Sidor J., Krawczyk K.P., Przybył M., 2014. *Instrukcja Eksploatacyjna – Obsługi Laboratoryjnego Młyna Wibracyjnego LMOW-S2n-2x2 prototyp*. AGH-AUTO-SPRZĘT, Kraków

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Józef Flizikowski** – Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy w Bydgoszczy

dr hab. inż. **Andrzej Tomporowski** – Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy w Bydgoszczy

dr inż. **Adam Mroziński** – Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy w Bydgoszczy

mgr inż. **Michał Suchara** – Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy w Bydgoszczy

## GRINDING OF RICE GRAINS IN A ROTARY-VIBRATORY MILL

### Abstract

*At work, for the achievement of the objective, it was decided to solve the problem formulated in the form of questions: what is the impact on the performance of the mass, the mass shares of four dimensional factions, and particularly the fraction with the size of product (400-800)  $\mu\text{m}$ , have parameters of traffic intentionally controlled: rotational speed, amplitude of vibration of the band, frequency band, the degree of filling of the ventricles, the time of grinding? Obtained in the test area, the optimum values of the variables are controlled with the volume of addressed the fraction dimensional product (quality)  $<400-800> \mu\text{m}$ .*